

# Biomasse – gespeicherte Sonnenenergie aus der Vielfalt der Pflanzenarten – Potenziale, Bereitstellung, Konversion

Prof. Konrad Scheffer  
 Universität Gh Kassel,  
 Institut für  
 Nutzpflanzenkunde  
 Steinstr. 19  
 D-37213  
 Witzenhausen  
 scheffer@uni-kassel.de

## 1. Zusammenfassung

Der Energieträger Biomasse wird in den kommenden Jahrzehnten den größten Beitrag zu einer solaren Energiewende leisten. Für die Bundesrepublik Deutschland beträgt das energetisch nutzbare Potenzial mindestens 20% vom derzeitigen Energieverbrauch und erhöht sich entsprechend dem Umfang an Energieeinsparmaßnahmen.

in Erprobung. Entscheidende Kriterien bei der landwirtschaftlichen Bereitstellung von Biomasse sind günstige Energie- und Ökobilanzen, d.h. hohe Flächenerträge bei Vermeidung umweltschädigender Maßnahmen und Nutzung einer Vielfalt von Pflanzenarten, wie es mit dem Zweikultur-Nutzungskonzept möglich ist. An einem Rechenbeispiel wird der Flächenbedarf für die Versorgung eines Dorfes mit Strom und Wärme dargestellt.

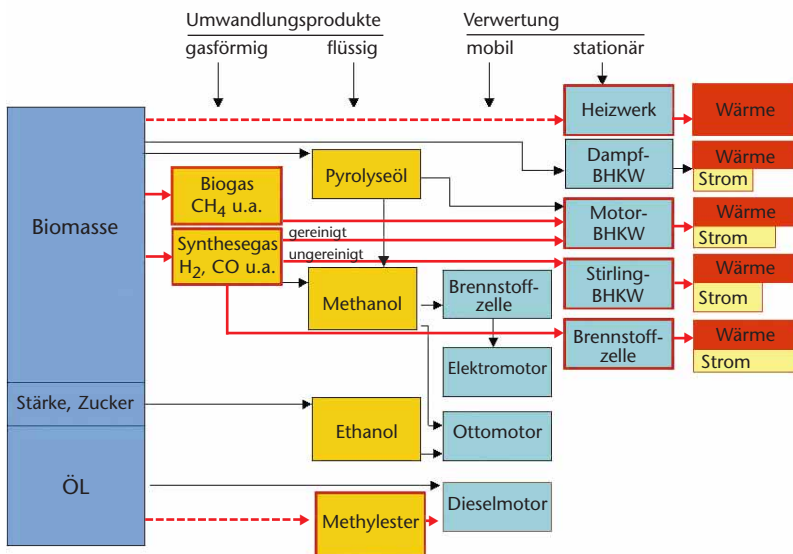


Abbildung 1  
 Möglichkeiten der  
 Umwandlung und  
 Verwertung von  
 Biomasse als  
 Energieträger

Der größte Anteil kommt aus dem landwirtschaftlichen Anbau von Energiepflanzen. Während mit Windkraft und Photovoltaik nur Strom produziert werden kann, der bei uns 17% des Endenergieverbrauches ausmacht, ist die als Biomasse gespeicherte Sonnenenergie in alle Energieformen umwandelbar. Zu ihrer Herstellung stehen die verschiedensten Konversionsverfahren wie Vergärung, Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse, Ethanol-, Methanol, Wasserstoffsynthese, Motor-BHKW, Stirlingmotor, Brennstoffzelle u.a.m. zur Verfügung oder sind

## 2. Bedeutung der Biomasse als Energiequelle, Potenziale

Die Substitution fossiler Energieträger durch regenerative Energiequellen wird hauptsächlich durch Biomasse erfolgen (Lehmann, [5] 1998, Vahrenholt, [10] 1999) Während mit Photovoltaik, Wind- und Wasserkraft nur Strom mit mehr oder weniger großen Angebotsschwankungen produziert werden kann, steht diese Quelle speicherfähiger Sonnenenergie für alle Bereiche des Energiemarktes ohne Angebotschwankungen entweder originär oder nach biologischen, chemischen oder physikalischen Umwandlungen als Gas oder Flüssigkeit zur Verfügung.

Abb. 1 gibt einen Überblick über technische Möglichkeiten der Konversion und Verwertung von Biomasse. Ein Blick auf die Anteile einzelner Energieformen am Endenergieverbrauch in Deutschland macht deutlich, dass eine klima- und ressourcenwirksame Substitution fossiler Energie hauptsächlich im Wärme- und Treibstoffbereich erfolgen muss, weil der Anteil des Stroms am Endenergieverbrauch nur 17% beträgt. Dabei wird auch die zukünftig bedeutende Wasserstoff-Technologie (stationärer und mobiler Einsatz von Brennstoffzellen) aus Kos-

tengründen auf Biomasse und weniger auf elektrolytischer Wasserspaltung basieren. Der weltweite jährliche Zuwachs an Biomasse mit der in ihr gespeicherten Energie übertrifft das Mehrfache des Weltenergieverbrauchs. Der Energiewert der Nahrung für die Weltbevölkerung beträgt von dieser Gesamtbiomasse jedoch nur ca. 1%. In Deutschland steht nach unseren Schätzungen ein nutzbares Potenzial an Biomasse von 2.343 Petajoule (PJ) zur Verfügung. Das entspricht 16% des Primärenergie bzw. 24% des Endenergiebedarfs. Die Differenz zwischen Primär- und Endenergieverbrauch beruht hauptsächlich auf den Wärmeverlusten bei der Stromproduktion. Da der größte Teil der Biomasse für die Wärme- und Treibstoffproduktion verwendet und Strom aus Biomasse durch verlustarme Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt werden wird, sollte das Substitutionspotenzial der Biomasse eher auf den Endenergieverbrauch bezogen werden. Neben den Wärmeverlusten bei der Stromproduktion resultiert die Differenz zwischen Primär- und Endenergie zu 20% aus dem stofflichen Verbrauch fossiler Energieträger. Viele Roh- und Wertstoffe werden zukünftig aus der Vielfalt der Pflanzenarten hergestellt. Die Differenz verringert sich weiter, wenn diese nach Ende ihrer Funktion nicht kompostiert, sondern energetisch genutzt werden (vgl. Abb. 2).

Abb. 3 gibt eine Übersicht über die Biomasseherkünfte. Den größten Anteil kann mit 1.561 PJ die Landwirtschaft bereitstellen, während aus der Forstwirtschaft bei intensiverer Nutzung der Wälder 680 PJ, aus Landschaft und Kommunen 102 PJ zur Verfügung stehen könnten. Zusätzlich können organische Abfälle aus der Industrie energetisch genutzt werden.

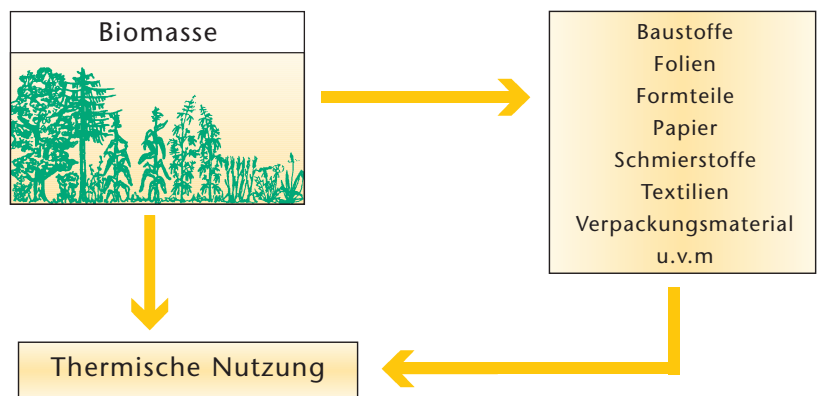
### 3. Bereitstellung der Biomasse

Im Ressourcen- und Klimaschutz liegen allgemein anerkannte Umweltwirkungen der energetischen und stofflichen Biomassenutzung. Zusätzlich bieten jedoch diese Nutzungsformen große Chancen einer Entlastung natürlicher und bewirtschafteter Biotope durch ökologisch orientierte Landnutzungsformen. Diese liegen in:

- Schutz bzw. Erhöhung von Pflanzen-

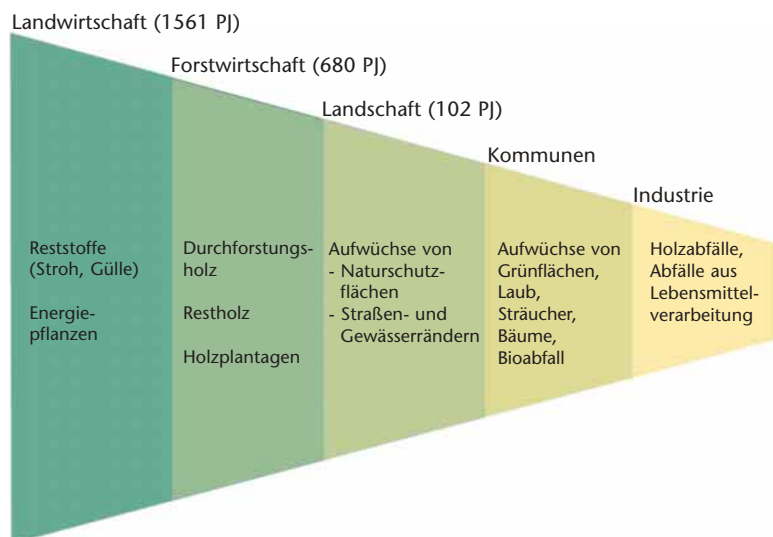
- und Tierartenvielfalt,
- Verhinderung einer Eutrophierung schutzwürdiger Biotope,
- Erhaltung genetischer Ressourcen,
- Verhinderung von Bodenerosion,
- Vermeidung von Nährstoff- und Pestizideinträgen in das Grundwasser,
- Verringerung der Emissionen von Gasen, die Klima, Boden und Gewässer belasten.

Abbildung 2  
Schema der energetischen und stofflichen Nutzung einer Vielfalt von Pflanzenarten



Die geforderten ökologischen Landnutzungsformen müssen zusätzlich eine hohe Effizienz in der Flächenproduktivität (hohe Erträge bei niedrigem Energieaufwand) haben, um zusätzlich zur Deckung des Nahrungs- und Futterbedarfs noch Energie- und Wertstoffe bereitstellen zu können. Dazu ist auch, wie Jahrhunderte zuvor, eine intensivere, aber nachhaltige Nutzung der Wälder notwendig.

Abbildung 3  
Aufkommen von Biomasse aus verschiedenen Produktionsbereichen und verfügbares Energiepotenzial (PJ)



Unsere Nutzungskonzepte erstrecken sich auf landwirtschaftliche Nutzflächen, Naturschutzflächen, Wege- und Gewässerränder sowie kommunale Grünflächen. Voraussetzung für die Umsetzung o.g. Ziele ist die Ernte, Lagerung und Brennstoffaufbereitung von feuchter Biomasse ([8] Scheffer, 1998; [9] Stülpnagel, 1998).

### 3.1. Lagerung und Aufarbeitung

Die Grenze zwischen trockenen und feuchten Biomassen, die als Energieträger Verwendung finden sollen, ist ein Wassergehalt von 15%. Biomassen mit einem Wassergehalt von 15%, der sich zur Ernte eingestellt hat oder durch Trocknung auf dem Feld herbeigeführt wurde, sind lagerstabil. Steigt der Wassergehalt über 15%, so ist eine Trocknung oft nicht möglich. Diese Biomassen verrotten unter Substanzverlust, Geruchsbildung, Gefahr der Selbstentzündung und Schadgasemissionen. Konservierungsverfahren, wie sie in der Lebensmitteltechnologie angewandt werden, sind zu teuer.

Einerseits fordern wir eine ökologisch verträgliche Produktion der Biomasse, andererseits müssen sich Chancen für Landwirte eröffnen, in dezentralen Anlagen selbst Energie zu produzieren, damit über zusätzliche Wertschöpfung bäuerliche Existenzen gesichert werden können. Der Landwirt wird zum Energiewirt (vgl. [2] Groß, Scheffer, 2000). Die in Abb. 4 aufgezeigten Nutzungsmöglichkeiten von Feuchtbio-masse stellen eine solche Chance dar.

Den einfachsten, technisch erprobten Weg stellt die Fermentation zu Biogas dar. Dabei können auch die auf dem Bauernhof anfallenden tierischen Exkremente (Gülle) mitgenutzt werden. Der Nachteil der Fermentation von Biomasse besteht in der geringeren Energieausbeute und dem zusätzlichen Wärmebedarf für die Beheizung des Fermenters.

Zukünftig werden die Techniken der Vergasung oder Pyrolyse bedeutsamer, weil hiermit eine um ca. 30 % höhere Energieausbeute zu erzielen ist. Die Aufbereitung des Siliergutes zu Brennstoff für Vergasung und Pyrolyse erfolgt durch Entwässerung mit einer Schneckenpresse auf einen Trockensubstanzgehalt von 60%, und ist damit vergleichbar mit Holzhackschnitzeln und Braunkohle. Als Vergasungsprozess würde sich die allotherme Vergasung (externe Energiezufuhr) am besten eignen, weil hierzu feuchte Biomasse benötigt wird. Wir hoffen, daß in wenigen Jahren Anlagengrößen mit elektrischen Leistungen von <300 kW zur Verfügung stehen. Wie aus Abb. 1 ersichtlich, kann das Synthesegas - von Teerstoffen befreit - ein Motor-BHKW oder ungereinigt einen Stirlingmotor antreiben.

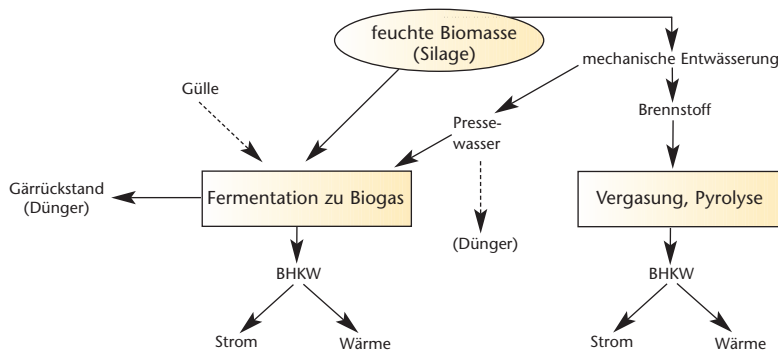


Abbildung 4  
Zwei Nutzungswege  
für feuchtkonservierte  
Biomasse mit der  
Möglichkeit ihrer  
Kombination

Gegenwärtig können nur mit Hilfe von Milchsäurebakterien unter anaeroben Bedingungen, also in Form der in der Landwirtschaft zur Futterkonservierung praktizierten Silagebereitung, feuchte Biomassen in großen Mengen konserviert werden. Anaerobe Verhältnisse setzen hohe Verdichtung voraus. Daher muss das Material stark zerkleinert und ausreichend feucht (>50% Wassergehalt) sein. Nahezu alle nicht holzartigen Pflanzenarten sind auf diese Weise konservierbar.

Durch den Entwässerungsvorgang erfolgt eine erhebliche qualitative Aufwertung des Brennstoffes, denn mit dem Wasser werden dem Brennstoff auch in ihm gelöste Mineralstoffe entzogen. Bis zu 50% des in den Pflanzen enthaltenen Stickstoffs und 40 bis 80% der übrigen Mineralstoffe werden aus dem Brennstoff entfernt. Damit vermindern sich u.a. durch Stickstoff bedingte NO<sub>x</sub>-Emissionen und durch Chlorid und Kalium hervorgerufene Korrosionsschäden ([3] Heinz et al., 1999). Versuche zur Verbrennung und Vergasung von entwässerter Maissilage in größeren Anlagen haben sehr

gute Emissionswerte ergeben (Scheffer et al., 1996). Mit der Silierung sind 7% und der Entwässerung 12% Substanzverluste verbunden. Substanzverluste bei der Entwässerung bestehen aus sedimentierbaren festen und aus löslichen Bestandteilen, wie Mineralstoffen, Milchsäure und anderen organischen Säuren. Bei Zufuhr des Presswassers in eine Biogasanlage können die organischen Bestandteile voll genutzt werden (vgl. Abb. 4).

### 3.2. Feuchtbiomasse vom Acker

Das neue Anbausystem beruht auf der Ernte von möglichst zwei Kulturen pro Jahr. Eine Zweifachnutzung wird möglich, da die Ausreife der Erstkulturen nicht abgewartet und somit Vegetationszeit für den Anbau einer Zweitkultur gewonnen wird. Die Zweitkultur wird nach der Ernte der Erstkultur ohne Bodenbearbeitung zwischen die Stoppeln gesät. Die Stoppeln der Vorfrucht bieten einen idealen Schutz vor Bodenerosion.

Beispiele für überwinternde Kulturen sind die heimischen Getreidearten, des weiteren Raps und Rübsen, Futterpflanzen und Stickstoff fixierende Winterleguminosen. Als Folgekulturen können die hoch produktiven Pflanzen Mais und Hirse sowie Sonnenblumen, Hanf, Ölrettich und Gräser angebaut werden (vgl. Abb. 5).

Artenvielfalt und Nutzung pflanzengenetischer Ressourcen sind in beliebiger Vielfalt möglich. Da Reifetermine nicht abgewartet werden müssen, kann fast jede Form von Sorten- und Artenmischungen gewählt werden. An die Pflanzenarten werden keine besonderen Qualitätsansprüche gestellt. Damit erweitert sich das Spektrum der nutzbaren Herkünfte bis hin zur Nutzung vieler sonst nur in Genbanken aufgehobener pflanzengenetischer Ressourcen. Wie unsere Versuche mit Gerste ([1] v. Buttlar, 1996) gezeigt haben, können alte Sorten einen höheren Gesamtertrag als moderne Sorten bringen. Ackerwildpflanzen (Unkräuter) sind für Kulturpflanzen nicht nur Konkurrenten um Standort, Wasser und Nährstoffe sowie Wirtspflanzen und Zwischenwirte für Krankheiten und Schädlinge, sondern auch mit ihren Blüten und

Blättern Nahrungsgrundlage für viele Nützlinge eines Agrarökosystems. Sie sind somit Teil der Artenvielfalt, die angestrebt wird.

trocken < 20 %		20-50 %		feucht > 50 %	
Wassergehalt					
reifes Getreide <sup>1</sup>	Schilfgräser <sup>3</sup>			Getreide (in Milch-/Teigreife)	
Heu <sup>2</sup>	Holzhackschnittel <sup>3</sup>			Getreide-Artenmischungen	
				Raps	
				Rübsen	
				Gras	
				Getreide/Winterleguminosen + Ackerwildpflanzen <sup>4</sup>	
				Mais und Hirse	
				Sonnenblumen	
				Hanf	
				Ölrettich	
				Senf	
				Phacelia	
				Gras u.a.m.	

Bei dem Zweikulturnutzungssystem und der thermischen (und stofflichen) Verwertung der Biomasseaufwüchse können im Gegensatz zu anderen Anbauverfahren und Verwertungsrichtungen die Ackerwildpflanzen weitgehend toleriert werden, weil diese Pflanzenarten einen Teil des Gesamtertrages ausmachen. Neben Herbiziden scheidet auch die Anwendung von Fungiziden und Insektiziden aus, weil bei früher Ernte Schaderreger wenig Ertragsverluste hervorrufen ([4] Karpenstein-Machan, 1997).

Die jährlichen Erträge an Trockenmasse (TM) liegen bei ausreichenden Niederschlägen und guter Bodenqualität um mindestens 50% höher als bei konventionellem Anbau von Energiepflanzen wie Triticale. Die von uns erzielten Erträge von 18 bis 25 t TM/ha entsprechen einem Heizöläquivalent von ca. 8.000 bis 11.000 Liter/ha.

### 3.3. Energetische Pflanzennutzung als Naturschutzmaßnahme

Teils mit kleineren, teils mit größeren Fragmenten ist die gegenwärtige Agrar- und Forstlandschaft von naturnahen Landschaftselementen durchsetzt. Obwohl ihr Flächenanteil relativ gering ist, leben in diesen Gebieten die Mehrzahl der schutzwürdigen Pflanzen- und Tierarten ([3] Stülpnagel, 1998). Nicht der Verbleib

Abbildung 5  
Abhängigkeit der nutzbaren Pflanzenvielfalt vom Wassergehalt zum Zeitpunkt der Ernte

der auf diesen Flächen aufgewachsenen Biomassen, sondern ihre Abfuhr und Nutzung zu einem die Fauna nicht schädigenden Termin sind Grundlage für die Stabilität dieser artenreichen Kulturlandschaft. Der Eintrag von atmosphärischem Stickstoff über den Regen und die zusätzliche Fixierung von Stickstoff durch Leguminosen führt sonst zu einer Eutrophierung der Flächen und damit verbundenen zu einer Verarmung an Artenvielfalt.

In vergleichbarem Umfang fallen Biomassen an Straßen-, Weg- bzw. Ackerrändern sowie an See-, Fluss- und Bachufern an. Auch hier findet in hohem Maße eine Eutrophierung statt, weil die Aufwüchse entweder stehenbleiben, oder gemäht und liegengelassen werden. Besonders an Straßenrändern ist neben der sichtbaren Artenverarmung auch mit einer Grundwasserbelastung mit Nitrat-Stickstoff zu rechnen, weil zusätzlich das auf die Straßen fallende nährstoffhaltige Regenwasser durch den Autoverkehr auf die Ränder gespritzt wird.

	Strom	Wärme
Landwirtschaft und Gewerbe	250.000 kWh	50.000 Liter Heizöl
Privathaushalte	750.000 kWh	500.000 Liter Heizöl
Summe:	1.000.000 kWh	550.000 Liter Heizöl
	x 0,20 DM/ kWh	x 0,6 DM/Liter Heizöl
	= 200.000.- DM	(~ 0,06 DM/kWh) = 330.000.- DM
Summe:	<b>530.000,- DM</b>	

Abbildung 6  
Strom und Wärme  
für 500 Einwohner  
(Mengen und Kosten)

Der gesamten Biomasse, die auf den beschriebenen Landschaftselementen wächst, ist, soweit nicht holzartigen Ursprungs, gemeinsam, dass sie sehr hohe Gehalte an brenntechnisch störenden Mineralstoffen wie Chloriden, Stickstoff und Kalium enthält. Bei ihrer Bergung als Heu würden diese im Brennstoff verbleiben, bei Silierung und mechanischer Entwässerung werden sie im Gehalt deutlich reduziert. Darüber hinaus ist Heubereitung an Weg- und Gewässerrändern technisch nicht möglich und auf Naturschutzflächen mit hohem, den Boden belastendem Fahrverkehr durch Mähen, Wenden und Abfahren des Aufwuchses verbunden.

In unserem Fall ist nur ein einmaliges Befahren notwendig, um die Grünmasse zu bergen, weil das Ernten von der Witterung unabhängig und jederzeit möglich ist, wenn die Samen der Pflanzen gereift sind und die Vermehrung der Tiere im Schutz der Vegetation erfolgt ist.

Auf Grund gesetzlicher Vorschriften kommt für die Entsorgung von Abfallbiomasse neben der Verbrennung hauptsächlich nur die Kompostierung in Frage. Diese ist jedoch mit hohen Kosten, Geruchs- und Schadgasemissionen und Absatzschwierigkeiten des Kompostes verbunden. Daher sollte auch die Verwertung kommunaler Abfallbiomassen auf thermischem Wege erfolgen.

#### 4. Flächenbedarf und regionale Wertschöpfung bei einer Strom- und Wärmeversorgung eines Dorfes mit 500 Einwohnern

Abb. 6 gibt den geschätzten Strom- und Wärmebedarf von 500 Einwohnern und die damit verbundenen Ausgaben wieder.

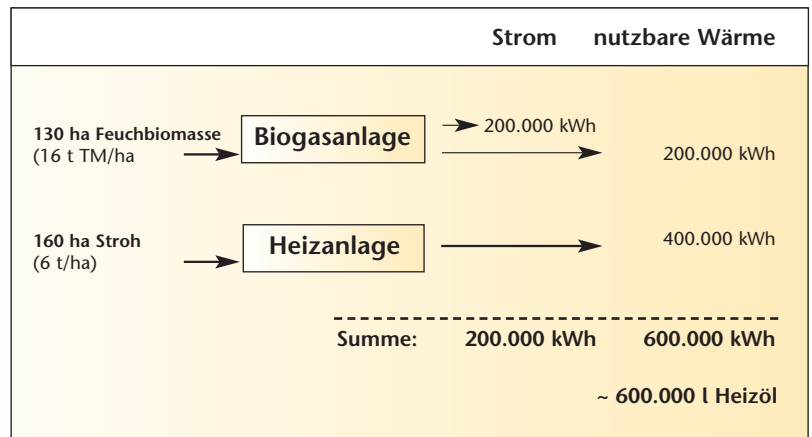
Die Energiebereitstellung erfolgt bei diesem Rechenbeispiel über die Nutzung von feucht-konservierter Biomasse in einer Biogasanlage und von Stroh (oder Restholz) in einer Heizanlage zur Deckung des hohen Wärmebedarfs in den Wintermonaten.

Aus Abb. 7 geht der Flächenbedarf für die Energieversorgung des Dorfes hervor. Bei einem (sehr niedrig kalkulierten) Ertrag von 16 t/ha beträgt er für die Biogasanlage 130 ha. Mit dieser Biomasse produziert das Biogas-BHKW soviel Wärme für Heizung und Warmwasserbereitung, daß der Bedarf in den Übergangs- und Sommermonaten gedeckt ist. Die produzierte Strommenge übersteigt den Bedarf um das Doppelte.

Die Wertschöpfung aus der Feuchtbio-masse beträgt somit 400.000 DM für Strom und 100.000 DM für Wärme, wobei bei der monetären Bewertung der Wärme ein Abzug von

20.000 DM erfolgte, weil im Sommer die Wärme nicht voll genutzt werden kann. Damit verdoppelt sich der Geldertrag der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Einschließlich der Strohnutzung ergibt sich eine Gesamtwertschöpfung von 730.000 DM. Subtrahiert man den Geldertrag von Getreide oder Raps (bisherige Nutzung der 130 ha) von ca. 230.000 DM, so ergibt sich für die Landwirtschaft und damit für die Kaufkraft der Region eine zusätzliche Wertschöpfung von ca. 500.000 DM.



## 5. Literatur

- [1] Buttlar, v., Chr.: Erhaltung pflanzengeneti­scher Ressourcen über den Weg der ener­getischen Nutzung von Ganzpflanzen – am Beispiel der Wintergerste. Diss. Kassel/Witzenhausen, (1996) S.193
- [2] Graß, R. u. K. Scheffer: Der Landwirt als Energiewirt. II. Internationale Eurosolar-Konferenz im Rahmen der Grünen Woche Berlin, Konferenzband, Eurosolar-Verlag Bonn (2000)
- [3] Heinz, A., R. Stülpnagel, M. Kaltschmitt, K. Scheffer, D. Jezierska: Feucht- und Trockengutlinien zur Energie­gewinnung aus biogenen Festbrenn­stoffen – Vergleich anhand von Energie- und Emissionsbilanzen sowie anhand der Kosten. Hrsg.: Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Ratio­nelle Energieanwendung (IER). Forschungsbericht. Band 63 (1999) ISSN 0938-1228
- [4] Karpenstein-Machan, M.: Perspektiven eines pestizidfreien Anbaus von Energiepflanzen zur thermischen Verwertung im System der Zweikulturnut­zung. Konzepte für den Energiepflanzen­bau, DLG-Verlag Frankfurt, (1997) S.183
- [5] Lehmann, H.: Ein solares Energie­versorgungskonzept für Europa. ForschungsVerbund Sonnenenergie, "Themen 98/99", (1998) S. 12 – 18
- [6] Rinke, G.: Verminderung von Ammon­iakemissionen aus Gülle durch die Zu­mischung von michtsäurehaltigem Rest­wasser aus der mechanischen Entwässerung feuchtkonservierter Biomasse als regenerativer Energieträger. Diss. Kassel/Witzenhausen, (1999) S. 183
- [7] Scheffer, K., Stülpnagel, R., Geilen, U. u. Oefelein, T.: Einfluß von Aufberei­tung und Lagerung auf die Brennstoff­eigenschaften feuchter Biomassen. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Bd. 6, Landwirtschaftsverlag Münster, (1996) S. 89 – 107
- [8] Scheffer, K.: Ein produktives, umweltfreundliches Ackernutzungskon­zept zur Bereitstellung von Energie und Wertstoffen aus der Vielfalt der Kultur­pflanzen – Ansätze für neue Wege. Beitr. der Akademie für Natur- und Umwelt­schutz Baden-Württemberg, Bd. 27, (1998) S. 65 – 80
- [9] Stülpnagel, R.: Förderung der Artenvielfalt und Verbesserung der Brennstoffqualität durch die thermische Nutzung von feucht-konservierten Aufwüchsen aus Naturschutz und Grünflächen. Beitr. der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg, Bd. 27, (1998) S. 93 – 116
- [10] Vahrenholt, F.: Globale Marktpotentiale für erneuerbare Energien. Deutsche Shell AG, (1999) S. 15

Abbildung 7  
Flächenbedarf  
zur Strom- und  
Wärmeversorgung  
von 500 Einwohnern