

# Die Rolle von Biogas in der zukünftigen Energieversorgung

Werner Edelmann  
Dr. sc. nat. ETH, arbi GmbH, CH-6340 Baar

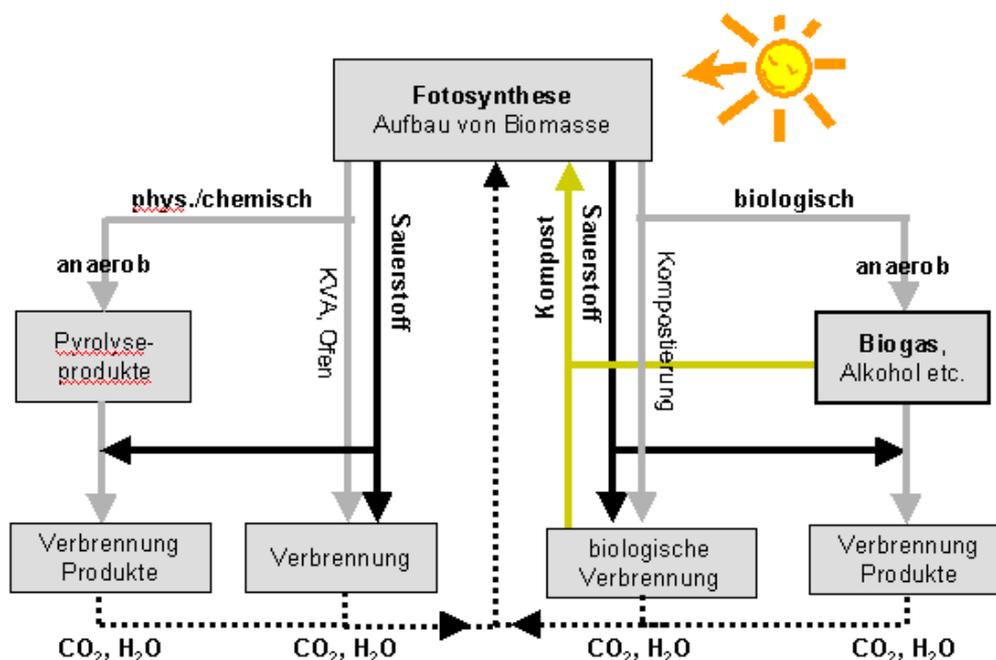
## Einleitung

In der Biomasse werden durch die Sonne in jedem Jahr riesige Stoff- und Energiemengen fixiert. Davon nutzt der Europäer einen beachtlichen Teil, um sein Dasein zu fristen: In der Schweiz werden jährlich rund 60 Millionen Tonnen Biomasse mit einem Energieinhalt von über 60'000 GWh verschoben und verarbeitet (Scheurer und Baier; 2001). Der Löwenanteil fällt auf den Anbau und Import von Tierfutter und Nahrungsmitteln; der Anteil von Holz liegt unter 20%. Bei der Biomassenutzung entsteht immer auch Abfall. In der Landwirtschaft verbleiben allfällige Abfälle entweder auf dem Feld, oder sie werden in Form von Gülle zurück aufs Feld gebracht. Rund 3 Millionen Tonnen biogene Abfälle jedoch fallen in der Schweiz bereits heute pro Jahr als separat gesammelte Abfälle an, die gezielt energetisch verwertet werden können (inkl. Altpapier). Daneben ist heute weltweit angesichts der anstehenden Verknappung fossiler Energieträger ein Boom des Anbaus von Energiepflanzen zu beobachten.

Die Biomasse kann technisch entweder physikalisch-chemisch oder biologisch zu CO<sub>2</sub> und Wasser abgebaut werden (vgl. Abb. 1). In beiden Fällen kann der Abbau in einem oder in zwei Schritten erfolgen: Beim *einstufigen Abbau* (Verbrennung bzw. Kompostierung) steht das Material von Anfang an mit Sauerstoff in Kontakt. Beim *zweistufigen Abbau* (Pyrolyse, bzw. Biogas oder Alkoholgewinnung) läuft der erste Schritt hingegen ohne Sauerstoff, d.h. anaerob ab. Weil dann das Material nicht oxidiert werden kann, entstehen sehr energiereiche Zwischenprodukte, die erst in einem zweiten Schritt zur Energiegewinnung mit Sauerstoff kontrolliert verbrannt werden.

Bei den *physikalisch-chemischen Methoden* wird das biogene Material in der Regel vollständig abgebaut. Dies bedeutet, dass die organischen Anteile und anorganischen Nährstoffe mit der Schlacke verloren gehen. Sie eignen sich vor allem für trockene Biomasse (z.B. trockenes Holz etc.). Es wird – nach Verdampfen des Wassergehalts – der gesamte Energieinhalt der organischen Verbindungen frei. Das Produkt Asche bzw. Schlacke wird deponiert und so dem Stoffkreislauf entzogen. Die Verbrennung kommt allenfalls ebenfalls in Frage für pflanzliche Öle und andere energiereiche Verbindungen, die aus Pflanzen gewonnen werden können.

Bei nassen biogenen Stoffen, wie Speiseresten oder frischen Pflanzen, muss zunächst viel Wasser verdampft werden, bevor die Kohlenstoffverbindungen verbrannt oder pyrolysiert werden können, was für einen *biologischen Abbau* spricht. Beim biologischen Weg werden allerdings durch Mikroorganismen nicht alle, sondern nur die biologisch einfacher „verdaulichen“ Stoffe abgebaut. Zurück bleiben Kompost oder Schlempe. Diese enthalten noch jene schwer abbaubaren organischen Verbindungen, die für den Aufbau von Humus wichtig sind, sowie die anorganischen Nährstoffe und Spurenelemente als Dünger für neues Wachstum. Beim biologischen Abbau kann der natürliche Stoffkreislauf geschlossen werden.



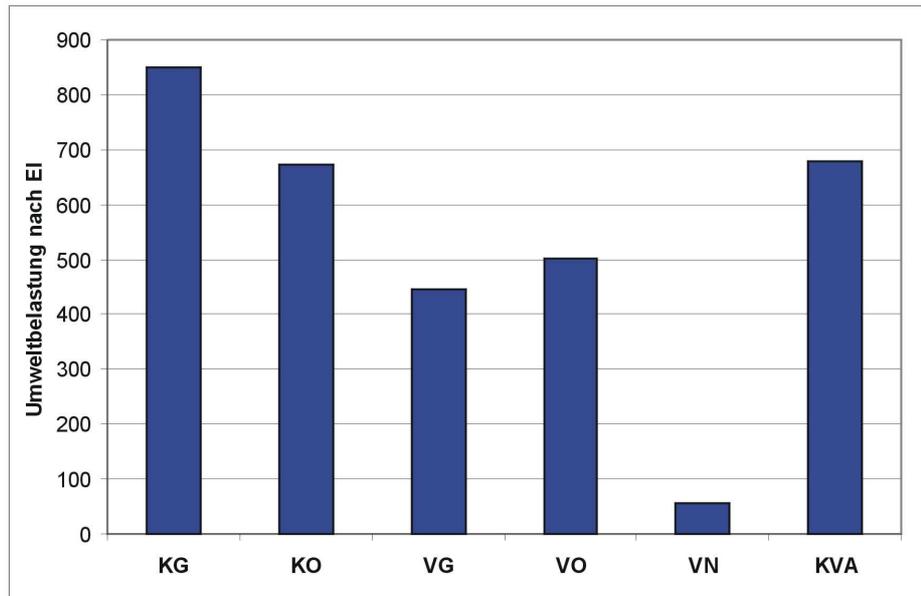
**Abb. 1:** Die prinzipiell möglichen Abbauecke für biogene Stoffe (Erläuterungen im Text)

Es stellt sich nun die Frage, wie biogene Stoffe am besten verwertet werden, bzw. welche Stoffe sich aus Sicht der Ökobilanz für die Biogasgewinnung eignen und ob es Sinn macht, zusätzlich nachwachsende Rohstoffe (Nawaro's) zur Energiegewinnung anzubauen.

## Aktuelle Situation bei der Verwertung biogener Abfälle

Noch vor wenigen Jahren wurden heftige Diskussionen geführt, ob es besser sei, biogene Abfallstoffe – namentlich auch Haushaltsabfälle - aerob, d.h. mit Kompostierung, oder aber anaerob zu verwerten. Beim anaeroben Abbauecke von Abfällen und organisch belasteten Abwässern kommt i.d.R nur die Biogasgewinnung in Frage, da nur dort die Bakterienbiozönose in der Lage ist, mit Ausnahme von Lignin praktisch alle natürlich vorkommenden organischen Verbindungen mehr oder weniger schnell abzubauen.

Heute setzt sich mehr und mehr die Erkenntnis durch, dass die Kompostierung (oder auch die Belüftung von Industrieabwässern) keine ökologisch sinnvolle Lösung ist. Die Kompostierung ist – wie sie vom Menschen betrieben wird – ein unnatürlicher Prozess, der aus prinzipiellen Überlegungen nicht optimal betrieben werden kann (Edlmann, 2007). Ein Vergleich der Ökobilanzen von Vergärung, Kompostierung, anaerob/aeroben Kombinationsbehandlungen wie auch Verbrennung zeigt einen klaren Vorteil der Anaerobtechnik (Abb. 2). Wenn ein grosser Haufen - entgegen einem natürlichen Ablauf – aerob kompostiert werden soll, muss ein grosser technischer Aufwand zum Belüften, Umsetzen und Bewässern betrieben werden. Statt die Sonnenenergie der Biomasse zu nutzen, muss sogar Fremdenergie eingesetzt werden (Elektrizität, Treibstoff für Maschinen etc.), welche die Umwelt belastet und Treibhauseffekt erzeugt. Während Kompostierung Energie benötigt, setzt Vergärung netto Energie frei. Auf Ebene der Primärenergie, d.h. unter Berücksichtigung der gesamten „grauen“ Energie, die benötigt wird, um Energie vor Ort bereitzustellen, kann die Energiedifferenz zwischen Kompostierung (KG, Abb. 2) und Vergärung (VN) bis zu über 700 kWh/Tonne Kompost betragen (Edlmann et al, 1999). Aus diesen und auch aus ökonomischen Gründen werden seit einigen Jahren in der Schweiz keine Grosskompostieranlagen mehr gebaut, und bestehende Kompostwerke rüsten immer mehr auf Anaerobtechnik um.

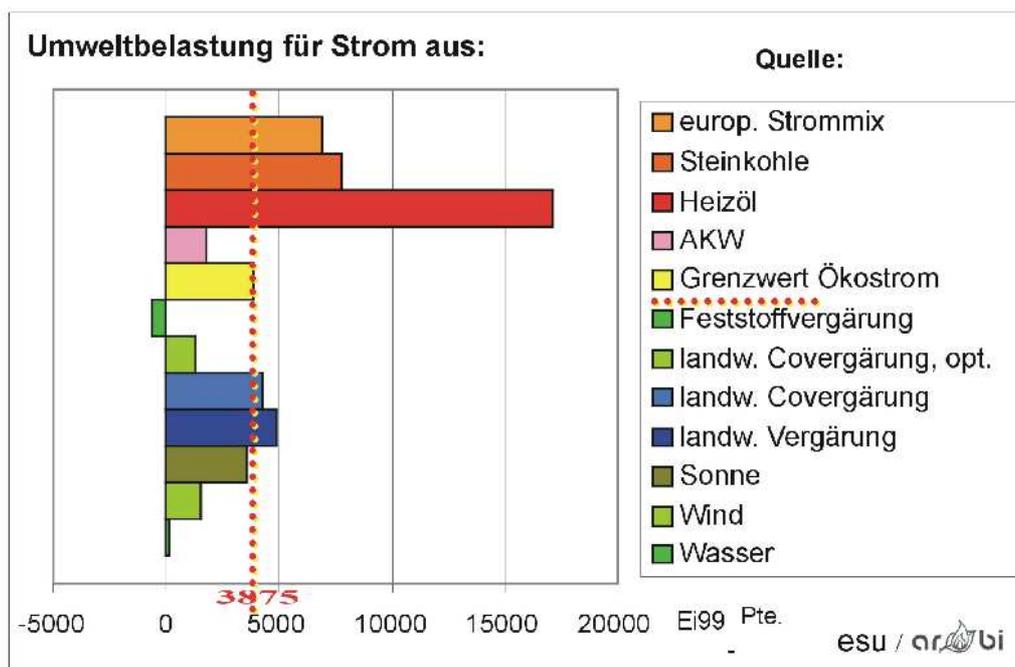


**Abb. 2:** Vergleich der Ökobilanzen von automatisierter, geschlossener Kompostierung (KG), offener Mietenkompostierung (KO), Kombination Vergärung mit geschlossener Kompostierung (2:3) (VG), Kombination von Vergärung mit offener Kompostierung (3:2) (VO), Vergärung mit Nachrotte (VN) und Müllverbrennungsanlage (KVA). Methode: Ecoindicator 99<sup>+</sup> (Für Details siehe Edlmann et al., 1999)

Heute besteht in der Schweiz bei festen, feuchten biogenen Abfällen eher eine Konkurrenz zwischen der Müllverbrennung und der anaeroben Verwertung. Obwohl bei der Müllverbrennung aus nassen Speiseresten und Haushaltsabfällen i.d.R. deutlich weniger Energie gewonnen werden kann, als bei der Vergärung, und diese Energie normalerweise zudem in der unmittelbaren Umgebung der MVA kaum in grossem Umfang genutzt werden kann und obwohl das schweizerische Gesetz eigentlich eine getrennte Einsammlung der einzelnen Abfallfraktionen verlangen würde, wehren sich noch einige Kommunen gegen die Anaerobtechnik. Für dieses aus Sicht der Schliessung von Stoffkreisläufen und Energiegewinnung nicht sinnvolle Verhalten gibt es wahrscheinlich hauptsächlich zwei Gründe: Einerseits besteht in der Schweiz bereits eine grosse Überkapazität für Müllverbrennung, was zu einem „Kampf um den Abfall“ und grossen Importen aus dem (u.a. deutschen) Ausland führt, und andererseits steigt mit dem Wegfall der nassen Fraktion der Heizwert des Restmülls, was dazu führt, dass gewisse Anlagen nicht mehr auf Vollast betrieben werden können, was die Rentabilität zusätzlich schmälert (Edlmann, 2007).

## Wo macht die Biogasgewinnung Sinn?

Wenn man die Ökobilanzen der Biogasgewinnung aus festen Abfällen mit jener der Biogasgewinnung aus landwirtschaftlichen Reststoffen, bzw. der landwirtschaftlichen Co-Vergärung vergleicht, fällt auf, dass die Landwirtschaftsanlagen ohne Optimierungsmassnahmen die Limite für Ökostrom nicht erreichen können (Abb. 3). Dies hat damit zu tun, dass – im Gegensatz zur Behandlung von Haushaltsabfällen oder organisch belasteten Industrieabwässern – die Gülle nicht zwingend behandelt werden muss; die Biogasanlage ist damit eine zusätzliche Komponente auf dem Hof, die (ökonomisch und ökologisch) allein mit den Erträgen aus dem Gewinn von erneuerbarer Energie und allenfalls verbesserter Güllequalität amortisiert werden muss.



**Abb. 3:** Vergleich der Ökobilanzen der Elektrizitätsgewinnung aus verschiedenen Energieträgern. (Atomkraftwerk: ohne Belastung durch Bau und Betrieb Endlager, da noch nicht bekannt, und ohne Unfall; Feststoffvergärung mit Gutschrift für die Vermeidung von Umweltbelastung durch den Ersatz von Mineraldünger)

Wenn *organische Haushaltsabfälle* oder *organisch belastete Industrieabwässer* konventionell behandelt werden, entstehen ökologische Belastungen, indem entweder viel umweltbelastende, nicht erneuerbare Fremdenergie beispielsweise zum Belüften eingesetzt werden muss oder indem Stoffkreisläufe nicht geschlossen werden können, weil Humus und Nährstoffe in Form von Asche in einer Schlackendeponie verlockt werden müssen. Bei der anaeroben Behandlung können entsprechende Gutschriften z.B. für Kohlenstoffeintrag in den Boden oder eingesparte, nicht erneuerbare Energie erteilt werden, was zu einem entsprechend guten Resultat der Ökobilanz beiträgt.

In der *Landwirtschaft* fallen diese Gutschriften weg, da die Gülle ohne Anlage einfach direkt auf das Feld ausgetragen würde, d.h. es kann kein umweltbelastender Prozess ersetzt werden. Hingegen kommt es zu bedeutenden Mehremissionen von schädlichen Gasen, wie z.B. Ammoniak und Lachgas, ggf. auch Methan, da die vergorene Gülle weiter abgebaut worden ist und daher u.a. mehr mineralischer Stickstoff in Form von Ammonium (im Gleichgewicht mit Ammoniak) vorliegt. Zudem ist der pH 0,5 bis 1 Einheit höher, was den Ammoniakgehalt der Gülle nochmals stark erhöht (Edelmann et al., 2001). Wenn daher in Landwirtschaftsbetrieben Gülle - allenfalls zusammen mit organischen Gewerbeabfällen - vergoren wird, sind zusätzliche Massnahmen, insbesondere Schleppschlauchverfahren beim Gülleausbringen und Abdeckung des Lagertanks, notwendig, um die Limite für Ökostrom zu unterschreiten (Abb. 3).

Wenn nun *Energiepflanzen* speziell für die Vergärung angepflanzt werden müssen, wird die Ökobilanz sehr unerfreulich: Während bei den Haushaltsabfällen der Abfall vorhanden ist und etwas gemacht werden muss, und im Fall der Landwirtschaftsabfälle wenigstens der Abfall vorliegt, ist hier gar nichts vorhanden: Weder Ausgangsstoff noch der Zwang, eine Anlage zu bauen. Und die Bereitstellung des Ausgangsstoffs verursacht grosse Umweltbelastungen: Die Bereitstellung von Energiepflanzen erfordert allgemein aufwändige Aufbereitungsketten für Erzeugung des Saatguts, Anbau, Ernte, Transporte, Lagerung und Aufberei-

tung. Dies wirkt sich in verschiedenster Hinsicht negativ aus und die Resultate einer Ökobilanz wären – sofern sie gerechnet worden wären – weit jenseits der Grenze für Ökostrom in Abbildung 3:

- Es ist viel nicht erneuerbare und z.T. stark *treibhausaktive Fremdenergie* nötig (Herstellung von Mineraldünger und Pestiziden, Treibstoff für landwirtschaftliche Maschinen, Bereitstellung und Betrieb von Infrastruktur zur Aufbereitung, Lagerung etc.)
- Da der Anbau – sofern er einen spürbaren Beitrag an die Energieversorgung liefern soll - in grossem Massstab erfolgen muss, gehen *Landressourcen für den Nahrungsanbau* verloren.
- Die Landwirtschaft muss folglich (entgegen den heutigen ökologischen Erkenntnissen) *intensiviert* werden mit Folgeschäden auf verschiedensten Ebenen: Beispielweise können Böden noch weniger als C-Senken dienen, was aus Sicht der CO<sub>2</sub>-Reduktion in der Atmosphäre wichtig wäre.
- Es kommt vermehrt zu *Bodenverdichtung* und damit zu Humusverlust, Erosion und Bodenbelastung mit organischen und anorganischen Schadstoffen (halogenierte Pestizide, Schwermetalle, Nährstoffe etc.)
- Die Landschaft wird verfremdet durch *Monokulturen*
- Die *Artenvielfalt sinkt* beim (notwendigem!) Intensivanbau, was wiederum das ökologische Gleichgewicht stört und so zu vermehrtem Einsatz von Pestiziden führt.
- Die *Luft wird belastet* durch zusätzliche NO<sub>x</sub>, Methan und NH<sub>3</sub>-Emissionen, da u.a. der Kreislauf des Stickstoffs intensiviert wird (mehr Auf- und Abbauprozesse von Biomasse und damit auch von (an-)organischen Stickstoffverbindungen)
- Das *Klima wird kaum positiv beeinflusst*, da die relativ kleinen Einsparungen beim CO<sub>2</sub> (wegen Fremdenergiebedarf beim Anbau und Bereitstellung der Infrastruktur) weitgehend zunichte gemacht werden durch zusätzliche Emissionen von Lachgas, Ammoniak, Methan etc.
- Es entsteht ein erhöhter *Bedarf für Bewässerung* bei gleichzeitiger regionaler Verknappung des Wassers als Folge der Klimaveränderung.

Der Anbau von Energiepflanzen zur anschliessenden Vergärung muss daher mit Blick auf die Umwelt als (höchst folgenschwere) Fehlentwicklung ganz klar abgelehnt werden - wenngleich heute fragliche wirtschaftliche Rahmenbedingungen finanzielle Gewinne erwarten lassen.

## (Un-)Sinn des Anbaus von Nawaro's im Allgemeinen

Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen zur Energiegewinnung ist nicht nur beim Biogas, sondern ganz allgemein eine absolute Fehlentscheidung, wenn man die Nutzung von Wald zur Holzgewinnung einmal ausklammert. *Der Anbau von Energiepflanzen macht keinen Sinn*, u.a. weil auch der Anbau der Pflanzen selbst viel Energie benötigt: Im Fall von Alkohol kann es beispielsweise durchaus sein, dass rund die Hälfte der gewonnenen Energie für den Anbau, Ernte, Lagerung, Aufbereitung und Bearbeitung der pflanzlichen Biomasse (Destillation etc.) eingesetzt werden muss (Senn, Luca, 2003). Gleichzeitig wird die Anbaufläche als Konkurrenz zur (absolut prioritären) Nahrungsmittelproduktion knapp und es entstehen beträchtliche Umweltschäden. Die EMPA hat in einer gross angelegten Ökobilanz die verschiedenen Bioenergieträger - sowohl in der Schweiz angebaut als auch weltweit - verglichen (Zah et al., 2007). Dabei wurden allerdings die gravierenden Konsequenzen für den Nahrungsanbau leider nicht berücksichtigt. Trotzdem kam auch schon so klar zum Ausdruck, dass Bioenergie nur mit *bereits vorhandenen Reststoffen* wirklich Sinn macht.

Eine einfache Rechnung zeigt, dass der Anbau von Biomasse auf dem Feld als Energieträger absolut keinen Sinn machen kann (Abb. 4):

<b>Input Sonnenenergie pro Fläche</b>	<b>100 %</b>
Umwandlung in Traubenzucker (Fotosynthese)	10 % (- max.20% <sup>*)</sup> )
Umwandlung in Zellmaterial (Protein, DNS, Fett etc.)	5 % (- max 10%)
Nach Abzug der Verluste (brach liegende Felder, Lichthemmung etc.)	1 % (0.5 - 2%)
Abzüglich Energieaufwand für den Anbau (Dünger, Pestizide, Maschinen)	~0.3 %
<b>verbleibende Netto-Energie in verwertbarer Biomasse</b>	<b>~0.7 %</b>
Nun ist graue Energie und Betriebsenergie nötig für:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bau von Anlagen zur Lagerung, Aufbereitung und Verwertung der Biomasse</li> <li>• Betrieb der Anlagen (pumpen, rühren, heizen, destillieren etc.)</li> <li>• Bau und Betrieb von Apparaten zur Reinigung und Verwertung der gewonnenen Bioenergieträger</li> </ul>	
Zudem liegen Verluste vor:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verluste beim biologischen Umbau, da Mikroorganismen nicht 100% verwerten, sondern z.B. nur Zucker (für Alkohol) oder leicht abbaubare Verbindungen (für Biogas) abbauen</li> <li>• Verluste im Fall von Ölgewinnung, da nur ein kleiner Teil der Pflanze aus Öl besteht.</li> <li>• ggf. auch Verluste von Abwärme (z.B. beim BHKW)</li> </ul>	
<b>Output Bioenergie netto</b>	<b>~0.1 - 0.4 %</b>
<b>Ausbeute von Fotovoltaikzellen</b>	<b>20 % (- max. 35%)</b>
<b>→ Fotovoltaik ist 30-100 mal effizienter als Bioenergie !</b>	
	(inkl. Berücksichtigung der grauen Energie für Herstellung der Fotozellen)
<sup>*)</sup> Voraussetzung: vollständige Deckung der gesamten Oberfläche mit grünen Zellen und niedrige Lichtintensität. (keine Lichtsättigung bzw. -hemmung)	

**Abb. 4:** Gegenüberstellung der Energieausbeuten von Bioenergie und Fotovoltaik

Wir erhalten pro m<sup>2</sup> von der Sonne je nach Klimazone und geographischer Lage eine bestimmte Energiemenge. Von dieser Strahlung ist aber ein Teil fotosynthetisch nicht verwertbar (die Pflanzen strahlen ja grünes Licht zurück; sie sind nicht schwarz!). Die Energie, die schliesslich aufgenommen werden kann, wird in Traubenzucker gebunden. Dies ist unter günstigen Bedingungen rund 10%. Um aber all die anderen Zellbestandteile, wie Eiweisse, Fette etc. herzustellen, muss über ein Drittel dieses Zuckers gleich wieder veratmet, d.h. verbrannt werden, so dass in der Pflanze im theoretischen Idealfall nur rund 5% der eingestrahnten Energiemenge vorliegen.

Wenn aber die Felder brach liegen, gibt es keine Fotosynthese; solange das Grün nicht voll deckend ist, geht nutzbare Sonnenenergie verloren; und wenn die Sonne voll scheint, wird die Fotosynthese – speziell bei einheimischen Pflanzenarten - gehemmt (analog zu einem Trichter, der überläuft, wenn zuviel Wasser kommt)! Schliesslich ist in der Praxis *im Durchschnitt brutto nur rund 1% der eingestrahnten Sonnenenergiemenge in der Pflanze gebunden!*

Um aber die Pflanze gezielt anzubauen, braucht es neben grossen Landressourcen viel Fremdenergie- und Arbeitseinsatz, wie auch für Ernte, Transport und Aufbereitung vor der Weiterverwertung (und es entstehen dabei natürlich auch entsprechende Umweltbelastungen). Dieser Energieeinsatz ist vom Energieinhalt der Pflanzen abzuziehen.

Schliesslich muss die ganze Infrastruktur bereit gestellt werden zum Lagern, Aufbereiten, Umwandeln und Verwerten der Biomasse (Biogasanlagen, Brennereien, Anlagen zur Ölgewinnung inkl. vor- und nachgelagerte Prozesse etc.). Zudem kann nicht der ganze Energieinhalt der Pflanze in Nutzenergie umgewandelt werden, da nicht alle Teile der Pflanze für den jeweiligen Zweck geeignet sind (es bleiben Gärgut oder Schlempen zurück). *Netto erhalten wir demzufolge nur noch einige wenige Promille der eingestrahltten Sonnenenergiemenge im Energieträger* (Alkohol, Methan, Öl etc.). Wenn wir diesen Energieträger ggf. nun noch im BHKW in Elektrizität umwandeln würden, kann nochmals rund zwei Drittel als Abwärme verloren gehen, so dass wir schliesslich im ungünstigsten Fall bei weniger als einem Promille der eingestrahltten Sonnenenergiemenge in Form von Strom liegen.

Fotovoltaikzellen haben einen theoretischen Wirkungsgrad von rund 35%. Heutige Zellen wandeln – bei einem noch relativ schlechten energetischen Erntefaktor – rund 20% der eingestrahltten Sonnenenergie in elektrischen Strom um. Fortschritte beim Wirkungsgrad und bei der grauen Energie der eingesetzten Materialien sind aber abzusehen – ganz im Gegensatz zur Photosynthese, die über Milliarden von Jahren optimiert worden ist (und angesichts der höchst komplexen chemischen Strukturen, die aufgebaut werden, ein absolutes Wunder darstellt): Hier kann keine spürbare Verbesserung des Wirkungsgrades erwartet werden. Es ist daher bei den zukünftig in Folge von Bevölkerungswachstum und Klimaveränderung zusätzlich beschränkten Landressourcen absolut verantwortungslos, Bioenergiegewinnung aus Nawaro's zu fördern, dies umso mehr, als wir mehr als genug unproduktive Dächer und „zurbetonierte“ Flächen besitzen, die beispielsweise für Fotovoltaik eingesetzt werden können.

## Schlussfolgerungen für eine zukünftige Energiewirtschaft

Erdöl ist ein einzigartiger Energieträger mit einer sehr hohen Energiedichte, den wir in diesem Ausmass, wie wir ihn heute verschleudern, nicht auch nur annäherungsweise mit Bioenergie ersetzen können. Das Öl hat sich wahrscheinlich zur Hauptsache in der letzten Milliarde Jahre aufgebaut, als auf der Erde die ersten höheren Organismen auftraten. Wir verbrennen daher heute in einem Tag Reserven, für welche die Natur zwischen 30 und 50'000 Jahre brauchte, um sie aufzubauen...! Wir haben schlicht nicht die Flächen, um diese unvorstellbar grossen Energiemengen täglich in Biomasse zu fixieren und nutzbar zu machen.

Der Verbrauch von nicht erneuerbaren Energieträgern hat im Fall von Öl wahrscheinlich sein Maximum bereits überschritten (ASPO, 2007). (Es ist in diesem Zusammenhang bezeichnend, dass die Mineralölgesellschaften nicht mehr in den Bau von neuen Raffinerien investieren, weil sie nicht mehr an eine signifikante Erhöhung der Förderkapazität glauben). Im Fall von Erdgas und Kohle werden die Maxima noch vor der Mitte dieses Jahrhunderts erreicht sein (ebenda) – sofern nicht der Treibhauseffekt noch vorher einen Strich durch die Rechnung macht: Dort werden wahrscheinlich die nun einsetzenden positiven Rückkopplungen total unterschätzt (u.a. auch die nun einsetzenden Methanemissionen durch die Aktivität der anaeroben Bakterien in den Tausenden von Quadratkilometern von auftauenden Permafrostböden). Kernenergie ist keine Alternative, weil bereits heute nur noch rund 60% des jährlich benötigten Kernbrennstoffs gefördert werden kann; wir leben von den russischen Nuklearreserven, die für die Waffenproduktion beiseite gelegt wurden (ebenda). Was heute die Meisten noch verdrängen und dabei ihre schönen Kurven weiterhin in himmlische Höhen extrapolieren, wird nun Tatsache: „The party is over!“

In absehbarer Zukunft bricht das post-fossile und post-nukleare Zeitalter an: Wir werden uns in erster Linie ein Beispiel an der Natur nehmen müssen (Edelmann, 1981) und zur Einsicht kommen, dass Energie ein höchst wertvolles Gut ist, das in der Biosphäre – welche mit ihren Prinzipien *nota bene* über Milliarden von Jahren nie Pleite gegangen ist - immer möglichst sparsam eingesetzt und unter optimaler Nutzung in den trophischen Stufen weitergereicht wird. Wird in der lebenden Zelle irgendwo ein Quäntchen Energie frei, wird es gleich in chemischer Form für spätere Verwendung eingelagert; die Natur kennt keine Energieverschwendung wie der heutige Mensch. Die Zeit der energetischen Feuerwerke wird für den Menschen jedoch rasch vorbei sein und man wird sich auf das Wesentliche besinnen müssen (was durchaus einen positiven Aspekt haben kann....!).

Für die Landwirtschaft wird eine Zeit anbrechen, wo Energieeinsatz durch Manpower ersetzt werden muss. Nach einer Trendwende wird das Arbeitsangebot im primären Sektor, d.h. in der Nahrungsproduktion wiederum signifikant wachsen, da ohne Öl, bzw. fossile Energieträger der Anbau schwieriger und arbeitsintensiver werden wird und tendenziell für gleiche Produktionsmengen grössere Flächen beansprucht werden müssen. Gleichzeitig dürften sich Extremwetterereignisse häufen, die zu Ernteaussfällen führen werden. Für einen spürbaren Anbau von Energiepflanzen wird nur schon bei einer Bevölkerungszahl, wie wir sie heute haben, der Platz dann schlicht fehlen.

Transporte werden sich infolge knapper werdender Energie signifikant verteuern und die Globalisierung wird weniger ein Thema sein als heute. Es wird voraussichtlich bei der Siedlungsstruktur eine Trendwende von der Verstädterung hin zu einer Dezentralisierung und einer grösseren lokalen Selbstversorgung hin geben, wo Transporte minimiert werden können (Edelmann, 1975). Speziell Länder, wie die Schweiz, wo heute 55% der pflanzlichen Nahrung importiert werden muss, werden wahrscheinlich auf eine vegetarischere Ernährung umstellen müssen, da dies erlauben wird, bei gleicher Fläche eine deutlich grössere Bevölkerungszahl zu ernähren.

Die Zeit des Verbrennungsmotors und der - zugegebenermassen sehr praktischen - flüssigen Energieträger wird vorbei sein. Der zukünftige Transport wird elektrisch erfolgen mit Elektrizität aus Wasser, Wind, Gezeiten und Fotovoltaik. Die Sonne wird neben Holz und ggf. Erdwärme zudem zum Zug kommen zur Deckung des (drastisch minimierten) Wärmebedarfs. Biogas wird eine sehr wichtige Rolle spielen bei der Schliessung der Stoffkreisläufe zum Recycling von anorganischen Nährstoffen und Kohlenstoffverbindungen, d.h. bei der Verwertung biogener Abfallströme, die bei der Herstellung von Nahrung immer vorhanden sein werden. Allerdings ist es sehr fraglich, ob das Methan mittelfristig noch verbrannt werden wird: Wahrscheinlicher wird ein Einsatz als Rohstoff für chemische Synthesen sein, da auch dort das Öl fehlen wird. Es sei beispielsweise daran erinnert, dass der Stickstoffdünger bei der Haber-Bosch-Synthese aus Luftstickstoff und Erdgas gewonnen wird....! Die Herstellung von Biomethan aus Biogas scheint daher aus diesem Blickwinkel durchaus sinnvoll zu sein.

## Quellenverzeichnis

- ASPO (2007): Internetseiten zu nicht erneuerbaren Energieträgern, [www.energiekrise.de](http://www.energiekrise.de)
- Edlmann W. (1975): *Sanfte Technik, Gebot der Stunde?*, Leitartikel: Technische Rundschau, # 43, Hallwag-Verlag, Bern, pp.1-5
- Edlmann W., Wyss W. (1981): *Lernen von der Natur*, Panda-Journal, 1/81, WWF, Zürich (48 Seiten)
- Edlmann W., Schleiss K., Joss A., Ilg. M, Steiger H. (1999): *Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung biogener Abfallstoffe*, Studie i.A. BFE und Buwal, Schriftenreihe BFE, Bern (120 Seiten) (Zusammenfassung: [www.arbi.ch/oekobila.htm](http://www.arbi.ch/oekobila.htm))
- Edlmann W., Schleiss K., Engeli H., Baier U (2001): *Ökobilanz der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas*, Programm Biomasse, BFE, 3003 Bern (95 Seiten)
- Edlmann W. (2007): *Energieproduktion aus Bioabfällen – Vergären oder Verbrennen?* In: Wiemer und Kern: Tagungsunterlagen Kasseler Abfallforum, ISBN 3-928673-50-5, pp. 510-521
- Senn T., Luca S. (2003): *Studie zur Bioethanolgewinnung aus Getreide in Anlagen mit einer Jahresproduktionskapazität von 2,5 und 9 Mio. Litern*, Uni Hohenheim/VLSF Berlin
- Scheurer K., Baier U. (2001): *Biogene Stoffflüsse Schweiz*, BFE Bericht 39573, Bern
- Zah R., Böni H., Gauch M., Hischier R., Lehmann M., Wäger P., Bach C., Stucki S. (2007): *Ökobilanz von Energieprodukten – ökologische Bewertung von Biotreibstoffen*, BFE Bern (180 Seiten), [www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/8514.pdf](http://www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/8514.pdf)