

Analyse der Potentiale zur energetischen Biomassenutzung in der Region Dresden

im Rahmen des Modellvorhabens der Raumordnung der
Metropolregion Mitteldeutschland „Partnerschaft der
Stadtregionen“

Teilbericht II Erschließbare Endenergie aus Biomasse

März 2012

DREBERIS GmbH

Gostritzer Str. 63 • 01217 Dresden
Tel.: +49 351 871 - 8344
Fax: +49 351 871 - 8448
www.dreberis.com

Dokumenteninformation

Auftraggeber: Landeshauptstadt Dresden

Ersteller: DREBERIS GmbH
Gostritzer Str. 63
01217 Dresden
Tel.: +49-351-871-8344
Fax: +49-351-871-8448
E-Mail: office@dreberis.com
www.dreberis.com

Autoren: Stephan Wegert
Tel.: +49-351-871-8345
Fax: +49-351-871-8448
E-Mail: stephan.wegert@dreberis.com

Genadi Georgiev
Tel.: +49-351-871-8352
Fax: +49-351-871-8448
E-Mail: genadi.georgiev@dreberis.com

Datum: 26.03.2012

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	6
1 Einführung	7
2 Biomassearten und Umwandlungsverfahren	9
2.1 Ölhaltige Biomasse.....	9
2.2 Zucker und stärkehaltige Biomasse	10
2.3 Abfälle und Reststoffe	12
2.3.1 Deponiegas	12
2.3.2 Klärschlamm/Klärgas	12
2.3.3 Ernterückstände und tierische Abfälle	12
2.3.4 Industrielle und gewerbliche Abfälle	12
2.3.5 Siedlungsabfälle	12
2.4 Lignin- und cellulosehaltige Biomasse	12
3 Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse	14
3.1 Strom- und Wärmeerzeugung aus fester Biomasse.....	14
3.1.1 Verbrennung.....	14
3.1.2 Vergasung biogener Festbrennstoffe.....	18
3.1.3 Pyrolyse	19
3.2 Strom- und Wärmeerzeugungstechnologien aus Biogas	20
3.3 Anlagen zur Nutzung flüssiger Biobrennstoffe	22
4 Berechnung der Potentiale zur Bereitstellung von Endenergie aus Biomasse in der Region Dresden	23
4.1 Methodische Vorgehensweise	23
4.2 Aktueller Verbrauch der Biomasseanlagen in der Region Dresden.....	24
4.3 Erzielbare Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse in der Region Dresden	25
5 Endenergieverbrauch in der Region Dresden	33
6 Zusammenfassung und Ausblick	35
Literaturverzeichnis	37
Anlage 1 - Endenergieverbrauch in der Region.....	38
Anlage 2 - EEG-Anlagen in der Region Dresden und Biomasseverbrauch	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stoffströme und Umwandlungspfade zur energetischen Biomassenutzung.....	7
Abbildung 2: Möglichkeiten zur energetischen Nutzung ölhaltiger Biomasse.	10
Abbildung 3: Umwandlung von zucker- und stärkehaltiger Biomasse	11
Abbildung 4: Umwandlung von lignin- und cellulosehaltiger Biomasse	13
Abbildung 5: Entwicklung der Zahl der Biogasanlagen in Deutschland.....	21
Abbildung 6: Endenergie und Umwandlungsverluste im Basisszenario 2010	27
Abbildung 7: Ergebnisse Trendszenario 2020	28
Abbildung 8: Ergebnisse Handlungsszenario 2020	29
Abbildung 9: Handlungsszenario 2020 mit Bau eines 100 MW-Brennstoffzellen-BHKW	31
Abbildung 10: Endenergieverbrauch der Region Dresden nach Energieträger 2009.....	33
Abbildung 11: Endenergieverbrauch der Region Dresden nach Sektor	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wirkungsgrade verschiedener Feuerungsarten	15
Tabelle 2: Wirkungsgrade von Dampfprozessen	16
Tabelle 3: Wirkungsgrade in ORC Anlagen	17
Tabelle 4: Wirkungsgrade Stirlingmotor-Anlagen	17
Tabelle 5: Wirkungsgrade KWK-Anlagen mit Vergasung fester Biomasse	19
Tabelle 6: Umwandlung fester Biomasse durch Pyrolyse	20
Tabelle 7: Wirkungsgrade Biogasanlagen.....	21
Tabelle 8: Wirkungsgrade ausgewählter Technologien.....	23
Tabelle 9: Energetische Verwendung der Biomasse	25
Tabelle 13: Technologieauswahl für Basisszenario 2010	26
Tabelle 14: Technologieauswahl 2020	27
Tabelle 15: Primärenergie aus fester Biomasse in 2020	30
Tabelle 16: Szenarien für die Verwendung der verfügbaren Energie aus fester Biomasse..	30

Abkürzungsverzeichnis

FAME	Fettsäuremethylester (Biodiesel)
ETBE	Ethyl-tert-butylether (Mittel zur Erhöhung der Oktanzahl bei Ottokraftstoff)
SNG	Synthetic Natural Gas (deutsch: synthetisches Erdgas, z.B. Biomethan, Bio-Erdgas)
BtL	Biomass to Liquid (deutsch: Biomasseverflüssigung, Biokraftstoffe)
PJ	Petajoule (1 PJ = 277,78 GWh)
ORC	Organic Rankine Cycle
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
BHKW	Blockheizkraftwerk
SMWA	Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit
SMUL	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
IEA	International Energy Agency
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH
DEPI	Deutsches Pelletinstitut
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
GuD	Gas-und-Dampf(-Kombikraftwerk)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
CHP	Combined Heat and Power (KWK)
WSF	Wirbelschichtfeuerung
DT	Dampfturbine
KEA	Kumulierter Energieaufwand
NaWaRo	Nachwachsende Rohstoffe
KUP	Kurzumtriebsanlage
HKW	Heizkraftwerk
RME	Rapsmethylester (Biodiesel)
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell (deutsch: Schmelzkarbonatbrennstoffzelle)
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell (deutsch: Festoxidbrennstoffzelle)
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

1 Einführung

Im ersten Teilbericht wurde das Biomasseaufkommen erhoben und analysiert, das für eine energetische Nutzung in der Region Dresden zur Verfügung steht. Bis dieses Biomasseaufkommen den Verbrauchern in der Form von Strom, Wärme und Kraftstoffen zur Verfügung steht, sind eine Reihe von Umwandlungsprozessen erforderlich.

Im Folgenden wird ein Überblick über die verschiedenen Prozesse der Umwandlung von Biomasse in Endenergie gegeben. Abbildung 1 gibt einen ersten Überblick darüber, wie vielfältig sowohl die Biomasserohstoffe als auch die Verfahren ihrer Umwandlung in Energie oder Produkte sind.

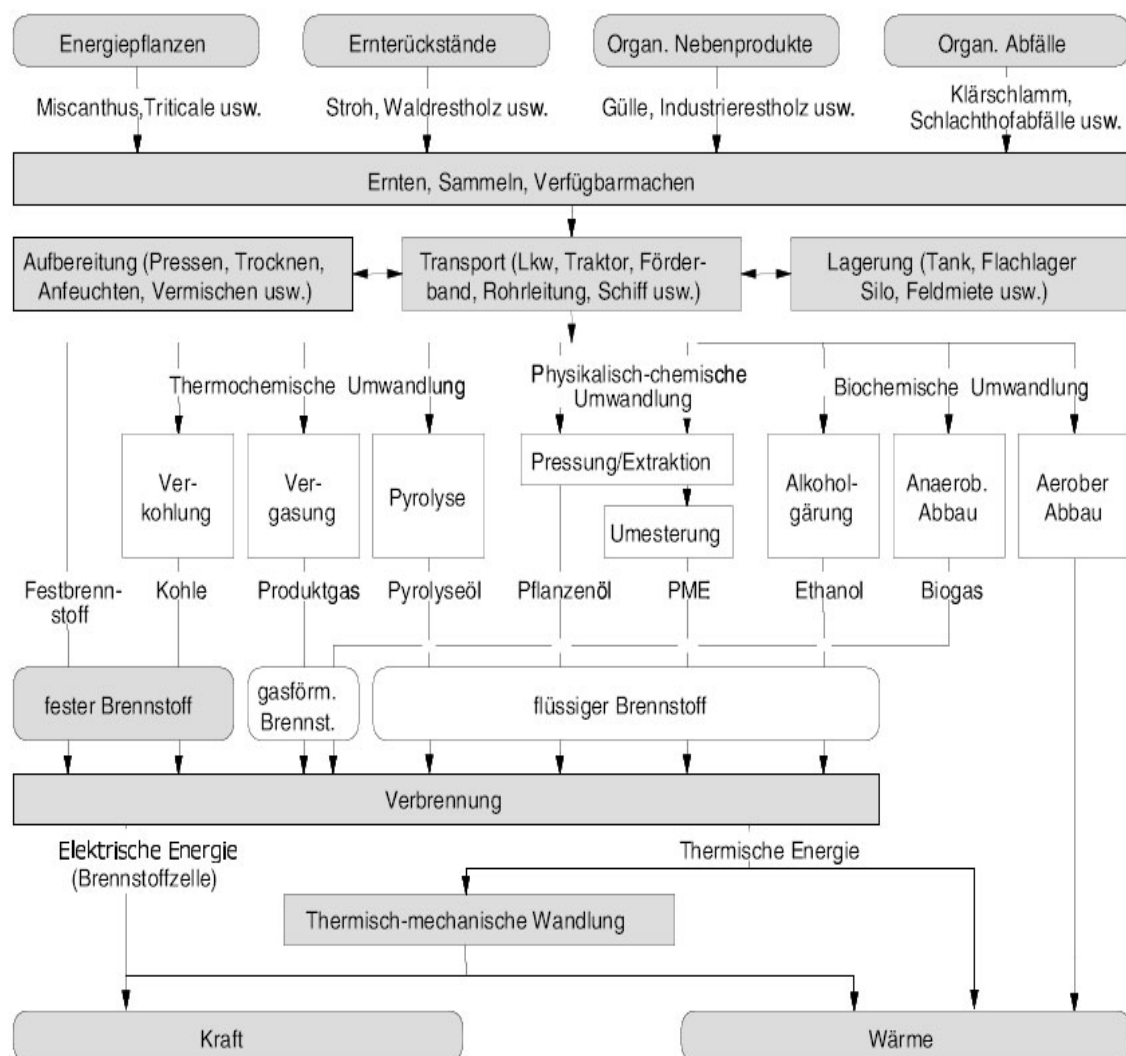


Abbildung 1: Stoffströme und Umwandlungspfade zur energetischen Biomassenutzung

Quelle: Kaltschmitt (2003)

Ein Beispiel für eine einfache Bereitstellungskette ist die Aufbereitung (Zerkleinerung, Verdichtung) von lignocellulosehaltiger Biomasse (z.B. Holz) und die anschließende

Verbrennung in einer Feuerungsanlage zur Bereitstellung von Wärme. Für viele Anwendungen ist es sinnvoll bzw. notwendig, zunächst feste, flüssige oder gasförmige Sekundärenergieträger herzustellen. Die Energieträger werden dadurch hinsichtlich ausgewählter Eigenschaften aufgewertet, wie z.B. Energiedichte, Handhabung, Speicherefähigkeit etc.

Im vorliegenden Berichtsteil wird nach einer kurzen Charakterisierung der grundsätzlichen Umwandlungsverfahren ermittelt, wie viel Endenergie als Strom und Wärme aus dem in der Region Dresden zur Verfügung stehende Biomasseaufkommen unter Berücksichtigung der Umwandlungsverluste gewonnen werden kann.

2 Biomassearten und Umwandlungsverfahren

Von den stofflichen und chemischen Eigenschaften aus betrachtet kann Biomasse in vier Gruppen eingeteilt werden:

1. Ölhaltige Biomasse
2. Zucker- und stärkehaltige Biomasse
3. Abfälle und Reststoffe
4. Lignin- und cellulosehaltige Biomasse

Anhand von dieser Aufteilung werden im Folgenden die wichtigsten Umwandlungsprozesse, die Aufbereitung (z.B. Trocknung, Zerkleinerung), Konditionierung und die Konversion (z.B. Vergasung, Vergärung) beschrieben¹. Dabei lassen sich die Umwandlungsverfahren in drei verschiedenen Kategorien einordnen:

- physikalisch-chemische Verfahren
- biologisch-chemische Verfahren
- thermo-chemische Verfahren.

2.1 Ölhaltige Biomasse

Zur ölhaltigen Biomasse zählen Raps, Sonnenblumen, Leinen u. a. Ölpflanzen. Die größte Bedeutung für die Bioenergiebranche in Deutschland hat der Raps mit über 90% der Anbaufläche². Der Ertrag an Ölsaaten beträgt 3 bis 3,5 t/ha, mit Ölgehalten von bis zu 50%³.

Das meist angewendete Verfahren bei der Weiterverarbeitung ist die physikalisch-chemische Umwandlung, durch die Pflanzenöl gewonnen wird.

Die Kosten für die Herstellung von Rapsöl betragen dabei etwa 0,51 Euro/Liter Kraftstoffäquivalent.⁴

¹ In Anlehnung der Studie „Biomassepotential und Technologiecharakterisierung der Umwandlungsverfahren“, TU Berlin, 2008 http://www.evur.tu-berlin.de/fileadmin/fg45/Projekte/Abgeschlossene/studie_nov2008.pdf

² Quelle: Studie „Biomassepotential und Technologiecharakterisierung der Umwandlungsverfahren“

³ Quelle: Studie „Biomassepotential und Technologiecharakterisierung der Umwandlungsverfahren“

⁴ Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) Herstellungskosten Biokraftstoffe www.fnr.de

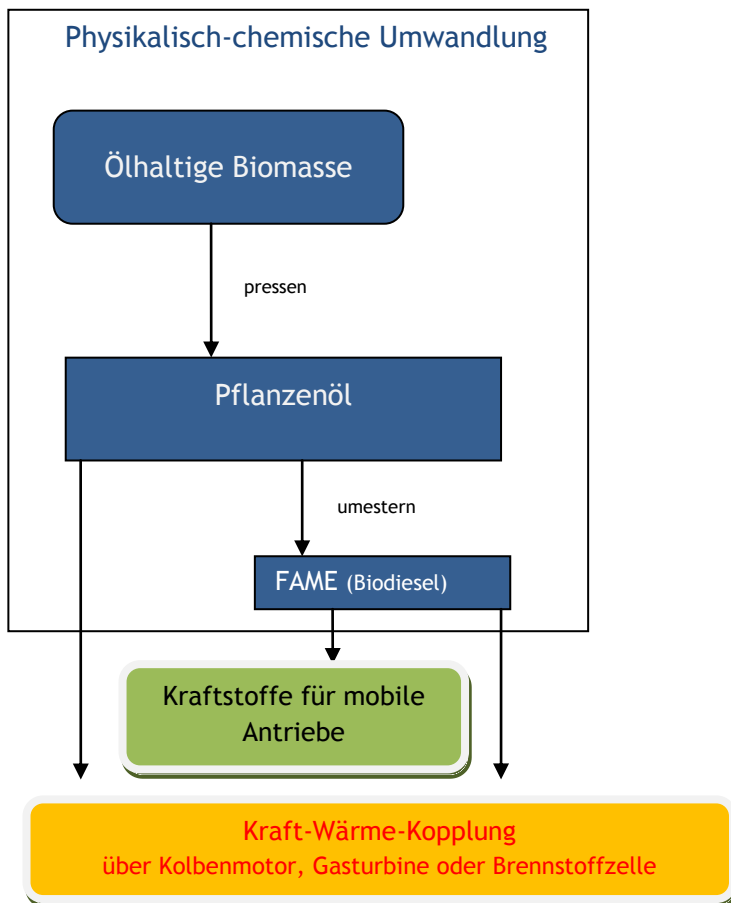


Abbildung 2: Möglichkeiten zur energetischen Nutzung ölhaltiger Biomasse⁵.

Die Weiterverarbeitung zu Biodiesel erfolgt durch die Versetzung des Pflanzenöls mit ca. 10% Methanol und verschiedenen Reagenzien.

2.2 Zucker und stärkehaltige Biomasse

Zur zucker- und stärkehaltigen Biomasse gehören: Getreide (Mais, Weizen), Miscanthus, Zuckerrüben und andere Hackfrüchte.

Aus dieser Biomasseart wird in der Regel durch Vergärung (biologisch-chemisches Verfahren) Biogas oder Bioethanol gewonnen.

⁵ Quelle: Studie „Biomassepotential und Technologiecharakterisierung der Umwandlungsverfahren“

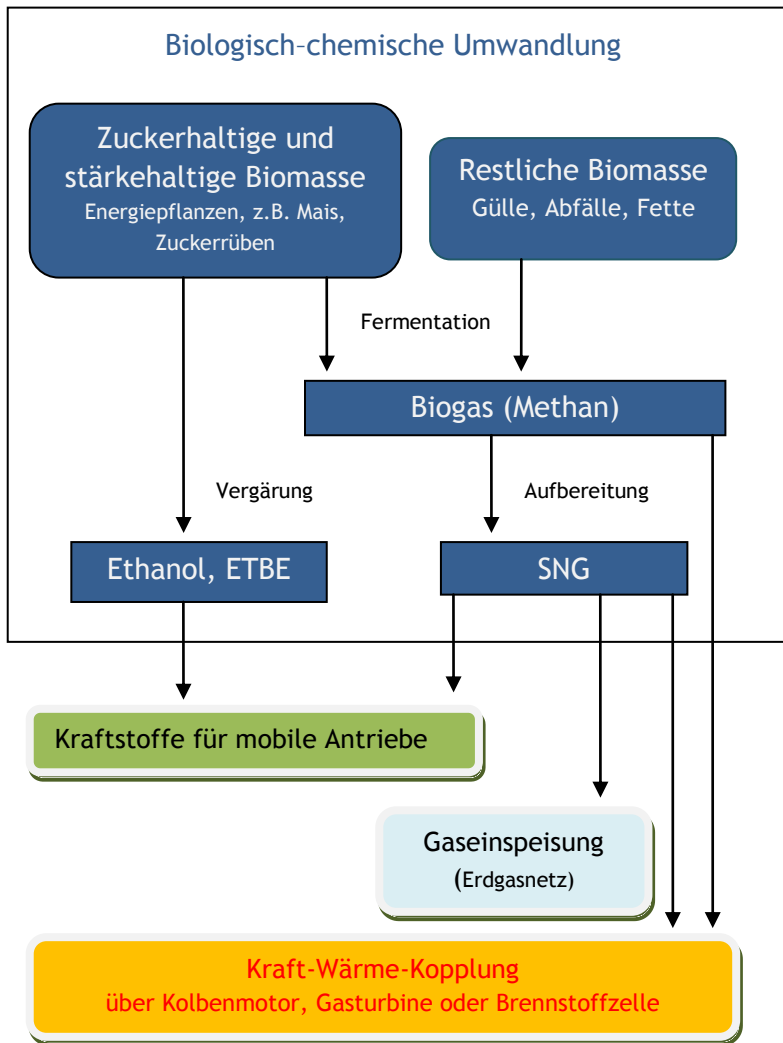


Abbildung 3: Umwandlung von zucker- und stärkehaltiger Biomasse⁶

Die Herstellungskosten für Bio-Ethanol aus Getreide betragen aktuell ca. 0,72 Euro/Liter.⁷

Verbesserungsfähig ist die Technologie für die Ethanolgewinnung aus Getreideganzpflanzen: Erhöhung der Ethanolausbeute aus Getreideganzpflanzen, Optimierung der Fruchtfolge sowie der Einsatz von mehrjährigen Energiepflanzen zur Kraftstofferzeugung⁸.

Aufgrund der hohen Zuckerpreise und des im Vergleich zu Getreide teureren Umwandlungsverfahrens spielt Zuckerrüben-Biogas und Zuckerrüben-Bioethanol in Deutschland kaum eine Rolle⁹.

⁶ Quelle: Studie „Biomassepotential und Technologiecharakterisierung der Umwandlungsverfahren“

⁷ Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) Herstellungskosten Biokraftstoffe www.fnr.de

⁸ Quelle: Studie „Biomassepotential und Technologiecharakterisierung der Umwandlungsverfahren“

⁹ Quelle: Studie „Biomassepotential und Technologiecharakterisierung der Umwandlungsverfahren“

2.3 Abfälle und Reststoffe

Diese Biomasseart kann in fünf Unterkategorien unterteilt werden, die bereits im ersten Teilbericht kurz vorgestellt wurden. Das am häufigsten angewendete Verfahren bei der Umwandlung der Abfälle und der Reststoffe in Nutzenergie bzw. in Biogas und Kraftstoffe ist die oben vorgestellte Biologisch-chemische Umwandlung.

2.3.1 *Deponiegas*

Deponiegas bildet sich durch den biochemischen Abbau organischen Materials in Deponien. Nachdem der mit dem Müll eingelagerte Luftsauerstoff aufgebraucht ist, werden nach einer Stabilisierung methanbildende Bakterien aktiv. Deponiegas kann unmittelbar in einem BHKW verbrannt oder zu Erdgas aufbereitet werden. Allerdings verringert sich der Gasaustrom mit zunehmendem Alter der Deponie kontinuierlich.

2.3.2 *Klärschlamm/Klärgas*

Klärgas entsteht durch anaerobe Faulung von Klärschlamm. Durch die Faulung wird der frische Klärschlamm gleichzeitig stabilisiert und sein Trocknungsfähigkeit verbessert. Die Klärgasgewinnung und -verstromung findet daher in der Regel unmittelbar auf den Kläranlagen statt.

2.3.3 *Ernterückstände und tierische Abfälle*

Als Ernterückstände werden alle nicht dem Stroh zugeordneten Pflanzenreste verstanden, die bei der Ernte anfallen. Tierische Abfälle sind Exkreme und Einstreu.

2.3.4 *Industrielle und gewerbliche Abfälle*

Unter industriellen und gewerblichen Abfällen werden vergärbare/fermentierbare organische Substrate verstanden, die vor allem in der Nahrungsmittelindustrie, im Lebensmittelhandel und in Gaststätten- und Restaurantbetrieben in nennenswerten Mengen anfallen.

2.3.5 *Siedlungsabfälle*

Unter Siedlungsabfällen versteht man hauptsächlich den biogenen Anteil des Hausmülls sowie Abfälle aus diversen öffentlichen Märkten (Sonntagsmärkte, etc.). Auch Garten-, Park- und Bioabfälle der Kommunen zählen zu den Siedlungsabfällen.

2.4 Lignin- und cellulosehaltige Biomasse

Zu dieser Art von Biomasse zählen Holz, Stroh, die Biomasse aus Landschaftspflege und ähnliche Stoffe. Die lignin- und cellulosehaltige Biomasse wird heutzutage hauptsächlich direkt verfeuert und zur Wärme- und/oder Strombereitstellung verwendet.

Diese Biomasseart kann aber auch zuerst vergast und anschließend in einer KWK-Anlage zu Strom und Wärme umgewandelt werden. Dieser Prozess der thermo-chemischen Umwandlung wird nachfolgend schematisch dargestellt. Grundsätzlich sind andere bio-chemische Umwandlungsverfahren, wie z. B. die Fermentation von Stroh, ebenfalls möglich.

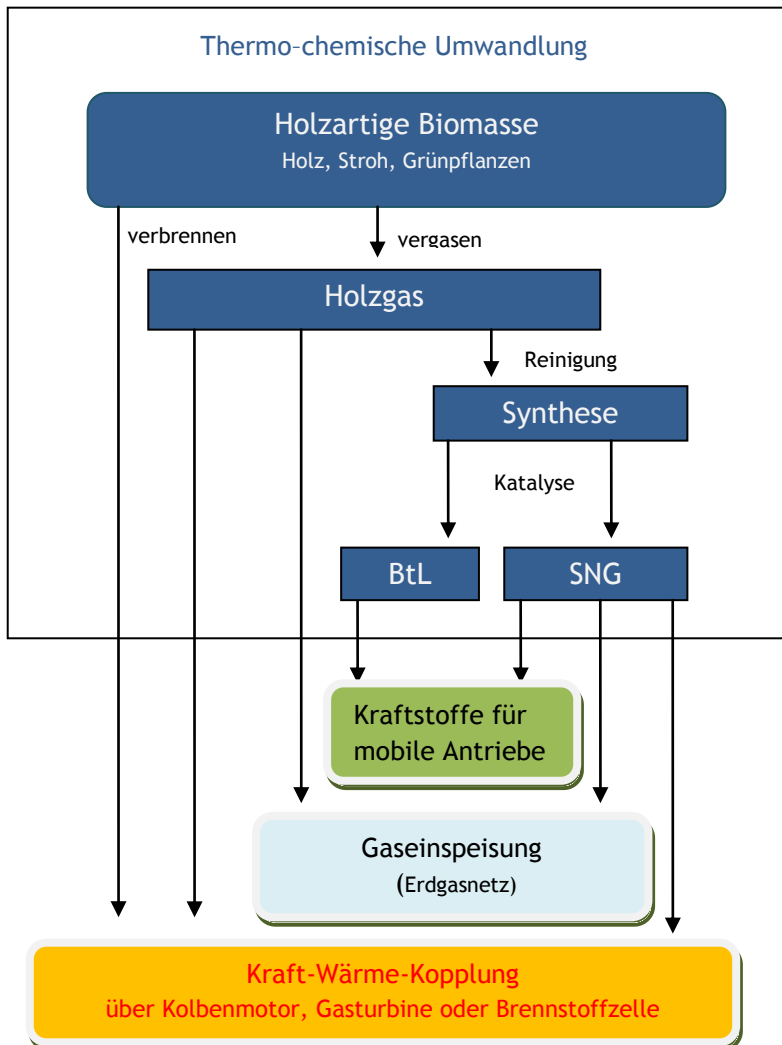


Abbildung 4: Umwandlung von lignin- und cellulosehaltiger Biomasse¹⁰

Die Bedeutung der Nutzung von holzartige Biomasse als Brennstoff in KWK-Anlagen nach erfolgter Vergasung soll in der Zukunft weiter ansteigen, da dieser Prozess höhere Strom- und Gesamtwirkungsgrade erlaubt.

¹⁰ Quelle: Studie „Biomassepotential und Technologiecharakterisierung der Umwandlungsverfahren“

3 Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse

Nachdem im vorherigen Kapitel die unterschiedlichen Biomasseumwandlungsverfahren allgemein beschrieben wurden, werden im folgenden Abschnitt die unterschiedlichen Technologien zur Strom- und Wärmegewinnung aus Biomassebrennstoffen vorgestellt. Zur besseren Übersicht und um eine Struktur bei der Darstellung der vielfältigen Technologien zu schaffen, werden sie nach dem Aggregatzustand der eingesetzten Biomasse gruppiert.

Folglich werden die drei großen Technologiegruppen näher betrachtet:

- I. Strom- und Wärmeerzeugungstechnologien für feste Biomasse
(Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse)
- II. Strom- und Wärmeerzeugungstechnologien aus Biogas
- III. Strom- und Wärmeerzeugungstechnologien für flüssige Biobrennstoffe

Eine wichtige Rolle bei der Bestimmung der Endenergie, die aus der zur Verfügung stehenden Biomasseprimärenergie gewonnen werden kann, spielen auch die Versorgungsaufgaben und Leistungen der jeweiligen Anlagen.

3.1 Strom- und Wärmeerzeugung aus fester Biomasse

3.1.1 *Verbrennung*

Kleinstanlagen zur Wärmeerzeugung

Feste Biomasse (v.a. Holz) nimmt in der energetischen Nutzung bislang die größte Bedeutung unter den drei oben vorgestellten Biobrennstoffarten ein und wird meist in Kleinstanlagen (Kaminöfen, Kachelöfen, Heiz- und offene Kamine) zur Wärmeerzeugung im privaten Bereich verbrannt. Mit einem technisch verfügbaren Biomasseaufkommen von ca. 4,6 PJ stellt Holz aus der Forstwirtschaft und der Landschaftspflege etwa ein Viertel des gesamten, technisch erschließbaren Biomasseaufkommens der Region Dresden in 2010.

Die Zubaurate an solchen Kleinstanlagen ist vor allem von der Ölpreisentwicklung abhängig. Je höher der Öl- im Vergleich zum Holzpreis liegt, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Haushalt für eine Holz- statt Ölheizung entscheidet¹¹.

Zunehmend werden dabei auch innovative Heizsysteme wie beispielsweise Pelletheizungen eingesetzt, die im Durchschnitt höhere Wirkungsgrade erreichen. Mit ca. 165 000 Anlagen in Deutschland (Biomasseatlas, 2011) ist deren Anteil jedoch nach Einschätzung des Deutschen Pelletinstituts stark ausbaufähig.¹²

Auf Basis der Förderung von kleinen Heizanlagen (8 - 100 kW) durch die Bundesregierung sind Daten zur Installation von Kleinstanlagen nach Postleitzahlregionen verfügbar.¹³

¹¹ Quelle: DLR, IFEU (2004) „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland“ Seite 36.

¹² Quelle: Deutsches Pelletinstitut(DEPI)

¹³ <http://biomasseatlas.de>

Demnach bestehen in der Region Dresden aktuell 878 Pelletheizanlagen (insg. 18.282 kWth), 15 Holzhackschnitzelheizanlagen (insg. 819 kWth) und 1024 Scheitholzheizanlagen (31.611 kWth). Die insgesamt in Kleinstanlagen installierte Leistung beträgt somit ca. 50,7 MWth. Bei durchschnittlich 3400 Volllaststunden einer Holzheizanlage beträgt der Holzverbrauch insgesamt ca. 0,62 PJ. Zum Vergleich: Der Anfall von Holz in der Landschaftspflege wurde mit 0,55 PJ ermittelt. Hinzu kommt der Verbrauch in Heizkraftwerken und in Kaminen, Kachelöfen etc. im häuslichen Gebrauch, die nicht unter die o.g. Förderung fallen.

Was die Stromerzeugung in Kleinstanlagen betrifft, die unmittelbar feste Biogenbrennstoffe verwenden, so gibt es im Leistungsbereich < 0,15 MWel nach derzeitiger Einschätzung keine Stromerzeugungstechnologien, die sich am Markt im größeren Umfang etablieren konnten [DBFZ 2011].

Tabelle 1: Wirkungsgrade verschiedener Feuerungsarten¹⁴

Wirkungsgrad verschiedenen Heizsystemen	
Pelletkessel/Pelletöfen	85 bis 90%
Hackschnitzelkessel	80 bis 90%
Kachelöfen	60 bis 85%
Kaminöfen Stückholz	40 bis 85%
Offene Kamine	5 bis 20%

Heiz- und Heizkraftwerke

Neben Kleinstanlagen wird feste Biomasse in Heiz- und Heizkraftwerken verwendet. Als etablierte Technologien stehen - je nach Brennstoff - Unterschubfeuerungen, Rostfeuerungen (Anlagen > 1 MWth), Rostfeuerungs- Zigarrenbrenner (für Stroh- und Halmgutballen) und Wirbelschichtfeuerungen (Anlagen > 5 MWth) zur Verfügung [HGF 2001].

Zu reinen Heizanlagen mit einer Nennleistung über 100 kWth existieren keine öffentlichen Statistiken. Das DBFZ benennt in diesem Bereich auf Basis seiner eigenen Datenbanken für die Region 17 kleine Anlagen (100 bis 500 kWth), 5 mittlere (500 kWth bis 2 MWth) sowie 3 große (mehr als 2 MWth).¹⁵ Ausgehend von einer durchschnittlichen Anlagengröße von 200 kW für kleine, 1 MW für mittlere und 6 MW für große Anlagen ergibt sich eine Gesamtleistung von ca. 26,4 MWth.

¹⁴ Quelle: DEPI

¹⁵ Vortrag von Kathrin Bienert im Rahmen der Biomasse Fachgespräche am 14.4.2011

Bei größeren Anlagen haben zur Umwandlung eines Teils der Energie in Elektrizität bisher zwei Prozesse die Marktreife erreicht: der Dampfkraftprozess unter Anwendung einer Dampfturbine beziehungsweise eines Dampfmotors sowie der ORC¹⁶-Prozess¹⁷.

Dampfkraftprozess (für den mittleren und hohen Leistungsbereich geeignet)

1) Dampfkolben- und Dampfschraubenmotoren

Die Dampfmotoren werden meistens bei kleinen Dampfdurchsätzen eingesetzt. Bei den am Markt gängigen Dampfmotoren liegt die elektrische Leistung zwischen 50 kW und maximal etwa 2 MW.

2) Dampfturbinen

Der Dampfturbinenprozess ist von allen KWK-Anwendungen zur Stromerzeugung aus fester Biomasse am längsten praxiserprobt und deshalb am Markt etabliert. Er ist jedoch in der Regel erst ab 2 MWel kostendeckend darstellbar [DBFZ 2011].

Der Wirkungsgrad des Dampfkraftprozesses wird im Wesentlichen von den Temperaturniveaus bei der Dampferzeugung und der Kondensation bestimmt.

Tabelle 2: Wirkungsgrade von Dampfprozessen¹⁸

	Dampfturbine	Dampfturbine	Dampfmotor
Technische Daten			
Elektrische Nennleistung	kleiner 10 MW	größer 10 MW	bis 2 MW
Nutzungsgrad elektr.	10 bis 20%	25 bis 35%	15%
Gesamtnutzungsgrad	etwa 85%	etwa 85%	etwa 85%

Es ist zu beachten, dass die Elektrizitätswirkungsgrade bei Dampfturbinen-KWK-Anlagen mit steigender Wärmeauskopplungstemperatur sinken. Bei Steigerung der Temperatur der nutzbar gemachten Wärme steigt der Gegendruck in der Turbine und damit sinkt die zur Stromerzeugung zur Verfügung stehende Energie.

In der Region Dresden sind zwei Heizkraftwerke in Betrieb, eines in Dresden-Heidenau mit einer Leistung von 7.070 kWel und 18.000 kWth (Altholz und Holzhackschnitzel) und ein weiteres in Lampertswalde mit 5.820 kWel und 47.500 kWth (Industrierestholz, Holzstaub und -granulat).¹⁹

¹⁶ Organic Rankine Cycle

¹⁷ DBFZ Bericht 2011

¹⁸ Quelle: Kaltschmitt 2009 und Studie Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland

¹⁹ Angaben gemäß der von 50Hertz und SAENA veröffentlichten Anlagenstammdaten.

Organic Rankine Cycle - Prozesse (für den mittleren Leistungsbereich geeignet)

Nach derzeitigem Kenntnisstand befanden sich Ende 2010 bereits 79 ORC-Anlagen mit einer elektrischen Leistung zwischen 0,3 und 3,1 MWel (2 Module à 1,55 MWel) deutschlandweit in Betrieb.

Der Trend dieser Technologie wird sich aller Voraussicht nach wohl auch in den kommenden Jahren fortsetzen [DBFZ 2011]. Diese Entwicklungen sind auf die Anreizwirkungen des EEG zurückzuführen, wonach Strom aus ORC-Anlagen mit einem zusätzlichen Technologiebonus vergütet wird.

Trotz des enormen Zubaus und der Marktreife besteht bei dem Betrieb von ORC-Heizkraftwerken noch Optimierungsbedarf. ORC-Anlagen weisen einen geringen elektrischen Wirkungsgrad auf, der bisher z. B. durch Modifikationen etwa im Silikonölkreislauf (Teilstromprinzip) erhöht werden konnte.

Tabelle 3: Wirkungsgrade in ORC Anlagen²⁰

ORC-Anlage	
Technische Daten	
Elektrische Nennleistung	0,3 bis 3 MW
Nutzungsgrad elektr.	10 bis 15%
Gesamtnutzungsgrad	85 bis 90%

In der Region Dresden laufen aktuell 4 ORC-Anlagen mit einer Leistung von insgesamt 2.492 kWel.²¹

Stirlingmotorprozess (für den niedrigen und mittleren Leistungsbereich geeignet)

Stirlingmotoren werden bislang überwiegend in Prototypanlagen eingesetzt. Nach Einschätzung des DBFZ ist die Zukunft dieser Technologie noch ungewiss.

Tabelle 4: Wirkungsgrade Stirlingmotor-Anlagen²²

Stirlingmotor-Anlagen	
Technische Daten	
Elektrische Nennleistung	10 bis 40 kW
Nutzungsgrad elektr.	10%
Gesamtnutzungsgrad	85 bis 90%

²⁰ Quelle: Kaltschmitt 2009 und Studie Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland

²¹ Angaben gemäß der von 50Hertz veröffentlichten Anlagenstammdaten 2011

²² Quelle: Kaltschmitt 2009 und Studie Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland

Mitverbrennung in Kohlekraftwerken

Bei der Betrachtung der Stromerzeugung durch Biomasse ist grundsätzlich auch die Mitverbrennung von Biomasse in bestehenden Kohlekraftwerken zu betrachten, denn sie weist eine Reihe von Vorteilen gegenüber einer Erzeugung elektrischer Energie in kleinen, ausschließlich mit Biomasse gefeuerten Anlagen auf [Kaltschmitt 2009]:

- hohes, schnell verfügbares Einsatzpotenzial zur Biomassenutzung
- hohe Stromerzeugungs-Wirkungsgrade von bis zu 45%
- potenzielle Biomasse-Engpässe können durch konventionelle Brennstoffe ausgeglichen werden
- geringe Umrüstungsinvestitionen

Die obere Leistungsgrenze der Biomassebereitstellung dürfte tendenziell aufgrund logistischer Begrenzungen bei etwa 50 bis 100 MW Biomassebrennstoffleistung liegen. Aufgrund von Technologiebeschränkungen sollte in der Regel ein Anteil der Biomasse von etwa zehn Prozent bei Steinkohlestaubfeuerungen nicht überschritten werden. Bei Braunkohlefeuerungen und Wirbelschichten sollen auch höhere Anteile möglich sein. Die genauen Werte sind jedoch für jede Anlage individuell zu ermitteln. Folglich kommen vor allem größere, ausschließlich der Elektrizitätserzeugung dienenden Kraftwerksblöcke mit einer Leistung von 500 bis 1000 MW in Betracht. Daneben sind mittelgroße Kohle-Heizkraftwerke ebenfalls für eine Biomassemitverbrennung geeignet, wobei hier auch der Vorteil der KWK-Erzeugung genutzt werden kann.

3.1.2 Vergasung biogener Festbrennstoffe

Bei der energetischen Verwendung biogener Festbrennstoffe unterscheidet sich der Bereich der thermochemischen Vergasung in seinen Grundzügen (Marktentwicklung, Betreiberstrukturen, Anwendungsbereiche) teilweise stark von der Nutzerstruktur verbrennungsbasierter Systeme [DBFZ 2011]. Die thermochemische Vergasung von Biomasse bezeichnet Prozesse, bei denen feste, trockene und überwiegend lignocellulosehaltige Biomasse wie Holz in brennbare Gasgemische umgesetzt werden.

Einen idealen Vergaser für die unterschiedlichen vorhandenen Biomassefraktionen gibt es bisher noch nicht [Kaltschmitt 2009]. Seit Jahren befindet sich der Markt in einer Phase kontinuierlicher Entwicklung, der vor allem in den letzten Jahren von Umwälzungen und sporadischen Entwicklungssprüngen charakterisiert ist. Der Bestand an Anlagen im Leistungsbereich bis 1 MWel hat sich in den letzten beiden Jahren fast verdoppelt. Hierbei handelt es sich um Anlagen, die von Herstellern an Kunden übergeben worden sind. Diese Entwicklung lässt jedoch zunächst offen, wie stabil diese Anlagen schließlich laufen [DBFZ 2011].

Die Vergasung fester Biomasse und die anschließende Strom- und Wärmeerzeugung in Gas- und Dampfanlagen ist eine der vielversprechendsten Technologien mit Hinblick auf eine

Optimierung der Stromgewinnung. Der Anlagenbetrieb von Biomassevergasungs-KWK-Anlagen ist vor allem dann erfolgreich, wenn die Anlage von vornherein als Heizanlage betrieben wird, die zusätzlich Strom erzeugt und einspeist

Einsatz des Produktgases in einer BHKW- oder GuD-Anlage

Beim Einsatz von GuD-Anlagen sind Wirkungsgrade von bis zu 50% erreichbar, wobei mit steigender Wärmeauskopplung die Stromausbeute grundsätzlich sinkt.

Tabelle 5: Wirkungsgrade KWK-Anlagen mit Vergasung fester Biomasse²³

	Gasmotor (Festbettvergaser)	Gas- und Dampfturbine (Wirbelschicht- oder Druckvergaser)
Technische Daten für ausgewählte Anlagen		
Elektrische Nennleistung	5 bis 4 000 kW	0,4 bis 100 MW 20 bis 350 kW (Mikro GT)
Vergaserwirkungsgrad	70%	75%
Nutzungsgrad elektr. (wenn kleiner als 0,5 MW)	20-30%	20-30%
Nutzungsgrad elektr. (0,5 bis 100 MW)	30-40%	30-50%
Gesamtnutzungsgrad	80%	90% (0,4 bis 100 MW)

Einsatz des Produktgases in Brennstoffzellen

Trotz der vielversprechenden Eigenschaften der Brennstoffzellen im Bezug auf die Effektivität bei der Stromerzeugung (Wirkungsgrade bis 45-50 % theoretisch möglich²⁴) und der Möglichkeit, Produktgas als Brennstoff zu verwenden, sind die Anforderungen, die das Gas dabei erfüllen muss, sehr hoch und zum Teil noch nicht klar definiert. Es liegen bislang keine Langzeiterfahrungen zum Einsatz von Produktgas in Brennstoffzellen vor. Das macht die zukünftige Technologieentwicklung ungewiss, sie wird jedoch als eine Möglichkeit zur energetischen Nutzung fester Biomasse in der Region Dresden im Kapitel 4.2 betrachtet.

In der Region Dresden besteht aktuell eine thermo-chemische Vergasungsanlage in Coswig mit einer Leistung von 45 kWel.

3.1.3 Pyrolyse

Grundsätzlich können zwei Pyrolysetechnologien unterschieden werden: die langsame Pyrolyse und die Flash-Pyrolyse, wobei die erstere, durch die meistens Holzkohle

²³ Studie „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland“

²⁴ Vortrag Dr.-Ing. Volker Lenz DBFZ

gewonnen wird, in den Industrieländern heute fast keine Rolle mehr spielt. Holzkohlen werden in der Regel nur in Entwicklungsländern hergestellt, die keine entsprechende Umweltgesetzgebung haben.

Durch die Flash-Pyrolyse werden Bio-Öle hergestellt, die in BHKWs oder Heizkesseln genutzt werden können.

Tabelle 6: Umwandlung fester Biomasse durch Pyrolyse

	Gewinnung von	Umwandlungs- verlust	Einsatz in
Pyrolytische Zersetzung mit stationärer Wirbelschicht	Öl	20%	Heizkesseln, Dieselmotoren
Diverse Verkohlungstechnologien	Holzkohle	60%	Metallurgische Industrie

Angaben zu Pyrolyse-Anlagen sind für die Region Dresden nicht bekannt.

3.2 Strom- und Wärmeerzeugungstechnologien aus Biogas

„Aus wirtschaftlichen Überlegungen ist die Verwendung des Biogases in Blockheizkraftwerken besonders interessant. Sie stellt die in Europa inzwischen am meisten verbreitete Nutzungsform dar“ (Kaltschmit, 2009). Die Gesamtwirkungsgrade der bereits markterprobten BHKW-Anlagen sind sehr hoch, etwa um die 86%. Das bedeutet einen geringen Primärenergieverlust, vorausgesetzt die anfallende Wärme, die etwa die Hälfte des Outputs beträgt, findet ebenfalls Verwendung. Ein weiterer Vorteil der Gas-BHKW-Anlagen ist deren Robustheit. Die durchschnittliche Laufzeit im Jahr unter Volllast beträgt etwa 8200 Stunden [DBFZ].

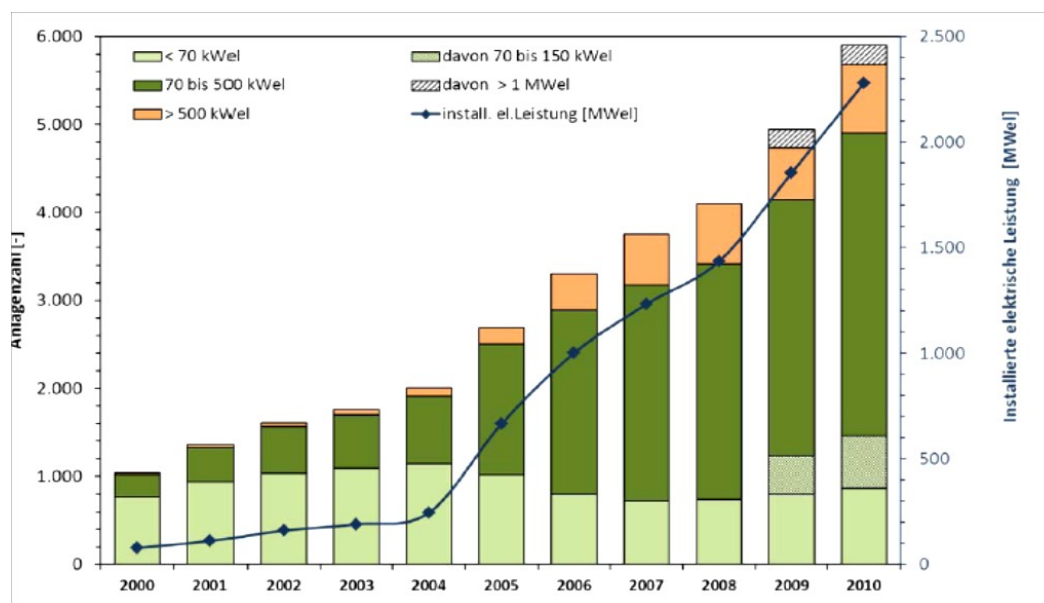
Die Verwertung des Biogases erfolgt in der Regel als gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme in Blockheizkraftwerken. Die Anwendung in Verbrennungsmotoren ist als Stand der Technik anzusehen. Als Verbrennungsmotoren werden vorwiegend Gas-Otto-Motoren oder Zündstrahlaggregate eingesetzt. Diese erreichen elektrische Wirkungsgrade von bis zu 40 % [DBFZ 2011].

Während Gas-Otto-Motoren überwiegend im mittleren und höheren Leistungsbereich (> 250 kWel) zum Einsatz kommen, werden Zündstrahlmotoren meistens im Leistungsbereich bis 300 kWel eingesetzt.

Tabelle 7: Wirkungsgrade Biogasanlagen²⁵

	Gas-Otto-Motor	Zündstrahlmotor
Technische Daten		
Elektrische Nennleistung	20 bis 3 000 kW	5 bis 300 kW
Nutzungsgrad elektr.	35-40%	Bis 40%
Gesamtnutzungsgrad	85%	85%

Aus der folgenden, im Bericht der DBFZ über die Auswirkungen des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse zu findenden Graphik ist deutlich zu erkennen, dass in den letzten Jahren sowohl die gesamte, aber auch die durchschnittliche elektrische Leistung der Biogasanlagen eine steigende Tendenz aufweist.


Abbildung 5: Entwicklung der Zahl der Biogasanlagen in Deutschland²⁶

Das Biogas muss nicht direkt in eine KWK-Anlage zum Strom und Wärme umgewandelt werden. Es kann auch aufbereitet und im Netz eingespeist werden. Bei diesem Vorgang gehen jedoch etwa 12% der Energie des nicht aufbereiteten Biogases verloren. Etwa 5% gehen bei der eigentlichen Umwandlung „direkt“ verloren und 7% werden als Strom von der Umwandlungsanlage verbraucht.

²⁵ Quelle: Handreichung: „Biogasgewinnung und -nutzung“ Herausgeber: FNR

²⁶ Bericht über die Auswirkungen des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse in Deutschland (DBFZ, 2011)

In der Region Dresden sind zur Zeit mindestens 38 Biogasanlagen mit angeschlossenem BHKWs mit einer Leistung von insgesamt 16.068 kWel in Betrieb. Hinzu kommt 1 BHKW mit einer Leistung von 2.246 kWel, das gemäß Anlagenstammdaten mit zugeleitetem Biogas betrieben wird (Dresden-Klotzsche)²⁷

3.3 Anlagen zur Nutzung flüssiger Biobrennstoffe

Nicht nur die Zukunft biogener Kraftstoffe im Energiesystem Deutschlands ist derzeit noch unklar, auch ihre Verwendung im stationären Betrieb zur Gewinnung von Strom und Wärme ist aus heutiger Sicht äußerst unsicher. Da alle heute bekannten Verfahren zur Herstellung biogener Kraftstoffe vergleichsweise kosten- und energieaufwändig sind, wird der Einsatz von Biokraftstoffen in stationären Anlagen auf absehbare Zeit gegenüber der direkten Nutzung unbehandelter Biomassen ökonomisch (und häufig auch ökologisch) unterlegen sein und daher nur - wenn überhaupt - eine Nischenrolle spielen. Die stationäre Nutzung von Biokraftstoffen wird daher bei der Analyse der Strom- und Wärmeerzeugungspotentiale aus Biomasse nicht berücksichtigt²⁸.

In der Region Dresden laufen 16 Anlagen mit einer elektrischen Leistung von insgesamt 2.146 kWel, die mit flüssiger Biomassebrennstoffen (i.d.R. Biodiesel bzw. Bioheizöl) betrieben werden.²⁹

²⁷ Angaben gemäß der bei 50Hertz veröffentlichten Anlagenstammdaten 2011

²⁸ Quelle: Studie „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ Öko-Institut & Partner

<http://www.oeko.de/publikationen/dok/1192.php?id=&dokid=236&anzeige=det&ITitel1=biomasse&IAutor1=&ISchlagw1=&sortieren=date&dokid=236>

²⁹ Angaben gemäß den bei 50Hertz veröffentlichten Anlagenstammdaten 2011

4 Berechnung der Potentiale zur Bereitstellung von Endenergie aus Biomasse in der Region Dresden

4.1 Methodische Vorgehensweise

Wie eingangs dargestellt, können feste, gasförmige und die flüssige Biomassebrennstoffe in einer Vielzahl verschiedener Anlagen verarbeitet werden. Je nach verwendeter Technologie, Anlagengröße, Wärmebedarf etc. unterscheiden sich die elektrischen und die thermischen Wirkungsgrade dieser Anlagen.

Um eine Aussage treffen zu können, wie viel Strom und Wärme mit den vorhandenen Biomasseressourcen gewonnen werden kann, werden die diversen Biomassearten zu konkreten Verarbeitungsanlagen und Technologieverfahren zugeordnet. Dabei orientiert sich die Vorgehensweise an der Studie „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“, die von der wissenschaftlichen Arbeitsgemeinschaft des Öko-Institut e.V., des Fraunhofer Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik und des Instituts für Energetik und Umwelt gGmbH im Auftrag des Bundesumweltministeriums im Rahmen erstellt wurde.

Zuvor wird ein Überblick über die wichtigsten, oben vorgestellten Technologien und deren technische Parameter gegeben. Er lehnt sich ebenfalls an die genannte Studie an. Die Daten wurden jedoch unter Berücksichtigung der neusten Technologieentwicklungen aktualisiert.

Tabelle 8: Wirkungsgrade ausgewählter Technologien³⁰

	Nutzungsgrad (netto)	
	thermisch	elektrisch
Pelletfeuerung (10 bis 50kW (Holzpellets))	85%	-1%
Klein- und mittelgroße Feuerungen (10 kW bis 1 MW (Holz))	85%	-1%
Heizwerke 0,15 bis 5 MW (Holz; Unterschub, Rost)	83%	-1%
Heizkraftwerke 0,15 bis 5 MW (Holz; Rost; Dampfmotor, DT)	67%	14%
Kraftwerke 10 bis 20 MW (Holz; Altholz; Rost; WSF; DT)	0%	27%
Vergärungsanlagen 300 bis 4000 m ³ (Bioethanol)	65%	-3%
5 bis 200 MW Zufeuerung in Kohle(Heiz)kraftwerke (Holz)	100%	-1%
ORC 0,3 bis 3 MW	70%	15%
Vergasung 10 bis 100 MW ohne Gasreinigung	75%	-2%
Vergasung 1 bis 50 MW mit Gasreinigung (Holz)	70%	-2%
Gasmotor (Festbettvergaser) 5 bis 4.000 kWel (Produktgas) ohne Vergasungsverluste	46%	38%
GuD-Turbine 100 MWel (Produktgas)	50%	40%
Mikrogasturbine 30 bis 100 kWel (Produktgas)	55%	25%

³⁰ Durchschnittliche Wirkungsgraden

Stirlingmotor 10 bis 50 kWel	68%	10%
Biogasaufbereitung + Netzeinspeisung	95%	-7%
BHKW Gas-Otto-Motoren 20 bis 3000 kWel (Biogas)	48%	38%
BHKW Zündstrahl 5 bis 300 kWel (Biogas)	48%	38%

Darüber hinaus sind die Umwandlungsverluste bei der Gewinnung und Bereitstellung der Biomassebrennstoffe zu berücksichtigen. In Anlehnung an die Dissertation „Energie und Klimateffizienz von Biogasanlagen mit Biogasaufbereitung und -einspeisung unter Nutzung von Silomais - Untersuchungen am Beispiel der Biogasanlage der HSE AG in Darmstadt Wixhausen“ von Bärbel Hundt (Justus-Liebig-Universität Gießen/2010) und auf Basis von Statistiken, die ein Verhältnis von eingesetzter Biomasseprimärenergie und gewonnener Strom-, Wärme- und Kraftstoffendenergie von 1,38 dokumentieren³¹, und diverser Untersuchungen zu „kumuliertem Energieaufwand (KEA)“ verschiedener Biomasseendenergieträger werden zusätzliche Annahmen getroffen:

- 10% Umwandlungsverlust bei den Biogasanlagen aufgrund von Biomasseverluste, unvollständigem Abbau der organischen Substanz und Methanausschlupf.
- 5% Umwandlungsverlust bei der Umwandlung von fester Biomasse und der Herstellung von Biokraftstoffe aufgrund von Biomasseverlusten bei der Trocknung etc.
- Bei der Veresterung von Raps zu Biodiesel wird von einem Verlust in Höhe von 20% ausgegangen.

4.2 Aktueller Verbrauch der Biomasseanlagen in der Region Dresden

Auf Basis der Stammdaten der für die EEG-Vergütung erfassten Anlagen bestehen in der Region aktuell 63 Biomasse³²- bzw. Biogasanlagen mit einer elektrischen Gesamtleistung von 35.890 MWel. Hinzu kommen 2 Klärgasanlagen in Radeberg und Dresden (830 kWel, bzw. 2.500 kWel) und 4 Deponiegasanlagen (insg. 2.047 kWel).

Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Stromausbeute der verschiedenen Technologien sowie unter Einrechnung der Verluste, die bei der Aufbereitung bzw. Gewinnung der Biomassebrennstoffe entstehen, erhält man einen Biomasseverbrauch von ca. 3,9 PJ (siehe Anlage 2).

Des Weiteren ist die erwähnte thermische Leistung von 50,7 MWth in kleinen Biomasseheizanlagen (< 100 kWth)³³ sowie ca. 26,4 MWth in größeren Heizwerken (>100 kWth) zu berücksichtigen. Diese erzeugen keinen Strom und fallen somit nicht unter die EEG-Anlagen.

³¹ Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global „Leitstudie 2010“ BMU Seite 45 Abb. 3.9

³² Einschließlich Verbrennung von Altholz

³³ Erfasst sind dabei Heizkessel mit einer Leistung von 8 bis 100 kW, die unter die Förderung des Marktanreizprogramms Biomasseheizkessel des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle fallen.

Berechnung der Potentiale zur Bereitstellung von Endenergie aus Biomasse in der Region Dresden

Bei einer geschätzten Auslastung von 3.400 Volllaststunden bei Kleinstanlagen (< 100 kWth) sowie 4.000 Volllaststunden bei größeren Anlagen (> 100 kWth) beträgt der Brennstoffbedarf für Biomasseheizkessel in der Region Dresden ca. 1 PJ. Die aktuelle Nutzung von Biomasse zur Strom- und Wärmeversorgung in der Region beläuft somit sich auf ca. 4,9 PJ.

Hinzu kommt die unmittelbare Nutzung von Holz in privaten Haushalten zur Feuerung in Kachelöfen, Kaminen etc. Auf Basis des sächsischen Pro-Kopf-Verbrauches fester Biomasse in Haushalten³⁴ wird geschätzt, dass dieser Verbrauch bei weiteren 2,5 PJ liegt.

Der Biomassegesamtverbrauch der Region beträgt nach dieser Schätzung ca. 7,4 PJ, was einem Anteil von 42% des in Teilbericht 1 ermittelten derzeitigen Potentials (17,6 PJ) entspricht.

4.3 Erzielbare Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse in der Region Dresden

Unter Berücksichtigung des in Teilbericht 1 ermittelten technisch energetisch nutzbaren Biomasseaufkommens in der Region Dresden kann die aus Biomasse erzielbare Strom- und Wärmeerzeugung für die Region abgeschätzt werden. Hierfür wurden die unterschiedlichen Fraktionen bestimmten Umwandlungsverfahren und Verbrennungstechnologien zugeordnet.

Tabelle 9: Energetische Verwendung der Biomasse

Landwirtschaft	
NaWaRo	60% Biodiesel/Pflanzenöl und Bioethanol, 40% Biogas ³⁵
Dauergrünland	80% feste Biomasse; 20% Biogas
KUP	100% feste Biomasse
Koppelprodukte	
Heu, Stroh ³⁶ , Grünmasse	80% feste Biomasse 20% Ko-Substrat für Biogasfermenter
Gülle	100% Biogas
Biogene Abfälle und Reststoffe	
Altholz/Industrierestholz	100% feste Biomasse
Biotonne/Restabfall	100% Biogas
Grünschnitt	80% feste Biomasse; 20% Biogas ³⁷
Klärschlamm	100% Biogas
Forstwirtschaft	
Wald-, Waldrestholz	Feste Biomasse
Landschaftspflege	
holzartig	100% Feste Biomasse

³⁴ Energiebilanz des Freistaates Sachsen 2009.

³⁵ In Anlehnung an die Publikationen der FNR über die NaWaRo-Anbau und Deutschland für 2011

³⁶ Kaltschmitt (2003) geht davon aus, dass nur 20% des Strohaufkommens energetisch genutzt wird.

³⁷ Bei der Nutzung von Grünschnitt als Kosubstrat in Biogasanlagen beträgt der Energiegehalt des gewonnenen Gases etwa 70% des Heizwertes vgl. Stoffstromanalyse Seite 192.

Zur Vereinfachung der Betrachtung wird davon ausgegangen, dass für die entsprechende Umwandlung und Verwertung der Biomassebrennstoffe die effizientesten, zurzeit am Markt verfügbaren Technologien eingesetzt werden.

Für die Potentialbetrachtung des Basisszenarios 2010 wird folgende Technologieauswahl getroffen:

Tabelle 10: Technologieauswahl für Basisszenario 2010

Biomasseart	Technologie	Wirkungsgraden	
		Thermisch	Elektrisch
Feste Biomasse			
Altholz/Waldholz / KuP/Dauergrünland/ Landschaftspflege	HKW-Dampfmaschine	66%	14%
Stroh	HKW-Dampfmaschine	60%	10%
Biogas			
Rinder und Schweinegülle	1500 m³ Fermenter + 200 kWel BHKW	48%	38%
Biomüll	1500 m³ Fermenter + 500 kWel BHKW	48%	38%
Klärgas	BHKW 1 MW	48%	38%
Biokraftstoffe			
RME(Raps)	Einsatz im Verkehrssektor (20% Primärenergieverlust bei der Umwandlung der Rapssaat)		

Holzvergasungsanlagen werden hierbei noch nicht berücksichtigt, da noch zu wenige marktreife Entwicklungen von kompletten Systemen, bei denen ein zuverlässiger Betrieb über 6000 Jahresstunden möglich ist, existieren.³⁸

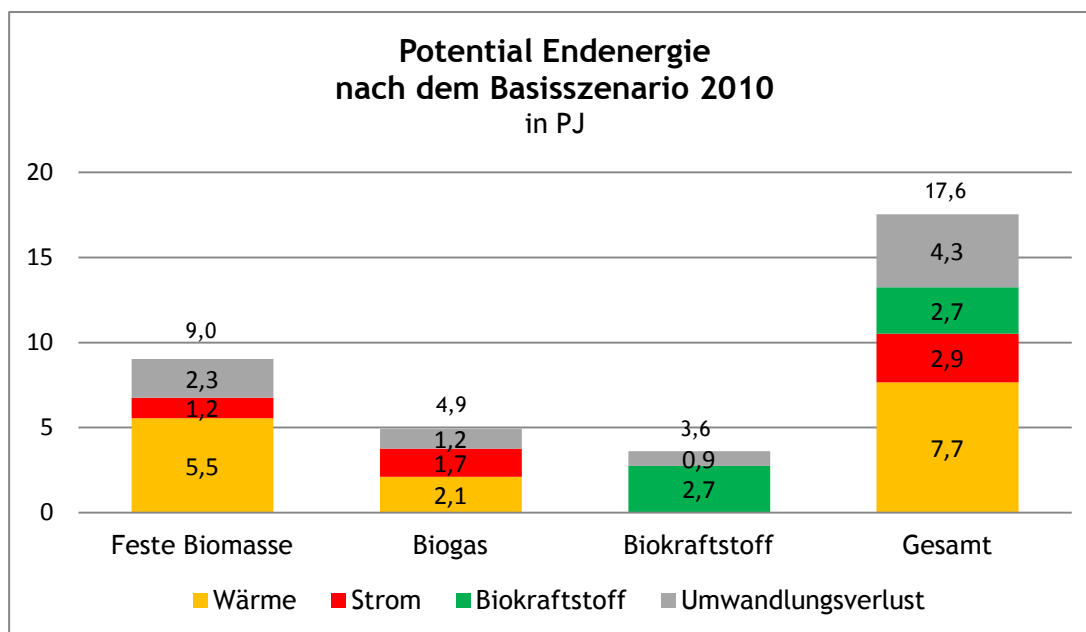
Aufgrund der diversen Probleme bei der Verbrennung von Stroh wird unterstellt, dass die Anlagenwirkungsgrade niedriger sind als bei der Verbrennung von holzartiger Biomasse³⁹

Für die oben vorgestellte Technologieauswahl wurde unter Berücksichtigung der Energieumwandlungsverluste die erschließbare Endenergie aus dem technisch verfügbaren Primärenergieaufkommen für das Basisszenario 2010 ermittelt.

³⁸ Studie „Biomassepotential und Technologiecharakterisierung der Umwandlungsverfahren“; TU Berlin; November 2008

³⁹ In Anlehnung an der Studie: „Sachsens Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen/Biomasse“

Berechnung der Potentiale zur Bereitstellung von Endenergie aus Biomasse in der Region Dresden



Biomasseart	Primärenergie In PJ	Endenergie gesamt In PJ	davon Strom in PJ	davon Wärme in PJ
Feste Biomasse	9,0	6,7	1,2	5,5
Biogas	4,9	3,8	1,7	2,1
Biokraftstoff	3,6	2,7		
<u>Gesamt</u>	<u>17,5</u>	<u>13,3</u>	<u>2,9</u>	<u>7,7</u>

Abbildung 6: Endenergie und Umwandlungsverluste im Basisszenario 2010

Für die Technologie 2020 wird von einer moderaten Effizienzsteigerung bei den bestehenden, markterprobten Technologien. Es werden ebenfalls aus der heutigen Sicht die vielversprechendsten Technologien berücksichtigt, die sich in einem Versuch-, bzw. Einführungsstadium befinden.

Tabelle 11: Technologieauswahl 2020

Tabelle 11: Technologiewahl 2020			
Biomasseart	Technologie	Wirkungsgrade	
		Thermisch	Elektrisch
Feste Biomasse			
Altholz / Waldholz / KuP / Miscanthus	Wirbelschichtvergasung -GuD-HKW (20% Energieverlust durch Vergasung)	40%	50%
	Festoxid- Brennstoffzelle BHKW mit Dampfvergasung (MCFC/SOFC) ohne Gasreinigung	35%	50%
	HKW-Dampfmaschine	68%	17%
Biogas			
Rinder und Schweinegülle	1500 m3 Fermenter + 200 kWel BHKW	50%	40%
Biomüll	1500 m3 Fermenter + 500 kWel BHKW	50%	40%

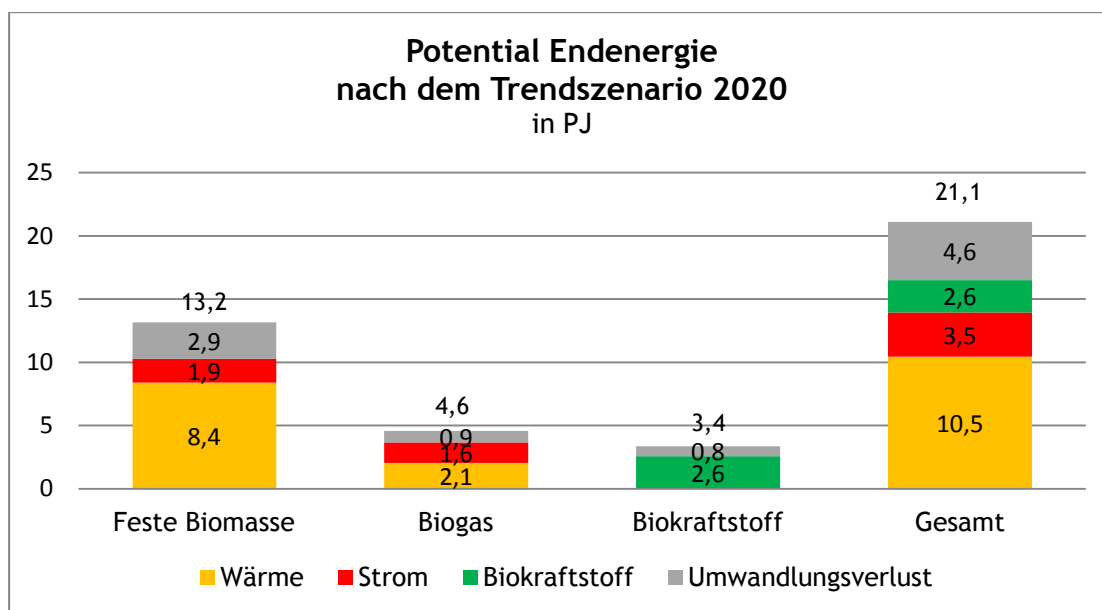
Deponiegas	BHKW 1 MW	50%	40%
Klärgas	BHKW 1 MW	50%	40%
Biokraftstoffe			
RME(Raps) SME (Soja)	Einsatz im Verkehrssektor (15% Primärenergieverlust bei der Umwandlung der Rapssaat)		

Es wird angenommen, dass sich bei der Strom- und Wärmeerzeugung aus fester Biomasse die effizienten GuD- und Brennstoffzellen-KWK-Technologien durchsetzen und etablieren werden. Das könnte elektrische Wirkungsgrade von bis zu 50% ermöglichen.

Bei den Biogasanlagen wird nur von einer evolutionären Steigerung der Wirkungsgrade aufgrund von gewonnener Erfahrung ausgegangen.

Mit der für 2020 getroffenen Technologieauswahl wurden die erschließbare Endenergie aus den für das Trend- und das Handlungsszenario ermittelten Biomasseaufkommen in der Region Dresden berechnet.

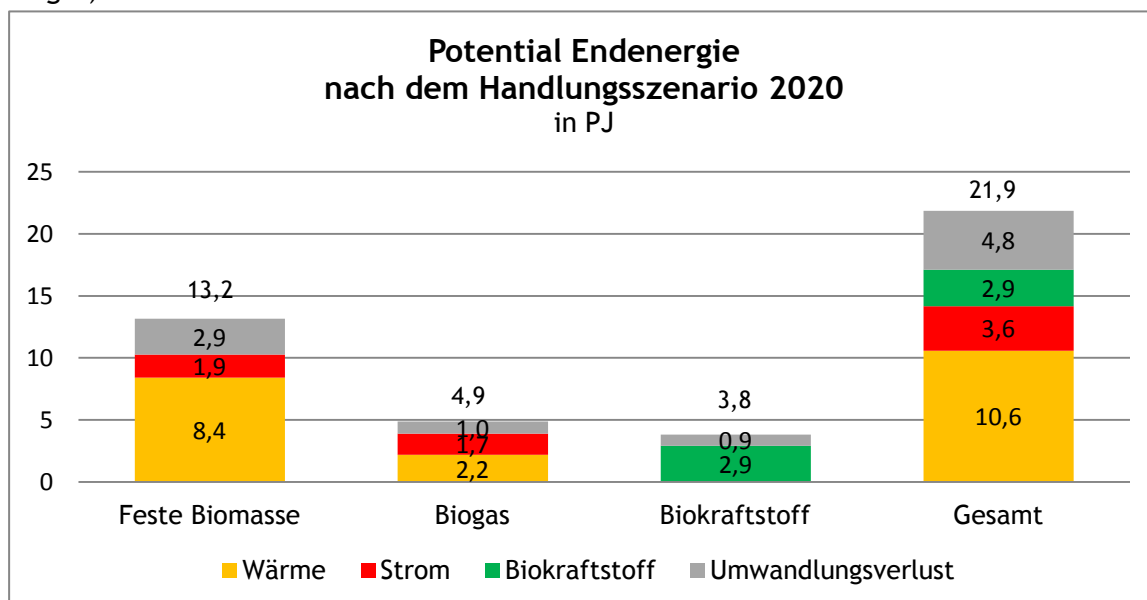
Die folgende Graphik zeigt die Primär- und Endenergieergebnisse im Trendszenario 2020:



Biomasseart	Primärenergie gesamt in PJ	Endenergie gesamt in PJ	davon Strom in PJ	davon Wärme in PJ
Feste Biomasse	13,2	10,3	1,9	8,4
Biogas	4,6	3,7	1,6	2,1
Biokraftstoff	3,4	2,6		
<u>Gesamt</u>	<u>21,1</u>	<u>16,5</u>	<u>3,5</u>	<u>10,5</u>

Abbildung 7: Ergebnisse Trendszenario 2020

Die Unterschiede der Ergebnisse des Handlungsszenarios gegenüber dem Trendszenario sind minimal (0,5 PJ Primärenergie bei den Biokraftstoffen und 0,3 PJ Primärenergie beim Biogas):



Biomasseart	Primärenergie gesamt in PJ	Endenergie gesamt in PJ	davon Strom in PJ	davon Wärme in PJ
Feste Biomasse	13,2	10,3	1,9	8,4
Biogas	4,9	3,9	1,7	2,2
Biokraftstoff	3,8	2,9		
<u>Gesamt</u>	<u>21,9</u>	<u>17,1</u>	<u>3,6</u>	<u>8,9</u>

Abbildung 8: Ergebnisse Handlungsszenario 2020

Die oben dargestellten Endenergiemengen basieren auf einer evolutionären Steigerung der Wirkungsgrade der Technologieauswahl 2010, berücksichtigen aber noch nicht die Einführung neuer, effizienterer Technologien.

In Anlehnung an die Ergebnisse der Studie „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“, die nur eine evolutionäre Steigerung der Wirkungsgrade bei den Biogasanlagen und keine revolutionären technischen Neuentwicklungen vorsieht, und in Anbetracht der Kurzstudie der DBFZ „Analyse zur Erreichung des Mindestziels von 10% erneuerbare Energien im Verkehrssektor“, die keine bedeutende Marktverbreitung der Biokraftstoffe der zweiten Generation mit Ausnahme des bereits kommerzialisierten Biomethan erwartet, wird an dieser Stelle für den Zeithorizont 2020 nur die technische Entwicklung bei der Energiegewinnung aus fester Biomasse reflektiert.

Im Handlungsszenario 2020 stehen die folgenden technisch erschließbaren Primärenergienmengen aus fester Biomasse zur Verfügung:

Tabelle 12: Primärenergie aus fester Biomasse in 2020

	Handlungsszenario 2020 in PJ
KUP	3,30
Stroh (Getreide, Raps), Dauergrünland, Grünschnitt	3,18
Altholz	1,22
Industrieholz	0,35
Landwirtschaftspflege, holzartig	0,55
Holzeinschlag	4,57
<u>Gesamt (mit Holzeinschlag)</u>	<u>13,17</u>

Unter Berücksichtigung des vollen, für energetische Nutzung zur Verfügung stehenden Waldholzpotentials von 4,6 PJ verfügt die Region über 13,2 PJ feste Biomasse in 2020.

Unter Berücksichtigung eines aktuellen Verbrauchs fester Biomasse in bestehenden Heizanlagen und Heizkraftwerken von ca. 2,8 PJ pro Jahr stünden 5,8 PJ ohne Berücksichtigung des Waldholzes und 10,4 PJ mit Berücksichtigung des Waldholzeinschlages für andere Technologien zur Verfügung.

Nachstehende Tabelle gibt eine Übersicht über Möglichkeiten zur Nutzung des freien Energiepotentials aus fester Biomasse.⁴⁰

Tabelle 13: Szenarien für die Verwendung der verfügbaren Energie aus fester Biomasse

Technologie	Biomassepotential⁴¹	
	<u>5,80 PJ ohne Wald</u>	<u>10,37 PJ mit Wald</u>
Dampfturbine-KWK el. Wirkungsgrad 17% Gesamtwirkungsgrad 85%	Anlagengröße: 41 MW	Anlagengröße: 74 MW
Festoxid- Brennstoffzelle BHKW mit Dampfvergasung (MCFC/SOFC) ohne Gasreinigung el. Wirkungsgrad inkl. Vergasung 35% Gesamtwirkungsgrad 70% bis 75%	Anlagengröße: 73 MW	Anlagengröße: 100 MW 2,37 PJ stehen zusätzlich noch zur Verfügung

⁴⁰ Nach Katschmitt sollte die obere Leistungsgrenze bei Biomassebereitstellung unter mitteleuropäischen Bedingungen bei etwa 50 bis 100 MW Biomassebrennstoffleistung liegen. Dies wurde auch bei den oben vorgestellten Anlagen berücksichtigt.

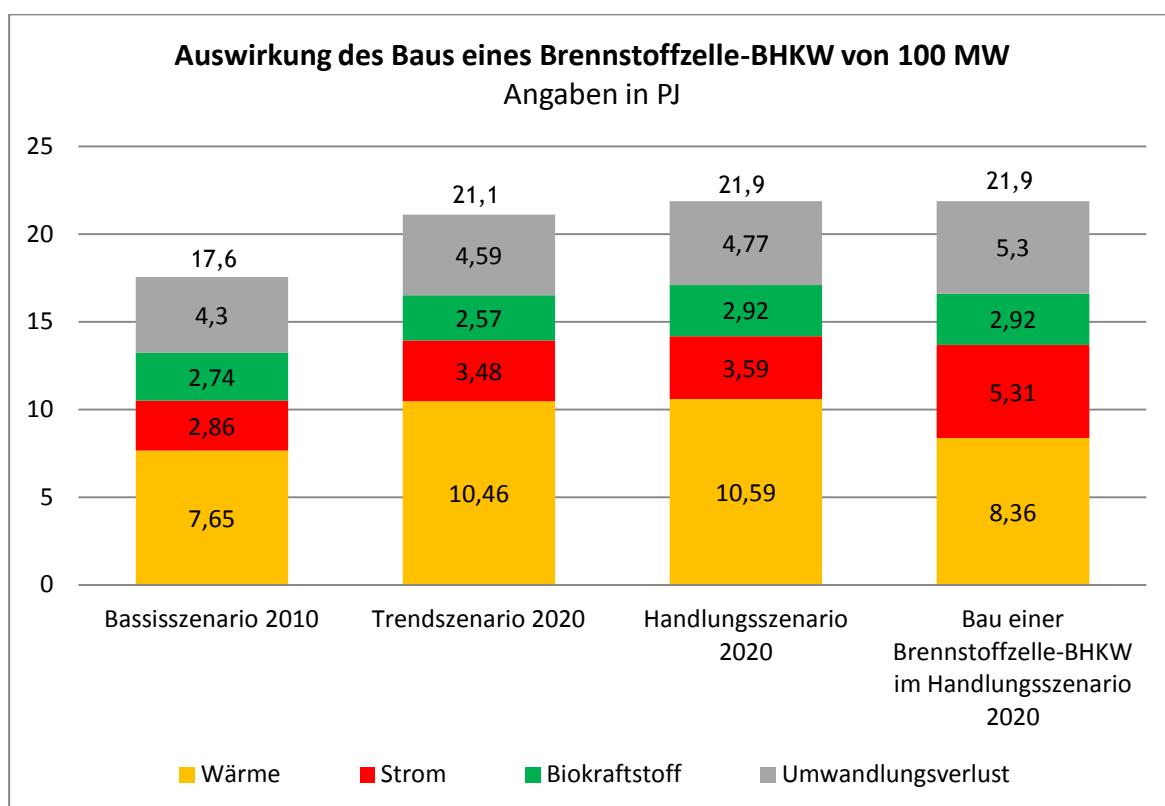
⁴¹ Zur Verfügung stehende Masse nach Vollausslastung der bestehenden Kapazitäten

Berechnung der Potentiale zur Bereitstellung von Endenergie aus Biomasse in der Region Dresden

IGCC-Anlage mit Wirbelschicht-Druckvergasung el. Wirkungsgrad inkl. Vergasung 32% ⁴² , Verhältnis Strom/Wärme 0,8 bis 1,2	Anlagengröße: 64 MW	Anlagengröße: 100 MW 1,37 PJ stehen zusätzlich noch zur Verfügung
--	------------------------	---

Die Festoxid-Brennstoffzelle BHKW und die IGCC Anlage könnten aufgrund ihrer höheren elektrischen und Gesamtwirkungsgrade für die Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Beide Technologien befinden sich im Moment noch in der Entwicklungsphase, es gab bereits einige Demonstrationsanlagen.

Wie sich die Biomasse-Endenergiestruktur der Region Dresden ändern könnte, wenn das oben vorgestellte Brennstoffzelle-BHKW errichtet wird, zeigt die folgende Graphik:



Biomasseart	Primär- energie In PJ	Umwandlungs- verlust In PJ	Biokraftstoff in PJ	Strom In PJ	Wärme in PJ
Bassisszenario 2010	17,6	4,3	2,7	2,9	7,7
Trendszenario 2020	21,1	4,6	2,6	3,5	10,5
Handlungsszenario 2020	21,9	4,8	2,9	3,6	10,6
Bau eines Brennstoffzellen- BHKW im Handlungsszenario	21,9	5,3	2,9	5,3	8,4

Abbildung 9: Handlungsszenario 2020 mit Bau eines 100 MW-Brennstoffzellen-BHKW

⁴² Kaltschmitt 2009 Seite 652

In diesem Szenario wird angenommen, dass die zusätzlich zur Verfügung stehende feste Biomasse von 2,7 PJ in Dampfturbinen-KWK-Anlagen mit den oben vorgestellten Wirkungsgraden (17% elektrisch, 85% gesamt) als Brennstoff eingesetzt wird. Die aus fester Biomasse erzeugter Strommenge könnte weiterhin steigen, wenn diese Restmenge ebenfalls in einem Brennstoffzellen- oder GuD-BHKW umgewandelt wird.

Erkennbar ist, dass in allen vier Umwandlungsszenarien die Nutzung der Wärme als Endenergieträger dominiert. Nach der Errichtung eines Brennstoffzellen-BHKW steigen auch die gesamten Umwandlungsverluste aufgrund der verstärkten Vergasung fester Biomasse. Diese Verluste könnten stark reduziert werden, wenn die Stromerzeugung aus fester Biomasse minimiert wird. Bei der Verbrennung von Holz zur ausschließlichen Wärmegewinnung weisen die modernen Anlagen in jedem Kapazitätsbereich Wirkungsgrade um die 90%.

Eine weite Entwicklungsmöglichkeit bildet grundsätzlich die Optimierung und Anwendung von Technologien zur Vergasung der festen Biomasse und der anschließenden Herstellung von Bio-SNG (Biomethan), das ins Erdgasnetz eingespeist wird und in bestehenden Gas-BHKWs bzw. Gasheizungen genutzt werden kann.

5 Endenergieverbrauch in der Region Dresden

Zur Einordnung der möglichen Energiegewinnung aus Biomasse wurde der Endenergiebedarf in der Region abgeschätzt. Hierbei wurden folgende Daten zugrunde gelegt:

- Angaben des statistischen Landesamtes zum Energieverbrauch des produzierenden Gewerbes 2007-2009 in den Landkreisen der Region Dresden
- Energiebilanz des Freistaates Sachsen für das Jahr 2009. Der Energieverbrauch der Haushalte wurde auf Basis des durchschnittlichen sächsischen Pro-Kopf-Verbrauches ermittelt. Der Verbrauch im Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungssektor wurde anhand der in der Region beschäftigten Erwerbstätigen anteilig ermittelt. Der Kraftstoffverbrauch wurde auf Basis der KFZ-Zulassungen berechnet.

Der Endenergieverbrauch in der Region beträgt ca. 100 PJ pro Jahr. Davon entfallen 22% auf Strom, 30% auf Kraftstoffe und ca. 48% auf Wärme (untergliedert nach Erdgas, Heizöl, Fernwärme, Erneuerbare und Kohle).

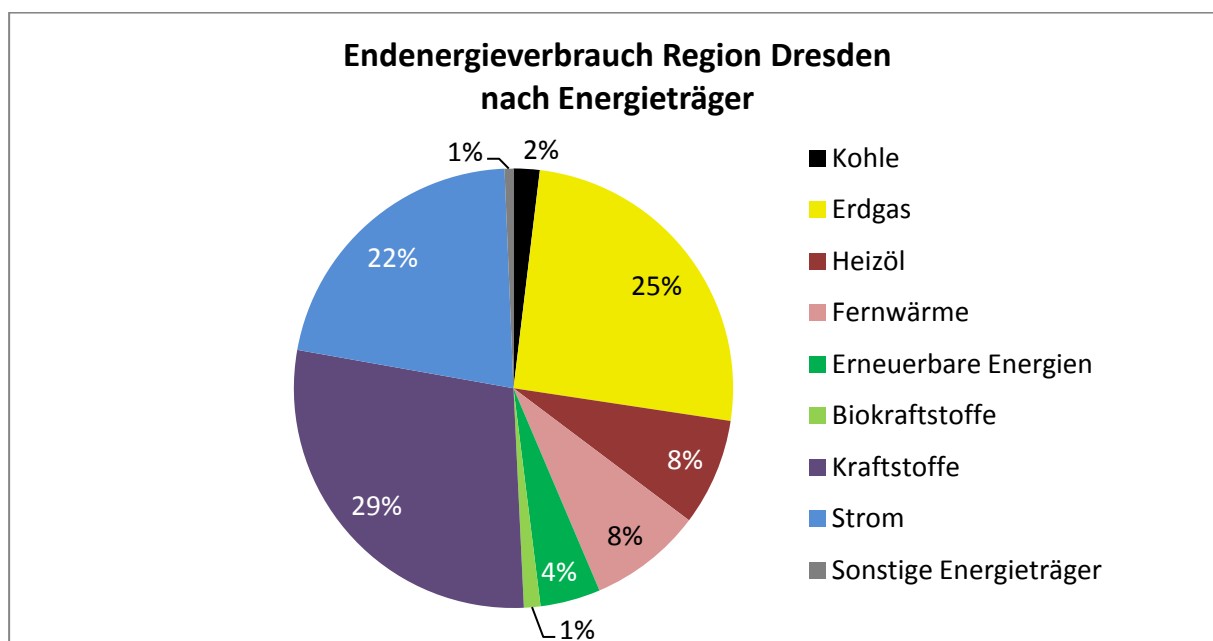


Abbildung 10: Endenergieverbrauch der Region Dresden nach Energieträger 2009

Vergleicht man die einzelnen Verbrauchergruppen, so nehmen die Haushalte mit 31% den größten Anteil ein:

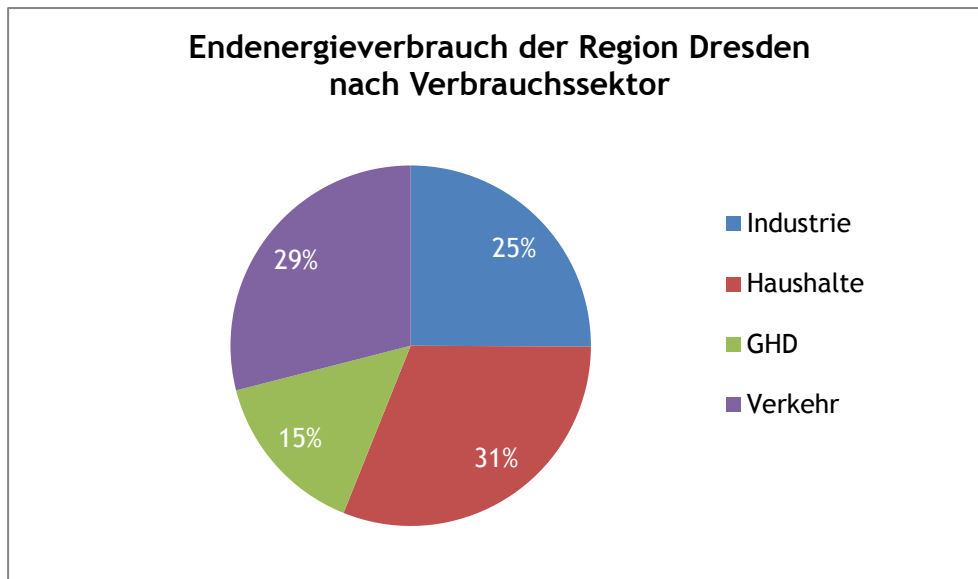


Abbildung 11: Endenergieverbrauch der Region Dresden nach Sektor

Die für das Basisszenario ermittelte erschließbare Endenergie in Höhe von 12,8 PJ kann somit maximal 13% des Energiebedarfs der Region decken.

Sollte es in Anlehnung an die europäischen Energieeffizienzziele gelingen, den Endenergieverbrauch bis 2020 um 20% zu senken, könnte der Anteil der aus Biomasse gewonnenen Endenergie (17,1 PJ im Handlungsszenario 2020) auf bis zu 21% steigen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ermittlung des Biomasseaufkommens in der Region Dresden (Teilbericht 1) und die Betrachtung der daraus erschließbaren Endenergie (Teilbericht 2) verdeutlichen, dass in der Region eine Intensivierung der energetischen Nutzung von Biomasse erfolgen kann, ohne dabei den Anspruch einer nachhaltigen Bewirtschaftungen zu gefährden.

Die in den Studien dargestellten Ergebnisse wurden am 28. Februar 2012 in einem regionalen Workshop mit ca. 80 Teilnehmern im BiInnovationszentrum Dresden vorgestellt. In diesem Rahmen wurden für die Region verschiedenen Handlungsoptionen und Maßnahmen diskutiert, die im Folgenden kurz umrissen werden.

a) Schaffung von mehr Markttransparenz

Die Studie trägt dazu bei, den Biomasseanfall und die -verfügbarkeit in den verschiedenen Stoffströmen der Region vorzustellen. In diesem Bereich bestehen hohe Unsicherheiten für die Entwicklung neuer Erzeugungsanlagen und der Abschätzung, ob deren Biomassebedarf zukünftig in der Region gedeckt werden kann.

Für landwirtschaftliche Erzeuger stellt sich hingegen die Frage, ob eine Umstellung des Betriebes auf den Anbau von Energiepflanzen angesichts der unbestimmten Nachfrageentwicklung in der Region sinnvoll ist.

Eine Koordinierung der regionalen Zielstellungen zum Ausbau von Biomasseanlagen und die Aufbereitung von Informationen hinsichtlich der regionalen Verfügbarkeit geeigneter Flächen einerseits als auch der aktuellen und zukünftig zu erwartenden Biomassenachfrage andererseits könnte deutlich zu Erhöhung der Transparenz auf dem Markt und zur Entwicklung neuer Projekte beitragen.

In diesem Zusammenhang sollte auch geklärt werden, welche Rolle der mögliche Import von Biomasse in die Region zukünftig einnehmen soll.

b) Ausbau von KUPs / Miscanthus zur Gewinnung von Holzhackschnitzel

Der Anbau von Kurzumtriebsplantagen und Miscanthus kann hohe ökologische Synergien im Ackerbau erzielen und gleichzeitig eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen ermöglichen, die infolge der demographischen Entwicklung und des voraussichtlichen Rückgangs des Nahrungsmittelanbaus als auch der Viehhaltung frei werden.

Die Analyse hat gezeigt, dass hierdurch die Mobilisierung von zusätzlichen 5 PJ holzartiger Biomasse möglich wird, was den Aufbau weiterer Biomasseanlagen mit Leistungen von 30 - 45 MW_[el] in der Region ermöglichen kann.

c) Ausbau der Wärmenutzung von Bioenergieanlagen

Eine hohe Ausnutzung des Biomasseaufkommens erfordert auf Basis aktueller und zukünftig verfügbarer Technologien eine effiziente Nutzung der Wärme im Sinne eines

Ersatzes fossiler Brennstoffe, die sonst zur Wärmeerzeugung eingesetzt würden. Sofern Standorte an Nah- bzw. Fernwärmenetzen nicht verfügbar sind, kann die Aufbereitung zu Biomethan und die Einspeisung ins Erdgasnetz eine sinnvolle Alternative bieten. Bereits in der Region bestehende, bislang mit Erdgas betriebene BHKWs könnten als Verbraucher in Frage kommen und die erzielbare EEG-Vergütung mit regionalen Biogaserzeugern teilen.

d) Ausnutzung von Grünschnitt, halmgutartiger Biomasse und Bioabfällen

Die Sammlung und energetische Verwertung von Grünschnitt als auch von biogenen Siedlungsabfällen kann das Bioenergieaufkommen in der Region erhöhen. Aufgrund der relativ geringen, erschließbaren Energiemengen und dem damit verbundenen hohen logistischen Aufwand kann ein regionales Konzept, bspw. unter Einbeziehung der Abfallzweckverbände helfen, effiziente und ökologisch nachhaltige Strukturen zur errichten.

Die Analyse bildet die Grundlage für die Erarbeitung einer regionalen Strategie und eines Handlungskonzeptes, dass sich an den o.g. Punkten orientieren wird.

Literaturverzeichnis

F. Behrendt (2008): Biomassepotential und Technologiecharakterisierung der Umwandlungsverfahren.

Biomasseatlas.de (2012): Datenbank zu Biomasseheizkesseln auf Basis der Förderung aus dem Marktanreizprogramm des BAFA Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle.

BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, DLR (2010): Leitszenario 2010 - Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global

BMU (2008): Leitstudie 2008 - Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH (2011): Zwischenbericht - Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse.

DBFZ (2010): Analyse zur Erreichung des Mindestziels von 10% erneuerbare Energien im Verkehrssektor - Kurzstudie

DEPI Deutsches Pelletinstitut (2012): Informationen und Statistiken zu Pelletheizungen.

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, IFEU Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland.

FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2012): Herstellungskosten Biokraftstoffe.

FNR (2007): Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen - Handbuch.

FNR (2006): Biogasgewinnung und Nutzung - Handreichung.

B. Hundt (Justus-Liebig-Universität Gießen; 2010): Energie und Klimaeffizienz von Biogasanlagen mit Biogasaufbereitung und -einspeisung unter Nutzung von Silomais - Untersuchungen am Beispiel der Biogasanlage der HSE AG in Darmstadt Wixhausen“.

IEA International Energy Agency (2007): Energy Technology Essentials - Biomass for Power Generation and CHP.

M. Kaltschmitt, H. Hartmann, H. Hofbauer (2009): Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2-e Auflage

Öko Institut e.V. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse.

SMUL Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2007): Energie für die Zukunft - Sachsens Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen/Biomasse.

SMWA Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit (2012): Energiebilanz des Freistaates Sachsen 2009.

A. Vetter (2007): Vortrag zu den aktuellen Entwicklungstendenzen bei der gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung.

Anlage 1 - Endenergieverbrauch in der Region

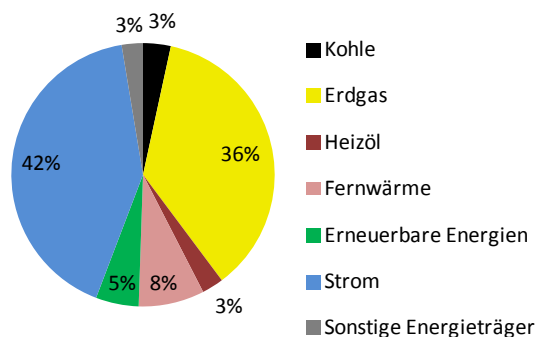
	[Angaben in GJ]	Gesamt	Kohle	Heizöl	Kraftstoffe	Endgas	Erneuerbare Energien	Biokraftstoffe	Strom	Fernwärme	Sonstige Energieträger
Industrie	Sachsen	79.310,169	3.172,068	2.988,680		34.836,018	2.804,427		30.381,920	2.706,875	2.420,183
[2009]	Region Dresden	25.287,280	859,742	670,905		9.202,440	1.333,667		10.518,023	2.044,267	658,237
	UHS Dresden	5.430,507	21,271	146,697		937,263	10,236		2.769,517	1.540,564	4,959
	Westl. LK Bautzen	4.457,673	161,168	260,274		1.442,086	44,245		1.859,456	127,466	562,979
	LK Meißen	10.897,709	85,480	160,850		4.605,594	1.264,526		4.344,527	361,577	75,155
	LK Sachs. Schweiz - Osterrg.	4.501,391	591,823	103,084		2.217,497	14,660		1.544,523	14,660	15,144
Haushalte	Sachsen	112.262,000	3.093,000	18.821,000		47.572,000	9.774,000		19.117,000	13.885,000	-
[2009]	Region Dresden	31.248,100	860,936	5.238,821		13.241,655	2.720,591		5.321,212	3.864,886	-
	UHS Dresden	14.353,326	395,457	2.406,370		6.082,347	1.249,661		2.444,216	1.775,275	-
	Westl. LK Bautzen	3.100,019	85,411	519,726		1.313,660	269,901		527,900	383,422	-
	LK Meißen	6.908,083	190,329	1.158,157		2.927,360	601,447		1.176,372	854,419	-
	LK Sachs. Schweiz - Osterrg.	6.886,671	189,739	1.154,567		2.918,287	599,582		1.172,725	851,770	-
GHD	Sachsen	51.275,000	722,000	6.935,000	4.946,000	10.311,000	1.406,000		18.459,000	8.496,000	-
[2009]	Region Dresden	15.049,234	211,907	2.035,425	1.451,653	3.026,283	412,662		5.417,724	2.493,580	-
	UHS Dresden	7.482,039	105,354	1.011,954	721,719	1.504,579	205,163		2.693,534	1.239,735	-
	Westl. LK Bautzen	1.556,016	21,910	210,453	150,094	312,903	42,667		560,166	257,824	-
	LK Meißen	3.061,714	43,112	414,100	295,334	615,687	83,955		1.102,217	507,310	-
	LK Sachs. Schweiz - Osterrg.	2.949,464	41,531	398,918	284,506	593,114	80,877		1.061,807	488,711	-
Verkehr	Sachsen	109.861,000			102.727,000	760,000		4.610,000	1.764,000		
[2009]	Region Dresden	29.224,942	-		27.327,174	202,173		1.226,340	469,255	-	-
	UHS Dresden	10.421,841	-		9.745,083	72,097		437,323	167,340	-	-
	Westl. LK Bautzen	4.444,159	-		4.155,570	30,744		186,486	71,358	-	-
	LK Meißen	7.048,108	-		6.590,428	48,758		295,754	113,169	-	-
	LK Sachs. Schweiz - Osterrg.	7.310,835	-		6.836,094	50,575		306,778	117,388	-	-
Gesamt	Sachsen	352.708,169	6.987,068	28.744,680	107.673,000	93.479,018	13.984,427	4.610,000	69.721,920	25.087,875	2.420,183
[2009]	Region Dresden	100.809,557	1.932,585	7.945,152	28.778,827	25.672,550	4.466,919	1.226,340	21.726,214	8.402,733	658,237
	UHS Dresden	37.687,714	522,083	3.565,021	10.466,802	8.596,286	1.465,060	437,323	8.074,607	4.555,574	4,959
	Westl. LK Bautzen	13.557,868	268,489	990,453	4.305,664	3.099,392	356,813	186,486	3.018,880	768,713	562,979
	LK Meißen	27.915,614	318,921	1.733,107	6.885,761	8.197,399	1.949,927	295,754	6.736,285	1.723,306	75,155
	LK Sachs. Schweiz - Osterrg.	21.648,361	823,093	1.656,570	7.120,600	5.779,473	695,119	306,778	3.896,443	1.355,141	15,144
Quellen:	SMWA: Energiebilanzen Sachsen 2007 - 2009, Statistisches Landesamt Sachsen, eigene Berechnungen										
	Ermittlung des Verbrauchs in der Industrie auf Basis der Statistik der Landkreise										
	Ermittlung des Verbrauchs in der Haushalte durch Hochrechnen des Pro-Kopf-Verbrauchs in Sachsen auf die Einwohnerzahl der Region										
	Ermittlung des Verbrauchs in Gewerbe, Handel und Dienstleistung durch proportionale Aufteilung des sächsischen Verbrauchs anhand der Erwerbstätigenzahlen in der Region										
	Ermittlung des Verbrauchs im Verkehrssektor durch proportionale Aufteilung des sächsischen Verbrauchs anhand des KFZ-Bestandes in der Region										

Anlage 1 - Endenergieverbrauch in der Region Dresden

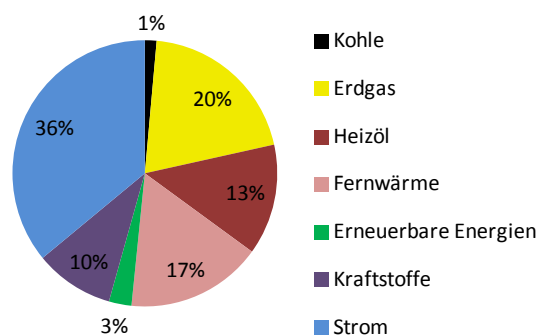
Endenergieverbrauch 2009

Energieträger [GJ]	Industrie	Haushalte	GHD	Verkehr	Summe
Kohle	859.742	860.936	211.907	-	1.932.585
Erdgas	9.202.440	13.241.655	3.026.283	202.173	25.672.550
Heizöl	670.905	5.238.821	2.035.425	-	7.945.152
Fernwärme	2.044.267	3.864.886	2.493.580	-	8.402.733
Erneuerbare Energien	1.333.667	2.720.591	412.662	-	4.466.919
Biokraftstoffe	-	-	-	1.226.340	1.226.340
Kraftstoffe	-	-	1.451.653	27.327.174	28.778.827
Strom	10.518.023	5.321.212	5.417.724	469.255	21.726.214
Sonstige Energieträger	658.237	-	-	-	658.237
Summe (GJ)	25.287.280	31.248.100	15.049.234	29.224.942	100.809.557
pro Kopf (kWh)	6.155	7.606	3.663	7.113	24.537

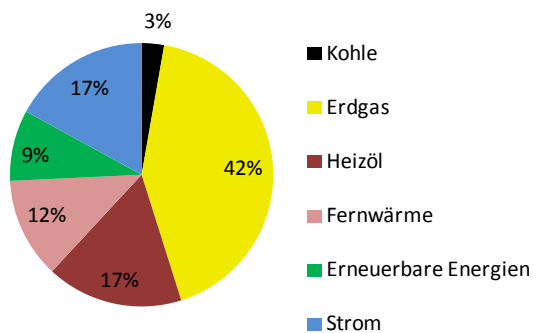
Endenergieverbrauch Industrie



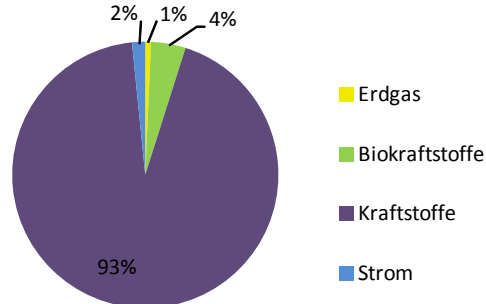
Endenergieverbrauch GHD



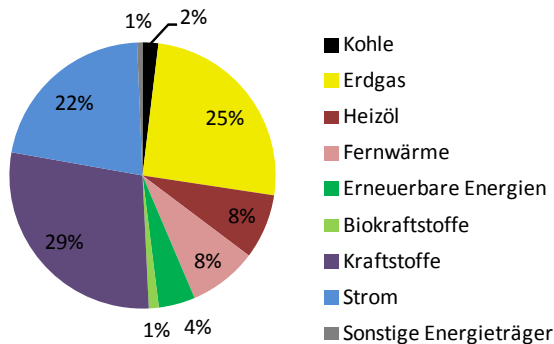
Endenergieverbrauch Haushalte



Endenergieverbrauch Verkehr



Endenergieverbrauch gesamt

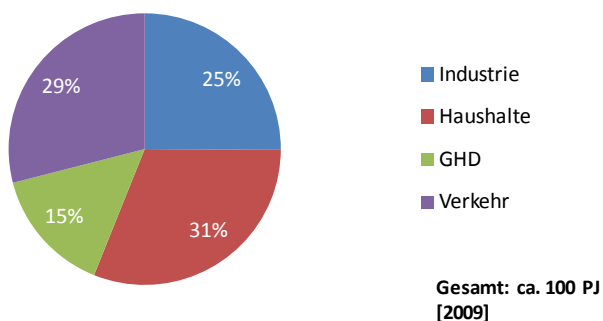


Anlage 1 - Endenergieverbrauch in der Region Dresden

Endenergieverbrauch 2009

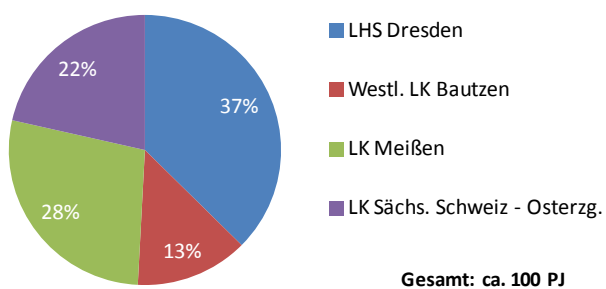
Sektor	Gesamt [GJ]	Gesamt [GJ]
Industrie	25.287.280	7.024
Haushalte	31.248.100	8.680
GHD	15.049.234	4.180
Verkehr	29.224.942	8.118
Summe	100.809.557	28.003

Endenergieverbrauch nach Sektor



Sektor	Gesamt [GJ]	Gesamt [GJ]
LHS Dresden	37.687.714	10.469
Westl. LK Bautzen	13.557.868	3.766
LK Meißen	27.915.614	7.754
LK Sächs. Schweiz - Osterzg.	21.648.361	6.013
Summe	100.809.557	28.003

Endenergieverbrauch Region Dresden



Anlage 2 - EEG-Anlagen in der Region Dresden und Biomasseverbrauch

Brennstoff, Technologie	Anzahl der Anlagen	Elektr. Leistung kW[el]	Volllast-stunden h	Strom-erzeugung MWh[el]	Stromausbeute Motor/Turbine	Brennstoff-verbrauch MWh[th]	Effizienz Brennstoffgewinnung	Biomasse-verbrauch MWh[th]	Biomasse-verbrauch PJ
Feststoffverbrennung	2	12.893	5.700	73.490	14%	524.929	95%	552.557	1,99
Feststoff-ORC	4	2.492	7.000	17.444	15%	116.293	95%	122.414	0,44
Feststoff-Vergasung	1	45	7.000	315	38%	829	70%	1.184	0,00
Biodiesel	16	2.146	5.000	10.730	38%	28.237	80%	35.296	0,13
Biogas	38	16.068	6.200	99.622	38%	262.162	90%	291.291	1,05
Klärgas	2	3.330	6.200	20.646	38%	54.332	67%	81.092	0,29
Gesamt	63	36.974	6.011	222.247		986.782		1.083.835	3,90

Quellen: Anlagenstammdaten von 50hertz und regionalen Netzbetreibern
Eigene Berechnungen