

Berlin, den 26.03.2006

Diplomarbeit

Im Studiengang Landschaftsplanung

Integration regionaler Energieerzeugung in den Landschaftshaushalt

**Am Beispiel einer geplanten Feststoffvergärungsanlage
in Hollenbek / Schleswig-Holstein**

Vorgelegt von:

Mathias Heßler

TU Berlin

Matrikelnummer 197154

Betreut von:

Prof. Wilhelm Ripl (i.R.)

ehem. Institut für Limnologie

an der TU Berlin

Inhalt

1. Einleitung	3
2. Zum Standort	5
3. Zum Stand der fossilen Energieförderung	10
3.1 erneuerbare Energienutzung	12
3.1.1 Sonnenenergie direkt genutzt	13
3.1.2 Windkraft	15
3.1.3 Wasserkraft	17
3.1.4 Biomasse	18
4. Umweltschutzverständnis	21
5. Funktionsweise der Biogaserzeugung	26
5.1 Gärung	26
5.2 zum 3A-Verfahren	29
5.2.1 zur Planung der Anlage in Hollenbek	33
6. Gesetze: EEG und BauGB	35
6.1 weitere gesetzliche Regelungen	40
7. Synergien	41
7.1 kombinierte Energie- und Ressourcenwirtschaft	41
7.2 Zwischenfruchtnutzung	42
7.3 Treibstoffgewinnung	44
8. Bilanzen	48
8.1 Treibstoffeinsatz	48
8.1.1 Wegstrecken	49
8.1.2 Pflanzenanbau	51
8.1.3 Weitere Treibstoffaufwendungen	58
8.2 Treibstoffgewinnung	59
8.3 monetäre Berechnungen	60
8.3.1 Erträge und Vergütung	62
9. Fazit	65
9.1 Ausblick	69
10. Literatur	70
11. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	75

1. Einleitung

In dieser Diplomarbeit soll am Beispiel einer neuartigen Biogasanlage die Einbettung von Strom- und Wärmeerzeugung in den landschaftlichen Stoffhaushalt dargestellt werden. Die Relevanz des Themas resultiert aus der Einsicht, dass im kommenden, nachfossilen Zeitalter nötig sein wird, die Energieversorgung wieder gemeinsam mit der Nahrungsmittelproduktion „überirdisch“ zu gewährleisten: Die unterirdischen Schätze sind bald aufgezehrt, deshalb stehen die Landbewirtschaftler vor der neuen Herausforderung und Chance, auf ihren Flächen ein zusammenhängendes Bewirtschaftungskonzept für die Produktion der Subsistenzgüter (Nahrungsmittel, Energie und Rohstoffe) zu entwickeln.

Vor dem Anbruch des fossilen Zeitalters brachten Zugtiere ihre Energie für die Bewirtschaftung auf, und mussten von den Früchten des Feldes zusammen mit dem Menschen ernährt werden. Auch weit mehr Menschen brachten ihre Kraft auf dem Feld ein.

Neue, unter dem Land hervorquellende Energie entließ nach und nach die meisten Menschen und Tiere aus dieser Arbeit. Nach etwa 200 Jahren bestehen nun berechnete Annahmen, dass die fossilen Energieträger bald unweigerlich zurückgehen. Vergleichbare Energie-Schätze stehen nicht in Aussicht.

Dies wirft für die jetzt lebende Generation viele Fragen auf: Können alle Menschen mit demselben „Lebensstandard“ weiter existieren, und wenn ja, wie? Wie stehen die Chancen unserer Kinder, Enkel und Urenkel? Was wird aus der Industrie, dem Verkehr, dem Wohnen in Wärme und mit fließendem, warmem Wasser? Wie steht es mit der Gerechtigkeit gegenüber den Ländern, die diesen Komfort noch gar nicht entwickeln konnten?

Zwei große Grundlagen bleiben auf jeden Fall nach dem Ende des fossilen Energiezeitalters bestehen:

1. Die Sonne als einzige zuverlässige, in unserem Zeithorizont dauerhafte äußere Energiequelle.
2. Die grünen Pflanzen mit ihrer einzigartigen Fähigkeit, mit Hilfe von Sonnenenergie aus einfachen Molekülen (H_2O , CO_2 und Mineralien) entgegen der Entropie komplexe Biomasse aufzubauen, die von der gesamten Lebenswelt des Planeten für zahllose Zwecke genutzt werden kann.

Nun sind innovative Ideen gefragt, die wieder auf diesen Grundsätzen neu aufbauen. Bewirtschaftungsformen werden entstehen, die ähnlich wie zu Zeiten vor der Nutzung fossiler Energie sind. Über Informationsnetze können binnen Minuten neue (und alte) Ideen rund um den Globus transportiert werden – Materialien und Industriegüter hingegen nicht mehr wie derzeit.

Nahrungsmittel, Strom, Wärme, Baumaterialien und andere Rohstoffe, z.B. für Textilien werden regional erzeugt werden. Die Subsistenz ist längerfristig nur gewährleistet, wenn diese Erzeugung den Wasserhaushalt intakt hält und den Boden nicht degradiert. Genaueres zu diesem Thema befindet sich im 4. Abschnitt – Umweltschutzverständnis.

Die Spezies Mensch hat ihre Anpassungsfähigkeit an völlig neue Bedingungen mehrfach gezeigt: An Hitze und Kälte in unterschiedlichen Regionen der Erde, an Feuer, an eine sesshafte Lebensweise, an verschiedenste Gesellschaftsformen, an tägliche Arbeit (mehr oder weniger), an das Leben in Städten und an viele weitere natürliche oder selbst erzeugte Umstände. Die kommenden Jahre werden zeigen, wie bedacht oder aber abrupt diese nächste große Umstellung passieren wird.

zur Gliederung der Diplomarbeit

Zu Beginn der Diplomarbeit wird der Hof, auf dem die neue Biogasanlage entstehen soll, vorgestellt. Anschließend wird dann im dritten Abschnitt zunächst der Stand der Entwicklung beschrieben, an dem sich die fossile Energieförderung zurzeit befindet; dann folgen im selben Abschnitt einige Informationen über die verschiedenen Formen der erneuerbaren Energienutzung. Im anschließenden vierten Teil wird das Umweltschutzverständnis dargelegt, auf dem diese Diplomarbeit beruht. Es folgt eine Beschreibung des Gärprozesses, wie er in Biogasanlagen stattfindet; in diesem Abschnitt wird auch das „3-A“-Verfahren vorgestellt, auf dem die neu geplante Biogasanlage beruht. Im nächsten, sechsten Abschnitt werden für erneuerbare Energien, insbesondere die Biogaserzeugung relevante gesetzliche Regelungen erwähnt. Am wichtigsten sind das EEG mit den Regelungen zur Vergütung, in diesem speziellen Fall auch das BauGB mit seinen Genehmigungsvorschriften zum Bauen im Außenbereich.

Im anschließenden siebten Teil werden die Synergien beschrieben, die durch die Anlage zustande kommen. Danach werden so knapp wie möglich die geschätzten Treibstoffaufwendungen für den Betrieb der Anlage bilanziert und dem Energiegewinn gegenübergestellt. Trotz der angestrebten Kürze ist dies der umfangreichste Teil der Arbeit, was aber keine inhaltliche Schwerpunktsetzung bedeuten soll. Zuletzt wird im Fazit eine Bewertung und Zusammenfassung gegeben und ein kleiner Ausblick gewagt.

In der gesamten Diplomarbeit treffen allgemeine Aussagen mit speziellen Erläuterungen zusammen, welche die Situation am nachfolgend vorgestellten Standort betreffen. Um diese beiden Ebenen kenntlich zu machen und zur Wahrung einer gewissen Übersichtlichkeit sind die speziellen, den Standort betreffenden Teile

eingerrückt und mit einer seitlichen Linie versehen.

2. Zum Standort

Die geplante Feststoffvergärungsanlage, die Anlass dieser Diplomarbeit ist, soll in Hollenbek entstehen, einem Ortsteil von Behlendorf. Dieses Dorf liegt wenige Kilometer westlich von Ratzeburg im Kreis Herzogtum Lauenburg, im Bundesland Schleswig-Holstein. Auftraggeber der Planung und bereits Betreiber einer kleinen Flüssigvergärungsanlage auf seinem Hof ist der Land- und Energiewirt Hubert Hümme. Er betreibt Ackerbau sowie Schweinezucht und -mast. Bis vor kurzem diente ihm auf dem Hof ein Angestellter, der jedoch inzwischen gekündigt hat.

Mit 160 Zuchtsauen werden Ferkel gezüchtet und etwa zur Hälfte auf dem Hof selbst auch gemästet; auf 62ha Ackerfläche wurden bis zum letzten Jahr Gerste, Raps, Weizen, Dinkel, Mais und Grünland nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus angebaut. Im letzten Jahr musste Herr Hümme von den 41ha, die ihm von seiner bewirtschafteten Fläche selbst gehören, 26ha verkaufen, aufgrund von jahrelangen Verzögerungen des Baus der FVA, die in Konflikten mit der Gemeinde beim Planungsverfahren begründet liegen. 26ha der verkauften Flächen konnte er für die nächsten drei Jahre wieder anpachten. Die Schweinehaltung soll im Zuge der Entstehung der Anlage auf eine Bewirtschaftung nach den Richtlinien der ökologischen Tierhaltung umgestellt werden. Hierfür sind vorgesehen: eine Reduzierung der Viehdichte, Schaffung von Auslauf für alle Tiere und die Umstellung von Spaltenböden auf Stroh. Die Stallungen entsprechen teilweise bereits diesen Richtlinien, teilweise müssen sie umgebaut werden. Die neue Feststoffvergärungsanlage (FVA) soll auf der „Hauskoppel“ (ein direkt an den Hof grenzendes Feldstück) des Hofes errichtet werden. Die Fläche ist im Besitz Herrn Hümmes.

Auf dem Hof ist seit 1998 eine Biogasanlage in Betrieb. Ihre Dimensionierung ist: 1.000m³ Fermenter, 1.200m³ Endlager und einem 60m³ Gassack (Angaben von Herrn Hümme). In ihr werden die Gülle aus der Schweinehaltung und Kofermente vergärt.

Kofermente sind zusätzlich zu Gülle in den Fermenter eingebrachte organische Substanzen, mit Hilfe derer das Gärvolumen einer Biogasanlage ausgenutzt werden kann. Nur bei sehr großen Zuchtbetrieben oder bei Kooperation mehrerer viehhaltender Betriebe fällt genug Gülle an, um damit ausschließlich eine Anlage zu betreiben. Kofermente sind zumeist organische Stoffe (auch als „Abfälle“ oder „Reststoffe“ bezeichnet), die in der Lebensmittelindustrie lokal in großen Mengen anfallen (Molkereien, Fleisch- und Fischverarbeitung).

Die jetzige Anlage in Hollenbek wird mit Kofermenten aus einem Hamburger Obst- und Gemüsegroßmarkt beschickt.

Das Blockheizkraftwerk ist mit 75kW in der Lage, reichlich den Energiebedarf des Hofes zu decken (Wohngebäude und Schweineställe). Ein Strom-Überschuss wird ins Überlandnetz eingespeist.

Im Zuge der neuen Biogasanlage wäre zu prüfen, ob die Verluste der Transformation auf 230 Volt die Widerstandsverluste eines kurzen, dezentralen Netzes übersteigen. In den meisten elektrischen Geräten wird die Spannung wieder auf drei oder 12 Volt transformiert. Während auf langen Leitungstrecken – Überlandleitungen mit 380kV (380.000 Volt) – die Widerstandsverluste durch die Hochspannung minimiert werden, könnte es zweckmäßig sein, ein dezentrales Stromnetzes mit beispielsweise 24 Volt zu betreiben. Lediglich Geräte, die Hochspannung benötigen, müssten dann noch transformieren.

„Erneuerbare Energien haben potentiell einen Wirtschaftlichkeitsvorteil, weil ihre Nutzungskette wesentlich kürzer ist“ (SCHEER 2002, S. 35). Die Instanzen vom Erzeuger bis zum Verbraucher können minimiert werden. Da Energie- wie auch Rohstoffnutzung letztlich immer dezentral ist, sollte auch deren Erzeugung möglichst dezentral sein.

120kW Wärmeleistung der jetzigen Anlage dienen der Heizung der Schweineställe sowie für Wohnraum und Warmwasser. Diese jetzige Anlage bietet so eine ökologisch wie ökonomisch sinnvolle Dezentralität der Stromversorgung.

Die neu geplante Anlage kann über die Versorgung eines Hofes hinaus einen erheblichen Beitrag zur Energieversorgung der Umgegend leisten, mit einer Wärmeversorgung des Dorfes (lokal) und einer anteiligen Stromversorgung des Amtes Berkenthin (lokal bis regional). Mit ihrem Pilotcharakter kann die Anlage noch nicht unbedingt dieselbe Versorgungssicherheit bieten wie die derzeitigen fossilen Energieversorgungssysteme mit Überlandnetz. Land- und Energiewirt Hümme hat auch schon im Betrieb der bestehenden Anlage Störungen erlebt und Erfahrungen gesammelt.

Derzeit kann auch im Notfall noch auf fossile Energie zurückgegriffen werden. Zumindest bis zum Auslaufen der 20-Jährigen Einspeisevergütung nach dem EEG ist die Separation vom Überlandnetz finanziell nachteilig, und auch danach könnten Anlagenausfälle und Engpässe in einem bis dahin hoffentlich gediehenen Netz von dezentralen Energieerzeugern aus erneuerbaren Quellen abgepuffert werden.

Die neue Anlage liefert Strom für etwa 4.000 Menschen. Das Amt Berkenthin, in dem Hollenbek liegt, hat insgesamt um 8.000 Einwohner. Zwei Anlagen wie die hier geplante können also diese Region mit Strom versorgen. Die Wärme reicht für Hollenbek selbst. Längere Wärmeleitungen in die umliegenden Ortschaften sind nicht rentabel und die Wärme kann lokal vollständig sinnvoll genutzt werden. (detaillierte Angaben im Abschnitt 8. Bilanzen)

Geruchsbelästigung kann weitgehend vermieden werden, da der Gärsilo mit einer gasdichten Plane abgedeckt ist. Das Gas wird durch die Spalten in den Bodenplatten der Fermenterwanne abgesaugt. Ein Entweichen nach oben wird durch das Anlagenverfahren vermieden. Im Zuge des Neubaus soll auch die bisherige Anlage modernisiert werden. Die jetzigen Gärsilos sind zwar beide gasdicht verschlossen, einer mit PE-Folie, der andere mit einem Betondeckel, der zudem mit Erde und Begrünung optisch verkleidet ist. Vom Gülleerfüllbehälter und vom Endlager sowie von den Kofermenten, wenn sie lange bei warmer Witterung lagern, gehen jedoch Geruchsemissionen aus. Im Verbund mit der neuen Anlage soll das bisherige Endlager auch als kombinierter Fermenter und Gaslager benutzt werden. Hierfür wird der Behälter geruchsdicht verschlossen. Weiterhin wird der jetzige Gülleerfüllbehälter geschlossen und die Kofermente fallen weg. Insgesamt geht mit der Modernisierung also eine deutliche Geruchsentslastung einher.

Mehrere Landwirte der Umgebung haben sich bereiterklärt, eine Kooperation mit Herrn Hümmel einzugehen, indem sie ihm Energiepflanzen für einige Monate für die Vergärung zur Verfügung stellen. Eine Kooperation ist derzeit mit folgenden Landwirten vereinbart: Detlef Hack vom „Lämmerhof“ und Volker Kahts, beide in Panten, Ernst-Walter Nehls in Lankau, Johannes v. Keiser in Kulpin und andere. 2/3 dieser Lieferanten wirtschaften bereits nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus und liefern Zwischenfrüchte, die ansonsten einfach untergepflügt würden. Zu einem geringeren Teil werden auch Energiepflanzen gezielt angebaut.

Im besten Fall können sich diese Kooperationen zu einer regionalen Zusammenarbeit etlicher Bauern zu gegenseitigem Vorteil entwickeln.

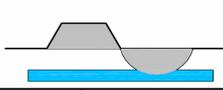
Die ausgegorene Biomasse wird als Kompost nach Bedarf auf den Feldern der kooperierenden Landwirte aufgebracht werden, vorrangig auf ökologisch bewirtschafteten Feldern. Zellsäfte aus dieser Biomasse, sowie die Gülle des Viehhaltungsbetriebes von Herrn Hümmel können in der jetzt schon bestehenden, später integrierten und modernisierten Flüssigbiogasanlage energetisch verwertet werden. Auf anderweitig angelieferte Kofermente wird dann verzichtet.

Das Blockheizkraftwerk (BHKW) sollte nahe der vorhandenen Freileitung auf der Hauskoppel liegen, um Leitungsverluste zu minimieren, außerdem in der Nähe des Fermenters wegen der Erwärmung des Perkolats, und auch in der Nähe der Ställe als primäre Wärmenutzer. Einen akzeptablen Kompromiss stellt die Lage des jetzigen BHKWs dar (Siehe Abb. 1) Wärmetransporte sind zwar in jedem Fall so dezentral und effizient wie möglich zu gestalten, sind aber energetisch immer noch weit günstiger als Biomassetransporte, deren Optimierung für die Wirtschaftlichkeit auf Dauer entscheidend ist.

Die jetzige Generation hat die Chance, mit Hilfe der noch verfügbaren fossilen Energie neue Versorgungsstrukturen aufzubauen. Wenn erst diese Energie nur noch sehr teuer und unter Konflikt zu beschaffen ist, wird die Errichtung neuer Infrastruktur, wenn nicht gar verunmöglicht, so doch erheblich erschwert und verlangsamt.

Die für den Betrieb der Feststoffvergärungsanlage benötigten Mengen an Diesel (oder anderen Treibstoffen) sollen mit Hilfe einer neuen dezentralen Dieselherstellungsanlage erzeugt werden, die auf dem Betriebsgelände der Feststoffvergärungsanlage Platz finden kann. Der Einsatz fossiler Energie in einem Pilotprojekt, wie der hier untersuchten Anlage, ist für Bau und anfänglichen Betrieb unvermeidlich. Es muss aber unbedingt gewährleistet sein, dass die zurzeit konventionell aufgebrachte Energie technisch mittelfristig durch erneuerbare ersetzt werden kann, und dass die verbrauchte Menge Energie für die Herstellung des Treibstoffs nicht dem Energiegewinn der Anlage gleichkommt oder ihn sogar übersteigt. Dann wäre sie in jeder Hinsicht unrentabel und vom Bau sollte abgesehen werden.

Die derzeitige Situation, maßgeblich der subventionierte Diesel für die Landwirtschaft, verschleiern solche direkten Bilanzierungen, so dass sie bei etlichen gerade anlaufenden Projekten nicht aufgestellt werden, obwohl es eigentlich selbstverständlich sein sollte. (Berechnungen im Abschnitt 8. Bilanzen)

Auftraggeber: Landwirtschaftsbetrieb Hümme 23919 Behlendorf, Hollenbeck 10			
Projekt: Genehmigungsantrag nach BImSchG zur Errichtung und zum Betrieb eines Biomassekraftwerkes in Behlendorf		Projekt-Nr.: 13.1249	
Benennung: Lageplan des End-Zustandes		Maßstab: 1 : 500	
			
S.I.G. - DR.-ING. STEFFEN GmbH in Mecklenburg-Vorpommern 17179 Lühburg Dorfstraße 38 Tel.: 039972/561-0 Fax.: 039972/561-20			
Datum: August 2005	Bearbeitet:	Gedruckt:	Zöhhg.-Nr. / Aufl. 3

Links zu sehen ist der Plankopf zur Abbildung 1. Die Abb. 1: Lageplan befindet sich auf der folgenden Seite 9.

In Abb.1 ist

- bunt dargestellt die neu geplante Biogasanlage
- grau schraffiert die bestehenden Hofgebäude

Quelle: S.I.G. - DR.-ING. STEFFEN GmbH

3. Zum Stand der fossilen Energieförderung

Die fossilen Energieträger des Planeten Erde werden rapide aufgezehrt. Spätestens durch die erste große Ölkrise 1973 ist den westlichen Industrienationen ihre Abhängigkeit von fossiler Energie bewusst gemacht worden, und dieses Wissen wurde in der Folgezeit mehrmals wieder in Erinnerung gerufen; mehrfach wurde die unmittelbar bevorstehende Erschöpfung der Vorräte angekündigt, obwohl die Gründe der einzelnen Ölkrisen selbst immer überwiegend ökonomisches Kalkül und davon motivierte kriegerische Auseinandersetzungen waren und keine versiegenden Ölquellen. Alarmierende Schätzungen über die Dauer bis zur völligen Entleerung der Vorräte wurden aufgestellt; neue Quellen fossiler Brennstoffe wurden aufgetan und dementsprechend die Schätzungen angepasst.

Mit Sicherheit kann jedenfalls gesagt werden, dass in etlichen Ländern die Förderung fossiler Energieträger schon seit einigen Jahren bis Jahrzehnten rückläufig ist: der US-Ölgeologe M. King Hubbert beschrieb bereits in den 1950er Jahren die Förderung von Öl aus einer Quelle als Glockenkurve (Abb. 2). Der Begriff „peak oil“ bezeichnet dabei die Maximalmenge der Förderung. Die eigenen Ölvorkommen der USA beispielsweise haben diesen Punkt bereits in den Jahren kurz nach 1970 erreicht. Hubbard hatte den Oil Peak der USA zwischen 1966 und 1972 prognostiziert. Die Glockenkurven aller erdölfördernden Länder kann zu einer globalen Glockenkurve summiert werden.

Unabhängige Geologen und die International Energy Agency, Paris schätzen, dass die Spitze dieser globalen Glockenkurve zwischen 2006 und 2015 erreicht wird (HEINBERG 2004, S.201). Beginnend mit der nächsten Zukunft also wird der Ölpreis stetig und mit zunehmender Geschwindigkeit steigen – in einer Art, die bisher für uns jetzt noch kaum vorstellbar ist. „Aus ökonomischer Sicht ist es nicht besonders wichtig, wann der Welt das Öl vollständig ausgehen wird: Von Bedeutung ist vielmehr der Zeitpunkt, von dem an die Ölförderung abzunehmen beginnt“ (CAMPBELL & LAHERRÈRE 1998).

Figure 7. Non-OPEC, non-FSU Oil Production Has Peaked and is Declining (Ref. 17)

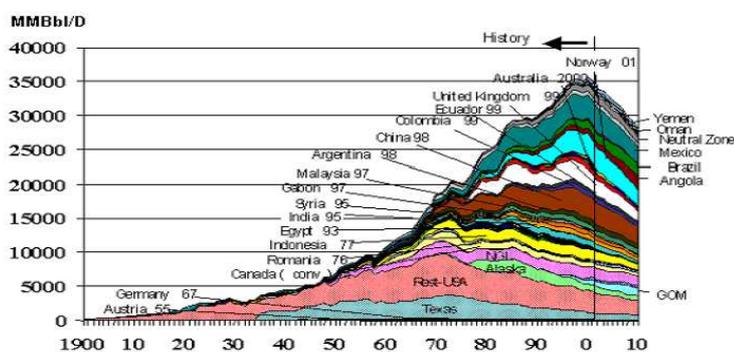


Abb. 2: Glockenkurven der Erdölförderung

Quelle: Johnson et al. 2004

Indes nimmt der Bedarf an Erdöl in den Ländern, die gegenwärtig eine Wirtschaftsinfrastruktur ähnlich den westlichen aufbauen, allen voran China, stark zu. China exportiert bisher noch Erdöl, wird aber in den nächsten Jahren die Ausfuhr beenden und stattdessen fossile Brennstoffe importieren. In zweierlei Hinsicht müssten die jetzt noch verfügbaren fossilen Ressourcen eigentlich gänzlich diesen Ländern zur Verfügung gestellt werden: einerseits im Sinne einer Gerechtigkeit zwischen allen Völkern der Erde, andererseits im Sinne einer Generationengerechtigkeit, wie sie der populäre Begriff der Nachhaltigkeit postuliert.

Die Ansprüche der Bürger der westlichen Nationen – unsere Ansprüche – nehmen im Gegenteil jedoch auch weiterhin zu, und damit der Verbrauch der zu Ende gehenden Vorräte: Bis zum Jahr 2020 wird der Internationalen Energieagentur (IEA) zufolge die Nachfrage weltweit um 57% steigen (IEA 2000, S. 47). Dies ist ein hypothetischer Wert, errechnet aus den absehbaren Tendenzen der letzten Jahre. Dass diese Steigerung der Nachfrage noch gedeckt wird, kann als ausgeschlossen betrachtet werden.

Mit dem Anstieg des Ölpreises wird es rentabel, auch schwer gewinnbare Ölvorkommen zu nutzen. Die Ausbeute wird dabei im Verhältnis zum Aufwand für Förderung und Erschließung immer geringer, und die Folgen für die Landschaft sind immens, z.B. bei Bergung von Ölvorkommen in der Tiefsee vor Westafrika, in der Küstenregion von Nigeria bis Angola, oder beim Abbau des Kanadischen „Erdölschiefers“. Diese Bezeichnung ist irreführend, weil es sich um Mergelgestein handelt, in dem eine Vorform von Erdöl, das Kerogen befindet (vgl. BLENDINGER 2004). Die Nutzbarmachung des Kerogens bringt vier Schwierigkeiten mit sich:

- Die Produktion von Erdöl erfordert zwei Tonnen Gestein pro Barrel (159l) gewonnenen Öls.
- Das abgebaute Material muss auf 300°C erhitzt werden.
- Das Verhältnis von aufgewendeter zu gewonnener Energie ist 1,5 – das bedeutet, dass zwei Drittel der Energie für Gesteinsbergung und Ölgewinnung aufgewendet werden.
- Es werden große Mengen Kühlwassers benötigt, das als ölhaltiges Abwasser anfällt. „Einwohner des nördlichen Alberta haben dagegen bereits Klagen eingerichtet [...] die zum Ziel haben, die Ölsandanlagen wegen der mit ihrem Betrieb verbundenen Umweltprobleme zu schließen“ (HEINBERG 2004).

Die Hinnahme derartiger Landschaftszerstörungen, wie sie mit dem Abbau des Erdölmergels einhergehen, ist ein Beleg für die Gebundenheit der Menschheit an fossile Rohstoffe. Die großflächige, über erste Versuche hinausgehende Förderung würde Umweltschäden riesiger Ausmaße hervorrufen, und wird aufgrund der geringen Rentabilität

trotzdem den Rückgang des konventionellen Erdöls nicht ausgleichen können. Dass um den Treibstoff des bisherigen Wirtschafts- und Gesellschaftssystems mit militärischen Mitteln gestritten wird, ist unweigerlich – es sei denn, die Knappheit stellt sich so bald ein, dass kostspielige und energieaufwendige Kriege unmöglich werden. In jedem Fall ist mittelfristig der Umstieg auf erneuerbare Ressourcen die einzige Alternative.

Schon jetzt entstehen politische Spannungen aufgrund der Ausnutzung der Entwicklungsländer durch die Industriestaaten. In den Entwicklungsländern entsteht großer Schaden für die Volkswirtschaft, denn es „erfordert die Gewinnung verwertbarer Rohstoffe einen erheblichen Energieaufwand und hat auch andere Umweltbelastungen vorwiegend in den Förderländern zur Folge. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist die Energiebilanz der Rohstoffförderung und -aufbereitung in den Entwicklungsländern großenteils negativ“ (SCHEER 1993, S. 250).

Alternativen zu fossiler Energie sind wegen dieser bekannten Tendenzen und Risiken seit Jahrzehnten Gegenstand der Forschung. Derzeit wird die Notwendigkeit der Atomenergie zur Sicherung der Stromversorgung erneut von vielen Stromkonzernen und weiten Teilen der Energieexperten und Wirtschaftspolitiker vertreten.

Die umstrittene Atomkraft sieht sich aber ebenfalls mit dem mittelfristigen Ausgehen ihres nicht erneuerbaren Rohstoffes, dem Uran, konfrontiert. Der Bau der hochtechnologischen Anlagen, die Transporte von Brennelementen und die gesamte Sicherheitstechnik sind außerdem hochgradig von fossiler Energie abhängig. Und nicht zuletzt übersteigen die Zeiträume, über die hinweg radioaktive Altlasten aus der Kernenergienutzung sicher gelagert werden müssen, bei weitem jegliche menschliche Vorstellung-, geschweige denn Planungsdimension.

3.1 erneuerbare Energienutzung

Die im Rahmen dieser Diplomarbeit behandelte neue Biogasanlage wird in diesem Abschnitt in den Kontext der weiteren derzeitig betriebenen erneuerbaren Energienutzungsformen gesetzt. Dazu werden zunächst charakteristische Eigenschaften der einzelnen Formen kurz genannt, wobei die Angaben zu Biogasnutzung ausführlicher sind. Die Erträge der einzelnen Nutzungsformen werden mit der Leistung der neuen Biogasanlage verglichen.

Es muss für den Vergleich vorweggenommen werden (aus Abschnitt 8. Bilanzen):
Die geplante Biogasanlage hat eine Stromleistung von 500 kW installiert und erbringt

bei kontinuierlichem Betrieb damit im Jahr zwischen 3 und 5 Mio. Kilowattstunden. Die gesamte Investitionssumme für die 3A-Fermentationsanlage, Silofläche, Gaslager, BHKW und die Infrastruktur (Schotterwege, Strom- und Wärmeleitungen) sowie die zum Betrieb der Anlage nötigen Maschinen wird vom Ingenieurbüro „S.I.G. - DR.-ING. STEFFEN GmbH“ auf 1,8 - 2 Mio. € geschätzt. Im Betrieb entstehen laufende Kosten durch die Instandhaltung, Steuern & Versicherungen und die Lohnkosten der Arbeitskraft, die mit dem Betrieb der Anlage voll beschäftigt ist.

Für alle erneuerbaren Nutzungsformen gilt gemeinsam: sie basieren direkt oder indirekt auf Sonnenenergie. Die Sonne ist die einzige äußere Energiequelle des „Systems“ Erde: Wind entsteht als Ausgleichsbewegung der Luft zwischen unterschiedlich von der Sonne erwärmten Gebieten. Gewässer fließen aufgrund des durch Sonnenenergie angetriebenen hydrologischen Kreislaufs von Verdunstung und Kondensation. Pflanzen synthetisieren hochmolekulare Verbindungen aus niedermolekularen – mit Hilfe der Sonnenenergie.

Lediglich Gezeitenenergie und Erdwärme basieren nicht auf Sonnenenergie. Erdwärme ist nur begrenzt erschließbar und nicht unbedingt erneuerbar: Erdwärme-Vorräte können nur punktuell angezapft werden, und die einzelnen Standorte der Tiefenbohrungen haben eine begrenzte Nutzbarkeit und Regenerationsfähigkeit (siehe HEINBERG 2004, S. 249).

Gezeitenenergie steht unbegrenzt zur Verfügung, und sie ist „sauber und wirtschaftlich. Leider gibt es in der ganzen Welt weniger als zwei Dutzend für Gezeitenkraftwerke optimal geeignete Stellen, von denen die meisten in abgelegenen Gebieten wie Nordwest-Russland oder Nordwest-Kanada liegen“ (ebenda, S. 250).

Wellenenergie, die ebenso auf dem von der Sonne angetriebenen hydrologischen Kreislauf beruht, aber auch auf der Erdrotation und der Gezeitenenergie, ist sehr stark schwankend und damit unzuverlässig. Sie bringt außerdem in jedem Fall sehr lange Unterwasser-Leitungswege mit sich. Die folgenden Überlegungen sollen verdeutlichen, dass die Nutzbarmachung derart entlegener und schwer zu handhabender Energie eigentlich auch nicht nötig ist.

3.1.1 Sonnenenergie direkt genutzt

Die Menge der von der Sonne auf die Erdoberfläche eingestrahlten Energie pro Fläche liegt bei unbedecktem Himmel und trockener Luft im Bereich von 800-2.000kW/m², je nach Höhe über dem Wasserspiegel und Breitengrad. Dieser Wert wird als terrestrische Solarkonstante bezeichnet. In Deutschland liegt er um 1kW/m² (siehe Abb. 3, nächste Seite).

Die durchschnittliche Sonneneinstrahlung ist weit geringer, aber immer noch im Bereich von 200 Watt in Europa (120 Watt in Deutschland, 230 Watt in Spanien) (HEINBERG 2004, S. 234).

Solarpanels nutzen diese Sonnenenergie direkt über den photovoltaischen Effekt, der bereits 1839 von Edmond Becquerel entdeckt wurde. Wirkungsgrade liegen derzeit zwischen 12% und 17%; es sind 30% technisch möglich, jedoch in der Herstellung unverhältnismäßig teuer. Investitionskosten belaufen sich auf 4.000 – 5.000 € pro installiertem Kilowatt. Für eine durchschnittliche Jahresleistung von 500kW müssen bei Photovoltaik also knapp 1.000 kW installiert werden, was einer Investitionssumme von derzeit etwa 4 - 5 Mio. € entspricht.

Photovoltaik erzeugt maximal 90-120W pro Quadratmeter Modulfläche. Die Erzeugung von 500kW erfordert also rechnerisch eine reine Modulfläche von etwa 5.000m². Tatsächlich ist die Fläche etwa doppelt so groß, da die Leistung mit der jahreszeitlichen Sonneneinstrahlung stark schwankt, weswegen eine Speicherung nötig ist.

Hermann Scheer errechnet in seinem Buch „Solare Weltwirtschaft“, dass in Deutschland auf weniger als 10% der überbauten Fläche Photovoltaikanlagen angebracht werden müssten, um den Strombedarf von Deutschland allein durch Solarenergie zu decken:

„In Deutschland liegt [...] die durchschnittliche Sonneneinstrahlung pro Quadratmeter und Jahr bei 1100 Kilowattstunden. Der Gesamtbedarf an Strom liegt bei etwa 500 Mrd. Kilowattstunden. Die durchschnittliche Jahresleistung von Photovoltaik (nicht zu verwechseln mit dem höchsten erzielbaren Wirkungsgrad unter optimalen Einsatzbedingungen und -zeiten) liegt gegenwärtig bei 10% der Sonneneinstrahlung, also etwa 100 Kilowattstunden pro Quadratmeter. Daraus ergibt sich, daß für eine Stromerzeugung von 500 Mrd. Kilowattstunden allein mit Photovoltaikanlagen eine Modulfläche von 5000 Quadratkilometern nötig wäre. Sinnvollerweise würden die entsprechenden Anlagen auf bzw. an bestehenden Gebäudeflächen installiert. In Deutschland hieße das, daß weniger als 10% der überbauten Fläche auf Dächern, an Hauswänden und Autobahnrandern mit Photovoltaik auszustatten wären“ (SCHEER 2002, S. 68).

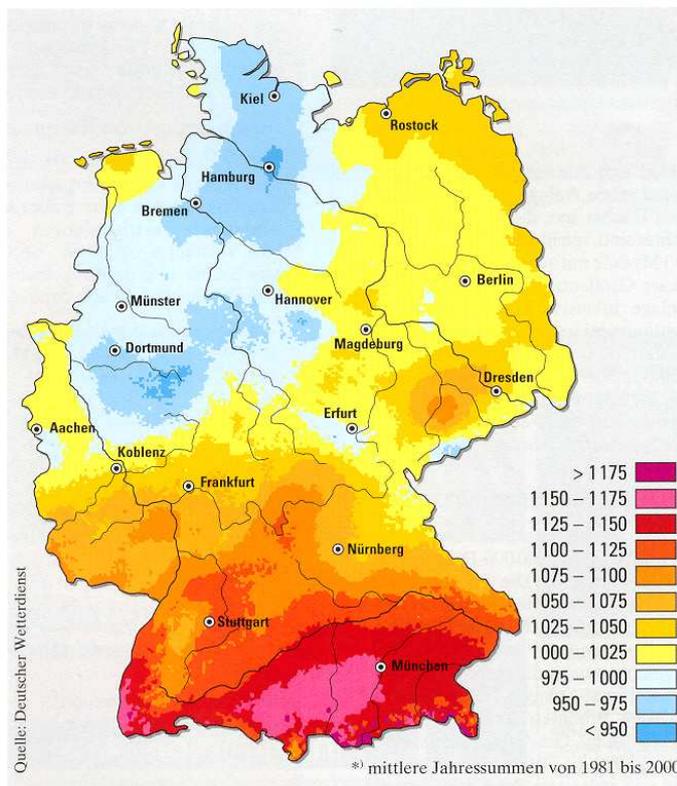


Abb. 3: mittlere jährliche Sonneneinstrahlung in Deutschland
Quelle: Deutscher Wetterdienst

Anders ausgedrückt „benötigt man pro Bundesbürger etwa 70 Quadratmeter Solarzellenfläche.“ Die Bilanz von Hermann Scheer berücksichtigt nicht die jahreszeitliche Ungleichheit von Sonneneinstrahlung und Stromverbrauch. Ihre praktische Umsetzbarkeit „würde [...] voraussetzen, daß eine Speicherung des Stroms - diese mit einem Wirkungsgrad von praktisch 100 Prozent - zur Überbrückung der Dunkelzeiten - Nacht, Schlechtwetterperioden, dunkle Jahreszeit - technisch realisierbar wäre. Eine Bedingung, die derzeit noch *nicht* erfüllt ist.

Eine Speicherung der Energie über Wasserstoff hat einen Wirkungsgrad von etwa 30%; würde man zwei Drittel des Stroms über Wasserstoff speichern, müsste die Solarzellenfläche auf fast 200m² erhöht werden“ (BOCKHORST 2001).

Hermann Scheer will auch nicht darauf hinaus, dass der komplette deutsche Strombedarf mit Photovoltaik gedeckt werden sollte, er will vielmehr das Argument der Stromkonzerne entkräften, erneuerbare Energiequellen würden niemals für die Versorgung der Bevölkerung allein ausreichen.

Gegenüber der Photovoltaik haben **Solarkollektoren** mit bis zu 80% einen weit höheren Wirkungsgrad. Dieser sinkt mit der Temperatur, während umgekehrt der photovoltaische Effekt bei niedrigeren Temperaturen höhere Erträge erbringt (vgl. MÖSL 1993). Sie erzeugen keinen Strom, sondern erwärmen Wasser. Auf einer einfachen Bauart beruhend – schwarze Rohre, durch die Wasser geleitet wird – sind sie in Mittelmeerländern und semiariden Gegenden bereits seit etlichen Jahrzehnten gebräuchlich. Sie sind in der Herstellung weit einfacher als Solarpanels. In unseren Breiten ergeben sich wie bei Photovoltaik die Probleme der Speicherung für die kalten Monate.

Solarthermische Stromerzeugungssysteme erhitzen Wasser, um damit einen Elektrogenerator anzutreiben. Diese Systeme befinden sich noch in der Entwicklungsphase (vgl. HEINBERG 2004, S. 235).

3.1.2 Windkraft

Windkraftanlagen haben installierte Leistungen zwischen 250kW und etwa 3MW, je nach Rotorfläche, das ist die Fläche, die der Rotor mit seiner Drehung abdeckt und die zwischen 27m² und 80m² liegt. Offshore-Anlagen liefern mit über 100m² Rotorfläche bis zu 5MW. Diese Zahl entspricht jedoch bei weitem nicht der Leistung, die eine WEA (Windenergieanlage) kontinuierlich erbringt: Die Hersteller geben für ihre Anlagen je nach installierter Leistung Werte für Stromerträge bei optimalen Windbedingungen an. Eine WEA vom Typ Enercon E70 beispielsweise, mit 1,8 MW installierter Leistung erbringt bei 98m Bauhöhe (größte Ausführung) im Idealfall knapp über 4 Mio. kWh/a. Das ist dieselbe Menge Strom, wie die in Hollenbek geplante Feststoffvergärungsanlage in

ihrem kontinuierlichen Betrieb erbringen kann, wobei sie nur 0,5MW, also nicht einmal 30% der Leistung der genannten WEA installiert hat.

Optimale Wind-Standorte werden zudem in Deutschland nur an der Schleswig-Holsteiner Westküste erreicht. An vielen Inland-Standorten werden Standortqualitäten von 65% nicht überschritten (vgl. REHFELD 2004). Die Windgeschwindigkeit geht mit der dritten Potenz in die Gleichung zur Errechnung der im Wind enthaltenen Leistung ein. Bei 8m/s (ca. 30km/h, Windstärke 5) sinkt die Windleistung im Gegensatz zur doppelten Windgeschwindigkeit 16m/s (knapp 60km/h, Windstärke 7) auf ein siebtel (siehe Abb. 4).

Weiterhin haben WEA den Nachteil, dass keine Wärme genutzt wird.

Ein großer Vorteil ist hingegen, dass die Anlage, einmal installiert, wartungsarm selbständig läuft, während eine Biogasanlage ständige Biomasse-Transporte mit sich bringt.

Investitionskosten von WEA werden derzeit mit etwa 800 - 1.000 € pro installiertem Kilowatt veranschlagt, der Preis hängt stark von Nabenhöhe, Rotorgröße und installierter Leistung ab. Nabenhöhen von WEA liegen in der Bandbreite von 40m – 125m, eine Anlage des Herstellers GE mit 1,5MW kostet etwa 1,5 Mio. €, eine Enercon der Größe 1,8 MW (Nabenhöhe 98m) kostet über 2 Mio. €. Eine Summe dieser Größenordnung muss also investiert werden für dieselbe durchschnittliche Jahresleistung von 500kW, welche die Hollenbeker Biogasanlage erbringt.

Es muss angemerkt werden, dass

hohe Windgeschwindigkeiten im Binnenland Symptom einer degradierten Landschaft sind: In einer Landschaft, die mit permanenter Vegetation bedeckt, deren Wasser-Nährstoffhaushalt kleinräumig geschlossen und deren Energieverteilung gleichmäßig ist, ist weit weniger Wind vorhanden, der ja eine Ausgleichsbewegung zwischen überhitzten Gebieten und Kühlzonen ist.

(siehe auch Abschnitt 4. Umweltschutzverständnis)

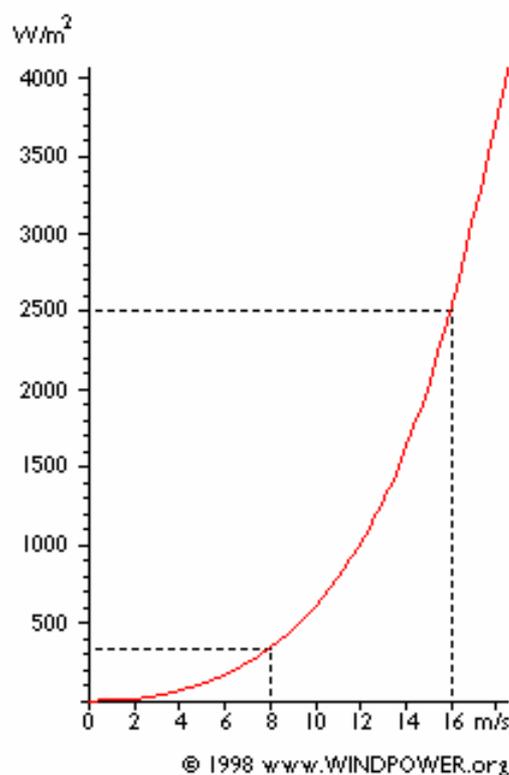


Abb. 4: Leistung je nach Windgeschwindigkeit

Quelle:

<http://www.windpower.org/de/tour/wres/enrspeed.htm>

3.1.3 Wasserkraft

Während direkte Sonnenenergienutzung und Windenergienutzung von den ständigen Schwankungen der Einstrahlung bzw. des Windes unmittelbar abhängig sind, kann Wasserkraft weitgehend kontinuierlich genutzt werden. Sie hat derzeit den höchsten Anteil an der erneuerbar erzeugten Energie.

„Das ganze 20. Jahrhundert hindurch wurden an den wichtigsten Flüssen der Welt Dämme für Wasserkraftwerke gebaut – vom Colorado River in den Vereinigten Staaten bis zum Nil in Ägypten. [...] In der ganzen Welt sorgt die Wasserkraft für 19 Prozent der Stromherstellung“ (HEINBERG 2004, S.246). Große Wasserkraftanlagen sind eine zuverlässige, langfristige Energiequelle, die im nachfossilen Zeitalter von großer Wichtigkeit sein wird. Durch das Aufstauen wird allerdings das natürliche Fließverhalten des Gewässers stark beeinträchtigt und die überstaute Landschaft zerstört. Der Staudamm ist eine unüberwindliche Barriere für Wanderfischarten. „Außerdem sind viele existierende Wasserkraftwerke durch Verlandung, Verschlammung und die vorhersehbaren Änderungen der natürlichen Wasserkreisläufe gefährdet [...]“ (ebenda, S. 247). Große Wasserkraft ist außerdem eine stark zentralisierte Stromerzeugungsmethode, die lange Leitungswege mit sich bringt und dem Besitzer der Anlage große Macht verleiht. Das vermutlich letzte Großprojekt, und gleichzeitig auch der größte Staudamm der Erde ist der „Drei-Schluchten-Staudamm“ in China, der 2009 fertiggestellt werden soll und eine Stromleistungskapazität von 18.200 MW hat. Für ihn wurden 13 Städte und 1.500 Ortschaften überflutet und zwischen 1,2 und 2 Mio. Menschen umgesiedelt (vgl. GEO 06/03).

Die „**kleine Wasserkraft**“ hingegen hat nicht diese verheerenden ökologischen Konsequenzen. Im Gegenteil „kann durch Querbauwerke auch die Artendiversität sowie die Individuendichte vergrößert werden“ (RIPL 2004, S. 10). Die Querbauwerke der „kleinen Wasserkraft“ stellen eine Strukturbereicherung des Gewässers und keine Barriere dar. Sie fördern gleichzeitig den Wasserrückhalt (Wasserretention) in der Landschaft und so eine Stabilisierung des Wasser- und Stoffhaushaltes (vgl. RIPL 2004, S.8f).

Merkmal der „kleinen Wasserkraft“ ist vor allem eine nicht durchgehende Querverbauung. Unter „kleine Wasserkraft“ zählen nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz von 2004 Anlagen mit bis zu 5 MW installierter Leistung. Die Untergrenze liegt unter 1 kW. Kleinstwasserturbinen mit 150 oder 300 Watt werden seriengefertigt.

Mit ihren kontinuierlichen Stromerträgen und häufig der Verbesserung des ökologischen Gewässerzustandes ist kleine Wasserkraft eine sehr vorteilhafte Nutzungsform dezentraler erneuerbarer Energie. Sie ist leider an Fließgewässerstandorte gebunden.

Investitionskosten belaufen sich KALTSCHMITT et al. zufolge für eine 300kW - Referenzanlage auf 5.570 Euro pro installiertem Kilowatt (Stand 2003). Hochgerechnet ergibt sich bei 500kW eine Investitionssumme von 2.785.000 € (was „1 $\frac{2}{3}$ Anlagen“ entspricht). Bei kleineren Anlagen um 30kW sind die Investitionskosten

geringer (4.310 € pro installiertem kW bei einer 32kW-Referenzanlage), bei größeren Anlagen sinken die Kosten pro installiertem kW ebenfalls (4.140 €/kW bei einer 2,2 MW-Anlage – KALTSCHMITT et al. 2003, S. 363).

3.1.4 Biomasse ist materiell gespeicherte Sonnenenergie, die nach Bedarf jahreszeitlich bedingt geerntet und gespeichert werden kann. Biomasse in Form von Holz ist der älteste Energieträger der Menschheit.

Prinzipiell kann überall Biomasse angebaut werden. Das Landschaftsbild wird dabei nicht wie bei Windenergieanlagen beeinträchtigt – im Gegenteil ist Grünaufwuchs als geschlossene Vegetationsdecke das buchstäblich grundlegendste Bestreben der Natur. Biomasse lässt sich aber nicht nur fast überall gewinnbringend anbauen, sie fällt darüber hinaus auch vielerorts an: als Ernterückstand, Schalen, Kerne und Blätter von Nahrungsmitteln, Stoffwechselendprodukte von Tier und Mensch, und mit der unweigerlichen Substitution fossiler Materialien zunehmend auch als Verpackungsmaterial aus nachwachsenden Rohstoffen. Zusammensetzung und Eignung der Biomasse für die Biogaserzeugung können bei den sehr unterschiedlichen Substraten stark schwanken. Der Betreiber der Biogasanlage hat aber mehrere Möglichkeiten, um Schwankungen zu handhaben: durch die Konzeption, Einrichtung von Zwischenlagerraum für das Gärsubstrat für eine gezielte und dosierte Einbringung, sowie durch ein Gaslager (Abb. 5) kann er den Prozess und die Gasausbeute gut regulieren. Er benötigt hierfür ein Verständnis für die ablaufenden Prozesse und Erfahrungen im Umgang mit einer Biogasanlage und Substraten.

Bei der energetischen Nutzung von Biomasse besteht eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Möglichkeiten, die je nach Standort und Bedarf zum Einsatz kommen können. In groben Kategorien zusammengefasst sind dies: direkte Verbrennung, Biogasherstellung, Pflanzenölgewinnung, Pyrolyse und andere Herstellungsverfahren für flüssige Brennstoffe. Mit Solarzellen, Wind- und Wellenkraftanlagen wird direkt Elektrizität erzeugt. Biomasse ist hingegen ein chemischer Energieträger, wie es auch zur Zeit noch das Erdöl ist. „Im nachfossilen Zeitalter wird lediglich Biomasse aus natürlichem Wuchs und organischen Abfällen als chemische Primärenergie für die Herstellung flüssiger und gasförmiger Kohlenwasserstoffe zur Verfügung stehen“ (BOSSSEL 2005). Es



Abb. 5: Gasspeichersack (bestehende Anlage auf dem Hof Hümme), eigenes Foto

ist abzusehen, dass Treibstoff aus pflanzlichen Rohstoffen innerhalb der nächsten Jahrzehnte gegenüber dem Erdöl rentabel wird.

Die Erzeugung von Strom und Wärme kann in mittlerem Maßstab (ab Hofebene) bis zum sehr großen Maßstab der Strom- und Wärmeversorgung einer Kleinstadt erfolgen. Aufgrund dieser großen Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten hat Biomasse als Energieträger ein riesiges Wachstumspotential. Konfliktarme und ertragreiche Standorte für Windenergieanlagen sind hingegen bereits jetzt in Deutschland größtenteils mit Windkraftanlagen „bestellt“. Deswegen wird einerseits schon zu einer „Repowering“-Strategie übergegangen (Modernisierung alter Anlagen und Ersetzung durch größere Anlagen am Standort), sowie andererseits zum Ausweichen auf Meeresgebiete. Hierdurch entstehen wieder neue Schwierigkeiten, vor allem die Fundamentierung im Meeresboden, die gewährleisten muss, dass auch große Anlagen bei Orkanböen sicher stehen, und lange Leitungswege mit ihrer Verlegung am Meeresboden. Große Offshore-Windparke stellen außerdem eine erneute Zentralisierung der Stromerzeugung dar (wie natürlich auch große Onshore-Windparke). Im Gegensatz dazu ermöglicht bei Biomasse gerade die kleinräumige Verfügbarkeit eine lokale bis regionale Erzeugung, unter Minimierung der Transporte und Leitungen, sowie die Eigenständigkeit von Landwirten in kleinen Zusammenschlüssen bei der Strom- und Wärmeerzeugung mit einer Orientierung am Bedarf.

Die großen Stromkonzerne begrüßen eine Entwicklung hin zur Selbstversorgung der Bevölkerung freilich nicht. Mit neuen zentralisierten Anlagen und High-tech-Ansätzen wie der Wasserstofftechnologie verfolgen sie Strategien, die es ihnen ermöglichen, ihre etablierte Stellung als Versorger zu wahren. Der Bau großer und komplexer Anlagen erfordert hohen Auf-

wand und spezifische Kenntnisse für Betrieb und Wartung. Große, sensationelle Projekte sind zudem auch öffentlichkeitswirksamer als die Errichtung vieler kleiner Anlagen.

Dennoch setzt auch bereits in Deutschland und anderen Ländern vor allem Osteuropas die Entwicklung ein, dass Energieunterneh-

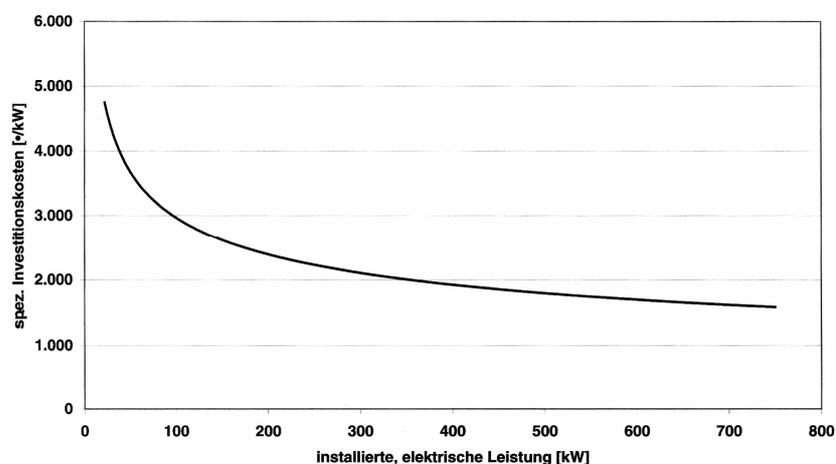


Abb. 6: spezifische Investitionskosten einer Biogasanlage je nach installierter Leistung — Quelle: FNR 2004

men große Flächen von nicht mehr wirtschaftenden oder gerade aufgebenden Betrieben pachten, um in Monokultur nachwachsende Rohstoffe für die Vergärung anzubauen, vor allem Mais.

Biogasanlagen haben je nach Größe der Anlage eine elektrische Leistung ab 70kW, weniger ist aufgrund überproportional hoher Investitions- und Wartungskosten nicht rentabel (siehe Abb. 6, vorherige Seite).

Anlagengrößen bis über 5 MW sind technisch problemlos möglich, allerdings auch, wie die großen Windparke, kaum noch als dezentral zu bezeichnen.

Seit 1991 gibt es eine gesetzliche Förderung für erneuerbare Energien, zunächst unter der Bezeichnung „Stromeinspeisungsgesetzes für Erneuerbare Energien“ (StrEG), in der Folgezeit modifiziert und im April 2000 umbenannt zum „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ (siehe Abschnitt 6. EEG und BauGB).

Die langfristigen Kosten der weitergehenden Nutzung fossiler Energie werden jedoch nicht internalisiert. Hier besteht der in der Gesetzgebung allgegenwärtige Bestandschutz. Außerdem ist offensichtlich die Angst vor einem Ausbremsen von Wirtschaftsprozessen im Land stärker als die Bereitschaft, die Augen zu öffnen für die Vergänglichkeit eben jener Wirtschaftsprozesse mit ihrem zur Neige gehenden Antrieb.

Ansätze zu einer Besteuerung nicht nachhaltiger Entwicklungen sind beispielsweise die Entropiesteuer, vorgeschlagen von Hermann Scheer (SCHEER 1993, S. 243ff.) aufbauend auf Ernst-Ulrich von Weizsäckers Besteuerung der Stoffströme, oder die progressive Energie- und Bodenwertsteuer von Wilhelm Ripl, basierend auf der Bodenwertsteuer von Henry George (GEORGE 1879, Kapitel 17). Beide weisen in wesentlichen Bereichen Ähnlichkeiten auf: Sie sind als Steueralternativen gedacht, nicht als zusätzliche Steuern – es wird gleichzeitig eine Vereinfachung des Steuersystems angestrebt. Zunächst werden fossile Energien besteuert, später auch der Verbrauch von Bodenfläche (bei Scheer: Landschaftsverbrauch). Ein fruchtbarer Boden ist die auch Basis einer regenerativen Energieversorgung.

Es wird Wert darauf gelegt, dass die Umsteuerung sozial gerecht erfolgt, also nicht sozial schwache Menschen benachteiligt. Insbesondere bei der Bodenwertsteuer nach Ripl werden Gesellschaft und Umwelt in Verbindung gesehen, hier übernimmt ein „Bodenfreibetrag“ die Rolle der Existenzsicherung.

Eine Energieerzeugung auf der Basis erneuerbarer Ressourcen erfordert, eingebunden in den natürlichen Kreislauf der Nutstoffe, die Rückführung derjenigen Stoffe, die im linear denkenden Sprachgebrauch – dem Gegenteil vom Denken in Kreisläufen – als Reststoffe, Abfall oder sogar Müll bezeichnet werden.

Nur wenn ein Verlust an Nutstoffen an Gewässer oder Deponien weitestgehend vermieden wird, kann man von Kreislaufführung der Nutstoffe und damit von einem nachhaltigen System sprechen.

4. Umweltschutzverständnis

Für die Einschätzung der Situation, in der sich unsere Umwelt befände, ist zurzeit CO₂ unangefochten und in global verbreiteter Ansicht das wichtigste Kriterium. Es gilt als Maß für Klimaschutz schlechthin. Der Wasser- und Nährstoffhaushalt der Landschaft spielt demgegenüber eine untergeordnete Rolle, und der Verlust der Bodenfruchtbarkeit ist wenig im Bewusstsein der Akteure im Bereich des Natur- und Umweltschutzes. Klimaschutz hat insgesamt eine weit höhere Priorität als Bodenschutz oder der Erhalt bzw. die Wiederherstellung des Wasser- und Stoffhaushaltes.

Als Beleg hierfür sei die Mitteilung der EU-Kommission vom Mai 2001 genannt: „A Sustainable Europe for a Better World: a European Union Strategy for Sustainable Development“. Bei der dortigen Auflistung der akuten Bedrohungen einer nachhaltigen Entwicklung („The main threats to sustainable development“, S. 4) wird der Verlust an Bodenfruchtbarkeit als dritter Satz innerhalb des fünften Unterpunktes aufgeführt, man kann also sagen, das Thema wird lediglich am Rande auch mit erwähnt:

“The main threats to sustainable development

- Emissions of greenhouse gases from human activity are causing **global warming**. Climate change is likely to cause more extreme weather events (hurricanes, floods) with severe implications for infrastructure, property, health and nature.
- Severe threats to public health are posed by new **antibiotic-resistant strains of some diseases** and, potentially, the **longer-term effects** of the many **hazardous chemicals** currently in everyday use; threats to **food safety** are of increasing concern.
- One in every six Europeans lives in **poverty**. Poverty and social exclusion have enormous direct effects on individuals such as ill health, suicide, and persistent unemployment. The burden of poverty is borne disproportionately by single mothers and older women living alone. Poverty often remains within families for generations.
- While increases in life expectancy are obviously welcome, combined with low birth rates the resultant **ageing of the population** threatens a slowdown in the rate of economic growth, as well as the quality and financial sustainability of pension schemes and public health care. Spending could increase by up to 8% of gross domestic product in many Member States between 2000 and 2040.
- The **loss of bio-diversity** in Europe has **accelerated dramatically** in recent decades. Fish stocks in European waters are near collapse. **Waste volumes** have persistently grown faster than GDP. **Soil loss** and declining fertility are eroding the viability of agricultural land.
- **Transport congestion** has been rising rapidly and is approaching gridlock. This mainly affects urban areas, which are also challenged by problems such as innercity decay, sprawling suburbs, and concentrations of acute poverty and social exclusion. **Regional imbalances** in the EU remain a serious concern.”

(Commission of the European Communities 2001)

Einerseits kann jedoch die Dynamik der unüberschaubar riesigen Atmosphäre vom Menschen kaum auch nur ansatzweise erfasst werden. Das Klima schwankt beständig. Das Ausmaß dieser Schwankungen kann der Menschen nur erahnen und es fehlt ihm die Übersicht über die langfristigen Klimaveränderungen. Die Eiszeiten der Erdgeschichte sind außerordentliche Klimaschwankungen, die nicht vom Menschen verursacht worden sind und weit größere Ausmaße hatten als die derzeit befürchtete menschlich erzeugte Klimaveränderung. Ein kausaler Zusammenhang zwischen der Anreicherung von CO₂ in der Atmosphäre und dem Anstieg der globalen Temperatur ist naheliegend, aber nicht bewiesen. Lediglich die Geschwindigkeit des Temperaturanstieges in den letzten Jahrzehnten weckt Besorgnis und lässt den Menschen als Verursacher vermuten.

Eine im Gegensatz dazu viel deutlicher erkennbare Art der Klimaerwärmung geschieht lokal: durch die weite Öffnung des in einer intakten Landschaft kurz geschlossenen Wasserhaushaltes und durch die Übernutzung des Bodens. Durch die Melioration und den somit beschleunigten Abfluss des Wassers geht der Landschaft das „Kühlmittel“ verloren – die Erdoberfläche erhitzt sich, und somit auch die Luft darüber. Zwischen überhitzten Zonen und kühlen Bereichen, z.B. naturnahen Wäldern oder Wasserflächen, setzt ein Temperatenausgleich durch Konvektion ein: die Windintensität nimmt zu. Insbesondere die nicht mit Vegetation bedeckte Landschaft unterliegt stärker der Winderosion, aber auch intakte Flächen werden durch den Wind mit den durch ihn transportierten Stäuben geschädigt. Durch fehlende bodennahe Luftfeuchtigkeit wird von der Erdoberfläche abgestrahlte Wärme in höhere Schichten der Atmosphäre verlagert – es findet eine Klimaerwärmung statt (vgl. RIPL & WOLTER 2002 S. 19f).

Mit dem Wasser werden gelöste und partikular suspendierte Nährstoffe aus dem Boden in die Flüsse und dann ins Meer verlagert: „... der Oberboden [wird] im eigenen Land durch den wasserwirtschaftlich beschleunigten Wasserabfluss etwa seit 150 Jahren relativ rasch mineralisiert, so dass sich die Stoffausträge gegenüber der unbeeinflussten Natur bis um das hundertfache gesteigert haben und derzeit Nähr- und Mineralstoffe von bis zu 1 t/ha/a in die Gewässer bzw. das Meer ausgetragen werden. Die in Südeuropa flächendeckend bereits weitgehend abgeschlossene Bodendegradation zeichnet sich zunehmend auch für Mitteleuropa ab“ (RIPL et al. 2002, S. 12). Durch die schnelle Drainage des Wassers aus der Landschaft und die zunehmenden Windintensitäten kommt es unweigerlich zu Überschwemmungen und Stürmen, vergleichbar mit den raschen Ausgleichsbewegungen von gestautem Wasser oder gepresster Luft. Diese Auswirkungen der langjährigen Melioration sind in den letzten Jahrzehnten in Form etlicher „Jahrhundertfluten“ deutlich geworden, und erst kürzlich durch den Wirbelsturm „Katrina“, der in den südlichen US-Bundesstaaten Louisiana, Mississippi und bis Georgia, unter anderem an wichtigen Raffineriestandorten, verheerende Zerstörungen anrichtete.

(Siehe <http://www.n-tv.de/575079.html>, geladen am 06.09.2005.)



Abb. 7: akute Erosionserscheinungen bei Wozinkel in Mecklenburg-Vorpommern
Foto von Heiko Wonglorz, TU Berlin

Die Voraussetzungen für eine Wiederbesiedelung durch Vegetation werden somit erschwert. Wüstenbildung setzt ein, die nicht nur in Südspanien, sondern auch in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern bereits deutlich erkennbar voranschreitet (siehe Abb. 7).

Gleichzeitig bedeutet dies den Verlust von Ressourcen für die menschliche Subsistenzproduktion, also die Produktion der Güter des täglichen Bedarfs, Wasser, Nahrung und Energie und Rohstoffe. Es gibt letztlich

keine Alternative zu einem fruchtbaren Boden. Nur auf ihm können die grünen Pflanzen wachsen, die als einzige Instanz des Planeten mit Hilfe von Sonnenenergie Kohlehydrate aufbauen kann.

Weitgehende Rodungen des Mittelmeerraums und ackerbauliche Übernutzung riefen bereits zur Zeit des römischen Reiches großflächige Erosion hervor. Der Verlust der Bodenfruchtbarkeit, der durch nichts kompensiert werden kann, leitete infolgedessen den Niedergang dieser Kultur ein. Ähnlich erging es anderen frühen Hochkulturen in ihren jeweiligen Gebieten, nämlich der Indus-Kultur (Harappa-Kultur), die von 2800 bis 1800 v. Chr. währte, des Babylonischen Reiches von 1900/1800 v. Chr. bis 539 v. Chr., (zeitlich folgt hier das Römische Reich 600 v. Chr. bis 500/600 n. Chr.) und des Inka-Reiches im 13 bis zum 16. Jh. n. Chr. Die Verwaltungskosten der großen eroberten Gebiete blieben unvermindert, während die Erträge aus den Kolonien deutlich zurückgingen.

Die jetzige industrialisierte landwirtschaftliche Produktion stellt wiederum eine Übernutzung dar. Durch Einsatz von Düngemitteln, die größtenteils mit Hilfe fossiler Energie hergestellt werden, können die Erträge der ausgelaugten Standorte jedoch zumeist aufrechterhalten werden, so dass das Problem noch nicht offen zu Tage tritt. So sind für die Aufrechterhaltung der Erträge pro Kilogramm landwirtschaftlich erzeugtem Gut 1,5 bis über 5 Liter Öl nötig (RIPL mündl.). Die gleichzeitige Übernutzung der Böden und die Nutzung von fossiler Energie zur Düngung und zur Bewirtschaftung mit großen Maschinen stellt somit eine rapide Beschleunigung der Entwicklungsrichtung entgegen der Nachhaltigkeit dar. Die Selbstoptimierung der Pflanzengesellschaften mit ihrer Sukzession kann nicht wirken, wenn eine einzelne Art ertragsmaximierend angebaut wird, und

ihr gezielt Dünger angeboten wird. Natürlicherweise würden die Pflanzen den Nährstoffhaushalt gezielt regeln, anstatt von oben gefüttert zu werden.

EU-Subventionen und -gesetze können kaum auf die spezielle Situation der einzelnen Standorte und Bewirtschaftungsformen in ganz Europa eingehen. Einzig der Landbewirtschafter selbst kann direkt beurteilen, was für seinen Betrieb sinnvoll und zweckmäßig ist. Die Erneuerung der Strukturen kann am ehesten an dem Ort geschehen, wo die Lebensgrundlagen des Menschen produziert werden: im landwirtschaftlichen Betrieb (vgl. SCHEER 2003).

Die Sonnenenergie muss nach dem nahenden Ende des Zeitalters der fossilen Energieträger für die Versorgung des Menschen mit Nahrung, Wohnung, Kleidung und Energie gewährleisten. Bewirtschaftungskonzepte müssen diesen Anforderungen entsprechen, also Energieerzeugung und Stoffhaushalt im Zusammenhang gewährleisten. Sind die Energieströme und Stoffkreisläufe so gestaltet, dass eine positive Bilanz der Bewirtschaftung gegeben ist und die Fruchtbarkeit der Fläche erhalten wird, kann man von Nachhaltigkeit dieses Systems sprechen. Dies ist der Fall, wenn nach der Ernte die Nährstoffe der Fläche so wieder zugeführt werden, dass lediglich von dem mit Sonnenenergie erzeugten Überschuss gezehrt wird.

Dem entgegengesetzt betragen die Verluste an Nährstoffen in Deutschland etwa 1 t/ha*a (RIPL & WOLTER 2001). Diese Zahl bedeutet, dass von einem Hektar Fläche im Mittel pro Jahr eine Tonne an gelösten Nährstoffen verloren geht.

Die Leistungen des Naturhaushaltes sind:

- eine kleinräumige Schließung des Wasserkreislaufes mit vielen Verdunstungs- und Kondensationszyklen. Nach der Mineralisation werden Nährstoffe, die im Wasser gelöst sind, rasch von den Pflanzen aufgenommen. Die Stoffflüsse aus der Landschaft heraus werden minimiert.
- Gekoppelt an diese erste Leistung ist die zweite, die Energieflussdichteabsenkung oder Pulsdämpfung: Die Energie aus der im Jahres- und Tagesverlauf schwankenden Sonneneinstrahlung wird gleichmäßig verteilt. Dies geschieht, indem die Wärme der Sonne das Wasser des kleinräumigen Wasserkreislaufs erwärmt und so in latente Wärme umgewandelt wird. Anschließend wird sie zeitlich und räumlich versetzt wieder abgegeben. Dieser Prozess wird auch als „Energiedissipation“ bezeichnet. (vgl. RIPL & WOLTER 2002)

Vegetationsgemeinschaften entwickeln sich im Laufe der Evolution dahin, diese beiden Funktionen immer besser zu leisten. Kleinräumige Aufgabenverteilung etabliert sich dort, wo sie sich bewährt.

Das System weist vielfältige Rückkopplungen auf. Da Raum und Zeit Limitiert sind, erreicht die Produktivität des Landschaftshaushalts nach und nach einen stabilen Zustand, die Klimaxgesellschaft. Wenn die Fläche mit geschlossener Vegetation bedeckt ist, finden keine Biomassezuwächse mehr statt, sondern eine ständige kleinräumige Wiederverwertung der Ressourcen (Nettoproduktivität).

Hier kann der Landbewirtschafter einsetzen, und durch Biomasseentnahme ein Nachwachsen der Vegetation hervorrufen. Bei einer intelligenten Bewirtschaftung kann so der Wirkungsgrad der Natur gezielt angehoben werden, indem beispielsweise Arten gefördert werden, die rasch nachwachsen können (Pionierarten). Die natürliche Dynamik wird dann nutzbar gemacht und gefördert anstatt unterbunden (Bruttoproduktion). Eine angepasste Bewirtschaftung stellt damit eine Form des funktionalen Umweltschutzes dar. Genutzt wird die „Bewirtschaftungsspanne“, das ist die Differenz zwischen Bruttoproduktion und Nettoproduktivität.

In diesem Sinne ist der Begriff „Integration“ verstanden, den der Titel dieser Diplomarbeit enthält: eine Integration der Bewirtschaftung in die Stoffströme der Landschaft. Im Vergleich mit den heutigen Bewirtschaftungsformen bedeutet dies grundlegende Veränderungen, die aus dem neuen Verständnis resultieren.

Formen einer orts- und zeitangepassten Bewirtschaftung sind: Biomasseteiche (z.B. Dike-Pond-Systeme), Kurzumtriebsplantagen, Permakulturanlagen und viele weitere heute in Europa noch kaum betriebene Methoden. Hier besteht ein enormes Potential, das der Entdeckung und Verwirklichung harret.

5. Funktionsweise der Biogasferzeugung

5.1 Gärung

Wissenschaftliche Kenntnisse über den Gärprozess gehen bereits ins ausgehende 17. Jahrhundert zurück, allerdings noch ohne Mikroorganismen als Urheber anzunehmen (vgl. BRAUN 1982, Einleitung/S. 4ff).

Nach dem zweiten Weltkrieg wurde intensiv im Bereich der Nutzung von Biomasse („Reststoffen“) aus der Landwirtschaft geforscht, aber die Notwendigkeit des Baus von Gäranlagen zur Energiegewinnung wurde noch nicht gesehen (vgl. BAADER et al. 1978). Kenntnisse im Bereich der Gärung kommen auch aus der Lebensmitteltechnologie, vor allem in Bezug auf die Bier- und Weinherstellung.

„Erste Ansätze, Treibstoff aus Biomasse herzustellen, gab es bereits Ende der 70er/Anfang der 80er Jahre unter dem Eindruck der damaligen Ölkrise. Doch wurde die Entwicklungsarbeit größtenteils eingestellt, als in den 90er Jahren der Ölpreis drastisch fiel“ (HILLMER 2004). Der Vorlauf der Kenntnisse vor der großtechnischen Verwirklichung zur Energieerzeugung ist also beträchtlich. Vorteil hiervon ist ein weit gediehenes Systemverständnis, was Planung und Bau effizienter Anlagen ermöglicht.

5.1.1 Der Gärprozess

Der zugrunde liegende Prozess der Biogasproduktion geschieht in anaerobem Milieu durch Bakterien: Überall, wo Biomasse unter Luftabschluss lagert, setzt binnen Stunden die Faulsumpf- bzw. Biogasproduktion ein. Natürliche anaerobe Standorte in der Landschaft sind die wassergesättigten Zonen der Sümpfe und Moore sowie die Schlammsschichten von Seen und Meeren. Methangärung findet außerdem statt im Vormagen (Pansen) der Wiederkäuer.

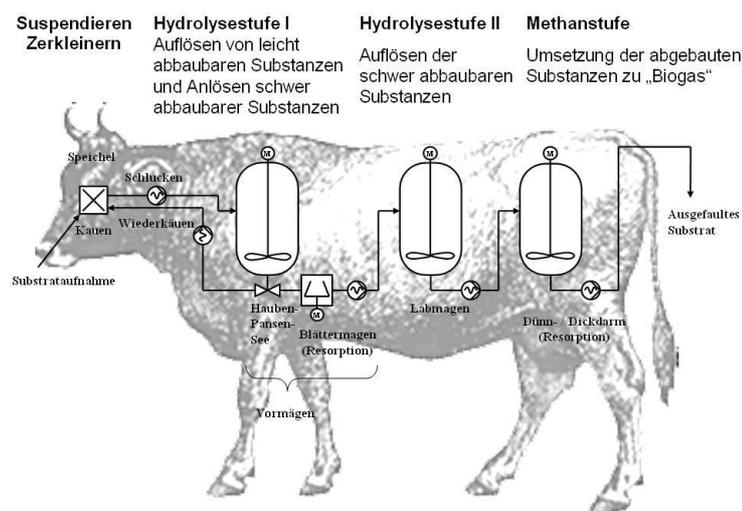


Abb. 8: „Weihenstephaner Kuh“ – ein Modell für den mehrstufigen Biogasprozess in Anlehnung an die Verdauung des Wiederkäuers

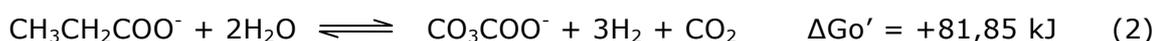
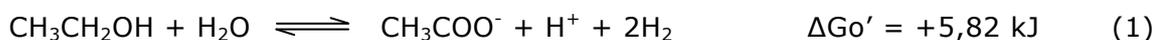
Quelle: Pesta & Meyer-Pittroff 2002

Der Verdauungsprozess der Rinder hat prinzipiell große Ähnlichkeiten mit dem Gärprozess in einer Biogasanlage, mit Zerkleinerung, Ansäuerung und anschließender luftdichter thermophiler Lagerung. Die Einschätzung von Substraten in Hinsicht auf ihre Eignung für die Vergärung beruht deswegen teilweise sogar auf landwirtschaftlichen Futtermertabellen mit ihren „Verdauungsquotienten“ für Rinder.

Voraussetzungen für jeden Gärprozess sind eine ausreichende Temperatur, ein ausgewogenes Nährstoffangebot und die Besiedlung mit der Bakterien-Mischpopulation, die den Gärprozess betreibt. Es handelt sich bei diesen Bakterien um Prokaryonten (vergleichsweise einfache Zellen ohne umhüllten Zellkern, Kompartimentierung oder Organellen), die aus einer Zeit vor ca. 3 Mrd. Jahren stammen, als die Erdatmosphäre noch frei von Sauerstoff war. Sie haben in den genannten sauerstofffreien Bereichen (Schlammschichten, Sümpfen) ein Refugium gefunden, ähnlich wie die Schwefelbakterien in den seltenen Schwefelquellen. Man kann die Vertreter beider Mikroorganismengemeinschaften als „Archaeobakterien“ bezeichnen. Einzelne Methanbakterien-Arten kommen jedoch auch in aerobem Milieu vor.

Ein gut aufeinander abgestimmtes Team von Mikroorganismen arbeitet bei der Gärung zusammen: Proteine, Kohlenhydrate und Eiweiße, die hochmolekularen Ausgangsstoffe, werden hydrolysiert und fermentiert zu Fettsäuren und leicht flüchtigen Alkoholen. Die Geschwindigkeit dieser Prozesse hängt stark vom Ausgangssubstrat ab.

Obligat H₂-bildende acetogene Bakterien produzieren hieraus in einem raschen Reaktionsschritt anaerob Essigsäure (CH₃COOH), CO₂ und H₂. Die Essigsäure wiederum zersetzen weitere Bakterien zu Methan und CO₂, andere synthetisieren aus dem Wasserstoff und Kohlendioxid Methan und Wasser. Die Methangärung erfolgt langsam und mit vergleichsweise mäßigen Energieausbeuten. Obwohl diese Reaktionen aufeinander aufbauen, geschehen sie gleichzeitig. Die folgenden vier Reaktionsgleichungen sind ein Beispiel für die Schritte vom einfachen Alkohol – nach Hydrolyse des Ausgangsmaterials – zu Methan (aus BRAUN 1982, S.6):



Die ersten drei Reaktionen gehen endergonisch vonstatten: $\Delta G_o'$, der Messwert für die freie Enthalpie, ist positiv, es wird also in der Reaktion mehr Energie aufgenommen als abgegeben. Deshalb sind die relativ hohen Temperaturen nötig, die den Gärprozess kennzeichnen (s.u. Temperatur). Daran angepasst haben die beteiligten Bakterien Tem-

peraturoptima im mittelwarmen bis warmen, einige sogar im heißen Bereich ($>65^{\circ}\text{C}$).

Nur durch die fortwährende Reaktion des entstehenden Wasserstoffs weiter zu Wasser und Methan wird das Reaktionsgleichgewicht ständig zur rechten Seite hin verschoben. Acetogene Bakterien können bei hohem Wasserstoffpartialdruck nicht überleben, sind also auf die ständige Abfuhr ihres eigenen Stoffwechselprodukts angewiesen. Übersteigt die H_2 -Konzentration aufgrund der mangelnden Aktivität der Methanbakterien eine kritische Konzentration, werden die acetogenen Bakterien gehemmt (vgl. DIAW 2004). Die in der Folge nicht mehr umgesetzten organischen Säuren aus der Hydrolyse hemmen unmittelbar oder durch die pH-Absenkung wiederum die Methanbakterien.

Die Mikroorganismen hängen also in ihrer Zusammenarbeit unmittelbar voneinander ab. Das Verhältnis der beiden im Gärprozess entstehenden Gase CH_4 und CO_2 ist unter guten Bedingungen etwa 2:1. Dem entspricht ein Methangehalt im Biogas von etwa 65%.

Wichtige Bedingungen für den Gärprozess sind:

- Temperatur: verschiedene der beteiligten Mikroorganismen haben Temperaturoptima zwischen 50° und 65°C , insgesamt sind 54°C eine vorteilhafte Temperatur. In der Natur wird diese Temperatur durch die Tätigkeit von aeroben Destruenten erreicht.
- C:N – Verhältnis: das Verhältnis von Eiweißen zu Kohlenhydraten ist wichtig für die Reproduktion der Bakterien. Verhältniszahlen von 10 – 16 sind günstig (also ein Verhältnis C zu N von 10 – 16 zu 1). Bei weniger Eiweißen in der Biomasse sinkt die NH_4^+ - Produktion und es wird mehr H_2 und CO_2 gebildet, weniger CH_4 . Bei Überangebot an Eiweiß wiederum steigt der pH-Wert, wodurch die CH_4 -Produktion ebenfalls gestört wird.
- pH-Wert: Ideal für Methanbakterien ist der etwa neutrale Bereich von 6,5 bis 8,5. Bereits unter pH 6,5 werden sie in ihrer Stoffwechselaktivität gehemmt. Außerdem übernehmen außerhalb des genannten Bereiches andere Mikroorganismen-Gemeinschaften anteilig bis völlig die Umsetzung der Hydrolyseprodukte: „Eine pH-Verschiebung außerhalb des relativ engen Bereiches von 6,6 bis 8 kann neben der Beeinflussung von Substratabbau- und Wachstumsrate auch direkten Einfluss auf den Bakterienstoffwechsel ausüben. Mit sinkendem pH erhöht sich beispielsweise die Bernsteinsäureproduktion durch *Anaerobivibrio lipolytica* sowie die Lactatbildung durch Milchsäurebakterien (HOBSON und SUMMERS, 1967). Andererseits wird bei abnehmendem pH in Clostridiengärungen die Bildung weiterer Butter- und Essigsäure zugunsten neutraler Produkte wie Butanol und Aceton unterdrückt. Bei pH 6,5 vergärt *Micrococcus lactilyticus* Pyruvat zu Essigsäure, CO_2 und H_2 . Steigt der pH auf 8,5, werden äquimolekulare Mengen an Formiat und Acetat gebildet (NOVELLI, 1955)“ (BRAUN 1982, S.28) Im Zitat erwähnte Li-

teratur: HOBSON, P. N., SUMMERS, R., 1967: The continuous culture of anaerobic bacteria. J. Gen. Microbiol. 47, 53-65;
NOVELLI, G. D. 1955: The exchange of H¹⁴COOH with the carboxylgroup of pyruvate by Clostridium butyricum and Micrococcus lactilyticus. Biochem. Biophys. Acta 18, 594

5.2 zum 3A-Verfahren

Die in Hollenbek geplante Anlage basiert auf einem von Prof. Ing. Steffen und seinem Ingenieurbüro „S.I.G.-DR.-ING.STEFFEN GmbH“ mit Sitz in Mecklenburg-Vorpommern entwickelten Vergärungsverfahren, das nun vorgestellt werden soll. Einfach gesagt, wird bei dem Verfahren feste Biomasse in Fermentern gelagert und mit Wasser beschickt. Die Biomasse durchläuft drei Stufen, eine **aerobe**, dann die **anaerobe** Methanphase und dann wieder eine **aerobe** Phase, daher der Name des Verfahrens. Die Biomasse selbst bleibt den ganzen Prozess über an derselben Stelle liegen, muss also nicht wie bei der Flüssigvergärung ständig gerührt werden. Das zunächst zur Energiegewinnung aus Biomüll geplante Verfahren funktioniert mit vielen Arten fester Biomasse wie Pflanzenschnitt, Garten- und Küchenabfällen, und prinzipiell jedem anderen biogenen organische Material. Sogar Tests mit Hausmüll erbrachten Erfolg versprechende Ergebnisse mit ca. 200m³/t Gasertrag und der Einhaltung der Richtwerte der TA Siedlungsabfall („Organischer Anteil des Trockenrückstandes der Originalsubstanz“), wenn der Gärprozess vollständig durchlaufen wurde, was ca. 90 Tage in Anspruch nimmt. Die TA Siedlungsabfall von 1993 unterbindet seit dem Ende einer Übergangsfrist bis Ende Mai 2005 endgültig die Ablagerung (Deponierung) jeglichen Materials ohne Vorbehandlung. Bisher entwich Deponiegas mit hohem Methananteil ungenutzt in die Atmosphäre. Die Prozesse in einer Deponie mit nicht vorbehandeltem Inhalt sind denen in einer Biogasanlage sehr verwandt (Oxidation und Hydrolyse, saure Gärung und Methanproduktion). Methan ist ein starkes Treibhausgas, das aus Deponien austretend sogar zu Explosionen führen kann. Deponiegas enthält bis zu 55% Methan (vgl. HAUBRICHS 2004, S. 15).

Derzeit bedeutet die Umsetzung der TA Siedlungsabfall meist eine thermische Vorbehandlung, das heißt: durch Müllverbrennung wird Strom gewonnen. Stattdessen könnte der organische Anteil des Hausmülls nach Fraktionierung auch vergärt werden. Jedoch: „Unter Verwendung konventioneller Reaktorsysteme dürfte die Methangärung der organischen Müllfraktion kaum wirtschaftlich sein. Obwohl mit manchen Müllfraktionen hohe Gasausbeuten möglich sind, erfordert Müll zu seiner Verarbeitung in Rührkesseln eine hohe Verdünnung mit Wasser. Trotz in gewissem Ausmaß möglicher Faulwasserrückfüh-

rung wird ein zusätzliches Abwasserproblem geschaffen. Alternativen Verfahren wie der Trockenfermentation [...] sowie Perkolationsreaktoren [...] wird daher in Hinkunft größere Bedeutung zukommen“ (BRAUN 1982, S. 97).

Die derzeitige einseitige Ausrichtung auf die Müllverbrennung resultiert aus großen Anlagenkapazitäten, die zentralistisch zur Verfügung stehen, unter der Bedingung, dass Müll über weite Strecken unter Einsatz fossiler Treibstoffe transportiert wird. Wenn hier die nötige Dezentralisierung einsetzt, kann das 3A-Verfahren für die Vergärung von Hausmüll eine willkommene Alternative sein. Müllverbrennung steht im Zeichen eines Denkens in offenen Kreisläufen: Abfall fällt an und muss „entsorgt“ werden. Vor der Ablagerung kann man ihn noch energetisch nutzen.

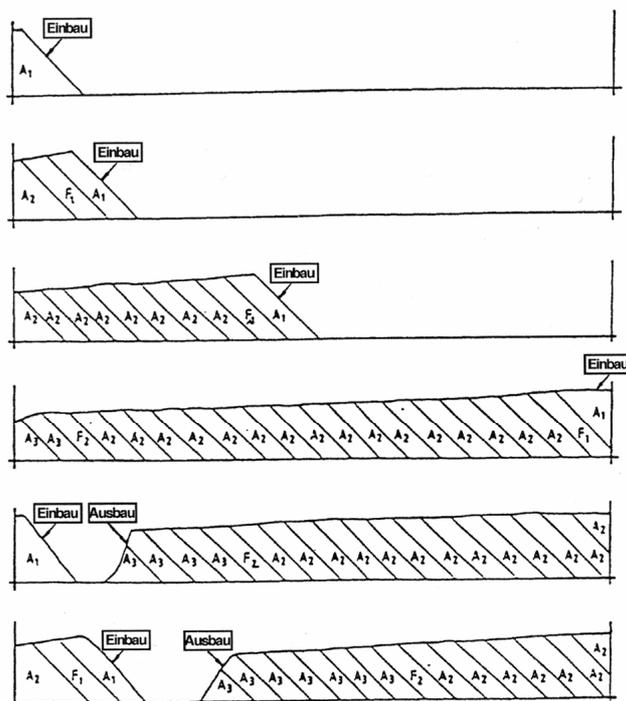
Kreislaufdenken hingegen sieht die Energieproduktion innerhalb eines Kreislaufs der Nutzstoffe: nach der Vergärung liegt Kompost vor, der wieder in die Landschaft eingebracht werden sollte.

Bei der Anlage in Hollenbek ist geplant, Grünschnitt vom Acker, z.B. Klee gras oder andere nachwachsende Rohstoffe wie beispielsweise Stroh zu vergären. Aber auch hier liegt nach dem Durchlaufen des Prozesses Kompost vor, der auf den Acker zurückkehrt. Es handelt sich sozusagen um eine „Leihgabe“ aus der Landschaft für die Energieerzeugung, nicht um eine Ausnutzung der Landschaft.

das Prinzip

Die feste Biomasse wird vergärt, indem sie in einer Asphaltbetonwanne eingelagert wird, zunächst belüftet wird (A₁), dann 60-70 Tage anaerob fermentiert (A₂) und anschließend wieder belüftet wird (A₃).

In zwei Wannen wird das Material fortschreitend aufgeschichtet (siehe Abb. 9, dort schematisch nur eine Wanne abgebildet). Die neueren Schichten bedecken größ-



- Legende:
- A₁ = Aerobes Segment (Phase I)
 - A₂ = Anaerobes Segment (Phase II)
 - A₃ = Aerobes Segment (Phase III)
 - F₁ = fakultatatives Übergangsegment zwischen den Phasen I und II
 - F₂ = fakultatatives Übergangsegment zwischen den Phasen II und III

Abb. 9: schematisches Prinzip des Ein- und Ausbaus der Biomasse – Quelle: STEFFEN et al. 1994

tenteils die früheren und isolieren sie. Zwischen der noch belüfteten, vorderen Schicht und den bereits anaeroben Schichten wirkt eine „fakultative“ Schicht als Übergang. Das Material bleibt während des gesamten dreistufigen Prozesses an einer Stelle liegen. Bei der anfänglichen Belüftung erhitzt sich das Material auf 65 - 70°C, wodurch Samen und viele Keime abgetötet werden. Somit wird eine Hygienisierung erreicht. Nach Einstellen der Belüftung wird Biogas abgesaugt.

Nach der Fermentationszeit und der Wiederbelüftung wird das Material als Kompost entnommen. Hinter der Entnahmestelle wird gleichzeitig frische Biomasse eingefüllt. (siehe Abb. 9). Auf diese Art kann das ganze Jahr über Biogas gewonnen werden. Der gesamte Zyklus durchwandert in etwa 90 Tagen die Wanne, so dass er etwa vier Mal pro Jahr abläuft (vgl. STEFFEN et al. 1994).

Je nach Verfügbarkeit und Menge der Biomasse kann die Zahl der Zyklen pro Jahr von vier auf bis zu sieben gesteigert werden, indem die Biomasse bereits nach 50-60 Tagen, vor vollständiger Ausgärung entnommen und als Rohkompost aufs Feld aufgebracht wird. Die letzten circa vier Wochen des vollständigen Gärprozesses, die bezüglich der Gasausbeute weniger ergiebig sind, werden dann nicht mehr ausgenutzt.

Die meiste Gasbildung geschieht dem Diagramm in Abbildung 10 zufolge bereits in den ersten 20 Tagen der Methangärungsphase.

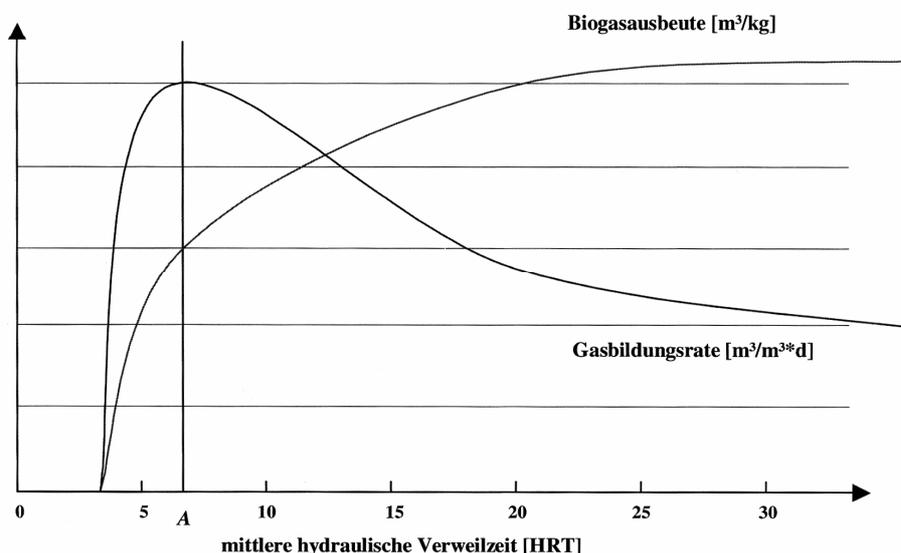


Abb. 10: Biogasausbeute und Gasbildungsrate in Abhängigkeit von der Verweilzeit
Quelle: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, nach: Biogas in der Landwirtschaft – Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg; Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg; Potsdam 2001

Im Laufe eines Zyklus werden 3.000 m³ bis maximal 4.000 m³ Biomasse eingebracht, je nach Höhe der Aufschichtung. Die Grundfläche der beiden Gärbehälter beträgt zusammen 1.000 m². Die Biomasse wird in den Gärsilos auf ein Gewicht von etwa 0,5-0,6 t/m³ verdichtet. Die Hälfte oder, je nach verwendeter Biomasse, bis 70% der Masse sind Feuchtigkeit (STEFFEN mündl.), was dem Wassergehalt der jeweiligen Pflanze entspricht. Der Trockensubstanzanteil von 30-50% liegt in jedem Falle sehr viel höher als bei der Flüssigvergärung, wo etwa 90% des Materials Wasser ist. Der höhere Anteil an Trockensubstanz entspricht einem entsprechend höheren Gehalt an organischem Kohlenstoff und damit an Nahrung für die Bakterien.

Verfahrenstechnisch spricht man von einer höheren Energiedichte des „trockenen“ Materials.

„Die so genannte Trockenfermentation erlaubt es, schütffähige Biomassen aus der Landwirtschaft, aus Bioabfällen und kommunalen Pflegeflächen durch Feststoffvergärung energetisch zu nutzen, ohne die Materialien in ein pumpfähiges, flüssiges Substrat zu überführen.

Die Bezeichnung „Trockenfermentation“ ist zunächst irreführend, da für den anaeroben Prozess immer ein feuchtes Milieu benötigt wird. Von trockenen Verfahren der Biogaserzeugung spricht man, wenn die Trockensubstanz (TS) des zu vergärenden Substrates größer als 25% ist, da organisches Material mit dieser Konsistenz nicht mehr pumpfähig ist“ (DIAW 2004, S.50).

Die Zellsäfte der Pflanzenguts verlassen die Wannen im Laufe der Zersetzung und des Gärprozesses durch die Spaltenböden. Die Perkolierbarkeit des verdichteten Substrats wird durch Spreizmaterial (grobes Holzschreddergut) gewährleistet.

Biomasse in der ersten, aeroben Phase der Lagerung wird mit Perkolat aus der stabilen Methangärungsphase beschickt und umgekehrt Biomasse in der Methanphase mit organisch stark angereichertem Perkolat aus der Anfangsphase. Diese „kreuzweise Perkolationwasserführung ermöglicht die Stabilisierung des pH-Wertes, verhindert die Hemmung des Gärprozesses durch den Abbau des Überangebotes leicht abbaubarer Substanzen und sichert damit den schnellen Übergang zur stabilen Gasproduktion“ (STEFFEN et al. 1994, S.6). Durch den Zellabbau fällt sehr viel mehr Wasser an, als für die Berieselung nötig ist. Das gesamte Sickerwasser wird in einem unterirdischen Perkolat-Tank gesammelt und zurück zum Trockenfermenter im Kreislauf geführt.

Eventuell kann überschüssiges Perkolat in der jetzt bestehenden Anlage flüssig vergärt werden. Hierfür ist eine Leitung angelegt. Die anfallenden Mengen Perkolat werden sich im Betrieb herausstellen. Mit der so entstehenden Möglichkeit, sowohl die festen als auch die flüssigen Bestandteile der vergärten Biomasse auszunutzen, stellt die so entstehende Anlage einen technischen Vorreiter dar. Es handelt sich also vom Prinzip her insgesamt um eine Trocken-Nass-Simultanvergärung, wenn auch das 3A-Verfahren eine reine Trockenfermentation ist.

Eine weitere technische Neuerung ist die kontinuierliche Gaserzeugung trotz der diskontinuierlichen Bauart. Es handelt sich um ein „handbeschicktes Batch-Verfahren“, das heißt, Biomasse wird portionsweise eingefüllt, nach Bedarf und Ermessen des Bewirtschafters. (Daher „handbeschickt“ – die Biomasse wird aber trotzdem mit Maschinen eingefüllt). Im Gegensatz dazu stehen kontinuierliche Verfahren, bei denen die Biomasse automatisch, z.B. über eine Schnecke, zugeführt wird. Der Vorteil einer flexiblen Beschickung der Anlage verbindet sich so mit einer relativ kontinuierlichen Gasproduktion, da anstatt der Biomasse selbst gewissermaßen die Zone der anaeroben Gärungsphase durch den Behälter wandert.

5.2.1 zur Planung der Anlage in Hollenbek

In die neu geplante Feststoffvergärungsanlage soll die jetzt schon auf dem Hof von Herrn Hümme betriebene Biogasanlage integriert werden. Die neue Gesamtanlage hat eine installierte elektrische Leistung von 500kW.

Rechnet man für den Betrieb des BHKW mit 8.000 Stunden im Jahr statt den rechnerischen $365,25 \cdot 24 = 8.766$ Stunden, um Wartung und eventuell nötige Anpassungen der Anlage zu gewährleisten, die sich aus den Erfahrungen im praktischen Betrieb ergeben, so erzeugt das BHKW genug Energie für die Versorgung von etwa 4.000 Personen, bzw. 1.150 Haushalten.

Wärme liefert das BHKW typischerweise in einer Größenordnung, die über der elektrischen Leistung liegt, in diesem Fall etwa 700kW: Bei einem elektrischen Wirkungsgrad von knapp 40% (39,7% laut Hersteller, Angabe der „S.I.G. - DR.-ING. STEFFEN GmbH“ Ingenieursgesellschaft) werden die restlichen 60% also in Wärme umgewandelt, wovon ein großer Teil nutzbar zu machen ist, indem vom BHKW-Motor die Kühlwasser-Wärme und die Wärme des Abgases durch Wärmetauscher eingefangen wird. Hiervon geht Prozesswärme für das Anheizen des Perkolats ab, mit dem die Biomasse in der 3A-Wanne beschickt wird.

Die dann verbleibende Nutzwärme dient zunächst der Heizung des Wohnraums und Wassers der Familie Hümme sowie den Schweineställen des Hofes, wie es die Wärme der jetzt bestehenden Anlage auch tut, bemessen mit einer Spitzenauslastung von 120kW. Die drei Nass-Fermenter, die aus den beiden bestehenden Fermentern und dem jetzigen Endlager hervorgehen werden, benötigen selbst jeweils 20kW, zu dritt also 60kW (HÜMME mündl.). Die Anlagen und der gesamte Hof benötigen damit knapp 30% der nutzbaren Wärme. Mit den verbleibenden ca. 500kW können in einem dezentralen Netz die Wohnhäuser von Hollenbek mit Wärme beliefert werden. Es entstehen Wärmeüberkapazitäten im Sommer, weswegen man den Prozess so gestalten könnte, dass die Zyklen im Sommer die vollen 90 Tage in der 3A-Wanne

verbringen, während man im Winter die Erträge maximiert. Diese Flexibilität der Beschickung ist durch die Art der Anlage gewährleistet (siehe Abschnitt 5.2 zum 3A-Verfahren). Aber auch bei sommerlicher Auslastung der Anlage kann die Wärme beispielsweise in Gewächshäusern genutzt werden. So kann gleichzeitig ein Beitrag zur Selbstversorgung mit Nahrungsmitteln geleistet werden. Regionale Stoffkreisläufe werden geschlossen, und auch im nachfossilen Zeitalter kann eine vielfältige Produktpalette an Nahrungsmitteln angeboten werden (z.B. mit Südfrüchten aus dem Gewächshaus).

Die hohen Wärmemengen sind typisch für die Kraft-Wärme-Kopplung: Jedes moderne Blockheizkraftwerk erzeugt mehr, teilweise weit mehr Wärmeenergie als elektrische Energie. Ein typisches BHKW hat einen Gesamtwirkungsgrad von 85%, der sich aufteilt in einen elektrischen Wirkungsgrad von 35% und einen thermischen Wirkungsgrad von 50%.

Bei der dezentralen Stromversorgung, die im Laufe der nächsten maximal 40-50 Jahre nötig wird, werden also große Wärmemengen erzeugt, die bei fehlenden Konzepten zu Überkapazitäten zu werden drohen. Eine neue Idee zur Wärmenutzung und -speicherung ist beispielsweise die kleinräumige Einlagerung von Erdwärme mittels eines Erdwärmetauschers.

Auch bei der jetzigen Energieversorgung fallen erhebliche Wärmekapazitäten an. Bei zentralen Kohlekraftwerken wird die entstehende Wärme sogar komplett ungenutzt an die Atmosphäre abgegeben.

6. Gesetze: EEG und BauGB

In der bis zum 20. Juli 2004 geltenden Fassung des BauGB wurden bereits der Bau von Wind- und Wasserkraftanlagen im Außenbereich gesondert privilegiert (BauGB 2002 §35 Abs.1 Nr.5); bei einer anderen Anlage bestand die Vorgabe, dass sie für die Privilegierung „einem land- oder forstwirtschaftlichen Betrieb dient und nur einen untergeordneten Teil der Betriebsfläche einnimmt“ (BauGB 2004 §35, Abs.1 Nr.1).

In einem weit gefassten Verständnis könnte man argumentieren, dass die Anlage dem Hof von Herrn Hümme dient, insofern sie eine nachhaltige Einnahmequelle bietet und so ihm, seiner Familie und seinen Nachkommen die Existenz sichert.

Das Bundesverwaltungsgericht liest aus der Vorgabe jedoch, dass der erzeugte Strom zumindest zu 50% dem Hof dienen soll. Diese Auslegung behindert die Entwicklung hin zu einer dezentralen Stromversorgung. Gerade bei Biogas sind Anlagengrößen auf Hofebene weniger produktiv zu betreiben als größere Anlagen mit Kapazität für die Versorgung mehrerer Höfe bis hin zur Dorf- oder Kleinstadtebene, da Blockheizkraftwerke ab einer bestimmten Miniaturisierung weniger effizient arbeiten.

In der seit 2004 geltenden Novelle des Baugesetzbuches in Anpassung an die Novelle des „erneuerbare Energien-Gesetzes“ 2004 ist zwar §35 Abs.1 Nr.1 so geblieben wie bisher, unabhängig davon werden jedoch unter Nr.6 des Absatzes neben Wind- und Wasserkraftanlagen neuerdings unter bestimmten Bedingungen auch Biogasanlagen im Außenbereich privilegiert. Dies bedeutet eine notwendige Erleichterung bei der Genehmigung dezentraler Biogasanlagen. Die Biomasse, die in der Anlage energetisch genutzt wird, muss überwiegend, das heißt in aller Regel zu mehr als der Hälfte, „aus dem Betrieb oder überwiegend aus diesem und aus nahe gelegenen Betrieben“ stammen (BauGB 2004, §35, Abs.6 (b)). Transporte über weite Strecken sollen so vermieden werden.

Die Kooperation mit mehreren Landwirten der nächsten Umgebung entspricht dieser Bestimmung. Die Anlage muss weiterhin, um den Status der Privilegierung haben zu können, in einem räumlich-funktionalen Zusammenhang mit diesem Betrieb stehen. Die Hauskoppel des Hofes von Herrn Hümme erfüllt räumlich diese Bedingung, die Biomassennutzung von einem umliegenden Hof wiederum erfüllt den funktionalen Zusammenhang.

Seit der Novellierung des EEG 2004 werden Biogasanlagen der neu aufgenommenen kleinsten Kategorie bis 150kW mit 11,5 Cent höher vergütet als Anlagen bis 500kW wie die hier geplante mit 9,9 Cent pro Kilowattstunde. In der Begründung zum EEG heißt es hierzu:

„Hintergrund ist, dass die relativ höheren spezifischen Kosten bei kleinen Anlagen in den bisher lediglich drei Vergütungsstufen unzureichend abgebildet werden. Bioenergieanlagen – namentlich Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich – können nach den vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit veranlassten wissenschaftlichen Betrachtungen der Marktlage auf Grundlage der bisherigen Regelung häufig selbst unter Ausnutzung des bestehenden Marktanreizprogramms nicht rentabel betrieben werden. Es bedarf daher einer moderaten Erhöhung in diesem Marktsegment, um die vorhandenen Potenziale im Hinblick auf den Zweck des Gesetzes zu erschließen“
(EEG Begründung 2004, S.39).

Ob die Selbstversorgung einzelner Höfe oder die gemeinsame Versorgung eines ländlichen Gebietes durch eine Anlage langfristig sinnvoller ist, wird sich durch zunehmende Erfahrung und den Fortschritt der Anlagentechnik herausstellen.

Fraglich bleibt, warum Anlagen gezielt gefördert werden, bei denen die Investitionskosten für Biogasanlagen im Verhältnis zur installierten Leistung unverhältnismäßig hoch sind gegenüber größeren Anlagen (siehe Abb. 6; eine ähnliche Kurve beschreibt die Betreuungs- und Wartungskosten von BHKWs mit einer Leistung unter 200kW).

Das EEG 2004 ist schon die zweite Weiterentwicklung des Vergütungssystems der Bundesregierung, nach dem ursprünglichen „Stromeinspeisungsgesetzes für Erneuerbare Energien“ (StrEG) von 1991 und dem ersten EEG, das am 1.April 2000 in Kraft trat. Im September 2001 hat das europäische Parlament die „Richtlinie 2001/77/EG zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt“ verabschiedet. Die Neuregelung des EEG 2004 setzt diese Richtlinie um.

Durch die langfristige Zusicherung und Weiterentwicklung der Einspeisevergütung „konnte der Anteil der Erneuerbaren Energien am Stromverbrauch von 4,6 Prozent im Jahr 1998 auf rund 8 Prozent im Jahr 2003 gesteigert werden“ (EEG Begründung 2004, S. 22). In Anbetracht der anstehenden Energiewende sind diese Prozentzahlen erst der Anfang.

„In der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung ist das Ziel verankert, den Anteil der Erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch bis zum Jahr 2010 gegenüber 2000 mindestens auf 4,2 Prozent und an der Stromversorgung mindestens auf 12,5 Prozent zu verdoppeln. Bis Mitte des Jahrhunderts sollen Erneuerbare Energien rund 50 Prozent des Energieverbrauchs decken. Daraus ergeben sich Zwischenziele; das EEG normiert als mittelfristiges Zwischenziel einen Anteil von mindestens 20 Prozent Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis zum Jahr 2020“
(ebenda, S. 20).

Ob für eine so langfristige Planung die fossilen Vorräte noch ausreichen, wird indes nicht von politischen Absichtserklärungen bestimmt, sondern vom realen Verbrauch, der sich ständig beschleunigt.

Die im EEG 2004 vorgeschriebene Mindestvergütung für Anlagen über 150kW und bis 500kW beträgt 9,9 Cent im Jahr des Inkrafttretens 2004. Die Zuordnung einer Anlage unter eine Obergrenze, wie hier die Marke bei 500kW, erfolgt nach §12 Abs.2 „nicht nach der installierten Leistung, sondern nach der durchschnittlichen Jahresarbeit.“ Anders bei Photovoltaik und Sonnenkollektoren, da „bleibt es [...] bei der Zuordnung nach der installierten Leistung der Module“ (EEG Begründung 2004, S. 46).

Die Mindestvergütung verringert sich beginnend mit dem Jahr 2005 jährlich um 1,5%.

Zusätzlich werden unter bestimmten Bedingungen, die die Art der eingesetzten Biomasse und die Anlagentechnik betreffen, Bonus-Aufschläge vergütet:

- aufgrund des „Nawaro-Bonus“ nach §8 Abs.2 EEG erhöht sich die Vergütung um 6 Cent pro Kilowattstunde, wenn ausschließlich Pflanzen oder Pflanzeteile eingesetzt werden, „die in landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder in gartenbaulichen Betrieben oder im Rahmen der Landschaftspflege anfallen und die keiner weiteren als der zur Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen werden.“ Dies ist bei der hier geplanten Anlage der Fall.

Dieser Vergütungs-Bonus wird auch gezahlt, wenn Gülle vergärt wird, die der EU-Hygieneverordnung entspricht („Verordnung EG Nr. 1774/2002 mit Hygienevorschriften für nicht zum menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte“, eine in Reaktion auf BSE, Maul- und Klauenseuche und Schweinepest entstandene Verordnung vom 10.Oktober 2002, die seit dem 30. April 2003 anzuwenden ist). Auch die in landwirtschaftlichen Brennereien anfallende „Schlempe“ kann vergärt werden, ohne den Bonus zu verlieren.

Absicht hinter dieser Regelung aus §8 Abs.2 ist, den weiträumigen Transport von Kofermenten weniger rentabel zu gestalten:

„Biogasanlagen, deren Haupteinsatzstoff Gülle ist, können nur rentabel betrieben werden, wenn in beträchtlichem Umfang energiereiche Kofermente aus Abfällen (insbesondere tierische Fette) eingesetzt werden. Der Markt für derartige Stoffe ist jedoch eng begrenzt. Es zeichnet sich deshalb ab, dass das große Nutzungspotenzial der Biomasse land- und forstwirtschaftlicher Herkunft ohne zusätzliche Anreizinstrumente nicht in dem wünschenswerten Umfang erschlossen werden kann. Die nach dem neuen Absatz 1 vorgesehenen neuen Vergütungsstufen für Kleinanlagen reichen allein nicht aus, um die wirtschaftlichen Nachteile für Anlagen, in denen keine energiereichen Kofermente eingesetzt werden, auszugleichen. Durch die Einführung des Bonus soll der Begrenztheit und einer Fehlleitung von Abfallstoffströmen begegnet werden und ein Beitrag zur Erschließung nachwachsender Rohstoffe zur energetischen Nutzung geleistet werden“ (EEG Begründung 2004, S. 39).

Abgesehen davon, dass hier aus einem unzureichenden Systemverständnis heraus von „Abfall“ die Rede ist, ist der derzeitige gebräuchliche weiträumige Transport von Kofermenten insgesamt tatsächlich untragbar. Biogasanlagen in der Nähe von speziellen Standorten, an denen große Mengen tierische Fette oder andere produktiv zu fermentierende Biomasse auftritt, sollten auch unter Verzicht auf diesen Bonus rentabel sein.

Allerdings sollten generell, anstatt Biomasse nur für die Vergärung anzubauen, Synergien gesucht werden, wie die Nutzung von Heu oder Stroh als Stalleinlage mit anschließender Gaserzeugung, oder, wie in Fall dieser Anlage, die energetische Nutzung einer Zwischenfrucht vom Acker mit gezielter Ausbringung des ausgegorenen Substrats als Dünger.

Die Förderung des Biomasseanbaus nur für die Vergärung ist systemisch nicht sinnvoll, da der Stoffkreislauf von Produzenten über die Konsumenten zu den Destruenten und wieder zur Produktion nicht ausgeschöpft wird, sondern die Produktion nur für die anschließende Zersetzung stattfindet. Die anscheinende Sinnhaftigkeit könnte von der Gleichsetzung von Konsum und Zersetzung (oder sogar Zerstörung) in der heutigen Gesellschaft herrühren, und sicherlich von dem derzeitigen Überangebot an Nahrungsmitteln, die mit maximierten Erträgen landschaftsverbrauchend angebaut und mit fossiler Energie kostengünstig über weite Strecken transportiert werden. Die Nutzung von Zwischenfrüchten hingegen steht im Einklang mit der landwirtschaftlichen Nahrungsmittelproduktion.

- Weiterhin wird die anlagentechnische Vorreiterrolle der Trockenfermentation durch das EEG 2004 mit einem „Technologie-Bonus“ nach §8 Abs.4 gefördert, die Mindestvergütung erhöht sich um weitere 2 Cent. Nach demselben Artikel wird auch Kraft-Wärme-Kopplung mit 2 Cent zusätzlich gefördert.
- Wird ein Nachweis über die Wärmenutzung geliefert, kann sich die Mindestvergütung um bis zu weitere 2 Cent erhöhen, je nach dem jährlichen Wärmenutzungsgrad. Hierzu ist Betriebstagebuch zu führen mit kontinuierlicher Erfassung der Nettostromerzeugung, Nettowärmeerzeugung und Brennstoffwärme. Hieraus wird der Brennstoffnutzungsgrad und letztlich die Erzeugung von Netto-KWK-Strom ermittelt, für den die 2 Cent pro Kilowattstunde vergütet werden (AGFW 2002, S.81). Denn nur der Teil der produzierten Strommenge ist „KWK-Strom“, der in direktem Zusammenhang mit simultan erzeugter nutzbarer Wärme steht.

In die Grundvergütung nach §8 Abs.1 EEG 2004 ist die einprozentige jährliche Degression seit dem Inkrafttreten der alten Fassung des EEG von 2000 bereits eingerechnet. Die dortige Vergütung betrug für Anlagen bis 500kW noch 20 Pfennig pro Kilowattstunde. Ab 2005 sinkt die Grundvergütung für Biomassenutzung weiter jährlich um 1,5% (Zum Vergleich: Bei Nutzung von Wasserkraft sowie Geothermie beträgt die jährliche

Degression 1%, bei Deponie- Klär- und Grubengas 1,5%, Windenergie 2%, bei Strahlungsenergie, also Photovoltaik und Solarkollektoren 5%, ab 2006 6,5%; siehe §§6-11 EEG 2004). Mit Weiterentwicklung und größerer Verfügbarkeit der Anlagentechnologien sinkt der Preis neuer Anlagen, so dass die Degression des EEG keine überstürzten Baumaßnahmen provozieren sollte. Die Degression wird auf zwei Nachkommastellen gerundet. Die Höhe der Bonus-Vergütungen bleibt davon unberührt.

Die garantierte Mindestvergütung bedeutet, dass dem Anlagenbetreiber der Preis, so weit er bis zum Jahr der Inbetriebnahme aufgrund der Degression gesunken ist, 20 Jahre lang gezahlt wird. Während dieser 20 Jahre sinkt der Abnahmepreis für den Anlagenbetreiber dann also nicht weiter.

6.1 weitere gesetzliche Regelungen

- BImSchG (Bundes-Immissionsschutzgesetz) und die dazu gehörigen Verordnungen zu gehandhabten Stoffen und Emissionsquellen, unterteilt in Lärmemissionen und Luftverunreinigungen. Die Genehmigung nach dem BImSchG hat meistens den größten Umfang aller Planunterlagen.
- Das als Dünger ausgebrachte Substrat hat der Düngemittelverordnung zu genügen, in der wiederum auf die Einhaltung der Schadstoff-Grenzwerte aus der Bioabfallverordnung verwiesen wird. Das ausgefaulte Substrat muss eine Düngemittelrechtliche Kennzeichnung erhalten, mit Angaben über Pflanzennährstoffe gesamt (N, P₂O₅, K₂O, MgO, CaO), pH-Wert, Salzgehalt, Rohdichte (Volumengewicht), Körnung, organische Substanz u.a. (siehe BGK 2005).
- Das Mineralölsteuergesetz mit der dazugehörigen Verordnung schreibt eine Anmeldung beim zuständigen Zollamt vor. Bei Zündstrahl-BHKWs wird das Biogas-Luft-Gemisch mittels konventionellen Treibstoffs – Heizöl oder Diesel – gezündet. Die Mineralölsteuern hierfür kann sich der Anlagenbetreiber auf Antrag rückerstatten lassen. Dafür sind zwei Voraussetzungen nötig: zum einen ein Gesamtwirkungsgrad – elektrisch und thermisch – des BHKWs von 70% oder mehr. Bis hinab zu 60% Gesamtwirkungsgrad kann immer noch die Differenz der Diesel- zur Heizölsteuer erstattet werden; zum anderen der Nachweis über eine ganzjährige Nutzung der Wärme, da ansonsten der Gesamtwirkungsgrad im Sommer nicht gegeben ist (MinöStG, §25).

Das Zündöl kann allerdings auch durch Öl aus nachwachsenden Rohstoffen ersetzt werden. Bei Anlagen, die ab 2007 in Betrieb gehen, wird dies nach dem EEG (EEG §8 Abs.6) sogar gefordert; Anlagen, die dann noch konventionellen Diesel einsetzen, werden nicht mehr gefördert.

- Die Abgase des BHKW dürfen die Werte der TA Luft (Technische Anleitung Luft) nicht übersteigen. Dies wird vom Hersteller des BHKW gewährleistet.

Die Notwendigkeit gesetzlicher Regelungen zur Sicherung der Gesundheit der Bevölkerung und Schonung der Umwelt ist unbestritten. Dennoch können diese detaillierten Vorschriften auch leicht zur Innovationsbremse werden.

7. Synergien

7.1 kombinierte Energie- und Ressourcenwirtschaft

Um der EU-Verordnung „ökologischer Landbau“ 2092/91/EWG zu genügen, müssen 70% der fermentierten Biomasse aus dem ökologischen Anbau stammen, damit nach Vergärung der Kompost auf einem ökologisch bewirtschafteten Acker ausgebracht werden darf.

Neben der vorrangigen Nutzung von Zwischenfrüchten aus dem Ökolandbau können also 30% der eingesetzten Biomasse Aufwüchse vom konventionellen Acker oder von Stilllegungsflächen sein.

Bei den derzeitigen Preisen für Feldfrüchte kann es sich für einen benachbarten Landwirt lohnen, statt z.B. Weizen Mais als nachwachsenden Rohstoff für die Vergärung anzubauen:

Für Weizen bekäme er zurzeit 10 € pro Doppelzentner (Marktpreis) oder sogar noch weniger. Er kann circa 70 dz von einem Hektar ernten, so dass er 700 €/ha erwirtschaftet, abzüglich den Kosten für Saatgut, Düngung, pflügen und vorbereiten des Saatbetts, die Aussaat, das Spritzen von Pflanzenschutzmitteln und die Ernte; weiterhin trägt er das Risiko von Ernteauffällen durch Witterung, und das Risiko, den geernteten Weizen energieaufwendig trocknen zu müssen.

Alternativ kann er für die Trockenfermentationsanlage Mais anbauen. Hat er z.B. eine Fläche mit leichtem Boden, bietet sich Maisanbau an, da sich hier höhere Maiserträge als Weizenerträge erwirtschaften lassen.

Herr Hümme könnte von diesem Nachbarn 50-70m³ Mais pro Hektar für beispielsweise 800 €/ha einkaufen und könnte anbieten, die Erntekosten zu übernehmen oder ausgefaulten Kompost auf die Fläche zurückzubringen, was mit steigenden Düngerpreisen für den Landbewirtschafteter mehr und mehr vorteilhaft wird.

Konventioneller Ackerbau muss seit der EU-Agrarreform stilllegen (mindestens 10%, freiwillig auch bis 30%). Das Überangebot an landwirtschaftlichen Erzeugnissen soll eingedämmt werden, da der Staat hohe Verluste macht, indem er die erzeugten Güter zu einem Mindestpreis ankauft und dann unter Verlust exportiert. Die Stilllegungsfläche muss begrünt werden. Als Begrünung können Energiepflanzen angebaut werden, worüber von beiden Seiten (Landwirt und Energiepflanzenankäufer) Buch geführt werden muss. Der Verwerter notiert, wann er welche Biomasse von welchem Landwirt energetisch verwertet hat. Damit soll Subventionsbetrug verhindert werden. Die BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Frankfurt) hat hierfür zwei fünfzigseitige

Merkblätter“ veröffentlicht, jeweils eins für den Landwirt und den Verwerter. Für den Anbau von Energiepflanzen bekommt der Bauer 45 €/ha zusätzlich zur Flächenprämie auf nicht stillgelegten Flächen. Der „Anbau nachwachsender Rohstoffe auf stillgelegten Flächen [ist] gem. VO 1973/04 unter Beibehaltung der Ausgleichszahlung möglich“ (FNR 2005). Die Verträge zwischen Landwirt und den Verwerter müssen entsprechend den Merkblättern“ jährlich neu geschlossen werden, da jedes Jahr verschiedene Pflanzen angebaut werden (können).

Die Sinnhaftigkeit der Stilllegung nach der neuesten Agrarreform beruht auf der noch gegebenen Rentabilität der weiträumigen Transporte. Weizen beispielsweise kommt aus der Ukraine zu einem geringeren Preis angeliefert, als er in Deutschland produziert werden kann. Mit dem Anstieg der Transportkosten wird diese Regelung in absehbarer Zeit veralten.

Die Vorteile für den Landwirt, der eine Fläche für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung stellt, sind neben der Förderung des BLE auch die Einsparung der Erntekosten, ein geringes Ernterisiko und der Düngewert des nach der Vergärung zurück gelieferten Kompostes. Gegenüber beispielsweise dem Weizen, der rapide an Qualität verliert, wenn sich aufgrund schlechten Wetters die Ernte erst einige Wochen nach dem optimalen Erntezeitpunkt eingeholt werden kann und der dann womöglich zusätzlich noch energieaufwendig getrocknet werden muss, sind Energiepflanzen weniger anspruchsvoll und leichter zu handhaben. Der Landwirt kann fossilen Dünger durch Kompost ersetzen, der vom Betreiber der Biogasanlage zum Acker zurückgebracht wird. Die Vergärung stellt somit eine einzigartige Möglichkeit dar, Düngewert in Form des Kompostes von einer Stilllegungsfläche für seine Ertragsflächen zu gewinnen.

7.2 Zwischenfruchtnutzung

Als Zwischenfrucht geerntete Klee-Grasvegetation oder verschiedene Grünschnittgewächse von Brachflächen können nach der Vergärung als Dünger am Ort des größten Bedarfs und nach bestem Ermessen eingesetzt werden. Leguminosen (Schmetterlingsblütlergewächse), die als Zwischenvegetation auf dem Acker für eine Stickstoffanreicherung sorgen, werden geerntet und im nächsten Frühjahr gezielt ausgebracht, anstatt vor der Saat untergepflügt zu werden. Der Gärvorgang erwirkt für den Nährstoffhaushalt mehrere Vorteile:

- Der Gründünger kann als „Kopfdünger“ in den Bestand eingebracht werden, so dass ihn die Pflanzen schnell aufnehmen können. Bisher wird die Zwischenfrucht in 18 - 25cm untergepflügt, wodurch sie plötzlich anaerob lagert. Dadurch setzen Faulungsprozesse ein, bei denen Methan, Lachgas und geringe Mengen NO entstehen,

die sich negativ auf das Pflanzenwachstum auswirken. Durch die stellenweise einsetzende starke Mineralisation wird viel Sauerstoff verbraucht. Ein Teil der mineralisierten Nährstoffe wird in tiefere Bodenschichten verlagert oder ausgewaschen.

Derselbe Effekt setzt bei Düngung unvergorener Biomasse (z.B. Gülle aus ökologischer Tierhaltung) ein. Die sofortige starke Mineralisierung führt stellenweise zu anoxischen Zuständen, wodurch das Bodenleben geschädigt wird. Die Denitrifikation wird hingegen gefördert: Bakterien nutzen bei der Nitratatmung unter anoxischen Bodenverhältnissen Sauerstoff aus NO_3 , wodurch es dem Boden verloren geht und in geringen Mengen sogar Stickoxide (NO) und Lachgas (N_2O) entstehen. Auch werden erhebliche Mengen Methan frei, die man in der Biogasanlage energetisch nutzen kann, wodurch gleichzeitig die Atmosphäre geschützt wird (vgl. MÖLLER 2003, S.8f). Die Treibhauswirkung von Methan ist gegenüber Kohlendioxid um den Faktor 32 höher.

- Die Humusbildung wird nicht oder nur gering vermindert: ligninhaltige und deshalb schwer zersetzbare organische Kohlenstoffverbindungen werden bei der Fermentation nicht abgebaut, da hierzu nur spezialisierte Mikroorganismen im aeroben Milieu in der Lage sind. Ligninhaltige Verbindungen sind es aber, die maßgeblich für den Humusaufbau verantwortlich sind. Darüber hinaus kann vermutet werden, dass im Zusammenhang mit der biologischen Aktivität, die nach der Einbringung unvergärter Gülle im A_p -Horizont des Ackers einsetzt, auch (kometabolisch) Huminstoffe abgebaut werden und dem Acker verloren gehen (vgl. MÖLLER 2003, S.6ff).
- In jedem Fall wird die Unabhängigkeit von konventionellem, mit fossiler Energie erzeugtem Stickstoffdünger noch stärker gefördert als durch das Unterpflügen der Zwischenfrucht. Die Stickstoffversorgung insbesondere im Ökolandbau, der auf konventionellen N-Dünger komplett verzichtet, kann nochmals erheblich erleichtert werden. Auf diese Weise kann die Erntemenge generell gesteigert werden, und z.B. bei Weizen auch die Backqualität, die direkt mit dem Proteingehalt zusammenhängt, der wiederum von der N-Verfügbarkeit abhängig ist.

Bis zur Industrialisierung der Landwirtschaft wurde Kompost und Dung auf Bauernhöfen auf einem Misthaufen gesammelt, in dem sich ebenfalls anaerobe Bedingungen einstellten. Bei der heute üblichen Kompostierung von „Biomüll“ werden Nährstoffe zu einem großen Teil mineralisiert und an die Atmosphäre abgegeben, z.B. Nitrat als NO_x , Lachgas (N_2O) oder N_2 .

Die energetische Verwertung in der Biogasanlage verbessert also gleichzeitig die Eignung der Zwischenfrüchte als Dünger und bietet dem Landwirt den Vorteil, den Dünger gezielt einzusetzen.

7.3 Treibstoffgewinnung

Um die Durchlässigkeit des Substrats im Gärbehälter zu gewährleisten, wird als technisches Spreizmaterial Strauchschnitt aus einem Entsorgungsbetrieb der in 15km entfernt liegenden Stadt Mölln kostenlos oder sogar mit Entsorgungserlös angeliefert. Das von Grünflächen, Gärten und Friedhöfen stammende Holzmaterial bleibt wegen seines hohen Ligningehaltes im Fermenter weitgehend unverändert erhalten.

Um nicht nach Aufbringung des ausgefaulten Kompostes auf dem Acker zu höherer Stickstoffabsorption zu führen, könnte es herausgesiebt und mithilfe eines Verflüssigungsverfahrens (Bio to liquids, BtL) zur Dieselherstellung verwendet werden. Nicht nur aus dem Strauchschnitt, auch aus einem sonstigen Teil der ausgegorenen Biomasse könnte Diesel gewonnen werden. Derzeitig arbeiten sehr viele Forschergruppen an der Entwicklung von Kraftstoffen aus Biomasse, unter der Sammelbezeichnung „Sun fuel“. Eine im Hinblick auf eine dezentrale Realisierbarkeit bemerkenswerte Technologie ist die „Katalytische drucklose Verölung (Depolymerisation)“ der Firma Alphakat. Patentinhaber ist Dr. Christian Koch (siehe www.alphakat.de). Die Verölung organischer Stoffe zu hochwertigem Treibstoff, bei lediglich bis zu 350°C und ohne Druck, wird durch Katalysatoren ermöglicht, die in den letzten Jahrzehnten intensiv erforscht worden sind. Ein Team um den Verfahrenstechniker Prof. Thomas Willner in Hamburg-Bergedorf hat sich der Erprobung dieser Technologie gewidmet. Beide, Prof. Willner und Dr. Christian Koch sind an einer Kooperation interessiert. Die Verfahrenstechnik ist nach einer über 20-jährigen Entwicklung hier bereits so weit gediehen, dass derzeit an der großtechnischen Realisierung mehrerer im Versuchsmaßstab bereits funktionierender Anlagen gearbeitet wird (vgl. HILLMER 2004). Eine erste Produktionsanlage für eine Kapazität von 500 Liter/h Produktöl ist Ende 2003 in Mexiko in Betrieb. Es besteht damit eine erste produktive Anlage zum Test der Verfahrenstechnik auf Betriebstauglichkeit und Rentabilität, und zur Sammlung von Erfahrungen und Optimierung des Prozesses. Die angewendeten Technologien basieren auf der katalytischen Depolymerisation und dem katalytischen Cracken.

„Die HAW-Wissenschaftler arbeiten an drei Verfahren: am "katalytischen Cracken" bei 350 bis 400 Grad Celsius, an der Hydrierung unter Druck und mit Zugabe von selbst erzeugtem Wasserstoff und, in Kooperation mit der BFH, an der sogenannten Flash-Pyrolyse von Holz. Diese "Direktverflüssigungsverfahren" haben einen deutlich höheren Wirkungsgrad als Konkurrenztechniken wie die Vergasung oder Vergärung von Biomasse oder aber die Herstellung des heutigen Biodiesels (RME) aus Rapsöl, betont Willner“ (HILLMER 2004).

Bei vielen anderen Herstellungsverfahren wird die Biomasse zunächst bei 700-1000°C und mehr in gasförmige Moleküle zerlegt (Synthesegas), um sie dann mittels Fischer-Tropsch-Synthese bis zu den gewünschten physikalischen Eigenschaften (Viskosität, spezifisches Gewicht) wieder zu verketteten (z.B. Carbo-V – Verfahren der CHOREN Industries GmbH Freiberg). Die Effizienz der Direktverflüssigung besteht in der

Auslassung des Synthesegas-Zwischenschrittes (vgl. WILLNER 2005). Während die Wirkungsgrade anderer flüssiger Treibstoffe aus Biomasse zwischen 33% und 55% liegen, liegt der energetische Wirkungsgrad der katalytischen Direktverflüssigung bei etwa 70%. Aus dem anfallenden Gas (20 Masseprozent, in denen 7% der Energie aus der Biomasse steckt) und einem Teil des Produktöles kann die benötigte Prozessenergie von 30% gewonnen werden. Ein Teil des Gases kann alternativ auch zum Vortrocknen der Biomasse genutzt werden. Hierfür kann auch die Energie aus der Verbrennung der anfallenden Kohle einen großen Teil beitragen. „Der energetische Flächenertrag ist bei der Direktverflüssigung etwa um den Faktor 3 höher als bei bestehenden Verflüssigungsverfahren“ (WILLNER 2005). Mit dem vergleichsweise unkomplizierten Aufbau der Anlagen für die katalytische Direktverflüssigung (KDV) ist eine Versorgung mit Diesel und Benzin mit hohen Erträgen pro Hektar Anbaufläche dezentral möglich: Kostenrechnungen zeigen, „dass das katalytische Kracken schon in kleineren dezentral betriebenen Produktionseinheiten im land- und forstwirtschaftlichen Bereich rentabel realisierbar wäre“ (WILLNER 2005).

Es „ergibt sich, umgerechnet auf einen Liter herkömmlichen Dieseldieselkraftstoff, ein theoretischer Herstellungspreis von 40 Cent pro Liter; der RME-Biodiesel liegt bei 60 Cents, alle anderen Verfahren bei 70 Cents und mehr“ (HILLMER 2004). In einem Liter Methanol stecken zudem nur 21,1MJ/kg (bzw. etwa 16MJ pro Liter) Heizwert, während in KDV-Diesel, wie in konventionellem Diesel und Rapsmethylester (RME) um 42,5MJ/kg Heizwert enthalten sind (Bei einem Rauminhalt von 1,16l/kg entsprechend 36,6MJ/l) (vgl. WILLNER 2005).

Es entstehen als Produktöl fast ausschließlich reine Alkane mit einem geringen Anteil an Hydroxyl-Gruppen (OH-Gruppen). Bei der Verflüssigung von Kunststoff-Schredderleichtfraktion wurde für den erzeugten Diesel eine Cetanzahl von 65 ermittelt. Herkömmlicher Diesel hat Cetanzahlen von 50-53. Die Cetanzahl ist ein Vergleichswert für die Zündwilligkeit des Diesels. Herkömmlichem Diesel wird zur Steigerung der Zündwilligkeit Tetranitromethan zugegeben. Bei KDV-Diesel ist dies nicht nötig. Die anorganischen Nährelemente liegen am Ende in der Asche der verbrannten Kohle vor und können wieder auf den Acker gebracht werden. In der Asche verbleibt auch der eingesetzte Katalysator. Es handelt sich hierbei um Zeolithe (Alkali- und Erdalkali-Aluminiumsilikate), die unschädlich sind. Eventuell bieten sie aufgrund ihrer Ionentauschaktivität sogar Vorteile für den Nährstoffhaushalt.

Technischer Aufbau

Dem Reaktor wird über eine Schnecke ein Gemisch aus Substrat (organische Roh- und Reststoffe) und Katalysator zugeführt. In verschiedenen Versuchsreihen wurde bisher vorrangig „feste Biomassen wie Holz und Stroh, getrockneter Klärschlamm und Schredderleichtfraktion aus der Automobilverschrottung“ eingesetzt (WILLNER 2005). Bei Ver-

wendung von Kunststoffen muss die Schnecke selbst gekühlt werden, um ein Schmelzen schon in der Schnecke zu verhindern. Die anschließende Erhitzung auf 300-400°C im Reaktor erfolgt sehr schnell, da so die Ausbeute gegenüber einer langsamen Erhitzung erhöht werden kann. Wasserdampf, verdampftes Rohöl und Gas steigen aus dem Reaktor nach oben auf. Bei Abkühlung kondensieren Öl und Wasser und trennen sich in zwei Phasen auf. Bei der jetzigen Versuchsanlage muss anschließend in einem zweiten Arbeitsschritt durch Destillation Diesel und Benzin getrennt werden, bei der auf dem Gelände der HAW Hamburg-Bergedorf im Bau befindlichen Pilotanlage ist über dem Reaktor direkt eine Rektifikationskolonne angebracht (siehe Abb. 11).

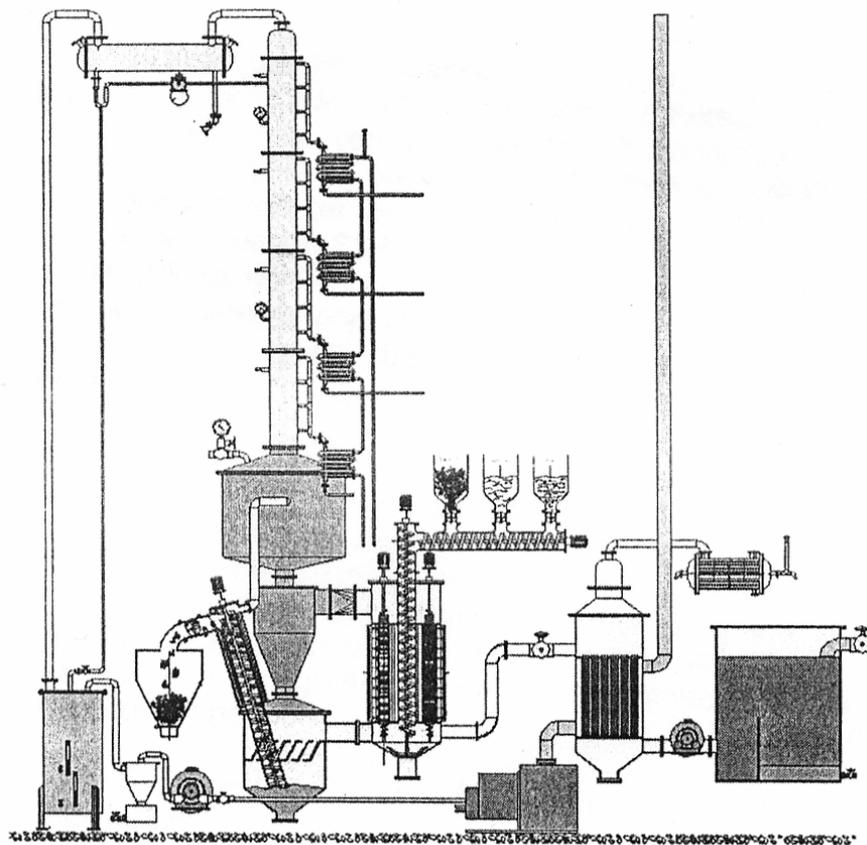


Abb. 11: Konzept einer kontinuierlichen technischen Anlage zur katalytischen Direktverflüssigung organischer Stoffe (Alphakat GmbH)
Quelle: Willner 2005

Die Bildung unerwünschter Schwerölanteile im Produkt kann vermieden werden, indem die Schwerölfraction zurück in den Reaktor geleitet und ein zweites Mal gekrackt wird (vgl. WILLNER 2005, HILLMER 2004).

Die Menge des Holzschreddergutes beläuft sich auf jährlich bis zu 5.000m³. Der Antransport zur Anlage erfordert mit einem 40m³ LKW 125 Touren vom 15km entfernten Mölln. Das dortige Kompostwerk hat Interesse daran, die neue Anlage mit Strauchschnitt zu versorgen. Das Material müsste ansonsten kompostiert werden, wodurch neue Kosten entstehen und Nährstoffe verloren gehen. Aufgrund der großen anfallenden Mengen muss das Material ohnehin zu Kompostplätzen in der weiteren Umgebung transportiert werden. Die Fahrt zur Anlage in Hollenbek ist also keine zusätzliche Wegstrecke. Großtechnische Pyrolyse-Anlagen, die mit Temperaturen von über 1000°C arbeiten, bringen noch um ein Vielfaches weitere Transportwege mit sich als dieses dezentral zu realisierende Verfahren.

Der gewonnene Diesel kann für den Transport der Biomasse verwendet werden, die in der Hollenbeker Feststoffvergärungsanlage vergärt wird. Das im Verfahren entstehende Gas könnte bei einem Überangebot alternativ zur Rückführung als Prozessenergie auch im BHKW der Biogasanlage verstromt werden.

Als weitere Möglichkeit, Treibstoff dezentral und erneuerbar bereitzustellen, könnten die Maschinen im Betrieb der Biogasanlage auf Elsbett-Motoren (www.elsbett.com) oder andere Vielstoffmotoren umrüsten und als Treibstoff Pflanzenöl verwenden. Die Umrüstung ist unkompliziert, es müssen lediglich einige kleine Bauelemente und Leitungen am Dieselmotor angebaut werden. Die angebauten Ölfrüchte könnten von Herrn Hümme vollständig genutzt werden, da der bei der Ölpressung anfallende Presskuchen hochwertiges Kraftfutter für Zuchttiere ist.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Nutzfahrzeuge mit Biogas zu betreiben, wofür allerdings die Motoren komplett umgerüstet werden müssten. Des Weiteren schmälern die Energiekosten für Aufbereitung und Verdichtung des Gases die letztliche Energiebilanz erheblich.

8. Bilanzen

In diesem Abschnitt soll ermittelt werden, ob die Anlage mittel- bis langfristig rentabel betrieben werden kann, oder ob die eingesetzte Energie (in Form von Treibstoff) für den Betrieb die Energieerträge übersteigt.

Man kann den Betrieb mit 90-Tägiger Einlagerung, die vier Zyklen ermöglicht, „extensiven Betrieb“ nennen, die 40-tägige Lagerung „intensiven Betrieb“ (siehe Abschnitt 5.2 zum 3A-Verfahren, S.27). Die Treibstoffmengen werden für beide Betriebsarten abgeschätzt.

In einem zweiten Schritt werden für die kurzfristige Rentabilität die derzeitigen Treibstoffkosten und die Vergütung nach dem jetzigen EEG gegenübergestellt.

8.1 Treibstoffeinsatz

Im Folgenden sollen die derzeit noch fossil aufgebrauchten Treibstoffmengen abgeschätzt werden. Sie richten sich sehr nach der Art der Bewirtschaftung. Deshalb werden von vielen Möglichkeiten beispielhaft zwei extrem verschiedene Formen mit ihrem jeweiligen Aufwand für Anbau und Ernte gegenübergestellt: – Maisanbau und Mahd einer Naturschutzfläche. Hieraus werden auch Empfehlungen für die Nutzung abgeleitet. Die Aufstellung umfasst einerseits den Treibstoffeinsatz für die Erledigung der Arbeitsschritte, sowie andererseits die zur Herstellung der Betriebsmittel benötigten Mineralölmengen.

Alle Spritverbrauchswerte und Zeitdauern sind Erfahrungswerte von Herrn Hümme. Sie sind generell eher reichlich ausgelegt, um nicht durch zu enge Kalkulation unrealistisch zu werden. Verzögerungen und Unregelmäßigkeiten sind immer vorhanden, denen durch die reichliche Auslegung der Werte Rechnung getragen wird. Ansonsten handelt es sich um Treibstoffschätzungen im normalen, reibungslosen Arbeitsablauf. Um die Möglichkeiten der Anlage auszuloten, werden Mengen für den „intensiven Betrieb“ mit sieben Zyklen pro Jahr gerechnet.

Der gesamte Maschinenaufwand, für den im Betrieb der Feststoffvergärungsanlage Treibstoff benötigt wird, besteht aus:

- Mähen und Zusammenkratzen des Aufwuchses
- Biomasse zum Silo der Anlage fahren (s.u.) und in den Silo schütten
- verdichten im Silo, um das Material zu konservieren

- vom Silo aus in einen Mischer (Futtermischwagen), in dem die Grünpflanzenmasse mit Holz als technischem Spreizmaterial gemischt wird, um die Durchlässigkeit für Gas und perkolierendes Wasser zu gewährleisten, und ggf. gleichzeitig Mischung mit anderen Zuschlägen (z.B. Kalk)
- Einbringen des Substrates über das Förderband des Mischwagens in den Fermenter
- nach der Vergärung Transport ins Kompostlager, von da in den Kompoststreuer und
- schließlich zurück auf den Acker.

8.1.1 Wegstrecken

Der längste Fahrweg im Betriebsablauf ist das Anliefern und Wegfahren der Biomasse vom bzw. auf den Acker. Die Strecke zwischen Hollenbek und den Feldern von Detlef Hack in Panten und Mannhagen, von denen ein Großteil der Zwischenfrucht-Biomasse geerntet wird, beträgt 6-8km.

Zum Einsatz kommt für den Transport ein Schlepper (Traktor) mit 150kW. Ein derartiger Schlepper verbraucht beim Ziehen eines mit 10t Nutzlast annähernd voll beladenen Hängers etwa 18 Liter pro Stunde Fahrzeit. In einer Stunde kann ein solches Fahrzeug Herrn Hümmes Erfahrung zufolge etwa eineinhalb Touren zwischen Panten/Mannhagen und Behlendorf bewältigen, mit Hin- und Rückweg, einschließlich Ernte auf dem Acker und Entladevorgang. 18 Liter pro Stunde stellen einen ungefähren Mittelwert dar: auf der leeren Hinstrecke ist der Verbrauch geringer, auf der voll beladenen Rückfahrt und beim Ernten entsprechend höher. 1,5 Touren á 10t ergibt 15t/h. 18 Liter Treibstoff pro Stunde geteilt durch 15 Tonnen pro Stunde ergibt **1,2 Liter Treibstoff pro transportierte Tonne Erntegut.**

Pro Tour á 40min werden etwa zehn Minuten für den Erntevorgang und fünf Minuten fürs Abladen benötigt, es bleiben 25 Minuten reine Fahrzeit. Die 1,2l/t teilen sich damit in **0,45l/t für Ernte und Abladen** und **0,75l/t für den Transport** auf der Straße.

Die spezifischen Gewichte der transportierten Biomasse hängen stark von der Art der Pflanzen und von der Erntemethode ab. Eine beispielhafte Gegenüberstellung ist in Tabelle 1 aufgelistet. Die drei verschiedenen Substrate sind: 1) angewelktes Gras, dessen Trockenmasse zwischen frischem Gras und Heu liegt, 2) frisches Gras und 3) Ganzpflanzengetreide, also Stroh und Ähre zusammen.

Die Spalte „lose“ gibt Erfahrungswerte für eine Erntemethode, bei der das Pflanzengut vom Häcksler auf einen Erntewagen geblasen wird und locker liegt; in der Spalte „verdichtet“ sind typische Werte an spezifischem Gewicht, wenn mittels eines Lade-

wagens geerntet wird, der Pflanzenmasse beim Aufladen verdichtet.

Erntewagen (lose) haben typischerweise 40m³ Ladevolumen und ein zulässiges Gesamtgewicht von circa. 22t bei einem Eigengewicht von etwa 8-9t. Sie sind für 12t maximale Nutzlast ausgelegt. Ladewagen bringen dieselbe Nutzlast von 12t verdichtet auf maximal 30m³ unter.

	Anwelkgras		frisches Gras		Ganzpflanzengetreide	
	lose	verdichtet	lose	verdichtet	lose	verdichtet
Volumen [m³]	40	30	40	30	40	30
Gewicht [t]	7-8		10		12	
Dichte [t/m³]	0,19	0,25	0,25	0,3	0,3	0,4

Tabelle 1: spezifische Gewichte von verschiedenen Pflanzen bei verschiedenen Erntemethoden

Erntegut der in der Anlage zum Einsatz kommenden Art hat ohne Verdichtung (Schüttgewicht) also in etwa 0,25t pro m³. Aufgrund der Schwankungen je nach Trockenheitsgrad des Pflanzensubstrats ist es zweckmäßiger, mit Gewichtseinheiten anstatt mit Volumeneinheiten zu rechnen.

Die in einem Zyklus verarbeitete Biomasse von im Mittel 3.500m³, die in der 3A-Wanne realistisch auf 0,5t/m³ verdichtet wird, hat somit ein Gewicht von insgesamt **1.750t** (Prozessbeschreibung im Abschnitt 5.2 zum 3A-Verfahren).

Multipliziert mit den oben errechneten 1,2l/t ergeben sich 2.100 Liter Treibstoff pro Zyklus. Bei sieben Zyklen ergeben sich damit **14.700 Liter Treibstoff** (für Ernte und Abladen 5.512,5l, für den Transport von einem etwa 7km entfernten Feld z.B. in Hollenbek-Mannhagen 9.187,5l).

Liegt ein geerntetes Feld hingegen nur 3km entfernt, schafft das Fahrzeug 2,4 Touren in einer Stunde. Ernte und Abladen dauert auch hier 10 und 5 Minuten. Reine Fahrzeit sind dann also 10min. 2,4 Touren á 10t ergibt 24 Tonnen, die pro Stunde antransportiert werden können. 18 Liter Treibstoffverbrauch pro Stunde desselben Schleppers wie im obigen Beispiel geteilt durch 24t/h ergibt **0,75 Liter Treibstoff pro transportierte Tonne Erntegut**. Bei den 1.750t eines Zyklus ist der Treibstoffeinsatz insgesamt 1.312,5l, bei sieben Zyklen **9.187,5l** (für Ernte und Abladen 5.512,5l, für den Transport von einem etwa 3km entfernten Feld 3.675l).

Der Sprit für die reine Fahrzeit ist bei 7km Strecke also um den Faktor 2,5 höher. Der Enteaufwand und das Abladen sind jedoch bei beiden Entfernungen gleich.

Die errechneten Schätzwerte sowie die daraus sich ergebenden Summen für Ernte, Transport und Abladen sind in Tabelle 2 dargestellt:

Entfernung		3km			7km		
		Liter pro Tonne [l/t]	Zeit pro Tour [min]	Liter insgesamt	Liter pro Tonne [l/t]	Zeit pro Tour [min]	Liter insgesamt
7 Zyklen	Ernte	0,3	10	3.675	0,3	10	3.675
	Transport	0,3	10	3.675	0,75	25	9.188
	Abladen	0,15	5	1.838	0,15	5	1.838
	Summe	0,75	25	9.188	1,2	40	14.700

Tabelle 2: Gesamtliterverbrauch für Ernte, Transport zur Anlage und das Abladen

Zwischenergebnis:

Der Treibstoffverbrauch ist bei einem 7km entfernten Feld insgesamt 1,6fach höher als bei einem Feld in 3km Entfernung.

8.1.2 Pflanzenanbau

Die nun folgenden beiden Beispiele stellen in Hinsicht auf den Aufwand für die Pflanzenproduktion zwei Extreme dar: zum einen Anbau von Mais als Energiepflanze und anderen Mahd von Naturschutzflächen einmal pro Jahr. Dadurch soll die große Vielfalt an Pflanzen eingerahmt werden, deren energetische Verwertung die Anlage ermöglicht. Der Mais wird gezielt für die Anlage angebaut und wird deshalb in näherer Umgebung liegen (bis zu 3km), als ein Naturschutzfläche (bis zu 7km entfernt).

Der Energieeinsatz für den Anbau von Mais speziell für Vergärung summiert sich aus dem Aufwand für mindestens folgende **Arbeitsschritte**: Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte und Häckselung. Hinzu kommen die Treibstoff-Äquivalente für die Herstellung der **Betriebsmittel** (Dünger und Pflanzenschutzmittel).

Der Mais kann speziell im Auftrag des Anlagenbetreibers in der Nähe angebaut werden.

Der Treibstoff für die Ernte wurde bereits im vorherigen Abschnitt abgeschätzt. Der jetzige fossile Treibstoffeinsatz für die anderen Arbeiten ist im Einzelnen (alle Angaben pro Hektar):

- Die Bodenbearbeitung benötigt eine Stunde pflügen pro Hektar mit 22l/Stunde und eine halbe Stunde eggen mit einer Kreiselegge mit ebenfalls 22l/Stunde = 11 Liter
Die Einsaat (Drillen) dauert 15min bei 12 Liter/Stunde, also werden 3 Liter verbraucht. **Summe: 36 Liter**
- Für die Ausbringung von 100kg Stickstoffdünger fährt ein Schlepper mit dem Düngefahrzeug fünf bis zehn Hektar pro Stunde, benötigt für einen Hektar also sechs bis zwölf Minuten, mit Anfahrt maximal 15 Minuten. Beim Fahren über den Acker ohne Bodenbearbeitung benötigt der Schlepper wie beim Fahren auf der Straße etwa 12 Liter Diesel pro Stunde, für 15 Minuten also 3 Liter. Eine vergleichbare Menge wird bei Ausbringen von Pflanzenschutz mit einer 24m breiten Spritze benötigt, also nochmals 3 Liter.
Außerdem werden zur Düngung 30m³ Schweine- oder Rindergülle ausgebracht, das sind zwei Fahrzeuge mit 15m³, bei 3km Feldentfernung entstehen 1,5 Stunden Aufwand pro Hektar, bei 18 Litern Verbrauch pro Stunde sind das 27 Liter.
Summe: 33 Liter
- Für das Häckseln ist ein Maishäcksler eine Stunde pro Hektar im Einsatz und benötigt mindestens **30 Liter** pro Stunde (Häcksler mittlerer Größe, vierreihig)

Hinzu kommen mindestens **170 Liter** Treibstoffaufwendungen für die Herstellung der Betriebsmittel, zusammengesetzt aus Stickstoffdünger und Pflanzenschutz:

- Die 100kg Stickstoffdünger, die normalerweise auf einem Hektar Mais gedüngt werden, entsprechen einem Öläquivalent von mindestens **150 Litern**.
- Der derzeitige fossile Energieeinsatz für den Pflanzenschutz ist aufgrund der Vielzahl der Präparate schlecht abzuschätzen, er wird mit seinen hochtechnischen und aufwendigen Herstellungsverfahren auf insgesamt mindestens **20 Liter** pro Hektar geschätzt (Tendenz steigend).

Insgesamt ergeben sich 263l pro Hektar. Bei einem Ertrag von 70m³/ha würden für eine ausschließliche Beschickung der Anlage mit Mais $7.000\text{m}^3 \div 70\text{m}^3/\text{ha} = 100\text{ha}$ Land pro Zyklus benötigt. $100\text{ha} * 269\text{l} = 26.900\text{l}$ Treibstoff für Anbau und Ernte der Biomasse für einen Zyklus bzw. **188.300l** für **sieben Zyklen**.

- Ernte, Transport und Abladen bei einer Entfernung von beispielsweise 3km (nächste Umgebung) ergeben bei sieben Zyklen die oben errechneten ca. 9.200l verbraucht.

Es ergibt sich eine Gesamtsumme von $188.300\text{l} + 9.200\text{l} = 197.500\text{l}$ Treibstoff für Anbau, Ernte und Transport von Mais für die Vergärung in der Anlage **bei sieben Zyklen**, beruhend auf Herrn Hümmes Erfahrungswerten für Transportzeiten und den Verbrauchszahlen der eingesetzten Maschinen.

Die Treibstoffsumme für die Produktion beträgt **69.300 l**; den bei weitem größten Teil des fossilen Energieverbrauchs verursacht jedoch die vor Ort nicht sichtbare Herstellung der Betriebsmittel mit wenigstens **119.000 l**.

Die ausschließliche Verwendung einer Pflanze ist nicht vorgesehen und dient nur dem rechnerischen Ermessen zweier Extreme, zwischen denen sich die Materialgewinnung für die Trockenvergärung nach Erfahrungen und Produktivität einpegeln wird. Einer der Vorzüge des 3A-Verfahrens ist die Möglichkeit, vielfältige Substrate in einem Prozess zu nutzen.

Dem errechneten Treibstoffeinsatz gegenüber steht der Ertrag von 70m^3 Ertrag von einem Hektar, und die Ergiebigkeit von $170\text{-}200\text{m}^3$ Gasertrag pro Tonne Mais-Frischmasse (FNR 2004, S. 88).

Um das Verhältnis der eingesetzten zur erwirtschafteten Energie erkennen zu können, soll nun die nutzbare Energie des Biogases mit der Energie im aufgewendeten Diesel verglichen werden:

Ein Liter Heizöl enthält 10kWh Energie. Annähernd dieselbe Energiemenge ($9,8\text{kWh}$) stecken in einem Kubikmeter Methan. Die Ertragsmenge aus dem Biogas hängt von dem Methangehalt und dem Wirkungsgrad des BHKW ab. Biogas enthält je nach vergärem Substrat zwischen 45% und 75% Methan. Über 70% kann bei Vergärung von Fetten oder von Reststoffen aus der Zuckerherstellung (Melasse und Pressschnitzel) erzielt werden. Bei nachwachsenden Rohstoffen liegt der Methangehalt bei 53%-55% (FNR 2004, S. 86ff). Das restliche Volumen des Biogases ist größtenteils CO_2 . Elektrische Wirkungsgrade moderner BHKWs liegen um 40%, bei einem Gesamtwirkungsgrad (thermisch und elektrisch) um 85%. Durch Transformation von Nieder- in Hochspannung gehen vom Stromertrag nochmals etwa 10% verloren.

Bei einem für NaWaRos typischen Methangehalt von 55% hat das Biogas somit einen Brennwert von $9,8\text{kWh} * 55\% = 5,39\text{kWh}/\text{m}^3$. Bei einem elektrischen Wirkungsgrad von 40% wiederum können von diesen $5,39\text{kWh}/\text{m}^3$ $2,2\text{kWh}/\text{m}^3$ ins Stromnetz gespeist werden, wobei durch die Transformation nochmals 10% verloren gehen, so dass letztendlich knapp unter $2\text{kWh}/\text{m}^3$ Biogas vergütet werden. Hinzu kommen bei einem thermischen Wirkungsgrad von 45% etwa $2,7\text{kWh}$ Wärme.

Beim Mais in diesem Beispiel ergibt sich folgende Energieertragsrechnung:
185m³ Biogas bei einem Methangehalt von 50% (durchschnittlicher Messwert einer Nassvergärungsanlage in Lanken, Schleswig-Holstein) ergeben zusammen ca. 93m³.
93m³ Methan * 9,8 kWh/m³ Energiegehalt im Methan * 40% elektrischem Wirkungsgrad minus 10% Transformationsverluste = 328kWh pro m³ Mais.
Aus 70m³ (einem Hektar) Mais können also rechnerisch knapp 23.000kWh Strom gewonnen werden. Aller Erfahrung nach liegt der tatsächliche Ertrag jedoch weit unter diesem theoretischen Wert, bei ca.15.000kWh pro Hektar Mais. (HOLZ, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 2005, mündl.).

Aus den 7.000m³ Biomasse (unverdichtet), die in einem Zyklus vergärt werden, entsprechend 100ha, lassen sich realistisch also 1,5 Mio. kWh Strom gewinnen. Hinzu kommt eine Menge Wärme von rechnerisch 2,6 Mio. kWh, realistisch sind wohl 1,6-1,8 Mio. kWh anzunehmen. Die realistisch nutzbare Gesamtenergie von etwa 3,2 Mio. kWh entspricht einem Öläquivalent ($\div 10$) etwa 320.000 l Öl pro Zyklus, **2.240.000 l** bei sieben Zyklen.

Der gesamte Energieeinsatz von 197.500 l Mineralöl für sieben Zyklen sind davon **8,82%**. Diese Zahl ist die Prozessenergie, also der Anteil der gewonnenen Energie, der für die Herstellung der Energie eingesetzt wird.

Dagegen gestellt wird als anderes Extrem: **Mähgut von extensiv genutzte Naturschutzflächen**. Das sind Flächen, die Kreis oder Land im Rahmen einer Ausgleichsmaßnahme nach der Eingriffsregelung des Bundes-Naturschutzgesetzes (BNatSchG, neueste Fassung 2002, §18ff) aufgekauft haben, um sie der Bewirtschaftung zu entziehen. Sie werden entweder der natürlichen Sukzession überlassen, oder einmal jährlich gemäht, um Gehölzaufwuchs zu verhindern. Letzteres ist bei landwirtschaftlich geprägten Räumen der Fall. Wie „ökologisch“ sinnvoll solche gemähten Flächen sind, sei dahingestellt. Bei dieser Art der extensiven Mahd entsteht eine hohe Artenvielfalt. Vielfalt, in derzeitigen Umweltschutzbestrebungen häufig als Ziel absolut gesetzt, ist eigentlich eine Strategie der landschaftlichen Evolution, um mit einer möglichst großen Zahl an gut angepassten Spezialisten die Leistungen des Landschaftshaushaltes besser zu vollbringen (siehe Abschnitt 4 Umweltschutzverständnis). Die Natur lebt in einem ständigen Prozess der Selbstoptimierung in der Verteilung der Stoffumsatzprozesse und Energiedissipation auf leistungsfähige Arten.

Jedenfalls stellen solche Flächen für den Energiewirt eine Chance dar, Nährstoffe aus sonst ungenutzten Flächen auf den Acker zu transferieren.

Diese Flächen werden nach landschaftsräumlichen und ästhetischen Kriterien ausgewählt, und liegen deshalb im weiteren Umfeld der Biogasanlage. Sie werden nicht ge-

düngt, Pflanzenschutz und Bodenbearbeitung unterbleiben ebenfalls.

Gemäht wird erst nach abgeschlossenem Vegetationszyklus, um den Neuaufwuchs nicht zu stören.

- Als Energieeinsatz bleibt lediglich das Mähen übrig. Mit einem 3m-Mähwerk an einem 80PS-Schlepper, der 10l/Stunde verbraucht, dauert dies etwa 25min pro Hektar. Hinzu kommt das Schwaden (Zusammenrechen) des Mähgutes mit demselben Schlepper, das circa 15min dauert (Geschwindigkeit 10km/h, 5m Arbeitsbreite).

Zusammen sind es also 40min und dementsprechend **7 Liter/ha**.

Von einem Hektar Naturschutzfläche können vermutlich etwa 30m^3 Pflanzenmasse geerntet werden. Um die in einen Zyklus vergorenen 7.000m^3 unverdichtete Biomasse nur aus Naturschutzflächen zu gewinnen, wären $7.000\text{m}^3 \div 30\text{m}^3/\text{ha} = 233\text{ha}$ Fläche nötig. Das ist gegenüber dem Mais etwa die 2,3fache Fläche.

$233\text{ha} * 7 \text{ Liter}$ ergibt 1.633 Liter für das Mähen von Pflanzenaufwuchs von Naturschutzflächen für einen Zyklus, bzw. **11.433 l bei sieben Zyklen**.

- Auf der Transportstrecke von beispielsweise 7km werden in den sieben Zyklen pro Jahr 14.730 Liter verbraucht (s.o.).

Hieraus ergibt sich eine Gesamtsumme von **26.163 Litern** Treibstoff für Mähen und Transport **bei sieben Zyklen** auf Basis der Verbrauchs- und Zeitschätzwerte von Herrn Hümme.

Die kraut- und staudenreiche Wildflora erbringt schätzungsweise ebenfalls 185m^3 Gas pro Tonne (FNR 2004, S.89), bei dem Ertrag von $30\text{m}^3/\text{ha}$. Geht man von Methangehalten von 55% aus (vgl. LfL 2005, Tabelle 1 S.5 und FNR 2004, S. 89), errechnet sich eine Energie von $185\text{m}^3 * 55\% \text{ Methangehalt} * 9,8\text{kWh}/\text{m}^3 * 40\% \eta_{el}$ minus 10% Transformationsverlust = 360kWh Strom plus etwa 450kWh Wärme. In 30m^3 , die voraussichtlich von einem Hektar geerntet werden können, stecken insgesamt somit $810\text{kWh} * 30\text{m}^3 = 24.300\text{kWh}$; aus den 7.000m^3 eines Zyklus ließen sich elektrisch und thermisch zusammen rechnerisch etwa 5.670.000kWh gewinnen. Einschlägige praktische Erfahrungen liegen noch nicht vor. Defensiv kann von einem realen Gesamtertrag von um 4 Mio. kWh ausgegangen werden. Dies entspricht wiederum 400.000l Öl, bei sieben Zyklen im Jahr **2.800.000 Litern**.

Die Prozessenergie beträgt bei 26.163l eingesetztem Treibstoff hier also bei **0,9%**.

Die Ergebnisse der Kalkulation sind in Tabelle 3 nochmals zusammengefasst. Für die Vergleichbarkeit der Werte ist der Energiegehalt des Energieeinsatzes auch in MWh ausgedrückt (Faktor 10^{-2}):

Zyklen	Mais		Mähgut	
	1 (pro Zyklus)	7 Zyklen	1 (pro Zyklus)	7 Zyklen
Flächenbedarf [ha]	100	700	233	1.633
Energieeinsatz [Liter] [MWh]	28.214 282	197.500 1.975	3.738 37	26.163 262
Gesamtertrag [MWh]	5.167	36.170	5.670	39.690
Prozessenergie- Anteil (ca.)	8,82%		0,9%	

Tabelle 3: Gegenüberstellung zweier verschiedener Arten von Pflanzenmaterial für die Vergärung

Zwischenergebnis:

Mais liefert zwar höhere Erträge pro Hektar, benötigt aber mehr als das neunfache an Prozessenergie (eingesetzter Energie). Auf der Naturschutzfläche ist die Prozessenergie trotz des weiteren Anfahrweges weit geringer. Zudem ergibt sich bei ihr die Synergie, dass gleichzeitig eine „Naturschutzleistung“ erbracht wird, die ansonsten ohne Nutzung der Biomasse ausgeführt würde.

Eine ideale Bewirtschaftung sollte sowohl in nächster Nähe, als auch effizient und ertragreich, als auch naturschutzfachlich vorteilhaft sein. Innovative Bewirtschaftungsformen wie die Agroforstwirtschaft bieten alle diese Vorteile. (mehr dazu im nächsten Abschnitt 9. Bewertung)

Mit jährlich etwa 20.000m³ Kompost aus der Vergärung der Biomasse von der Naturschutzfläche können bei 20m³ Ausbringungsmenge pro Hektar 1.000ha ökologischer Acker gedüngt werden. Es handelt sich hierbei nicht um Kreislaufwirtschaft im eigentlichen Sinne, jedoch um Umlagerung und damit Nutzbarmachung von Nährstoffressourcen von ungenutzten Flächen für die landwirtschaftliche Produktion.

1m³ enthält 3-4kg Stickstoff. Im Ökolandbau wird der für gute Qualität von Getreide (Rohprotein) benötigte Stickstoff aus Zwischenfrüchten (Klee, Bohnen, Erbsen, Lupine) gewonnen. Bei 20m³ und 3-4kg N pro m³ liefert der Kompost aus den Erträgen der Naturschutzfläche 60-80kg. Auch auf der Naturschutzfläche wachsen Stickstoff bindende Pflanzenarten. Die Leistung dieser Pflanzen kann somit über die Biogasanlage auf Ackerflächen nutzbar gemacht werden. Ligninhaltige Wildpflanzen tragen ihrerseits zur Humusanreicherung auf dem Acker bei. So können wiederum Qualität und Erträge der ökologischen Ackerflächen gesteigert werden.

Nach der „EU-Verordnung „ökologischer Landbau“ 2092/91/EWG“, Anhang I, Nummer 5.1, Buchstabe b) dürfen bis 25% des auf dem ökologisch bewirtschafteten Acker aufgebrauchten Kompostes auch aus konventioneller Bewirtschaftung kommen oder aus „kompostierten oder fermentierten Haushaltsabfällen“ (VERORDNUNG (EWG) Nr. 2092/91, Anhang II, Teil A). Die Anlage liefert so einen zusätzlichen Eintrag von Nährstoffen.

Auf diese Weise könnten etwa 1.000ha von konventioneller Bewirtschaftung auf Bewirtschaftung nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus umgestellt werden, mit dem damit einhergehenden Verzicht auf mit fossiler Energie erzeugte ertragsteigernde Stoffe.

Die Anlage bietet also über die direkte Energieerzeugung hinaus weitere Einsparungsmöglichkeiten fossiler Energie, und gleichzeitig mehrere Ansätze für strukturelle Umstellungen der umliegenden Landschaft, in Richtung auf besser geschlossene Stoffkreisläufe.

Allein energiebilanziert kann wiederum in Bezug zur Umstellung von 1.000ha Land auf eine Bewirtschaftung ohne fossil erzeugten Stickstoffdünger folgende Schätzung angeführt werden:

Die Ressourcen an Grundnährstoffen im Boden an der jeweiligen Lagerstätte werden durch den Komposteinsatz geschont. Konventioneller Raps- oder Getreideanbau erfordern mindestens 170kg N-Dünger pro Hektar mit einem Öläquivalent von mindestens 1,5l/kg N, möglicherweise liegt der Bedarf auch bei zwei oder gar drei Liter Erdöl für ein Kilogramm Stickstoffdünger. Bei 1.000ha sind das insgesamt also wenigstens 255.000 Liter Öl, die allein aufgrund der Ersetzung fossil erzeugten Stickstoffs durch organischen Kompostdünger eingespart werden.

2.550.000kWh Energie aus Erdöl sind für die Synthese des mit fossiler Energie erzeugten Stickstoffdüngers nötig. Nur die hohe Energiedichte im Erdöl macht die Erzeugung von Stickstoffdünger aus Luftstickstoff durch das Haber-Bosch-Verfahren lukrativ. Alternativ geschieht diese Art der Produktion unter Bereitstellung großer Energiemengen aus Wasserkraft in Skandinavien, in einigen wenigen großtechnischen, zentralisierten Anlagen. Die dezentrale Erzeugung von Stickstoffdünger aus erneuerbarer Energie ist weder machbar noch sinnvoll, da alternativ Kompost aus der Vergärung gewonnen werden kann. Bei Phosphatdünger, Calcium-, Kalium-, Magnesiumdünger und Spurenelemente ist die Situation ähnlich zentralisiert und großtechnisch, die Energieaufwendungen ebenfalls sehr hoch.

8.1.3 Weitere Treibstoffaufwendungen

entstehen durch das **Ausbringen des Kompostes**, den **Einsatz von zusätzlichen Fahrzeugen bei der Ernte** und die **Arbeiten im laufenden Betrieb der Anlage**.

Der Schlepper, der auch bei der Ernte zum Einsatz kommt, leistet auch die Ausbringung des Kompostes, mit den angegebenen jährlichen Gesamtarbeitszeiten (Erfahrungswerte von Herrn Hümme):

Kompostausbringung	500 Stunden
Zellsaft- und Gülleausbringung	100 Stunden
Gesamtarbeitszeit	600 Stunden
bei 20 l pro Stunde	12.000 l

Ein Teleskoplader kommt bei den meisten Arbeiten auf dem Gelände der Feststoffvergärungsanlage zum Einsatz, mit den jeweiligen Arbeitszeiten (wieder von Herrn Hümme geschätzt):

Mischer befüllen	450 Stunden
Komposthaufen beladen	120 Stunden
Gesamtarbeitszeit	570 Stunden
bei 10 l pro Stunde	5.700 l

Zusätzlich wird während der Mais- und Stroherntezeiten ein Lohnunternehmer mit zwei zusätzlichen Schleppern angestellt, für jährlich insgesamt 455 Stunden, bei 20 Litern pro Stunde werden insgesamt etwa **9.100 l** benötigt.

Zu den unter „Wegstrecken“ und „Pflanzenanbau“ abgeschätzten Summen kommen also nochmals $12.000 \text{ l} + 5.700 \text{ l} + 9.100 \text{ l} = \mathbf{26.800 \text{ l}}$.

Insgesamt werden für die gesamte Biogasanlage im normalen, störungsfreien Betrieb also **bis zu** $193.300 \text{ l} + 26.800 \text{ l} = \mathbf{220.100 \text{ Liter}}$ Treibstoff pro Jahr bei sieben Zyklen benötigt. Knapp die Hälfte davon (105.300 l) ist allein das Öläquivalent der Herstellung des Stickstoffdüngers beim Anbau von Mais oder anderen gezielt angebauten nachwachsenden Rohstoffen. Da im Betrieb der Anlage überwiegend (zu 70%) Biomasse zum Einsatz kommen soll, die nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus ohne Einsatz von mineralischem Stickstoffdünger angebaut wurde, ist die tatsächliche Menge des benötigten Mineralöls für die Anlage weit geringer.

Berücksichtigt man systemisch auch noch die Treibstoffkosten für die Anlieferung des Strauchschnitts aus der Stadt Mölln, kommen etwa **1.200 Liter** Diesel hinzu (30km Hin- und Rückweg Mölln * 125 Touren für 5.000 m^3 * 30-35 Liter pro 100km eines LKW mit 40 m^3 Laderaum (7,5t), siehe S. 43).

8.2 Treibstoffgewinnung

Das dezentrale Direktverflüssigungsverfahren, das im Abschnitt 7. Synergien vorgestellt wurde, soll die Bereitstellung der soeben abgeschätzten Treibstoffmengen gewährleisten.

Die Energiebilanz des Verfahrens ist in Masseprozent:

100% Biomasse → 43% Öl, 22% Wasser, 15% Kohle, 20% Gas.

Werden die Anteile nach ihrem Energiegehalt gewertet, ergibt sich folgende Bilanz:

100% Energie in der Biomasse + 5% Prozessenergie
→ 76% Öl, 20% Kohle, 7% Gas, 2% Verluste

Etwas abgelagerte Holhackschnitzel haben eine Dichte von etwa 300kg/m³.

(<http://www.oldenkott.info/index.php?navID=46> <07.08.05>)

Grob gehäckselter Strauchschnitt ist von der Textur sehr ähnlich wie Holzschnitzel, weswegen von einer ähnlichen Dichte ausgegangen werden kann.

Aus den 5.000m³ Strauchschnitt, die jährlich als Spreizmaterial eingesetzt werden, können nach der Bilanz des Willner-Verfahrens also

$5.000\text{m}^3 * 300\text{kg/m}^3 * 43\% = 645.000\text{kg}$ Öl hergestellt werden.

Bei einer Dichte des KDV-Diesels (KDV = katalytische Direktverflüssigung) von 0,85kg/l ergibt sich folgende Volumenmenge Diesel:

$645.000 * 1/0,85 = 758.824$ Liter

Ergebnis:

Die Teibstoffmengen auch der energieintensivsten hier abgeschätzten Bewirtschaftungsform sind weniger als ein Drittel des Diesels, der aus dem Strauchschnitt mithilfe des Willner-Verfahrens hergestellt werden kann.

Abgesehen von reichlich Puffer für unvorhergesehene Vorkommnisse, wird ein Angebot an Diesel erzeugt, das den Bedarf des gesamten Anlagebetriebs weit übersteigt. Der produzierte dezentral hergestellte Diesel kann also günstig verkauft werden und trägt so zu einer Mobilität in der Region bei, die auf erneuerbarer Energie beruht.

8.3 monetäre Berechnungen

Bei den häufigen teilweise kurzen Arbeitsschritten ist eine Treibstoff-Bedarfsrechnung anhand von gefahrener Strecke nur sehr ungenau möglich. Herr Hümme hat eine Prognose über die gesamten Betriebskosten anhand von den Zeiten aufgestellt, die die beteiligten Maschinen in etwa im Einsatz sind, sich ein Bild vom ungefähren Energieeinsatz im laufenden Betrieb zu machen:

Trockenfermentationsanlage Hollenbek, Erntekosten Biomasse, Einbaukosten im Gaserzeugungsbetrieb und Materialrückfluss von Kompost und Gülle/Zellsaft

Berechnung für 17.000m³ Erntemasse und 5.000m³ Strauchschnitt

Bei sieben Zyklen im Jahr und 3.000m³ pro Zyklus kommen etwa diese 22.000m³ jährlich zusammen. Alle Berechnungen sind wieder tendenziell großzügig ausgelegt, um den später Betriebsablauf nicht durch enge Planung unter Druck zu setzen.

Erntekosten

Ein Erntetag mit Lohnunternehmen und Eigenleistung kostet Herrn Hümme etwa 4.000 €. Bei einer täglichen Ernteleistung von 1.000m³ kommen für die Ernte von insgesamt 12.500m³ Gras und Stroh 50.000 € zusammen.

Der Erwerb und die Ernte von Mais werden mit 900 €/ha berechnet. Bei 4.500m³, entsprechend 70 Hektar, kommen 63.000 € zusammen.

Die gesamten Erntekosten belaufen sich also auf **113.000 €**.

Ausbringung

Die feste Biomasse schrumpft durch Verdichtung, Zersetzung, Zellsaft- und Biogasextraktion von 22.000m³ auf etwa 12.000m³ zusammen, die ein Gewicht von insgesamt 9.600t haben. Bei 2 €/t kostet die Ausbringung dieser Feststoffanteile etwa 19.200 €.

Die Zellsäfte und die Gülle aus der ökologischen Schweinehaltung ergeben zusammen etwa weitere 3.000m³, sie auszubringen wird etwa 3 €/m³ kosten, insgesamt also 9.000 €.

Die Kosten für die Ausbringung liegen zusammen bei **28.200 €**.

Anlagebetrieb

Die meiste Zeit laufen für die Vorgänge im Betrieb zwei Maschinen: ein Mischwagen, der den Grünschnitt mit Strauchschnitt und Zuschlägen mischt, und ein Teleskoplader, der sämtliche Bewegungen der Biomasse in den Mischer, in den Fermenter, ins Kompostlager und auf den Schlepper zum Abtransport ausführt.

Befüllung und Entleerung des Mischwagens werden zusammen mit einer halben Stunde reichlich veranschlagt. Bei 20.000m³ Gesamtvolumen (unter Berücksichtigung der Volumenreduktion im Prozess) sind 833 Wagenladungen nötig, da der Mischwagen 24m³ fasst. 833-mal befüllen und entleeren mit jeweils einer halben Stunde dauert insgesamt also 416 Stunden. Eine Teleskopladerstunde veranschlagt Herr Hümme mit 20 €, eine Mischwagenstunde mit 30 €. Darin enthalten sind die Anschaffungs- und Unterhaltungskosten der jeweiligen Maschine, einen ähnlichen Stundensatz hätte die Anmietung solcher Maschinen. Nicht enthalten ist der Lohn für den Wagenführer. Da beide Maschinen simultan laufen, summieren sich für den Betrieb $20\text{ €} + 30\text{ €} * 416\text{ Stunden} = 20.800\text{ €}$.

Die Arbeitskraft wird mit **45.000 €** vergütet.

Insgesamt kosten Ernte, Betrieb und das Wiederausbringen der Biomasse im Jahr **207.000 €**.

Festkosten der Maschinen

Die gesamten Anschaffungskosten für die Maschinen betragen 350.000 € und verteilen sich auf 10 Jahre wie folgt:

Abschreibung 10 Jahre:	35.000 €
Zinsanspruch (4,6%):	8.050 €
Versicherung (1%):	3.500 €
Reparatur (2,5%):	8.750 €

Dies ergibt eine jährliche Summe von **55.300 €**. Hinzu kommen Öl und Diesel, die Herr Hümme mit **20.000 €** veranschlagt. Dieser Preis wird in den nächsten Jahren erheblich steigen.

Die gesamten **Betriebskosten** liegen also bei geschätzten **282.300 € pro Jahr**.
(vgl. auch HÜMME 2004, S.17)

8.3.1 Erträge und Vergütung

Bei der Feststoffvergärung wird ein etwas geringerer Wirkungsgrad erzielt als bei der Vergärung flüssiger Biomasse, da ein anaerober Zustand im Wasser leichter eintritt und leichter aufrechtzuerhalten ist. Dagegen steht jedoch der mechanisch weit weniger aufwendige Umgang mit der Biomasse. Ständiges Rühren entfällt, und damit der größte Posten im Stromverbrauch innerhalb des Prozesses: „Die Analyse der verschiedenen Stromverbraucher einiger Anlagen hat gezeigt, dass allein für den Betrieb der Rührwerke zwischen 15 und 57% des Eigenstrombedarfs benötigt wird. An zweiter Stelle folgt der Energiebedarf für den Betrieb der Nebenaggregate des BHKW (Verdichter, Notkühler, Ölpumpe etc.)“ (WEILAND et al. in VDI-Berichte 2005, S.126)

Der Wirkungsgrad der Feststoffvergärungsanlage liegt im Bereich von 40-60% (STEFFEN mündl.).

Der Wirkungsgrad des BHKW wiederum hat einen sehr hohen Einfluss auf die Rentabilität der Gesamtanlage: ein elektrischer Wirkungsgrad (η_{el}) von 35% bedeutet beispielsweise, dass 500kWh Strom aus Biogas mit einem Gesamtenergiegehalt von 1.430kWh erzeugt werden. Liegt η_{el} vier Prozent höher, sind nur 1.282 kWh für die Erzeugung derselben Leistung nötig, das sind mehr als 10 Prozent weniger. Ebenso 10% weniger liefert ein BHKW mit nur 35% aus 1.282kWh Brutto-Energie, nämlich nur knapp 450kWh. Ein Unterschied von 50kWh bedeutet bei 8.000 Stunden Betrieb im Jahr einen Verlust von 400.000kWh_{el}, was z.B. bei 19,46 Cent Vergütung pro kWh im Jahr 2007 Mindereinnahme von 77.840 € entspricht.

In Versuchen haben STEFFEN et al. herausgefunden, dass bei einem vollen 90-tägigen Zyklus in der Trockenfermentation nach dem 3A-Verfahren aus Bioabfall Biogas im Bereich von 86-146m³/t erzeugt werden kann. Gaserträge aus Grünschnitt werden voraussichtlich in einer ähnlichen Größenordnung liegen, genaue Zahlen wird die Praxis zeigen.

Prognosen des Gasertrags bergen eine erhebliche Unsicherheit, da der Gasertrag von sehr vielen Faktoren abhängt. Die witterungsabhängige Konstitution der Biomasse hat einen hohen Einfluss auf den Ertrag und die Gasausbeute. Es handelt sich um Naturmaterial, nicht um ein Industrieprodukt: Schwankungen der Gaserträge um 5 - 10% sind nicht ungewöhnlich (vgl. KEYMER in VDI-Berichte 2005, S.75).

Schätzt man den Gasgehalt der Grünaufwüchse auf 120m³/t, entstehen aus den 3.000t eines Zyklus etwa 360.000m³ Biogas, bei 2kWh/m³ (s.o. „Pflanzenanbau, S. 48) entspricht diese Menge 720.000kWh. Bei vier Zyklen (im „extensiven“ Betrieb) ergeben sich in einem Jahr 2.880.000 kWh, bei sieben Zyklen (im „intensiven“ Betrieb) 5.040.000 kWh. Je nach Betriebsart werden also zwischen 3 und 5 Mio. Kilowattstunden in einem Jahr erwirtschaftet. Als Vorteil des intensiven Betriebes ist zu nennen, dass das BHKW laut Hersteller einen optimalen Wirkungsgrad bei Vollaussla-

stung erreicht, während er bei geringerer Auslastung absinkt. Ausschlaggebend für den Betrieb sind letztlich die Verfügbarkeit von Biomasse und die dazugehörige Logistik, sowie die Ergiebigkeit der Biomasse. Der Ergiebigkeit entsprechend kann der Betrieb dynamisch gedrosselt oder intensiviert werden.

Für die geplante Anlage errechnet sich aufgrund des EEG 2004 (s.o.) der in Tabelle 4 bis zum Jahr 2025 aufgelistete gestaffelte Abnahmepreis, der gemäß §12 Abs.3 EEG 2004 auf 20 Jahre nach dem Jahr der Inbetriebnahme garantiert wird (Angaben in Cent/kWh):

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Grundvergütung des Vorjahres	9,90	9,75	9,61	9,46	9,32	9,18	9,04	8,91
Grundvergütung des Vorjahres abzüglich 1,5%	9,75	9,61	9,46	9,32	9,18	9,04	8,91	8,77
entspricht einem Anteil an der ursprünglichen Vergütung von	98,50%	97,02%	95,57%	94,13%	92,72%	91,33%	89,96%	88,61%
+ 6¢ Nawaro-Bonus + 1¢ KWK-Bonus + 2¢ Technologie-Bonus	18,75	18,61	18,46	18,32	18,18	18,04	17,91	17,77

Fortsetzung

2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
8,77	8,64	8,51	8,38	8,26	8,13	8,01	7,89	7,77	7,66	7,54	7,43	7,32
8,64	8,51	8,38	8,26	8,13	8,01	7,89	7,77	7,66	7,54	7,43	7,32	7,21
87,28%	85,97%	84,68%	83,41%	82,16%	80,93%	79,72%	78,52%	77,34%	76,18%	75,04%	73,91%	72,80%
17,64	17,51	17,38	17,26	17,13	17,01	16,89	16,77	16,66	16,54	16,43	16,32	16,21

Tabelle 4: Degressionsliste der garantierten Einspeisevergütung für Biogasanlagen >150kW bis 500kW mit Bonus für ausschließlichen Einsatz nachwachsender Rohstoffe, für Kraft-Wärme-Kopplung und innovative Technologie

Die Grundvergütung geht zwar durch die Degression des EEG von 1,5% im Laufe von 20 Jahren auf unter 73% des ursprünglichen Wertes zurück, da die Bonus-Vergütungen aber von der Degression unberührt bleiben, sinkt die Gesamtvergütung in diesem Beispiel lediglich auf 86,45% der Vergütung im ersten Jahr.

Zur Verdeutlichung: Die Degression des Abnahmepreises bestimmt in Abhängigkeit vom Jahr der Betriebsaufnahme die Vergütung. Der Preis bleibt dann 20 Jahre über auf dem Stand des Jahres der Betriebsaufnahme.

Der KWK-Bonus ist hier mit 1¢ berechnet, was gewährleistet ist, wenn die erzeugte Wärme zur Hälfte genutzt werden kann. Bei Errichtung eines Nahwärmenetzes und Glashauswirtschaft könnten die nutzbare Wärmemenge und damit auch der Anteil an KWK-Strom noch höher sein

(vgl. Abschnitt 6 Gesetze: EEG und BauGB, Seite 38). Der Unterschied zwischen einem und zwei Cent KWK-Bonus drückt sich bei 4 Mio. kWh pro Jahr in einer Summe von 40.000 € aus.

Rechenbeispiel

Da das geplante Biogas-Kraftwerk im Durchschnitt etwa 4 Mio. Kilowattstunden im Jahr erwirtschaften soll, ergibt sich für 2006 ein möglicher Vergütungserlös von $18,61 \text{ Cent} * 4 \text{ Mio} = 744.400 \text{ €}$ im ganzen Jahr. Kann die Anlage beispielsweise erst drei Jahre später verwirklicht werden, werden im ganzen Jahr 2009 $18,18 \text{ Cent} * 4 \text{ Mio} = 727.200 \text{ €}$ erwirtschaftet, was einem Verlust von 17.200 € gleichkommt; multipliziert mit 20 ergibt sich die Gesamteinbuße für die gesamte Zeit der garantierten Mindestvergütung, das sind 344.000 €.

Aus den errechneten Jahreserträgen geht außerdem auch hervor, dass sich der Bau der Feststoffvergärungsanlage rechnerisch nach knapp über 3 Jahren amortisiert.

Generell ergibt sich bei der gegebenen Anlagengröße durch die Degression der Vergütung nach dem EEG ein jährlicher Umsatzrückgang von 1,5% (TSCHERPEL 2005, mündl.). Durch die mehrjährige Verzögerung des Baus sind dadurch schon erhebliche Einbußen entstanden.

Weiterhin wirkt sich natürlich die Inflationsrate erheblich wertmindernd aus, was hier unberücksichtigt bleibt. Der Ölpreis ist eng an die Inflationsrate gekoppelt: der steigende Ölpreis wird mit der Krise der gesamten vom Erdöl abhängigen Wirtschaft auch die Inflation stark antreiben.

9. Fazit

Mit der Entwöhnung der Weltgesellschaft vom Erdöl beginnt eine umfassende Umstrukturierung der gesamten Energie- und Stoffströme. Die tägliche Subsistenz, also die Versorgung mit Wasser, Nahrungsmitteln, regenerativer Energie und Rohstoffen wird durch neu entstehende Strukturen gewährleistet werden (müssen), mit einem weniger üppigen Standard als bei im Überfluss gegebener fossiler Energie. Neue Ver- und Entsorgungswege werden entstehen, die Verkehrswege und -mittel so effizient wie möglich gestaltet werden (müssen), mehrere tausend Kilometer gereiste Produkte werden unmöglich sein (Paradebeispiel ist der 7.500 Kilometer gereiste Fruchtjoghurt). Neue Arbeitsformen und Arbeitsplätze werden entstehen, davon etliche in der Landbewirtschaftung, wenn Einsatz großer Maschinen nicht mehr unbegrenzt möglich ist.

Aller geschichtlichen Erfahrung nach, gehen grundlegende gesellschaftliche und wirtschaftliche Umstrukturierungen immer aus einer unmittelbaren Notwendigkeit hervor, nicht aus Voraussicht einiger Analytiker. Im nächsten Jahrzehnt wird eine Umgestaltung der menschlichen Gesellschaft einsetzen, die von seiner Tragweite dem Umstieg von Brennholz auf Kohle oder von der Kohle zum Erdöl gleichkommt – mit dem großen Unterschied, das ein lukrativer, einschlägiger Ersatzstoff zum Erdöl für die Energie-, Treibstoff- und Rohstoffversorgung nicht in Aussicht steht. Die Energien, die der Planet zusätzlich zur Sonnenenergie unter seiner Oberfläche gespeichert hatte, sind im Rückgang begriffen.

Die „Weisheit“ der Art Homo sapiens kann in der nächsten Zeit daraus ersehen werden, wie bald Regierungen, Wirtschaftskräfte und die Menschen der Weltgesellschaft aus kurzfristigem und betriebswirtschaftlichem Gewinnstreben heraustreten und zur Vorbereitung auf die kommende energielimitierte Epoche gelangen. Jetzt ist die Zeit für den Umstieg auf erneuerbare Energien.

Nach der Bilanzierung im Abschnitt 8 kann angenommen werden, dass die Anlage energetisch sehr rentabel laufen kann. Abgesehen jedoch von der isolierten Betrachtung der Anlage ist Richtungssicherheit einer nachhaltigen Entwicklung nur gegeben, wenn die Anlage erfolgreich zu integrieren ist in ein orts- und zeitangepasstes Bewirtschaftungssystem, wie in Abschnitt 4 Umweltschutzverständnis beschrieben. Die Feststoffvergärung mit der diskontinuierlichen Beschickung und der Vielfalt der einsetzbaren Biomasse kann sehr viel besser in ein solches Bewirtschaftungskonzept integriert werden als eine z.B. auf Mais spezialisierte Anlage. Aufgrund der Biomassepyramide ist eine Pflanzenverwertung auch prinzipiell effektiver als die Verwertung tierischer Biomasse (Gülle).

Die Feststoffvergärungsanlage leistet in der Gemeinde Behlendorf einen erheblichen Beitrag für eine dezentrale, lokale bis regionale Selbstversorgung mit Energie. Mit der Verfügbarkeit dieser erneuerbaren Energie kann die Landbewirtschaftung mit kleinen Maschinen und mehr Arbeitskräften neu organisiert werden. Die Anlage selbst benötigt einen Arbeitsplatz. Die Anlage bringt mehrere Synergien mit sich, die der ganzen Gegend zugute kommen und die Vorbildwirkung unterstützen. Über eine dezentrale Energieerzeugung hinaus findet eine kleinräumige Verzahnung von Stoffströmen statt, durch die Selbständigkeit und Subsistenz der Region gefördert werden. Im Zentrum steht eine Behandlung von Biomasse, also den Erträgen des Landes, die nach Effizienz und Verlustminimierung strebt. Die Vergärung hierbei als vorteilig gegenüber einer Kompostierung hervorzuheben, da bei ihr kaum Nährstoffe an die Atmosphäre verloren gehen. Der wieder aufgebrachte Kompost fördert die Erhaltung der Fruchtbarkeit der Ackerfläche.

Ohne eine Neugestaltung der Arbeitsstrukturen und ohne verfügbare Energie wird zwangsläufig eine starke Landflucht einsetzen: derzeit arbeiten die meisten Menschen, die in Dörfern leben, nicht in der Landbewirtschaftung, sondern im Industrie- und Dienstleistungssektor umliegender Städte – im Fall Hollenbeks: in Ratzeburg, Mölln, Lübeck und Hamburg. Es ist fraglich, wie lange die staatliche Unterstützung in Form der Pendlerpauschale aufrechterhalten werden kann, und das tägliche Pendeln wird in jedem Falle zunehmend teurer. In absehbarer Zeit werden sich viele Dorfbewohner veranlassen sehen, ihren Wohnort näher zum Arbeitsplatz zu verlegen. Das ist in der Regel die nächste Kleinstadt. Aber auch die Arbeitsplätze in den kleinen Städten gehen zurück, mit einer fortschreitenden Konzentration vor allem des Dienstleistungssektors in den Ballungszentren, den „Oberzentren“ in der Terminologie der Raumordnung. Die jetzige Entwicklung entspricht am ehesten dem raumordnerischen Modell der „Entwicklungszentren, -schwerpunkt und -achsen“, bei dem billige Transporte gewährleistet werden müssen, was in absehbarer Zeit nicht mehr der Fall sein wird.

Weitergedacht werden jedoch Städte als Ballungszentren zunehmend untragbar, weil sie auf ein Ver- und Entsorgungssystem angewiesen sind, das mit sehr viel Verkehr verbunden ist. Kommen diese Strukturen zum Erliegen, werden Menschen zurück aufs Land gehen müssen, um sich selbst zu versorgen oder Lebensmittel und Energie von den Bauern zu beschaffen. Von vorneherein die Möglichkeit der Arbeit auf dem Land zu entwickeln, beweist folglich Voraussicht.

Im Gegensatz zu Energieversorgungsunternehmen haben Landwirte häufig schon seit etlichen Generationen einen Bezug zu ihrer Heimat und ihren bewirtschafteten Flächen. Ihre Erhaltung und Pflege ist somit ein eigenes, tief verwurzeltes Interesse der Bauern. Die Erhaltung der Fruchtbarkeit bedeutet den Erhalt der eigenen Lebensgrundlage. Die landschaftliche Qualität ist zugleich die Schönheit ihrer Heimat. Dennoch wurden in den

60er bis 80er Jahren teilweise drastische Meliorationsmaßnahmen vorgenommen, um die Flächen gut mit großen Landmaschinen bewirtschaften zu können. Dadurch wurde auch die Abhängigkeit vom Erdöl maximiert. Es gibt bereits Bestrebungen, die Auswirkungen der Meliorationseingriffe teilweise durch Randstreifen und Hecken wieder abzumildern. Ein Energie- und Ressourcenwirt mit Bezug zu seiner Heimatlandschaft könnte die Energieerzeugung und Bewirtschaftung der Flächen in Einklang bringen mit einer Integration in die naturhaushaltlichen Stoffkreisläufe, unter Erhalt und Pflege der Landschaft. So kann eine schrittweise Veränderung der Bewirtschaftungsformen stattfinden, hin zu einer ökologischen Orientierung am natürlichen Stoffhaushalt und an den Gegebenheiten des jeweiligen Standortes. Ökologie wird dann nicht mehr verstanden als Einhaltung von vorgegebenen Richtlinien, sondern als nachhaltige Nutzung der in Abschnitt 4 Umweltschutzverständnis beschriebenen „Bewirtschaftungsspanne“, insbesondere bei der Mahd von permanenten Vegetationsdecken. Die nachhaltige Landwirtschaft mit der Nutzung statt Unterbindung der natürlichen Dynamik erfordert ein weitreichendes Umdenken der Bauern. Rat und Unterstützung mit gezielten Informationen und Konzepten muss lokal verfügbar und verständlich geboten werden. Hier können die Universitäten einen wesentlichen Beitrag leisten. Des Weiteren erlaubt auch nur eine Eigenverantwortlichkeit der Bauern eine orts- und zeitangepasste Bewirtschaftung. Planwirtschaftliche Vorschriften des Staates und der EU hingegen hindern eine nachhaltige Entwicklung eher.

Flüssigvergärungsanlagen im Mais-Monokulturbetrieb beispielsweise, die sich aufgrund des EEG derzeit finanziell lohnen, sind vom Stoffhaushalt kritisch zu betrachten, da erhebliche Mengen Energie für die Herstellung des Düngers für den Anbau verbraucht werden, die allerdings dem Betreiber nicht unmittelbar vor Augen liegen. Die Erzeugung des Stickstoffdüngers macht in der Bilanz im Abschnitt 8 beinahe die Hälfte des Gesamtenergieverbrauchs für den Anbau von Mais aus.

Außerdem ist die Monokultur in keiner Weise integriert in die „Bewirtschaftungsspanne“ (siehe S.25). Die natürliche Vegetationsdynamik wird unterbunden anstatt gefördert. Diese Form der Anlagenbewirtschaftung kann somit nicht als ökologisch sinnvoll bezeichnet werden.

Ob die Rechenbilanz der Anlage aufgeht, was die 20jährige Vergütung nach dem EEG anbetrifft, ist mehr als ungewiss. Der Nutzen der Anlage besteht aber nicht primär aus den finanziellen Erträgen, sondern aus der Chance, welche die Anlage bietet, die ländliche Region Hollenbek-Behlendorf-Berkenthin langfristig erneuerbar mit Energie zu versorgen und damit Möglichkeiten für neue Formen der Arbeit und des Verkehrs in dieser Region zu schaffen. Die Anlage kann so zum Vorbild für sehr viele andere Regionen werden, die bereits von den Erfahrungen mit der Hollenbeker Feststoffvergärungsanlage und dem dahinterstehenden Konzept profitieren können. Da die Trockenfermentation sich in der Pilotphase befindet – es gibt bereits mehrere Versuchs-

anlagen – können Störungen und nicht eingeplante Herausforderungen auftreten. Jedoch ist jetzt die Zeit zum Ausprobieren, da in einer nahen Zeit, in der die fossilen Energien unerschwinglich sind, die Versuchsphase bereits überwunden sein sollte. Ohne solche Versuchsphasen kann keine technische Entwicklung stattfinden. Planer und Ingenieure können niemals alle Prozesse und Effekte einer Anlage wie der hier geplanten voraussehen, mit ihren doch recht komplexen Wirkungszusammenhängen.

9.1 Ausblick

Weitergehende Aspekte, die den Rahmen dieser Diplomarbeit überschreiten, sind eine Gestaltung der Hauskoppel um die Anlage herum, sowie die Einrichtung von Bewirtschaftungsstrukturen, die eine dynamische und maßgeschneiderte Versorgung der Anlage einbinden in eine umfassende Gestaltung der Stoffströme.

Als Idee hierzu möchte ich ein Agroforstsystem vorschlagen: Durch die horizontale Schichtung der Vegetation wird mehr Feuchtigkeit aus dem Tau in der Landschaft gehalten. Die Niederwälder wurzeln in Konkurrenzvermeidung unter den Ackerfrüchten und machen so tiefer liegende Nährstoffe dem System nutzbar; sie stellen die Spreizmaterialquelle für die Anlage dar. Die Zwischenfrüchte der Ackerflächen, ggf. auch gezielt angebaute nachwachsende Rohstoffe werden energetisch verwertet und danach dem System wieder zugeführt.

Ein Agroforstsystem stabilisiert aufgrund seiner Diversität den Wasser- und Nährstoffhaushalt des Standorts, maßgeblich durch die bereits erwähnte horizontale Schichtung sowohl oberirdisch als auch im Wurzelraum und der dadurch stark verminderten Wind- und Wassererosion; durch Nützlingspopulationen, die den Pflanzenschutz erheblich erleichtern und durch eine Vergleichmäßigung des lokalen Klimas. Durch diese Synergien zwischen Feldfrucht und Baumbestand kann der Gesamtertrag der Fläche gesteigert werden. Die Bäume bilden schneller wachsende und qualitativ hochwertigere Bestände, und die Feldfrüchte profitieren von der verringerten Winderosion und damit Austrocknung, sowie von dem Antransport von tieferliegenden Nährstoffen.

Agroforstsysteme, Kurzumtriebsplantagen und andere Bewirtschaftungssysteme mit permanenter Vegetation reichern mit der Zeit Humus an, und die Wasserhaltefähigkeit des Standorts verbessert sich. Durch die industrielle Landwirtschaft hingegen wird der Oberboden stark degeneriert. Vom Umgang mit dem Boden und der Erhaltung seiner Funktionen hängt nichts weniger als unser Überleben auf dem Planeten ab.

Eine weitere innovative Bewirtschaftungsform, die ich hier nur nennen kann, sind Feuchtgebiete und Fischteiche. In China ist das Dike-Pond-System eine Wirtschaftsweise, die etwa 120-140 Personen von einem Hektar ernähren kann (RIPL mündl.). Zum Vergleich: In Mitteleuropa werden unter zwei Personen von einem Hektar ernährt.

Im Rahmen einer fundamentalen Umstellung der Bewirtschaftung wäre es zweckmäßig, diese Systeme zur Minimierung der Wege in direkter Umgebung der Anlage zu errichten. Nur durch ein integriertes Konzept von Bewirtschaftungsformen, Infrastruktur und rückgekoppelter Organisation kann Nachhaltigkeit an einem Standort verwirklicht werden. Hier besteht – auch für Hollenbek – noch erheblicher weiterer Gestaltungsbedarf.

10. Literatur

AGFW (Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V. bei dem Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V.): Arbeitsblatt FW 308 – Zertifizierung von KWK-Anlagen – Ermittlung des KWK-Stromes, 2002
online verfügbar unter
<http://www.agfw.de/53.0.html>
abgerufen am 14.12.2005

BAADER, Wolfgang; DOHNE, Erich; BRENNDÖRFER, Michael: Biogas in Theorie und Praxis. Behandlung organischer Reststoffe aus der Landwirtschaft durch Methangärung, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt 1987

BGK – Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.: Qualitätsanforderungen an flüssige und feste Gärprodukte
http://www.bgkev.de/leistungen/gaerprodukte/qanforder_gaer.htm
abgerufen am 17.08.2005

BLENDINGER Wolfgang: Ölschiefer, Beitrag im Energiekrise Forum - Fossile Energiereserven, April 2004
online verfügbar unter:
http://www.energiekrise.de/news/forum/blendinger/blendinger_nco.html
abgerufen am 30.08.2005

BOCKHORST, Michael: Energielexikon-Glossar, Begriff „Sonneneinstrahlung“
<http://www.energieinfo.de/eglossar/node162.html>
© 1999-2001
abgerufen am 29.08.2005

BOSEL, Ulf: „Elektronenwirtschaft“ statt „Wasserstoffwirtschaft“ – Strom aus Erneuerbaren Energien wird die „Leitwährung“ künftiger Energieversorgung, in: Sozialzeitalter, No.2/2005

BRAUN, Rudolf: Biogas – Methangärung organischer Abfallstoffe, Grundlagen und Anwendungsbeispiele, Springer-Verlag Wien & New York 1982

CAMPBELL, Colin J, LAHERRÈRE, Jean: The end of cheap oil, in: Scientific American, März 1998, S.78 - 83
online archivierte unter:
<http://dieoff.org/page140.htm>
abgerufen am 29.08.2005

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES: COMMUNICATION FROM THE COMMISSION:
A Sustainable Europe for a Better World: A European Union Strategy for
Sustainable Development (Commission's proposal to the Gothenburg
European Council); Brussels, 15.5.2001

http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/cnc/2001/com2001_0264en01.pdf

abgerufen am 30.04.2005

DIAW, Madiaw: Machbarkeitsstudie einer Gemeinschaftsvergärungsanlage für Festmist
und NAWARO aus dem ökologischen Anbau im Amt Wensin; Diplomarbeit
im Studiengang Umwelttechnologie an der Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg, Juli 2004

EEG (Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich),
21.Juli 2004, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2004 Teil I Nr.40, ausgegeben
zu Bonn am 31.Juli 2004

online verfügbar unter:

http://www.solarserver.de/solarmagazin/eeg_04.pdf

abgerufen am 17.08.2005

EEG Begründung des Deutschen Bundestages, Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit, 15. WP, Drucksache 15/2864, 2004

online verfügbar unter:

<http://dip.bundestag.de/btd/15/028/1502864.pdf>

abgerufen am 17.08.2005

FINIS e.V.: AgroPark Faltblatt - Neue Perspektiven einer humanen Landwirtschaft, ohne
Datum; erhältlich in Groß Zecher; siehe

<http://www.finis-ev.de/index.htm?aktuelles.htm>

abgerufen am 04.09.2005

FNR – FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (hrsg.): Handreichung Biogasgewin-
nung und -nutzung, Leipzig 2004

FNR – FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V.: Übersicht Projektförderung

http://www.fnr-server.de/cms35/UEbersicht.125.0.html?&no_cache=1

abgerufen am 24.08.2005

GEORGE, Henry: Progress and Poverty, 1879

online verfügbar unter:

<http://www.henrygeorge.org/chp1.htm>

insbesondere <http://www.henrygeorge.org/chp17&18.htm>

abgerufen am 12.09.2005

HAUBRICHS, Roland: Übung „Deponie“ – Deponie-Gas, Universität Essen, Fachbereich Abfallwirtschaft, Folien zur Vorlesung, Sommersemester 2004

<http://regionalberatung.typoheads.com/index.php?id=937>

abgerufen am 03.06.2005

HEINBERG, Richard: The Party's over – Das Ende der Ölvorräte und die Zukunft der industrialisierten Welt, Riemann Verlag, 2004

HILLMER, Angelika: Diesel aus Stroh, Hamburger Abendblatt, vom 09.11.2004

<http://www.energie-server.de/energie-server/presse/titel.php?titel=Diesel+aus+Stroh>

abgerufen am 21.05.05

HÜMME, Christian: Bau einer Feststoffvergärungsanlage (Biogasanlage) – Schriftliche Hausarbeit an der Höheren Landbauschule Bad Segeberg, unveröffentlicht; Behlendorf 2004

IEA (International Energy Agency, Paris): World Energy Outlook 2000

online verfügbar unter

<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/weo2000.pdf>

abgerufen am 12.09.05

JOHNSON, Harry R.; CRAWFORD, Peter M.; BUNGER, James W. - U.S. Department of Energy, Office of Naval Petroleum and Oil Shale Reserves: Strategic Significance of America's Oil Shale Resource, Volume I: Assessment of Strategic Issues, Washington, D.C. 2004

KALTSCHMITT, Martin; WIESE, Andreas; STREICHER, Wolfgang (Hrsg.):

Erneuerbare Energien – Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte
Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 3. Auflage 2003

KEYMER, Ulrich: Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Biogasanlagen, in: VDI-Berichte (Verlag Deutscher Ingenieure) Nr.1872 der VDI-Gesellschaft Energietechnik: Biogas – Energieträger der Zukunft, Tagung, Osnabrück 12.-13.04.2005, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 2005

LFL – bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökonomie: Wirtschaftlicher Vergleich von Nachwachsenden Rohstoffen, März 2005

http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/11542/linkurl_0_1_0_0.pdf

abgerufen am 21.08.05

MinöStG (Mineralölsteuergesetz) vom 21. Dezember 1992, zuletzt geändert am 1. Januar 2004

online verfügbar unter

http://www.iwr.de/recht/pdf/mineraloelsteuergesetz_2004.pdf

abgerufen am 24.08.05

- MÖLLER, Kurt (2003): Systemwirkungen der „Biogaswirtschaft“ im ökologischen Landbau: Pflanzenbauliche Aspekte, Auswirkungen auf den N-Haushalt und auf die Spurengasemissionen. Biogas Journal, Heft 1/2003, S. 20-29.
- MÖSL, Roland: Aufstieg zum Solarzeitalter, Gründungsbuch der „Planetary Engineering Group“ PEGE
online verfügbar unter
<http://buch.pege.org/index.htm>
siehe insbesondere:
<http://buch.pege.org/waerme/photovoltaik-und-waerme.htm>
abgerufen am 05.09.05
- PESTA, G.; MEYER-PITTRUFF, R.: Die Verdauung des Wiederkäuers als Vorbild für die Substratzufuhr und die Behebung von Störungen beim Biogasprozess.
In: OSTBAYRISCHES TECHNOLOGIE-TRANSFER-INSTITUT (OTTI) e.V. (Hrsg.): Elfes Symposium Energie aus Biomasse. Regensburg: OTTI, Tagungsband, 2002, S. 158-163
- REHFELD, Knud: Antworten auf den Fragenkatalog der Fraktionen SPD, CDU/CSU, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und FDP; Öffentliche Anhörung zu dem Gesetzentwurf der Fraktionen SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN
- Drucksache 15/2327 - Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich (EEG) am
8. März 2004
- RIPL, Wilhelm: Studie zur ökologischen Bewertung von kleinen Wasserkraftanlagen, im Auftrag von EUROSOLAR e.V., 2004
online verfügbar unter:
<http://www.wasserkraft.org/Gutachten%20Ripl.pdf>
abgerufen am 05.09.05
- RIPL, W.; Petersen, H.; Gerlach, I.; Peickert, U.; Schmalstieg, F.: Integratives Energie-, Wasser- und Stoffstrommanagement für dezentrale, autarke Ver- und Entsorgungsstrukturen -BIODROM- Machbarkeitsstudie, 2002
- RIPL, W.; WOLTER, K.-D.: Stoffstrommanagement nach dem Energie-Transport-Reaktions-Modell (ETR-Modell). in: Wasser & Boden, Parey-Verlag Berlin, Heft 53, 10, Seiten 4-9, 2001
- RIPL, W.; WOLTER, K.-D.: Ökosystemfunktion und Degradierung. Manuskript. Erweiterte deutsche Fassung von: Chapter 11: Ecosystem function and degradation. In: P.J le B. Williams, D.R. Thomas & C.S. Reynolds (eds.): Phytoplankton productivity. Carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems. Blackwell, Oxford, 2002, S. 291-317

SCHEER, Hermann: Sonnen-Strategie – Politik ohne Alternative,
Piper-Verlag München & Zürich, 1993

SCHEER, Hermann: Solare Weltwirtschaft. Strategie für die ökologische Moderne,
Verlag Antje Kunstmann, München 2002

SCHEER, Hermann: Die primäre Wirtschaft wird wieder primär. 1. Aachener Anwenderforum für Bioenergienutzung in Stadt und Region, Aachen 28.-29.04.2003
online verfügbar unter
<http://www.eurosolar.org/new/de/downloads/ScheerdoKopie.pdf>
abgerufen am 06.09.2005

STEFFEN, Heinz; KRAFT, Eckhard; DENECKE, Martin; GROOTERHORST, Alfons: Das 3A-Verfahren. Stand der Entwicklung und Perspektiven eines kombinierten, 3-phasigen Kompostierungs-/Vergärungsverfahrens zur Behandlung von biogen-organischen Abfällen und Restmüll, in: LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall): Müll und Abfall, Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen, Organ für die gesamte Entsorgung und Abfallwirtschaft, Erich Schmidt Verlag Berlin, Bielefeld, München, Juni 1994

VERORDNUNG (EWG) Nr. 2092/91 des Rates über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel, vom 24. Juni 1991
<http://www.verbraucherministerium.de/index-CC50A5785E6947818086B26C12A90287.html>
abgerufen am 17.08.2005

WEIDMANN, Ina: Biokraftstoff ist kein Lückenbüßer, Besuch in der Verfahrenstechnik bei Prof. Dr.-Ing. Thomas Willner, 26.10.2004; Internetseite der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg (Bergedorf):
<http://www.haw-hamburg.de/index.php?id=4524>
abgerufen am 18.06.2005

WEILAND, Peter; RIEGER, Christa; EHRMANN, Thomas; HELFFRICH, Dominik; KISSEL, Rainer; MELCHER, Frank: Ergebnisse des bundesweiten Biogasmessprogramms, in: VDI-Berichte Nr.1872 der VDI-Gesellschaft Energietechnik: Biogas – Energieträger der Zukunft, Tagung, Osnabrück 12.-13.04.2005, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 2005

WILLNER, Thomas: Entwicklungsstand und Perspektive der katalytischen Direktverflüssigung fester Biomassen
"Zur Veröffentlichung im Marktfrucht-Report 2005 der Landwirtschaftskammer Schleswig Holstein"

11. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1:	Lageplan Biogasanlage und Hofgebäude	Quelle: S.I.G. - DR.-ING. STEFFEN GmbH	9
Abb. 2:	Glockenkurven der Erdölförderung	Quelle: Johnson et al. 2004	10
Abb. 3:	mittlere jährliche Sonneneinstrahlung in Deutschland	Quelle: Deutscher Wetterdienst	14
Abb. 4:	Leistung je nach Windgeschwindigkeit	Quelle: http://www.windpower.org/de/tour/wres/enrspeed.htm	16
Abb. 5:	Gasspeichersack (bestehende Anlage auf dem Hof Hümme), eigenes Foto		18
Abb. 6:	spezifische Investitionskosten einer Biogasanlage je nach installierter Leistung	Quelle: FNR 2004	19
Abb. 7:	akute Erosionserscheinungen bei Wozinkel in Mecklenburg-Vorpommern	Foto von Heiko Wonglorz, TU Berlin	23
Abb. 8:	„Weihenstephaner Kuh“ – ein Modell für den mehrstufigen Biogasprozess in Anlehnung an die Verdauung des Wiederkäuers	Quelle: Pesta & Meyer-Pittroff 2002	25
Abb. 9:	schematisches Prinzip des Ein- und Ausbaus der Biomasse –	Quelle: Steffen et al. 1994	29
Abb. 10:	Biogasausbeute und Gasbildungsrate in Abhängigkeit von der Verweilzeit	Quelle: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, nach: Biogas in der Landwirtschaft – Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg; Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg; Potsdam 2001	30
Abb. 11:	Konzept einer kontinuierlichen technischen Anlage zur katalytischen Direktverflüssigung organischer Stoffe (Alphakat GmbH)	Quelle: Willner 2005	44
Tabelle 1:	spezifische Gewichte von verschiedenen Pflanzen bei verschiedenen Erntemethoden		48
Tabelle 2:	Gesamtliterverbrauch für Ernte, Transport zur Anlage und das Abladen		49
Tabelle 3:	Gegenüberstellung von zwei sehr verschieden Arten von Pflanzenmaterial für die Vergärung		53
Tabelle 4:	Degressionsliste der garantierten Einspeisevergütung für Biogasanlagen >150kW bis 500kW mit Bonus für ausschließlichen Einsatz nachwachsender Rohstoffe, für Kraft-Wärme-Kopplung und innovative Technologie		60

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig erstellt habe, keine anderen als die angegebenen Quellen und keine nichtgenannte fremde Hilfe in Anspruch genommen habe.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Berlin, den 26.03.2006

Mathias Heßler