

Ökobilanz der Bioenergieproduktion

Derzeit macht es keinen Sinn, laut über den Anbau von Energiepflanzen nachzudenken. Sinnvoller ist es, möglichst vollständig die Abfallbiomasse und die organisch belasteten Abwässer zu erfassen, um diese als Energiequellen zu nutzen.

VON WERNER EDELMANN

Die Sonne liefert die Energie zum Aufbau von Biomasse. Bei der Fotosynthese entsteht aus Kohlendioxid und Wasser pflanzliches Material als Grundlage allen Lebens. Die Biomasse wird im natürlichen Kreislauf zurück zu CO₂ und Wasser abgebaut, wobei die in den chemischen Bindungen steckende Sonnenenergie frei wird.

Der Mensch hat vier grundsätzlich unterschiedliche Möglichkeiten, die Biomasse abzubauen: Entweder chemisch/physikalisch oder biologisch, wobei der Sauerstoff entweder von Anfang an oder erst in einem zweiten Schritt eingesetzt wird (Abb. 1). In allen Fällen steht das CO₂ nach dem Abbau wieder für einen neuen Aufbau zur Verfügung. Da beim CO₂ ein Kreislauf besteht, trägt dieses – im Gegensatz zu CO₂ aus fossilen Quellen – nicht zur Erhöhung des Treibhauseffekts bei.

Diese Tatsache ist sehr erfreulich und mag zum – allerdings voreiligen – Schluss führen, dass die Nutzung von Bioenergie in jedem Fall einen grossen Beitrag gegen die Erderwärmung bringe. Da bei der Bioenergienutzung aber auch Apparate zum Einsatz kommen, die mit nicht erneuerbaren Ressourcen hergestellt und betrieben werden, ist zur Beurteilung der Vor- und Nachteile eine vertiefte Betrachtung notwendig: Erst eine Ökobilanz gibt Anhaltspunkte über Sinn oder Unsinn eines Verfahrens.

Sämtliche Umweltauswirkungen erfassen

Bei einer Ökobilanz werden «von der Wiege bis zur Bahre» sämtliche Umweltauswirkungen möglichst vollständig erfasst: Dies beginnt bei der Gewinnung und Verarbeitung der

Werner Edelmann,
Dr. sc. nat. ETH, arbi GmbH, Baar.

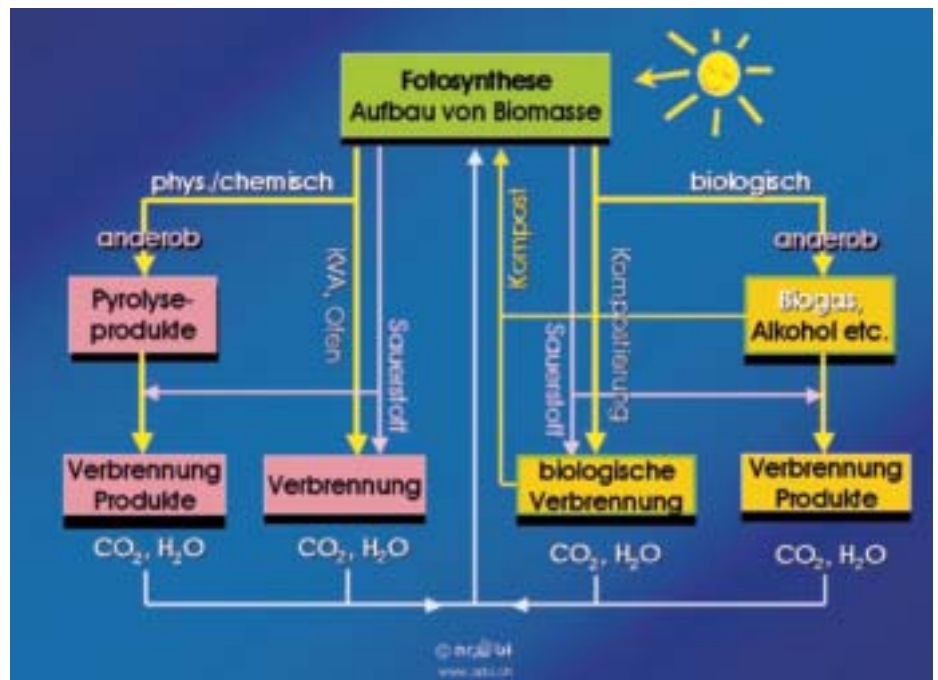


Abb.1: Die Möglichkeiten der Bioenergienutzung: Sowohl physikalisch/chemisch als auch biologisch kann der Abbau ein- oder zweistufig ablaufen. Im zweiten Fall erfolgt der erste Schritt anaerob, wobei energiereiche Zwischenprodukte entstehen. Bei den biologischen Verfahren fällt Kompost an, der aus Sicht der nachhaltigen Bewirtschaftung des Bodens sehr wichtig ist.

Rohstoffe zum Bau einer Anlage (Erze, Öl, Kies usw.), erstreckt sich über sämtliche Emissionen beim Betrieb bis hin zu den Umweltbelastungen, die bei Abbruch und Beseitigung der Anlage anfallen. Gleichzeitig werden aber auch jene Emissionen berücksichtigt (d.h. von den andern in Abzug gebracht), welche durch den Prozess verhindert werden: Wenn beispielsweise erneuerbare Energie gewonnen wird, können jene Emissionen in Abzug gebracht werden, die durch dieselbe Menge an nicht erneuerbarer Energie verursacht würden. Abbildung 2 zeigt den Ablauf einer Ökobilanz.

Wenn nun das Nutzbarmachen von Energie aus Biomasse untersucht wird, sind drei grundsätzlich verschiedene Fälle zu unterscheiden:

- ☞ Fall 1: Abfall ist vorhanden, und dieser muss auf jeden Fall behandelt werden

- ☞ Fall 2: Abfall ist vorhanden – er muss aber nicht zwingend behandelt werden
- ☞ Fall 3: Es ist noch gar nichts vorhanden (weder Biomasse noch Anlage)

Als Beispiel für Fall 1 können biogene Abfälle aus Haushalt, Industrie und Gewerbe oder organisch belastete Industrieabwässer angeführt werden: Die Abfälle wie auch die Abwässer müssen behandelt werden. Wenn sie nun neu beispielsweise anaerob verwertet werden, wird ein anderer Prozess (z.B. energieintensive Abwasserbelüftung oder Grüngutkompostierung) eingespart.

Abbildung 3 zeigt das Resultat vom Vergleich der Behandlung von 10 000 Jahrestonnen von biogenen Haushaltsabfällen durch Kompostierung, Vergärung, Kombination von Vergärung und Kompostierung so

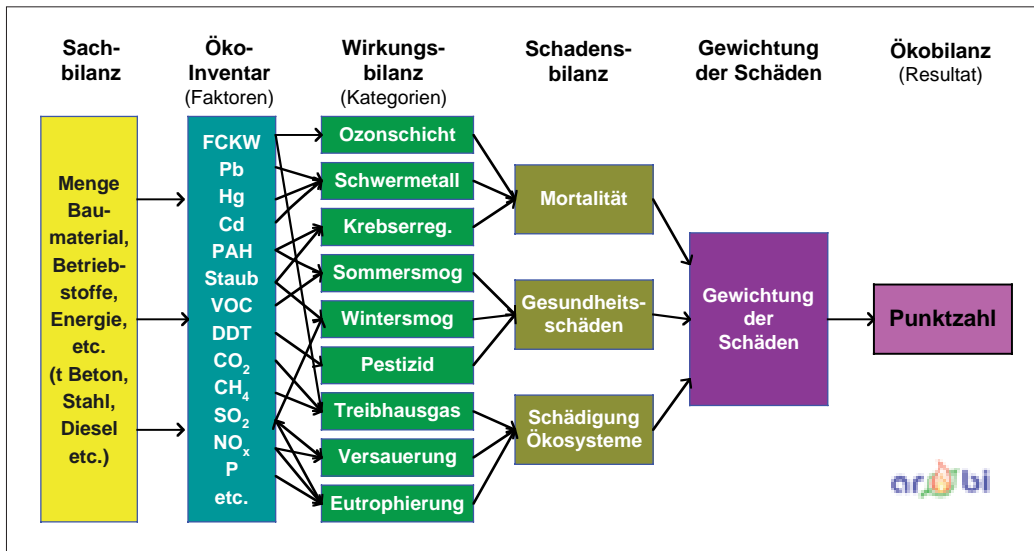


Abb. 2: Ablauf einer Ökobilanz: Nachdem in der Sachbilanz die für den Prozess nötigen Materialien bekannt geworden sind, können die erzeugten Schadstoffmengen (Ökofaktoren) ermittelt werden. Ihre Wirkungen auf die verschiedenen Wirkungskategorien werden pro Kategorie auf eine Referenzsubstanz umgerechnet (z.B. Treibhausgas: Ref. = CO₂). Die in den Schadenskategorien erzeugten Schäden werden gewichtet, was als Resultat eine – je nach Gewichtung evtl. etwas unterschiedliche – Punktzahl ergibt.

wie Verbrennung in der Kehrichtverbrennungsanlage (KVA), (Edelmann und Schleiss, 1999). In allen Fällen wird die in der Biomasse gebundene Sonnenenergie wieder frei. Beim Vergleich der biologischen Verfahren (Abb. 1, rechte Seite) zeigt sich, dass die Kompostierung, die viel Energie benötigt und gleichzeitig die Energie nur als kaum sinnvoll nutzbare Kompostwärme freisetzt (Edelmann et al., 1993), die höchsten Umweltbelastungen bewirkt (KG, KO, Abb. 3). Bei reiner Vergärung (VN) andererseits sinken die Belastungen – nach Abzug der Gutschriften für Einsparung von umweltbelastendem Mineräldünger und von nicht erneuerbarer Energie – gegen Null. Die Verbrennung in der KVA ist aus energetischer Sicht angesichts des hohen Wassergehalts der biogenen Abfälle nicht sinnvoll. Zudem ist die Verbrennung auch bezüg-

lich der Schliessung von ökologischen Kreisläufen absolut nicht nachhaltig, da die Asche in einer Deponie verlockt werden muss und somit Nährstoffe wie auch humusbildende Substanzen dem Stoffkreislauf verloren gehen. Die Vergärung von biogenen Abfällen und auch von Abwässern zeigt hingegen eine ausserordentlich gute Ökobilanz, deren Umweltbelastung sogar negative Werte annehmen kann, wenn die Belastungen des ersetzten Konkurrenzverfahrens in Abzug gebracht werden (Abb. 4). Der energetische Erntefaktor kann im Extremfall über 10 liegen (arbi, 2005)

Fall 2

Im Fall 2 ist die Abfallverwertungsanlage eine zusätzliche Komponente, die sowohl ökonomisch als auch ökologisch mit dem Erlös der erneuerbaren Energie amortisiert werden muss.

Beispielsweise bei der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung ersetzt die Biogasanlage inklusive der ganzen Infrastruktur für die Gasspeicherung und -verwertung keine andere Komponente: die Gülle würde sonst von der Vorgrube einfach konventionell direkt in den Lagertank und von dort aufs Feld geleitet. Hier wird es aus Sicht der Ökobilanz schon deutlich enger (Edelmann et al., 2001): Wie Abbildung 4 zeigt, wird bei der landwirtschaftlichen (Co-)Vergärung (blaue Balken) der Grenzwert für Ökostrom nicht mehr unterschritten, da u.a. wegen höherem pH-Wert und grösseren Ammoniumkonzentrationen viel mehr Ammoniak in die Atmosphäre entweicht als bei unbehandelter Gülle. Erst wenn das Gülle-Management zusätzlich mit Schleppschlauchverfahren und Abdeckung des Lagertanks verbessert wird, kann der Grenzwert klar unterschritten werden (Covergärung, optimiert).

Fall 3

Im Fall 3 ist kein Abfall vorhanden; die Biomasse muss durch den Anbau von «nachwachsenden Rohstoffen» (Nawaro's) zuerst gewonnen werden, bevor sie verwertet werden kann. Dies bringt viel Zusatzemissionen und den Einsatz von nicht erneuerbarer Energie für den Anbau, die Ernte und die Aufbereitung der Pflanzen (Dünger, Pestizide, Treibstoff für Maschinen, Infrastruktur usw.) (Carbotech, 1997, Real, 1999). Bei ganzheitlicher Betrachtung stellt man fest, dass netto nur wenig Energie gewonnen werden kann: Wenn beispielsweise aus Weizen Ethanol hergestellt wird, beträgt der energetische Erntefaktor nur 2,5 bis 1,5, d.h., dass im Alkohol zwischen 40 und 67 Prozent nicht erneuerbare Energie steckt – mit den entsprechenden Emissionen an die Umwelt (Senn und Luca, 2003)! Aus Umweltsicht

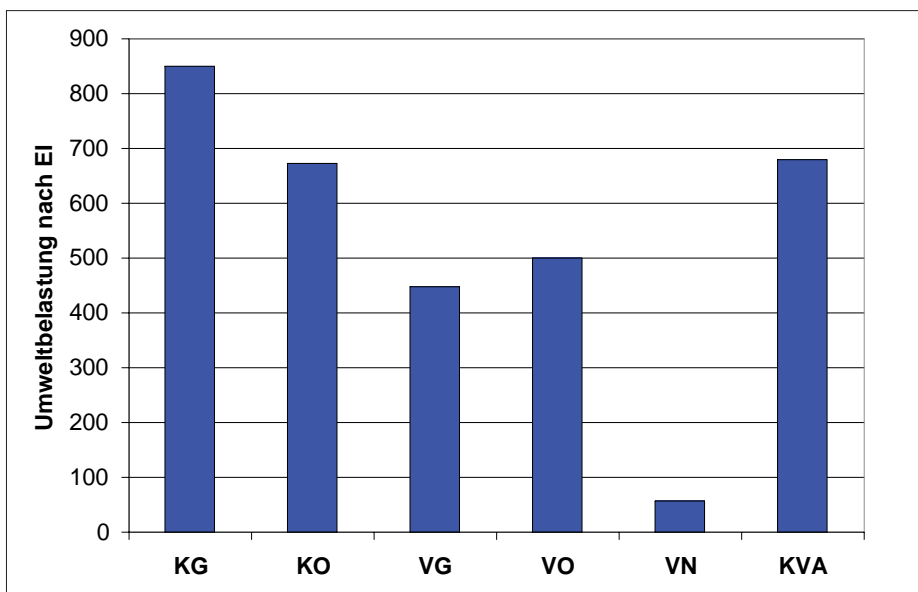


Abb. 3: ökologischer Vergleich nach Ecoindicator99+ von verschiedenen Verwertungswegen für 10 000 Jahrestonnen biogene Abfälle. KG: Geschlossene Kompostierung, KO: Offene Kompostierung, VG: Kombination von Vergärung (40%) und geschlossener Kompostierung (60%), VO: Kombination von Vergärung (60%) und offener Kompostierung (40%), VN: Vergärung 100% mit anschliessender Nachrotte. (Detailliertere Angaben siehe www.arbi.ch/oekobila.htm)

fällt der Verlust an Landressourcen für den Anbau von Nahrung negativ in Betracht – daraus folgend: notwendige Intensivierung des Anbaus mit Folgeschäden wie Bodenverdichtung, erhöhter Humusverlust, Belastung mit halogenierten Kohlenwasserstoffen (Pestizide), Monokulturen mit Verlust der Artenvielfalt und Auswaschung von Nährstoffen ins Grundwasser. Die Luft wird zusätzlich mit Lachgas, Ammoniak und Methan belastet, und der Wasserverbrauch steigt in Folge von intensiverem Anbau. Beim Treibhauseffekt sind kaum Einsparungen zu verzeichnen (Einsatz von Treibstoffen, Lachgas, Methan usw.).

Bei den Nawaro's stellt sich zudem ein ethisches Problem: Nahrungsmittel wie Weizen, Mais oder Rapsöl werden in Treibstoffe umgewandelt, und gleichzeitig wird der grössere Teil der Pflanzen aus dem Ausland importiert, in dem in Anbaubereichen unter Umständen Hunger herrscht.

Es würde nach heutigem Wissensstand an ein absolutes Wunder grenzen, wenn bei Nawaro's der Grenzwert zur Produktion von Ökostrom auch nur annäherungsweise eingehalten werden könnte (entsprechende Bilanzen nach vergleichbarer Methode fehlen zurzeit noch). Am ehesten sind aus Sicht der Umwelt noch einigermaßen vertretbare Lösungen denkbar, wenn ganzheitliche Konzepte realisiert werden: z.B. Anbau einer Weizenart, die einigermaßen hohen (nicht maximalen!) Stärkeertrag bei kleiner Stickstoffdüngung erreicht (Rosenberger A., 2001); Vergärung der Alkohol-Schlempe zur Rückführung von Stickstoff auf das Feld bei gleichzeitiger Gewinnung

von Prozessenergie; Zwischensaat von Leguminosen zur natürlichen Supplementierung des Bodens mit Stickstoff (Verhindern der umweltschädlichen Haber-Bosch-Synthese von Ammoniak) sowie Verbrennen des Stroh zur energetischen Nutzung. In diesem Fall dürfte der energetische Erntefaktor spürbar über 2,5 liegen.

Fazit

Bei der Energieversorgung wird es wahrscheinlich viel schneller als uns lieb ist zu ganz einschneidenden Veränderungen kommen: Bei heutigem Niveau wird etwa jährlich 1 Prozent der globalen Erdölreserven verbrannt. Wenn man davon ausgeht, dass der Erdölvorrat während der letzten Milliarde Jahre der Erdgeschichte (während welcher mehrzellige Organismen sich entwickeln konnten) aufgebaut wurde, werden pro Jahr Reserven verbrannt, die natürlich in etwa 10 Millionen Jahren aufgebaut worden sind. Es ist eine absolute Illusion zu glauben, dass – auch wenn die Nutzung der Bioenergie optimal betrieben wird – die heutige Erdölverschwendung auch nur annäherungsweise nachhaltig kompensiert werden könnte. Die Energie wird in Zukunft überdurchschnittlich teurer werden, was arbeitsintensivere Prozesse bevorzugen und viele heute praktizierte Methoden verunmöglichen wird.

Bevor in naher Zukunft daran gedacht werden darf, Biomasse als Energiequelle anzubauen, muss sich die Gesellschaft auf eine deutlich vegetarischere Lebensweise einstellen: Momentan wird über 50 Prozent der pflanzlichen Nahrung impor-

Quellenverzeichnis:

- ▶ arbi (2005): Der energetische Erntefaktor einer Kompogasanlage, www.arbi.ch/seite11.htm
- ▶ Bundesamt für Landwirtschaft (2004): Agrarbericht 2004, Anhang, Tab. 14.
- ▶ Carbotech (1997): Beurteilung nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz in den Jahren 1993–1996, Bundesamt für Landwirtschaft, 3003 Bern (230 Seiten und Anhang).
- ▶ Edelmann W., Engeli H., Gradenecker M., Kull T., Ulrich P. (1993): Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung bei der Kompostierung, Schriftenreihe Forschungsprogramm Biomasse, BEW, CH-3003 Bern (41 Seiten)
- ▶ Edelmann W., Schleiss K. (1999): Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung biogener Abfallstoffe, Studie i.A. BFE und Buwal, Schriftenreihe BFE, Bern (120 Seiten) (Kurzfassung: www.arbi.ch/oekobila.htm)
- ▶ Edelmann W., Schleiss K., Engeli H., Baier U. (2001): Ökobilanz der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas, Programm Biomasse, BFE, 3003 Bern (Abstract: www.arbi.ch/oekobila1.htm)
- ▶ Real M. (1999): Biotreibstoffe, Tagungsband GDI, 22.6.99, BFE Bern.
- ▶ Rosenberger A. (2001): Optimierung und Bewertung der Produktion von Getreidekorngut für die Bioethanolherzeugung, Diss. Uni Hohenheim, Inst. Pflanzenbau und Grünland.
- ▶ Senn T., Luca S. (2003): Studie zur Bioethanolgewinnung aus Getreide mit einer Jahres-Produktionskapazität von 2,5 und 9 Mio. Litern. Universität Hohenheim und VLSF Berlin, (48 p.)

tiert (2002: Selbstversorgungsgrad nur 45%! [Bundesamt für Landwirtschaft, 2004]). Wenn das billige Öl für den Transport fehlt, wird es eng! Erst wenn Anbauflächen zur Verfügung stehen, die derzeit für den Anbau von Futter für Mastrinder, Geflügel und Schweine eingesetzt werden, und sich die Gesellschaft auf diese Weise selbst ausreichend mit Nahrung versorgen kann, darf daran gedacht werden, Energiepflanzen anzubauen. Biogene Energieträger (wie Alkohol oder RME) können dann allenfalls (per Segelschiff...) aus Ländern mit einer weniger hohen Bevölkerungsdichte importiert werden. Die Energie wird dann definitiv zu kostbar sein, um Energiepflanzen (und damit auch viel unnützes Wasser) zu importieren und diese hier zu verwerten. Erste Priorität hat kurzfristig die möglichst vollständige Erfassung der Abfallbiomasse und speziell auch die organisch belasteten Abwässer, um diese möglichst einfach mit ganzheitlichen, nachhaltigen Konzepten energetisch zu nutzen. ●

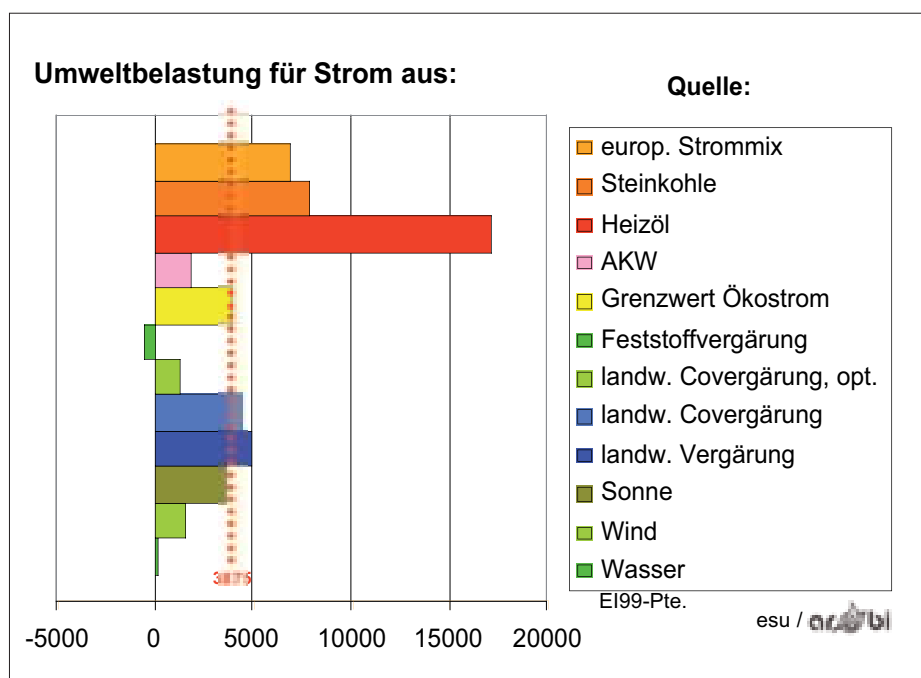


Abb. 4: Vergleich der Umweltbelastungen von verschiedenen Energieträgern (AKW ohne Abfallversorgung, da noch keine Lösung bekannt ist, sowie ohne Störfall) (Methode: Ecoindicator).