

**Würzburger Studien zum
Umweltenergierecht**

**Auswertung politischer und technisch-
ökonomischer Grundlagen der ener-
getischen Biomassenutzung**

erstellt von

Oliver Antoni, LL.M.

Korbinian Kantenwein

Charlotte Probst

Christian Witschel

unter Mitarbeit von

Thorsten Müller, Fabian Pause, LL.M. Eur. und Achim Stehle

Entstanden im Rahmen des Vorhabens:

„Konsistentes Recht der energetischen Biomassenutzung“

(KonReeB – FKZ 03MAP255)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

4a

Juni 2015

Zitiervorschlag: *Oliver Antoni/Korbinian Kantenwein/Charlotte Probst/Christian Witschel*,
Auswertung politischer und technisch-ökonomischer Grundlagen der energetischen Biomasse-
senutzung, Würzburger Studien zum Umweltenergierecht Nr. 4a, Juni 2015.

Stiftung Umweltenergierecht
Ludwigstraße 22
97070 Würzburg
Telefon +49 931 79 40 77-0
Telefax +49 931 79 40 77-29
E-Mail antoni@stiftung-umweltenergierecht.de
Internet www.stiftung-umweltenergierecht.de

Vorstand: Thorsten Müller und Fabian Pause, LL.M. Eur. • Stiftungsrat: Prof. Dr. Helmuth
Schulze-Fielitz und Prof. Dr. Franz Reimer
Bankverbindung: Sparkasse Mainfranken Würzburg • Konto 46 74 31 83 • BLZ 790 500 00 •
IBAN DE16790500000046743183 • BIC BYLADEM1SW

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
A. Biomassebegriff	1
I. Einführung	1
II. Naturwissenschaftliche Definitionen	2
III. Rechtliche Biomassedefinitionen	3
1. Unionsrechtliche Definition	3
2. Nationale gesetzliche Definitionen	3
3. Untergesetzliche Definition – BiomasseV	5
IV. Überblick Energiestoffe	6
1. Biomasse landwirtschaftlichen Ursprungs	6
a. Energiepflanzen	6
b. Landwirtschaftliche Nebenprodukte	6
2. Biomasse forstwirtschaftlichen Ursprungs	7
a. Scheitholz	7
b. Hackholz	8
c. Waldrestholz	8
3. Abfälle- oder Nebenprodukte	8
a. Holzabfälle	9
b. Biogene (Haushalts-)Abfälle	9
c. Landschaftspflegematerial	10
B. Energetische Biomassenutzung	10
I. Energetische Biomassenutzung im Allgemeinen	11
II. Abgrenzung zu anderen Nutzungsarten	14
III. Energetische Nutzungsarten	17
1. Biogene Festbrennstoffe	17
2. Gasförmige Biomasse	19
3. Flüssige Biomasse	22
IV. Politische Ziele, Strategien und Maßnahmen	25

1. Europäische Union	25
2. National	26
a. Bund	26
b. Bundesländer	28
C. Biomasse im Energiesektor: Technologien	29
I. Einführung	29
II. Vorbehandlung der Biomasse	30
III. Direkte Verbrennung von biogenen Festbrennstoffen	31
1. Wärme	31
a. Handbeschickte Feuerungen	31
b. Automatisch beschickte Feuerungen	32
2. Strom/KWK	33
IV. Umwandlung der Rohstoffe in Brennstoffe	34
1. Biogene Festbrennstoffe	34
2. Gasförmige Brennstoffe (Biogas)	35
a. Vergasung fester Biomasse	35
b. Biogaserzeugung und -aufbereitung	35
3. Flüssige Brennstoffe (Biokraftstoffe)	38
a. Verfahren auf Basis von Pflanzenölen	39
b. Verfahren auf Basis von Alkohol (Bioethanol)	39
c. Pyrolyse	40
V. Umwandlung der Brennstoffe in Energie	40
D. Ökonomische Grundlagen	42
I. Energiegestehungskosten bei der Biomassenutzung	42
II. Investitionen und Umsätze im Sektor Biomasse	49
E. Zahlen zur energetischen Biomassenutzung	53
I. Sektorenübergreifende Zahlen zur Energetischen Biomassenutzung	54
1. Energiedaten für Deutschland	54
2. Anteile erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung	55
3. Aufteilung der Biomasse	58

4.	Verteilung zwischen privatem und gewerblichem Sektor	59
II.	Aufgeteilt nach Sektoren.....	60
1.	Strom	60
2.	Wärme.....	65
3.	Verkehr.....	68
a.	Anteil am Kraftstoffverbrauch.....	68
b.	Anteile nach Biomassearten.....	69

A. Biomassebegriff¹

I. Einführung

Biomasse ist ein vielseitiger und speicherfähiger Energieträger durch dessen Einsatz CO₂-Emissionen durch vermiedene Nutzung fossiler Energieträger eingespart werden können. So umstritten eine konkrete Ökobilanzierung des Biomasseeinsatzes ist, so wenig wird die erhebliche Bedeutung der Bereitstellungspfade für die Ökobilanz bestritten². Neben der Vermeidung von THG-Emissionen bei der energetischen Verwertung von Biomasse als Energieträger kann die CO₂-Bindung vor der energetischen Nutzung, also während des Pflanzenwachstums und der Lagerung der Biomasse einen Klimaschutzbeitrag leisten³. Eine Untersuchung des Rechtsrahmens der energetischen Nutzung von Biomasse setzt eine Bestimmung des Untersuchungsgegenstandes voraus.

Grundsätzlich wird Biomasse als Menge aller Zoo- und Phytomasse verstanden. Gemeint sind Kohlenstoffverbindungen, die durch lebende Zellen produziert wurden. Zwar haben auch die wesentlichen Bestandteile fossiler Energieträger ihren Ursprung in der Produktion in lebenden Zellen. Unabhängig davon, ob diese lange Zeit unter hohem Druck (z.B. Steinkohle, Erdöl) oder unter geringerem Druck an der Erdoberfläche (z.B. Torf) verändert wurden, handelt es sich um Biomassederivate in einem sehr weiten Sinn. Dieser Masse ist gemein, dass ihr Energiegehalt – auch über Nahrungsketten – auf der photosynthetischen Primärproduktion basiert.

Im Rahmen dieser Untersuchung soll der Begriff der Biomasse aber erheblich enger verwendet werden. Es werden – in erdgeschichtlichen Zeiträumen betrachtet – kurzfristig nachwachsende Rohstoffe behandelt, als die Gesamtheit pflanzlicher, tierischer und mikrobieller Biomasse, die vom Menschen zweckgebunden außerhalb des Nahrungs- und Futtermittelbereiches stofflich oder energetisch verwendet werden.

Wie die Abgrenzung vorzunehmen ist, soll im Folgenden beschrieben werden. Dazu wird zunächst von einem allgemein sprachlichen und naturwissenschaftlichen Biomasse-Begriff ausgegangen (II unten) und anschließend ein Überblick über die rechtlichen Biomassedefini-

¹ Bei diesen Würzburger Studien Nr. 4a handelt es sich um das Arbeitspaket 1 des Vorhabens „Konsistentes Recht der energetischen Biomassenutzung“ (Stand: 30. April 2013).

² *Sachverständigenrat für Umweltfragen*, Klimaschutz durch Biomasse, S. 43 ff.; *D. Thrän/V. Richarz*, Potentiale, CO₂-Bilanzen und Anwendungsbereiche – Wie könnten und sollten wir Biomasse sinnvoll nutzen, in: H. Schultze-Fielitz/T. Müller (Hrsg.), Klimaschutz durch Bioenergie, S. 9 (9 f.).

³ *Sachverständigenrat für Umweltfragen*, Klimaschutz durch Biomasse, S. 44.

tionen (III unten) geliefert. Den Abschluss bildet die Vorstellung wesentlicher Energieträger aus dem Bereich der Biomasse (IV unten).

II. Naturwissenschaftliche Definitionen

Unter Biomasse lässt sich die „Masse der durch Lebewesen anfallende[n] organische[n] Substanz in einem bestimmten Lebensraum“⁴ bzw. „die Gesamtheit aller Organismen einschließlich der von ihnen produzierten organischen Substanz an einem Ort“⁵ erfassen.

Biomasse ist daher grundsätzlich ein Sammelbegriff für organisches Material⁶, das von der Natur erzeugt wird. Sie umfasst die Masse aller Lebewesen (Phyto- und Zoomasse), einschließlich deren Folge- und Nebenprodukte, Rückstände sowie Abfälle⁷, also neben allen Formen von Pflanzenmaterial auch Rückstände von Tieren. Damit ist neben lebender auch bereits abgestorbene Zellmasse erfasst soweit diese noch nicht fossil ist⁸. Es darf sich also nicht um Überreste von Pflanzen und Tieren aus früheren Epochen der Erdgeschichte handeln⁹, deren Regenerationszeit überschreiten das menschliche Maß bei weitem¹⁰. Es handelt sich um über den Weg der Photosynthese in chemischer Energie gespeicherte solare Strahlung¹¹.

Neben dem Zugang über eine abstrakte Definition von Biomasse nähern sich Teile der Literatur durch die praxisorientierte Betrachtung der zur Verfügung stehenden Stoffe¹² oder des Biomassepotentials¹³, welches sich aus den aus landwirtschaftlichen Flächenpotentialen abgeleiteten Energiepflanzenpotentialen, den Potentialen der Ernterückstände aus der Landwirtschaft, den forstlichen Potentialen sowie dem Potential organischer Nebenprodukte zusammensetzt bzw. es werden die praktisch bedeutsamsten Bioenergieträger, also Waldholz,

⁴ Duden, Das Fremdwörterbuch, 9. Aufl., S. 138 f.

⁵ Duden, Die deutsche Rechtschreibung, 24. Aufl., S. 256.

⁶ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, S. 2; A. Rostankowski/J. Vollprecht, in: M. Altröck/V. Oschmann/C. Theobald, EEG, 3. Aufl., § 27 Rn. 31.; V. Oschmann, in: T. Müller/ders./G. Wustlich, EEWärmeG, § 2 Rn. 31.

⁷ D. Czybulka, Biomassenerzeugung als Regelungsgegenstand des Naturschutz-, Landwirtschafts- und Forstwirtschaftsrechts?, in: H. Schultze-Fielitz/T. Müller, Klimaschutz durch Bioenergie, S. 109 (109).

⁸ A. Rostankowski/J. Vollprecht, in: M. Altröck/V. Oschmann/C. Theobald, EEG, 3. Aufl., § 27 Rn. 32.

⁹ Duden, Das Fremdwörterbuch, 9. Aufl., S. 377, Stichwort: fossil.

¹⁰ P. Salje, EEG, 5. Aufl., § 27 Rn. 32.

¹¹ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, S. 2; P. Quicker, in: W. Frenz/H.-J. Mügenborg, EEG, 2. Aufl., Vor § 27 Rn. 1.

¹² Sachverständigenrat für Umweltfragen, Klimaschutz durch Biomasse, S. 19 ff.

¹³ D. Thrän/M. Edel/J. Pfeifer/J. Ponitka/M. Rode/S. Knispel, Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der Biomassennutzung, S. 3, abrufbar unter http://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_4.pdf (25.04.2013).

Reststoffe und Energiepflanzen, genannt¹⁴. Die Vielzahl der verschiedenen Stoffe schlägt sich in einer großen Bandbreite an chemischer Beschaffenheit nieder, welche die praktisch nutzbaren Arten der energetischen Nutzung maßgeblich beeinflussen¹⁵. Während Stoffe mit einem geringen Wasseranteil (wie etwa Holz) direkt verbrannt werden können, eignet sich für Stoffe mit höherem Wasseranteil etwa die Methangärung um verwertbare Energieträger bereitzustellen.

III. Rechtliche Biomassedefinitionen

1. Unionsrechtliche Definition

Die für die Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen maßgebliche Richtlinie 2009/28/EG¹⁶ (Erneuerbare-Energien-Richtlinie - EERL) bestimmt in Art. 2 S. 2 lit. a) Energie aus erneuerbaren Quellen als Energie aus erneuerbaren, nicht fossilen Energiequellen und nennt als solche gleichberechtigt u.a. Biomasse, Deponiegas, Klärgas und Biogas. Damit enthält die EERL einen ausdrücklichen Ausschluss von fossilen Energieträgern, also auch fossiler Biomasse. Diese ausschließende Wertung ist bei einer richtlinienkonformen Auslegung der nationalen Normen zu beachten.

Ferner bestimmt Art. 2 S. 2 lit. e) der EERL, dass im Rahmen der Richtlinie Biomasse als der biologisch abbaubare Teil von Erzeugnissen, Abfällen und Reststoffen der Landwirtschaft mit biologischem Ursprung (einschließlich pflanzlicher und tierischer Stoffe), der Forstwirtschaft und damit verbundener Wirtschaftszweige einschließlich der Fischerei und der Aquakultur sowie der biologisch abbaubare Teil von Abfällen aus Industrie und Haushalten einzustufen ist.

2. Nationale gesetzliche Definitionen

Die Schwierigkeit, Biomasse von sonstigen Energieträgern abzugrenzen, macht eine Legaldefinition in Bereichen notwendig, in denen die Biomasseeigenschaft eine bestimmte Rechtsfolge auslösen soll, wenn etwa die Förderfähigkeit an diese geknüpft ist. Dabei wird in den verschiedenen Fördergesetzen ein uneinheitlicher Biomassebegriff verwendet. Eine ab-

¹⁴ D. Thrän/V. Richarz, Potentiale, CO₂-Bilanzen und Anwendungsbereiche – Wie könnten und sollten wir Biomasse sinnvoll nutzen, in: H. Schultze-Fielitz/T. Müller (Hrsg.), Klimaschutz durch Bioenergie, S. 9.

¹⁵ P. Quicker, in: W. Frenz/H.-J. Muggenborg, EEG, 2. Aufl., Vor § 27 Rn. 4.

¹⁶ RICHTLINIE 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG.

schließende gesetzliche Biomassedefinition besteht nicht¹⁷. Dadurch wird der Grundstein für eine uneinheitliche Verwendung des Biomassebegriffs gelegt.

Im Rahmen der EEG-vergüteten Stromproduktion kann auch Strom aus Biomasse vergütet werden, § 27 Abs. 1 EEG 2012¹⁸. Unter Biomasse wollte der Gesetzgeber in diesem Regelungsregime allgemein biologisch abbaubare Erzeugnisse, Rückstände und Abfälle pflanzlichen und tierischen Ursprungs aus der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft und damit verbundener Industriezweige verstanden wissen¹⁹. Allerdings hat der Gesetzgeber bewusst auf eine abschließende Definition im EEG verzichtet²⁰ und dies in den untergesetzlichen Bereich verschoben. Voraussetzung für die Vergütung nach EEG ist nämlich, dass es sich um Biomasse im Sinne der BiomasseV handelt. Die Möglichkeit, durch Rechtsverordnung Anforderungen an die vergütungsfähige Biomasse zu stellen sah bereits das EEG 2000 vor²¹. Auch ohne ausdrückliche Normierung soll sich bereits aus allgemeinem Sprachgebrauch und Zweck des EEG²² ergeben, dass fossile Brennstoffe wie Kohle, Öl, Gas und Torf nicht als Biomasse anzusehen sind²³. Hintergrund ist, dass sich diese Stoffe nicht in überschaubaren Zeiträumen regenerieren²⁴. Neben dem engen Biomassebegriff der BiomasseV (siehe unten) zur Bestimmung der vergütungsfähigen Biomasse, kennt das EEG einen inhaltlich weiteren Biomassebegriff²⁵ für die sonstigen, also die nicht die Vergütung betreffenden Vorschriften. Dazu erfasst die Definition von Energie aus Biomasse gem. § 3 Nr. 3 EEG, anders als die BiomasseV, auch solche aus Deponie- und Klärgas.

Im Bereich der Erzeugung von Wärme und Kälte gilt ein Biomassebegriff, der weiter ist als jener der BiomasseV. Gem. § 2 Abs. 4 EEWärmeG²⁶ wird als Biomasse iSd. EEWärmeG nicht nur solche iSd. der BiomasseV (a)), sondern auch biologisch abbaubare Anteile von Abfällen aus Haushalten und Industrie (b)), Deponiegas (c)), Klärgas (d)), Klärschlamm iSd. Klärschlammverordnung (AbfKlärV²⁷) (e)) und Pflanzenölmethylester (f)) anerkannt. Anders als beim Verweis auf die Klärschlammverordnung wird nicht auf die BiomasseV in der jeweils geltenden Fassung, sondern ausdrücklich auf die bis zum 31.12.2011 gültige Fassung verwiesen. Allerdings sind damit bis heute keine materiellen Unterschiede verbunden, da die aktu-

¹⁷ V. Oschmann, in: M. Altröck/ders./C. Theobald, EEG, 3. Aufl., § 3 Rn. 63.

¹⁸ Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2730) geändert worden ist.

¹⁹ BT-Drs. 16/8148, S. 39.

²⁰ BT-Drs. 16/8148, S. 39.

²¹ § 2 Abs. 1 Satz 2 EEG 2000.

²² Vgl. § 1 Abs. 1 EEG 2012; wortgleich § 1 Abs. 1 EEG 2009 und § 1 Abs. 1 EEG 2004.

²³ BT-Drs. 16/8148, S. 39.

²⁴ BT-Drs. 16/8148, S. 39.

²⁵ F. Ekardt, in: W. Frenz/H.-J. Muggenborg, EEG, 2. Aufl., § 3 Rn. 28.

²⁶ Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz vom 7. August 2008 (BGBl. I S. 1658), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 68 des Gesetzes vom 22. Dezember 2011 (BGBl. I S. 3044) geändert worden ist.

²⁷ Vom 15. April 1992 (BGBl. I S. 912), zuletzt geändert durch Artikel 4 der Verordnung vom 20. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2298, 2007 I S. 2316), in der jeweils geltenden Fassung.

elle Fassung²⁸ hinsichtlich der Bestimmung von Biomasse nicht von der bis zum 31.12.2011 gültigen Fassung abweicht. Dass es sich bei der nicht dynamischen Verweisung im EEWärmeG um eine bewusste Entscheidung des Gesetzgebers handelt, lässt sich anhand der Materialien nicht klären, schließlich weicht die aktuelle Fassung hinsichtlich der grundsätzlichen Einordnung von der bis zum 31.12.2011 geltenden Fassung nicht ab.

Bei dem genannten Pflanzenölmethylester handelt es sich um einen nicht ausschließlich erneuerbaren pflanzlichen Energieträger, da zu seiner Herstellung Methanol fossilen Ursprungs verwendet wird²⁹. Im EEG 2012 gilt für Pflanzenölmethylester nur noch eine gesetzliche Fiktion, dass es sich um Biomasse handelt, soweit es zur Anfahr-, Zünd- und Stützfeuerung notwendig ist, vgl. § 27 Abs. 1 Satz 2 EEG 2012. Darüber hinaus ist der Einsatz auch nicht mehr vergütungsfähig.

Im Verkehrssektor wird von bestimmten Inverkehrbringern nach § 37a Abs. 1 S. 1 BImSchG³⁰ gefordert, dass in Otto- und Dieselkraftstoffen ein Mindestanteil Biokraftstoffe enthalten ist. Die Voraussetzungen für die Biokraftstoffeigenschaft sind in § 37b BImSchG normiert. Danach müssen, vorbehaltlich einiger Ausschlusskriterien nach § 37b S. 2-8 BImSchG, Biokraftstoffe iSd. BImSchG aus Biomasse iSd. BiomasseV³¹ in der jeweils geltenden Fassung erzeugt sein.

3. Untergesetzliche Definition – BiomasseV

Eine zentrale untergesetzliche Konkretisierung des Biomassebegriffs findet sich in der, ausweislich ihres Aufgabenbereichs für den Anwendungsbereich des EEG erlassenen³², BiomasseV. Diese geht grundsätzlich von einem weiten naturwissenschaftlichen Begriff aus³³, nennt aber auch eine nicht abschließende („insbesondere“³⁴) Positivliste³⁵ anerkannter Biomasse. Demgegenüber enthält § 3 BiomasseV eine abschließende (Negativ-) Liste nicht anerkannter Biomasse. Bereits der Ausschluss von Papier und Pappe³⁶ lässt erkennen, dass die Definition der vergütungsfähigen Biomasse der BiomasseV enger als die Biomassedefinition

²⁸ Stand Januar 2013.

²⁹ BT-Drs. 14/6059, S. 11.

³⁰ Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 734) geändert worden ist.

³¹ Biomasseverordnung vom 21. Juni 2001 (BGBl. I S. 1234), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 10 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.

³² Vgl. § 1 BiomasseV.

³³ § 1 Abs. 1 BiomasseV.

³⁴ § 1 Abs. 2 BiomasseV.

³⁵ P. Salje, EEG, 5. Aufl., § 27 Rn. 21.

³⁶ § 3 Nr. 5 BiomasseV.

der EERL³⁷ ist, d.h. die Menge der vergütungsfähigen Biomasse ist kleiner als die Menge der Biomasse. Hintergrund für diese einengende Definition ist, dass die Ausrichtung des EEG an Klimaschutz und Ressourcenschonung den Ausschluss solcher Materialien fordert, deren energetische Nutzung umweltpolitisch nicht bzw. nicht vorrangig erwünscht ist oder deren energetische Nutzung keiner zusätzlichen finanziellen Anreize bedarf³⁸.

IV. Überblick Energieträger

Betrachtet man die Menge der biogenen Energieträger lassen sich drei grobe Kategorien bilden. Dies sind Stoffe landwirtschaftlichen Ursprungs, forstwirtschaftlichen Ursprungs (beides sog. nachwachsende Rohstoffe) sowie Abfall- oder Nebenprodukte.

1. Biomasse landwirtschaftlichen Ursprungs

a. Energiepflanzen

Feldfrüchte können gezielt produziert werden, um die gesamte Pflanze einer energetischen Verwertung zuzuführen oder um aus ihr bzw. ihren Teilen Energieträger zu gewinnen. So werden kohlenhydratreiche Getreidepflanzen wie Mais direkt als gehäckselte Pflanze³⁹ als Biogassubstrat verwendet. Dazu werden die Pflanzen in feuchtem Medium und unter Sauerstoffabschluss vergoren und anschließend das Gas als Energieträger einer Verbrennung genutzt.

Ölfrüchte wie Raps bzw. deren fettreiche Früchte dienen als Ausgangsstoff⁴⁰ für flüssige Energieträger. Gleiches gilt für zuckerhaltige Rüben, die als Ausgangsstoff für die Ethanolherstellung Verwendung finden⁴¹.

Die Erzeugung derartiger Energiepflanzen ist als Teil der landwirtschaftlichen Produktion Regelungsobjekt verschiedener sektorspezifischer Normen.

b. Landwirtschaftliche Nebenprodukte

Neben den Energiepflanzen sind landwirtschaftliche Nebenprodukte biogene Energieträger. Als landwirtschaftliche Nebenprodukte gelten solche Pflanzenbestandteile, die bei der Ernte der Hauptprodukte anfallen, z.B. Stroh bei der Getreideernte. Im Rahmen von Vergütungs-

³⁷ A. Hirsch/N. Holzappel, Die Regelung der Grundvergütung für Strom aus Biomasse, in: H. Loibl/M. Maslanton/H. v. Bredow/R. Walter, Biogasanlagen im EEG, 2. Aufl., S. 13.

³⁸ BT-Drs. 14/6059, S. 8.

³⁹ vgl. § 2 Abs. 2 Nr. 1 BiomasseV.

⁴⁰ Vgl. § 2 Abs. 2 Nr. 2 BiomasseV.

⁴¹ V. Oschmann, in: T. Müller/ders./G. Wustlich, EEWärmeG, § 2 Rn. 34.

systemen können Einschränkungen vorgenommen werden. So bestimmt Anlage 3 Nr. 16 der BiomasseV, dass Stroh iSd. BiomasseV nur dann als Erntenebenprodukt gilt, wenn das Hauptprodukt nicht energetisch genutzt wird und eine Separierung von Korn und halmartigen Erntenebenprodukten erfolgt ist.

2. Biomasse forstwirtschaftlichen Ursprungs

Die Wälder sind seit langer Zeit Lieferanten von Holz als Energieträger. Dabei kann Holz in verschiedenen Arten zu Verfügung gestellt werden, bei denen die Nutzungskonkurrenzen unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Den Besonderheiten der langfristigen Waldhege wird im Bereich der forstrechtlichen Vorschriften Rechnung getragen.

a. Scheitholz

Eine seit langer Zeit etablierte Form Holz zu nutzen, ist es, Stamm- und Derbholz⁴² als grob zugeschnittene Holzstücke direkt zu verfeuern. Bis vor wenigen Jahren gab es eine europarechtlich beeinflusste gesetzliche Einteilung verschiedener Handelsklassen für Rohholz. Nachdem die maßgebliche Richtlinie⁴³ mit Ablauf des Jahres 2008 aufgehoben wurde⁴⁴, hat das BMELV die Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Rohholz⁴⁵ aufgehoben⁴⁶ und der Bund das zugrundeliegende Gesetz⁴⁷ gestrichen⁴⁸.

Insbesondere für Privathaushalte ist Scheitholz der wichtigste Energieträger, mehr als 2/3 des durch private Haushalte verfeuerten Holzes ist Scheitholz. Es handelt sich hierbei um größere Stücke gewachsenen Holzes, welches bei der Nutzung von Stammholz anfällt. Für seine Erzeugung ist ein möglichst großer Stammholzanteil an der Biomasse erforderlich, wie er sich in einer Anpflanzung mit kurzer Umtriebszeit ebenso wenig erzeugen lässt wie im Rahmen von Durchforstungsmaßnahmen. Vielmehr wird Scheitholz nahezu ausschließlich aus Hochwäldern gewonnen. Damit werden zu seiner Erzeugung die gleichen Baumteile wie beim Industrieholz genutzt. Scheitholz ist neben Hackschnitzeln als Regelungsbeispiel für

⁴² D.h. die dickeren Astpartien.

⁴³ Richtlinie 68/89/EWG des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für die Sortierung von Rohholz.

⁴⁴ Art. 1 der ENTSCHEIDUNG Nr. 714/2007/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 20. Juni 2007.

⁴⁵ Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Rohholz (HdKIHolzV) vom 31.07.1969 BGBl. I S. 1075.

⁴⁶ Verordnung zur Aufhebung der Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Rohholz vom 15.12.2008, BGBl. I S. 2757.

⁴⁷ Gesetz über gesetzliche Handelsklassen für Rohholz (HdKIHolzG) vom 25.02. 1969 BGBl. I S. 149.

⁴⁸ Art. 86 Gesetz über die weitere Bereinigung des Bundesrechts vom 8. Dezember 2010, BGBl. I, S. 1864.

naturbelassenes, stückiges Holz gem. § 3 Abs. 1 Nr. 4 der 1. BImSchV⁴⁹ einer der in nach § 4 BImSchG genehmigungsfreien Feuerungsanlagen zulässigen Brennstoffe.

b. Hackholz

Hackholz ist ausschließlich mechanischer Verarbeitung ausgesetzt und daher naturbelassenes Holz iSv. § 2 Nr. 9 1. BImSchV. Zu seiner Bereitstellung werden Baumteile verwendet, die für eine Stammholzverwertung nicht geeignet sind. Davon sind sowohl Ast und Wurzelteile als auch bei Durchforstungsmaßnahmen anfallende holzartige Biomasse umfasst. Hackholz ist neben Scheitholz als Regelungsbeispiel für naturbelassenes, stückiges Holz gem. § 3 Abs. 1 Nr. 4 der 1. BImSchV einer der in nach § 4 BImSchG genehmigungsfreien Feuerungsanlagen zulässigen Brennstoffe. Als solcher bilden Hackschnitzel in Anlagen bis 5 MW mehr als 75 Prozent des eingesetzten Brennmaterials, in größeren Anlagen noch rund 50 Prozent. Die Erzeugung geschieht weniger unter Nutzung von Stammholz als vielmehr durch Zerkleinerung der nicht im Rahmen der Stammholzverwertung nutzbaren Baumteile. Wie sich eine daraus resultierende Vollbaumnutzung auf den Naturhaushalt, etwa auf die dem Wald entzogenen Nährstoffe auswirkt, ist stark von den verwendeten Baumarten abhängig⁵⁰.

c. Waldrestholz

Unter Waldrestholz versteht man insbesondere jene holzartigen Baumbestandteile, die bei der Bereitstellung von Stammholz anfallen. Dies umfasst vor allem die Äste der Krone sowie die Rinde. Gem. Anl. 2 Nr. 25 der BiomasseV gelten Kronenderbholz, das X-Holz, das zwar bearbeitet wird, jedoch keiner abnehmerorientierten Sortierung entspricht, sowie der oberirdische Bestandteil des Stockholzes, einschließlich Rinde als Waldrestholz iSd. BiomasseV⁵¹.

3. Abfälle- oder Nebenprodukte

Neben der gezielten Erzeugung und Produktion von Biomasse zur energetischen Verwertung können auch Rest- und Abfallstoffe zur Energiebereitstellung genutzt werden. Gerade diese Stoffe zeichnen sich durch ein erhebliches Klimaschutzpotential aus⁵². Zudem besteht bei Abfallstoffen ein deutlich geringeres Problem von Nutzungskonkurrenzen. Die Bereitstellung von Abfällen unterliegt vielfältigen Regelungen. Ähnlich wie in den oben aufgeführten Berei-

⁴⁹ Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen vom 26. Januar 2010, BGBl. I S. 38.

⁵⁰ H. Spellmann, BT AfUNR Prot. 17/60 S. 11.

⁵¹ Ihr Energieertrag wird mit 19 GJ pro Tonne Trockenmasse festgesetzt.

⁵² Umweltbundesamt, Energie aus Abfall – Nutzung der Potentiale in Deutschland und Europa, 2006, S. 4 f.; G. Dehoust et al., Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale, 2005, S. 31 ff.

chen lassen sich auch unter den Abfallstoffen aus energetischer Sicht wichtige Stoffe und Stoffgruppen identifizieren.

a. Holzabfälle

Altholz bildet mengenmäßig einen großen Anteil der Abfallbiomasse⁵³ und wird seit langem als Brennstoff verwendet. Hinsichtlich ihrer Heizwerte aber auch ihrer Umweltverträglichkeit unterscheiden sich verschiedene Altholzarten erheblich. Bevor die einschlägigen Regelungen betrachtet werden können, soll daher zu Beginn eine Einführung in die verwendeten Begriffe stehen.

Als Sägeholz bezeichnet man die hochwertigen und durchmesserstarken Stammholzanteile, aber auch größere Astteile von Bäumen. Diese massiven Teile eignen sich, um in Sägewerken zu größeren Holzteilen wie Balken und Bretter verarbeitet zu werden. Für die stoffliche Verwertung wurden in den letzten Jahrzehnten nahezu konstant 30 Mio. Festmeter (Fm) produziert, davon 27 Mio. Fm Nadelschnitt⁵⁴. Der Umfang der zukünftigen Nutzung dieser Holzbestandteile wirkt sich limitierend auf die nachhaltig für die energetische Verwertung zur Verfügung stehenden Holzanteile aus, da eine Kaskadennutzung, also eine primär stoffliche Nutzung vorzugswürdig ist. Für die energetische Nutzung fällt bei der Verarbeitung von Sägeholz Restholz⁵⁵ an, dieses wird mittlereis zu einem sehr großen Anteil bereits am Ort des Sägewerks in Biomasse-BHKW verwertet.

Auch Industrieholz wird stofflich verwertet. Es handelt sich hierbei um das Stamm- und Derbholz der Baumteile, die nicht für die Sägewerke geeignet ist⁵⁶. Umfasst wird danach etwa auch Rinde und damit besonders Teile, die sich für eine Weiterverarbeitung etwa zu Papier eignen. Für die energetische Nutzung fällt bei der Verarbeitung von Industrieholz Industrierestholz an.

b. Biogene (Haushalts-)Abfälle

Zur energetisch verwertbaren Biomasse gehören auch die in Haushalten und Industrie anfallenden⁵⁷ sog. Bioabfälle. § 2 Abs. 2 Nr. 4 BiomasseV verweist für die Bestimmung von Bioabfällen auf § 2 Nr. 1 BioAbfV⁵⁸. Danach sind Bioabfälle solche Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft oder aus Pilzmaterialien zur Verwertung, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können, einschließlich Abfälle zur Ver-

⁵³ Vgl. § 2 Abs. 2 Nr. 3 BiomasseV.

⁵⁴ H. Spellmann, BT AfUNR Prot. 17/60 S. 30.

⁵⁵ Vgl. Anhang 1 Nr. 56 BiomasseV.

⁵⁶ Landesforsten Rheinland-Pfalz, Holzarten, abrufbar unter <http://www.wald-rlp.de/index.php?id=1916> (25.04.2013).

⁵⁷ BT-Drs. 16/8148, S. 39.

⁵⁸ Bioabfallverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 4. April 2013 (BGBl. I S. 658).

wertung mit hohem organischen Anteil tierischer oder pflanzlicher Herkunft oder an Pilzmaterialien und Bioabfälle, wenn sie nicht auf forstlichen- oder landwirtschaftlichen Flächen anfallen.

c. Landschaftspflegematerial

Zu einer weiteren Kategorie von Biomasse gehört solche, die weder im Rahmen der klassischen Land- und Forstwirtschaft noch in Haushalten oder der Industrie anfällt. Bei Landschaftspflegematerial handelt es sich um Biomasse, die im Rahmen einer Instandhaltung bzw. Durchführung von Verkehrssicherungspflichten anfällt. Diese Biomasse wird also, anders als Energiepflanzen oder klassische forstwirtschaftliche Produkte, nicht gezielt produziert. Im Rahmen der BiomasseV gelten gem. Anlage 3 Nr. 5 BiomasseV alle Materialien, die bei Maßnahmen anfallen, die vorrangig und überwiegend den Zielen des Naturschutzes und der Landschaftspflege iSd. BNatSchG dienen und nicht gezielt angebaut wurden als Landschaftspflegematerial. Solches Material kann etwa aus besonders geschützten Natur- und Landschaftsteilen stammen. Hier fordert regelmäßig der Vertragsnaturschutz eine zurückhaltende Pflege.

Weiterhin fällt Grünschnitt und Durchforstungsmaterial von Gewässer⁵⁹ und Straßenrandstreifen⁶⁰ in diesen Bereich. Auch in diesen letztgenannten Streifen steht nicht die Bereitstellung von Energieträgern, sondern der Schutz der Funktion der Wasserwege bzw. des Straßenverkehrs im Vordergrund.

B. Energetische Biomassenutzung

Nach der näheren Bestimmung des für diese Untersuchung verwendeten Biomassebegriffs soll im Folgenden näher betrachtet werden, was in Erweiterung des Begriffes unter energetischer Biomassenutzung zu verstehen ist. Dafür wird zunächst allgemein auf die energetische Biomassenutzung eingegangen (I.), die energetische Nutzungsart zu anderen – teilweise in Konkurrenz um die Verwertung nachwachsender Rohstoffe stehenden - Formen abgegrenzt (II.), um anschließend die vielfältigen Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Biomasse im Einzelnen darzulegen (III.). Am Ende dieses Abschnittes werden die geltenden europäischen und nationalen politischen Ziele, Strategien und Maßnahmenkataloge vorgestellt (IV.).

⁵⁹ Vgl. § 38 WHG.

⁶⁰ Vgl. § 28 HessStrG.

I. Energetische Biomassenutzung im Allgemeinen

Ordnet man die energetische Nutzung von Biomasse in die Systematik der regenerativen Energieformen ein, stellt diese neben der Deponie- und Klärgasnutzung eine weitere Form der indirekten Nutzung von in biochemischen Bindungen von Pflanzen gespeicherter Energie dar⁶¹. Biomasse ist chemisch gespeicherte Sonnenenergie⁶².

Die Ziele der energetischen Biomassenutzung sind sehr unterschiedlich⁶³ und werden in der Literatur zum Teil durchaus ungleich gewichtet. Nach einheitlicher Auffassung hat der Klimaschutz durch die Substitution von Kohle und der dadurch bedingten CO₂-Reduktion eine hohe Priorität⁶⁴. Dagegen werden dem Zugang zu Energie und Versorgungssicherheit sowie der Entwicklung des ländlichen Raums nur teilweise Bedeutung zugemessen⁶⁵.

Biomasse, auch als Bioenergie bezeichnet, stellt unabhängig von den differierenden Meinungen zu den Zielen unter anderem wegen seiner universellen Verwendbarkeit⁶⁶ eine wichtige Option bei der Bereitstellung erneuerbarer Energien zur Energieversorgung dar. Biomasse kann sowohl zur Strom-, Wärme⁶⁷- als auch Kraftstoffbereitstellung genutzt werden⁶⁸, wobei am Ende der Prozessketten stets die Verbrennung (Oxidation)⁶⁹ steht, sei es in Feuerungen, Motoren, Turbinen usw.⁷⁰. Biomasse bzw. nachwachsende Rohstoffe sind daher in Abgrenzung zu den anderen Formen erneuerbarer Energien geeignet, in allen drei Nut-

⁶¹ M. Schäferhoff, in: J. Reshöft (Hrsg.), EEG, 3. Aufl., § 27 Rn. 11.

⁶² P. Quicker, in: W. Frenz/H.-J. Muggenborg, EEG, 2. Aufl., Vor. § 27 Rn. 1.; Nach *Kaltschmitt* handelt es sich bei Biomasse um den am vielfältigsten einsetzbaren regenerativen Energieträger, vgl. *M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer*, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 18.

⁶³ A. Hinsch, Rechtliche Probleme der Energiegewinnung aus Biomasse, ZUR 2007, 401 (401).

⁶⁴ D. Thrän, Potenziale, CO₂-Bilanzen und Anwendungsbereiche, in: H. Schulze-Fielitz/T. Müller, Klimaschutz durch Bioenergie, S. 9 (11); Sachverständigenrat für Umweltfragen, Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten 2007, S. 79, abrufbar unter:

http://www.umweltrat.de/cae/servlet/contentblob/467474/publicationFile/34339/2007%20SG_Biomasse_%20Buch.pdf (25.04.2013); P. Kempf/H. Schmidt, Erneuerbare Energien, 2011, S. 108.

⁶⁵ Bejahend bzgl. Versorgungssicherheit und Entwicklung des ländlichen Raums: D. Thrän, Potenziale, CO₂-Bilanzen und Anwendungsbereiche, in: H. Schulze-Fielitz/T. Müller, Klimaschutz durch Bioenergie, S. 9 (11); ablehnend: Sachverständigenrat für Umweltfragen, Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten 2007, S. 79; bzgl. Stärkung des ländlichen Raums bejahend: Agentur für Erneuerbare Energien, Globale Bioenergienutzung – Potentiale und Nutzungspfade, 2009, S. 22; P. Kempf/H. Schmidt, Erneuerbare Energien, 2011, S. 108.

⁶⁶ WBGU Hauptgutachten 2008 Welt im Wandel, Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung, S. 158, abrufbar unter: http://www.bmbf.de/pubRD/wbgu_jg2008.pdf (25.04.2013).

⁶⁷ Wenn hier von Wärme gesprochen wird, ist immer zugleich Kälte gemeint, die bspw. durch Absorptionskälteanlagen aus der Wärme erzeugt werden kann.

⁶⁸ Vgl. D. Thrän/M. Edel/J. Pfeifer/J. Ponitka/M. Rode/S. Knispel, Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der Biomassenutzung, S. 3.

⁶⁹ Der Sachverständigenrat für Umweltfragen definiert mit weiteren Nachweisen die Verbrennung als Oxidation eines Brennstoffes unter Energiefreisetzung, vgl. Sachverständigenrat für Umweltfragen, Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten 2007, S. 23.

⁷⁰ Sachverständigenrat für Umweltfragen, Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten 2007, S. 19.

zungspfaden des End- und Nutzenergieverbrauchs⁷¹ (Strom, Wärme, Mobilität) unmittelbar hinsichtlich der Bereitstellung von Wärme und bei Einsatz in Kraftwerken und KWK-Anlagen von elektrischer Energie sowie nach physikalisch-chemischen Konversionsprozessen mit eher geringem Aufwand als Kraftstoff für Mobilität einsetzbar. In den letzten Jahren vermehrt hinzugekommen ist zudem die biochemische Konversion von Biomasse zu Biogas. Dagegen können die anderen Energieformen jeweils nur eine Form von Nutzenergie direkt bereitstellen. Solare Strahlungsenergie, Windenergie und Wasserkraft liefern unmittelbar (nur) elektrische Energie. Geothermie stellt (nur) (Erd-) Wärme bereit. Für diese bedarf es – unter Verlust von Wirkungsgrad und Verursachung zusätzlichen Kosten – der vorherigen Konversion, um in einem anderen Nutzungspfad eingesetzt werden zu können.

Weitere Vorteile der energetischen Biomassenutzung im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Energien liegen in der Lagerfähigkeit⁷² der Biomasse vor der Konversion oder der energetischen Nutzung, der ohne zusätzlichen technischen Aufwand möglichen Speicherbarkeit⁷³ der aus der ursprünglichen Biomasse hergestellten sekundären (gasförmigen und flüssigen) Energieträgern wie Biodiesel, Ethanol oder Biogas und der Option, dass die hergestellten Sekundärenergieträger in flüssiger oder in gasförmiger Form aus dezentralen Erzeugungsanlagen relativ gut zu transportieren sind⁷⁴, indem bspw. die vorhandene Gasnetzinfrastruktur nach Aufbereitung des Rohbiogases zu Biomethan als Transportweg genutzt werden kann. Biomasse ist daher bei der Stromerzeugung hochflexibel und gut steuerbar. Ferner teilt Biomasse viele Merkmale mit fossilen Energieträgern und ist daher geeignet, diese einfacher zu substituieren⁷⁵.

Nachteilig im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Energien ist, betrachtet man die gesamte Prozesskette der Biomassenutzung, hingegen der größere Flächenbedarf in der Bereitstellungsstufe des Anbaus der Biomasse, der negative Folgen für die Umwelt bedeuten kann⁷⁶. Der Flächenbedarf für Windenergie- und Photovoltaikanlagen ist demgegenüber deutlich geringer. Der Flächenbedarf für die Erzeugung von 1 GWh Endenergie beträgt bspw.

⁷¹ Unter Endenergie wird die Energieform verstanden, die der Endverbraucher bezieht (bspw. Heizöl, Holzhackschnittel oder Fernwärme). Als Nutzenergie wird die Energie bezeichnet, die nach der letzten Umwandlung in den Geräten des Verbrauchers - vermindert um die Verluste der Umwandlung - zur Verfügung steht. Vgl. *M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer* (Hrsg.), *Energie aus Biomasse*, 2. Aufl., S. 8 f.

⁷² *M. Kaltschmitt/D. Merten/N. Fröhlich/M. Nill*, *Energiegewinnung aus Biomasse*, WBGU 2003, S. 50, abrufbar unter:
http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2003/wbgu_jg2003_ex04.pdf (25.04.2013).

⁷³ *WBGU Hauptgutachten 2008 Welt im Wandel, Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung*, S. 158.

⁷⁴ *M. Kaltschmitt/D. Merten/N. Fröhlich/M. Nill*, *Energiegewinnung aus Biomasse*, S. 50.

⁷⁵ *M. Kaltschmitt/D. Merten/N. Fröhlich/M. Nill*, *Energiegewinnung aus Biomasse*, S. 50.

⁷⁶ *G. Ludwig*, *Klimaschutz durch Biomassenutzung – Nachhaltigkeitserfordernisse gemäß der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie der EU*, in: *W. Köck/K. Faßbender* (Hrsg.), *Klimaschutz durch Erneuerbare Energien*, S. 65 (67).

bei Photovoltaik 4,4 ha, bei Windenergie 5,7 ha und bei Biomasse deutlich höhere 102,0 ha⁷⁷. Dabei ist zudem zu berücksichtigen, dass Photovoltaikanlagen durch § 32 EEG 2012 ohnehin nur noch in Form von Anlagen an, in oder auf Gebäuden, Lärmschutzwänden, sonstigen baulichen Anlagen und auf Konversionsflächen gefördert werden, sodass künftig kaum zusätzlicher Flächenverbrauch stattfinden wird.

In diesem Zusammenhang zu nennen ist ferner die Konkurrenz zu Flächen für den Anbau von Nahrungs- und Futtermittel und die Umweltfolgen durch Intensivierung des Anbaus von Biomasse in Forst- und Landwirtschaft, was gemeinhin bspw. erhöhte Stoffeinträge in die Umweltmedien Wasser und Boden verursacht⁷⁸. Hinzu kommen mögliche Bodenerosionen, Verengungen der Fruchtfolgen, Verluste der Humusbilanz und unter Umständen, aus Gründen der Ertragserhöhung, der vermehrte Einsatz von gentechnisch veränderten Organismen⁷⁹.

Besonders hervorzuheben ist aus den zuerst genannten Vorteilen die zu erwartende Bedeutung der energetischen Biomassenutzung als Beitrag zur Markt- und Netzintegration der sonstigen erneuerbaren Energien bezogen auf die Stromerzeugung im Vergleich zu den fluktuierenden Einspeisungen aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen. Diese können als darbotsabhängige Kapazitäten nur dann Endenergie in Form von elektrischer Energie bereitstellen, wenn der Wind weht bzw. die Sonne scheint. Solange die Speicherbarkeit von elektrischer Energie und die zwischenzeitliche Konversion in andere Energieträger wie Wasserstoffgas oder Methan nur in geringerem Maße oder zu unwirtschaftlichen Kosten durchführbar sind, ist Biomasse im Stromsektor sowohl grundlast- als auch regellastfähig. Stromerzeugung aus Biomasse unterliegt keinen zeitlichen oder räumlichen Verfügbarkeitsrestriktionen⁸⁰. Bei ungeplanter Reduzierung der Stromnachfrage kann die Erzeugung unter Einsparung von Brennstoffen gedrosselt und nachfrageorientiert sofort wieder angefahren werden⁸¹. Besteht kein Regelungsbedarf, kann die Stromerzeugung stetig und grundlastartig erfolgen⁸².

⁷⁷ *Bosch & Partner/ J. Peters/IE Leipzig/RA Bohl & Coll.*, Bericht: Flächenbedarfe und kulturnaturlandschaftliche Auswirkungen regenerativer Energien am Beispiel der Region Uckermark-Barnim, Peters et. al., 2006, S. 19, abrufbar unter: <http://www.ra-bohl.de/Endbericht.pdf> (25.04.2013). Andersherum kann je nach Standort aus einem km² Fläche Biomasse bis zu 2 GWh Elektrizität p.a., aus Windenergie 50-70 GWh/ km²/ a und aus Photovoltaik im Mittelmeerraum 150-250 GWh/ km²/ a erzeugt werden, vgl. *F. Trieb*, DLR, Auf die Verteilung kommt es an, DLR Nachrichten Nr. 120, S. 10 (12).

⁷⁸ *P. Kempf/H. Schmidt*, Erneuerbare Energien, S. 108.

⁷⁹ *G. Ludwig*, Klimaschutz durch Biomassenutzung – Nachhaltigkeitserfordernisse gemäß der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie der EU, in *W. Köck/K. Faßbender* (Hrsg.), Klimaschutz durch Erneuerbare Energien, S. 65 (67).

⁸⁰ *M. Kaltschmitt/H. Hartmann*, in: dies. (Hrsg.), Biomasse als erneuerbarer Energieträger, S. 250.

⁸¹ *U. Brunner/M. Münz*, Beifeuerung fester Biomasse – die verkannte Option, et, Heft 7 2012, S. 51 (53).

⁸² *U. Brunner/M. Münz*, Beifeuerung fester Biomasse – die verkannte Option, et, Heft 7 2012, S. 51 (53).

Ferner entlastet die Stromerzeugung aus Biomasse unter zwei Gesichtspunkten die Stromnetze. Zum einen dadurch, soweit der Strom dezentral ohne Transporterforderlichkeit vor Ort abgenommen und verbraucht werden kann. Zum anderen, wenn das dezentral erzeugte Rohbiogas nicht vor Ort verstromt und der erzeugte Strom in Stromnetz eingespeist wird, sondern das Rohbiogas zu Biomethan aufbereitet und nach Durchleitung durch das Erdgasnetz an anderer Stelle bedarfsgerecht in einem Generator zur Stromerzeugung eingesetzt wird⁸³. Das deutsche Erdgasnetz bietet im Unterschied zu den Stromnetzen noch ausreichend Kapazitäten zur Zwischenspeicherung und zum Transport von Biomethan⁸⁴.

II. Abgrenzung zu anderen Nutzungsarten

Die energetische Nutzung ist gegenüber den beiden anderen Nutzungsarten abzugrenzen, nämlich der stofflichen Nutzung von Biomasse und der Nutzung als Nahrungs- und Futtermittel. Die beiden erstgenannten Nutzungspfade stehen grundsätzlich in Konkurrenz⁸⁵, da sie im weitesten Sinne auf die gleichen Rohstoffe zurückgreifen⁸⁶. Ausnahmen bilden bestimmte Reststoffe, Abfälle und Nebenprodukte, die ausschließlich energetisch verwertet werden⁸⁷. Für den Teilbereich der Rohstoffe aus landwirtschaftlicher Produktion besteht zudem eine Nutzungskonkurrenz zur Verwendung als Nahrungs- und Futtermittel. Grenz man die beiden erstgenannten Nutzungsarten voneinander ab, dient die energetische Nutzung der bereits dargelegten Bereitstellung von Endenergie in Form von elektrischer Energie, Wärme und Kraftstoffen. Bei der stofflichen Nutzung dient die Biomasse hingegen als Rohstoff für die (industrielle) Produktion von Gütern jeglicher Art⁸⁸.

Wie auch bei der energetischen Nutzung gibt es bei der stofflichen Nutzung der Biomasse eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten, an der verschiedenste Industriezweige beteiligt sind. Dazu gehören die Holzverarbeitende Industrie, Bau- und Dämmstoffindustrie, Textilindustrie,

⁸³ So auch: W. Lehnert/K. Rehfeldt/J. Diekmann/L. Hofmann, Flexible Stromproduktion aus Biogas und Biomethan, Bericht zum Projekt „Weiterentwicklung und wissenschaftliche Begleitung der Umsetzung des Integrations-Bonus nach § 64 Abs. 1.6 EEG“, S. 3, abrufbar unter http://www.iwes.fraunhofer.de/de/publikationen/uebersicht/2011/flexible_stromproduktionausbiogasundbiomethan/_jcr_content/pressrelease/linklistPar/download/file.res/Flexible%20Stromproduktion%20aus%20Biogas%20und%20Biomethan.pdf (25.04.2013).

⁸⁴ Vgl. bezogen auf Wasserstoffgas: O. Antoni/P. Birkner, Fragen zur Power to Gas Technologie, gwf-Gas 2013, Heft 1, S. 4.

⁸⁵ BMELV und BMU, Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland, S. 7, abrufbar unter: http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/BiomasseaktionsplanNational.pdf?__blob=publicationFile (25.04.2013).

⁸⁶ Sachverständigenrat für Umweltfragen, Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten 2007, S. 19.

⁸⁷ Vgl. BMELV und BMU, Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland, S. 19.

⁸⁸ M. Carus/A. Raschka/S. Piotrowski, Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland (Kurzfassung), nova-Institut, S. 10, abrufbar unter: www.nova-institut.de/download/Studie_Stofflich_Material (25.04.2013).

Papierindustrie und die chemische Industrie⁸⁹. Als stoffliche Nutzungsarten kommen nicht abschließend Kosmetika, Waschmittel, Kunststoffe, Farben und Lacke, Verpackungen, Bauholz oder Gewürze in Frage⁹⁰.

Trotz der unterschiedlichen Nutzungspfade gibt es Gemeinsamkeiten zwischen den Nutzungsformen. Für alle gelten grundsätzlich die gleichen Umwelanforderungen in Form der guten fachlichen Praxis, des Düngemittel- und des Pflanzenschutzrechts⁹¹. Für die energetische und stoffliche Nutzung sind zudem die realisierbaren Flächenpotentiale in der Bundesrepublik Deutschland in etwa gleich groß. Dies liegt darin begründet, dass lediglich die zur Verfügung stehende Fläche dafür maßgeblich ist und nicht theoretische Nachfragepotentiale⁹². Zudem dürfte beiden Nutzungsarten ein hohes Innovationspotential im Hinblick auf neue Technologien und neue Produkte innewohnen⁹³.

Nicht verschwiegen werden sollen die Vorteile der stofflichen gegenüber der energetischen Nutzung von Biomasse. Zuerst wird der stofflichen Nutzungsart in ökonomischer Hinsicht allgemein zugestanden, makroökonomisch⁹⁴ wie auch mikroökonomisch eine höhere Wertschöpfung zu erzielen, was vornehmlich in der Möglichkeit zur mehrfachen stofflichen Nutzung (stoffliche Kaskadennutzung) und der meist größeren Verarbeitungstiefe begründet liegt⁹⁵. Ferner trägt die stoffliche Nutzung zur Importunabhängigkeit bei Rohstoffen bei⁹⁶ und eine (vorherige) stoffliche Nutzung schließt die energetische Nutzung am Ende der Prozessketten nicht aus, sodass Biomasse für die energetische Nutzung nicht „verloren geht“ (übergreifende Kaskadennutzung)⁹⁷. Ökologische Vorteile der stofflichen Nutzung ergeben sich aus Gründen des Klima- und Ressourcenschutzes, da mehrfache stoffliche (und ggf. erst anschließende energetische) Nutzung deutliche höhere CO₂-Einsparungen erzielt und vorhandene begrenzte Ressourcen nachhaltig nutzt⁹⁸. Vorzugswürdig ist in jedem Fall die nut-

⁸⁹ Sachverständigenrat für Umweltfragen, Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten 2007, S. 14.

⁹⁰ Vgl. Auflistung bei: Sachverständigenrat für Umweltfragen, Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten 2007, S. 19.

⁹¹ BMELV und BMU, Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland, S. 13.

⁹² M. Carus/A. Raschka/S. Piotrowski, Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland (Kurzfassung), nova-Institut, S. 18.

⁹³ In Bezug auf die stoffliche Nutzung bejahend: BMELV, Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, S. 6, abrufbar unter:

http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/AktionsplanNaWaRo.pdf?__blob=publicationFile (25.04.2013). Für das Innovationspotential der energetischen Biomassenutzung spricht bspw. das BMU-

Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“, Einzelheiten sind abrufbar unter:

<http://www.energetische-biomassenutzung.de/de/vernetzung/foerderprogramme.html> (25.04.2013).

⁹⁴ M. Carus/A. Raschka/S. Piotrowski, Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland (Kurzfassung), nova-Institut, S. 18.

⁹⁵ BMELV, Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, 2009, S. 11.

⁹⁶ Entschließung des Deutschen Bundestages, BT-Drs. 16/9757, S. 2.

⁹⁷ M. Carus/A. Raschka/S. Piotrowski, Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland (Kurzfassung), nova-Institut, S. 18.

⁹⁸ BMELV und BMU, Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland, S. 14.

zungsartübergreifende, effiziente Kaskadennutzung, an deren Ende erst – nach möglichst ausschöpfenden stofflichen Nutzungen – die energetische Nutzung steht⁹⁹. Dies steht im Übrigen im Einklang mit den 2012 neugefassten nationalen abfallrechtlichen Regelungen, wonach die energetische Verwertung von Abfällen nachrangig zur stofflichen Verwertung bzw. Recycling von Abfällen ist, vgl. § 6 Abs. 1 KrWG¹⁰⁰.

Zusammenfassen kann man den Vergleich der energetischen zur stofflichen Nutzung aus ökonomischer, technischer und ökologischer Sicht wie folgt¹⁰¹:

Kriterium	Energetische Nutzung	Stoffliche Nutzung
Beschäftigung und Wertschöpfung je Stoffstrom bzw. Hektar	Kurze, einfache Wertschöpfungsketten (WSK)	Beschäftigung ca. um den Faktor 5-10 und Umsatz ca. um den Faktor 4-9 höher verglichen mit energetischer Nutzung; überwiegend lange, komplexe WSK
Biodiversität	Nur wenige große Kulturen wie Weizen, Raps, Mais und Zuckerrüben, hoher Nährstoff- und Pflanzenschutzbedarf, Risiko von Monokulturen	Auf über 10 Prozent der Anbaufläche viele verschiedene Nischenkulturen mit geringem Nährstoff- und Pflanzenschutzbedarf; kein Unterschied im Fall von großen Kulturen
CO ₂ -/THG-Reduktion pro ha	Signifikante Reduktion verglichen mit fossiler Energie	Oft höhere Reduktion verglichen mit energetischer Nutzung; langfristige CO ₂ -Bindung
Nutzungskaskaden	Keine Nutzungskaskaden	Mehrfache stoffliche und abschließend energetische Nutzung möglich
Zukünftige Bedeutung	Gering – viele Alternativen (Solar, Wind)	Hoch – keine Alternativen!
Märkte	Hoch regulierte, standardisierte Produkte (außer Biokraftstoffe: lokale Märkte)	Vielfältige Produkte, unregulierte Märkte, globaler Wettbewerb

Tab. 1: Quelle: *M. Carus/A. Raschka/S. Piotrowski*, Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland (Kurzfassung), nova-Institut, S. 20, Tabelle IV: Umfassender Vergleich zwischen der stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, verändert.

⁹⁹ Oder wie es *Carus* ausdrückt: „Erst stofflich, dann energetisch nutzen – verbrennen kann man nur einmal!“, vgl. *M. Carus/A. Raschka/S. Piotrowski*, Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland (Kurzfassung), nova-Institut, S. 20.

¹⁰⁰ Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das durch Artikel 3 des Gesetzes vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 734) geändert worden ist. Die bisherige Rechtslage, wonach stoffliche und energetische Verwertung grundsätzlich gleichrangig waren, ist durch die Neufassung aufgrund der Abfallrahmenrichtlinie (RL 2008/98/EG) aufgegeben worden, vgl. *L.-A. Versteyl*, in: *ders./T. Mann/T. Schomerus*, Kommentar zum KrWG, 3. Aufl. 2012, § 6 Rn. 17.

¹⁰¹ *M. Carus/A. Raschka/S. Piotrowski*, Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland (Kurzfassung), nova-Institut, S. 24.

III. Energetische Nutzungsarten

In der Wertschöpfungskette der energetischen Biomassenutzung im weiteren Sinne ist es zunächst erforderlich, die energetische Nutzung im engeren Sinne einzuordnen, da sich die drei Nutzungspfade (Strom, Wärme, Kraftstoffe) wiederum in eine Vielzahl von Teilprozessen aufgliedern. Zu den Vorstufen der energetischen Nutzung im engeren Sinne gehören die Biomasseproduktion, welche im Arbeitspaket 2 behandelt wird, die Biomassebereitstellung und die – mit Ausnahme bei der direkten Verbrennung von biogenen Festbrennstoffen – vorgeschalteten Konversionsprozesse¹⁰². Als vierter Schritt steht die eigentliche energetische Nutzung, die Gegenstand der Arbeitspakete 3 und 4 und ein Schwerpunkt dieses Vorhabens ist. Daran schließt sich als letztes Element der Prozesskette die Verwertung und Entsorgung der anfallenden Rückstände und/oder Abfälle an¹⁰³. Im Folgenden wird insbesondere auf die Wertschöpfungsstufe der energetischen Biomassenutzung im engeren Sinne eingegangen.

Wie bei der bereits dargestellten stofflichen Nutzung ist die energetische Nutzung von Biomasse – mit anderen Nutzungspfaden – ebenso vielfältig. Ausgehend von den drei eingesetzten biogenen Brennstoffen zur End- oder Nutzenergiebereitstellung (biogene Festbrennstoffe, gasförmige und flüssige Biomasse) ergibt sich eine Vielzahl von Anwendungsgebieten.

1. Biogene Festbrennstoffe

Die biogenen Festbrennstoffe bilden sowohl national den Schwerpunkt des Einsatzes von Bioenergieträgern¹⁰⁴ als auch in den Entwicklungsländern, wo die Verbrennung fester Biomasse den größten Anteil an der Wärmeerzeugung stellt¹⁰⁵. Die direkte thermo-chemische Umwandlung der festen Biomasse durch Verbrennung erfolgt wiederum in unterschiedlichen Anlagentypen und Anwendungsgebieten, die sich neben der Technologie (dazu mehr unter C.) in den eingesetzten Arten fester Biomasse, der erzeugten Form von End- und/oder Nutzenergie und erheblich in der Leistung unterscheiden.

In den kleineren Leistungsklassen für Wohnungen, Ein- und Zweifamilienhäuser kommen in der Regel handbeschickte (Einzel-)Feuerungsanlagen wie Kamine, Kachelöfen oder Speicheröfen¹⁰⁶ in der Leistungsklasse von ca. 1 bis 15 kW_{th} zum Einsatz, die lediglich Wärme als Nutzenergie bereitstellen. Als Biomasse wird hier vornehmlich Scheitholz eingesetzt. Ebenfalls

¹⁰² Zu den einzelnen thermochemischen, physikalisch-chemischen und biochemischen Konversionsformen vgl. im Einzelnen *M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer* (Hrsg.), *Energie aus Biomasse*, 2. Aufl., S. 333 - 791.

¹⁰³ Vgl. zu dieser Einteilung: *WBGU Hauptgutachten 2008 Welt im Wandel, Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung*, S. 158.

¹⁰⁴ *M. Kaltschmitt/D. Merten/N. Fröhlich/M. Nill*, *Energiegewinnung aus Biomasse*, S. 56.

¹⁰⁵ *WBGU Hauptgutachten 2008 Welt im Wandel, Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung*, S. 159.

¹⁰⁶ *M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer*, *Energie aus Biomasse*, 2. Aufl., S. 473.

im kleineren, aber auch bis mittleren und größeren, Leistungsbereich finden Pelletfeue-
rungsanlagen Anwendung, deren Zubau in den letzten zehn Jahren immens zugenommen
hat¹⁰⁷. Diese weisen als automatisch beschickte Einzelfeuerungsanlagen Leistungen zwischen
3 und 30 kW_{th} und als Zentralheizkessel zwischen 3 und 1.000 kW_{th} auf¹⁰⁸ und stellen eben-
falls Wärme als Nutzenergie bereit. Eingesetzt werden Pelletheizungen sowohl im Segment
der Ein- und Zweifamilienhäuser, als auch bei den Anlagen größerer Leistung in Mehrfamili-
enhäusern oder als Zentralheizkessel, bei dem sie von einem zentralen Heizraum aus mehre-
re Gebäude über ein Wärmenetz¹⁰⁹ mit Wärme versorgen¹¹⁰.

Im obersten Leistungssegment werden biogene Festbrennstoffe, neben unbehandelten
Resthölzern und Sägerestholz vor allem (Wald-)Hackgut und Holzhackschnitzel¹¹¹, in groß-
technischen Biomasseheizwerken zur Wärmebereitstellung, in Biomassekraftwerken zur
Stromerzeugung oder – wenn zugleich elektrische Energie (Kraft) und Wärme erzeugt wird –
in Biomasseheizkraftwerken eingesetzt. Daneben gibt es speziell ausgelegte Feuerungen
größerer Leistungen für den Einsatz von halmgutartigen Energieträgern, vornehmlich Stroh,
die jedoch bislang wenig Bedeutung erlangt haben.¹¹² Die Wärmeverteilung von Biomasse-
heiz(kraft-)werken erfolgt in Form von Heißwasser oder Dampf über ein Wärmenetz. Bio-
masse(heiz-)kraftwerke existieren im Leistungsbereich zwischen 300 kW_{el} und 20 MW_{el}¹¹³.
Die obere Leistungsgrenze von 20 MW_{el} ist normativ durch die Förderung des EEG bedingt,
wonach für Strom aus Biomasse der Anspruch auf Vergütung nur bis zu einer Anlagenlei-
stung von 20 MW_{el} besteht, vgl. § 27 Abs. 1 Nr. 4 EEG 2009. Unter Geltung des EEG 2004 galt
sogar das strikte Ausschließlichkeitsprinzip, wonach Anlagen mit einer elektrischen Wirkleis-

¹⁰⁷ Von rd. 3.000 Anlagen im Jahr 2000 auf rd. 180.000 im Jahr 2012 (prognostiziert), vgl.
<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/171886/umfrage/anzahl-der-pelletheizungen-in-deutschland>
(25.04.2013).

¹⁰⁸ J. Witt, Dezentrale Wärmeversorgung mit Pellets – Entwicklungsstand und Herausforderungen, Vortrag am
13.06.2012, Folie Nr. 4, abrufbar unter: http://www.bio-energie.de/fileadmin/bioenergie-beratung/sachsen/dateien/Vortraege/2012_06_13_Witt_Ueberblick_Pelletkessel.pdf (25.04.2013).

¹⁰⁹ Hier und im Folgenden wird der allgemeine Begriff Wärmenetz verwendet, da die Unterschiede zwischen
Nah- und Fernwärmenetzen trotz unterschiedlicher Dimensionierung fließend sind und bei ansonsten gleicher
technischer Funktionsweise keine einheitliche Definition existiert, bei welcher Länge und Rohrdurchmesser ein
Nahwärmenetz endet und ein Fernwärmenetz beginnt. Eine rechtliche Definition des Begriffes „Wärmenetz“
findet sich in § 3 Abs. 13 Satz 1 KWKG, wonach Wärmenetze Einrichtungen zur leitungsgebundenen Versorgung
mit Wärme sind, die eine horizontale Ausdehnung über die Grundstücksgrenze des Standorts der einspeisen-
den KWK-Anlage hinaus haben und an die als öffentliches Netz eine unbestimmte Anzahl von Abnehmenden
angeschlossen werden kann.

¹¹⁰ Vgl. J. Witt, Dezentrale Wärmeversorgung mit Pellets – Entwicklungsstand und Herausforderungen, Vortrag
am 13.06.2012, Folie Nr. 4.

¹¹¹ Vgl. M. Kaltschmitt/D. Merten/N. Fröhlich/M. Nill, Energiegewinnung aus Biomasse, S. 55.

¹¹² M. Kaltschmitt/D. Merten/N. Fröhlich/M. Nill, Energiegewinnung aus Biomasse, S. 55.

¹¹³ In Deutschland bestanden im Jahr 2011 rd. 1.200 Heiz(kraft-)werke mit einer Leistung > 500 kW_{th}, vgl. *Bun-
desverband BioEnergie e.V.*, abrufbar unter:
http://www.bioenergie.de/index.php?option=com_content&view=article&id=290&Itemid=6 (25.04.2013).

tung über 20 MW insgesamt von der Förderung ausgeschlossen waren¹¹⁴. Aus diesem Grunde wurden und werden keine Biomasse(heiz-)kraftwerke mit höherer elektrischer Leistung in Deutschland errichtet¹¹⁵.

Ein weiteres Anwendungsgebiet für biogene Festbrennstoffe ist die Kofeuerung oder Beifeuerung in Kraftwerken, die fossile Energieträger einsetzen. Dies kann in kleineren Feuerungsanlagen geschehen, die zur Wärmeversorgung genutzt werden und in Kohlekraftwerken, die neben Kohle als fossilem Brennstoff feste Biomasse in Form von Holz oder Stroh in der Mitverbrennung zur Strom- und/oder Wärmebereitstellung einsetzen¹¹⁶. Bei Kohlekraftwerken kommen dabei sowohl Heizkraftwerke im kleineren Leistungsbereich bis 100 MW_{el} als auch Kraftwerke mit installierten Leistungen von 500 bis 1.000 MW_{el} in Betracht¹¹⁷.

2. Gasförmige Biomasse

Beim zweiten Nutzungspfad wird gasförmige Biomasse als Sekundärenergieträger, im Wesentlichen Biogas, thermo-chemisch in elektrische Energie umgewandelt und ggf. im Wege der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) die dabei entstehende Abwärme genutzt. Daneben kann das Biogas nach Aufbereitung zu Biomethan als weitere Endenergieform als Fahrzeugkraftstoff für Erdgasfahrzeuge in Biogastankstellen bereitgestellt werden¹¹⁸. Die Produktion von Biogas hat sich, bedingt durch die Förderung vor allem des EEG¹¹⁹, seit dem Jahr 2000 und verstärkt durch die Novelle der Vergütungsregelungen des EEG im Jahr 2004¹²⁰ stetig erhöht. So waren im Jahr 2000 1.050 Biogasanlagen mit einer elektrischen Leistung von 65 MW und im Jahr 2012 (prognostiziert) 7.589 Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 3.179 MW installiert¹²¹.

Bei der energetischen Nutzung des in Biogasanlagen produzierten Biogases sind zwei grundsätzliche Nutzungspfade zu unterscheiden.

¹¹⁴ F. Ekdardt, in: W. Frenz/H.-J. Müggenborg, EEG, 2. Aufl., § 27 Rn. 30.

¹¹⁵ Vgl. Gesamtliste aller bestehenden deutschen Biomasse(heiz-)kraftwerke unter:

http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_deutscher_Kraftwerke (25.04.2013).

¹¹⁶ Vgl. WBGU Hauptgutachten 2008 Welt im Wandel, Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung, S. 158.

¹¹⁷ Vgl. hierzu und zu den Vorteilen sowie den Anforderungen an die vorherige Aufbereitung der biogenen Brennstoffe: M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 581 ff.

¹¹⁸ Für Pkw, Lkw und Busse, vgl. M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 917.

¹¹⁹ Daneben durch das Marktanzreizprogramm, vgl. Umweltbundesamt, spin Hintergrundpapier, Biogaserzeugung in Deutschland, 2010, S. 11, abrufbar unter: http://spin-project.eu/downloads/0_Hintergrundpapier_Biogas_D.pdf (25.04.2013).

¹²⁰ H.-U. Kruschinski, Biogasanlagen als Rechtsproblem, S. 20.

¹²¹ Fachverband Biogas e.V., Branchenzahlen 2011 und Prognose der Branchenentwicklung 2012/2013, Stand 11/2012, abrufbar unter: [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/12-11-29_Biogas%20Branchenzahlen%202011-2012-2013.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/12-11-29_Biogas%20Branchenzahlen%202011-2012-2013.pdf) (25.04.2013).

Die am weitesten verbreitete Anwendung¹²² ist die unmittelbare Verstromung des Biogases am Standort der Biogasanlage unter gleichzeitiger Nutzung der Abwärme durch KWK in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) mit Verbrennungsmotor (regionale Wertschöpfung). Dies erfolgt vor allem in BHKW der kleineren und mittleren Leistungsklasse zwischen 25 und 500 kW¹²³. Biogas hat dabei einen Heiz- bzw. Brennwert je nach Methangehalt zwischen 5,5 und 6,5 kWh/nm³¹²⁴. Für die direkte energetische Nutzung ist nach der Fermentation lediglich eine geringfügige Aufbereitung des Biogases durch Entschwefelung und Entfeuchtung notwendig¹²⁵.

Der im BHKW erzeugte Strom kann für den Prozess der Biogaserzeugung und/oder für sonstige betriebliche Zwecke genutzt werden oder grundsätzlich mit Anspruch auf die Einspeisevergütung nach EEG in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden¹²⁶. Sofern die Stromerzeugung in KWK erfolgt, kann die Abwärme vom Motor und von Abgasen betriebsintern als Prozesswärme oder zum Beheizen der Betriebsgebäude genutzt und/oder extern in einem Wärmenetz zur Versorgung naheliegender Gebäude verwendet werden¹²⁷. Im ländlichen Raum finden zunehmend sog. Energiegenossenschaften Verbreitung, bei denen sich kleinere Gemeinden oder sonstige Zusammenschlüsse von Bürgern organisieren, um gemeinsam eine Biogasanlage mit angeschlossenem BHKW oder ein Biomasseheizkraftwerk – bei Nutzung biogener Festbrennstoffe – zu betreiben, um damit eine autarke Versorgung der Beteiligten mit Wärme und ggf. elektrischer Energie zu erzielen¹²⁸.

Erfolgt keine Nutzung der Wärme, wird diese in die Umgebung abgegeben, was die energetische Biogasnutzung unwirtschaftlicher und ineffizienter macht und die CO₂-Bilanz verschlechtert¹²⁹. Die energetische Nutzung von Biogas in KWK ist folglich vorzugswürdig. Dennoch steht die Stromerzeugung derzeit noch im Vordergrund, da diese über Marktpreise durch das EEG gefördert wird und in ländlichen Regionen, in denen Biogasanlagen aufgrund

¹²² M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 916 P. Quicker, in: W. Frenz/H.-J. Müggenborg, EEG, 2. Aufl., Vor. § 27 Rn. 43.

¹²³ M. Kaltschmitt/D. Merten/N. Fröhlich/M. Nill, Energiegewinnung aus Biomasse, S. 58.

¹²⁴ Vgl. Sachverständigenrat für Umweltfragen, Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten 2007, S. 22. Im Vergleich dazu hat fossiles Erdgas einen Heiz- bzw. Brennwert je nach Gasbeschaffenheit von 8,6 bis 11,4 kWh/nm³.

¹²⁵ Umweltbundesamt, spin Hintergrundpapier, Biogaserzeugung in Deutschland, S. 5.

¹²⁶ Umweltbundesamt, spin Hintergrundpapier, Biogaserzeugung in Deutschland, S. 6.

¹²⁷ Umweltbundesamt, spin Hintergrundpapier, Biogaserzeugung in Deutschland, S. 6.

¹²⁸ In den Jahren 2005 bis 2011 ist die Anzahl der Energiegenossenschaften in Deutschland von 77 auf 586 angestiegen, vgl. <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/detailansicht/article/4/grafik-dossier-energiegenossenschaften-in-deutschland.html> (25.04.2013).

¹²⁹ Bundesnetzagentur, Biogas-Monitoringbericht 2012, S. 12, abrufbar unter: http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Presse/Berichte/2012/BioGasMonitoringbericht2012pdf.pdf?__blob=publicationFile (25.04.2013).

der dort vorhandenen Rohstoffe angesiedelt sind, häufig keine ausreichenden Wärmesenken zur Abnahme der ausgekoppelten Wärme bieten¹³⁰.

Durch die geänderten Förderregelungen des EEG 2012 ist hier jedoch eine Zunahme des Anteils der Nutzung in KWK zu erwarten. Im EEG 2009 war die Erzeugung von Strom aus Biomasse in KWK nur für Anlagen mit einer Leistung über 5 MW Anspruchsvoraussetzung, § 27 Abs. 3 Nr. 1 EEG 2009. Für Anlagen geringerer Leistung gab es lediglich die zusätzliche Anreizwirkung des KWK-Bonus von 3,0 ct./kWh gem. § 27 Abs. 4 Nr. 3 EEG 2009. Nach § 27 Abs. 4 Nr. 1 EEG 2012 sind nunmehr jedoch bei allen Anlagengrößen „*mindestens 25 Prozent bis zum Ende des ersten auf die erstmalige Erzeugung von Strom in der Anlage folgenden Kalenderjahres und danach 60 Prozent des in dem jeweiligen Kalenderjahr in der Anlage erzeugten Stroms in Kraft-Wärme-Kopplung*“ zu erzeugen.

Beim zweiten Nutzungspfad wird das Biogas zunächst in einem weiteren Veredelungsschritt zu Biomethan aufbereitet¹³¹, um den Anforderungen der Arbeitsblätter G 260 und G 262 des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) zu entsprechen¹³² und nach Einspeisung und Transport durch das Erdgasnetz an einem anderen Standort ggf. in KWK verstromt (überregionale Wertschöpfung). Die Aufbereitung, Einspeisung und Nutzung an einem anderen Standort erhöht die Flexibilität des Einsatzes von Biogas zur Strom- und Wärmebereitstellung¹³³ und stellt beim Einsatz in KWK aufgrund von zwei Vorteilen gegenüber der unmittelbaren Vor-Ort-Verstromung die beste Alternative der energetischen Nutzung dar¹³⁴: Zunächst können bei fehlenden Wärmesenken am Standort der Biogaserzeugung Wärmesenken an anderen Standorten genutzt werden. Sowohl Wohn- als auch Industrie- und Gewerbegebiete sind in der Regel nicht in der Nähe von Standorten von Biogasanlagen angesiedelt. Der Strombedarf ist aus den gleichen Gründen häufig am Standort der Biogaserzeugung weniger ausgeprägt. Durch den Transport des Energieträgers Biomethan und Verstromung erst am Ort des Bedarfs werden die Stromnetze nicht in Anspruch genommen und mithin die Stabilität des Stromversorgungsnetzes nicht gefährdet.

¹³⁰ Sachverständigenrat für Umweltfragen, Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten 2007, S. 22.

¹³¹ Dazu existieren im Wesentlichen drei Aufbereitungsverfahren: Druckwechselabsorption, Druckwasserwäsche und chemische Wäschen mit denen der Methangehalt des Biogases durch CO₂-Abscheidung erhöht, Odormittel beigemischt, ggf. der Druck erhöht oder verringert und das Gas zur Erhöhung oder Absenkung des Brennwertes konditioniert wird, vgl. Bundesnetzagentur, Biogas-Monitoringbericht 2012, S. 11.

¹³² Bundesnetzagentur, Biogas-Monitoringbericht 2012, S. 11.

¹³³ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 917.

¹³⁴ Vgl. zu den nachstehenden Vorteilen: Bundesnetzagentur, Biogas-Monitoringbericht 2012, S. 12 f. Der von der Bundesnetzagentur genannte dritte Vorteil überzeugt nicht ganz, da eine bedarfsgerechte Stromerzeugung auch aus Biogas am Standort der Biogaserzeugung erfolgen kann, in dem dort vorhandene Gasspeicher genutzt werden. Hierfür ist nicht zwingend die Aufbereitung zu Biomethan und Einspeisung in das Erdgasnetz erforderlich. Hierfür wäre letztlich der technisch-wirtschaftliche Aufwand der Aufbereitung und Einspeisung mit der nicht erforderlichen Inanspruchnahme der Stromnetze abzuwägen.

Die wesentlichen Schritte der Wertschöpfungskette „Biogas“ lassen sich wie folgt schematisch darstellen:

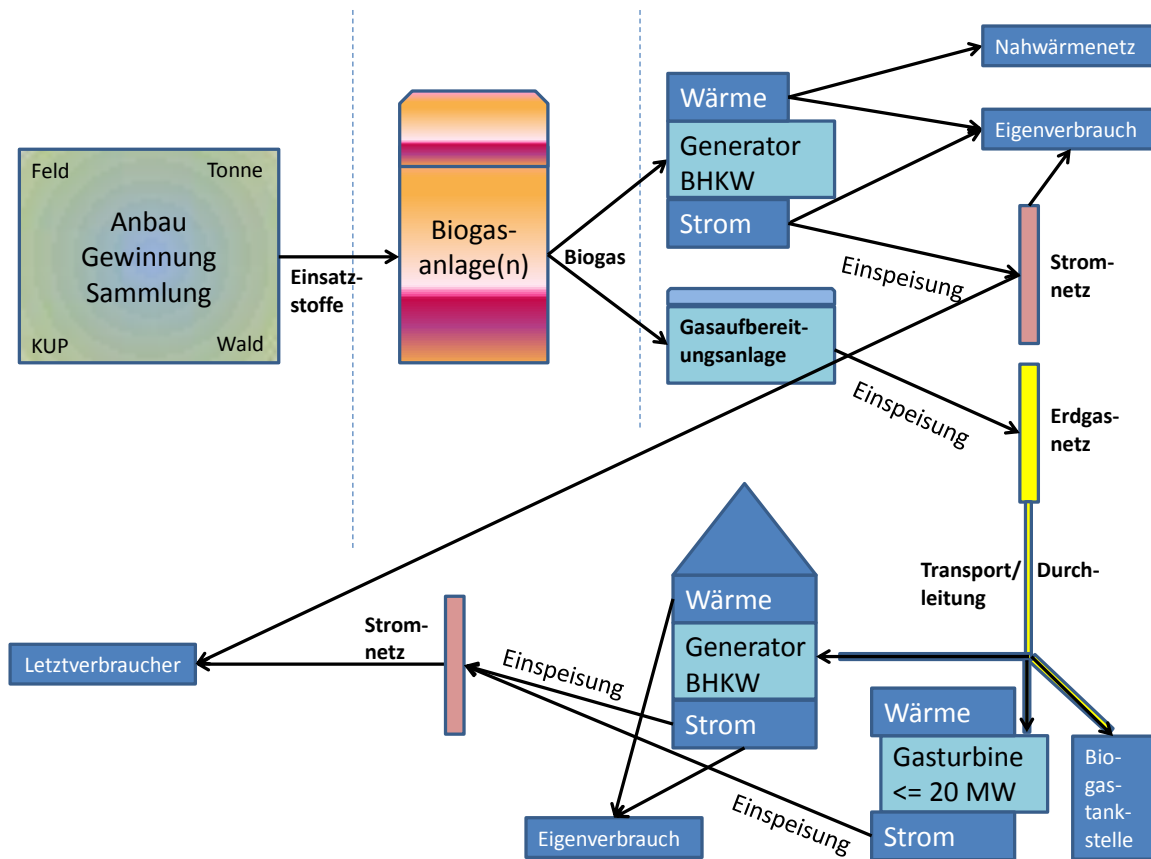


Abb. 1: Wertschöpfungskette Biogas, eigene Darstellung.

3. Flüssige Biomasse

Als letzter Nutzungspfad der energetischen Biomassenutzung ist die flüssige Biomasse (oder Biokraftstoffe) zu betrachten, die jedoch aufgrund der Schwerpunktsetzung des Vorhabens nur kurz dargestellt werden soll.

Die Vorteile des Einsatzes flüssiger Biokraftstoffe werden analog zum Einsatz fester und gasförmiger Biomasse in der Verringerung der Abhängigkeit von Rohöleinfuhren, Erhöhung der Versorgungssicherheit und Beiträgen zum Klimaschutz durch Substitution fossiler Brennstoffe gesehen¹³⁵. Die Biokraftstoffe lassen sich in solche der 1. und 2. Generation unterteilen. Zur 1. Generation gehören originäre Pflanzenöle, daraus durch Umesterung aufbereiteter

¹³⁵ Agentur für Erneuerbare Energien, Renew's Spezial, Ausgabe 54, S. 5.

Biodiesel (Pflanzenölmethylester) und Bioethanol¹³⁶. Zur 2. Generation zählen BtL¹³⁷-Kraftstoffe und Bioethanol aus Lignocellulose¹³⁸.

Für flüssige Biokraftstoffe lassen sich zwei Nutzungspfade mit unterschiedlicher Gewichtung identifizieren. Zum einen werden sie in mobilen (bspw. Pkw-, Nutzfahrzeug-, Landmaschinen- und Schiffsmotoren) und stationären Antriebssystemen (bspw. Stromaggregate, BHKW) und zum anderen als Brennstoff für Feuerungsanlagen genutzt¹³⁹. Dominierender Nutzungspfad für diese Brennstoffe ist dabei der Einsatz als Treibstoff für Fahrzeugmotoren¹⁴⁰. Der Einsatz von flüssigen Biokraftstoffen in Fahrzeugen ist durch das Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG¹⁴¹) seit dem Jahr 2007 gesetzlich normiert. Mit diesem Artikelgesetz wurde die Beimischung von Biokraftstoffen in den Kraftstoff für Kraftfahrzeuge in Deutschland vorgeschrieben und reguliert. Nach § 37a BImSchG ist ein bestimmter Mindestanteil von Biokraftstoffen an der Gesamtmenge des in Verkehr gebrachten Kraftstoffs vorgeschrieben (siehe hierzu unter Arbeitspaket 3).

Daneben erfolgt der Einsatz in stationären Pflanzenölmotoren in bspw. BHKW¹⁴² und zur Anfahr-, Zünd- und Stützfeuerung in konventionellen Kraftwerken. Durch den Wegfall des EEG-Vergütungsanspruchs für die Stromerzeugung aus flüssiger Biomasse und Pflanzenölmethylester in ab 2012 in Betrieb genommenen Neuanlagen¹⁴³ wird das erstgenannte Anwendungsgebiet künftig noch mehr an Bedeutung verlieren. Nach dem EEG 2012 wird nur noch der Stromanteil aus flüssiger Biomasse, der zur Anfahr-, Zünd- und Stützfeuerung notwendig ist, gem. § 27 Abs. 5 Nr. 3 EEG 2012 und die Stromerzeugung in Bestandsanlagen vergütet¹⁴⁴.

Für beide Nutzungspfade gelten seit dem Jahr 2011 Nachhaltigkeitsstandards insbesondere hinsichtlich der Produktion der verwendeten Rohstoffe¹⁴⁵, die durch die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV¹⁴⁶) und die Biomassestrom-

¹³⁶ Sachverständigenrat für Umweltfragen, Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten 2007, S. 22.

¹³⁷ Biomass-to-liquid, zu Deutsch Biomasseverflüssigung.

¹³⁸ Sachverständigenrat für Umweltfragen, Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten 2007, S. 23.

¹³⁹ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 748, 757.

¹⁴⁰ P. Quicker, in: W. Frenz/H.-J. Muggenborg, EEG, 2. Aufl., Vor. § 27 Rn. 49.

¹⁴¹ Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Dezember 2006 (BGBl. I S. 3180).

¹⁴² P. Quicker, in: W. Frenz/H.-J. Muggenborg, EEG, 2. Aufl., Vor. § 27 Rn. 49.

¹⁴³ M. Steinhäuser, Aktuelle Änderungen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und die geplante Remorm der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union (GAP): Konsequenzen für die umweltgerechte Bereitstellung von Bioenergie, NuR 2012, 441 (444).

¹⁴⁴ D. Müller, Mehr Effizienz, weniger Boni – die Förderung von Strom aus Biomasse nach dem EEG 2012, ZUR 2012, 22 (29).

¹⁴⁵ F. Ekaradt, in: W. Frenz/H.-J. Muggenborg, EEG, 2. Aufl., Einl. Rn. 94.

¹⁴⁶ Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung vom 30. September 2009 (BGBl. I S. 3182), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 26. November 2012 (BGBl. I S. 2363) geändert worden ist.

Nachhaltigkeitsverordnung (Biomassestrom-NachV¹⁴⁷) kodifiziert sind. Hintergrund hierfür sind die negativen Auswirkungen durch Landnutzungsänderungen zur Schaffung von Flächen zum Anbau der verwendeten Rohstoffe und die sog. „Tank-Teller-Debatte“ hinsichtlich der Konkurrenz der Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen für die Produktion der für die Herstellung der Biokraftstoffe benötigten Rohstoffe zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion¹⁴⁸. Auf diese, das Förderregime der energetischen Nutzung von Biomasse beeinflussenden rechtlichen Regelungen wird im Arbeitspaket 3 ausführlich eingegangen.

Zusammenfassend lassen sich die Nutzungspfade bzw. Wertschöpfungsketten der energetischen Biomassenutzung wie folgt darstellen:

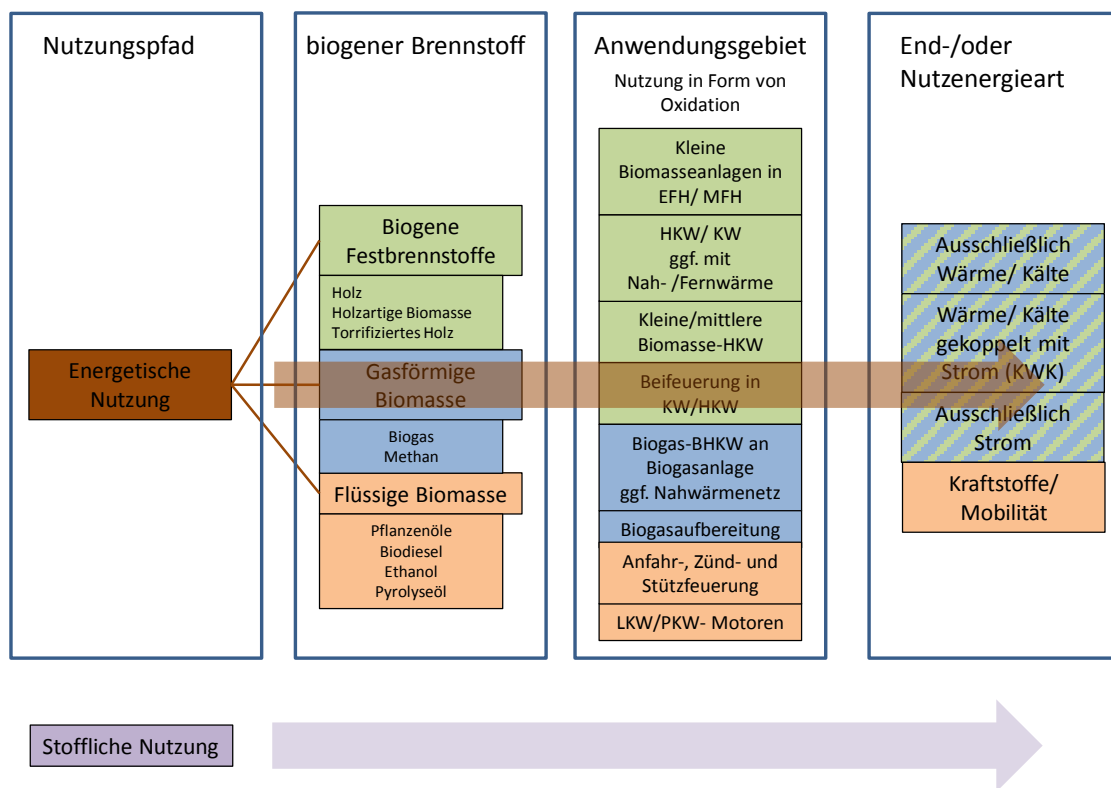


Abb.2: Wertschöpfungskette der energetischen Biomassenutzung, eigene Darstellung.

¹⁴⁷ Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung vom 23. Juli 2009 (BGBl. I S. 2174), die zuletzt durch Artikel 2 Absatz 70 des Gesetzes vom 22. Dezember 2011 (BGBl. I S. 3044) geändert worden ist.

¹⁴⁸ Agentur für Erneuerbare Energien, Renew's Spezial, Ausgabe 54, S. 7.

IV. Politische Ziele, Strategien und Maßnahmen

In diesem Abschnitt werden die wesentlichen politischen Ziele, Strategien und Maßnahmen in Hinblick auf die künftige energetische Biomassenutzung auf europäischer und nationaler Ebene vorgestellt. Politische Aktionspläne bestehen dabei auf allen Ebenen, seitens der Europäischen Union, der Bundesregierung und in einigen Bundesländern.

1. Europäische Union

Die Europäische Kommission hat 2005 durch Mitteilung den Aktionsplan Biomasse¹⁴⁹ erlassen. Dieser sieht als Hauptziel die Beschleunigung des Ausbaus der Bioenergie in Europa vor. Danach soll mindestens eine Verdopplung der energetischen Biomassenutzung in Europa in den Jahren nach 2005 erreicht und der Grundstein für eine weitere Steigerung der energetischen Biomassenutzung ab 2020 gelegt werden¹⁵⁰. Zugleich werden die Mitgliedsstaaten darin unterstützt, nationale Biomasseaktionspläne zu erstellen¹⁵¹. Über die in der europäischen Energiestrategie festgelegten Ziele (Anteil der Biokraftstoffe am Gesamtkraftstoffbedarf auf 5,75 Prozent bis 2010 steigern) hinausgehende oder weiterführende Ziele für die Bioenergie(-nutzung) enthält die Mitteilung nicht.

Um die Ziele zu erreichen, sieht die Mitteilung im Anhang 1 ein Programm von koordinierten Aktivitäten und mehr als 20 Maßnahmen differenziert nach den Sektoren Strom, Wärme, Biokraftstoffe vor. Den Schwerpunkt des Aktionsplans Biomasse bildet der Kraftstoffbereich. Hierbei ist die Umsetzung der Biokraftstoffrichtlinie für die Kommission die wichtigste Maßnahme¹⁵². Weitere Maßnahmen im Sektor Wärme sind die Schaffung neuer spezifischer Rechtsvorschriften zu erneuerbaren Energien für die Wärmeerzeugung, die Änderung der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und die Erstellung einer Studie über Möglichkeiten zur Verbesserung der Leistung von Biomassekesseln in Haushalten und zur Verringerung der Umweltverschmutzung. Im Bereich Strom kommt nach Ansicht der Kommission der Umsetzung der Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen (Richtlinie 2001/77/EG¹⁵³) eine besondere Bedeutung zu. Sektoren-

¹⁴⁹ Mitteilung der Kommission vom 7. Dezember 2005: „Aktionsplan für Biomasse“ [KOM(2005) 628 endg. – Amtsblatt C 49 vom 28.2.2006].

¹⁵⁰ Vgl. *BMU*, Der Aktionsplan Biomasse der EU - Neue Impulse für die einheimische Bioenergie, S. 1, abrufbar unter: http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/eu_aktionsplan_biomasse.pdf (25.04.2013).

¹⁵¹ Mitteilung der Kommission vom 7. Dezember 2005: „Aktionsplan für Biomasse“ [KOM(2005) 628 endg. – Amtsblatt C 49 vom 28.2.2006], S. 16.

¹⁵² Vgl. *BMU*, Der Aktionsplan Biomasse der EU - Neue Impulse für die einheimische Bio-energie, S. 3.

¹⁵³ Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt, ABl. L 283 vom 27.10.2001, S. 33–40.

übergreifend will die Kommission die Mitgliedstaaten ermutigen, zu berücksichtigen, dass in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen gleichzeitig Strom und Wärme liefern kann¹⁵⁴.

2. National

In der Bundesrepublik Deutschland existieren sowohl auf Bundesebene als auch in einzelnen Bundesländern Aktionspläne und Maßnahmenprogramme, die im Folgenden dargestellt werden.

a. Bund

Seitens der Bundesregierung wurden auch in Bezug auf die energetische Nutzung von Biomasse Ziele und Maßnahmen in den sog. Meseberger Beschlüssen im Sommer 2007 festgelegt¹⁵⁵. So soll im Bereich der gasförmigen Biomasse die Biogaseinspeisung in das Erdgasnetz erleichtert werden, um die Importabhängigkeit bei Erdgas zu verringern und Impulse für eine klimaschonende Energieerzeugung zu geben. Ferner soll dezentral erzeugtes Biogas verstärkt effizient und zielgerichtet in der Kraft- Wärme-Kopplung und als Kraftstoff eingesetzt werden¹⁵⁶. Im Sektor der flüssigen Biomasse sollen Biokraftstoffe nach ihrem Treibhausgasminderungspotenzial bewertet und Biokraftstoffen der zweiten Generation bei gleichzeitiger Sicherstellung des nachhaltigen Anbaus von Rohstoffen für die Biokraftstoffherstellung stärker genutzt werden¹⁵⁷.

Zur Umsetzung dieser Ziele wurden als Maßnahmen die Festlegung von Zielen für die Jahre 2020 und 2030 für den Biogasanteil am Erdgasverbrauch und die Erhöhung des Klimaschutzbeitrags durch Biokraftstoffe, im Ergebnis ca. 20 Volumenprozent Biokraftstoffe bis 2020 (entspricht 17 Prozent energetisch), vorgeschlagen¹⁵⁸. Daneben sollen die Rahmenbedingungen für Biomasse angepasst und die ökologischen Standards zur Minderung von Umweltauswirkungen gewahrt werden¹⁵⁹.

Konkret zur Biomassenutzung wurde 2009 aufgrund der Aufforderung der EU-Kommission im europäischen Biomasseaktionsplan von der Bundesregierung ein nationaler Biomasseak-

¹⁵⁴ „Encourage Member States to take into account, in their support systems, the fact that, in combined heat and power plants, biomass can provide heat and electricity at the same time.“, Mitteilung der Kommission vom 7. Dezember 2005: „Aktionsplan für Biomasse“ [KOM(2005) 628 endg. – Amtsblatt C 49 vom 28.2.2006], Anhang 1, S. 19.

¹⁵⁵ Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm, 2007, abrufbar unter: http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/klimapaket_aug2007.pdf (25.04.2013).

¹⁵⁶ Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm, S. 21.

¹⁵⁷ Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm, S. 31.

¹⁵⁸ Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm, S. 31.

¹⁵⁹ Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm, S. 11.

tionsplan beschlossen¹⁶⁰. Der Aktionsplan formuliert als Hauptziel die Entwicklung eines Gesamtkonzepts für eine deutliche Steigerung des Bioenergieanteils an der Energieversorgung in Deutschland unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien. Bioenergie soll einen optimalen Beitrag zum Klimaschutz, zur Versorgungssicherheit und zur wirtschaftlichen Entwicklung leisten und dabei die inländische Wertschöpfung, insbesondere im ländlichen Raum, unterstützen. Dabei soll die Konkurrenz zur Nahrungsmittelnutzung und zur stofflichen Nutzung von Biomasse beachtet werden¹⁶¹. Die konkreten Ziele bis zum Jahr 2020 sehen einen Anteil von 11 Prozent Bioenergie am gesamten Primärenergieverbrauch; 10,9 Prozent Anteil am Endenergieverbrauch, 8 Prozent Anteil am gesamten Stromverbrauch/-versorgung sowie 9,7 Prozent Anteil am gesamten EEV für Wärme vor¹⁶². Die künftige Strategie zur Biomassenutzung sieht insbesondere die folgende Ausrichtung der politischen Rahmenbedingungen und Förderung vor: Vorantreiben des Ausbaus der Nutzung von Bioenergie in den drei Bereichen Wärme, Strom, Kraftstoffe, Biomassenutzung durch verstärkte Erzeugung und Nutzung von Wärme optimieren, bisher ungenutzte Biomassepotentiale erschließen, um mögliche Nutzungskonflikte zu reduzieren, Biomasse nachhaltig erzeugen und Umweltbelastungen begrenzen¹⁶³.

Die dafür erforderlichen Maßnahmen werden von der Bundesregierung in sechs Maßnahmenpakete unterteilt, die jeweils diverse Einzelmaßnahmen vorsehen: Sicherung der nachhaltigen Erzeugung von Biomasse, Reduzierung von Nutzungskonkurrenzen, Wärme aus Biomasse, Strom aus Biomasse, Biokraftstoffe und sonstige Maßnahmen¹⁶⁴.

Der nationale Biomasseaktionsplan für Deutschland wird ferner im Hinblick auf den weiteren Nutzungspfad der stofflichen Nutzung von Biomasse durch den Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe ergänzt¹⁶⁵.

Im Energiekonzept der Bundesregierung aus dem Jahr 2010 und dessen Fortschreibung im Jahr 2011¹⁶⁶ werden die Ziele einer nachhaltigen und effizienten Nutzung der Bioenergie

¹⁶⁰ BMELV und BMU, Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland, aktueller Stand September 2010, abrufbar unter:
http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/BiomasseaktionsplanNational.pdf?__blob=publicationFile (25.04.2013).

¹⁶¹ BMELV und BMU, Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland, aktueller Stand September 2010, S. 7.

¹⁶² BMELV und BMU, Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland, aktueller Stand September 2010, S. 10.

¹⁶³ Im Einzelnen vgl. BMELV und BMU, Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland, aktueller Stand September 2010, S. 11 ff.

¹⁶⁴ Im Einzelnen vgl. BMELV und BMU, Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland, aktueller Stand September 2010, S. 16 ff.

¹⁶⁵ Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, aktueller Stand August 2009, abrufbar unter:
http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/AktionsplanNaWaRo.pdf?__blob=publicationFile (25.04.2013).

dahingehend definiert, dass die heimischen Bioenergiepotentiale verbessert ausgeschöpft, die Energie- und Flächeneffizienz gesteigert, Biomethan verstärkt genutzt und der Bioenergiebedarf durch Importe nachhaltig erzeugter Biomasse ergänzt werden sollen¹⁶⁷. Maßnahmen hierfür sind die Sicherstellung, dass nur nachhaltig hergestellte und genutzte Biomasse auf Quoten angerechnet oder steuerlich begünstigt wird, Ausdehnung der Nachhaltigkeitskriterien der EERL auf alle Bioenergieträger, Minderung von Nutzungskonkurrenzen zur Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln, Sicherung einer effizienten naturverträglichen Land- und Forstwirtschaft und der verstärkte Einsatz von Biogas im Kraftstoffbereich sowie im Wärme- und Stromsektor¹⁶⁸.

Sowohl im 10-Punkte-Sofortprogramm zum Energiekonzept¹⁶⁹ als auch im neuen 10-Punkte-Programm für eine Energie- und Umweltpolitik mit Ambition und Augenmaß vom Herbst 2012¹⁷⁰ finden sich keine konkreten Maßnahmen zur energetischen Nutzung von Biomasse.

b. Bundesländer

Biomasseaktionspläne wurden – soweit ersichtlich – bislang von den Bundesländern Baden-Württemberg,¹⁷¹ Brandenburg,¹⁷² Hessen¹⁷³ und Nordrhein-Westfalen¹⁷⁴ beschlossen, in denen, ausgehend von Ressourcenabschätzungen, länderspezifische Ziele zum Ausbau der

¹⁶⁶ Zu beiden vgl. *BMU*, Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011, Stand Oktober 2011, abrufbar unter: http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung.pdf (25.04.2013).

¹⁶⁷ *BMU*, Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011, Stand Oktober 2011, S. 10.

¹⁶⁸ *BMU*, Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011, Stand Oktober 2011, S. 10.

¹⁶⁹ *BMWi* und *BMU*, 10-Punkte-Sofortprogramm zum Energiekonzept, 2010, abrufbar unter: <http://www.erneuerbare-energien-niedersachsen.de/downloads/20100928-energiekonzept-10-punkte-sofortprogra.pdf> (25.04.2013).

¹⁷⁰ *BMU*, Mit neuer Energie - 10-Punkte-Programm für eine Energie- und Umweltpolitik mit Ambition und Augenmaß, abrufbar unter: http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/10_punkte_programm_bf.pdf (25.04.2013).

¹⁷¹ Biomasse-Aktionsplan Baden-Württemberg - Nachwachsende Rohstoffe als Zukunftsmotor, abrufbar unter: <http://www.mlr.baden-wuerttemberg.de/mlr/allgemein/Biomasse.pdf> (25.04.2013) und erste Fortschreibung, 2010, abrufbar unter: <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/104524/Biomasse-AktionsplanFortschreibung.pdf?command=downloadContent&filename=Biomasse-AktionsplanFortschreibung.pdf> (25.04.2013).

¹⁷² *MLUV*, Biomasseaktionsplan Brandenburg- Strategie zur energetischen Nutzung von Biomasse bis 2010, abrufbar unter: http://work.eti-brandenburg.de/fileadmin/user_upload/Energiethemen/Bioenergie/bmap_Titel_Inhalt_Vorwort.pdf (25.04.2013).

¹⁷³ *HMUELV*, Biomasseaktionsplan 2020 des Landes Hessen – energetische Nutzung, abrufbar unter: http://www.energieland.hessen.de/mm/00035_459_Biomasseaktionsplan_2020.pdf (25.04.2013).

¹⁷⁴ *MUNLV*, Bioenergie.2020.NRW – Biomasseaktionsplan zum nachhaltigen Ausbau der Bioenergie in Nordrhein-Westfalen, abrufbar unter: http://www.energieagentur.nrw.de/biomasse/daten/01_NRW%20%20Biomasseaktionsplan.pdf (25.04.2013).

energetischen Nutzung von Biomasse und Maßnahmenkataloge für deren Umsetzung festgelegt sind. Das Land Brandenburg hat 2006 Ziele für das Jahr 2010 festgelegt, wonach die energetische Nutzung der Biomasse gegenüber dem Jahr 2003 von 25,1 PJ auf 30 PJ gesteigert werden sollte¹⁷⁵. Das Land Hessen will bis zum Jahr 2020 9,5 TWh/a aus energetischer Biomassenutzung erzeugen,¹⁷⁶ Baden-Württemberg 4,7 TWh/a Strom (= 6,5 Prozent der gesamten Stromerzeugung) und 18,1 TWh/a Wärme (= 13,2 Prozent der gesamten Wärmeerzeugung) erzeugen¹⁷⁷ und Nordrhein-Westfalen 17,8 TWh/a in den Sektoren Strom und Wärme zusammen¹⁷⁸.

Zur Umsetzung der Ziele setzen die Bundesländer auf vergleichbare Maßnahmen und verwenden die klassischen Instrumente der umweltrechtlichen Instrumentenlehre, nämlich indirekte Steuerung durch finanzielle Anreize und Informationen. Neben zum Teil sehr detaillierten, sektoren- und technologiebezogenen Maßnahmen¹⁷⁹ sollen vor allem Öffentlichkeitsarbeit,¹⁸⁰ Netzwirkbildung¹⁸¹ und Beratungsangebote¹⁸² zur Informationsverbreitung beitragen und Fördermaßnahmen¹⁸³ für Investitionen, Forschung und Entwicklung sowie Pilot- oder Leuchtturmprojekte einen Beitrag zur Erreichung der gesetzten Ziele leisten.

C. Biomasse im Energiesektor: Technologien

I. Einführung

¹⁷⁵ *MLUV*, Biomasseaktionsplan Brandenburg- Strategie zur energetischen Nutzung von Biomasse bis 2010, S. 16.

¹⁷⁶ *HMUELV*, Biomasseaktionsplan 2020 des Landes Hessen – energetische Nutzung, S. 22.

¹⁷⁷ Erste Fortschreibung des Biomasse-Aktionsplan Baden-Württemberg - Nachwachsende Rohstoffe als Zukunftsmotor, S. 15.

¹⁷⁸ *MUNLV*, Bioenergie.2020.NRW – Biomasseaktionsplan zum nachhaltigen Ausbau der Bioenergie in Nordrhein-Westfalen, S. 17.

¹⁷⁹ Vgl. Erste Fortschreibung des Biomasse-Aktionsplan Baden-Württemberg - Nachwachsende Rohstoffe als Zukunftsmotor, S. 18 ff.

¹⁸⁰ Vgl. bspw. *HMUELV*, Biomasseaktionsplan 2020 des Landes Hessen – energetische Nutzung, S. 34; *MLUV*, Biomasseaktionsplan Brandenburg- Strategie zur energetischen Nutzung von Biomasse bis 2010, S. 13 f.

¹⁸¹ Vgl. bspw. *MLUV*, Biomasseaktionsplan Brandenburg- Strategie zur energetischen Nutzung von Biomasse bis 2010, 2006, S. 12;

¹⁸² Vgl. bspw. Erste Fortschreibung des Biomasse-Aktionsplan Baden-Württemberg - Nachwachsende Rohstoffe als Zukunftsmotor, 2006, S. 22; *HMUELV*, Biomasseaktionsplan 2020 des Landes Hessen – energetische Nutzung, 2011, S. 39.

¹⁸³ Vgl. bspw. *MUNLV*, Bioenergie.2020.NRW – Biomasseaktionsplan zum nachhaltigen Ausbau der Bioenergie in Nordrhein-Westfalen, S. 44 ff.; *HMUELV*, Biomasseaktionsplan 2020 des Landes Hessen – energetische Nutzung, 2011, S. 23 f.

Im folgenden Abschnitt wird ein Überblick über die technologischen Grundlagen der energetischen Biomassenutzung gegeben. Die Gliederung folgt dabei der Wertschöpfungskette der biogenen Rohstoffe, welche entweder über die direkte Umwandlung eines Ausgangsstoffs, u.U. nach Vorbehandlung bzw. Aufbereitung (B.), in eine Energieform (Strom, Wärme/Kälte, Kraft) (C.) erfolgt, oder über den Zwischenschritt der Verarbeitung oder Konversion des ursprünglichen in einen sekundären Energieträger (D.), aus welchem dann letztendlich – in der Regel durch Verbrennung – Energie gewonnen wird (E.).

II. Vorbehandlung der Biomasse

Bevor die Biomasse entweder direkt in Energie oder auf einer Zwischenstufe in einen sekundären Energieträger umgewandelt wird, muss sie in der Regel mechanisch aufbereitet werden, um sie den jeweiligen Konversionsverfahren anzupassen¹⁸⁴. Dies kann mithilfe einer Vielzahl von Techniken geschehen, je nachdem, um welche Art von Biomasse es sich handelt. Zur Vereinfachungen können diese unterschiedlichen Verfahren allerdings unter die Begriffe Zerkleinerung, Sieben/Sortieren und Pressen der Ausgangsstoffe gefasst werden.

Das Zerkleinern betrifft in erster Linie holzartige Biomasse und Halmgut, bei denen die weiteren Verarbeitungsschritte eine spezielle chemisch-physikalische Materialstruktur erfordern. Bestimmt wird diese von der jeweiligen Beschickungs- und Verwertungstechnik, wobei mehr oder weniger zerkleinertes Stück- oder Schüttgut notwendig ist¹⁸⁵. Handelt es sich um Schüttgut, so ist es in einigen Fällen notwendig, zu große bzw. lange Teile, zu kleine Partikel oder aber Fremdstoffe auszusortieren, um Materialstau oder übermäßige Belastungen der Maschinen zu verhindern. Um zu gewährleisten, dass die eingesetzten biogenen Festbrennstoffe eine maximale Homogenität aufweisen, kann es erforderlich sein, diese durch Pressen zu verdichten. In Betracht kommen hier insbesondere das Brikettieren und Pelletieren, um bspw. den Wassergehalt zu minimieren, die Transporteigenschaft und Lagerstabilität zu verbessern oder auch die chemisch-stoffliche Brennstoffeigenschaft durch Zugabe von Zuschlagstoffen zu optimieren¹⁸⁶. Allerdings steigen gleichzeitig mit jedem Aufbereitungsvorgang die Produktionskosten für die eingesetzten Stoffe¹⁸⁷.

¹⁸⁴ Ausführlich hierzu siehe *M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer*, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 245 ff.

¹⁸⁵ *M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer*, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 245.

¹⁸⁶ *M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer*, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 264.

¹⁸⁷ *M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer*, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 264.

III. Direkte Verbrennung von biogenen Festbrennstoffen

Bei der Behandlung der biogenen Ausgangsstoffe können zunächst prinzipiell drei verschiedene Konversionspfade unterschieden werden: physikalisch-chemische Verfahren (Pressung, Extraktion), biochemische Verfahren (Vergärung) und die thermochemischen Umwandlungsverfahren (Verbrennung, Vergasung).

Bei der letztgenannten direkten Verbrennung werden biogene Festbrennstoffe zur getrennten Erzeugung von Wärme oder Strom bzw. in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) verfeuert. Bei Einsatz in KWK wird im Rahmen des Verbrennungsprozesses sowohl elektrische Energie erzeugt als auch die entstehende Wärme zu Heizzwecken (in Form von Fern- oder Nahwärme) nutzbar gemacht.

Wichtiges Kriterium bei der Wahl des Feuerungssystems ist zum einen die Größe der Anlage. Hier wird unterschieden zwischen Kleinstanlagen bis 15 kW thermischer Leistung, mittleren Anlagen bis 1 MW Leistung sowie Großanlagen. Ebenfalls mitbestimmender Faktor ist die Form, ob Hackschnitzel, Späne, Pellets etc., in der die feste Biomasse zur Verbrennung genutzt wird¹⁸⁸.

1. Wärme

Bei der ausschließlichen Wärmeerzeugung durch die Verbrennung von fester Biomasse können zwei Anlagentypen unterschieden werden, die handbeschickten und die automatisch beschickten Anlagen.

a. Handbeschickte Feuerungen

Handbeschickte Feuerungen sind in erster Linie Einzelfeuerstätten (offener/geschlossener Kamin, Zimmerofen, Küchenherd), bei denen die Verbrennung aufgrund der Diskontinuität der Beschickung erheblich variieren kann¹⁸⁹.

Handbeschickte Feuerungen lassen sich wiederum zunächst nach der Art des Feuerungsprinzips unterscheiden: dem Durchbrandprinzip, welches in überwiegender Zahl verwendet wird (bspw. in herkömmlichen Kaminöfen), sowie dem Abbrandprinzip (bspw. Kachelöfen). Beim Durchbrand gelangt Luft über einen Rost an das Brennmaterial, sodass der gesamte Brennstoff erhitzt wird und gleichmäßig abbrennt. Beim oberen Abbrand gelangt die Luft seitlich an das Brennmaterial, wodurch die Freisetzung von Gasen gehemmt wird, wohingegen beim

¹⁸⁸ H. Spliethoff/M. Braun-Unkloff/B. Krautkremer, Thermische Nutzung von Biomasse – Ausgangsstoffe und Konversionsverfahren, FVS-LZE Themen 2005, S. 56 (56 f.).

¹⁸⁹ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 20; ausführlich hierzu siehe M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 468 ff.

unteren Abbrand die Abgase durch eine maschinelle Lüftung nach unten oder seitlich abfließen, wo sie in einer zusätzlichen Kammer ausbrennen. Dies führt dazu, dass immer nur die unterste Schicht des Brennstoffs abbrennt.

Weiterhin lassen sich handbeschickte Feuerungen in Einzelfeuerstätten sowie Zentralheizungen untergliedern. Mit einer Einzelfeuerstätte wird lediglich der diese umgebende Raum durch Wärmestrahlung und/oder Luftströmungen beheizt¹⁹⁰. Zu den Einzelfeuerstätten zählen Kamine, Zimmeröfen, Kachelöfen oder Holzküchenherde. Im Allgemeinen dienen diese als zusätzliche Wärmequelle zur Beheizung einzelner Räume¹⁹¹. Während bei Einzelfeuerstätten die Wärme direkt in den Raum abgegeben wird, gilt es bei handbeschickten Zentralheizungen einen Wärmeverlust an die direkte Umgebung zu verhindern. Hierfür sind die Kessel mit einer Technik ausgestattet, die das Übertragen der Wärme an einen Heizwasserkreislauf ermöglicht. Als Feuerungsprinzip kommt hier fast ausschließlich der untere Abbrand zum Einsatz¹⁹².

b. Automatisch beschickte Feuerungen

Auch bei den automatisch beschickten Feuerungen existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Bauarten. Zum einen ist dies durch die unterschiedlichen Leistungsklassen bedingt, in denen die Feuerungen eingesetzt werden, zum anderen durch die Variation an holzartigen Einsatzstoffen (Scheitholz, Hackschnitzel, Pellets, Späne usw.), die in den Kesseln verbrannt werden können. Im Bereich größerer Leistungsklassen (ab 10 MW) kommen im Allgemeinen stationäre oder zirkulierende Wirbelschichtfeuerungen zum Einsatz, hingegen lassen sich Festbettfeuerungen in einem weiteren Leistungsspektrum einsetzen¹⁹³. Letztere sind wiederum in zwei Grundausführungen zu untergliedern, die Unterschubfeuerung, bei der das Brennmaterial von unten in einen Brennteller gedrückt wird, dort verbrennt und die übrigbleibende Asche über den Tellerrand in den Aschebehälter fällt, sowie die Rostfeuerung mit bewegtem (große Leistungsklassen) oder starrem Verbrennungsrost (kleine Leistungsklassen, aschearme Brennstoffe), bei der das Material auf einem Rost verbrennt und die Asche durch die Zwischenräume abtransportiert wird¹⁹⁴.

Wirbelschichtfeuerungen, bei denen das zerkleinerte Brennmaterial in der Schwebelage gehalten und dabei verbrannt wird (Wirbelschicht), sind dagegen bei Verwendung anderer als

¹⁹⁰ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, *Energie aus Biomasse*, 2. Aufl., S. 473.

¹⁹¹ P. Kempf/H. Schmidt, *Erneuerbare Energien – Technologien, Anforderungen, Projektbeispiele*, S. 111.

¹⁹² *Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt*, 1. Aufl., S. 22; M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, *Energie aus Biomasse*, 2. Aufl., S. 484 ff.

¹⁹³ *Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt*, 1. Aufl., S. 22.

¹⁹⁴ *Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt*, 1. Aufl., S. 22.

holzartiger Feststoffe, bspw. Halmgut, und damit für ein breiteres Brennstoffspektrum geeignet¹⁹⁵.

Neben diesen Standardtypen existieren diverse Sonderbauformen und insbesondere bei Kleinanlagen unterschiedliche Bauartkombinationen. Im niedrigen Leistungsbereich überwiegt dabei das Prinzip der Unterschubfeuerung, welches jedoch teilweise mit einem Kipprost versehen wird, sodass die Verbrennungsrückstände von Zeit zu Zeit automatisch abgeführt werden¹⁹⁶.

2. Strom/KWK

Auf dem Gebiet der Verbrennung von (fester) Biomasse zur Stromerzeugung wurden in den letzten Jahren zwei Technologien bis zur Marktreife entwickelt. Zum einen ist dies der Dampfkraftprozess mit oder ohne Wärmeauskopplung für den Einsatz fester Biomasse¹⁹⁷. Betrieben wird dieser je nach Art mit einer Dampfturbine oder einem Dampfmotor. Dabei wird die feste Biomasse in einem Kessel unter Erzeugung von Dampf aus Wasser verbrannt, welcher dann den Motor bzw. die Turbine antreibt und auf diese Weise elektrische Energie erzeugt. Gleichzeitig kann in diesem Prozess auch die entstehende Wärme zur Beschickung von Nah- und Fernwärmenetzen genutzt werden¹⁹⁸. Mit der in diesem Verfahren gewonnenen elektrischen Energie und Wärme können insbesondere Kleinverbraucher sowie Nah- und Fernwärmeversorgungssysteme versorgt werden¹⁹⁹.

Ebenfalls zur Stromerzeugung aus fester Biomasse dient der ORC-Prozess²⁰⁰, bei dem ebenfalls eine Dampfturbine angetrieben wird, dies jedoch mithilfe eines anderen Arbeitsmittels als Wasserdampf. Der Prozess kann dort zum Einsatz kommen, wo die Temperaturen für den Betrieb mit Wasserdampf zu niedrig sind, was vor allem bei der KWK der Fall ist²⁰¹.

¹⁹⁵ Dies gilt ebenso für bestimmte Rostfeuerungen, für Unterschubfeuerungen nur bei einer sehr leistungsstarken Entaschung.

¹⁹⁶ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 22.

¹⁹⁷ Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse, Zwischenbericht, DBFZ, S. 20.

¹⁹⁸ Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse, Zwischenbericht, DBFZ, S. 20.

¹⁹⁹ *M. Rode/C. Schneider/G. Ketelhake/D. Reißhauer*, Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung, BfN-Skripten 136, S. 18, abrufbar unter: <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/skript136.pdf> (25.04.2013).

²⁰⁰ Organic Rankine Cycle.

²⁰¹ Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse, Zwischenbericht, DBFZ, S. 20 f.; *M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer*, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 564 ff.

Neben diesen beiden Prozessen existieren weitere Technologien zur Stromerzeugung durch Verbrennung von Feststoffen, bspw. Stirlingmotoren oder Gasturbinen und Gasmotoren (direkt und indirekt)²⁰², die jedoch nicht in dem Maße am Markt etabliert sind²⁰³.

IV. Umwandlung der Rohstoffe in Brennstoffe

Abgesehen von der direkten Strom- und/oder Wärmeerzeugung durch Verbrennung von biogenen Festbrennstoffen, ist es im Allgemeinen notwendig, in einem Zwischenschritt aus den Ausgangsstoffen zunächst einen Brennstoff herzustellen, der dann in einem weiteren Verfahrensschritt in Energie umgewandelt wird. Zumeist werden dabei aus festen bzw. flüssigen Rohstoffen Kraftstoffe oder Biogase hergestellt, die dann direkt im Anschluss oder nach vorherigem Transport nach Bedarf in Endenergie konvertiert werden.

1. Biogene Festbrennstoffe

Die Herstellung eines festen Zwischenprodukts für die weitere energetische Biomassenutzung lässt sich durch thermochemische Umwandlung in Form der Verkohlung oder Torrefizierung fester Ausgangsstoffe (Holz) verwirklichen²⁰⁴. Bei diesen Veredelungsverfahren handelt es sich um Pyrolyseverfahren, für welche eine Vielzahl an Techniken und Methoden (Meilerverfahren, Retortenverfahren, Spülgasverfahren, Wirbelschicht-Verkohlung etc.) existieren²⁰⁵.

Bei der Verkohlung geht es um die Gewinnung von Holzkohle durch langsame und vollständige Pyrolyse bei Temperaturen über 500 °C. Die Torrefizierung hingegen ist eine nur teilweise abgeschlossene Pyrolyse bei Temperaturen unter 300 °C²⁰⁶. Die bei diesen Prozessen entstehenden festen Brennstoffe weisen in der Regel bessere Eigenschaften für die weitere energetische Verwertung (Verbrennung) auf, als dies bei naturbelassener fester Biomasse der Fall ist²⁰⁷.

²⁰² Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 23.

²⁰³ Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse, Zwischenbericht, DBFZ, S. 22.

²⁰⁴ Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse, Zwischenbericht, DBFZ, S. 21, Abb. 2-2.

²⁰⁵ Näher hierzu siehe *M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer*, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 691 ff.

²⁰⁶ *M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer*, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 690.

²⁰⁷ *S. Rönsch*, Optimierung und Bewertung von Anlagen zur Erzeugung von Methan, Strom und Wärme aus biogenen Festbrennstoffen, DBFZ Report Nr. 5, S. 6.

2. Gasförmige Brennstoffe (Biogas)

Ein weiterer Bereich der Nutzung von Biomasse zur Energieerzeugung ist die vorherige Biogasherstellung aus pflanzlichen und tierischen Produkten überwiegend land- und forstwirtschaftlichen Ursprungs, welches in einem anschließenden Schritt, insbesondere durch Feuerung in Verbrennungsmotoren, der energetischen Nutzung zugeführt werden kann²⁰⁸. Die Herstellung gasförmiger Biomasse kann zum einen durch thermochemische Umwandlung (Vergasung) biogener Feststoffe sowie durch biochemische Umwandlung (Vergärung) – meist vorbehandelter – sowohl fester als auch flüssiger Energieträger und anschließender Aufbereitung des entstandenen Gases erfolgen.

a. Vergasung fester Biomasse

Die Vergasung fester Biomasse entspricht grundsätzlich dem oben erläuterten Prinzip der Pyrolyse, bei welchem unter Zufuhr von Wärme der feste Ausgangsstoff gespalten wird und hierbei u.a. auch ein gasförmiger Energieträger entsteht. Allerdings wird hier ein Vergasungsmittel (Sauerstoff, Luft, Wasserstoff, Kohlenstoffdioxid) zugeführt, um den in der Biomasse gebundenen Kohlenstoff in den gasförmigen Zustand zu überführen²⁰⁹. Das so entstehende Gas wird gemeinhin als Produktgas bezeichnet und kann sowohl als Kraftstoff als auch zur Strom- und/oder Wärmeerzeugung Verwendung finden²¹⁰. Es können im Wesentlichen – jedoch nicht abschließend – drei Vergasungsverfahren unterschieden werden: die Festbettvergasung, die Wirbelschichtvergasung und die Flugstromvergasung²¹¹.

Das hieraus gewonnene Gas muss vor der Verwendung als Brennstoff einer Reinigung und Aufbereitung zugeführt werden, deren Intensität von der jeweiligen Bestimmung – Direktverbrennung, Einspeisung ins Gasnetz o.ä. – des Gases abhängt²¹².

b. Biogaserzeugung und -aufbereitung

Die Technologie zur Erzeugung von Biogas aus organischen Materialien durch biochemische Vorgänge (Vergärung) erfolgt im Allgemeinen nach einem ähnlichen Schema, ganz unabhän-

²⁰⁸ M. Rode/C. Schneider/G. Ketelhake/D. Reißhauer, Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung, BfN-Skripten 136, S. 19.

²⁰⁹ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 600 ff.

²¹⁰ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 600.

²¹¹ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., Dezember 2002, S. 23; Rönsch, Optimierung und Bewertung von Anlagen zur Erzeugung von Methan, Strom und Wärme aus biogenen Festbrennstoffen, DBFZ Report Nr. 5, 2011, S. 7 ff.; H. Spliethoff/M. Braun-Unkhoff/B. Krautkremer, Thermische Nutzung von Biomasse – Ausgangsstoffe und Konversionsverfahren, FVS-LZE Themen 2005, S. 56 (58).

²¹² M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 624.

gig davon, welche Ausgangsstoffe bei dem Prozess verarbeitet werden und welchem Zweck das entstehende Gas am Ende der Produktionskette zugeführt wird²¹³.

Zunächst sind die Substrate so aufzubereiten, dass diese problemlos in der jeweiligen Biogasanlage eingesetzt werden können. Danach folgt der Gärprozess im Fermenter, die Gasreinigung und Speicherung oder – sofern eine Einspeisung ins Gasnetz erfolgt – die Gasaufbereitung sowie die Behandlung und Verwertung der beim Gärprozess zurückbleibenden Gärreste²¹⁴.

Die Aufbereitung der Substrate umfasst zum einen die Entfernung von noch darin enthaltenen Fremdstoffen und Feststoffabtrennung sowie die Herstellung der für den jeweiligen Ausgangsstoff idealen Beschaffenheit (bspw. Zerkleinerung, Vermischung mehrerer Substrate, Hygienisierung, Homogenisierung) und Gäreigenschaften (bspw. Trockengehalt, Temperatur, pH-Wert), sodass dieser zu optimalen Bedingungen in den Gärbehälter eingebracht werden kann²¹⁵.

In welchem Umfang die in der Biogasanlage einzusetzenden Gärstoffe vorbehandelt werden müssen, hängt von ihrer Beschaffenheit – fest oder flüssig – ab. Während flüssige Einsatzstoffe wie Gülle oft ohne intensive Vorbehandlung in den Fermenter eingeleitet werden können, ist bei festen bzw. gröbereren Einsatzstoffen (bspw. Bioabfall) ein Einsatz ohne vorherige Sortierung, Entfernung von Fremdstoffen und Zerkleinerung mit der anschließenden Aufbereitung zu einem über Pumpen zu transportierenden Material nicht möglich²¹⁶. Etwas anderes gilt bei festen stapelbaren Substraten, die bis zu ihrer Einbringung in den Gärbehälter über bspw. Kratzböden, Schubböden, Förderschnecken o.ä. transportiert werden²¹⁷.

Im Anschluss wird aus dem Ausgangsstoff bzw. -stoffgemisch im Fermenter durch anaerobe Vergärung das Rohbiogas gewonnen. Die Technik des Fermenters und damit des Gärvorgangs kann sich dabei nach unterschiedlichen Faktoren richten. Hierzu zählen bspw. die Temperatur bei der Vergärung, die Menge an Trockenmasse im Substrat, die Art der Durchmischung oder die Prozessauftrennung etc.²¹⁸ Diese Parameter bestimmen also Fermentertypus und Verfahrensart.

Grundsätzlich muss der Fermenter luft- und wasserdicht beschaffen sein, damit die Biomasse unter Ausschluss von Licht und Sauerstoff von Mikroorganismen abgebaut werden

²¹³ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Biogashandbuch Bayern, S. 9, Abb. 6.

²¹⁴ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 24, Abb. 13.

²¹⁵ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 875 ff.

²¹⁶ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 24.

²¹⁷ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 880.

²¹⁸ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 881, Abb. 16.7.; Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 3. Aufl., S. 36 ff.

kann²¹⁹. Während dieses Vorgangs wird der Gärbehälter, welcher darüber hinaus über eine Durchmischungsvorrichtung sowie eine Entnahmemöglichkeit für das entstehende Gas verfügt, beheizt²²⁰. Als Baumaterial kommen in erster Linie Stahl, Beton oder Kunststoff zum Einsatz²²¹. Beim Fermenter kann im Allgemeinen unterschieden werden nach der Art der Ausrichtung (stehend, liegend), dem Grad der Durchmischung (vollständig durchmischt, horizontal durchflossen oder vertikal durchmischt) sowie der Anzahl der Gärkammern (ein-, zwei- oder mehrkammerige)²²².

Im Bereich der Gärverfahren existiert eine Vielzahl an Prozessen, die zur Gewinnung von Biogas in Frage kommen. Diese lassen sich jedoch auf die vorrangig verwendeten Methoden eingrenzen, zu denen u.a. der Kontaktprozess, die Schlammbettvergärung, die Festbettvergärung, die Wirbelbettvergärung oder die Nassfermentationsverfahren gehören, welche vor allem bei flüssigem Substrat bzw. bei der Kofermentation eingesetzt werden. Feste Biomasse hingegen wird vorwiegend unter Einsatz der diskontinuierlichen Feststoffvergärung umgesetzt²²³. Da die meisten Biogasanlagen als Nassfermentationsanlagen betrieben werden, bei denen in ein-, zwei- oder mehrstufigen Verfahren die flüssige bzw. die befeuchtete, ursprünglich trockene Biomasse zu Biogas umgesetzt wird, lässt sich eine vereinfachte Aufteilung in die Nassvergärung einerseits und die Semi-Trockenvergärung bzw. Trockenvergärung andererseits vornehmen²²⁴.

Darüber hinaus können die Gärprozesse, wie bereits beschrieben, ein- oder mehrstufig ablaufen. Je nachdem, um welchen Ausgangsstoff es sich handelt und wie die hierfür optimalen Fermentationsbedingungen aussehen, kann es notwendig sein, dass bspw. bei der Feststoffvergärung in einer ersten Stufe Flüssigkeit abgetrennt wird und die tatsächliche Zersetzung in einem nächsten Schritt stattfindet oder, wie es bei bestimmten industriellen Abwässern der Fall ist, eine Vorversäuerung notwendig ist, um den für die Biogaserzeugung idealen pH-Wert zu erreichen²²⁵.

Dem Fermenter nachgeschaltet ist oftmals noch ein Nachgärbehälter, um das unkontrollierte Austreten von insbesondere Methanemissionen aus dem Gärsubstrat zu verhindern. Dieses wird hier zwischengelagert und die entweichenden Gase können ebenfalls gesammelt und in der weiteren Produktionskette nutzbar gemacht werden²²⁶.

²¹⁹ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 24.

²²⁰ P. Kempf/H. Schmidt, Erneuerbare Energien – Technologien, Anforderungen, Projektbeispiele, S. 120.

²²¹ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 890.

²²² Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 24.

²²³ Näher hierzu siehe M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 885 ff.

²²⁴ P. Kempf/H. Schmidt, Erneuerbare Energien – Technologien, Anforderungen, Projektbeispiele, S. 120.

²²⁵ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 24 f.

²²⁶ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 25.

Abhängig davon, welchem Verfahren zur energetischen Nutzung das gewonnene Biogas zugeführt werden soll, ist die Reinigung und weitergehende Aufbereitung notwendig. Im Allgemeinen bedeutet dies, dass Wasserdampf durch Kondensation und eventuelle Gastrocknung entzogen und Verunreinigungen mithilfe von Schmutzfiltern entfernt werden²²⁷. Darüber hinaus ist es von Vorteil, das Gas durch Entschwefelung von Schwefelwasserstoffen zu befreien, welche eine erhebliche korrosive Wirkung auf die Anlagenteile haben. Weitere angewandte Verfahren sind die Trennung der im Biogas enthaltenen Bestandteile Kohlenstoffdioxid und Methan sowie die Konditionierung, bei der im Fall der Einspeisung des Gases ins Erdgasnetz die für Erdgas typischen Parameter hergestellt werden (Trockenheit, Druck, Brennwert)²²⁸.

Je nachdem, welche Substrate zur Biogasgewinnung eingesetzt werden, können auch die zurückbleibenden Gärreste unterschiedlichen Zwecken dienen. Handelt es sich um Anlagen im Rahmen eines landwirtschaftlichen Betriebs, können die Reststoffe, wie bspw. Gülle, auch als Dünger verwendet werden, welcher dann in der Regel bessere Düngeeigenschaften aufweist, als dies vor der Vergärung der Fall war²²⁹. Ebenfalls als Düngemittel können die Reste aus der Vergärung von Bioabfällen oder Klärschlämmen verwendet werden, wobei es sich hier, genau wie bei Gärresten landwirtschaftlichen Ursprungs, um einen zugelassenen Düngemitteltyp handeln muss. Diese Stoffe sind allerdings im Allgemeinen einer aeroben Nachbehandlung zuzuführen, um sie weiterverwenden zu können²³⁰.

3. Flüssige Brennstoffe (Biokraftstoffe)

Die Herstellung flüssiger Bioenergieträger, insbesondere von Biokraftstoffen, lässt sich aus einer Vielzahl von Rohstoffen und mithilfe unterschiedlicher technischer Verfahren realisieren. Dabei kann man zunächst zwischen den pflanzenölbasierten (Pflanzenöl/Biodiesel) und den alkoholbasierten (Bioethanol) Methoden differenzieren. Weniger verbreitet ist die Gewinnung flüssiger Energieträger durch thermochemische Verflüssigung (Pyrolyse) sowie die Verflüssigung zu Methanol nach voriger Vergasung von Feststoffen (synthetische Herstellung)²³¹.

²²⁷ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 25.

²²⁸ Technologien und Kosten der Biogasaufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz. Ergebnisse der Markterhebung 2007-2008, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Fraunhofer UMSICHT), S. 33 ff.

²²⁹ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 25.

²³⁰ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 25.

²³¹ Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse, Zwischenbericht, DBFZ, 2011, S. 21, Abb. 2-2; Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 26.

a. Verfahren auf Basis von Pflanzenölen

Die Gewinnung von Pflanzenölen aus biogenen Rohstoffen gehört zu den einfachsten und finanziell effektivsten Verfahren der Herstellung von flüssigen Biobrennstoffen²³².

Die Techniken bei der Herstellung von Pflanzenöl und schließlich Biodiesel unterscheiden sich im Wesentlichen nach der Größe und Kapazität der Anlage. In Großanlagen werden die Verfahren der Pressung, Extraktion sowie einer Kombination der beiden Methoden angewendet²³³. Dies bedeutet, dass die Rohstoffe (meist ölhaltige Pflanzen, wie Raps, Sojapflanze, Ölpalme), deren Fruchtfleisch oder Samen ausgepresst bzw. mithilfe von Lösemitteln extrahiert werden²³⁴. Bei der Kombination beider Verfahren werden die Pflanzen und Pflanzenbestandteile zunächst gepresst und aus den Resten der Pressung wird dann unter Zugabe des Lösemittels das noch vorhandene Öl gewonnen. Letztere Vorgehensweise ist somit besonders effektiv und die übliche Praxis in großen Ölmühlen²³⁵.

Kleine Anlagen verwenden üblicherweise das Verfahren der Pressung, um aus Pflanzen und Pflanzenbestandteilen Öl zu gewinnen. Der so hergestellte flüssige Energieträger enthält allerdings oftmals einen höheren Anteil an festen Begleitstoffen, die vor der Weiterverarbeitung durch Ölreinigung entfernt werden müssen.²³⁶

Bevor das durch die beschriebenen Verfahren gewonnene Pflanzenöl zur Energiegewinnung in bspw. Motoren eingesetzt werden kann, muss es jedoch erst weiterverarbeitet werden. Dabei ist es üblich, dass es konventionellen Kraftstoffen auf Mineralölbasis angepasst wird, um es in herkömmlichen Motoren zu verwenden²³⁷. Eine solche Anpassung erfolgt in der Regel durch chemische Vorgänge in Raffinerien, z.B. durch Umesterung, wo unter Einsatz von Methanol Pflanzenölmethylester bzw. Rapsölmethylester entstehen, die gemeinhin als „Biodiesel“ bekannt sind und u.a. in Kfz-Motoren eingesetzt werden können²³⁸. Eine weitere Möglichkeit der Aufbereitung von Pflanzenölen ist die gemeinsame Behandlung mit konventionellen Mineralölen in bereits vorhandenen Mineralölraffinerien, wo mit relativ geringem Aufwand ein dem Dieselkraftstoff vergleichbarer biogener Kraftstoff hergestellt wird²³⁹.

b. Verfahren auf Basis von Alkohol (Bioethanol)

Auch Bioethanol lässt sich – neben anderen Nutzungsformen – als Kraftstoff im Mobilitätsbereich einsetzen. Dieser entsteht durch alkoholische Gärung aus im Wesentlichen drei

²³² P. Kempf/H. Schmidt, Erneuerbare Energien – Technologien, Anforderungen, Projektbeispiele, S. 121.

²³³ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 712 ff.

²³⁴ P. Kempf/H. Schmidt, Erneuerbare Energien – Technologien, Anforderungen, Projektbeispiele, S. 121.

²³⁵ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 26.

²³⁶ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 725.

²³⁷ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 26.

²³⁸ Ausführlich hierzu M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 736 ff.

²³⁹ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 26.

Pflanzenarten bzw. Stoffen: Zuckerpflanzen (Zuckerrüben), stärkehaltigen Pflanzen (Mais, Kartoffeln) oder zellulosehaltigen Bestandteilen (Stroh, Holz), wobei Ethanol lediglich durch Gärung aus Zucker gewonnen wird und somit die Verarbeitung von stärke- und zellulosehaltigem Material nur über den Zwischenschritt der Zuckergewinnung aus diesen Stoffen erfolgen kann²⁴⁰.

Die Herstellung von Bioethanol zur Erzeugung von Energie (anders als die Herstellung von Trinkalkohol) ist jedoch aufgrund der aufwendigen Technik und hohen Kosten in Deutschland kaum verbreitet²⁴¹.

c. Pyrolyse

Bei der Pyrolyse wird vorwiegend mittels thermochemischer Vorgänge aus fester Biomasse (Holz, Stroh) unter Ausschluss von Sauerstoff ein flüssiges Zwischenprodukt (Pyrolyseöl), sofern die Pyrolyse unvollständig durchgeführt wurde, sowie bei vollständiger Durchführung ein gasförmiges Zwischenprodukt (Pyrolysegas) gewonnen²⁴². Bei sehr hohen Temperaturen wird dabei die Aufspaltung großer Moleküle in kleinere Einheiten erzwungen, wodurch sowohl feste (Holzkohle) als auch gasförmige (Wasserstoff, Kohlenmonoxid und -dioxid, Methan) und flüssige Endprodukte (Öl, Wasser) entstehen²⁴³. Pyrolyseöl und -gas können – nach diversen Veredelungsschritten (Reinigung, Verflüssigung, Synthese) – als synthetische Kraftstoffe im Verkehrssektor oder als sonstige synthetische Energielieferanten zur Wärme- und/oder Stromerzeugung eingesetzt werden.

V. Umwandlung der Brennstoffe in Energie

Die letztliche Umwandlung der sekundären Brennstoffe in Energie kann in allen drei Sektoren – Strom, Wärme/Kälte, Verkehr – erfolgen. Dabei dient die flüssige Biomasse aufgrund von Effizienzgesichtspunkten nunmehr fast ausschließlich der Energiegewinnung in Form von Kraftstoffen, wohingegen feste und gasförmige Biomasse sowohl zur Bereitstellung von Strom als auch von Wärme genutzt werden. Biogas kann daneben jedoch auch im Verkehrssektor als Kraftstoff Verwendung finden²⁴⁴.

²⁴⁰ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 793.

²⁴¹ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 27.

²⁴² S. Rönsch, Optimierung und Bewertung von Anlagen zur Erzeugung von Methan, Strom und Wärme aus biogenen Festbrennstoffen, DBFZ Report Nr. 5, S. 6.

²⁴³ Ausführlich hierzu siehe M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 671 ff.

²⁴⁴ Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 3. Aufl., S. 97.

Die Verbrennung der festen Substrate (Holzkohle) entspricht dabei dem gleichen Prinzip wie die direkte Feuerung von fester Biomasse in Form von unbehandeltem Holz, Holzpellets, Hackschnitzeln etc.²⁴⁵

Das gewonnene Biogas kann entweder zur ausschließlichen Erzeugung von Wärme bspw. in Gasbrennern oder Infrarotstrahlern verwendet werden²⁴⁶. Vorwiegend dient es jedoch der Stromerzeugung (in Gasturbinen, Motoren, Brennstoffzellen) bzw. der kombinierten Erzeugung von Strom und Wärme in KWK-Anlagen²⁴⁷. In der Regel kommen dabei drei unterschiedliche Techniken in Betracht: die Konversion in Gas-Otto-Motoren, in Zündstrahl-Dieselmotoren oder in auf den Gas-Otto-Betrieb umgerüsteten Dieselmotoren²⁴⁸. Bei Anlagen ab einer elektrischen Leistung von 5 MW kann sich auch der Einsatz einer Gasturbine als sinnvoll erweisen²⁴⁹. Insbesondere bietet sich hier, ebenfalls ab einer bestimmten Leistungsgrenze (etwa ab 25 MW_{el}) die Möglichkeit, durch Nachschaltung eines Abhitzekeessels mit Dampfturbine (GuD-Kombikraftwerk) den Wirkungsgrad des Kraftwerks erheblich zu steigern²⁵⁰.

Der erzeugte Strom kann vollständig oder teilweise ins öffentliche Versorgungsnetz eingespeist werden. Gleiches gilt für die Wärme, welche entweder einem Wärmenetz zugeführt wird, oder sowohl ganz als auch teilweise unmittelbar am Standort zur Beheizung des Fermenters einer Biogasanlage oder zur Trocknung der Einsatzstoffe genutzt werden kann. Zum Zweck der dezentralen Versorgung mit Energie ist es ebenfalls Praxis, das vorher aufbereitete Biogas in das Erdgasnetz einzuspeisen, um es an anderer Stelle zu entnehmen und hieraus vornehmlich in BHKWs Energie zu erzeugen²⁵¹. Weitere Verwendungsoption ist die Nutzung von Biogas als Treibstoff in Kraftfahrzeugen, wofür ebenfalls eine entsprechende Aufbereitung auf Erdgasqualität notwendig ist²⁵².

Flüssige Biomasse wird heute, aufgrund der niedrigeren Kosten und des höheren Wirkungsgrades, fast ausschließlich als Kraftstoff im Verkehrssektor und selten bis gar nicht zur Stromerzeugung oder als Ersatzprodukt für Heizöl in stationären Ölbrennern zur Wärmeerzeugung verwendet²⁵³. Die Umwandlung in Energie erfolgt dabei durch Verbrennung der Öle

²⁴⁵ Siehe C.

²⁴⁶ Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 3. Aufl., S. 97.

²⁴⁷ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 25.

²⁴⁸ Energetische Biomassenutzung in Sachsen-Anhalt, 1. Aufl., S. 25; dies gilt auch bei der Verwendung von Biogas als Treibstoff.

²⁴⁹ H. Spliethoff/M. Braun-Unkhoff/B. Krautkremer, Thermische Nutzung von Biomasse – Ausgangsstoffe und Konversionsverfahren, FVS-LZE Themen 2005, S. 56 (59).

²⁵⁰ H. Spliethoff/M. Braun-Unkhoff/B. Krautkremer, Thermische Nutzung von Biomasse – Ausgangsstoffe und Konversionsverfahren, FVS-LZE Themen 2005, S. 56 (59).

²⁵¹ Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 3. Aufl., S. 114 f.

²⁵² Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 3. Aufl., S.115.

²⁵³ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 763.

in Motoren, entweder nach Aufbereitung zu Diesekraftstoff oder auch als naturbelassener Pflanzenölkraftstoff²⁵⁴. Handelt es sich um flüssige Biomasse in Diesekraftstoffqualität, kann diese, auch durch Beimischung von mineralischem Diesel, in konventionellen Dieselmotoren verbrannt werden, sofern dies vom Hersteller freigegeben wird. Soll unbehandeltes Pflanzenöl in Motoren verbrannt werden, gibt es hierfür verschiedene Technologien, bspw. Vor- bzw. Wirbelkammermotoren oder Motoren mit Direkteinspritzung²⁵⁵.

D. Ökonomische Grundlagen

Bei der Betrachtung der energetischen Biomassenutzung bedarf es einiger Ausführungen zu den ökonomischen Rahmenbedingungen, unter denen Biomasseanlagen wirtschaftlich errichtet und betrieben werden können. Im Folgenden wird gezeigt, wie sich die Strom-, Wärme- und Biokraftstoffgestehungskosten aus Biomasse – auch in Relation zu anderen Formen der Energieerzeugung aus fossilen und anderen erneuerbaren Energien - darstellen (I.), welche Kosten bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Errichtung und des Betriebs von Biomasseanlagen berücksichtigt werden müssen und welche Umsätze bei der Errichtung und dem Betrieb von Biomasseanlagen in den letzten Jahren erfolgten (II.). Für alle drei Bereiche gilt, dass aufgrund der großen Bandbreite und Unterschiede bei der Art und Leistung von Biomasseanlagen nur ein ausschnittsartiger Überblick über die Zahlen gegeben werden kann, da eine umfassende Abbildung aller in Betracht kommenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen differenziert nach Art der Anlage (Verfeuerung fester Biomasse, Biogasanlagen, Biogasaufbereitungsanlagen, (Heiz-)Kraftwerke usw.), der Leistungsklasse (von 1 kW bis > 20 MW) und der genutzten Einsatzstoffe (Waldholz, Energiepflanzen, Bahnschwellen usw.) im Rahmen dieser Untersuchung nicht geleistet werden kann. Ferner wurden – soweit verfügbar – die aktuellsten Daten verwendet. Es ist jedoch zu beachten, dass die Daten vor allem im Bereich der Wärmeerzeugung aus Biomasse nur beschränkt belastbar sind, da der Einsatz von biogenen Festbrennstoffen kaum erfasst wird²⁵⁶.

I. Energiegestehungskosten bei der Biomassenutzung

Zunächst soll ein Blick auf die Energiegestehungskosten oder Erzeugungskosten beim Einsatz von Biomasse, differenziert nach Strom-, Wärme- und Kraftstoffgestehungskosten geworfen werden.

²⁴⁷ M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 757 ff.

²⁵⁵ Ausführlich hierzu siehe M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., S. 757 ff.

²⁵⁶ F. Staiß, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007, S. I-48.

Energiegestehungskosten stellen eine Vergleichsgröße auf Basis gewichteter Durchschnittskosten für Stromerzeugungstechnologien dar. Sie ermöglichen einen Vergleich zwischen verschiedenen Technologien²⁵⁷, indem sie die Summe der jährlichen Kosten in Verhältnis zur erzeugten Energiemenge setzen²⁵⁸. Die Erzeugungskosten setzen sich dabei aus Kapital-, Betriebs- und Brennstoffkosten während des Anlagenbetriebs zusammen. Die Kostenbestandteile werden üblicherweise über die gesamte technische Nutzungsdauer kumuliert, auf den Gegenwartswert abdiskontiert und auf die erzeugte Energiemenge bezogen, um vergleichbare Werte zu erhalten²⁵⁹. Danach bestehen für die nachstehenden Konversionsanlagen bspw. folgende Stromgestehungskosten:

Konversionsanlage	Leistung	ct/kWh	Leistung	ct/kWh
Holzkraftwerk (Brennstoffkosten 0,3 ct/kWh)	20 MW	7,4	10 MW	18,4
Holzheizkraftwerk (Brennstoffkosten 0,7 ct/kWh; Wärmegutschrift 2,0 ct/kWh)	5 MW _{el}	9,5	1 MW _{el}	16,6
Biogas-BHKW (Gülle) (Brennstoffkosten 2,0 ct/kWh; Wärmeabnahme 10 Prozent)	350 kW _{el}	9,3	70 kW _{el}	15,7

Tab. 2: Stromgestehungskosten Biomasse. Quelle: A. Voß „Erneuerbare Energien – der Königsweg zu einer nachhaltigen Energieversorgung?“²⁶⁰, verändert.

Die Tabelle deutet trotz des kleinen Ausschnitts aus der Bandbreite von Biomasseanlagen bereits an, dass die Stromgestehungskosten je nach Anlagentyp und Anlagenleistung sehr stark variieren und die Kosten je erzeugter Kilowattstunde mit zunehmender Größe und Leistung der Anlage grundsätzlich abnehmen, wobei bei größeren Anlagen kostensteigernde Effekte durch zusätzliche technische Einrichtungen wie etwa eine aufwändigere Entstaubung hinzukommen²⁶¹. Zudem ist zu beachten, dass es sich bei den angegebenen Erzeugungskosten lediglich um Orientierungswerte handeln kann, da die exakten Kosten sehr von der kon-

²⁵⁷ Bezogen auf Stromgestehungskosten vgl. *Fraunhofer ISE*, Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, 2012, S. 2, abrufbar unter: <http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.pdf> (25.04.2013).

²⁵⁸ Vgl. *DBFZ*, Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2011 gemäß § 65 EEG, 2011, S. 31.

²⁵⁹ Bezogen auf Stromgestehungskosten vgl. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Bericht Nr. 4, 02/2008, Stromerzeugungskosten im Vergleich, S. 13.

²⁶⁰ Abrufbar unter: http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/VortragNuernberg/Nuernberg_2006_04.pdf (25.04.2013).

²⁶¹ Vgl. *BMELV*, Leitfaden Bioenergie, 2. Aufl., S. 197

kreten Einzelanlage und den Bezugskosten der Einsatzstoffe abhängen²⁶². Bei Biogasanlagen machen die Substratkosten bspw. den wesentlichen Faktor der Stromgestehungskosten aus²⁶³.

Setzt man die Stromgestehungskosten verschiedener Biomasseanlagen in Relation zu anderen regenerativen Energiequellen ergibt sich auf Basis der Kosten im Jahr 2007 folgendes Bild.

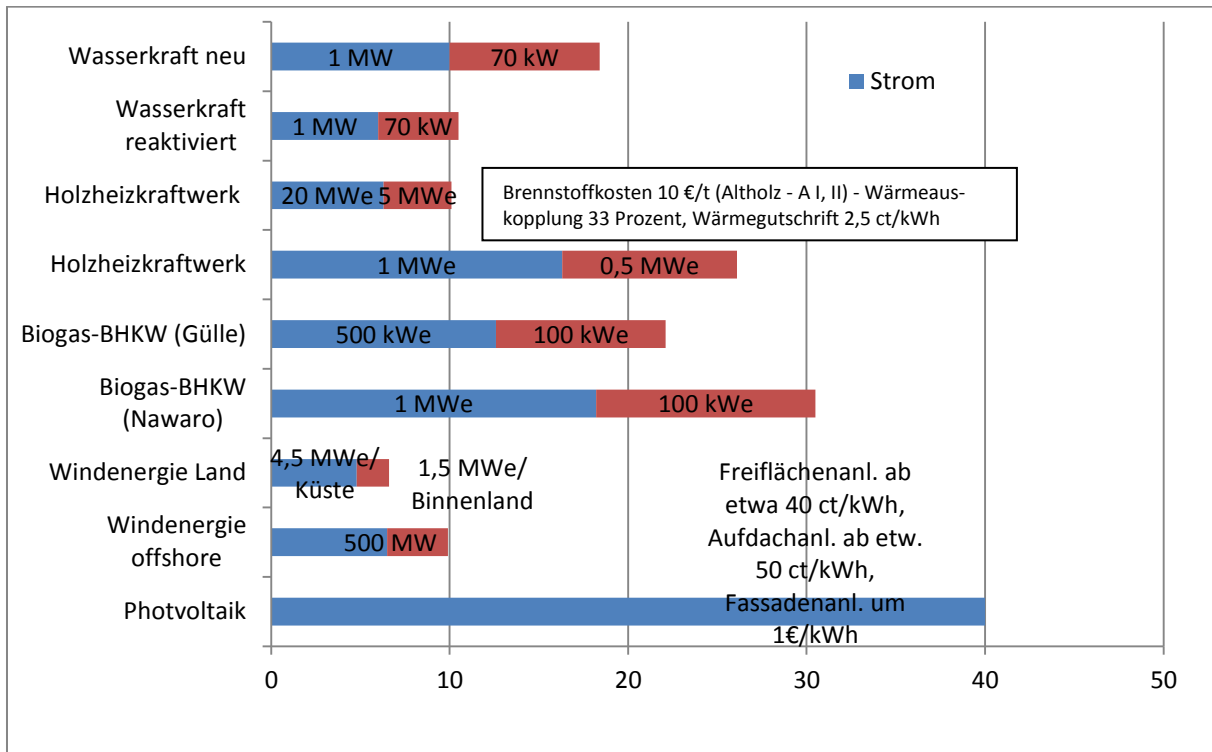


Abb. 3: Orientierungswerte für die Strom- und Wärme-gestehungskosten (netto , ohne Wärmenetze) aus Erneuerbaren und fossilen Energien, ohne CO₂-Gutschriften. Quelle: *F. Staiß*, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007, Abb. 1-25 A, S. I-44.

Es zeigt sich, dass die Kosten der Stromerzeugung aus Biomasse – aus den vorgenannten Gründen – auch die gesamte Bandbreite der möglichen Erzeugungskosten abdecken. Eine pauschale Aussage über ein günstiges oder teures Verhältnis zu den Stromgestehungskosten aus den anderen erneuerbaren Energien ist daher nicht möglich²⁶⁴. In der Entwicklung seit 2007 zeigt die folgende Abbildung, dass die Kosten für die Stromerzeugung aus Photovoltaik durch technische Fortentwicklung und Massenproduktion selbst bei kleinen (neuen) Anlagen

²⁶² Vgl. DBFZ, Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2011 gemäß § 65 EEG, 2011, S. 32.

²⁶³ Diese liegen in der Regel zwischen 40 und 60 Prozent, vgl. *M. Maslaton*, in: H. Loibl/ders./H. von Bredow/R. Walter (Hrsg.), Biogasanlagen im EEG, 3. Aufl., S. 28.

²⁶⁴ So auch *F. Staiß*, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007, S. I-43, nach dem sogar innerhalb einzelner Technologien die Energiegestehungskosten um den Faktor 2 differieren können.

derzeit nur noch um 15 ct/kWh liegen. Die Kosten für Wind onshore und offshore sind hingegen nicht merklich gesunken.

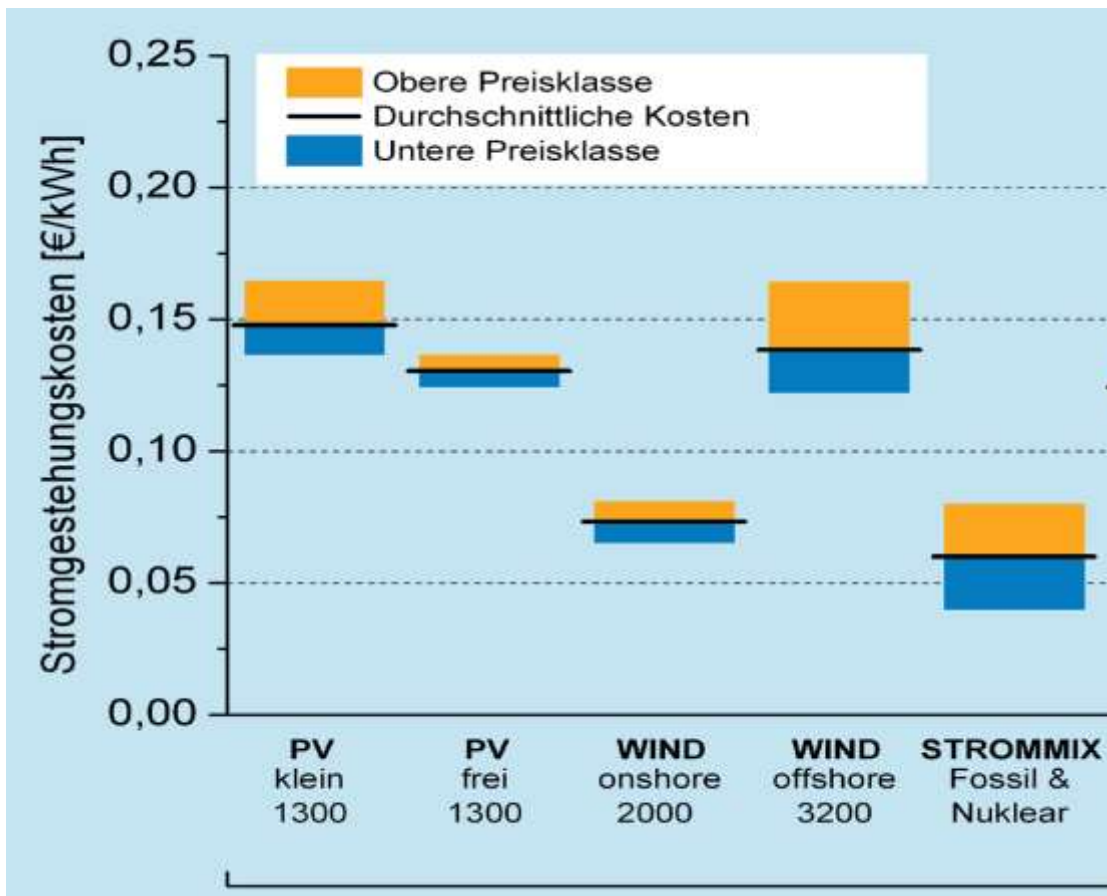


Abb. 4: Stromgestehungskosten für PV, CSP und Wind an Standorten in Deutschland. Der Wert unter der Technologie bezieht sich auf die solare Einstrahlung in kWh/m²/Jahr (optimaler Neigungswinkel für PV berücksichtigt, DNI für CSP), bei Windkraft auf die Volllaststundenanzahl pro Jahr. Quelle: Fraunhofer ISE, Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, 2012, S. 3, verändert.

Differenziert man die Kostenstrukturen für die einzelnen Arten erneuerbarer Energien weiter auf, zeigt sich, dass Biomasse für ein angenommenes Referenzkraftwerk im Mittelfeld liegt und die Brennstoffkosten den höchsten Anteil an den Kosten ausmachen.

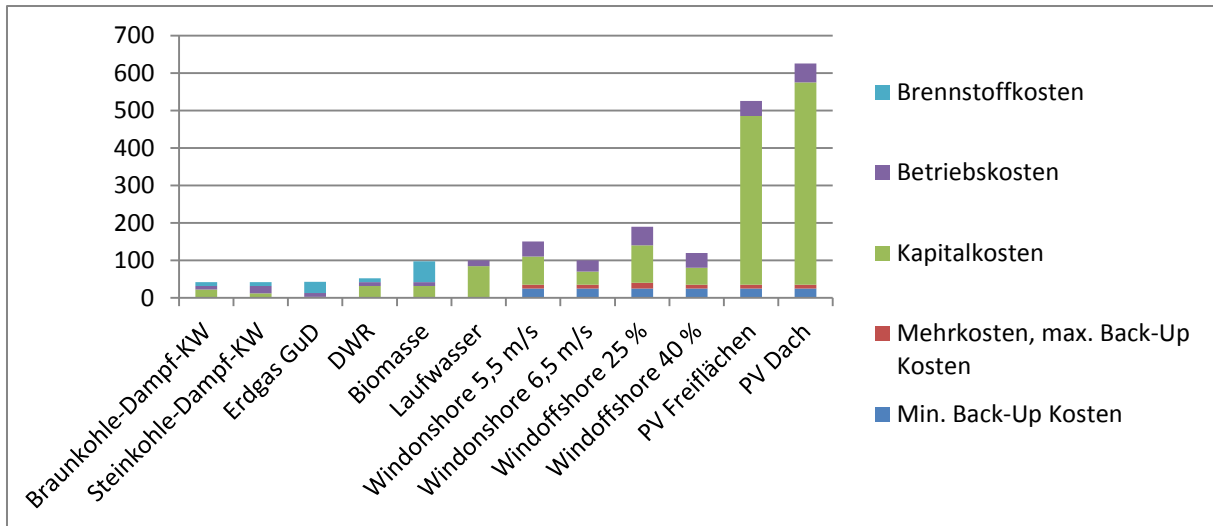


Abb. 5: Stromgestehungskosten der Referenzkraftwerke, Inbetriebnahme ab 2010 (Diskontrate 7,5 Prozent). Quelle: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Bericht Nr. 4, 02/2008, Stromerzeugungskosten im Vergleich, Abb. 3-1, S. 14.

Eine Betrachtung der Wärmegestehungskosten aus verschiedenen erneuerbaren Energien zeigt die nachstehende Grafik, aus der hervorgeht, dass die Wärmeerzeugung aus Biomasse, insbesondere bei Heizkraftwerken größerer Leistungsklassen einen wirtschaftlichen Vorteil gegenüber anderen Formen erneuerbarer Energien aufweist.

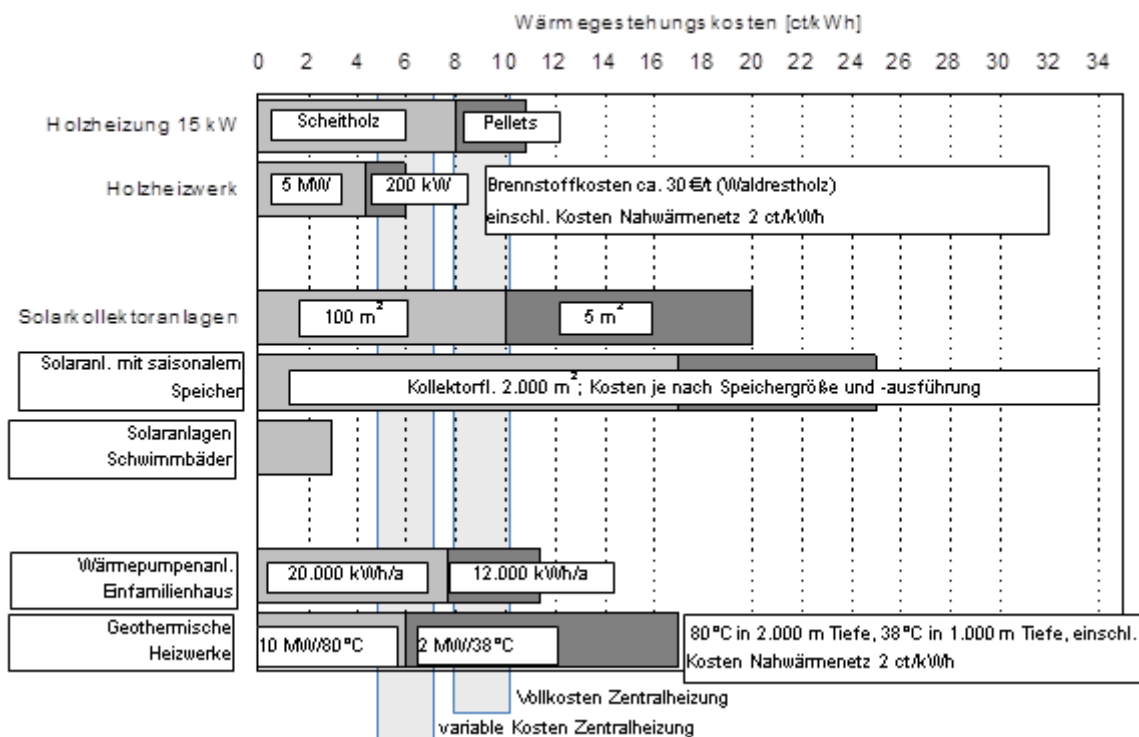


Abb. 6: Orientierungswerte für die Strom- und Wärmegestehungskosten (netto, ohne Wärmenetze) aus Erneuerbaren und fossilen Energien, ohne CO₂-Gutschriften. Quelle: F. Stajß, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007, Abb. 1-25 B, S. I-45.

Die ökonomischen Vorteile von (großen) Heizkraftwerken bei der Erzeugung von Wärme bestätigen sich, wenn man zwei Arten von Holzheizkraftwerken unterschiedlicher Leistungsklassen (200 kW und 5 MW) betrachtet, wie es die nachstehende Grafik zeigt. Je nach angenommenen Brennstoffkosten und Leistung des Heizkessels betragen die Wärmegestehungskosten zwischen rd. 9 ct/kWh und lediglich rd. 2 ct/kWh.

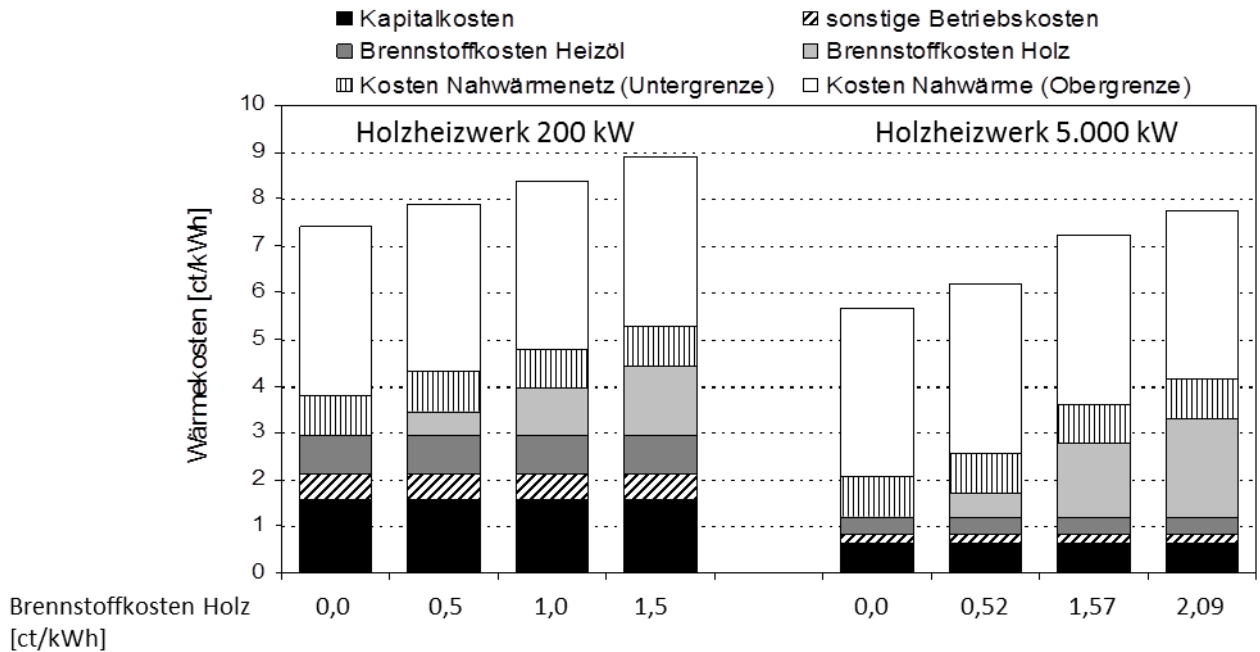


Abb. 7: Orientierungswerte für die Wärmegestehungskosten von Holzheizwerken in Abhängigkeit von den Brennstoffkosten für Holz bei einer Nutzungsdauer von 20 Jahren und einem Zinssatz von 6 Prozent p.a. Quelle: F. Staiß, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007, Abb. 1-40, S. I-73.

Die nachstehende Grafik gibt einen Überblick über die Kosten der Einsatzstoffe, wie sie sich im Jahr 2007 gestalteten.

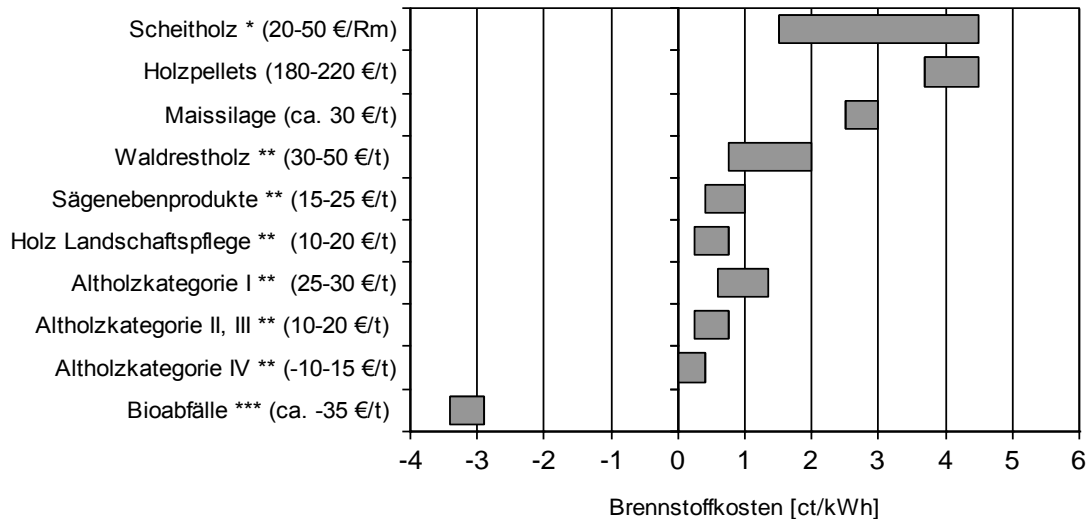


Abb. 8: Orientierungswerte für einige feste Bioenergieträger (alle Preise frei Anlage ohne MwSt). Quelle: F. Staiß, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007, Abb. 1-38, S. I-71.

In der weiteren Entwicklung zeigt die nachstehende Grafik, dass die Rohstoffkosten – mit Ausnahme von Palmöl – sich in den letzten Jahren nicht signifikant verändert haben.

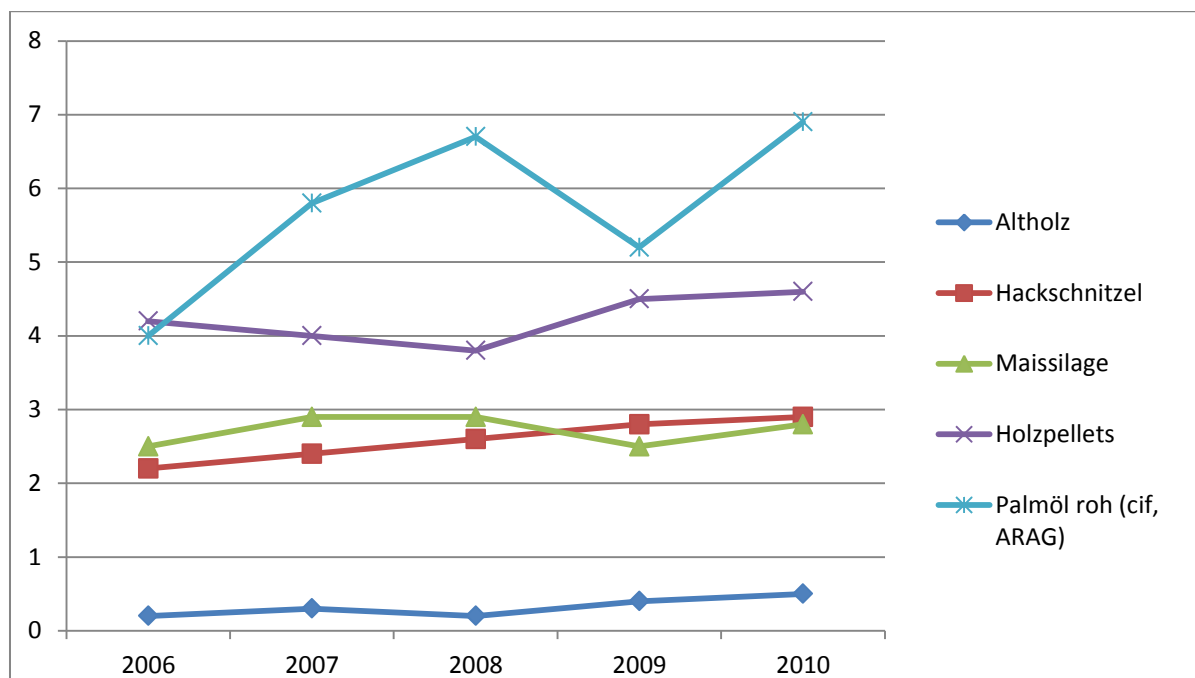


Abb. 9: DBFZ, Vorbereitung und Erstellung des Erfahrungsberichts 2011 gemäß § 65 EEG, S. 41, Abb. 12.

Abschließend zeigt die nachstehende Grafik die Biokraftstoffgestehungskosten für die verschiedenen Arten von Kraftstoffen.

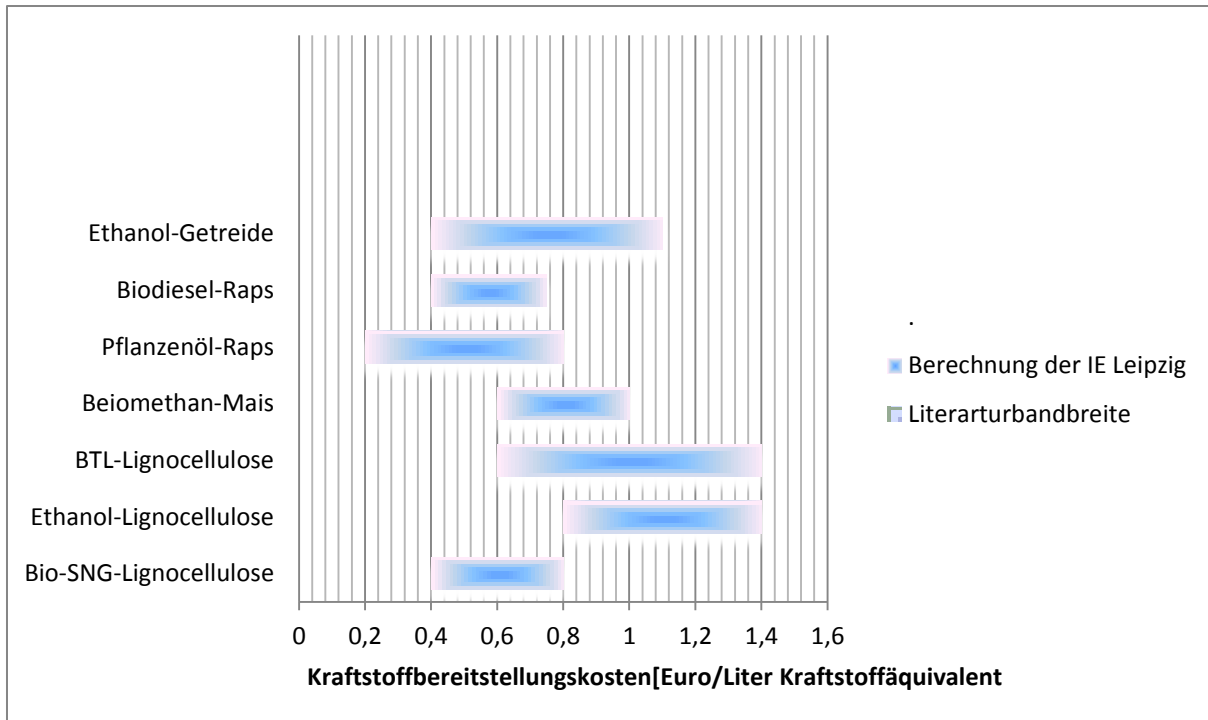


Abb. 10: Kraftstoffbereitstellungskosten frei Biokraftstoffproduktionsanlage. Quelle: Institut für Energetik und Umwelt, Kosten und Ökobilanzen von Biokraftstoffen, Abb. 1, S. 7.

II. Investitionen und Umsätze im Sektor Biomasse

Das letztlich entscheidende Kriterium für die Investitionsentscheidung für die Errichtung und den Betrieb einer Biomasseanlage in Allgemeinen oder Biogasanlage im Besonderen ist die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Neben den bereits dargestellten Kosten für Brennstoffe sind weiterhin die Anschaffungskosten für die Anlage maßgebliche Eingangsgröße. Diese setzen sich aus den Netto-Investitionskosten v.a. für die Bautechnik, Nebenkosten für Planung, Genehmigung und Gutachten, Vorsteuer/Umsatzsteuer, Bauzeitinsen und „Unvorhergesehenes“ zusammen²⁶⁵. Die anteiligen Kosten für die Bautechnik sind dabei je nach Art und Leistung der Anlage sehr unterschiedlich. Bei Kleinanlagen bspw. zur Wärmeversorgung von Ein- und Zweifamilienhäusern fallen diese kaum ins Gewicht. Bei größeren Anlagen machen sie hingegen einen Anteil von etwa 20 bis 40 Prozent der Investitionskosten aus²⁶⁶.

Die folgende Tabelle vermittelt einen Eindruck von den Investitionskosten für Bioenergieanlagen unterschiedlicher Arten und Leistungsklassen.

²⁶⁵ Vgl. *BMELV*, Leitfaden Bioenergie, 2. Aufl., S. 195.

²⁶⁶ Vgl. *BMELV*, Leitfaden Bioenergie, 2. Aufl., S. 196.

Beispiele Anlagenart	Gesamtkosten der Bioenergieanlage in TEUR	Spezifische Investitionskosten (Mittelwert) je MW in TEUR
1.500 kW-Kesselanlage	125-250	125
21 MW-Kesselanlage mit Gebäude	250-400	15,5
35 MW-Heizwerk	1.250-1.500	39,3
410 MW-Dampfkesselanlage mit Gebäude	5.500-7.000	15,2
514 MW-Heizkraftwerk	8.500-10.500	18,5

Tab. 3: Typische Werte für die gesamten Investitionskosten von beispielhaften Bioenergieanlagen, Quelle: BMELV, Leitfaden Bioenergie, 2. Aufl., S. 203, Tab. 6-5, erweitert.

Für Biogasanlagen betragen die Investitionskosten je kW installierter Leistung zwischen rd. 2.500 €/kW für größere Anlagen und rund 7.000 €/kW bei kleineren Anlagen. Die Kosten sind allgemeine Richtwerte in Abhängigkeit u.a. vom eingesetzten Motoren-Typ und der Einbeziehung vorhandener Bausubstanz, auf die zurückgegriffen werden kann.

Anlagenart	Spezifische Investitionskosten
Biogasanlage 75 kW _{el}	ca. 7.000 €/kW _{el}
Biogasanlage 150 kW _{el}	ca. 5.000 €/kW _{el}
Biogasanlage 350 kW _{el}	ca. 4.000 €/kW _{el}
Biogasanlage 500 kW _{el}	ca. 3.400 €/kW _{el}
Biogasanlage 1MW _{el}	ca. 2.700 €/kW _{el}
Biogas-Aufbereitungsanlage 500 Nm ³ /h	ca. 7.500 €/Nm ³ *h
ORC-Anlage 75 kW _{el} .	ca. 4.000 €/kW _{el}
Mikrogasturbine 65 kW _{el} .	ca. 2.000 €/kW _{el}

Tab. 4: Spezifische Investitionskosten beispielhafte Biogasanlagen, Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., abgerufen unter: <http://www.biogasportal.info/daten-und-fakten/>.

Im Vergleich zu den anderen Arten erneuerbarer Energien stellen sich die Investitionen in Anlagen zur energetischen Biomassenutzung im Jahr 2011 wie folgt dar.

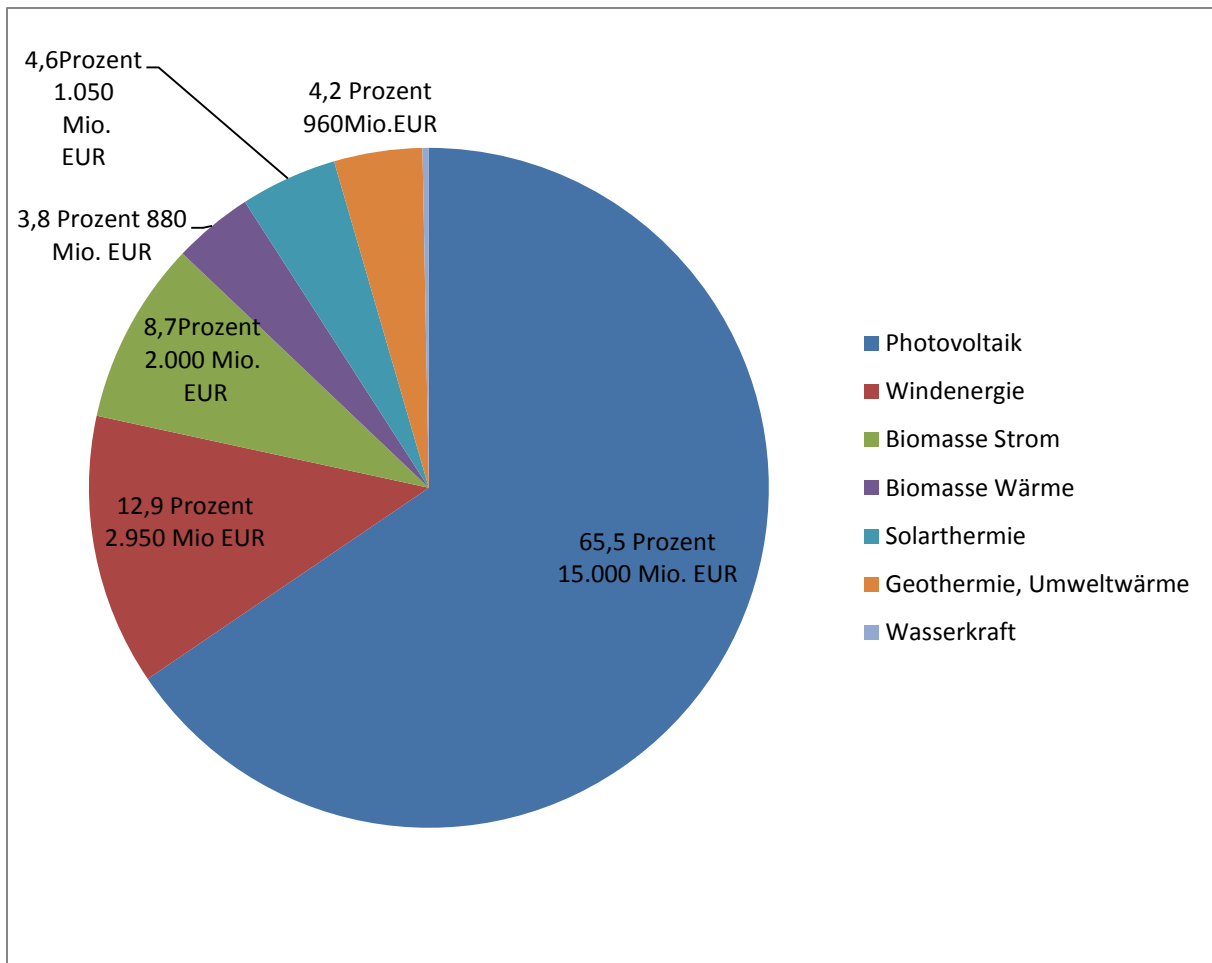


Abb. 11: Investitionen in die Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland im Jahr 2011, Quelle: Bundesumweltministerium, Erneuerbare Energien in Zahlen, 2012, S. 38.

Die rd. 2.9 Mrd. Euro Investitionssumme für Biomasseanlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme machen insgesamt nur einen Anteil von rd. 12,5 Prozent an den Gesamtinvestitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien aus.

Die Entwicklung der Investitionen in Biogasanlagen seit 1992 lässt sich anhand der errichteten Biogasanlagen nachvollziehen. Die abgeflachte Kurve ab dem Jahr 2011 zeigt, dass die Investitionen nach der Prognose in den kommenden Jahren aufgrund geringerer Zubauzahlen deutlich zurückgehen sollen.

Entwicklung der Anzahl Biogasanlagen und der gesamten installierten elektrischen Leistung in Megawatt [MW] (Stand: 11/2012)

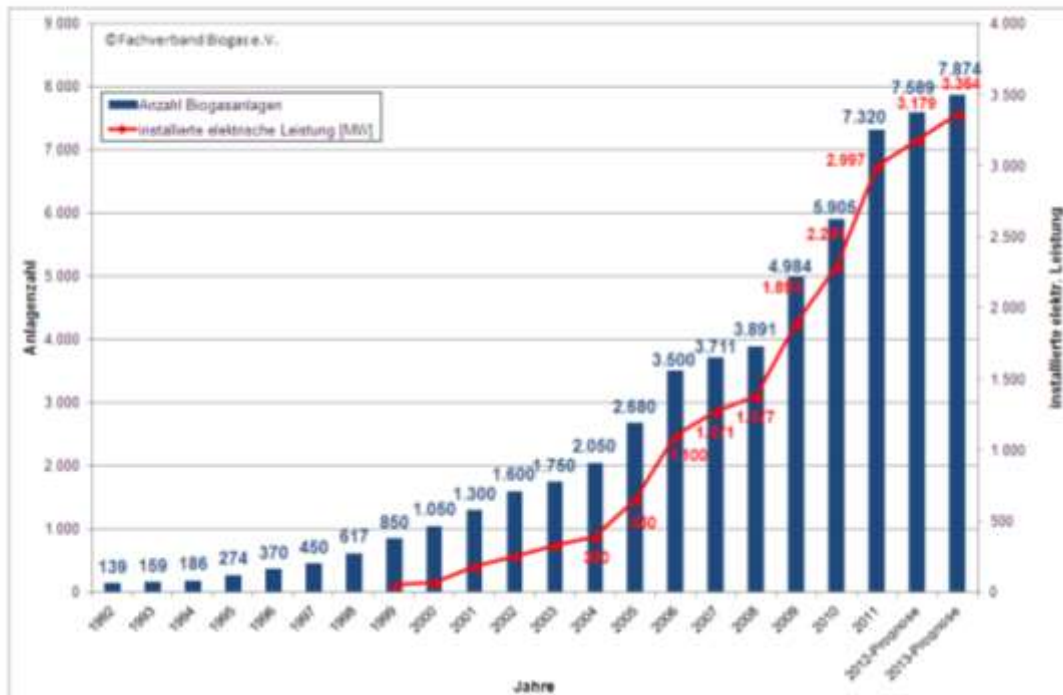


Abb. 12: Entwicklung der Anzahl Biogasanlagen und der gesamten installierten elektrischen Leistung, Quelle: Fachverband Biogas, Branchenzahlen 2011 und Branchenentwicklung 2012/2013, abrufbar unter: http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen.

Die Umsätze aus dem Betrieb von Biomasseanlagen gestalten sich für das Jahr 2011 wie im folgenden Diagramm abgebildet.

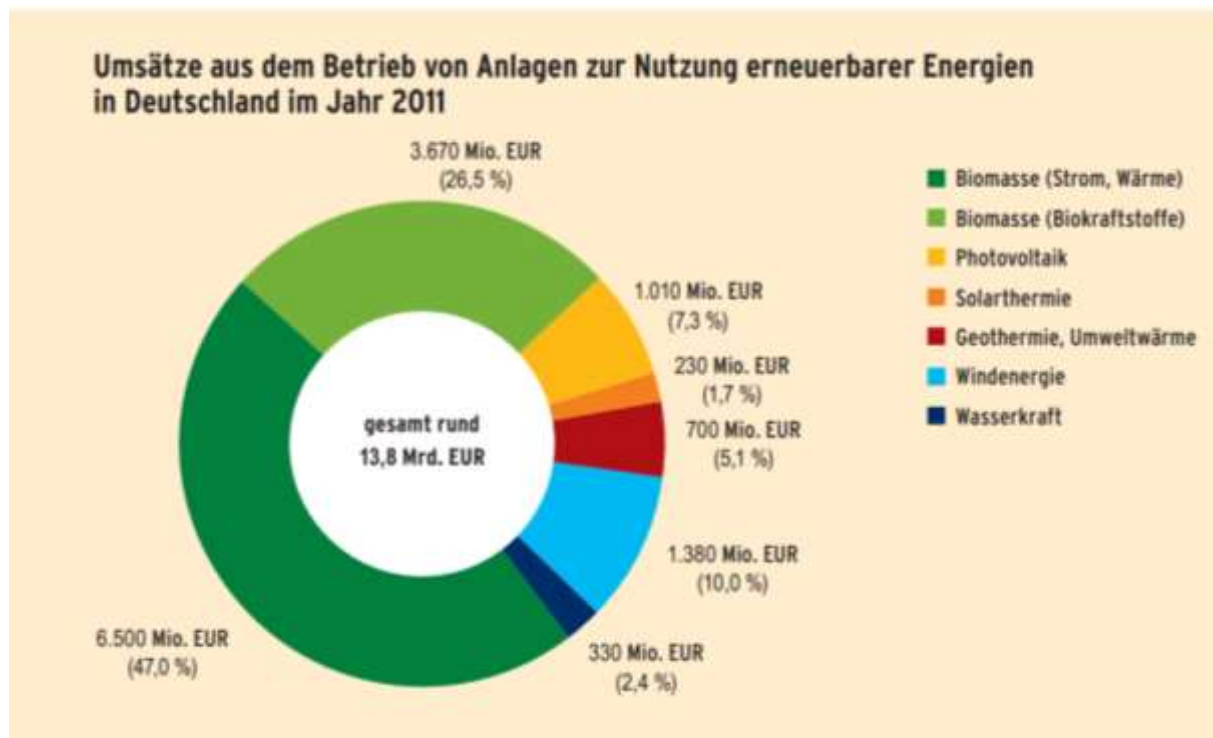


Abb. 13: Umsätze aus dem Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland im Jahr 2011, Quelle: Bundesumweltministerium, Erneuerbare Energien in Zahlen, 2012, S. 39.

Vom gesamten Umsatz aus dem Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien machen die Anlagen zur Nutzung von Biomasse in allen drei Nutzungspfaden zusammen 73,5 Prozent aus, was die Bedeutung der Biomasse insbesondere bei der Wärme- aber auch Stromerzeugung und der Kraftstoffbereitstellung unter den erneuerbaren Energieträgern unterstreicht.

E. Zahlen zur energetischen Biomassenutzung

Durch die erneuerbaren Energien wird zunehmend ein Beitrag zu Abdeckung des Endenergieverbrauchs geleistet, der im Jahr 2011 ungefähr bei 12,2 Prozent lag²⁶⁷. Davon entfällt mit etwa 70 Prozent der größte Teil auf die Biomasse²⁶⁸, was deren Bedeutung innerhalb der erneuerbaren Energien einerseits unterstreicht, aber auch die Besonderheiten der energetischen Biomassenutzung widerspiegelt, die vielfältig und, anders als bei den anderen erneuerbaren Energien, nicht nur zur Stromerzeugung sondern gut im Verkehrs- und traditionell²⁶⁹ auch im Wärmesektor einsetzbar ist²⁷⁰. Im Folgenden soll der bisherige Verlauf der Biomassenutzung in Deutschland vor dem Hintergrund des gesamten Energieverbrauchs und der sonstigen erneuerbaren Energien anhand einiger Eckdaten näher dargestellt werden, die der Orientierung der Bearbeitung in den weiteren Arbeitspaketen dienen sollen. Soweit darüber hinaus in den folgenden Arbeitspaketen auf Daten Bezug genommen wird, werden diese übersichtshalber an den entsprechenden Stellen eingeführt.

Bei der Erfassung der Daten wird auf die bisher bekannten Untersuchungen zurückgegriffen. Dies erfasst vor allem Untersuchungen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) und des DBFZ im Rahmen des Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse sowie der Zusammenfassungen durch das BMU in „Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland“, „Entwicklung der erneuerbaren

²⁶⁷ *AGEE-Stat: Erneuerbare Energien 2011*, Daten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011 auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Vorläufige Angaben, Stand 08. März 2012.

²⁶⁸ *AGEE-Stat: Erneuerbare Energien 2011*, Daten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011 auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Vorläufige Angaben, Stand 08. März 2012.

²⁶⁹ *F. Staiß*, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007, S. 3.

²⁷⁰ *M. Kaltschmitt/H. Hartmann/H. Hofbauer*, Energie aus Biomasse, 2. Aufl., 2009.

Energien in Deutschland im Jahr 2011 Grafiken und Tabellen Stand: Juli 2012“ sowie „Erneuerbare Energien in Zahlen“.

Bei der Erfassung der energetischen Biomassenutzung bestehen Unsicherheiten und sind die Daten unterschiedlich belastbar. Dies gilt vor allem für den Wärmesektor, da viele Anlagen nicht einheitlich erfasst werden und dadurch eine unvollständige Datenlage besteht²⁷¹, insbesondere wird der Bestand von Kleinstanlagen und speziell deren Nutzung nur als Schätzwert angegeben werden können²⁷². Die Bestimmung der Anlagenzahl wird zudem durch die hohe Dynamik des Bioenergieanlagenmarktes erschwert²⁷³.

I. Sektorenübergreifende Zahlen zur Energetischen Biomassenutzung

1. Energiedaten für Deutschland

	1990	1993	1996	1999	2002	2003	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Endenergieverbrauch in TWh	2.631,2	2.565,0	2.690,7	2.583,4	2.562,9	2.600,1	2.5812,5	2.443,4	2.544,1	2.406,9	2.586	2.429
Primärenergieverbrauch in PJ	14.905	14.309	14.746	14.323	14.427	14.600	14.837	14.197	14.380	13.531	14.217	13.521

Tab. 5: Überblick über die Entwicklung des Endenergieverbrauchs seit 1990. Quelle: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Dezember 2012, Tabelle 8

Für die energetische Nutzung der Biomasse in Deutschland wird durch die Energiedaten der Referenzrahmen abgesteckt. Anders als bei den erneuerbaren Energien ist der gesamte Endenergie- und Primärenergieverbrauch vergleichsweise konstant; so pendelt der Primärenergieverbrauch von 1990 bis 2011 um 14.000 PJ und der Endenergieverbrauch um 2.500 TWh. Allerdings können zwischen den einzelnen Jahresverbräuchen größere Unterschiede bestehen, so liegt die Spanne in diesem Zeitraum für den Primärenergieverbrauch zwischen 14.905 PJ im Jahr 1990 und 13.531 PJ im Jahr 2009 sowie für den Endenergieverbrauch zwischen 2.690,7 TWh im Jahr 1996 und 2.406,9 TWh im Jahr 2009. Grundsätzlich hat der Verbrauch von 2007 bis 2011 mit Werten von 13.521 PJ beim Primärenergieverbrauch im Jahr

²⁷¹ F. Staiß, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007, S. 9 und 48.

²⁷² Vgl. zur Nutzung von Kleinstanlagen für den privaten Bereich F. Staiß, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007, S. 51; zur Entwicklung der Pelletheizungen in Deutschland von 2000 bis 2011 BMU, Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011 Grafiken und Tabellen Stand: Juli 2012, S. 36.

²⁷³ Vgl. DBFZ, Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse, Endbericht zur EEG-Periode 2009 bis 2011, S. 3 für die Anlagen zur Nutzung fester Bioenergieträger.

2011 und von drei Werten unter 2.500 TWh beim Endenergieverbrauch abgenommen. Vereinfachend und unter Auslassung möglicher Effizienz- und Einsparstrategien stellt sich jedoch der Rahmen für die weitere Steuerung der Biomassenutzung als konstant dar.

	1990	1993	1996	1999	2002	2003	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Bruttostromverbrauch in TWh	550,7	528,0	547,4	557,3	587,4	598,6	617,2	618,1	614,6	578,1	610,9	602,6
Wärmeverbrauch in TWh	1.523,5	1.523,6	1.668,2	1.508,7	1.494,0	1.514,4	1.516,0	1.336,9	1.409,1	1.328,7	1.461,0	1.300,5
Kraftstoffverbrauch in TWh	517,5	645,7	644,2	678,6	646,4	625,6	639,9	627,7	615,4	609,2	613,9	621,5

Tab. 6: Verteilung des Endenergieverbrauchs auf die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr. Quelle: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Dezember 2012, Tabelle 8.

Unter Berücksichtigung der Struktur des Stromverbrauchs wird deutlich, dass der Großteil des Endenergieverbrauchs im Wärmesektor anfällt. Dieser ist bisher höher als der Bruttostromverbrauch und der Kraftstoffverbrauch zusammen. Letztere halten sich vom Verbrauch in etwa die Waage, allerdings erweist sich der Bruttostromverbrauch im Schnitt als der kleinste Sektor.

Angesichts der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der Biomasse auf der einen Seite und der flächenbedingten begrenzten Nutzungsmöglichkeiten der Biomasse auf der anderen Seite, ist vor dem Hintergrund der Relevanz der verschiedenen Sektoren eine Abstimmung des Einsatzes in den Sektoren geboten. Biomasse sollte dort eingesetzt werden, wo es am effizientesten geschehen kann, da diese Wahlmöglichkeit grundsätzlich besteht. Im Vergleich zur Biomasse können die anderen erneuerbaren Energien schwerpunktmäßig nur im Stromsektor (hierzu weiter unten II 2) verwendet werden. Auch im Stromsektor kann jedoch der Biomasse als nicht fluktuierende Energie eine besondere Bedeutung zukommen.

2. Anteile erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung

Bevor im Folgenden auf die energetische Biomassenutzung eingegangen wird, soll zunächst nach den Sektoren gegliedert der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung, der Wärmebereitstellung und am Kraftstoffverbrauch erfasst werden, um hier einen Überblick über die Referenzgrößen zu gewinnen und dann die Bedeutung der energetischen Biomassenutzung im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Energien besser verstehen zu können.

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Stromerzeugung (bezogen auf gesamten	3,1	4,5	6,8	6,7	7,8	7,5	9,2	10,1	11,6	14,3	15,1	16,4	17,1	20,5

Stromverbrauch)														
Wärmebereitstellung (bezogen auf gesamte Wärmebereitstellung)	2,1	2,1	3,9	4,2	4,3	5,0	5,5	6,0	6,2	7,4	7,6	8,9	10,3	10,4
Kraftstoffverbrauch (bezogen auf gesamten Kraftstoffverbrauch)	0,0	0,06	0,4	0,6	0,9	1,4	1,8	3,7	6,3	7,4	6,0	5,4	5,8	5,5
Anteil der EE am gesamten Endenergie- verbrauch	1,9	2,2	3,9	4,1	4,5	5,0	5,8	6,8	8,0	9,5	9,3	10,2	11,3	12,1

Tab. 7: Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung, Wärmebereitstellung und Kraftstoffverbrauch in Prozent. Quelle: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Dezember 2012, Tabelle 2.

Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Energiebereitstellung ist in allen drei Sektoren in den letzten beiden Jahrzehnten stetig gewachsen. Dabei fällt sektorenübergreifend die Wachstumsphase überwiegend auf die Zeit nach 2000. Hier hat sich der Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Endenergieverbrauch von 3,9 Prozent im Jahr 2000 auf 12,1 Prozent im Jahr 2011 prozentual mehr als verdreifacht. Hinsichtlich der Unterschiede in den Sektoren mag verwundern, dass der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung bereits 1990 höher lag als bei der Wärmebereitstellung, da die Biomasse immer schon im Wärmebereich eingesetzt wurde. Allerdings ist hier zu berücksichtigen, dass die Wasserkraft zur Stromerzeugung bereits vor 1990 traditionell genutzt wurde²⁷⁴ und dass der Wärmesektor erheblich größer ist als der Stromsektor, was den Einsatz der Biomassenutzung im direkten Vergleich relativiert.

Vergleicht man die Sektoren im Jahr 2011 miteinander, ergibt sich eine klare Abstufung. Der Stromsektor ist überproportional gewachsen und macht mit knapp über 20 Prozent einen beachtlichen Anteil an der Stromerzeugung aus. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung hat 2011 auch erstmals den Anteil der Steinkohle und der Kernenergie übertroffen²⁷⁵. Der Anstieg im Stromsektor hängt dabei überwiegend mit dem StrEG und - seit 2000 - dem EEG zusammen²⁷⁶. Die erneuerbaren Energien im Wärmesektor, als dem größten Energiesektor, haben seit 1990 ein weniger dynamisches, aber stetiges Wachstum erlebt und mit 11 Prozent angesichts der Größe des Sektors einen erheblichen Nut-

²⁷⁴ F. Staiß, Jahrbuch Erneuerbare Energien 2007, S. 3.

²⁷⁵ Vgl. hierzu *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.*, Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2012 nach Energieträgern, Stand: 14. Dezember 2012, abrufbar unter: <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=65> (25.04.2013).

²⁷⁶ Vgl. ausführlich zu den verschiedenen Ursachen und Entwicklungsbiographien E. Bruns/D. Ohlhorst, Innovationsbiographien Erneuerbarer Energien im Stromsektor: Impulse durch StrEG und EEG im Wechselspiel mit heterogene treibenden Kräften, in: T. Müller (Hrsg.), 20 Jahre Recht der Erneuerbaren Energien, S. 163 (166 ff.).

zungsumfang. Der Anteil am Kraftstoffverbrauch weist sogar mit einem Anteil von 7,4 Prozent eine Spitze im Jahr 2007 auf, pendelt sich dann aber in den Folgejahren auf unter 6,0 Prozent ein. Hier wird weiter unten noch darauf einzugehen sein, da im Kraftstoffbereich im Wesentlichen bisher nur die Biomasse eingesetzt wird.

	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Wasserkraft	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Windkraft	.	0,0	0,2	0,5	0,6	0,7	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,3
Photovoltaikanlagen	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5
Biomasse	0,4	1,0	1,7	2,4	2,8	3,4	4,2	5,2	5,4	6,2	7,1	7,6
darunter: Biokraftstoffe	0,0	0,1	0,2	0,3	0,6	1,0	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Erneuerbare Abfälle	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8
Geothermie	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Solarthermie	.	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Wärmepumpen	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2

Tab. 8: Struktur des Beitrags der Erneuerbaren Energien zum Primärenergieverbrauch in Prozent. Quelle: AG Energiebilanzen e.V., Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2011 - Berechnungen auf Basis des Wirkungsgradansatzes - Stand: September 2012.

Bei den Beobachtungen zur Struktur des Beitrags der erneuerbaren Energien zum Primärenergieverbrauch gilt hier wieder das Jahr 1990 als Ausgangspunkt. Dabei stellen wieder die Wasserkraft und die Biomasse sowie die erneuerbaren Abfälle die einzigen positiven Ausgangswerte in der Statistik dar. Anders aber als die Wasserkraft, die nur im Stromsektor eingesetzt wird und bei der aufgrund mangelnder Standorte ein weiterer Anlagenzubau nur sehr begrenzt, bspw. durch Flusswasserkraftwerke, die die Strömungsenergie von Flüssen nutzen, möglich ist, erreicht die Biomasse ohne die erneuerbaren Abfälle im Jahr 2011 mit einem Wert von ungefähr 7,6 Prozent am Primärenergieverbrauch einen Höchstwert. Dabei ist bereits in den 1990er Jahren ein Zuwachs von 0,4 Prozent auf 1,7 Prozent zu beobachten, der sich aber bis ins Jahr 2011 nahezu nahtlos fortsetzt. Damit weist die Biomassennutzung ohne die erneuerbaren Abfälle zwar in den Jahren ab 2000 eine geringere Wachstumsdynamik als die Windkraft auf; mit einem Anteil von 1,3 Prozent entspricht der Anteil der Windkraft allerdings fast einem Sechstel der Biomassennutzung.

Blickt man auf den Beitrag der erneuerbaren Energien an der Endenergiebereitstellung durch die erneuerbaren Energien im Jahr 2011, spiegelt sich darin die Bedeutung der Biomasse bei der Endenergiebereitstellung wieder:

Endenergiebereitstellung im Jahr 2011; Ausgangswert 292,7 TWh	Verteilung in Prozent
Biogener Brennstoff, Wärme	42,0
Biogene Kraftstoffe	11,7
Biogene Brennstoffe, Strom	12,8
Wasserkraft	6,0
Windenergie	16,7
Photovoltaik	6,6
Solarthermie	1,9
Geothermie	2,2

Tab. 9. Quelle: BMU – Kl III 1, Erneuerbare Energien in Deutschland 2011, S. 10.

In allen drei Bereichen – Wärme, Kraftstoffe, Strom – ist der Anteil der Biomassenutzung dominant. Lediglich die Windkraft übersteigt den Anteil der biogenen Brennstoffe. Da Windkraft bisher nur im Stromsektor eingesetzt wurde, ist dies der einzige Sektor, indem nicht die Biomasse sich als zahlenmäßig bedeutendste erneuerbare Energiequelle erweist.

3. Aufteilung der Biomasse

Betrachtet man die Struktur der Endenergiebereitstellung aus der gesamten Biomasse im Strom, -Wärme- und Kraftstoffbereich im Jahr 2011 mit insgesamt 194,9 TWh, lässt sich eine klare Verteilung der Einsatzstoffe erkennen:

Endenergiebereitstellung aus der gesamten Biomasse im Strom, -Wärme- und Kraftstoffbereich im Jahr 2011 – Gesamt 194,9 TWh	Verteilung in Prozent
Biogene Festbrennstoffe	57,5
Biogas	14,0
Biokraftstoffe	17,6
Biogener Anteil des Abfalls	6,6
Flüssige Biomasse und Pflanzenöl	2,7
Klärgas	1,2
Deponiegas	0,5

Tab. 10. Quelle: BMU – KI III 1, Erneuerbare Energien in Deutschland 2011, S. 11.

Hiernach wird deutlich, dass mit einem prozentualen Anteil von mehr als der Hälfte biogene Festbrennstoffe weiterhin den größten Teil der Endenergiebereitstellung der Biomasse leisten. Biogene Festbrennstoffe werden überwiegend im Wärmebereich verwendet, aber auch zunehmend zur Stromproduktion eingesetzt. Daneben bestehen mit Biogas und Biokraftstoffen zwei Bereiche, die seit 1990 verstärkt gefördert wurden. In diesen Bereichen sind auch große technologische Entwicklungen vorhanden, wobei hierbei insbesondere die Stromerzeugung aus Biogas zu nennen ist²⁷⁷. Beide Bereiche weisen jeweils einen Anteil von über 15 Prozent am Endenergieverbrauch auf und stellen somit einen erheblichen Anteil an der Endenergiebereitstellung. Während allerdings der Biogasbereich teilweise dynamisch wächst und gewachsen ist, entwickelte sich der Biokraftstoffbereich beständiger aber auch langsamer. Danach verteilen sich die Anteile absteigend auf biogenen Abfall, flüssige Biomasse mitsamt Pflanzenölen und auf Klär- wie Deponiegas. Gerade die Nutzung des biogenen Abfalls wird vielfach als wünschenswert angesehen, da hierbei Nutzungskonflikte, wie oben beschrieben, vermieden werden können. Bei Klär- und Deponiegas wird deutlich, dass nur ein kleiner Beitrag an der Endenergiebereitstellung im Vergleich zu den anderen Einsatzstoffen geleistet wird.

4. Verteilung zwischen privatem und gewerblichem Sektor

	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Haushalte	3,5	6,4	6,9	7,1	7,1	7,3	8,2	8,0	9,0	10,7	11,1
Gewerbe u.a.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,3	0,3	0,5	2,2	2,5

Tab. 11: Anteil der Biomasse an Struktur des Endenergieverbrauchs der Haushalte gegenüber Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (einschl. militärische Dienststellen) in Prozent²⁷⁸. Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. 09/2012, Tabelle 4.2.1. und 4.2.2.

Hinsichtlich der Struktur des Energieverbrauches der Haushalte im Vergleich mit dem des Gewerbes, des Handels und der Dienstleistungen zeigt sich eine deutliche Tendenz, wonach

²⁷⁷ Vgl. zu dessen Innovationsbiographie: *E. Bruns/D. Ohlhorst*, Innovationsbiographien erneuerbarer Energien im Stromsektor, in T. Müller (Hrsg.), 20 Jahre Recht der Erneuerbaren Energien, S. 163 (179 ff.).

²⁷⁸ *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.*, 09/2012, Tabelle 4.2.1. und 4.2.2., Hinweise zur Biomasse: „2) In den Jahren 1990 bis 1994 umfasst dieser Energieträger Brennholz und Brenntorf. Ab 1995 Holz, Stroh und andere feste Stoffe, Klärgas einschließlich Biogas.“

der Anteil der Biomasse am Endenergieverbrauch der Haushalte denjenigen des Gewerbes, Handels und Dienstleistungen überwiegt.

II. Aufgeteilt nach Sektoren

1. Strom

	Wasserkraft in GWh	Windenergie in GWh	Biomasse in GWh	Biogener Anteil des Ab- falls in GWh	Photovoltaik in GWh	Geothermie in GWh	Summe Stromer- zeugung in GWh	Anteil am Brutto- Strom- verbrauch in Pro- zent
1990	15.580	71	221	1.213	0,6	0	17.086	3,1
1991	15.402	100	260	1.211	1,6	0	16.974	3,1
1992	18.091	275	296	1.262	3,2	0	19.927	3,7
1993	18.526	600	433	1.203	5,8	0	20.768	3,9
1994	19.501	909	569	1.306	8	0	22.293	4,2
1995	20.747	1.500	665	1.348	11	0	24.271	4,5
1996	18.340	2.032	759	1.343	16	0	22.490	4,1
1997	18.453	2.966	880	1.397	26	0	23.722	4,3
1998	18.452	4.489	1.642	1.618	32	0	26.233	4,7
1999	20.686	5.528	1.849	1.740	42	0	29.845	5,4
2000	24.867	9.513	2.893	1.844	64	0	39.181	6,8
2001	23.241	10.509	3.348	1.859	76	0	39.033	6,7
2002	23.662	15.786	4.089	1.949	162	0	45.648	7,8
2003	17.722	18.713	6.086	2.161	313	0	44.995	7,5
2004	19.910	25.509	7.960	2.117	556	0,2	56.052	9,2
2005	19.576	27.229	10.978	3.047	1.282	0,2	62.112	10,1
2006	20.042	30.710	14.841	3.844	2.220	0,4	71.657	11,6
2007	21.169	39.713	19.760	4.521	3.075	0,4	88.238	14,3
2008	20.446	40.574	22.872	4.659	4.420	17,6	92.989	15,1
2009	19.036	38.639	25.989	4.352	6.583	18,8	94.618	16,4
2010	20.956	37.793	29.085	4.781	11.729	27,7	104.372	17,1

2011	17.674	48.883	32.848	4.755	19.340	18,8	123.519	20,5
------	--------	--------	--------	-------	--------	------	----------------	------

Tab. 12: Vergleich der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung. Quelle: BMU – KI III 1, Erneuerbare Energien in Deutschland 2011, S. 12

Der Anteil der unterschiedlichen erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung hat sich seit 1990 sehr unterschiedlich und teilweise sehr dynamisch entwickelt. Fast man die erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch zusammen, lässt sich insgesamt ein Wachstum von 3,1 Prozent im Jahr 1990 auf 17,1 Prozent im Jahr 2010 am Bruttostromverbrauch beobachten. Der Anteil der erneuerbaren Energien hat sich danach prozentual weit mehr als verfünffacht. Im Jahr 2011 ist der Anteil dabei um über weitere drei Prozent am Bruttostromverbrauch angestiegen. Es ist damit erstmals ein Anteil von über einem Fünftel erreicht worden.

Maßgeblich für diesen Anstieg sind die Windkraft mit über 48.000 GWh, die Photovoltaik mit nahezu 20.000 GWh aber auch die Biomasse samt biogenen Anteils des Abfalls mit über 36.000 GWh. Für alle drei Energiequellen lassen sich seit 1990 außergewöhnliche Wachstumsraten beobachten, die zu dem hohen Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch geführt haben, während die Geothermie 2011 mit einer Erzeugung bei weit unter 100 GWh lag und damit im Vergleich nur einen marginalen Beitrag zur Stromerzeugung leisten konnte. Die Wasserkraft weist schließlich seit 1990 zwar eine relativ hohe Erzeugung von 15.000 bis 20.000 GWh seit 1990 auf, hat aber im Vergleich zur Windkraft, Photovoltaik und Biomasse nur eine geringe Entwicklungssteigerung erfahren.

Bei einem Vergleich der erneuerbaren Energien untereinander weist im Gegensatz zum Verkehrs- und Wärmesektor nicht die Biomasse sondern die Windkraft mit einer Differenz von über 10.000 GWh den höchsten Wert auf. Dennoch beansprucht auch hier die Biomasse mit dem biogenen Abfallanteil annähernd 30 Prozent am Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch für sich, gegenüber annähernd 40 Prozent bei der Windkraft und über 15 Prozent bei der Photovoltaik.

Die Stromerzeugung aus Biomasse ohne den biogenen Abfallanteil ist dabei seit 1990 dynamisch gewachsen, wobei ab 1993 der Ausbau zunehmend an Fahrt aufgenommen hat und ab 2005 eine Steigerung von bis zu über 3.000 GWh pro Jahr bis 2011 zu beobachten ist. Der Anteil des biogenen Abfalls weist mit einer Stromerzeugung von 1.213 GWh im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Energien einen sehr hohen Wert auf. In den Jahren bis 2011 mit einem Wert von 4.755 GWh lässt sich zwar auch hier ein stetiges Wachstum beobachten, allerdings in einem ganz anderem, viel weniger dynamischem Tempo. Die Daten legen nahe, dass von 2004 bis 2007 ein Wachstumsschub erfolgte, da hier die Erzeugung, nachdem sie zuvor in kleinen Schritten von nicht mehr als 200 GWh anstieg, von 2.117 auf 4.521 GWh angestiegen ist.

Struktur der Strombereitstellung aus Erneuerbaren Energien im Jahr 2011; Ausgangswert 123,5 TWh	Verteilung in Prozent
Biogas	14,2
Biogene Festbrennstoffe	9,7
Biogene flüssige Brennstoffe	1,2
Biogener Anteil des Abfalls	3,8
Klärgas	1,0
Deponiegas	0,5
Windenergie	39,6
Photovoltaik	15,7
Wasserkraft	14,3

Tab. 13. Quelle: BMU – Kl III 1, Erneuerbare Energien in Deutschland 2011, S. 15.

Eine genauere Darstellung der Struktur der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2011 mit Ausgangswert 123,5 TWh zeigt nochmal deutlicher die Verteilung der Anteile der erneuerbaren Energien untereinander. Hierbei wird deutlich, dass die Wasserkraft im Verhältnis zu den anderen Energien immer noch einen beachtlichen Teil ausmacht. Sollte aber der Anteil der erneuerbaren Energien bis 2050 auf mindestens 80 Prozent erhöht werden (vgl. § 1 Abs. 2 Nr. 4 EEG), wird im Vergleich der erneuerbaren Energien die Wasserkraft wohl weiter deutlich abnehmen, da bisher keine größeren Ausbaupotenziale - wie bereits dargelegt - für diese erkennbar sind. Die Statistik zeigt aber im Vergleich welche Bedeutung mittlerweile das Biogas erreicht hat. Mit 14,2 Prozent liegt die Biogasnutzung zur Stromerzeugung fast gleichauf mit der Wasserkraft und Photovoltaik.

Ein Vergleich nur der Biomasse-Einsatzstoffe untereinander wird in folgender Statistik angezeigt:

Strombereitstellung aus Biomasse	In Prozent
Biogas	46,6
Biogene Festbrennstoffe	31,8

Biogener Anteil des Abfalls	12,6
Biogene flüssige Brennstoffe	3,9
Klärgas	3,4
Deponiegas	1,7

Tab. 14. Quelle: BMU – Kl III 1, Erneuerbare Energien in Deutschland 2011, S. 16.

Hieraus wird erneut deutlich, dass Biogas fast die Hälfte des aus der Biomasse erzeugten Stroms liefert. Daneben stellen biogene Festbrennstoffe auch im Stromsektor einen bedeutenden Anteil. Wie im Wärmesektor tragen biogene flüssige Brennstoffe mit 3,9 Prozent nur einen Bruchteil zur Biomassestrombereitstellung bei. Dagegen entspricht der Anteil des biogenen Anteils des Abfalls mit 12,6 Prozent einer Größenordnung, die angesichts der Diskussion um die Abfallverwertung von Bedeutung sein wird. Zuletzt zeigt die Nutzung von Klär- und Deponiegas, dass es sich hierbei auch nach wie vor um Nischen handelt.

Folgende Tabelle zeigt die Entwicklungen der jeweiligen Einsatzstoffe seit 1990 im Vergleich, wobei sich hierbei die Werte auf die erzeugte Endenergie beziehen.

	1990	1993	1996	1999	2002	2003	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Biogene Festbrennstoffe	3,7	32	118	246	1.485	2.927	8.529	9.866	11.293	11.356	11.204	11.940
Biogene flüssige Brennstoffe	0,0	0,5	3,7	3,5	9,9	158	940	1.485	1.478	2.009	1.676	1.483
Biogas	0,3	4,4	31	145	1.046	1.487	3.344	6.425	8.139	10.757	14.454	17.517
Klärgas	29	24	41	727	777	818	936	976	1.021	1.057	1.101	1.280
Deponiegas	188	372	565	727	771	696	1.092	1.008	941	810	650	628
Biogener Anteil des Abfalls	1.213	1.203	1.343	1.740	1.949	2.161	3.844	4.521	4.659	4.352	4.781	4.755

Tab. 15: Endenergie – Strom [GWh] – Tabelle 3 (Zeitreihe). Quelle: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Dezember 2012, Tabelle 3.

Eine Betrachtung der Entwicklung der einzelnen Einsatzklassen zeigt, dass im Ausgangsjahr der Betrachtung 1990 die biogenen Anteile des Abfalls mit einer erzeugten Leistung von 1.213 GWh nach der Wasserkraft den größten Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergie-Strom ausmachte. Hingegen war die Nutzung von Biogas, biogenen flüssigen Brennstoffen und biogenen Festbrennstoffen kaum gegeben. Anders als im Wärmesektor liegen bei biogenen Festbrennstoffen im Strombereich keine hohen Ausgangswerte vor.

Die Entwicklung innerhalb der Biomasse hat sich sehr unterschiedlich entwickelt. Tendenziell lässt sich für alle Einsatzstoffe eine ansteigende Wachstumsbilanz beobachten. So weisen auch Klär- und Deponiegas ein Wachstum auf, wobei sich die Klärgasnutzung stärker als die Deponiegasnutzung entwickeln konnte. So konnte immerhin eine Erzeugungssteigerung auf

1.100 GWh im Vergleich zu 620 GWh beim Deponiegas erreicht werden. Weniger eindrücklich, aber auch aufgrund des hohen Ausgangswertes teilweise erklärbar, erweist sich der Anstieg der Nutzung des biogenen Abfalls. Hier konnte ein stetiger, homogener Zuwachs beobachtet werden, wobei zwischen 2004 bis 2007 die größten Steigerungen beobachtet werden können.

Der Schwerpunkt der Entwicklung innerhalb der Biomassenutzung zur Stromerzeugung liegt aber sicherlich auf den biogenen Festbrennstoffen und der Biogasnutzung. Letztere weist den stärksten Wachstumswert auf und hat im Jahr 2011 eine Erzeugung von 17.517 GWh erreicht. Der biogene Festbrennstoffanteil kommt immerhin noch auf 11.940 GWh. Im Vergleich beider Einsatzstoffe hat die Entwicklung der Biogasnutzung zeitlich nach hinten verschoben. So hat die biogene Festbrennstoffnutzung nicht nur einen höheren Ausgangswert im Jahr 1990, sondern erzeugte noch bis zum Jahr 2009 mit 11.356 GWh eine höhere Leistung. Ebenso konnte in den Jahren 2002 bis 2007 die biogene Festbrennstoffnutzung erheblich gesteigert werden. Allerdings wurde seit 2005 die Biogasnutzung dergestalt gesteigert, dass bereits 2010 erstmals die Leistung der Festbrennstoffnutzung, und dann gleich um 3.250 GWh, übertroffen werden konnte.

Eine Sonderrolle in der Entwicklung der Biomasse nimmt die biogene flüssige Brennstoffnutzung ein. Diese lag noch im Jahr 2002 bei einer erzeugten Menge von nur leicht über 10 GWh. Die weitere Entwicklung weist dann zunächst eine ähnlich rasante Entwicklung wie bei der biogenen Festbrennstoffnutzung auf. Bereits 2003 konnte die Erzeugung auf 158 GWh und in den weiteren sechs Jahren auf 2.009 GWh gesteigert werden. Danach ist die Nutzung jedoch ähnlich schnell innerhalb von zwei Jahren auf 1.483 GWh im Jahr 2011 wieder gesunken. Dies kann im Zusammenhang damit gesehen werden, dass das EEG keine Förderung der Stromerzeugung und -einspeisung aus flüssiger Biomasse mehr fördert.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Wasserkraft	442	477	428	338	364	367	418	379	382	421	231	292
Windenergie an Land	956	1.435	1.696	2.301	2.441	2.734	3.508	3.561	3.389	3.316	4.165	3.984
Windenergie auf See									6	26	85	192
Photovoltaik	39	82	154	283	679	1.177	1.597	2.219	3.157	5.090	7.766	8.753
Biomasse	140	232	327	509	795	1.337	2.162	2.699	3.700	4.240	4.476	4.764
Deponie-, Klär-, Grubengas	0	0	0	182	219	196	193	156	143	83	36	36
Geothermie				0	0	0	0	3	4	6	4	23
Gesamt	1.577	2.226	2.604	3.612	4.498	5.810	7.879	9.016	10.780	13.182	16.763	18.044

Tab. 16: EEG-Umlage – Kopie Zeitenreihe EEG Umlage EEG Kosten; Vergütungszahlungen [Mio. Euro]Quelle²⁷⁹: Zeitreihen zur Entwicklung der Kosten des EEG "Unter Verwendung von durch die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) veröffentlichter Daten" Stand: Juli 2012.

Ein Vergleich der Vergütungszahlungen an die EEG-Anlagenbetreiber zeigt, dass entsprechend der dynamischen Entwicklungen von Windkraft, Photovoltaik aber auch Biomasse hier die höchsten Zahlungen erfolgten. Allerdings ist hierbei im Jahr 2012 eine umgekehrte Reihenfolge wie bei den Anteilen an der Bruttostromerzeugung zu beobachten. So hat im Vergleich zwischen diesen Energiequellen im Jahr 2012 die Photovoltaik mit 8.753 Mio. € die höchsten Vergütungszahlungen erhalten und die Windenergie an Land mit 3.984 Mio. € die Geringsten. Biomasse weist mit 4.764 Mio. € einen Wert über dem der Windkraft am Land aber weit unterhalb dem der Photovoltaik auf. Angesichts dieser Größenordnungen fallen die Fördervolumina für Wasserkraft, Geothermie, Windenergie auf See und Wasserkraft weit zurück, die jeweils weit unter 500 Mio. € im Jahr 2012 liegen.

Beim Vergleich der Biomasse mit der Windkraft an Land und der Photovoltaik zeigt sich allerdings auch, dass die Windkraft bereits seit 2001 hohe Zahlungen aufweist, während bei der Photovoltaik seit 2001 ein stetiger Zuwachs zu beobachten ist. Biomasse weist dabei erstmals im Jahr 2009 einen höheren Wert als Windkraft an Land auf, während die Vergütungszahlungen für Photovoltaik erstmals 2010 höher als für die Biomasse waren.

2. Wärme

Struktur der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011	In Prozent
Biogene Festbrennstoffe (Haushalte):	47,0
Biogene Festbrennstoffe (Industrie)	16,4
Biogas	11,8
Biogene flüssige Brennstoffe (inkl. Pflanzenöl)	5,4
Biogener Anteil des Abfalls	5,3
Biogene Festbrennstoffe (HW/HKW)	4,7
Klärgas	0,8
Deponiegas	0,2

²⁷⁹ Anm.: 1) Vergütungszahlungen an die EEG-Anlagenbetreiber (vor Abzug vermiedener Netznutzungsentgelte). Daten bis 2011 aus EEG-Jahresabrechnungen der ÜNB. Daten 2012 ÜNB-Prognose (Stand Oktober 2011); 2) Inklusive der Vergütungszahlungen bei Direktvermarktung über Marktprämie (einschl. Managementprämie), Flexibilitätsprämien und PV-Eigenverbrauch.

Geothermie (tiefe und oberflächennahe)	4,4
Solarthermie	3,9
Anteil der Biomasse an der EE-Wärme 2011 (bis Deponiegas)	91,6

Tab. 17: Struktur der Wärmebereitstellung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011, Quelle: BMU – KI III 1, Erneuerbare Energien in Deutschland 2011, S. 33.

Die Struktur der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2011 weist eine deutliche Biomasselastigkeit auf. Der Anteil der Biomasse liegt bei um 92 Prozent und macht damit weitestgehend den Anteil der erneuerbaren Energien an der Wärmebereitstellung aus. Daneben sind lediglich die Solarthermie und Geothermie als weitere erneuerbare Energiequellen zu nennen, die einen Anteil von zusammen 8,3 Prozent ausmachen. Die Daten unterstreichen die Bedeutung der Biomassenutzung im Wärmesektor.

Die Aufteilung der einzelnen Biomasse-Einsatzstoffe im Wärmesektor spiegelt in etwa den Anteil der Biomasse am gesamten Energieverbrauch wieder. Auch hier macht der Anteil der biogenen Festbrennstoffe den größten Anteil aus, der, rechnet man die Aufteilung der biogenen Festbrennstoffe in Haushalten, Industrie und HW/HKW zusammen, bei 68,1 Prozent liegt. Daneben bildet Biogas mit 11,8 Prozent den nächstgrößeren Anteilsposten, gefolgt von biogenen flüssigen Brennstoffen und vom biogenen Anteil des Abfalls mit jeweils über 5 Prozent. Auch hier macht der Anteil des Klär- und Deponiegases mit jeweils unter einem Prozent nur einen Bruchteil der Wärmebereitstellung aus.

Erkennbar wird hier, dass der Festbrennstoffbereich mit 47 Prozent eine deutliche Haushaltslastigkeit aufweist, gegenüber von 16,4 Prozent bei der Industrie und 4,7 Prozent bei HW/HKW.

Jahr	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
GW	45.59	49.74	50.85	51.41	58.22	57.24	69.18	75.37	79.74	83.02
h	1	0	8	9	0	2	2	6	6	3

2007	2008	2009	2010	2011	Jahr
86.670	93.133	102.403	132.843	123.970	GWh

Tab. 18: Entwicklung der Biomasse im Allgemeinen an der Wärmegewinnung. Quelle: BMU – KI III 1, Erneuerbare Energien in Deutschland 2011, S. 34.

Ein Blick auf die Entwicklung der Wärmegewinnung von 1997 bis 2010 zeigt, dass die Wärmeleistung beständig gestiegen ist, mit Ausnahme des Jahres 2002, in dem ein leichter Rückgang im Vergleich zum Vorjahr beobachtet werden kann. In den Jahren 2007 bis 2009 ist ein leichter Trend zu einem verstärkten Wachstum zu beobachten, der dann im Jahr 2010 geradezu zu einem Wachstumssprung geführt hat. Hier liegt eine einmalige Wachstumsstei-

gerung von über 30.000 GWh vor. Der damit erreichte Höchstwert von 132.843 GWh konnte aber dann im Jahr 2011 mit 123.970 GWh nicht mehr erreicht werden. Allerdings liegt dieser Wert deutlich über dem des Jahres 2009 mit 102.403 GWh.

	1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
biogene Festbrennstoffe (Haushalte)	25355	25448	45834	52876	51615	51248	53487	54193	56762	62016	79435	67500
biogene Festbrennstoffe (Industrie)	2909	2909	3898	9828	15163	16601	16082	16770	13939	19818	23339	25781
biogene Festbrennstoffe (HW/HKW)	1	30	324	4002	5604	6469	5936	5688	5040	6222	6744	6800
biogene flüssige Brennstoffe	0	0	8	996	1.446	3.638	4.681	5.674	7.641	4.311	7.974	3.783
Biogas	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	8203	8570	13971	9800
Klärgas	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	1113	1076	1086	1090
Deponiegas	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	435	390	294	268
Summe biogene gasförmige Brennstoffe	k.A.	k.A.	1355	1480	1548	1790	2837	4345	9751	10036	15351	11158
biogener Anteil des Abfalls	2308	2308	2548	3196	3690	4692	4911	4783	5020	6832	7566	8041
Solarthermie	131	440	1261	2144	2443	2778	3128	3638	4134	4773	5200	5600
tiefe Geothermie	100	100	113	114	114	138	160	160	206	291	285	307
oberflächennahe Geothermie	1415	1440	1581	1842	1972	2156	2602	3255	3962	4640	5300	5990
Gesamt	32219	32675	57922	76451	83595	89510	93914	98506	106455	118899	151964	134960

Tab. 19: Wärmebereitstellung aus Erneuerbaren Energien. Quelle: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland - Unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik; Stand: Dezember 2012, Tabelle 6.

Vergleicht man die Entwicklung der einzelnen Einsatzstoffe untereinander, dann zeigt sich bereits an den Ausgangswerten die Bedeutung der biogenen Festbrennstoffnutzung in Haushalten. Bereits der Ausgangswert im Jahr 1990 ist mit 25.355 GWh sehr hoch, konnte dann aber bis zum Jahr 2011, wenn auch kontinuierlich, lediglich auf 67.500 GWh gesteigert werden. Eindrücklich sind die Wachstumsraten in der Industrie, wobei hier der Ausgangswert mit 2.909 GWh vergleichsweise niedrig war und im Gesamten die Wärmebereitstellung lediglich auf 25.781 GWh gesteigert werden konnte; einen Wert, der dem Ausgangswert bei den Haushalten im Jahr 1990 entspricht. Das Wachstum im Industriesektor liegt vor allem in den Zeiträumen 1997 bis 2005 und dann nach einem kurzen Wachstumsknick im Jahr 2008 in den Jahren 2009 bis 2011.

Der Anteil der biogenen flüssigen Brennstoffe an der Wärmebereitstellung scheint erst seit 2002 in einer größeren Maßstabsordnung stattgefunden zu haben. Hierbei lässt sich ein äußerst dynamisches Wachstum innerhalb von fünf Jahren von annähernd 1.000 GWh im Jahr 2003 auf 7.641 GWh im Jahr 2008 beobachten, das dann allerdings im Jahr 2009 mit 4.311 GWh unterbrochen wird, im Jahr 2010 einen neuen Höchstwert mit 7.974 GWh erreicht, um dann aber im Jahr 2011 auf einen Wert von 3.783 GWh erneut abzufallen; vergleichbar dem Stand von 2005.

Zu Bio-, Klär- und Deponiegas liegen Werte nach dieser Statistik erst seit 2008 vor. Hier zeigt sich wieder, dass Klär- und Deponiegas nur einen kleinen Anteil der Wärmeleistung erbringen. Ähnlich wie im Stromsektor liegt der Anteil des Klärgases mittlerweile deutlich über dem des Deponiegases. Interessanterweise sinkt der Anteil des Deponiegases seit 2008 beständig auf zuletzt 269 GWh im Jahr 2011. Anders hingegen die Entwicklung von Biogas. Deren Bereitstellung von 13.971 GWh stellt nach den biogenen Festbrennstoffen den größten Beitrag zur Wärmebereitstellung aus der Biomasse dar. Ähnlich der Entwicklung der biogenen Festbrennstoffnutzung und der Wärmenutzung aus Biomasse lässt sich aber auch beim Biogas im Jahr 2011 mit 9.800 GWh ein Leistungsabfall beobachten.

Der Anteil des biogenen Abfalls spielt auch im Wärmesektor die Rolle eines etablierten Nischenbereichs. Zum einen ist die Erzeugung bereits 1990 mit 2.308 GWh vergleichsweise hoch. Zum anderen ist auch hier von 1990 bis 2008 ein stetiges, aber moderates Wachstum zu beobachten. Anders als im Stromsektor weist die Nutzung aber dann einen deutlichen Anstieg auf. Mittlerweile erreicht die Nutzung mit 8.041 GWh im Jahr 2011 einen Wert, der an die Größenordnung der Nutzung des Biogases im Wärmesektor herankommt.

3. Verkehr

a. Anteil am Kraftstoffverbrauch

1990	1995	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0,0	0,1	0,4	1,2	1,6	3,0	5,5	6,1	5,0	4,5	4,7	4,6

Tab. 20: Endenergieverbrauch des Verkehrs in Deutschland – Anteil Biokraftstoffe an der Struktur des Endenergieverbrauchs in Prozent, Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. 09/2012, Tabelle 4.3²⁸⁰.

Der Anteil der Biokraftstoffe am Kraftstoffverbrauch ist in den Jahren 1990 bis 2000 nur langsam gestiegen. Mit einem Ausgangswert von 0,4 Prozent im Jahr 2000 ist dann aber ein starker Anstieg bis zum Jahr 2007 zu beobachten. 2007 wurde ein Spitzenwert von 6,1 Prozent erreicht. Während im Jahr 2008 mit 5,0 Prozent ein starker Abschwung zu be-

²⁸⁰ *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. 09/2012, Tabelle 4.3., Hinweis zu Jahr 2011: „Vorläufige Angaben; Stand: 29.09.2012“.*

obachten ist, der sich im Jahr 2009 fortgesetzt hat, sich dann aber auf ein Niveau um 4,6 Prozent einzupendeln scheint. Im Folgenden wird die Verteilung der Einsatzstoffe im Kraftstoffbereich näher beleuchtet, da hierdurch erkennbar wird, welche Einsatzstoffe die Entwicklung in diesem Bereich prägten.

b. Anteile nach Biomassearten

	1990	1993	1996	1999	2002	2003	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Biodiesel	0	52	516	1.341	5.674	8.253	29.062	34.239	27.810	25.086	26.095	24.920
Pflanzenöl	k.A.	31	53	146	251	292	7.426	8.748	4.192	1.044	636	205
Bioethanol	0	0	0	0	0	0	3.792	3.437	4.673	6.673	8.713	9.091
Gesamt	0	83	569	1.487	5.952	8.545	40.280	46.424	36.675	32.803	35.444	34.216

Tab. 21: Kraftstoffbereitstellung: Endenergie aus Biodiesel, Pflanzenöl, Bioethanol. Quelle: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Dezember 2012, Tabelle 8²⁸¹.

Die Kraftstoffbereitstellung erfolgt im Wesentlichen durch Biomasse und innerhalb der flüssigen Biomasse aus Biodiesel, Pflanzenöl und Bioethanol. Bei einem Wert von 34,2 TWh im Jahr 2011 verteilt sich die Struktur biogener Kraftstoffe wie folgt: Biodiesel 72,8 Prozent, Bioethanol 26,6 Prozent und Pflanzenöl nur noch 0,6 Prozent. Danach wird die Energie im Kraftstoffbereich überwiegend in Form von Biodiesel gewonnen. Pflanzenöle erbringen nur einen sehr kleinen Anteil der Biomassenutzung im Kraftstoffbereich, während bei Bioethanol immerhin noch ein gutes Viertel zur Kraftstoffnutzung aus erneuerbaren Energien bereitgestellt wird.

Die erzeugte Endenergie aus Biodiesel konnte bis 1999 auf eine Menge von 1.341 GWh ausgebaut werden. Danach gewann der weitere Ausbau zunehmend an Dynamik, sodass im Jahr 2007 bereits eine Erzeugung von 34.239 GWh erreicht wurde. Von da an hat sich jedoch das Wachstum wieder umgekehrt, sodass seitdem, trotz einer kurzen Erholungsphase im Jahr 2010, die bereitgestellte Energie auf 24.920 GWh sank.

Die Nutzung von Bioethanol hat ihren Beginn erst in den letzten zehn Jahren. 2004 wird mit 481 GWh erstmals ein Wert in der Statistik erfasst. Danach ist eine sprunghafte Steigerung

²⁸¹ Anm. 1.: Tabelle 7 „1) Bei der bis 2006 erfassten Biodieselmenge (Mineralölsteuerstatistik) ist zu berücksichtigen, dass diese bis August 2006 auch Pflanzenöl enthält.“

Anm. 2 zu Bioethanol: vgl. teilweise abweichende Zahlen ab 2009 bei BDB, Bioethanol-Report 2011 / 2012, Stand: Juni 2012; aber die Entwicklung bestätigend.

Anm. 3 zu Biodiesel: teilweise abweichende Zahlen ab 2000 bei Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e. V., Datenblatt Biodiesel, Stand: Januar 2012.

bis auf 3.792 GWh im Jahr 2006 zu beobachten, die sich bis zum Jahr 2011 bis zu einer Erzeugung von 9.091 GWh fortsetzt.

Die Pflanzenölnutzung nimmt bei der Kraftstoffnutzung eine Sonderrolle ein, da sich die Nutzung in Zahlen in der Zeitspanne seit 1990 als nicht nachhaltig erwies. Der Anteil aus Pflanzenölen ist zwar förderbedingt in den Jahren 2006 und 2007 stark gestiegen und erreichte in der Spitze gar einen Wert von 8.748 GWh, danach ist aber ein Einbruch in der Entwicklung zu beobachten, wonach der Wert im Jahr 2011 auf 205 GWh gesunken ist, einem Wert der bereits 2002 übertroffen worden war. Dieser Einbruch erklärt auch teilweise den oben beschriebenen Rückgang des Anteils der Biomasse am Kraftstoffbereich ab 2008, der trotz des Wachstums bei der Ethanolnutzung nicht ausgeglichen werden konnte, da auch die Biodieselnutzung, die mengenmäßig den Großteil der Biomassenutzung ausmacht, erheblich zurückging.