

# Studie

## Agroindustrielles Leitkonzept

### CultNature: Bio-Montan-Park NRW



**an**

Institut Arbeit und Technik

Munscheidstr. 14

45 894 Gelsenkirchen

**von**

mitSystem GmbH

Buschgrundstr. 33

45897 Gelsenkirchen

Gelsenkirchen 09.01.2013



---

<b>Gliederung</b>	<b>Seite</b>
1. Einleitung	3
2. Darstellung der verschiedenen Nutzungsarten von Biomasse	4
3. Analyse der energetischen Nutzung von Biomasse	10
4. Mengenanteil von Biomasse an Energieträger	10
5. Verfügbarkeit und Nutzung von Biomasse	15
6. Konversionstechnologie: Stand der Forschung, Entwicklung und aktueller Stand der verschiedenen Möglichkeiten, Biomasse zu erzeugen und zu verwerten	18
7. Ökologische Risiken von Biomasseproduktion	23
8. Erntbarkeit und Logistik von Biomasse	26
9. Entwicklung eines auf CultNature bezogenes Leitkonzeptes	30
10. Ausblick	34

## 1. Einleitung

Als Definition für die Agroindustrie findet man folgende Interpretationen:

„Die Unternehmen der Agroindustrie sind landwirtschaftlich ausgerichtete Konzerne und Großbetriebe, die großflächig Landwirtschaft betreiben und industrielle Anbau- und Produktionsmethoden anwenden. Die Agroindustrie ist das Gegenstück zur traditionellen Landwirtschaft. Im Allgemeinen wird die Agroindustrie auch als Agrarindustrie bezeichnet.“<sup>1</sup>



Abbildung 1 Hohe Rohstoffpreise befeuern die Investitionstätigkeit: In Mato Grosso, Brasilien, werden Sojabohnen geerntet. (Bild: Andre Penner/Keystone)

Die Erzeugung von Biomasse auf CULTNATURE-Flächen soll nicht der absoluten Gewinnmaximierung dienen. Im Vordergrund steht die Erzeugung von Biomasse auf Park ähnlichen kleinteiligen Gebieten/Regionen. Wirtschaftlich können hierbei gerade Kurzumtriebsplantagen, aber auch andere Biomassen dazu beitragen gewisse Teilflächen wirtschaftlich zu betreiben.

Die thermische Nutzung von Holz aus sogenannten Kurzumtriebsplantagen (KUP) lässt nach dem Sondergutachten des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU 2007) wesentlich höhere Energieerträge erwarten als der Anbau von Energiepflanzen zur Herstellung von Kraftstoffen oder zur Stromerzeugung.



Abbildung 2: Kulturgarten<sup>2</sup>

<sup>1</sup> <http://de.statista.com/statistik/faktenbuch/351/a/branche-industrie-markt/landwirtschaft-forstwirtschaft/agroindustrie/>

<sup>2</sup> [www.ingrid-und-georg-hoeffler.de](http://www.ingrid-und-georg-hoeffler.de)

## 2. Darstellung der verschiedenen Nutzungsarten von Biomasse

Unter Biomasse ist sämtliche organische Masse auf der Erde zu verstehen, die am Nährstoffkreislauf in der Biosphäre teilnimmt. Dazu gehören die Körper aller lebenden und toten Organismen (Lebewesen, Pflanzen, Pilze, Bakterien und Algen), von den größten bis zu den mikroskopisch kleinsten.

### Energetische Ausnützung der Biomasse

- Direkte Verbrennung – Wärme- oder elektrische Energie;
- Kogeneration – elektrische Energie und Wärme;
- Gaserzeugung;
- Erzeugung von flüssigen Bio-Brennstoffen;

### Nichtenergetische – materielle Ausnützung der Biomasse

Materielle Ausnützung der Biomasse beinhaltet sämtliche restliche sowie gezielt angebaute Biomasse, die als Rohstoff für die industrielle Herstellung bestimmt ist:

- Papier und Zellstoff;
- Baustoffe (Bauplatten-, Ziegelherstellung usw.);
- Chemische und pharmazeutische Industrie;
- In neuen Branchen, die einen Teil der Produktion von Erdölprodukten durch Materialien auf Biomassebasis ersetzen (z.B. „Kunststoffe“ auf Basis pflanzlicher Stärke);

### Energetische Biomasse

Für die Energie- und Brennstoffherzeugung ist nur die energetisch verwendbare Biomasse wichtig (energetische Biomasse, manchmal auch nur Biomasse). Die Biomasse kann für akkumulierte Sonnenstrahlung gehalten werden, zwar mit einer geringen Effizienz, aber mit fast Null-Verlusten bei einer langfristigen Akkumulation.

### Aufteilung der Arten von Biomasse

Die Biomasse wird in drei Hauptarten aufgeteilt:

- Landwirtschaftliche Biomasse – die auf dem landwirtschaftlichen Boden angebaute Phytomasse;
- Waldbiomasse – Dendromasse und
- restliche Biomasse - Nebenprodukte aus der landwirtschaftlichen und Verarbeitungsindustrie



Abbildung 3: Erzeugnisse für Nicht-Lebensmittel-Zwecke

### Landwirtschaftliche Biomasse

durch energetische Konvertierung kann verwertet werden:

Gezielt angebaute, energetisch nutzbare Naturprodukte, wie z.B.: einjährige: Ackersenf, Saflor, Fuchsschwanz, Hanf; mehrjährige: Topinambur, Staudenknöterich, Ampfer;



Herbst- und Frühlingsaat für Nicht-Lebensmittel-Zwecke (Getreide, Mais, Ölpflanzen und Faserpflanzen);

Schnell wachsende, auf landwirtschaftlichem Boden angebaute Gehölze (Weide, Pappel, Akazie);

Energetisch nutzbare Grasarten: Chinaschilf, Schilfrohr, Glanzgras, Straußgras;

Ein Teil der landwirtschaftlichen Nebenprodukte (Ölpflanzenstroh, Getreidestroh), die auf Grund des Bestandsabbau an Rindern zahlreich vorkommen oder

nicht verbrauchtes Heu aus gepflegten Wiesen und Weiden.

#### **Vorteile des Anbaus von Phytomasse:**

Erhaltung der Landschaft, Wasserretention in der Landschaft;

Schonender Zugang zur Umwelt;

Effektive Nutzung des landwirtschaftlichen Abfalls und der Überschüsse;

Senkung der Arbeitslosigkeit;

Nutzung der traditionellen landwirtschaftlichen Technik;

Die landwirtschaftliche Biomasse ist der größte komplexe Bestandteil der Biomasse. Die Nutzung der Phytomasse auf landwirtschaftlichem Boden unterstützt die Strukturveränderung der Landwirtschaft beim Übergang von Lebensmittelgütern zu alternativen oder energetisch nutzbaren landwirtschaftlichen Produkten.

Ein weiterer positiver Effekt des Anbaus alternativer landwirtschaftlicher Produkte ist die Sicherung der energetischen Autarkie in den landwirtschaftlichen Gebieten, der gezielte regionale Verbrauch der produzierten Finanzquellen und die Erhöhung der Attraktivität.

#### **Vorteile des Anbaus von Phytomasse:**

Die Produktionsvorteile können nur nach Bewältigung einer relativ anspruchsvollen Logistik und einer großen Vielfalt an Verarbeitungstechnologien genutzt werden.

#### **Waldbiomasse**

Die Waldbiomasse wird gebildet durch:

Brennholz;

Restliche Dendromasse aus Forstbetrieb und Holzindustrie (restliche Holzmasse aus Holzernte, Durchforstung, Jungwuchspflege, Abfallholz und Reste aus der Holzverarbeitenden Industrie).

Das energetische Potenzial der Dendromasse beträgt 42,5 PJ (primäre Energie; kalkuliert mit einem Wassergehalt von 15%).

#### **Die Nutzungsbedingungen der Waldbiomasse**

Die Wälder sind seit undenklichen Zeiten im Einklang mit den Grundprinzipien des dauerhaft haltbaren Wirtschaftens und des Natur- und Umweltschutzes größtenteils wirtschaftlich genutzt. Das dauerhafte Ziel der Forstexperten liegt in der Festlegung des „sicheren“ Potentials der energetischen Waldbiomasse.

Die gegenwärtigen Kalkulationen des Waldbiomasse-Potentials gehen aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen lediglich aus den Hauptnutzungswerten hervor, die durch das Belassen von 20 % der Waldbiomasse auf der abgebauten Fläche bedingt ist. Aus dieser Kalkulation sind Schutz- und Wirtschaftswälder ausgenommen, da sie auf nicht geeigneten und insbesondere armen Standorten liegen.

Die Nutzung der Abbaureste sollte überwiegend auf Wirtschaftswälder konzentriert werden. Unter bestimmten Bedingungen ist es möglich, ebenfalls die Holzmasse aus bestimmten Sonderwäldern zu

nutzen (d.h. einige Militär-, Kur- oder Wasserwirtschaftswälder), aber nur bei Sicherstellung ihrer Prioritätsfunktion.

### **Nutzungsbedingungen der Dendromasse**

Bei Nutzung der Waldbiomasse ist es notwendig, die hohen Manipulations- und Transportansprüche sowie die Zugänglichkeit der Quelle zu berücksichtigen. Dennoch gibt es bei uns bereits den Bio-Brennstoff-Markt. Allerdings ist er bei weitem noch nicht stabil.

### **Restbiomasse**

Die Restbiomasse ist ein wichtiger Bestandteil des Potentials der energetischen Biomasse:

Sie wird durch Reste, Nebenprodukte und Abfall aus der Verarbeitung von Primärquellen der Pflanzen- oder Tier-Biomasse gebildet.

Der Hauptanteil der Restbiomasse kommt von der Holzherstellung und der Papier- und Zellstoffproduktion. Des Weiteren auch aus der Fleischproduktion, der übrigen Lebensmittelindustrie und den Spiritusbrennereien sowie aus der Trennung von kommunalem Abfall. Ein weiterer Bestandteil ist die Restbiomasse aus der Pflanzen- und Tierproduktion, d.h. Stroh und Exkremente der gezüchteten Tiere. Vereinzelt können auch Klärschlamm und Schlicke aus spezifischen Produktionen, falls sie als Biomasse kategorisiert sind, aufgeführt werden.

### **Risiken bei der Nutzung von Biomasse**

Die Produktionserhöhung von Biomasse erfordert eine Erweiterung der Produktionsflächen oder eine Erhöhung der Intensität der Produktion. Deshalb sind Investitionen im großen Umfang notwendig, deren Rückfluss anfangs mit Risiken verbunden sein kann, weil die Energiegewinnung aus Biomasse im Vergleich zur klassischen Verbrennung traditioneller Brennstoffe gegenwärtig nur mit Problemen wirtschaftlich wettbewerbsfähig ist.

Problematisch bleibt die Nutzung der Biomassequellen auch bezüglich ihrer Verteilung und der Entfernungen zu den Energieverbrauchern. Das verursacht Komplikationen mit der Akkumulierung, dem Transport und der Distribution der gewonnenen Energie.

### **Gegenwart und zukünftige Trends**

Einer der Wege, wie die Situation in der Zukunft verbessert und die Risiken der Biomassenutzung gemildert werden können, ist die Verabschiedung richtiger ökologischer Gesetze. Die Betonung liegt dabei auf der gegenseitigen Koordination von unterschiedlichen Strategien und Plänen in einzelnen Sektoren, wo die Biomasse im Zusammenhang mit der Lebensmittelsicherheit und den Prinzipien der haltbaren Entwicklung genutzt wird.

Im Zusammenhang mit der wachsenden Nachfrage auf dem Markt wird auch die nichtenergetische Biomassenutzung an Bedeutung gewinnen, weil in dieser Industriebranche Dotationen oder Subventionen nicht üblich sind. Während in der Gegenwart hauptsächlich Wald- und Restholzbiomasse verarbeitet wird, wird in der Zukunft auch der Anteil an landwirtschaftlicher Biomasse ansteigen.



Waldbiomasse in der Holzindustrie



Pellets aus verarbeiteter Holzbiomasse



Es ist langfristig notwendig, den bestehenden Umfang der Industrieproduktion auf Basis von Biomasse vor allem in der Papier- und Baustoffindustrie zu erhalten und zu erweitern.

Zukünftig ist es wichtig, Trends der Biomassenutzung mit einem höheren Mehrwert anzustreben und zukunftssträchtige, strategisch bedeutsame Gebiete auszusuchen. Diese müssen dann mithilfe wissenschaftlicher Forschungsprojekte mit Nachdruck einer angewandten Forschung und Einbeziehung von Hochschulen, Industriebetrieben und landwirtschaftlichen Partnern unterstützt werden.

### **Kraftwärmekopplung (KWK)**

Ein Großteil des in Deutschland erzeugten Stroms wird in Kondensationskraftwerken produziert. Solche Kraftwerke haben einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von ca. 38% und bei Kernkraftwerken sind es sogar nur 33 % was bedeutet, dass mehr als 60% der eingesetzten Energie als ungenutzte Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Verantwortlich hierfür ist der Carnot-Wirkungsgrad ( $\eta_c = 1 - \frac{T_u}{T_o}$ ), welcher der Stromproduktion seine physikalischen Grenzen setzt.

Bei Heizkraftwerken wird der Wirkungsgrad dadurch gesteigert, dass die Abwärme genutzt wird. Dies geschieht über Fernwärmeleitungen und ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn Stromerzeugende Kraftwerke in der Nähe großer Wärmeverbraucher liegen, beispielsweise der von Wohngebieten. Während elektrische Energie durch Hochspannungsleitungen auch über Hunderte von Kilometern mit hohem Wirkungsgrad transportiert werden kann, stößt ein Transport von Wärme in Form von Heißwasser (Fernwärme) rasch an seine wirtschaftlichen Grenzen. Transportwege über zehn Kilometer sind sehr selten.

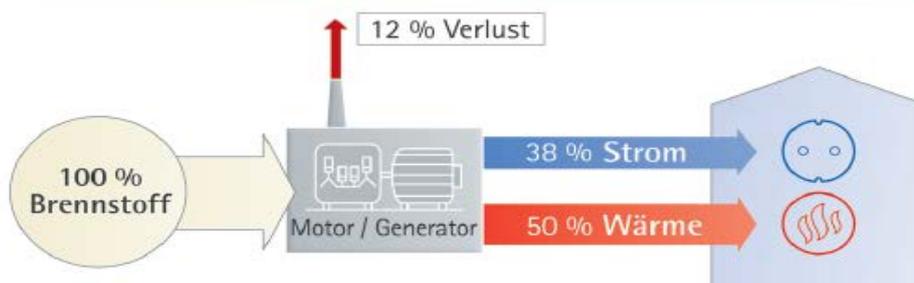
Durch die Nutzung der Abwärme verringert sich zwar der Wirkungsgrad der Stromerzeugung ein wenig, da der abgeführte Dampf keine weitere Entspannungsarbeit mehr leisten kann, jedoch wird dieses Manko durch die Bereitstellung von Wärme für Heizzwecke wieder ausgeglichen.<sup>3</sup> So bieten Heizkraftwerke eine bessere Gesamtenergieausnutzung im Vergleich zu reinen Stromerzeugungskraftwerken.

Abbildung 4 zeigt einen direkten Vergleich der getrennten und gekoppelten Energieerzeugung. Man sieht, dass beim KWK Verfahren 100 % Brennstoff zu 38 % in Strom und 50 % in Wärme umgewandelt werden kann. Es entsteht bei der Umwandlung ein Verlust von nur 12 %. Wollte man die gleiche Menge an Wärme und Strom in einer getrennten Erzeugung produzieren, so müsste man für die Stromerzeugung 110 % und für die Wärmeerzeugung 56 % der im KWK Verfahren eingesetzten Energie aufwenden. Das ergäbe in der Summe 166 % des vorher eingesetzten Brennstoffes und ein Gesamtverlust von 78 % .

---

<sup>3</sup> Vgl.: Thomas, Bernd: Mini Blockheizkraftwerke, 2007, S. 13

## KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG (Blockheizkraftwerk)



## GETRENNTE ERZEUGUNG (Strom im Kraftwerk / Wärme im Kessel)

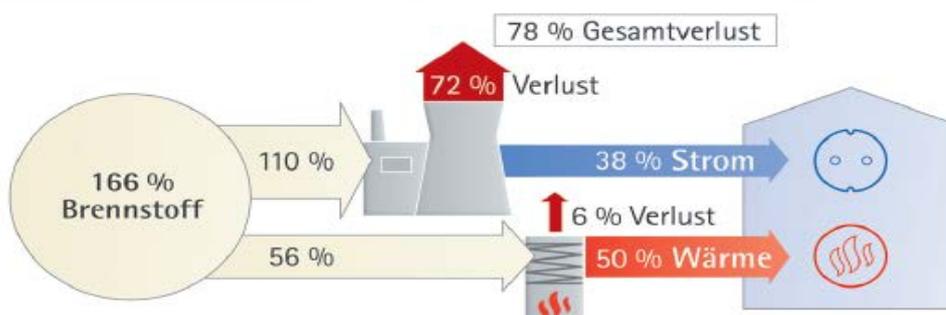


Abbildung 4: Vergleich getrennte und gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung<sup>4</sup>

Um bei den derzeitigen Rahmenbedingungen jedoch in die Nähe der Wirtschaftlichkeit zu kommen, müssen solche Heizkraftanlagen mindestens eine elektrische Leistung zwischen 5 bis 200 MW haben.<sup>5</sup> Solche Großkraftwerke werden allerdings aus nahe liegenden Gründen zumeist nur am Rande oder gänzlich außerhalb größerer Siedlungen geplant und gebaut und können daher nur begrenzt zur Beheizung von Wohngebäuden beitragen.

Um die Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung effizienter nutzen zu können ist die Nutzung so genannter Blockheizkraftwerke (BHKW) und Mini Blockheizkraftwerke (Mini-BHKW) unausweichlich. Diese können aufgrund ihrer Größe direkt in Wohngebieten oder auch in einzelnen Wohngebäuden betrieben werden und haben aufgrund ihrer dezentralen Lage nur sehr geringe Wärmeverluste.

### Blockheizkraftwerk (BHKW)

Der Begriff „Blockheizkraftwerk“ beruht auf der Eigenart des Aggregates, Wärme und Kraft aus einem „Block“ liefern zu können. Das Blockheizkraftwerk ist eine nach Baukastenprinzip aufgebaute Anlage, die nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung arbeitet. Sie wird vorzugsweise am Ort des Wärmeverbrauchs betrieben um größere Energieverluste beim Transport der Wärme zu vermeiden.

Durch eine geschickte Auskopplung der Abwärme kann der Wärmeträger Wasser leicht auf 90 bis 110 °C aufgeheizt werden und so einen Wirkungsgrad von bis zu 90 % erreichen.<sup>6</sup> Dieses Temperaturniveau eignet sich bestens zur Beheizung von Gebäuden, da hier der Bedarf an Heizwärme besonders groß ist. Da der Heizwärmebedarf in Gebäuden starken Tages-, Wochen-, und Jahresschwankungen unterliegt, erweist sich die Motorentechnik gegenüber den Gasturbinen als

<sup>4</sup> Quelle: <http://www.ufu.de>

<sup>5</sup> Vgl.: Suttor, Wolfgang: Blockheizkraftwerke - Ein Leitfaden für den Anwender, 2009, S. 35

<sup>6</sup> Vgl.: Förstner, Ulrich: Umweltschutztechnik, 2008, S134



vorteilhafter, da die Teillastwirkungsgrade bei Motoren deutlich schwächer abfallen als bei Gasturbinen.<sup>7</sup>

Die angebotenen BHKW Größen reichen von Kleinanlagen mit einer Leistung von 1 kW bis hin zu Anlagen mit einer Leistung von mehreren MW. Auf diese Weise kann jeder Energiebedarf, angefangen bei Reihenhäusern bis hin zu Einrichtungen wie Schwimmbäder oder auch Krankenhäuser, abgedeckt werden.

### **Mini BHKW**

Kleinst BHKW-Anlagen bezeichnet man auch als Mini-BHKW. Diese Anlagen gewinnen in der Strom- und Wärmeerzeugung immer mehr an Gewicht. Während für die üblichen BHKW ein Nahwärmenetz ausgebaut werden muss (falls nicht vorhanden), um die Gebäudeeinheiten mit Wärme zu versorgen, entfällt dieses beim Mini-BHKW. Diese Anlagen produzieren nur soviel Wärme, wie im Wohngebäude verbraucht wird. Dadurch entfällt die Notwendigkeit eines Wärmeverteilungsnetzes gänzlich.<sup>8</sup> Mini-BHKW werden im Gebäude wie ein Heizkessel installiert und betrieben mit dem Zusatzeffekt, dass bei der Wärmeerzeugung gleichzeitig elektrischer Energie entsteht, die entweder selbst genutzt oder gegen Vergütung in das Stromnetz eingespeist werden kann.

---

<sup>7</sup> Vgl.: Suttor, Wolfgang: Blockheizkraftwerke – Ein Leitfaden für Anwender, 2009, S. 39

<sup>8</sup> Vgl.: Thomas, Bernd: Mini Blockheizkraftwerke, 2007, S. 14



#### 4. Mengenanteil von Biomasse an Energieträger

„Jahreswachstum von Pflanzen 25 x höher als Jahreserdölförderung“

Da 2 t Trockenmasse etwa 1 t Erdöl entsprechen, wächst weltweit in den Wäldern 25 mal mehr Energie nach, als der Jahreserdölförderung von 3,5 Mrd. t entspricht. Fünf Prozent der Weltwaldflächen könnten den jährlichen Jahreserdölbedarf decken. Dabei ist weder der Anbau von Energiepflanzen noch die Neukultivierung semi-arider Gebiete eingerechnet, die weltweit noch einmal 49 Mio. qkm Fläche ausmachen.

Biomasse hat als Energieträger in Deutschland bisher eher ein Schattendasein gefristet. Hauptanwendungsgebiete lagen im Wärmesektor - Verbrennung von Hackschnitzeln und Pellets, Biogasanlagen und Nutzung als Pflanzenöl in Motoren in Autos und Kraftwärme-Kopplungsanlagen. Andere Länder wie z.B. Österreich sind diesbezüglich wesentlich weiter entwickelt. Dort werden bereits 20% des gesamten Energiebedarfs von der Biomasse gestellt. Auch in Schweden nimmt die Biomasse einen deutlich höheren Stellenwert ein als in Deutschland.

Die Biomasse wird bei uns aus mehreren Gründen unterschätzt:

- Sie gilt im Gegensatz zur Sonnenenergie als veraltet, weil an Kriegs- und Nachkriegszeiten erinnernd. Auch ist sie belastet mit der Erinnerung an das Abholzen von Wäldern.
- Das gewaltige energetische Potential von Biomasse ist weitgehend unbekannt. Es wird fälschlicherweise eine Flächenkonkurrenz mit dem Nahrungsmittelanbau angenommen.
- Weil Biomasse in allen Energieverbrauchssektoren eingesetzt werden kann, leidet darunter ihre Profilierung als Energie-Alternative. Es fehlt eine strategische Zuordnung auf einen festen unverwechselbaren Platz im künftigen Energiemix.

Das energetische Potential von Biomasse wird auch deshalb oft unterschätzt, weil es an den Hektarerträgen von Rapsöl mit 1,5 t je Hektar festgemacht wird. Dabei gibt es andere Pflanzen, die einen deutlich höheren Hektarertrag haben, etwa Palmöl mit 10 t je Hektar, Schilfgras und Hirse mit gar über 30 t. Der Engländer David O. Hall, Professor am King's College, hat sich ausführlich mit den weltweiten Biomassepotentialen befasst. Gegenwärtig gibt es weltweit etwa 10 Mio. qkm landwirtschaftlich genutzte Fläche und 40 Mio. qkm Waldfläche. Die Biomasseproduktion der Waldgebiete beträgt etwa 170 Mrd. t jährlich.

#### Biomasse-Potenziale in Deutschland

Zur Biomasse zählen Energiepflanzen, Ernterückstände (Stroh, Restholz) sowie organische Reste (Gülle, Industrierestholz, Klärschlamm). Wie viel Biomasse wächst in den Wäldern und Feldern Deutschlands jährlich?

Die Studie "Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse" 2004 bis 2006 im Auftrag des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW, Berlin) und der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfachs (DVGW, Bonn) untersuchte ausgewählte Biomasseanwendungen in Deutschland mit Schwerpunkt auf der Erzeugung von Biogas. Rechnet man mit einem Hektarertrag von 50.000 Kilowattstunden (entsprechend zwölf Tonnen Trockenmasse je Hektar), so wachsen auf den 10,4 Millionen Hektar deutscher Waldfläche jährlich zehn Prozent des deutschen Primärenergiebedarfs (circa 4.000 Milliarden Kilowattstunden). Auf den doppelt so großen landwirtschaftlichen Flächen wächst Biomasse mit einem Energieinhalt, der weiteren 20 Prozent des derzeitigen deutschen Energiebedarfs entspricht (siehe Abbildung 5) .

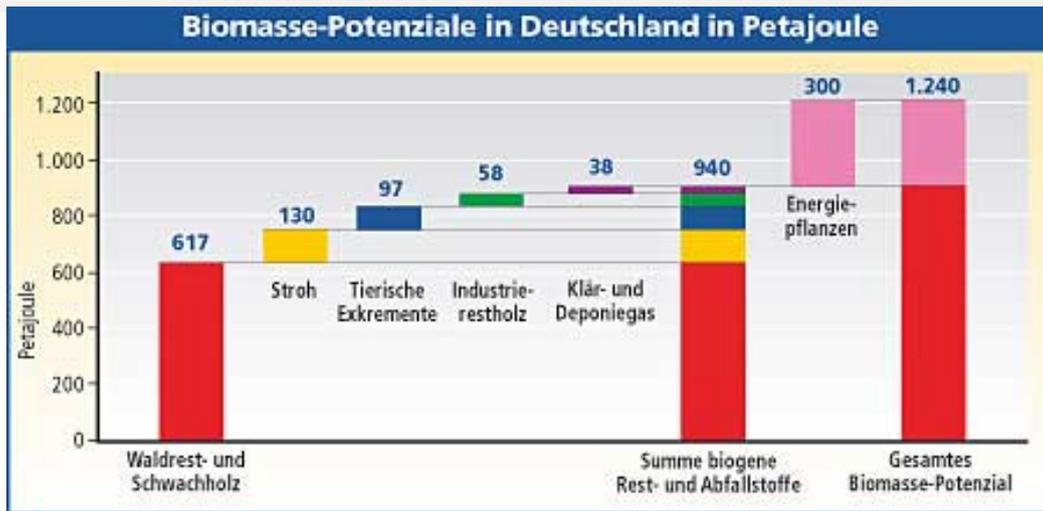


Abbildung 5. Biomasse-Potenzial in Deutschland

Damit ist der Rahmen klar, in dem sich die Biomasse-Nutzung in der Bundesrepublik bewegt: Zwischen heutigen drei Prozent und fiktiven 30 Prozent, wenn alle Wald- und Ackerflächen zur Energiegewinnung genutzt würden. Der von der Bundesregierung angestrebte Anteil von acht Prozent ist ein ehrgeiziges Ziel.

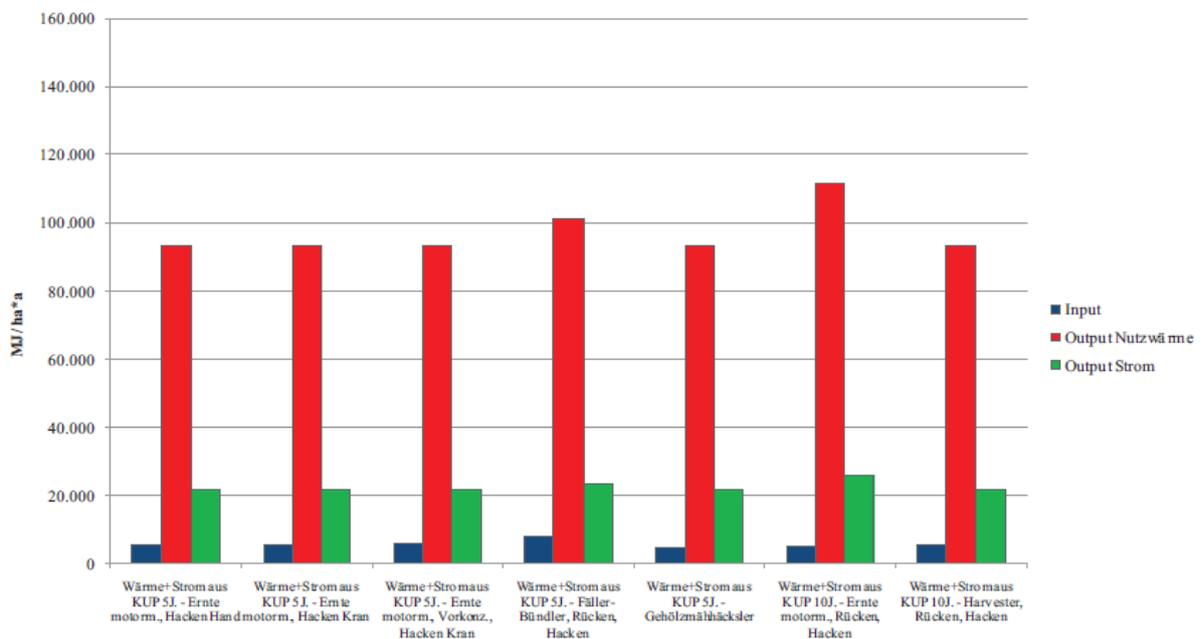


Abbildung 6: Input-Output Betrachtung bei unterschiedlichen Ernteverfahren



---

## Acht Prozent möglich

Martin Kaltschmitt hat die mögliche Nutzung von Biomasse in Deutschland untersucht - unter anderem im Auftrag des wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderung (WBGU). Ergebnis: Biomasse-Nutzung könnte jährlich etwa acht Prozent (1.200 Petajoule) zur Deckung des deutschen Primärenergieverbrauchs beitragen.

Dabei wurden nur die technisch, ökologisch und nach der Gesetzeslage möglichen Beiträgen erfasst ("technisches Potenzial"). Der tatsächliche Beitrag der Biomasse liegt derzeit (2003) bei etwa drei Prozent. Mit diesem Beitrag ist Biomasse die wichtigste regenerative Energiequelle: Ihr Beitrag zur Energiebereitstellung ist dreimal höher als der von Windenergie (Bundesministerium für Verbraucherschutz: Konzept zur energetischen Nutzung von Biomasse).

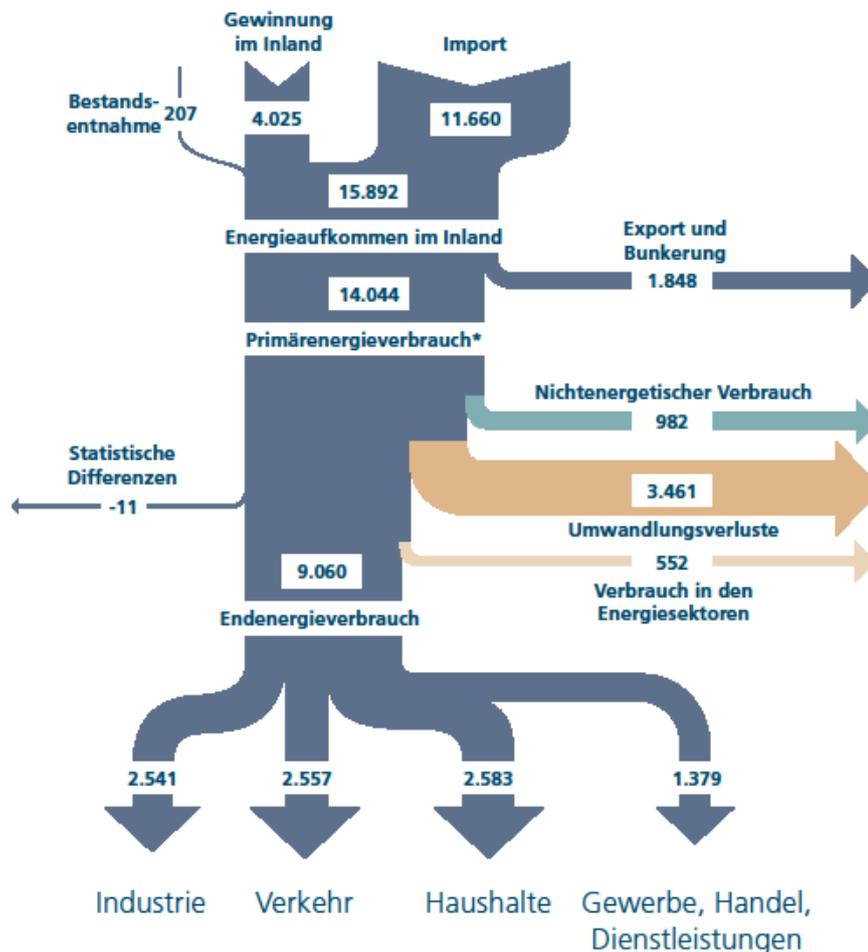
Die Festbrennstoffe, also Holzurückstände aus Wald und Industrie (58 Petajoule) sowie Stroh (130 Petajoule) machen bereits mehr als die Hälfte des Biomasseanteils aus. Biogas, Klärgas und Siedlungsabfälle tragen circa 15 Prozent zum Potenzial bei. Ein Viertel des Potenzials erbringen die Energiepflanzen, die auf Restflächen anbaubar wären.

Deutschland hat circa 30 Millionen Hektar Wald- und Landwirtschaftsfläche. Experten schätzen, dass für den Energiepflanzenanbau circa zwei Millionen Hektar zur Verfügung ständen. Auf dieser Fläche ließe sich ein Energieertrag von 300 Petajoule erzielen.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> [http://www.energieverbraucher.de/de/Erneuerbare/Biomasse/Potenziale\\_\\_535/](http://www.energieverbraucher.de/de/Erneuerbare/Biomasse/Potenziale__535/)

## Energieflussbild 2010 für die Bundesrepublik Deutschland in Petajoule



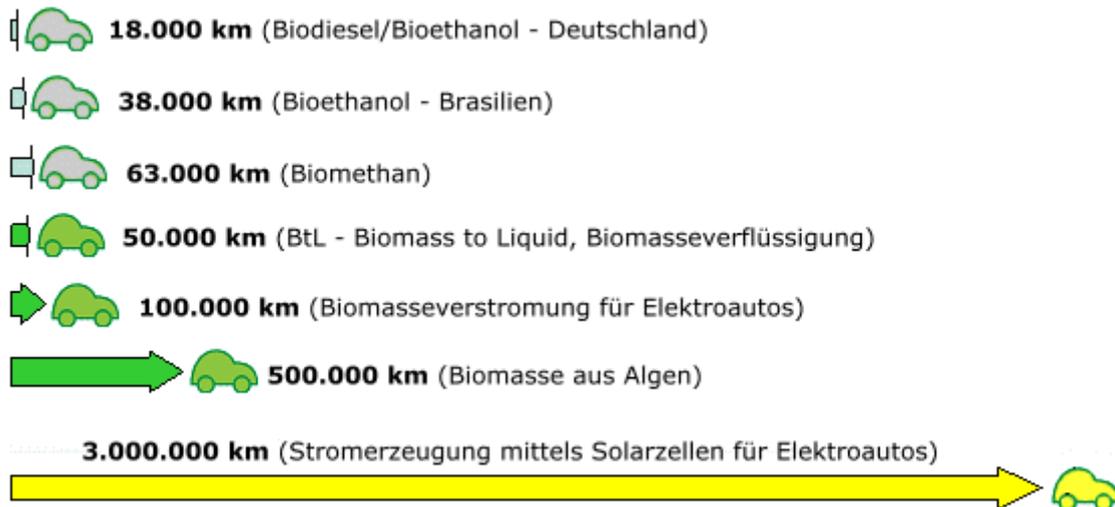
Der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch liegt bei 9,4 %.  
 \* Alle Zahlen vorläufig/geschätzt.  
 29,308 Petajoule (PJ)  $\triangleq$  1 Mio. t SKE  
 Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 07/2011

Abbildung 7: Energieflussbild 2010 für die Bundesrepublik Deutschland

Abbildung 7 zeigt den gesamten Energieverbrauch, aufgeteilt nach Hauptnutzungsarten für die Bundesrepublik Deutschland.

Zahlreiche Forschungsinstitute haben gerade gemeinsam das Forschungsprojekt "Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse" fertiggestellt. Sie entwickelten ein Software-Werkzeug zur Unterstützung von Biomassestrategien, das kostenlos zur Verfügung steht. Das Forschungsprojekt kommt zu folgenden Ergebnissen: Bis 2020 kann die Biomasse einen Anteil von zehn Prozent an der Strom-, Wärme- und Benzinherstellung bereitstellen. Bis 2030 können bei Nutzung der Biomasserest- und Abfallstoffe sowie Energiepflanzenanbau 16 Prozent des Stroms,

zehn Prozent der Wärme und 15 Prozent des PKW-Treibstoffs aus Biomasse erzeugt werden und gleichzeitig dadurch der Ausstoß an Treibhausgasen um 65 Prozent vermindert werden.

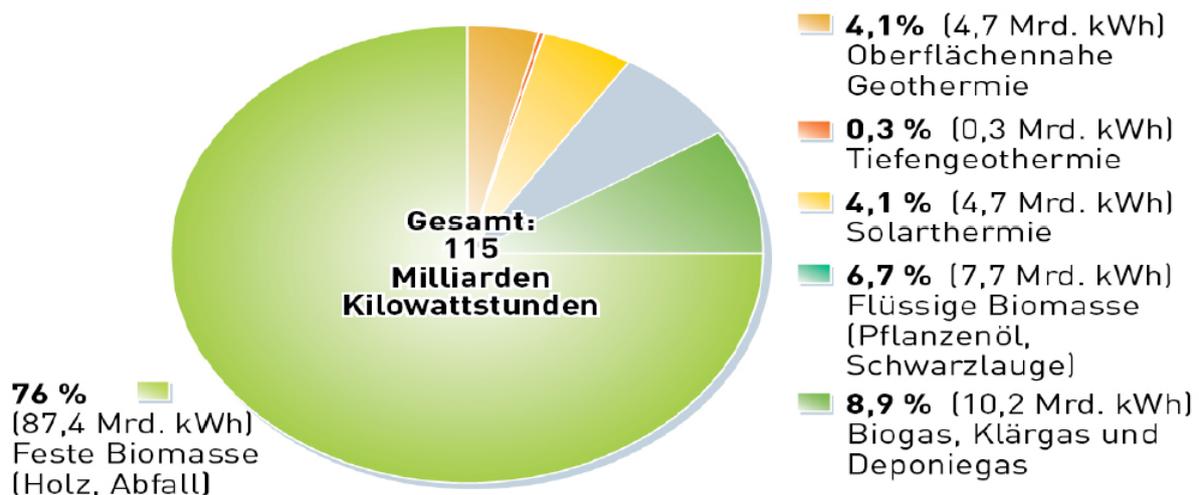


So viele Kilometer kann ein Mittelklasseauto mit der Energieertrag eines Hektars fahren. Grau: aktuelle Technologie, grün: Zukunftstechnologien. Gelb zum Vergleich: Ein Hektar Land mit Solarzellen bestückt.<sup>10</sup>

Die Stromerzeugungskosten liegen dabei unter fünf Cent je Kilowattstunde und die Wärmekosten unter sieben Cent je Kilowattstunde. Zudem könnten 200.000 neue Arbeitsplätze entstehen. Insbesondere für ländliche Gebiete liegt der Deckungsanteil der Biomasse deutlich über dem Durchschnittswert der Bundesrepublik. Die Biomasse-Nutzung bringt für diese Regionen auch wesentliche wirtschaftliche Impulse und neue stabile Arbeitsplätze.

## Wärme aus Erneuerbaren Energien 2009

Mit 115 Mrd. kWh lieferten Erneuerbare Energien insgesamt 8,8 % des deutschen Wärmeverbrauchs



Quelle: BMU: Erneuerbare Energien in Zahlen  
Stand: 8/2010

www.unendlich-viel-energie.de

Abbildung 8: Wärme aus Erneuerbaren Energien 2009

<sup>10</sup> Zahlenangaben aus ZEIT Wissen Nr. 6/2009.



## 5. Verfügbarkeit und Nutzung von Biomasse

Insgesamt verfügt die Erde auf den Landflächen über einen ungefähr **200 Milliarden Tonnen** schweren Bestand an Biomasse. Dies entspricht geschätzt den gesamten fossilen Energievorräten der Erde. Jährlich kommen ca. **15 Milliarden Tonnen** Biomasse hinzu, verursacht durch die natürliche Photosynthese am Pflanzenbestand. Umgerechnet entsprechen diese 200 Milliarden Tonne Biomasse einem Energiegehalt von **30.000 Exajoule**. Dabei handelt es sich allerdings nur um theoretisches Potenzial da nicht mal annähernd das gesamte Potenzial zur energetischen Nutzung zur Verfügung steht.

*„Das theoretische Potenzial beschreibt das in einer gegebenen Region, innerhalb eines bestimmten Zeitraums theoretisch, physikalisch nutzbares Energieangebot (z.B. die in der gesamten Pflanzenmasse gespeicherte Energie). Es wird allein durch die gegebenen physikalischen Nutzungsgrenzen bestimmt und markiert damit die Obergrenze des theoretisch realisierbaren Beitrags zur Energiebereitstellung. Wegen unüberwindbarer technischer, ökologischer, struktureller und administrativer Schranken, kann das theoretische Potenzial meist nur zur sehr geringen Teilen erschlossen werden.“<sup>11</sup>*

Hierbei muss beachtet werden, dass es sich dabei um grobe Schätzungen handelt, da es eine Vielzahl an verschiedenen Biomassenströmen gibt. Auch gilt zu beachten, dass nur ca. **150 Exajoule** dieses gewaltigen Energiepotenzials zur Energieumwandlung dem Menschen zur Verfügung stehen, da der Rest über die gesamte Erde verteilt ist und nur schwer erschließbar ist. Das Energiepotenzial welches der Mensch nutzen kann wird dabei als „technisches Potenzial“ bezeichnet.<sup>12</sup>

*„Das technische Potenzial beschreibt den Teil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen nutzbar ist. Zusätzlich werden die gegebenen strukturellen und ökologischen Begrenzungen sowie gesetzlichen Vorgaben berücksichtigt. Es beschreibt folglich den zeit-, und ortsabhängigen primär aus technischer Sicht möglichen Beitrag einer regenerativen Energie zur Deckung der Energienachfrage.“<sup>13</sup>*

EJ/a	Nord-amerika	Lateinamerik a und Karibik	Asien	Afrika	Europa und Euroasien	Mittlerer Osten	Summe
Holz	12,8	5,9	7,7	5,4	9,4	0,4	<b>41,6</b>
Halmgut	2,2	1,7	9,9	0,9	2,3	0,2	<b>17,2</b>
Dung	0,8	1,8	2,7	1,2	1,0	0,1	<b>7,6</b>
(Biogas)	(0,3)	(0,6)	(0,9)	(0,4)	(0,4)	(0,0)	<b>(2,6)</b>
Energie-pflanzen	4,1	12,1	1,1	13,9	6,2	0,0	<b>37,4</b>
<b>Summe</b>	<b>19,9</b>	<b>21,5</b>	<b>21,4</b>	<b>21,4</b>	<b>18,9</b>	<b>0,7</b>	<b>103,8</b>

Abbildung 9: Weltweites technisches Biomasse

Eher seltener wird der Begriff des „wirtschaftlichen Potenzials“ benutzt.

<sup>11</sup>M. Kaltschmitt, H. Hartmann, Energie aus Biomasse, 2009

<sup>12</sup>M. Kaltschmitt, H. Hartmann, Energie aus Biomasse, 2009

<sup>13</sup>M. Kaltschmitt, H. Hartmann, Energie aus Biomasse, 2009



*„Es beschreibt den zeit-, und ortabhängigen Anteil des technischen Potenzials, der unter den jeweilig betrachteten Randbedingungen wirtschaftlich erschlossen werden kann.“<sup>14</sup>*

Wie das Zitat jedoch schon andeutet, spielen hierbei immer eine große Menge an äußeren Einflussfaktoren eine Rolle. Angefangen bei der aktuellen Marktsituation für die angestrebte Investition z.B. der Ölpreise, über regionale Öko- und CO<sup>2</sup> Steuern, bis hin zu Veränderungen der steuerlichen Abschreibungsmöglichkeiten. Hier gilt es oftmals die Kosten dem Nutzen gegenüber zu stellen, mit oftmals sehr unterschiedlichen Methoden zur Überprüfung der Wirtschaftlichkeit. Klar ist, dass sich Investitionsentscheidungen, sowohl in der Industrie als auch für die Privatperson am wirtschaftlichen Potenzial orientieren werden. So lassen sich folgende Abhängigkeiten feststellen. Besteht eine große Differenz zwischen dem theoretischem und dem technischen Potenzial, sollte mehr Geld in die Erforschung einer Technologie, bzw. in die Möglichkeiten der entsprechenden Energiegewinnung investiert werden. Besteht eine große Differenz zwischen dem technischen und dem wirtschaftlichen Potenzial, könnten energiepolitische Entscheidungen, die Anreizpunkte liefern diese Differenz zu verringern.

Biogene Brennstoffe werden mit wenigen Ausnahmen aus pflanzlicher Biomasse gewonnen. Die energetische Nutzung von Biomasse aus Land- und Forstwirtschaft, Landschaft, Kommunen und Industrieabfällen kann einen Beitrag zwischen 10 und 20% zur Deckung des deutschen Energiebedarfs leisten. Eine direkte Verwertung fester Biomasse zur KWK ist nur bei externen thermischen Verfahren möglich (Stirlingmotor, Dampfmaschinen etc). Für alle anderen Technologien muss die Biomasse in flüssige oder gasförmige Brennstoffe umgewandelt werden. Weitere Prozesse, wie z. B. Reinigung und Konditionierung sind je nach Wandlungsprinzip der Brennstoffaufbereitung nachgeschaltet. Eine grobe Unterteilung der Brennstoffe kann nach den Aggregatzuständen fest, flüssig und gasförmig erfolgen.

#### **Fest**

Energiepflanzen (Raps, Sonnenblumen, Miscanthus etc.), Holz, Restbiomasse (Stroh, Mist, Waldrestholz, Grün- und Strauchschnitt), Bioabfälle, Treibsel (aus Gewässern)

#### **Flüssig**

Öle (Pflanzenöl, Pyrolyseöl), Alkohole (Biomethanol oder Bioethanol aus Vergärung)

#### **Gasförmig**

Biogas, Pyrolysegas, Synthesegas, Schwachgas, langfristig Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien  
Die wesentlichen Verfahren zur Verwertung und Umwandlung von Biomasse als Energieträger sind:<sup>15,16</sup>

Direkte Verbrennung von feuchter Biomasse mit einem Trockensubstanzgehalt von über 50% kann wie Braunkohle in Feuerungsanlagen verbrannt werden. Mittels Dampferzeugung ist die KWK in Dampfmaschinen oder -turbinen möglich.

Ölgewinnung durch Abpressen von Ölsaaten für die direkte Nutzung oder nach Umesterung zu Methylester ("Biodiesel").

Pyrolyse (thermochemische Verflüssigung) vorwiegend von Holz zu Pyrolyseöl (Holzteer, Methanol) und Pyrolysegas (vgl. Synthesegas) unter Sauerstoffausschluss

---

<sup>14</sup> M. Kaltschmitt, H. Hartmann, Energie aus Biomasse, 2009, S.11

<sup>15</sup> Scheffer 2000: Biomasse – gespeicherte Sonnenenergie aus der Vielfalt der Pflanzenarten – Potenziale, Bereitstellung, Konversion, K. Scheffer in Themenheft 2000: Sonne - Die Energie des 21. Jahrhunderts, FVS (Hrsg.), Berlin, 2000

<sup>16</sup> Rösch 1998: Energetische Nutzung von Biomasse mit Brennstoffzellen – Grundlagen und Systeme. Ch. Rösch in Gülzower Fachgespräche, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.), Gülzow, 1998

Aerobe alkoholische Fermentation von zucker-, stärke- und cellulosehaltigen Pflanzen, Endprodukt: Ethanol

Biogasgewinnung durch anaerobe Fermentation führt zu Gasen mit 50 bis 70% Methananteil (ca. 20 MJ/ m<sup>3</sup> N ). Dabei werden 50% des Energieinhalts der Biomasse genutzt.

Synthesegas wird z. B. aus Kohle unter hohem Druck bei Sauerstoff- oder Dampfungabe erzeugt und besteht vorwiegend aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff (ca. 15 MJ/m<sup>3</sup> N ) mit hohem Ausnutzungsgrad. Zur Verwendung in internen Verbrennungsmotoren ist eine aufwändige Gasreinigung erforderlich. Es ist ein Rohstoff für die Methanolsynthese.

niederkaloriges Gas (sog. Schwachgas), mit hohen Stickstoffanteilen (> 50%) und dem zufolge geringen Heizwerten um 5 MJ/m<sup>3</sup> N entsteht bei der Vergasung von Biomasse mit Luft in unterschiedlichen Verfahren (vgl. Synthesegas) und als industrielles Abfallprodukt.

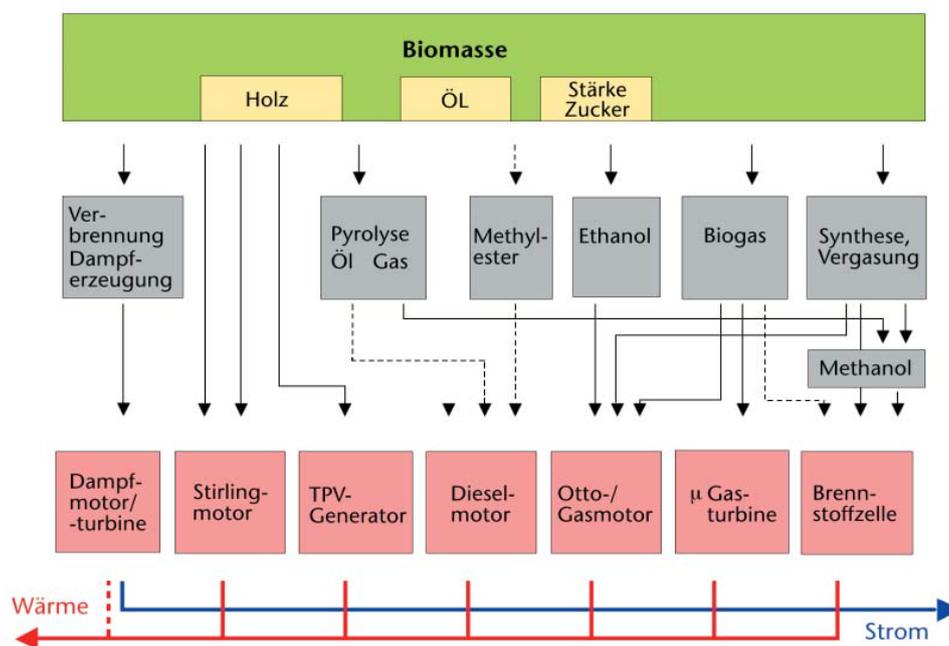


Abbildung 10: Darstellung von Biomasse Umwandlungsprozessen



## **6. Konversionstechnologie: Stand der Forschung, Entwicklung und aktueller Stand der verschiedenen Möglichkeiten, Biomasse zu erzeugen und zu verwerten**

Die unterschiedlichen Technologien zur Umwandlung von chemischer Energie aus Brennstoffen in elektrische Energie und thermische Energie lassen sich grob unterteilen in thermische Verfahren mit interner oder externer Verbrennung und elektrochemische Verfahren, denen die verschiedenen Brennstoffzellentypen zuzuordnen sind.

### **Verbrennungsmotoren**

Die dominierende Technologie zur dezentralen KWK ist heute der Verbrennungsmotor mit einem Otto- oder Dieselprozess, so genannte Blockheizkraftwerke, die gasförmige oder flüssige Brennstoffe nutzen. Es existieren Varianten mit Dreiwegekatalysator, als Mager- oder als Zündstrahlmotor. Der thermische Wirkungsgrad, der im Wesentlichen durch das Kompressionsverhältnis bestimmt wird, liegt beim Dieselmotor höher als beim Ottomotor. Der Motor treibt einen elektrischen Generator an. Das Kühlwasser und die heißen Motorabgase dienen zur Bereitstellung von Wärmeenergie. Der elektrische Wirkungsgrad liegt bei 30 bis 40%, der Gesamtnutzungsgrad erreicht Werte bis 90%. Typische Leistungsbereiche liegen zwischen ca. 20 kWel bis 1000 kWel. Eine separate Gruppe stellen die Klein-BHKWs mit dem Leistungsbereich von 5 bis 15 kWel dar.

### **Heißluftmotor (Stirling)**

Die externe Verbrennung ermöglicht die Nutzung nahezu beliebiger Brennstoffe für Stirlingmotoren. Technisch schwierig ist eine effiziente und rasche Wärmeübertragung. Der thermische Wirkungsgrad des Stirlingprozesses entspricht dem Carnot-Wirkungsgrad. Die heißen Abgase des Brenners werden genutzt. Trotz der guten thermodynamischen Voraussetzungen wurden bisher nur wenige Stirlingmotoren bis zur Produktreife entwickelt. Technische Probleme bestehen häufig noch beim Erhitzer und der Dichtigkeit des Kolbenraums. Elektrische Wirkungsgrade zwischen 20 und 30% werden erreicht. Weitere Vorteile, die bei entsprechendem Stand der Technik erwartet werden, sind niedrige Wartungskosten und geringe Geräusch- und Abgasemissionen. Systeme mit 1 bis etwa 10 kWel kommen derzeit auf den Markt, Praxistests sind angelaufen.

Größere Einheiten befinden sich noch in der Entwicklung. Als Brennstoffe werden zur Zeit (Bio-)Gas und Holz favorisiert.

### **Dampfmotoren**

Mit dem heißen Rauchgas aus der Verbrennung wird in einem Kessel Wasserdampf mit hohem Druck erzeugt. Im Dampfkolbenmotor wird der Dampf entspannt, wodurch er mechanische Kolbenarbeit leistet und über eine Kurbelwelle einen elektrischen Generator antreibt. Erst in Kombination mit einem Abdampfkessel, z. B. zur Heiz- oder Prozessdampferzeugung, wird aus der Kessel-Dampfmotorkombination eine KWK-Anlage mit hohem Brennstoffnutzungsgrad. Die getrennte Verbrennung in einem geeigneten Kessel ermöglicht die Verwendung beliebiger Brennstoffe aus Biomasse. Typische Brennstoffe sind Rest- und Abfallholz sowie Abfälle aus der Lebensmittelindustrie. Dampfkolbenmotoren werden heute in einem Leistungsbereich von 20 kW bis über 1 MW angeboten. Nachteilig ist, dass Dampfmotoren nur relativ niedrige elektrische Wirkungsgrade von etwa 20% haben. In Kombinationen mit Turbinen lassen sich aber auch höhere Systemwirkungsgrade erzielen.

## Mikro-Gasturbinen

Kleine schnelllaufende Gasturbinen mit relativ geringen Brennkammerdrücken und -temperaturen werden als Mikro-Gasturbinen bezeichnet. Die zu Kühlzwecken über den Generator zugeführte Verbrennungsluft wird zunächst verdichtet und zur Erzielung guter Wirkungsgrade im Rekuperator<sup>1</sup> vorgewärmt. In der Brennkammer wird der gasförmige oder flüssige Brennstoff zugeführt und gezündet. Die vom Turbolader Prinzip abgeleitete Entspannungsturbine treibt den Radialverdichter und einen direkt an die schnelle Welle gekoppelten Generator an. Die hohen Drehzahlen von bis zu 100.000 U/min erfordern spezielle Lager. Hier wurden technische Erfahrungen von Stromgeneratoren der Antriebsturbinentechnologie für Flugzeuge genutzt. Über einen Frequenzumrichter wird der elektrische Strom ins Netz eingespeist. Prinzipielle Vorteile dieser Technologie liegen in der kompakten Bauform, im vibrationsarmen Betrieb, in weiten Wartungsintervallen (8000 h) und entsprechend niedrigen Wartungskosten sowie in den deutlich geringeren Emissionen von CO und NO<sub>x</sub> im Vergleich zu Gasmotoren. Derzeit werden Systeme mit elektrischen Leistungen zwischen 30 und 200 kW angeboten. Anlagen höherer Leistungen befinden sich in der Entwicklung. Die Abgastemperatur beträgt bei Verwendung eines Rekuperators noch ca. 200 bis 300 °C. Dies favorisiert Mikro Gasturbinen für den KWK-Einsatz in einem industriellen oder gewerblichen Umfeld, wo Dampf oder hohe Prozesswärmepemperaturen erforderlich sind und genutzt werden können. Prinzipiell lassen sich Mikro-Gasturbinen auch mit Biogas oder niederkalorigen Gasen betreiben. Die zur Zeit angebotenen Systeme sind aber zunächst auf Erdgasbetrieb ausgelegt.<sup>17</sup> Vorteile bietet auch die Kombination mit Hochtemperaturbrennstoffzellen.

## Thermophotovoltaik-Generatoren

Das Funktionsprinzip beruht auf der direkten Umwandlung von thermischer Energie in elektrische Energie. Ein Thermophotovoltaik (TPV)-System besteht im Wesentlichen aus einem Strahlungsbrenner und einem Photovoltaikgenerator. Im Strahlungsbrenner wird die chemische Energie des Brennstoffes in Strahlungsenergie eines Hochtemperaturemitters mit einer Temperatur von ca. 1200°C umgewandelt. Der PV-Generator erzeugt aus der Wärmestrahlungsenergie direkt elektrische Energie nach dem gleichen Prinzip wie Sonnenlicht in Solarzellen. Infolge der stationären Verbrennungsverhältnisse treten auch im TPV-Generator geringere Schadstoffemissionen auf als bei einem Verbrennungsmotor. Die Brennluft wird in einem Gegenstromwärmeübertrager vorgewärmt. Die physikalischen Wirkungsgradgrenzen für die thermophotovoltaische Energiekonversion sind von der Qualität der spektralen Anpassung zwischen Strahler und Photovoltaikzelle bzw. der Temperatur des Strahlers abhängig. Beim aktuellen Entwicklungsstand wären etwa 10% Wirkungsgrad erreichbar. Langfristig kann durch eine verbesserte Technik eine

erhebliche Effektivitätssteigerung erwartet werden. Theoretisch sind maximal etwa 40% Systemwirkungsgrad möglich. Diese Technologie beinhaltet daher das Potenzial für eine leise, schadstoffarme und zuverlässige Stromerzeugung. Mit einer elektrischen Leistung ab etwa 1 kW sind TPV-Generatoren auch für KWK z. B. in Hausheizungen interessant. Die Wärmeauskopplung erfolgt über das Kühlsystem und aus der Abwärme des Brenners. Ein TPV-Generator kann wegen des externen Brenners ähnlich wie Stirlingmotoren auf nahezu beliebige Brennstoffe zurückgreifen. Er erscheint damit insbesondere für die Konversion von Biomasse geeignet.

## Brennstoffzellen

In einer Brennstoffzelle reagiert Wasserstoff mit Sauerstoff in einer exothermen elektrochemischen Reaktion bestehend aus zwei Teilreaktionen (Redox-Reaktion) an zwei separaten Elektroden zu Wasser. Wegen der nur Ionen leitenden Membran zwischen den Elektroden fließen die Elektronen

---

<sup>17</sup> ] Dielmann 2000: Mikrogasturbine, Entwicklungsstand, Vorteile und Markteinführung. K. Dielmann in: Bayerngas- Symposium 2000, München, 2000



über einen äußeren elektrischen Stromkreis. Eine Brennstoffzelle erzeugt gleichzeitig Wärme und Strom. Es existiert eine Reihe von Brennstoffzellentypen, die nach Temperaturniveau, Trennmembran-/ Elektrolytmaterial, Art der transportierten Ionen und anodischer oder kathodischer Wassererzeugung eingeordnet werden. Für die Namensgebung der Zelltypen ist der Elektrolyt ausschlaggebend. Alkalische Brennstoffzellen (alkaline fuel cell, **AFC**) wurden schon in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt. Sie enthalten flüssige Kalilauge (30% KOH) als Elektrolyt. Polymer Elektrolyt Brennstoffzellen (polymer electrolyte membran fuel cell, **PEFC** oder **PEM**) besitzen eine Protonen leitende Membran. An dieser Variante wird zur Zeit intensiv in allen Anwendungsbereichen geforscht. Zu diesem Typ zählt auch die Direktmethanolbrennstoffzelle (**DMFC**), die es erlauben wird, aus Biomasse synthetisiertes Methanol ohne weitere Aufbereitungsprozesse zu nutzen. Die Phosphorsäure Brennstoffzelle (phosphoric acid fuel cell, **PAFC**) wird bereits seit Jahren in mehr als 200 Einheiten als KWK-Modul eingesetzt. Schmelzkarbonat Brennstoffzellen (molten carbonate fuel cell, **MCFC**) und Festoxid Brennstoffzellen (solid oxide fuel cell, **SOFC**) zählen zu den so genannte Hochtemperaturzellen, mit Betriebstemperaturen zwischen 600 und 1000 °C, von denen seit wenigen Jahren einige Einheiten in der Größenordnung von 250kWel und 100kWel getestet werden. Alle Brennstoffzellensysteme erreichen elektrische Wirkungsgrade von 50% und mehr bei Verwendung von Wasserstoff als Brennstoff.

Je nach Anbindung des KWK-Moduls an den Verbrauchern werden dabei Brennstoffnutzungsgrade von über 90% erzielt. Die energieaufwändige externe Reformierung von Kohlenwasserstoffen reduziert bei den Niedertemperaturzellen (AFC, PEFC, DMFC) den Wirkungsgrad auf 30 bis 40%. Brennstoffzellen stellen je nach Typ sehr unterschiedliche Anforderungen an die Gasreinheit. Dies beeinflusst stark ihre Eignung für biogene Brennstoffe. Alkalische Brennstoffzellen vertragen kein CO<sub>2</sub>, PEFC-Brennstoffzellen werden durch CO "vergiftet", alle Brennstoffzellentypen müssen vor Schwefel- und Chlorverbindungen geschützt werden. Stickstoff, häufiger Bestandteil biogener Brennstoffe, ist für alle Brennstoffzellentypen mit Ausnahme der PAFC ein inertes Gas. Hochtemperaturbrennstoffzellen sind wegen der internen Vorreformierung von Kohlenstoffverbindungen vielversprechende Anwarter für eine KWK auf der Basis biogener Brennstoffe. Die langfristige Perspektive der wasserstoffbetriebenen Technologien beruht auf der Einführung einer solaren Wasserstoffwirtschaft.

### **PEFC-BHKWs für die Hausenergieversorgung**

In Deutschland werden über 50% der Endenergie in privaten Haushalten verbraucht, davon ca. 60% für Raumheizung und Warmwasser. Für diesen Energiesektor besteht ein kommerzielles Interesse an der Entwicklung von Klein- BHKWs zum Einsatz in Ein- und Mehrfamilienhäusern. Der elektrische Wirkungsgrad dieser Kleinanlagen liegt im Bereich von 35 - 40% bei einem Gesamtnutzungsgrad bis über 80%. Eingebunden werden diese Systeme wärmetechnisch in das Heizungsnetz im Austausch gegen den normalen Gasbrenner, der dann als Brennstoffzellensystem zusätzlich zur Wärme Strom produziert.

Die Vorteile der Brennstoffzelle für diese Anwendung im Vergleich zu konventionellen Anlagen liegen neben dem höheren elektrischen Wirkungsgrad, im guten Teillastverhalten, in der Geräusch- und Vibrationsarmut und im geringeren Wartungsaufwand. Allerdings muss noch ein weiter Weg zurückgelegt werden, bis solche Anlagen zu konkurrenzfähigen Preisen angeboten werden können. Die aktuellen Kosten für Laboranlagen bzw. Prototypen liegen über 25.000 €/kW und müssen für die Hausenergieversorgung auf unter 1500 €/kW reduziert werden. Das wird nach Aussage des Heizungsherstellers Vaillant ab einer kumulierten Fertigungsmenge von 100.000 Stück zu erreichen sein. Favorisiert werden zunächst Anlagen für den Einsatz in Mehrfamilienhäusern mit einer elektrischen Leistung von ca. 5 kWel, bei einer thermischen Leistung bis 50 kWth, die über Spitzenlastkessel abgedeckt wird. Für diese Anwendung werden von verschiedenen Firmen (Vaillant, Buderus, Vissmann, Hamburger Gas Consult (HGC), u. a.) die Niedertemperatur-Brennstoffzellen vom Typ PEFC favorisiert. Diese Brennstoffzellen werden bei 60 bis 80°C betrieben und erfordern reinen Wasserstoff als Brenngas. Deshalb ist die Brenngasaufbereitung der dominierende Teil der Anlage. Zunächst werden dem Reformier Erdgas, Wasserdampf und Luft unter Druck zugeführt und dort zu

wasserstoffreichem Gas reformiert. In einer zweiten Stufe wird das zusätzlich entstandene Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid auf oxidiert. Nach einer Prozessgasbefeuchtung strömt das Reformat an die Anoden der einzelnen Brennstoffzellen. Da die Brennstoffzelle nicht das gesamte zugeführte Brenngas umsetzt, wird der Restwasserstoff im PEFC-Abgas in einem katalytischen Nachbrenner vollständig nachverbrannt. Die Wärme dieses Abgasstromes wird in einem Wärme Überträger zum Beheizen der Eingangsstoffströme in den Reformier verwendet. Die restliche Wärme wird über den Brennstoffzellenkühlkreislauf an den Heizkreis abgegeben.

### **Hochtemperaturbrennstoffzelle SOFC**

Für gewerbliche und industrielle Anwendungen eignen sich besonders die Hochtemperaturbrennstoffzellen wegen der geringen Aufwendungen für die Brennstoffaufbereitung und des hohen Temperaturniveaus der Abwärme.

Die SOFC besitzt das höchste Wirkungsgradpotenzial für die direkte Verstromung von Kohlenwasserstoffen (Erdgas, Biogas etc.) in dezentralen Stromerzeugungsanlagen. Bereits kleine Anlagen können einen elektrischen Wirkungsgrad deutlich über 40% erreichen und oberhalb von 50 kWel sind 50% und mehr möglich. In größeren Leistungseinheiten ist bei optimaler Ausnutzung der thermodynamischen Möglichkeiten in Kombination mit einer Gas- und Dampfturbine (GUD) ein elektrischer Wirkungsgrad bis zu 70% erreichbar. Bei Nutzung der Abwärme kann die SOFC einen Gesamtnutzungsgrad von über 90% erreichen. Somit hat die SOFC sowohl im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung als auch in der dezentralen Stromversorgung gute Marktchancen. Ein weiterer Vorteil der SOFC sind die geringen schädlichen Emissionen, was die Installation von SOFC Anlagen in Ballungsräumen und Wohngebieten besonders unterstützen wird.

Im Bereich Kleinanlagen für die Hausenergieversorgung ist die Firma Sulzer Hexis AG bislang der einzige Anbieter von SOFC-Anlagen. Sie setzt den Schwerpunkt ihrer Aktivitäten auf den Bereich von 1 kW elektrischer Leistung. Bereits seit 1997 laufen verschiedene Feldtests bei potenziellen Kunden unter realen Betriebsbedingungen. Bislang wurden mit einigen Anlagen mehrere tausend Betriebsstunden erreicht und damit viel Erfahrung für die weitere Optimierung des Systems gesammelt. Auch andere SOFC-Entwickler haben inzwischen erkannt, dass in dieser Leistungsklasse ein interessanter Einstiegsmarkt vorhanden ist. Deshalb gibt es ein verstärktes Interesse an der Entwicklung von kleinen SOFC-Anlagen.

### **Betrieb und Versuchsergebnisse der PEFC-KWK Versuchsanlage PEMA**

Im Rahmen eines PEFC-Block-Untersuchungsprogramms an der DLR-PEFC-Versuchsanlage PEMA wurde ein simulierter KWK-Betrieb über 600 Stunden mit einem 3 kWel-Block des italienischen Herstellers Nuvera durchgeführt. Für den Betrieb wurden als Leitgrößen die standardisierten Elektro- und Wärmeenergiebedarfsprofile eines Einfamilienhauses genutzt. Zur Standardisierung wurden die Daten eines Hauses mit 100 m<sup>2</sup> Wohnfläche, zwei Stockwerken und voller Unterkellerung, gebaut nach der deutschen Wärmeschutzverordnung von 1995 (WschVO95), herangezogen. Die Versuchsanlage PEMA ist ein System mit offener Betriebsarchitektur, das den Betrieb von PEFC Brennstoffzellenblöcken in den Leistungsbereichen 0,5 bis 16 kWel und 1 bis 20 kWth ermöglicht. Die Anlage besteht aus den Hauptkreisläufen Brennstoffversorgung mit Wasserstoff oder wasserstoffreichem Reformergas, Luftversorgung mit verschiedenen zuschaltbaren Stufen der Reinigung, Wasserkreislauf für Befeuchtung und Kühlung, Abwärmennutzung mit zwei verschiedenen Lasten, einem dynamischen Außenkühler und einer Hallenheizung für ein Laborgebäude, schnelle elektronische Last und vollautomatischer Anlagenbetriebsführung für PEFC-System und Wärme-Rückgewinnungsanlage TERP (Thermal Energy Recovery Plant).<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Brinner 2001: Experimental Operation of a PEFC-System as a Co-Generation Plant for the Energy Supply of a Single-Family- House. Brinner, Philipps

Das Wärmerückgewinnungssystem arbeitet mit dem Clausius-Rankine-Kreisprozess und erlaubt durch flexible Temperaturanpassung an die Nutzeranforderung und Rückgewinnung aller Abwärmemengen außer den PEFC-Block-Konvektionsverlusten zusammen mit der PEMA Elektroenergieabgabe eine nahezu hundertprozentige Brennstoffnutzung. Die Wärmepumpe des TERP-Systems wird mit einer kommerziellen Öl-Mischung betrieben. In diesen Kühlkreislauf werden alle Abwärmemengen des Brennstoffzellensystems sowie aller Pumpen- und Lüftermotoren eingekoppelt. Das Betriebsziel des Untersuchungsprogramms war die simulierte autonome Elektro- und Wärmeenergieversorgung eines einzeln stehenden Einfamilienhauses durch ein PEFC-System. Für die Untersuchung wurde ein Standard-Betriebsprofil genutzt, dem ein jährlicher Elektroenergiebedarf von 5,3 MWh und 22,4 MWh thermisch für Heizung und Warmwasser zugrunde gelegt wurde. Der elektrische Spitzenbedarf betrug über Mittag 5,2 kW. Das thermische Profil wies drei Bedarfsspitzen um 6:00 Uhr mit 9,7 kW, um 14:00 Uhr mit 7,9 kW und um 21:00 Uhr mit 12 kW auf.

Die Auswertung der Betriebsergebnisse hat ergeben, dass die elektrische Nettoleistungsabgabe des PEFC-Systems an das Hausnetz von 5,2 kW eine Gesamt-Leistungserzeugung von 9,36 kW durch das PEFC-System erforderlich macht, um den system-internen Bedarf von 4,16 kW zu decken. Bezogen auf den verwendeten PEFC-Block mit 60 Zellen bei gleichem elektrischem Abgabestrom würde dies einen Block von 180 Zellen oder zwei Blöcke mit je 90 Zellen erfordern. Die Erfahrung mit PEFC Blöcken hat jedoch gezeigt, dass zur Kompensation von Blockalterung und Ausgleichseffekten in großen Blöcken, der Block mit 185 Zellen ausgerüstet werden müsste.

Es wäre weiterhin erforderlich, die hohen Startströme von Motoren, Lüftern etc. durch den Einbau eines 0,5 - 0,7 kWh großen Akkuspeichers zu kompensieren, dessen Ladung ebenfalls vom PEFC-System übernommen werden muss, um das Haus komplett vom Allgemeinnetz abkoppeln zu können. Das TERP-System mit einer 12 kWth-Wärmepumpe und einem 10 kWth Hallenheizer liefert im stromgesteuerten Betrieb des PEFC-Systeme eine tägliche thermische Energiemenge von 180 kWh, der ein täglicher Bedarf von 94 kWh im Winter gegenübersteht. Im Sommer ist der thermische Bedarf sogar noch erheblich geringer. Um jedoch bei Stoßlüftung z. B. um 9:00 und um 21:00 Uhr die Temperaturabsenkung in kurzer Zeit zu kompensieren, ist zusätzlich der Einbau eines 30-Liter-Speicherbehälters notwendig.

Auf dem aktuellen Stand der Brennstoffzellentechnik mit einem elektrischen Netto-Wirkungsgrad von etwa 40% sollte ein Haus mit Netzankopplung betrieben werden. Trotzdem kann im Prinzip zwischen zwei Auslegungsextremata für ein PEFC-System gewählt werden:

1. Auslegung des PEFC-Systems nach dem elektrischen Energiebedarf und, folglich, Wärmeenergieverlust speziell im Sommer sowie reduzierter Brennstoffnutzungsgrad.
2. Netzkopplungsbetrieb und Deckung des thermischen Energiebedarfs mit einem kleineren PEFC-System und entsprechend großem thermischem Speicher.

Das für die Versuchsanlage PEMA ausgewählte Prinzip der Wärmerückgewinnung ist eine preiswerte und zuverlässige Lösung, die zudem den Vorteil hat, im Sommer durch Verschaltungsänderung des Kreislaufs auch für Kühlzwecke eingesetzt werden zu können. Der Kühlmittel-Luft-Wärmeübertrager muss nur mit Hilfe von Ventilen einmal vor dem Kühlmittel-Entspannungsventil zur Heizung oder nach dem Ventil für Kühlung betrieben werden.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> Brinner 2001: Experimental Operation of a PEFC-System as a Co-Generation Plant for the Energy Supply of a Single-Family- House. Brinner, Philipps

## 7. Ökologische Risiken von Biomasseproduktion

Die Risiken des Einsatzes von Energie aus Biomasse werden unterschätzt, wie ein jetzt in Nature Climate Change veröffentlichter Artikel zeigt. „Wir brauchen hier das Vorbeugeprinzip“, sagt Ottmar Edenhofer, Chef-Ökonom des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) und Professor der Technischen Universität Berlin (TU Berlin). „Bevor die Bioenergie weiter ausgeweitet wird, muss die Wissenschaft eine umfassendere Abschätzung der Risiken liefern – bislang sind in Projektionen des Einsatzes von Bioenergie teils fundamentale Unsicherheiten enthalten. Nötig sind hier neuartige Ansätze des Risikomanagements für den Wandel der Landnutzung.“ Eine Möglichkeit wäre, die Beweislast für das Erreichen von Nachhaltigkeitsstandards auf die Produzenten von Bioenergie zu verlagern.

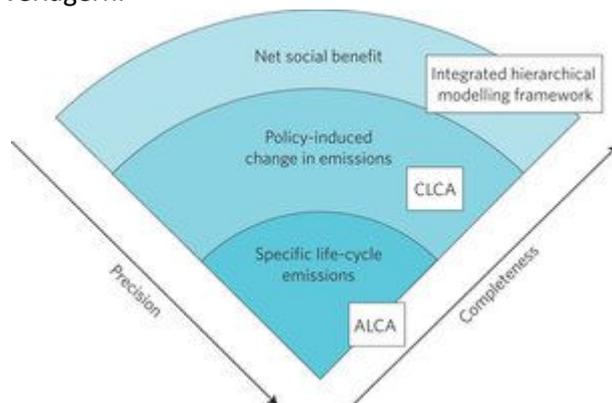


Abbildung 11: Genauigkeit und Vollständigkeit der Bewertung von Bioenergie

Der großflächige Anbau von Energiepflanzen könnte unter dem Strich zu mehr Ausstoß von Treibhausgasen führen, wenn beispielsweise Wälder abgeholzt und zu Anbauflächen umgewandelt werden. Zugleich heißt es aber in ökonomischen Szenarien zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung, dass sich die fossilen Brennstoffe kaum ohne einen massiven Einsatz von Bioenergie werden ersetzen lassen. Der Artikel analysiert nun, wie diese beiden scheinbar gegensätzlichen Betrachtungsweisen zusammengeführt werden können, und identifiziert die der Debatte zugrundeliegenden wesentlichen Unsicherheiten.

„Energie aus Biomasse ist Gegenstand einer hitzigen Diskussion“, sagt Felix Creutzig, Hauptautor des Artikels von Wissenschaftlern der TU Berlin, des PIK und der Universität Berkeley in den USA. „Forscher müssen sehr klar die Annahmen darlegen, die sie ihrer jeweiligen Untersuchung zugrunde legen. Und sie sollten systematisch die Risiken in die Berechnungen mit einbeziehen, die mit unterschiedlichen Regelungsmöglichkeiten zur Bioenergie zusammenhängen. Politiker hätten die Wahl, in Zukunft nur unter genauen Vorgaben den Einsatz von Bioenergie zu erlauben.“

Die Ökobilanz von Energie aus Biomasse ist von großen Unsicherheiten geprägt. Während die Emissionen der bisherigen Produktion von Bioenergie meist gut erfasst werden, werden die Effekte einer künftigen Ausweitung des Einsatzes von Bioenergie auf die Märkte von Landwirtschaftsprodukten oder auf den Benzinmarkt laut der Studie oft außer Acht gelassen. So könnte beispielsweise eine verstärkte Erzeugung von Rohstoffen für Biosprit weltweit die Preise für Agrarland in die Höhe treiben. Dies würde Anreize setzen, Anbauflächen auf Kosten natürlicher CO<sub>2</sub>-Senken auszuweiten.

Auf der anderen Seite behandeln viele ökonomische Szenarien zum Klimaschutz Bioenergie als „CO<sub>2</sub>-neutral“. Dabei unterstellen sie, dass Maßnahmen zum Waldschutz ergriffen werden, und dass technischer Fortschritt eine höhere Ausbeute von Bioenergie pro Hektar erlaubt. Ob diese Annahmen eintreffen, ist schwer vorherzusagen. Abhängig von solchen Annahmen schwanken aber die Abschätzungen des Potenzials von Bioenergie beträchtlich – nämlich um den Faktor Zehn.

Eine umfassende Beurteilung der Chancen und Risiken des Einsatzes von Bioenergie sollte das ganze Spektrum möglicher Entwicklungen darzustellen versuchen und systematisch Auswirkungen auf Märkte erfassen, so die Schlussfolgerung der Forscher. Die Szenarien müssen systematischer auch die Effekte der Nutzung von Bioenergie in einer nicht perfekten Welt abschätzen, in der es beispielsweise nur einen begrenzten Fortschritt von politischen Regelungen und Technologie gibt. Um hier die Debatte voran zu bringen, sei eine viel engere fächerübergreifende Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen mit Bioenergie befassten Forschungsrichtungen nötig.

"Dies ist eine zentrale Herausforderung für kommende wissenschaftliche Sachstandsberichte", sagt Ottmar Edenhofer. „Berechnungen zur Wirkung des Einsatzes von Bioenergie in der Zukunft sind von Natur aus mit Ungewissheiten belastet, und hierauf muss man an der Schnittstelle von Politik und Wissenschaft reagieren. Die Projektionen sind teils abhängig von Werturteilen – diese betreffen Energiesicherheit, Klimaschutz, Ernährungssicherheit und den Schutz der Artenvielfalt.“ Wenn es der Wissenschaft gelänge, alle zugrundeliegenden Annahmen und Unsicherheiten den politischen Entscheidungsträgern verständlich zu machen, so Edenhofer, „dann kann das ein Start sein für die wichtige Diskussion, wo wir als Gesellschaft hinwollen, und welche Risiken wir hierbei in Kauf nehmen.“<sup>20</sup>



Biomasse ist mit einem Anteil von 77 Prozent der weltweit meist verwendete erneuerbare Energieträger. Allein 87 Prozent davon sind Bäume und andere Holzgewächse. Mit den ambitionierten Klimaschutzziele vieler Staaten wird der Bedarf zukünftig steigen und neue Entwicklungschancen aber auch Gefährdungen mit sich bringen.

Die G8-Staaten haben 2009 beschlossen, die globalen Treibhausgasemissionen um 80 Prozent bis zum Jahre 2050 (gegenüber 1990) zu verringern. Einen Schwerpunkt bildet dabei der Ausbau der erneuerbaren Energien. 2010 betrug der weltweite Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch etwa 16 Prozent. In Deutschland wurden 2010 11,3 Prozent des Energieverbrauchs durch erneuerbare Energien abgedeckt und minderten den CO<sub>2</sub>-Ausstoß damit um 110 Millionen Tonnen im Jahr. Ein bedeutender Faktor ist die Biomasse, die hierzulande 8,1 Prozent des Energiebedarfs bereitstellt.

Während die Biomasse in Deutschland bei der Stromerzeugung nur ein Drittel neben Wind- und Solarenergie sowie Geothermie beisteuert, waren es bei der Wärmegewinnung im Jahr 2010 133,9 von 144,7 Milliarden Kilowattstunden, wovon 103,4 Milliarden Kilowattstunde allein durch biogene Festbrennstoffe (Holz, Holzpellet, Zellstoff) aufgebracht wurden.

#### **Viele Staaten auf Biomasse-Export angewiesen**

Für den Klimaschutz wollen die EU und die USA den Anteil erneuerbarer Energien bis 2020 auf 20 Prozent beziehungsweise auf 25 Prozent des Energieaufkommens ausbauen. Der zukünftige Bedarf an Biomasseenergieträger kann in vielen Staaten allerdings nicht mittels der einheimischen Holzproduktion gedeckt werden und so wird sich der bisherige minimale Weltmarktanteil von ein Prozent in Zukunft wohl enorm steigern. Großbritannien importierte beispielsweise 2010 bereits

---

<sup>20</sup> Creutzig, F., Popp, A., Plevin, R., Luderer, G., Minx, J., Edenhofer, O. (Nature Climate Change, 2012): Reconciling top-down and bottom-up modelling on future bioenergy deployment [doi:10.1038/nclimate1416]

700.000 Tonnen Holzprodukte zur Energiegewinnung, was 13 Prozent seines Endenergieverbrauchs darstellte, und wird 2020 Schätzungen zu Folge allein 48,3 Millionen Tonnen Biomasse benötigen. Damit eröffnen sich neue Exportmöglichkeiten aber auch Risiken.

Kanada, Norwegen, Russland und die USA reagierten auf den absehbaren Trend und bauten 2010 große Pelletanlagen. Gleichzeitig suchen europäische und nordamerikanische Energiekonzerne nach neuen Holzfördergebieten in Asien, Afrika und Südamerika, da sich tropische Regenwälder aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Wachstumsraten besonders gut für die Biomasseproduktion eignen. In vielen Staaten der Südhalbkugel könnte sich die Biomasse damit zur Gefahr entwickeln, wenn die Holzproduktion in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion gerät, sowie den freien Zugang zu Wasserressourcen und die Biodiversität gefährdet. Außerdem könnte der Devisenmangel vieler Staaten der Südhalbkugel diese zum Verkauf von Naturschutzgebieten für die Holzproduktion verleiten. Zudem sind Kleinbauern aufgrund der unsicheren Landrechte nicht vor Enteignungen geschützt und könnten den Holzanbauprojekten weichen müssen.

## Wettlauf um Nahrung und Ackerflächen

Die Weltbevölkerung wächst schneller als die Getreideproduktion

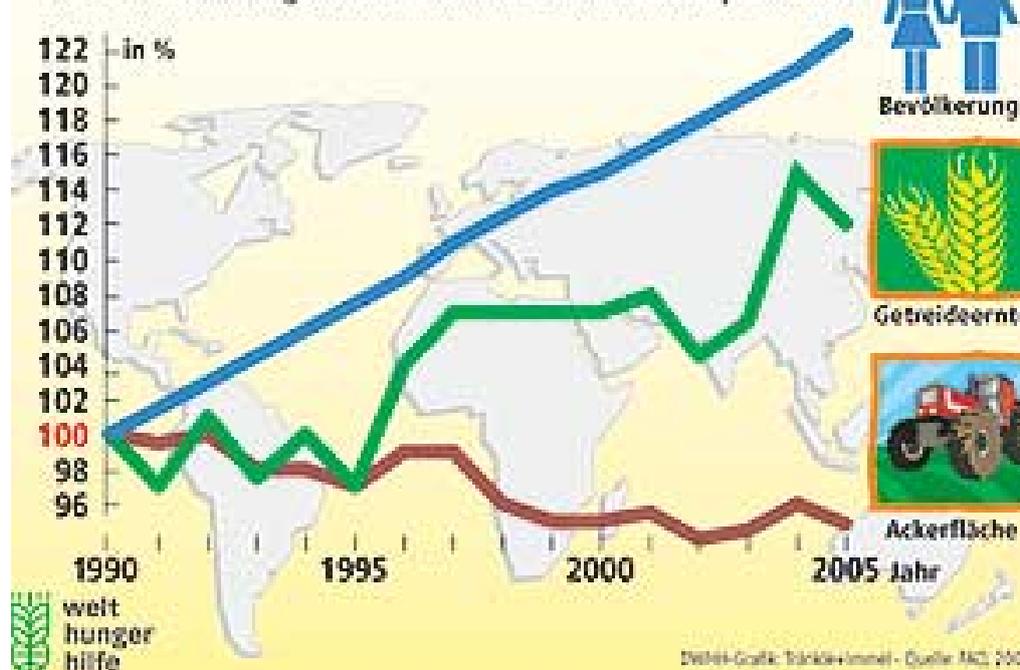


Abbildung 12: Darstellung der Entwicklung der Weltbevölkerung, Getreideernte und Ackerfläche

### Unterstützung für Entwicklungsländer

Damit die Entwicklungsländer von ihrem Rohstoffreichtum profitieren können, benötigen sie infrastrukturelle, rechtliche und wirtschaftliche Unterstützung. Die EU könnte von ihrem Vorbehaltsrecht Gebrauch machen und nur nachhaltig produzierte Biomasseträger importieren. Auf internationaler Ebene findet bisher allerdings lediglich ein Austausch über Umweltstandards der Biomasseproduktion in Form von Arbeitsgruppen der Global Bioenergy Partnership ([GBEP](#)) statt.

Des Weiteren könnte die drohende Landfrage mit einem stärkeren Fokus auf die Algenproduktion gelöst werden. Jedoch befindet sich die energetische Nutzung von Algen noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase. Zukünftig werden wohl die industriellen Abfallstoffe und auch die Biomülltonne für die Biomasseproduktion zunehmend interessanter.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> <http://www.cleanenergy-project.de/erneuerbare-energien/item/4699-zukuenftiger-boom-der-biomasse-chancen-und-risiken>, Katja Friedrich



## 8. Erntbarkeit und Logistik von Biomasse

Im Vergleich zur konventionellen Forstwirtschaft sind Kurzumtriebsplantagen gekennzeichnet durch sehr kurze Umtriebszeiten und hohe Stammzahlen pro Hektar. Wegen der geringen Stückmassen ist die technische Arbeitsproduktivität bei der Ernte derartiger Bestände sehr niedrig. Ein Vorteil ist allerdings die kahlschlagartige Nutzung und die bessere räumliche Ordnung aufgrund des exakten Pflanzverbandes. Dies ermöglicht den Einsatz hochmechanisierter reihengebundener Ernteaggregate. Die Erntekosten spielen für die Wirtschaftlichkeit des gesamten Produktionssystems KUP eine zentrale Rolle. DÜRRSTEIN und LÖFFLER (1989) schätzen den Anteil der Erntekosten am durchschnittlichen Gesamtaufwand auf 50 bis 80 %. Nach SCHOLZ et al. (2009) bestimmt die Erntetechnologie in hohem Maße die Produktionskosten von Kurzumtriebsplantagen.

Deshalb ist es wichtig, alle in der Erntekette vorhandenen Rationalisierungspotenziale auszuschöpfen.

Für die Ernte kommen nur die Monate Dezember bis April in Betracht, da sonst die Ausschlagfähigkeit der Stöcke eingeschränkt würde. Aus Hessen ist bekannt, dass im Mai beerntete, bereits belaubte Balsampappelbestände nicht mehr ausgetrieben haben. Eine Erntewährend der Vegetationsruhe hat weiterhin den Vorteil eines minimalen Nährstoffaustrags. JUG (1999) errechnete bei dem Balsampappelklon Muhle-Larsen einen erntebedingten Stickstoffverlust zwischen 19 und 36 Kilogramm pro Hektar und Jahr, was ungefähr dem Stickstoffeintrag aus der Luft entspricht.

Die Ernteverfahren für Kurzumtriebsplantagen kann man nach dem Mechanisierungsgrad in zwei Gruppen unterteilen, die teilmechanisierten und die vollmechanisierten Verfahren.

### Teilmechanisierte Verfahren

Das Fällen der schwach dimensionierten Bäume lässt sich mit verschiedenen motorgetriebenen Geräten bewerkstelligen. Dies sind in erster Linie leichte Motorsägen und Freischneidegeräte.

Bei der Arbeit mit einer leichten **Motorsäge** ist der Anteil der Arbeit in gebückter Haltung für den Motorsägenführer aus ergonomischer Sicht problematisch. Bewährt hat sich deshalb der Einsatz eines Zwei-Mann-Trupps, bei dem ein Arbeiter die Bäume mit der Motorsäge vom Stock trennt und ein zweiter Mann die Bäume mit einer Fällgabel gerichtet zu Fall bringt.

Die **Bügelmotorsäge** ist eine in ein Bügelgestell montierte leichtere Motorsäge, die eine aufrechte und damit ergonomisch günstigere Fällhaltung ermöglicht. Die Motorsäge ist horizontal auf einer Bodenplatte drehbar. Der Gasgriff wird über den Bügel betätigt. Durch waagrechtes Drehen wird der Stamm vom Stock getrennt und kann dann mit der linken Hand des Motorsägenführers gerichtet zu Fall gebracht werden. Das Verfahren funktioniert im ersten Umtrieb bis zu einem Trenndurchmesser von zehn Zentimeter.<sup>22</sup> Die gefällten Bäume werden anschließend gerückt und an einem zentralen Platz gehackt.

Das **Freischneidegerät** mit einem Kreissägenblatt als Schneidwerkzeug ermöglicht die Ernte von Bäumen bis zu einem Trenndurchmesser von zehn Zentimeter. Von Vorteil ist hier die aufrechte Arbeitshaltung. Allerdings ist ein gerichtetes Zufallbringen der Bäume sehr schwierig.<sup>23</sup>

Nach dem Fällen folgt das Hacken der Bäume. Dabei sind mehrere Varianten möglich, das Hacken am Fällort, das Rücken und Hacken an einem zentralen Platz oder das Hacken durch einen Großhacker am Heizwerk.<sup>24</sup>

<sup>22</sup> WIPPERMANN und STAMPFER 1995

<sup>23</sup> WIPPERMANN und STAMPFER 1995 a, b

<sup>24</sup> DÜRRSTEIN und LÖFFLER 1989



## Vollmechanisierte Verfahren

### Fäll-Lege-Maschinen

Die einzige bekannte Fäll-Lege-Maschine wurde an der Universität für Bodenkultur in Wien entwickelt. Sie ist ein Anbaugerät für die Heckhydraulik eines mittelstarken Schleppers. Als Fällleinrichtung dient ein waagrechtes Kettensägenschwert. Die auf dem Feld abgelegten Bäume müssen anschließend gerückt und gehackt werden. Zeitstudien zur Leistungsfähigkeit dieses Gerätes sind nicht bekannt. Geeignet sich diese Technik nur für den einstämmigen Baumhabitus.<sup>25</sup>

### Fäll-Bündel-Maschinen

Fäll-Bündel-Maschinen sind gezogene oder selbstfahrende Erntemaschinen. Zwei Prototypen wurden in den achtziger Jahren in Skandinavien für die Ernte von Kurzumtriebsplantagen entwickelt. Sie trennen die Stämme reihenweise mit Hilfe von Kreissägen vom Stock, transportieren die Bäume gebündelt auf eine auf der Maschine befindliche Plattform und legen sie an einem Lagerplatz am Feldrand ab.<sup>26</sup>

Vor ca. zehn Jahren stellten die Firmen Timberjack und Waratah einen speziellen **Mehrfach-Fällkopf mit Bündleinrichtung** (Feller-Buncher) für Harvester der mittleren Leistungsklasse vor. Der Fällkopf verfügt weder über Vorschubwalzen noch über eine Kettensäge. Stämme bis zu einem Trenndurchmesser von 20 Zentimetern werden mit einem waagrecht bewegten Fällmesser vom Stock getrennt. Mit zwei Paaren von Greifklauen, die der Harvester-Fahrer abwechselnd öffnet und schließt, werden mehrere Bäume geerntet und gebündelt. Der Zweck dieses Fällkopfs ist eine wirtschaftliche Ernte bisher defizitärer Sortimente vor allem für die energetische Verwertung. Im Energieholz-Boom der letzten Jahre kamen noch einige andere Bündelaggregate auf den Markt. Zu nennen sind der Naarva-Grip Fällkopf oder die Sammelaggregate ABAB 350 und Bracke C 16.a.

### Harvester

Auch die **Harvestertechnologie** kann für die Fällung der Bäume eingesetzt werden. Empfohlen wird diese Technik bei Ernteintervallen von mindestens zehn Jahren.<sup>27</sup>

### Hackschnitzel-Vollernter

Als Hackschnitzel-Vollernter bezeichnet man Maschinen, die die Bäume in einem Arbeitsgang vom Stock trennen und hacken. Mehrere Typen wurden in Deutschland im Versuchseinsatz erprobt. Diese Erntetechnik, als „Einquasenernte“ bezeichnet, stellt ein besonders effizientes Arbeitssystem dar. Dieses wurde in mehr als zwanzig Entwicklungen weltweit erprobt, aber meist nicht zur Praxisreife geführt.<sup>28</sup>

Der **Claas Jaguar** ist ein selbstfahrender modifizierter Maishäcksler, der für die Ernte von Korbweiden in Schweden konstruiert wurde. Eine Frontgabel setzt die Bäume unter Spannung, so dass das abgetrennte Stammende in den Einzugschacht gedrückt wird. Der Vollernter arbeitet mit zwei Kreissägen zweireihig im sogenannten „Parallelverfahren“ das heißt, neben der Erntemaschine fährt ein Traktor mit einem Hänger, auf den die Hackschnitzel geblasen werden. Die Maschine erntet Korbweiden mit ihrem strauchartigen Habitus sehr effektiv, hat bei Balsampappeln aber Probleme.<sup>29</sup> Der Claas Jaguar wurde im Jahr 2001 in Baden-Württemberg in der Pappelernte getestet).

Den **Austoft 7700** entwickelte die australische Firma Austoft Industries für die Zuckerrohrernte. Der Erntevorgang ähnelt dem des Claas-Häckslers. Eine Abweisergabel drückt die Stämme nach vorn, zwei Kreissägenblätter trennen sie von den Stöcken. Vertikal rotierende Walzen und ein Einzugsmechanismus führen die Stämme horizontal in das Hackaggregat. Der Transport der Hackschnitzel erfolgt durch ein parallel fahrendes Hängergespann.

Der **Gehölmähhäcksler (Mäh Hacker)** wurde von Wieneke und speziell für die Ernte von Balsampappel Kurzumtriebsplantagen entwickelt.<sup>30</sup>

<sup>25</sup> HARTMANN und THUNEKE (1997)

<sup>26</sup> WIPPERMANN und STAMPFER, 1995 a, b

<sup>27</sup> SCHOLZ et al. (2009)

<sup>28</sup> SCHOLZ et al. 2006

<sup>29</sup> HARTMANN und THUNEKE 1997

<sup>30</sup> Döhrer (WIENEKE 1993; DÖHRER 1995b)



Die einreihig arbeitende Maschine ist ein Frontanbaugerät für Schlepper ab 90 KW. Sie erntet mit angehängtem Kipper oder mit parallel fahrendem Schleppergespann zur Aufnahme der Hackschnitzel (Bunker- bzw. Parallelverfahren).

Der Vorsatz der Firma **Biomasse Europa** ist ein Anbaugerät für alle gängigen Maishäcksler.

Nach Angaben der Firma ist der Vorsatz in der Lage, Balsampappeln bis zu einem Stockdurchmesser von zwölf Zentimeter zu ernten. Das Gerät ist mit einer Abweiser-Gabel ausgestattet und ähnelt dem **Claas**-Gebiss.

Eine Maschine aus Deutschland wurde vor einigen Jahren von der Firma **Krone** vorgestellt.

Auch hier handelt es sich um ein spezielles Holz-Gebiss an einem Maishäcksler-Chassis des Herstellers.

	1	2	3	4	5	6	7
<b>Erntelinie</b>	5-jähriger Umtrieb	5-jähriger Umtrieb	5-jähriger Umtrieb	5-jähriger Umtrieb	5-jähriger Umtrieb	10-jähriger Umtrieb	10-jähriger Umtrieb
	<b>Motor-manuelles Fällen - Hacken manuell</b>	<b>Motor-manuelles Fällen - Hacken kran-beschickt</b>	<b>Motor-manuelles Fällen - Vorkonzentrieren - Hacken kran-beschickt</b>	<b>Fäller-Bündler - Rücken - Hacken am zentralen Platz</b>	<b>Gehölmäh-häcksler</b>	<b>Fällen - Rücken - Hacken am zentralen Platz</b>	<b>Harvester-fällung - Rücken - Hacken am zentralen Platz</b>
<b>Gerät</b>	Motorsäge (2,6 KW)	Motorsäge (2,6 KW)	Motorsäge (2,6 KW)	Fäller-Bündler TJ 720 an Timberjack TJ 870 (114 KW)	-	Motorsäge (2,6 KW)	Harvester Timberjack 870
<b>Verbrauch</b>	<b>3,19 kg</b> Zweitakt-gemisch	<b>3,19 kg</b> Zweitakt-gemisch	<b>2,99 kg</b> Zweitakt-gemisch	<b>23,41 kg</b> Diesel	-	<b>0,93 kg</b> Zweitakt-gemisch	<b>12,28 kg</b> Diesel
	<b>1,91 kg</b> Sägen-kettenöl	<b>1,91 kg</b> Sägen-kettenöl	<b>1,77 kg</b> Sägen-kettenöl	-	-	<b>0,55 kg</b> Sägen-kettenöl	-
<b>Gerät</b>	-	-	Traktor mit Frontgabel (74 KW)	Rücke-maschine Ponsse S16 (158 KW)	-	Rücke-maschine HSM 805 (85 KW)	Rücke-maschine HSM 805 (85 KW)
<b>Verbrauch</b>	-	-	<b>7,30 kg</b> Diesel	<b>8,68 kg</b> Diesel	-	<b>12,54 kg</b> Diesel	<b>12,54 kg</b> Diesel

Abbildung 13: Auszug aus Leistungs- und Verbrauchswerten unterschiedlicher Erntverfahren

Umtriebszeit (Jahre)	5	5	5	5	5	10	10
Erntelinie	Motor-manuelles Fällen - Hacken manuell	Motor-manuelles Fällen - Hacken kran-beschickt	Motor-manuelles Fällen - Vorkonz. - Hacken kran-beschickt	Fäller-Bündler - Rücken - Hacken am zentralen Platz	Gehölmäh-häcksler	Fällen - Rücken - Hacken am zentralen Platz	Harvesterfällung - Rücken - Hacken am zentralen Platz
Systemleistung t atro/h (GAZ)	1,04	1,32	1,12	1,70	3,39	1,83	1,69

Abbildung 14: Zeitstudien im Durchforstungsbereich<sup>31</sup>

### Alternativen für die Abfuhr-Logistik.

Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit spielt nicht nur die Durchsatzleistung des Häckslers eine Rolle, sondern auch die Logistik für die Abfuhr des Erntegutes. Wird ein Anhänger hinter den Häcksler gehängt, müssen die Hackschnitzel zum Feldrand transportiert und dort auf Container oder andere Anhängerfahrzeuge überladen werden. Das erfordert zwar weniger Personal und reduziert die Gefahr der Verletzung von Pflanzenstößen und Reifenschäden am Transportfahrzeug, verursacht aber einen hohen Anteil von Nebenzeiten und verringert dadurch die effektive Hektarleistung der Erntemaschine. Nutzt man hingegen die aus der Maisernte bekannte Transportlogistik mit nebenherfahrenden Transportfahrzeugen reduzieren sich diese Nebenzeiten. Es müssen jedoch immer mindestens zwei Transportfahrzeuge vorhanden sein, damit der Häcksler nicht zum Stillstand kommt. Schwierig ist auch das Parallelfahren in den relativ engen Fahrgassen. Damit Pflanzen und Reifen nicht beschädigt werden, ist beim Fahren höchste Konzentration erforderlich. Wichtig ist zudem, dass Spurweiten und Bereifungen der Transportfahrzeuge zu Reihenabständen und Fahrgassen in den Plantagen passen.

Als weitere Alternative bietet sich das System JAGUAR FIELD SHUTTLE von CLAAS an. Wird der FIELD SHUTTLE mit Wechselcontainern in Kurzumtriebsplantagen eingesetzt, müssen am Vorgewende lediglich die Containerausgetauscht werden.

<sup>31</sup> EBERHARDINGER et al.(2009)



## 9. Entwicklung eines auf CultNature bezogenes Leitkonzeptes

### Definition Energiepark/ Biomassepark

Als Energieparks werden Flächen bezeichnet, auf denen Systeme zur Energieumwandlung, welche meist aus erneuerbaren Energieformen gespeist werden, errichtet werden und somit Strom, Wärme und auch Kraftstoffe produzieren. Grundlegend ist dabei, dass die Fläche auf welcher der Energiepark gebaut wird, zusammen mit sämtlichen Gebäuden (z.B. Übergabestationen, Messstationen, Lagerräume etc.), und Maschinen (Windräder, Photovoltaikanlagen, Speichereinheiten etc.) als eine Einheit betrachtet wird, also eine räumliche und organisatorische Zusammengehörigkeit gegeben ist. Zur Erzeugung von Strom, Wärme und Kraftstoff können jedoch auch andere erneuerbare Energieträger gewählt werden wie zum Beispiel Biomasse. In der Regel wird die Biomasse in Form von Kurzumtriebsplantagen produziert, auf denen schnellwachsende Hölzer und Gräser angebaut werden.

Wie schon in vorherigen Kapiteln beschrieben, kann sie in verschiedenste Endenergieträger umgewandelt werden und so dem Verbraucher bedarfsgerecht geliefert werden. Im Folgenden wird sich diese Diplomarbeit mit diesen sogenannten Biomasseparks beschäftigen. In ihrer Ausrichtung und Zielsetzung unterscheiden sie sich nicht von einem Energiepark, doch während hierbei der Raum geographisch betrachtet nur eine kleinere Rolle spielt, ist die Frage nach räumlichen Gegebenheiten bei einem Biomassepark essentiell. Es muss überlegt werden, welche Gebiete sich als Standort eignen, welche Art der Anlage gewählt werden soll, welche städtebaulichen Gegebenheiten beachtet werden müssen und nicht zuletzt welche Biomasse sich zum Anbau eignet.

### Biomassepark Zeche Hugo – Das Projekt

Das Ruhrgebiet wurde Jahrzehnte lang durch den Bergbau, genauer dem Kohleabbau geprägt. Um den Kohleabbau herum entwickelte sich eine blühende Industrie, angefeuert durch die unter Tage pausenlos geförderte Kohle. Gewaltige Industrieanlagen wurden errichtet, Kohlekraftwerke versorgten sie mit der nötigen Energie und die notwendigen Verkehrswege wurden geschaffen. Das Ruhrgebiet entwickelte sich zu einem der größten Industriegebiete Europas, es wurden immer mehr Zechen errichtet und immer tiefer Kohle abgebaut.

Heutzutage jedoch sind viele der ehemaligen Zechen geschlossen, da es keine Kohle mehr zu fördern gibt, komplette Zechenareale sind ungenutzt und stehen leer, so dass schon vor Jahren angefangen wurde die Bauten rückzubauen oder abzureißen. Zurückgeblieben sind gewaltige Kohlehalden, Berge auf denen die Abfallprodukte aus dem Kohleabbau aufgeschichtet wurden und keine konkrete Nutzung haben und die umliegenden Industriebrachen mit ihren funktionslosen baulichen Altlasten. Oftmals wurden sie begrünt, dienen nun als Naherholungsgebiete für Spaziergänger und Radfahrer, doch grundsätzlich sind sie als zerstörte Natur zu bewerten. Brachliegende Flächen, werden meistens als verseucht oder zumindest als belastet eingestuft und stellen den Eigentümer somit vor Probleme (z.B. Grünflächenmanagement, Dekontamination, Regenwasserversickerung, Sicherheitsdienste, Überwachung) Grundsätzlich sollten unter den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit Ausgleichsflächen geschaffen und eine Wiedernutzbarmachung der Flächen überprüft werden.

*„Auf dem Standort des ehemaligen Bergwerks Hugo 2/5/8 in Gelsenkirchen-Buer entwickelt die RAG Montan Immobilien GmbH den Biomassepark Hugo. Es ist die erste großflächige Kurzumtriebsplantage in einem europäischen Ballungsraum auf einer ehemaligen Bergbaufläche in der Metropole Ruhr. Auf 22 Hektar soll eine Parkanlage mit schnellwachsenden Gehölzen entstehen. Die Umgestaltung der südlichen Teilfläche des ehemaligen Bergwerksgeländes soll voraussichtlich 2012 abgeschlossen sein. Umgesetzt wird die Maßnahme in enger Zusammenarbeit zwischen RAG Montan Immobilien, RAG, der Stadt Gelsenkirchen, dem Umweltministerium NRW und dem Landesbetrieb Wald und Holz NRW.“<sup>32</sup>*

Das Projekt des Biomassepark Zeche Hugo zeichnet sich durch eine Verknüpfung wirtschaftlicher und kultureller Aspekte aus. Auf der einen Seite werden auf dem ehemaligen Zechengelände Pappeln und

<sup>32</sup> [www.energieagentur-nrw.de/biomasse/praxisbeispiele/Biomassepark\\_Hugo.pdf](http://www.energieagentur-nrw.de/biomasse/praxisbeispiele/Biomassepark_Hugo.pdf)

Weiden, die zu der Gattung der schnellwachsenden Hölzer zählen, in Form von Kurzumtriebsplantagen angebaut. Als Energieträger in Form von Holzpellets sollen diese den umliegenden Haushalten in direkter Nähe, zur Energieversorgung zur Verfügung gestellt werden. Auf der anderen Seite soll die durch die ehemals industrielle Nutzung gestörte Landschaft so rekultiviert werden, dass sie wieder eine höhere Lebens-, Wohn- und Standortqualität vermittelt und auch zu einer Verbesserung von Klima und Umwelt beiträgt. Aus diesem Grund wird der Biomassenpark in Form einer Parkanlage geplant welche den Menschen der Stadt als Naherholungsgebiet dienen soll. Der Biomassenpark wird als öffentlicher Raum gestaltet, indem die Menschen gerne ihre Freizeit verbringen können, Rad- und Wanderwege sollen den Park durchziehen und zur Erkundung einladen. Auch sind Projekte der Umweltbildung geplant, wie z.B. „Landschaftlabore“. Der Mensch soll hier ein Bewusstsein für den Umgang mit der Natur als Energieträger gewinnen, Schulen und Kindergärten können an Versuchs- Weidenplantagen selber schneiden und ernten. Die folgende Abbildung gibt das geplante Konzept und gibt einen ungefähren Überblick über die Aufteilung des 22 Hektar großen Areal.



Abbildung 14: Biomassepark Zeche Hugo



Abbildung 5: Biomassepark Zeche Hugo

Beispiel: Energiepark Westerholt – Ein nahversorgungs Energie-Contracting-Konzept zur Betreibung von Biomasse befeuerten BHKW

## Projekt Westerholt

Der Bergbau und seine Auswirkungen haben das Ruhrgebiet maßgeblich gestaltet und blicken auf eine lange geschichtliche Entwicklung zurück. Im 14. Jahrhundert wurde zum ersten Mal die im Ruhrtal bis an die Erdoberfläche stoßende Kohle abgebaut. Knapp 700 Jahre später steht der Bergbau im Ruhrgebiet vor dem Aus.

Hohe Sicherheitsstandards und die extrem tiefe Lage der Ruhrkohle ( bis zu 1000 Meter unter Tage und mehr) machen den Abbau deutlich teurer als in anderen Erdteilen. Subventionen des Staates laufen im Jahre 2018 aus, so dass ein Großteil der Zechen die Kohleförderung bereits eingestellt hat oder in den nächsten Jahren einstellen wird. Komplette Zechenareale stehen leer und bleiben ungenutzt. Es stellt sich die Frage wie diese sinnvoll genutzt werden können. Oftmals werden sie begrünt und dienen als Naherholungsgebiet oder ihre Fläche dient für den Bau von Einkaufszentren, Technologieparks, Logistikflächen oder dergleichen.

Auf dem Gelände der ehemaligen Zeche Westerholt, die im Dezember 2008 stillgelegt wurde, soll neben Wohnquartieren und Bürokomplexen ein Biomassepark entstehen. Die Zeche Westerholt liegt auf den Flächen der Städte Gelsenkirchen und Herten und verbindet diese miteinander.

Die RAG Montan Immobilien ist im Besitz des Grundstückes und plant auf diese Weise den gesamten Stadtteil aufzuwerten und das ehemalige Zechengelände ins Stadtbild einzugliedern. Die ehemals durch die industrielle Nutzung gestörte Landschaft soll rekultiviert werden und so eine höhere Lebens- und Wohnqualität vermittelt werden



Abbildung 17: Nutzungskonzept der ehemaligen Zeche Westerholt

Abbildung 17 zeigt das Nutzungskonzept der ehemaligen Zeche Westerholt. Im nördlichen und östlichen Teil des Zechengeländes sollen Wohnquartiere entstehen und zentral ein Büro-/Verwaltungsgebäude.

Der Biomassepark soll auf drei Teilflächen entstehen:

- Teilfläche West ( ca. 4,45 ha mit maximaler Nutzungsdauer von 10 Jahren)
- Teilfläche Mitte ( ca. 1,67 ha)
- Teilfläche Ost ( ca. 5,55 ha)

Nach maximal 10 Jahren Nutzungsdauer soll auf der Teilfläche West anschließend ein Gewerbegebiet entstehen.



Ebenso soll das in direkter Nachbarschaft liegende Gelände der ehemaligen Kokerei Hassel für eine Kurzumtriebsplantage genutzt werden. Von ihrer Gesamtfläche von 30 ha stehen 15 ha für den Anbau schnell nachwachsender Baumarten zur Verfügung.

## **Mögliche Modelle**

### **Contracting (Fremdversorgung)**

Der Begriff Contracting stammt aus den englischen und bedeutet soviel wie zusammenziehend oder auch vertragsschließend. In Deutschland wurde das Contracting vor mehr als 30 Jahren eingeführt und basiert auf dem in den USA verwendeten Performance-Contracting. Man unterscheidet zwischen Energiespar-, Anlagen- und Finanzierungs-Contracting. Hinzu kommt das Betriebsführungs-Contracting dem das Verfahren dem Anlagen-Contracting sehr ähnelt. Da für das Projekt Westerholt nur das Anlagen-Contracting von Bedeutung sein könnte, werde ich an dieser Stelle nur darauf eingehen.

Beim diesem Contracting Modell gibt es zwei Vertragsparteien, den Contractor und den Contracting-Nehmer. Vertragsgegenstand ist eine Vollversorgung des Contracting-Nehmers mit Strom und Wärme.

Der Contractor errichtet und betreibt hierfür das BHKW auf eigenes Risiko und Kosten und bindet Contracting-Nehmer mit langfristigen Verträgen an sich. Der Vertrag zwischen beiden Parteien umfasst Punkte wie Preisbestimmung, Preisanpassung, Laufzeit, Leistungen des Contractors und das Eigentum am BHKW. Was den letzten Punkt angeht, bleibt der Contractor in der Regel Eigentümer der Anlage, auch wenn diese auf dem Grundstück oder in Räumlichkeiten des Contracting-Nehmers errichtet wurde. Des Weiteren kümmert er sich um die Verträge mit dem örtlichen Netzbetreiber, die Zulassung des BHKW sowie um sonstige Rechtsfragen.

Die Pflicht des Contracting-Nehmers liegt lediglich darin, bisherige Strom- und Wärmelieferungsverträge - falls vorhanden.- zu kündigen.

Handelt es sich um einen Contracting-Vertrag in der Wohnungswirtschaft zwischen dem Contractor und Vermieter, ist der Vermieter verpflichtet, falls der Contractor „ausfällt“ für eine ununterbrochene Beheizung der Mietwohnungen zu sorgen.<sup>33</sup> Fällt die Versorgung mit Wärme aus ist der Mieter zur Mietminderung berechtigt. Eine entsprechende Pflicht des Vermieters zur Lieferung von Strom besteht dagegen nicht.

---

<sup>33</sup> Suttor, Wolfgang: Blockheizkraftwerke - Ein Leitfaden für den Anwender, 2009, S. 122



## 10.Ausblick

Algen sind eine bislang wenig genutzte natürliche Rohstoffquelle. Dabei sind sie aufgrund der hohen Wachstumsraten, ihrer Genügsamkeit beim Wachstum z.B. Nutzung von **Kohlenstoffdioxid** (CO<sub>2</sub>) aus Verbrennungsprozessen als C-Quelle, der Fähigkeit zum Aufbau von **Lipid- oder Kohlenhydratspeichern** für eine energetische Nutzung geeignet. Bei der Produktion von einer Tonne Algenbiomasse werden rund zwei Tonnen CO<sub>2</sub> gebunden, welches beim Verbrennungsprozess naturgemäß jedoch wieder freigesetzt wird. Somit ließe sich mit Algenbiomasse zumindest ein CO<sub>2</sub>-neutraler Treibstoffzyklus aufbauen. Da Algen je nach Wachstumsbedingungen einen Lipidgehalt von bis zu 70 Prozent erreichen können, eignen sie sich hervorragend als Rohstoff für die Biodieselgewinnung.

In vielen asiatischen Ländern werden Algen traditionsgemäß als Nahrungsmittel genutzt. Darüber hinaus gibt es verschiedene Verfahren, mit denen Wertstoffe aus Algen gewonnen werden. Die weltweit verarbeitete Menge an Algen lag im Jahr 2009 bei ca. 9 Mio. Tonnen, womit ein Umsatz von schätzungsweise 3,5 Mrd. € erzielt wurde. Vor dem Hintergrund der absehbaren Verknappung fossiler Ressourcen und des Klimawandels ist zu vermuten, dass die Nutzung von Algen als Biomassequelle weiter in den Fokus rückt.

### Vorteile der Nutzung von Algen als nachwachsender Rohstoff:

- Algen benötigen kein Ackerland und stehen somit nicht in Konkurrenz zur Erzeugung von Lebensmitteln.
- Mikroalgen weisen gegenüber höheren Landpflanzen den wesentlichen Vorteil auf, dass sie kein Lignin enthalten, geringe Cellulose- und Nukleinsäuregehalte und dafür einen hohen Proteinanteil aufweisen. Darüber hinaus zeichnen sich Algen vor allem durch höhere Wachstumsraten und Flächenerträge in der Biomasseproduktion aus.
- Sie nutzen CO<sub>2</sub> als Kohlenstoffquelle und können so beispielsweise zur Reduktion von CO<sub>2</sub> aus Kraftwerksabgasen dienen.

Biomasse	Ertrag t(TS)/ha*a	in	Geb. CO <sub>2</sub> t/ha*a	in	Energiegehalt MWh/ha	in	Preis €GJ	in
Mikroalgen (Becken)	40-60		66-100		166-250		k.A.	
Mikroalgen (Reaktor)	80-120		130-200		333-500		k.A.	
Mais, Ganzpflanze	15-20		25-35		75-100		0,5-0,8	
Waldholz (Buche)	4-7		7-12		20-35		3-10	
Schnellw. Bäume	6-20		10-35		30-100		3-10	

Insgesamt ist zu beobachten, dass die globale Nutzung von Algenbiomasse und deren Konversion zu beispielsweise Wert- und Wirkstoffen, Biopolymeren und Energieträgern weiter zunimmt.

### Nachteile und Optimierungsmöglichkeiten bei der Nutzung von Algen als nachwachsender Rohstoff:

- Die grundflächenbezogene Produktivität ist in offenen Becken geringer als in Bioreaktoren, da die Nutzung des Lichts auf die oberen Schichten begrenzt ist.
- Hohe Investitionskosten für Bioreaktoren und zusätzlich höhere Reinigungskosten.
- Verunreinigungen in offenen Becken (Open Ponds) da keine reinen Mikroalgenstämme. Standorte mit ganzjährig hoher Solarstrahlungsintensität und warmem Klima notwendig,

Deutschland nur 1000 kWh/m<sup>2</sup>/a, Sahara, Australien, Küste Somalia 2.500 kWh/m<sup>2</sup>/a > künstliche Alternative: hohe Energiekosten für Wärme und Licht.

- Energieaufwändige Abtrennung und Aufbereitung der Algenbiomasse (Filtration und Trocknung)

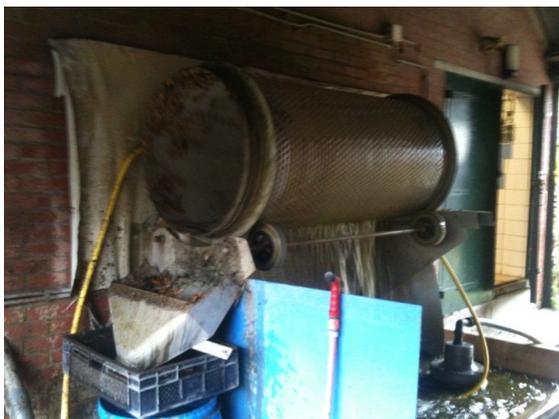
### **Leistungsfähige Algenbiotechnologie in Deutschland:**

In der Bioverfahrenstechnik und im mikro- und molekularbiologischen Bereich sind zahlreiche Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Algenbiotechnologie aktiv. Zudem beschäftigt sich eine kleine Anzahl von Unternehmen mit der Produktion von Algen und deren Produkten sowie der Fertigung von entsprechenden Produktionsanlagen.

Kultivierung von Chlorella in Röhrenreaktor in Klötze, Betreiber: Roquette Klötze GmbH & Co. KG

Gerade in jüngster Zeit zeigen vor allem Energieversorgungsunternehmen ein starkes Interesse an der Nutzung von Algen, was dazu führte, dass mehrere Pilotanlagen zur Entfernung von CO<sub>2</sub> aus Kraftwerksabgasen in Deutschland errichtet wurden.

Im folgend einige Bilder aus einer Algenfarm in Holland wo auf ungefähr 1 Hektar jährlich 15.000 Kg Trockenmasse Algen erzeugt werden.



**Bilder aus einer Algenfarm in den Niederlanden**