

**Zwischen Tradition und Globalisierung  
Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung  
Ökologischer Landbau  
Band 1**

**Universität Hohenheim,  
20.-23. März 2007**

Hrsg.: S. Zikeli, W. Claupein, S. Dabbert, B. Kaufmann, T. Müller und A. Valle  
Zárate

**INHALTSVERZEICHNIS**

**Teil: Bioenergie**

|   | Bioenergie/ Vorträge |
|---|----------------------|
| <b>The role of engineering in organic farming – case energy crops</b><br>W. Schäfer.....  | 405                  |
| <b>Dezentrale Pflanzenölerzeugung und -nutzung auch in ökologischen Betrieben?</b><br>H. M. Paulsen, O. Schädlich und R. Oppermann.....   | 409                  |
| <b>Einfluss der Düngung mit Gärrückständen aus der Biogaserzeugung auf den Ertrag von Silomais und auf die bodenmikrobielle Aktivität</b><br>T. Kautz und R. Rauber.....                    | 413                  |
| <b>Innovatives Nutzungsverfahren zur energetischen Verwertung von Biomassen aus naturschutzfachlich bedeutsamen Landschaften</b><br>R. Graß, J. Reulein, K. Scheffer und M. Wachendorf..... | 417                  |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Bioenergie versus Ökolandbau: Flächenkonkurrenz als Entwicklungshemmnis?</b><br>S. Simon, M. Demmeler und A. Heißenhuber.....                    | 421 |
| <b>Nachhaltige Fruchtfolgesysteme für den biologischen Energiepflanzenanbau in Österreich</b><br>R. Hrbek, B. Freyer, T. Amon und J.K. Friedel..... | 425 |
| <b>Auswirkungen der Einbindung einer Biogasanlage in ein ökologisches Betriebssystem</b><br>S. Helbig, R. Grass und K.-J. Hülsbergen.....           | 429 |
| <b>Strukturen landwirtschaftlicher Biogasproduktion im ökologischen Landbau in Deutschland</b><br>V. Anspach und D. Möller.....                     | 433 |

### The role of engineering in organic farming – case energy crops

W. Schäfer<sup>1</sup>

**Keywords:** Nature protection and environmental compatibility, agricultural policy, crop farming, agricultural engineering, renewable energy

**Abstract:**

*Energy self-reliance and a closed nutrient cycle are basic principles of organic farming ever since. Engineering sciences methods in energy accounting may support efforts to introduce these principles into praxis. A method to calculate efficiency of energy crop production including sun energy, direct and indirect energy for cultivation, processing, and conversion into fuel is demonstrated using rape and derived fuels as an example. Every production and conversion step is a process and calculated separately. The overall efficiency includes energy input and output of all processes. The process efficiency of rape cultivation reaches in Finland up to 1100%. However, the overall energy efficiency of rape methyl ester (RME) is 1 to 2 ‰ only. The production of biogas from manure of dairy fed by rape meal results in a process energy efficiency of 33 to 41%, but the overall energy efficiency of RME and biogas together is only 1.2 to 2.5 ‰. In contrast, thermal or photovoltaic solar collectors improve overall efficiency 1 to 3 orders of magnitude compared to fuel production from rape, because the process efficiency of photosynthesis attains about 0.6% whereas solar collector's efficiency reaches about 90%. However, for the time being solar energy based techniques are more expensive than the use of fossil energy sources since environmental benefits in terms of GHG mitigation, reduction of nutrient run off and use of renewable energy do not create cash income in both organic and main stream production. This and the low photosynthesis efficiency in Finland encourage bio-refinery enterprises to purchase energy crop produce for fuel production from the tropics. Mineral fertilisers as well as genetic modification increase the technical efficiency of photosynthesis. Thus, environmental pollution of mainstream agriculture is exported to developing countries in the tropics.*

**Introduction and Objectives:**

Engineering sciences lead a shadowy existence within organic farming research. However, agricultural machinery and buildings cause up to 40% of production cost in organic farming too. The high cost of technical input forces to specialisation of farm production, narrow crop rotations, and dependency from fossil fuels and run contrary to organic farming principles. In short, the entropy of organic farming systems increases. However, a physical and technological approach and engineering proficiency may contribute to the aims of organic farming also in respect of energy crop issues. The crop scientist focuses his research on high quantity and quality of yield based on a sustainable tilth. The engineer is interested in maximisation of the process efficiency. He interprets the crop scientist's approach as maximisation of photosynthesis efficiency. Objective of this paper is to support the assessment of energy crop production in organic farming applying engineering sciences methods in energy accounting.

---

<sup>1</sup>Animal Production Research, MTT Agrifood Research Finland, FI-03400 Vihti, Vakolantie 55, Finland, Winfried.Schafer@mtt.fi

**Methods:**

The engineer quantifies the sustainability of energy crop production by means of the overall efficiency  $\eta_o$  that is the energy output divided by the energy input of all processes involved:

$$\eta_o = \left( \sum_{i=1}^n (A_i \cdot S_i \cdot \eta_i) \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n [A_i \cdot (S_i + P_i + K_i)] \right)^{-1}$$

A denotes the area, S the solar energy, P the energy input of crop cultivation, K the energy input of fuel conversion,  $\eta_i$  the technical efficiency of photosynthesis and i the member of crop rotation. The crop scientist concerns for  $\eta_i$  and to some extent for P while K and P is of engineers and partially animal production scientist's interest. Please note that the solar-radiation intensity is limited like the cultivating area too. The equation is applicable for farm level, national level, and worldwide. However, it does not take into consideration the energy saving potential of crop fibre for heat insulation. The calculation of the process energy efficiency includes the process energy input and the free energy (exergy) before and after processing. The engineer considers photosynthesis, cultivation, and conversion each as process. The process efficiency of burning biomass for heat production depends only on incinerator efficiency and on energy input for transport of biomass and ash. Additional treatment like pelleting, extraction of oil, anaerobic digestion, ethanol fermentation etc. raises the energy input considerably. The production of ethanol from corn renders always a negative energy balance due to the thermodynamic laws (PATZEK 2004). Crop processing generates usually different products. Some are suitable for energy production others for fibre production, human nutrition or animal feed. This fact causes a methodical problem, called allocation. The process energy for rape crop production may be allocated to seed, straw and roots. The process energy input for extraction, refining, and esterification of rapeseed oil has to be split between rape methyl ester (RME), meal, and glycerine, the by-product of esterification of rape oil. Depending on the allocation method, the process energy balance may diverge in a wide range.

**Results and Discussion:**

Tab. 1 shows a chain of processes of rape production and processing, their efficiencies and the resulting cumulated overall efficiency. The results show that the high process energy efficiency of the rapeseed cultivation fosters common acceptance of rape as energy crop. Even under Finnish climate conditions, exergy of rape crop exceeds up to 11-times the energy input for production and exergy of seed up to 3.7-times. Conversion of rapeseed into fuel decreases the energy surplus. Rape methyl ester (RME) delivers still 1.2-fold the energy input for cultivation and conversion. The whole rape crop (root, straw, seed) contains 3 to 6 ‰ of the overall energy input, RME 1 to 2 ‰ only. Animal production converts rape meal feed into manure, which is suitable for anaerobic digestion together with glycerine. The biogas augments the overall efficiency additionally 0.2 to 0.5 ‰. Rape cultivation requires a 4 to 7-year crop rotation. This and the low overall efficiency make it difficult for an organic farm in Finland to achieve energy self-sufficiency replacing diesel fuel by RME.

The technical efficiency of the photosynthesis limits the maximum energy yield and reaches up to 5% of the sun energy input in the tropics and up to 0.8% in Finland (LAMPINEN et al. 2006). For rape, the efficiency is 3.3 to 6.3 ‰ only. Mainstream production renders better photosynthesis efficiencies on expense of lower cultivation efficiencies. Because of photosynthesis' low efficiency, even a double biomass yield improves the overall efficiency only marginally. Vice versa, 20 to 56% lower energy

input in organic crop production (MÄDER et al. 2002) increases only marginally the overall efficiency.

By comparison, the efficiency of a photovoltaic collector is 165 to 248-fold better than power production by burning biomass or biogas produced from rapeseed and rape straw. The efficiency of the thermal collector exceeds heat production from burning the rape crop 157 to 443-fold. However, storage and continuous production of power and heat from sun energy is very limited. For that reason, the storage of sun energy in liquid carbon hydrates is subject of present research. Future biotechnology produces hydrogen and liquid carbon hydrates from CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O powered by sun energy (CENTI et al. 2006).

Tab. 1: Energy input, energy output, process efficiency and overall efficiency of rape production and rape processing in Finland.

| Process                 | Input<br>kWh m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> |                                  | Output<br>kWh m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>                  |   | Process-<br>efficiency<br>%   | Overall<br>efficiency<br>%  |
|-------------------------|--|----------------------------------|--|---|---|---|
| crop cultivation        | direct and indirect energy <sup>a)</sup>     | 0.3 - 0.8                        | root straw seed <sup>b)</sup>                                  | 3.3 - 6.3                                 | 262 - 366<br>262 - 366<br>262 - 366   | 787 - 1100  |
| photo-synthesis         | sun light                                    | 1000                             | root straw seed <sup>b)</sup>                                  | 1.1 - 2.1<br>1.1 - 2.1<br>1.1 - 2.1       | 0.11 - 0.21<br>0.11 - 0.21<br>0.11 - 0.21   | 0.33 - 0.63   |
| incineration            | straw seed                                   | 2.2 - 4.2                        | calorific heat   | 1.76 - 3.78                               | 80 - 90   | 0.18 - 0.38   |
| oil and meal production | seed energy                                  | 1.1 - 2.1<br>0.1                 | oil, meal total  | 0.64 - 1.21<br>0.46 - 0.89<br>1.1 - 2.1   | 52.9 - 55.1 <sup>c)</sup><br>38.7 - 40.3 <sup>d)</sup><br>91.7 - 95.5 <sup>e)</sup> | 0.06 - 0.12 <sup>d)</sup><br>0.05 - 0.09 <sup>d)</sup><br>0.11 - 0.21 <sup>e)</sup> |
| bio-refinery            | seed energy <sup>f)</sup>                    | 1.1 - 2.1<br>0.1 - 0.2           | RME meal   | 0.64 - 1.21<br>0.46 - 0.89                | 84.6 - 95.5 <sup>e)</sup>   | 0.11 - 0.21 <sup>e)</sup>   |
| milk production         | meal direct and indirect energy              | 0.46 - 0.89<br>0.2 <sup>g)</sup> | milk <sup>h)</sup><br>manure<br>heat, CH <sub>4</sub><br>total | 0.09 - 0.18<br>0.16 - 0.31<br>0.21 - 0.40 | 14.1 - 16.5<br>17.1 - 19.1<br>22.6 - 25.2<br>53.9 - 60.7                            | 0.01 - 0.02<br>0.02 - 0.03<br>0.02 - 0.04<br>0.05 - 0.09                            |
| anaerobic digestion     | manure heat and power                        | 0.16 - 0.31<br>0.03 - 0.15       | biogas <sup>i)</sup><br>effluent <sup>j)</sup>                 | 0.08 - 0.15<br>0.08 - 0.15                | 33.3 - 41.7<br>33.3 - 41.7  | 0.01 - 0.02<br>0.01 - 0.02  |
| power production        | biogas                                       | 0.08 - 0.15                      | power heat   | 0.03 - 0.05<br>0.05 - 0.10                | 33.3<br>66.7  | <0.01<br><0.01  |
| thermal collector       | sun energy manufacture                       | 1000<br>2.3 <sup>j)</sup>        | heat   | 600 - 800                                 | 60 - 80   | 59.9 - 79.8   |
| photovoltaic collector  | sun energy manufacture                       | 1000<br>6 - 11 <sup>k)</sup>     | power  | 100 - 150                                 | 10 - 15   | 9.9 - 14.9  |

<sup>a)</sup>Direct and indirect energy input of Finnish agriculture is 0.83 kWh m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, of which 0.34 kWh m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> fossil fuels, of which 0.07 to 0.14 kWh m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> diesel/RME (LAMPINEN et al. 2006, NYHOLM et al. 2005, ELSAYED et al. 2003, BUGGE 2000, SCHÄFER et al. 1986). <sup>b)</sup>Seed yield 160 to 310 g m<sup>-2</sup>; allocation of energy output: 1/3 seed, straw, and root respectively. <sup>c)</sup>In respect of oil. <sup>d)</sup>In respect of meal. <sup>e)</sup>In respect of oil/RME and meal. <sup>f)</sup>Oil extraction 416 Wh kg<sup>-1</sup> seed; esterification 476 Wh kg<sup>-1</sup> seed (CAMPA®- BIODIESEL GMBH & CO. KG 2006, <http://www.campa-biodiesel.de/cadeunof/cadnumw3.htm>). <sup>g)</sup>Estimated. <sup>h)</sup>Allocation: milk 20.2%; manure 34.4%; heat 40.4%; methane 5% (HORN et al. 1994). <sup>i)</sup>Allocation: 50% each. <sup>j)</sup>Mass 15 kg m<sup>-2</sup>; estimated energy input for production 3.9 kWh kg<sup>-1</sup>; depreciation 25 years. <sup>k)</sup>KNAPP et al. 2000.

Farmers own 6.6 million ha land or 19% of Finland's area. A mean photosynthesis efficiency of 5‰ results in 472 GWh a<sup>-1</sup> bio-energy potential (LAMPINEN et al. 2006). Present thermal solar technique operating at 50% overall efficiency occupies only 0.6% of this area to cover the present fossil energy consumption in Finland of 292 GWh a<sup>-1</sup>.

**Conclusion:**

Energy crop production is captivating with many win-win situations: environmentally neutral bio-fuels replace polluting fossil fuels, farmers get better prices for energy crops, the agrochemical industry gains from intensification of energy crop production, and turn over of power industry grows due to increasing energy consumption to produce agrochemicals and to process biomass into fuel. As a following, the state tax income improves too. However, better prices for mainstream energy crops may trigger export of environmental pollution at the expense of food production because higher overall efficiency in tropical countries favours the import of organic raw material for bio fuel production. Yet, high process efficiencies of technical processes to convert biomass into fuel justify the production of renewable energy from organic waste and residues. Thus, both organic and mainstream agriculture should not focus on energy crop production but produce high quality food environment-friendly. The overall efficiency of energy production from energy crops will never be competitive with solar techniques. Solar collectors replace fossil fuels for heat production outside agriculture already now sustainable and more efficient. Research on solar-technical processes to produce liquid carbon hydrates from methane, carbon dioxide and water powered by solar energy without diversion into photosynthesis offers much a greater potential than research on energy crop production.

**References:**

- Bugge J. (2000): Note: Rapeseed oil for transport 1: energy balance and CO<sub>2</sub> balance. The Danish Energy Agency's Model for Economic And Environmental Assessment Of Biofuels, DK-7760 Hurup Thy, [http://www.folkecenter.dk/plant-oil/publications/organic\\_rape\\_cultivation.htm](http://www.folkecenter.dk/plant-oil/publications/organic_rape_cultivation.htm) (accessed 2007-01-12).
- Centi G., Perathoner S. (2006): Converting CO<sub>2</sub> to fuel: A dream or a challenge? The 232<sup>nd</sup> ACS National Meeting, San Francisco, CA, September 10-14, 2006, <http://oasys2.confex.com/acs/232nm/techprogram/P990579.HTM> (accessed 2007-01-12).
- Elsayed M., Matthews R., Mortimer N. (2003): Carbon and energy balances for a range of biofuels options. Project report number B/B6/00784/REP, Department of Trade and Industry Sustainable Energy Programme URN, 03/836, Resources Research Unit, Sheffield Hallam University, United Kingdom. Final Report for the Energy Technology Support Unit. Report No. 21/3, p. 27.
- van Horn H., Wilkie A., Powers W., Nordstedt R. (1994): Components of dairy manure management systems. *J Dairy Sci* 77: 2008-2030.
- Knapp E., Jester T. (2000): An empirical perspective on the energy payback time for photovoltaic modules. American Solar Energy Society, Solar 2000 Conference, Madison, Wisconsin June 16-21, 2000, <http://www.ecotopia.com/apollo2/knapp/pvepbtpaper.pdf> (accessed 2007-01-12).
- Lampinen A., Jokinen E. (2006): Suomen maatilojen energiatuotantopotentiaalit. University of Jyväskylä, Department of Biological and Environmental Science. Research reports in biological and environmental sciences 84, p. 160.
- Mäder P., Fließbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P., Niggli U. (2002): Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296: 1694-1697.
- Nyholm A., Risku-Norja H., Kapuinen P. (2005): Maaseudun uusiutuvien energiamuotojen kartoitus. MTT:n selvityksiä 89, p. 35.
- Patzek T. (2004): Thermodynamics of the corn-ethanol biofuel cycle. *Critical Reviews in Plant Sciences* 23: 519-567.
- Schäfer W., Luomi V., Palva T., Parmala S., Ahokas J. (1986): Kasviöljyt dieselmootorin polttoaineena. VAKOLAn tutkimuslous 42: 1-37.

## Dezentrale Pflanzenölerzeugung und –nutzung auch in ökologischen Betrieben?

### Is Local Vegetable Oil Production and Use on Organic Farms Suitable?

H. M. Paulsen<sup>1</sup>, O. Schädlich und R. Oppermann

**Keywords:** regional economics, crop farming, agricultural engineering, ecobalance

**Schlagwörter:** Regionalwirtschaft, Pflanzenbau, Landtechnik, Ökobilanz

#### Abstract:

*Local oil mills, processing organic oilseeds solely, suffer competitive disadvantages by lower workloads due to low organic yields. Organic rapeseed oil as substitute for diesel fuel is not economically justifiable due to its high production costs and opportunity costs in the food market. Only organic sunflower oil or oil of false flax (*Camelina sativa*) grown in mixed cropping systems have production costs comparable to conventional rapeseed oil. An ecobalance showed that false flax oil from mixed cropping systems as substitute for diesel has clear ecological advantages compared to oil from single cropped oilseeds. But the use of false flax as fuel in engines is still not proofed in science and technology.*

#### Hintergrund:

Das Interesse landwirtschaftlicher Betriebe an einer eigenen Erzeugung und Nutzung von Pflanzenöl als Biokraftstoff ist überwiegend betriebswirtschaftlich und maßgeblich durch die hohen Dieselpreise bedingt. Ökologisch wirtschaftende Betriebe fragen neben dem Einsparungspotential beim Treibstoff nach Möglichkeiten ökologisches Pflanzenöl in eigenen Ölpresen zu produzieren und nach den Ökobilanzen des Verfahrens (SCHÄDLICH et al. 2006, PAULSEN & SCHÄDLICH 2005).

In diesem Beitrag sollen grundlegende Erkenntnisse und Diskussionsbeiträge verschiedener Veröffentlichungen und Tagungen der letzten Jahre zur Nutzung und Erzeugung von Pflanzenöl aus kleineren Ölmühlen, die Ölfrüchte aus einem näherem räumlichen Umfeld verarbeiten (dezentrale Ölmühlen) dargestellt werden. Dabei sollen Diskussionsbeiträge, Schlussfolgerungen und Erkenntnisse, die speziell für die Verarbeitung und Nutzung ökologisch erzeugter Ölfrüchte bzw. Öle von Bedeutung sind, im Vordergrund stehen.

Nach STOTZ & REMMELE (2005) werden heute 80% des gesamten konventionell und ökologisch erzeugten und in dezentralen Ölmühlen Deutschlands produzierten Pflanzenöls als Grundstoff für die Biodieselherstellung oder als Pflanzenölkraftstoff verwendet. Überwiegend wird konventioneller Raps verarbeitet. Nur 1% des Öls wird im Speisemarkt und 14% im Futtermarkt abgesetzt. Nur 9% der Betreiber verwenden das Öl komplett im eigenen Betrieb. Über 50% der Ölmühlen vermarkten das erzeugte Öl ausschließlich. Pflanzenölmühlen sind damit marktorientierte Unternehmen. Der anfallende Presskuchen wird in höherem Maße selbst in der Fütterung eingesetzt. 47% der Betriebe verwerten den Presskuchen komplett selbst, 22% zu über 50%.

Bei Ölpresen mit Leistungen zwischen 300 und 500 kg/h liegen die niedrigsten Presskosten vor. Bei einer jährlichen Auslastung von 6000 Stunden werden bei dieser Größenordnung zwischen 1800 und 3000 t Ölsaaten verarbeitet.

---

<sup>1</sup>Institut für ökologischen Landbau, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Trenthorst 32, 23847 Westerau, Deutschland, hans.paulsen@fal.de

Biologische Betriebe erzeugen je nach angebaute Kulturart und Anbauform jedoch nur zwischen 0,3 und 3 t Ölsaaten pro Hektar (PAULSEN 2003, REINBRECHT & CLAUPEIN 2004, Tab. 1).

Tab. 1: Ertragsniveau und Ölgehalt von Ölfrüchten im ökologischen Landbau.

| Ölfrucht                    | [dt ha <sup>-1</sup> ] | [%] |
|-----------------------------|------------------------|-----|
| Sonnenblumen                | 20-30                  | 45  |
| Winterraps                  | 10-25                  | 40  |
| Saflor                      | 10-20                  | 25  |
| Leindotter                  | 10-20                  | 40  |
| Leindotter-Mischfruchtanbau | 3-10                   | 40  |
| Soja                        | 10-15                  | 25  |
| Öllein                      | 10-15                  | 40  |

Eine Beschickung von Ölmühlen der oben genannten Größenordnungen mit ausschließlich öko-logisch erzeugten Ölen würde eine Anbaufläche von mindestens 900 ha voraussetzen. Eine Auslastung einer solchen Ölmühle mit Öko-Ölsaaten erscheint daher für die überwiegende Zahl der Standorte

sehr fraglich. Es müssten auch konventionelle Ölsaaten verarbeitet werden. Wöchentlich würden von Ölmühlen dieser Größenordnung zwischen 10 t und 17 t Pflanzenöl und zwischen 24 t und 40 t Presskuchen erzeugt. Eine Sicherung der Nachfrage für die erzeugten Produkte ist unbedingt erforderlich.

Kleinere Anlagen haben deutlich höhere Kosten pro kg Öl, die allenfalls bei einer hochpreisigen Pflanzenölvermarktung z. B. im Öko-Speisesektor oder bei sehr niedrigen Investitionskosten wirtschaftlich erscheinen. Insbesondere bei der Kraftstoffproduktion sind niedrige Produktionskosten entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit. Für dezentrale Ölmühlen sind die heute aufgrund des Biodieselbooms steigenden Rohstoffpreise kritisch. Denn die Rohstoffkosten machen bereits bei konventionell erzeugten Ölsaaten etwa 80% der Betriebskosten einer Ölmühle aus. Der Bereich der ökologischen Ölerzeugung arbeitet jedoch schon länger mit hohen Rohstoffpreisen. Ökologisch erzeugter Raps-, Sonnenblumen-, Lein- und Sojakuchen kann komplett in den Futtermittelmarkt abgesetzt werden. Ökologisch erzeugte Speiseöle sind ebenfalls gefragt. Fraglich ist, ob die erforderlichen ökologisch erzeugten Saatmengen eingekauft bzw. erzeugt werden können. Soll ökologisches Pflanzenöl als Treibstoff genutzt werden, müssten die Produktionskosten deutlich verringert werden, um eine Alternative zu konventionellem Pflanzenöl oder zu Dieselmotortreibstoff darzustellen.

#### Erzeugungskosten von ökologisch erzeugtem Pflanzenöl:

Im Vergleich zur konventionellen Raps-erzeugung sind die Produktionskosten für ökologisches Rapsöl fast doppelt so hoch (Tab. 2). Bei günstigen Produktionsbedingungen könnte ökologisches Sonnenblumenöl mit ähnlichen Produktionskosten wie konventioneller Raps angeboten werden. Aber auch Leindotteröl aus dem Mischfruchtanbau würde bei gutem Ertragsniveau von der Produktionskostenseite her eine echte Alternative zum Rapsöl auf dem Treibstoffmarkt darstellen.

Für Leindotteröl gibt es jedoch zurzeit keine abgesicherten Einsatzszenarien für die direkte Treibstoffnutzung oder Biodieselproduktion. Darüber hinaus ist die Nutzung von Leindotter (Öl, Saat, Presskuchen) als Futtermittel verboten (WEISSMANN et al. 2006, PAULSEN et al. 2005). Leindotterprodukte können daher heute nur in begrenztem Maße in Nischenmärkten für die menschliche Ernährung abgesetzt werden.



Tab. 2: Produktionskosten und Deckungsbeiträge der Erzeugung von Ölsaaten in ökologischen Rein- und Mischanbausystemen im Vergleich zu konventioneller Rapsproduktion.

|                                     |                          | Reinsaaten      |                 |                   |            | Mischfrucht-<br>anbau |                  |
|-------------------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------|-----------------------|------------------|
|                                     |                          | Konvent.        | Ökologisch      |                   |            | Ökologisch            |                  |
|                                     |                          | Winter-<br>raps | Winter-<br>raps | Sonnen-<br>blumen | Erbse      | Erbse<br>x            | Lein-<br>dotter* |
| Ertrag                              | dt ha <sup>-1</sup>      | 45              | 15              | 25                | 32         | 32                    | 4-8              |
| Bruttopreis                         | € dt <sup>-1</sup>       | 21              | 49              | 35                | 25         | 25                    | 25               |
| <b>Marktleistung</b>                | <b>€ ha<sup>-1</sup></b> | <b>957</b>      | <b>736</b>      | <b>875</b>        | <b>800</b> | <b>800</b>            | <b>100-200</b>   |
| Saatgutkosten                       | € ha <sup>-1</sup>       | 65              | 125             | 100               | 180        | 180                   | 40               |
| Pflanzenschutz                      | € ha <sup>-1</sup>       | 142             | 0               | 0                 | 0          | 0                     | 0                |
| Maschinenkosten                     | € ha <sup>-1</sup>       | 122             | 122             | 235               | 100        | 90                    | 20               |
| Masch.ring/Ernte                    | € ha <sup>-1</sup>       | 123             | 123             | 95                | 123        | 123                   | 0                |
| Düngung                             | € ha <sup>-1</sup>       | 217             | 24              | 50                | 85         | 85                    | 0                |
| Hagelversicherung                   | € ha <sup>-1</sup>       | 57              | 44              | 25                | 60         | 60                    | 0                |
| Trocknung                           | € ha <sup>-1</sup>       | 15              | 5               | 0                 | 12         | 6                     | 0                |
| Aufbereitung                        | € ha <sup>-1</sup>       | 30              | 10              | 0                 | 24         | 24                    | 16               |
| Summe var. Kosten                   | € ha <sup>-1</sup>       | 771             | 453             | 505               | 584        | 568                   | 76               |
| Deckungsbeitrag                     | € ha <sup>-1</sup>       | 186             | 283             | 370               | 216        | 232                   | 24-124           |
| <b>Variable Spezial-<br/>kosten</b> | <b>€ dt<sup>-1</sup></b> | <b>17,1</b>     | <b>30,2</b>     | <b>20,2</b>       |            |                       | <b>19-9,5</b>    |

Produktionskosten nach Vorgaben der LFL Freising und eigenen Erhebungen  
 \*=Nischenmarkt, nicht alle können Leindotter absetzen

**Ökobilanz der Pflanzenölproduktion zur Nutzung als Treibstoff:**

Die Verwendung von Pflanzenöl als Kraftstoff spart Primärenergie ein und führt nach Berechnungen von SERGIS-CHRISTIAN und BROWERS (2005) zu geringeren Treibhausgasemissionen als Dieselkraftstoff (Abb. 1).

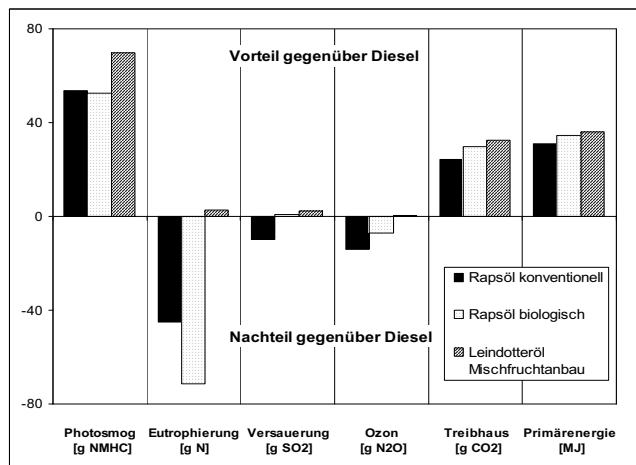


Abb. 1: Ökologischer Vergleich von Dieselkraftstoff mit dezentral hergestellten, kaltgepressten Pflanzenölen (nach: SERGIS-CHRISTIAN & BROWERS 2005).

Bei der Flächenbewirtschaftung für die Erzeugung regenerativer Energien entstehen jedoch landwirtschaftstypische Emissionen (Versauerung, Nährstoffeintrag, Lachgasemissionen), die bei der Produktion von Dieselmotorkraftstoff nicht auftreten. Dies wird in Ökobilanzen dem Pflanzenölen negativ angerechnet, würde aber bei der Nahrungsmittelproduktion auf diesen Flächen ebenfalls auftreten. Die Nutzung von Rapsöltreibstoff aus ökologischer Erzeugung führt aufgrund des geringen Ertragsniveaus zu höheren N-Überschüssen pro Liter Dieseläquivalent (Abb. 1) als die Nutzung konventionellen Rapsöls. Auf die Flächenemission bezogen gilt dies jedoch nicht. Dies wird daran deutlich, dass das Potential zur Versauerung und zur Ozonerstörung beim ökologischen Rapsanbau aufgrund des geringeren Düngemittleinsatzes geringer ist. Im Vergleich zu konventioneller und ökologischer Rapsproduktion wäre die Nutzung von Öl aus Mischfruchtanbau mit Leindotter als ökologisch optimale Variante zu beurteilen. Hier treten keine zusätzlichen Emissionen durch die Flächenbewirtschaftung auf, da das Öl als Produkt einer Zweitfrucht anfällt. Sie können dem Hauptfruchtanbau dann allein angelastet werden, wenn keine Ertragsminderungen durch den Mischfruchtanbau auftreten. So tritt z. B. kein zusätzlicher Treibstoffverbrauch für die Aussaat der Mischkultur auf, wenn dies in einem Arbeitsgang mit der anderen Kultur geschieht. Bilanzrelevante Aufwendungen für die Zweitkultur entstehen z. B. bei Saatgutbeschaffung, Ernte und Lagerung. Auch bei dem in der dargestellten Ökobilanz nicht berücksichtigten Sonnenblumenanbau würden bewirtschaftungstypische Emissionen auftreten, die allein den Sonnenblumen angerechnet werden müssten.

#### Literatur:

- Paulsen H. M. (2003): Fruchtfolgegestaltung im Ökobetrieb zur Erlangung einer Treibstoffautarkie. 7. Tagung Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft. Bundschuh Biogas-Gruppe e.V., Aulendorf, <http://orgprints.org/2211/>.
- Paulsen H. M., Schädlich O., Oppermann R. (2006): Pflanzenöl - lohnt der Einstieg? *Bioland* (5): 5-28.
- Paulsen H. M., Weißmann F., Fischer K., Halle I., Matthäus B., Bauer M., Pscheidl M., Vogt-Kaute W. (2005): Leindotterpresskuchen in ökologischen Futterrationen: Stand der Forschung. In: Heß J., Rahmann G. (Hrsg.): Ende der Nische: Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel, 1.-4. März 2005, S. 387-388.
- Paulsen H. M., Schädlich O. (2005): Traktoren mit reinem Rapsöl. *Bioland* (10): 25-27.
- Reinbrecht C., Claupein W. (2004): Vergleich der Anbaueignung verschiedener Ölpflanzenarten und -sorten für den Ökologischen Landbau unter den Aspekten Speiseölgewinnung und Eiweißquelle. Bericht, Institut für Pflanzenbau und Grünland, Universität Hohenheim, <http://orgprints.org/4844/>.
- Schädlich O., Paulsen H. M., Oppermann R. (2006): Dezentrale Pflanzenölerzeugung in der Region Lübecker Bucht. *VdFF e.V.*, ISBN 3-86576-016-3.
- Sergis-Christian L., Brouwers J. (2005): Dezentral hergestelltes, kaltgepresstes Pflanzenöl im ökologischen Vergleich mit Dieselmotorkraftstoff. Sonderheft 3, Schriftenreihe der AG Land- und Regionalentwicklung am Fachbereich ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel.
- Stotz K., Remmele E. (2005): Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland. Berichte aus dem TFZ 3, Technologie und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe, Straubing.
- Weißmann F., Paulsen H. M., Fischer K., Matthäus B., Bauer M., Pscheidl M., Vogt-Kaute W. (2006): Zum Einfluss der Fütterung von Leindotterpresskuchen auf die Mast- und Schlachtleistung von Broilern aus ökologischer Mast. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach* 45(174): 229-236.

### **Einfluss der Düngung mit Gärrückständen aus der Biogaserzeugung auf den Ertrag von Silomais und auf die bodenmikrobielle Aktivität**

#### **Effects of biogas slurry on yield of maize for silage and on soil microbial activity**

T. Kautz<sup>1</sup> und R. Rauber<sup>2</sup>

**Keywords:** crop farming, soil fertility, plant nutrition, production systems, biogas slurry

**Schlagwörter:** Pflanzenbau, Bodenfruchtbarkeit, Pflanzenernährung, Betriebssysteme, Gärrückstände

**Abstract:**

*Organic manuring with slurry from biogas plants may contribute to plant nutrition and maintenance of soil fertility in organic farming. However, the chemical properties of biogas slurry depend markedly on substrate input and process technology. The aim of this study was to gain more insights into the relationship between the quality of biogas slurry and its influences on plant and soil parameters when applied as organic manure. We studied the effects of slurries from two different biogas plants on yield of maize and soil microbial activity in a two-year field experiment. The investigation took place on a loam-clay soil near Göttingen, Lower Saxony. Biogas slurry A was obtained from a biogas plant with liquid pig manure as main input, slurry B originated from a biogas plant operated with renewable primary products. Slurries were applied as 30 and 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> respectively. Highest yield of maize was obtained in the treatment with slurry B when given as 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. N content in biomass of maize was the highest in the treatment with slurry A (60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).  $\beta$ -glucosidase activity was not affected by any of the slurries. Conversely, both slurries were found to significantly increase dehydrogenase activity as well as total soil C and N contents.*

**Einleitung und Zielsetzung:**

Der Anbau von Energiepflanzen für die Biogaserzeugung kann auch für ökologisch wirtschaftende Betriebe interessant sein, da bei der Vergärung des Ernteguts Krankheiten und Schädlinge eine untergeordnete Rolle spielen, so dass auf Fungizide und Insektizide verzichtet werden kann. Unkräuter sind von relativ geringer Bedeutung, da sie mitgeerntet werden können und so in der Biogasanlage als zusätzliches Substrat für die Methanproduktion dienen. Zudem ist Mineraldünger-Einsatz im Hinblick auf die Energiebilanz kritisch zu betrachten. Beim Anbau von Nutzpflanzen zur Biogaserzeugung bestehen hinsichtlich des Nährstoffkreislaufs erhebliche Unterschiede zum Anbau von Pflanzen zur Nahrungsproduktion: Zum einen wird bei der Ernte die gesamte oberirdische Biomasse vom Acker abgefahren. Ernterückstände, die in anderen Bodennutzungssystemen einen Beitrag zur Reproduktion der organischen Bodensubstanz leisten, werden somit aus dem Agrarökosystem entfernt. Zum anderen fallen aber bei der Biogaserzeugung nährstoffreiche Gärrückstände an, die als organische Dünger wieder aufs Feld gebracht werden können. Gärrückstände aus der Biogaserzeugung sind im ökologischen Landbau als Düngemittel und Bodenverbesserer gemäß Anhang II der EG-Ökoverordnung zulässig. Es besteht die Möglichkeit, dass mit der Applikation der Gärrückstände Pflanzennährstoffe weitgehend rezykliert werden, so dass auf externe

---

<sup>1</sup>Institut für Organischen Landbau, Universität Bonn, Katzenburgweg 3, 53115 Bonn, Deutschland, tkautz@uni-bonn.de

<sup>2</sup>Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität Göttingen, Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen, Deutschland, rrauber@uni-goettingen.de

Nährstoffzufuhr verzichtet werden kann. Damit wird die Versorgung des Agrarökosystems mit organischer Substanz auf eine qualitativ neue Grundlage gestellt. Verschiedene Gärrückstände aus der Biogaserzeugung können sich hinsichtlich ihrer Qualität in Abhängigkeit von den eingesetzten Substraten und der Prozesstechnik erheblich voneinander unterscheiden. Um zu näheren Erkenntnissen über Qualitätsunterschiede von Gärrückständen zu gelangen, sollen in einem Feldversuch die Wirkung eines Gärrückstandes aus Schweinegülle und eines Gärrückstandes aus silierten Pflanzenresten auf Boden- und Pflanzenparameter untersucht werden. Der Untersuchung liegen die Fragestellungen zu Grunde, wie sich Gärrückstände verschiedener Herkunft in ihrem Einfluss auf den Biomassertrag von Energiemais und auf die bodenbiologische Aktivität unterscheiden.

#### Methoden:

Die Anlage des Feldversuchs erfolgte im Jahr 2005 auf dem Kloostergut Reinshof bei Göttingen auf tonigem Lehm aus Schwemmlöß bei 654 mm Niederschlag und 8,7 °C im langjährigen Mittel. Der Versuch ist eine randomisierte Blockanlage mit 4 Feldwiederholungen bei einer Parzellengröße von 36 m<sup>2</sup> und wurde im Jahr 2006 auf derselben Fläche weitergeführt. In beiden Vegetationsperioden wurde die Silomaisorte Atletico (S 280) angebaut. Es wurden zwei Gärrückstände unterschiedlicher Herkunft und Qualität untersucht. Substrat A stammt aus einer Biogasanlage, in der überwiegend Schweinegülle eingesetzt wird. Substrat B wurde aus einer Biogasanlage bezogen, die überwiegend mit nachwachsenden Rohstoffen gefahren wird. Hinsichtlich ihrer chemischen Charakteristika wiesen die untersuchten Substrate deutliche Unterschiede über die beiden Untersuchungsjahre auf (Tab. 1). Beide Gärrückstände wurden jeweils in den Intensitätsstufen 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> und 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ausgebracht, zudem gab es eine Kontrolle ohne Gärrückstände. Die Ausbringung erfolgte jeweils vor der Aussaat des Maises mit sofortiger Einarbeitung der Substrate in den Boden.

Tab. 1: Chemische Eigenschaften der Gärrückstände. A: Vergorene Gülle, B: Vergorenes Pflanzenmaterial.

| Substrat   | A     |      | B    |      |
|--|-------|------|------|------|
|  | 2005  | 2006 | 2005 | 2006 |
| TM (%)   | 8,63  | 9,40 | 7,18 | 6,15 |
| C (%) i.d. TM                                      | 29,1  | 31,0 | 40,1 | 37,5 |
| N (%) i.d. TM                                      | 3,6   | 2,7  | 2,2  | 2,7  |
| Phosphor (% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> i.d. TM) | 1,99  | 2,11 | 2,06 | 1,45 |
| Kalium (% K <sub>2</sub> O i.d. TM)                | 11,02 | 7,56 | 7,06 | 6,42 |
| Magnesium (% MgO i.d. TM)                          | 0,67  | 0,79 | 0,89 | 0,67 |
| pH-Wert  | 8,3   | 7,9  | 8,5  | 8,4  |

Für die Ermittlung der Hektarerträge von Silomais wurden zur Teigreife Miniplots beerntet. Da für die bioenergetische Nutzung der gesamte Feldaufwuchs verwendet werden kann, wurde zusätzlich eine Beerntung des Beikrauts vorgenommen. Die Entnahme der Bodenproben erfolgte mit 20 Bohrstöckleinsteichen pro Parzelle aus 0–15 cm Bodentiefe jeweils nach dem Auflaufen der Maispflanzen Anfang Juni, zur Blüte (Anfang August) sowie zur Ernte. Nach der Entnahme wurden die Proben homogenisiert und auf 2 mm gesiebt. Aliquote der Proben für die bodenmikrobiologischen Untersuchungen wurden bis zur Analyse bei -20 °C gelagert. Bestimmt wurden die Dehydrogenase-Aktivität als Maß für die gesamte bodenmikrobielle Aktivität (THALMANN 1967) sowie die β-Glucosidase-Aktivität (TABATABEI 1994) zur Abschätzung des mikrobiellen Beitrags zum Abbau von Polysacchariden. Für bodenchemische Analysen wurden Aliquote der Proben

luftgetrocknet und für die Bestimmung von Gesamt-Kohlenstoffgehalt und Gesamt-Stickstoffgehalt herangezogen.

#### Ergebnisse und Diskussion:

Die Hektarerträge von Silomais lagen im Jahr 2005 zwischen 139,8 und 165,5 dt TM ha<sup>-1</sup>. Während das Substrat A nicht ertragswirksam wurde, führte das Substrat B in der Aufwandmenge 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> zu einer tendenziellen Ertragserhöhung gegenüber der Kontrolle (Tab. 2). Im Jahr 2006 führten beide Substrate zu tendenziellen Mehrerträgen, wobei die hohen Aufwandmengen jeweils höhere Erträge bewirkten (Daten nicht gezeigt). Diese Ergebnisse sind konsistent mit früheren Studien, in denen die Düngewirkung von Gärrückständen belegt wurde (BRENNER & CLEMENS 2005, PÖTSCH et al. 2004). Zusätzlich zum Mais wurde zwischen 9,2 und 12,2 dt TM ha<sup>-1</sup> Beikraut geerntet, wobei sich jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten ergaben. Die höchsten N-Gehalte in der Sprossmasse des Maises wurden in den mit Substrat A gedüngten Varianten gemessen. Da die C-Gehalte der Pflanzen durch die Düngung nahezu unverändert blieben, ergaben sich aus den Unterschieden der N-Gehalte auch Differenzierungen im C/N-Verhältnis. Im Boden wurden C-Gehalte zwischen 1,06% in der Kontrolle und 1,14% in der Variante mit Substrat B in 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> Aufwandmenge bestimmt (Tab. 2). Die N-Gehalte im Boden waren sowohl bei Düngung mit Substrat A als auch bei Düngung mit Substrat B höher als in der Kontrolle.

Tab. 2: Hektarerträge von Silomais und Beikraut sowie C- und N-Gehalte in der Sprossmasse und im Boden bei differenzierter Düngung mit Gärrückständen im Jahr 2005. A: Vergorene Gülle, B: Vergorenes Pflanzenmaterial.

| Substrat  | Kontrolle | A       | A        | B      | B        |
|---|-----------|---------|----------|--------|----------|
| Aufwandmenge (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | 0         | 30      | 60       | 30     | 60       |
| Mais-Ertrag (dt TM ha <sup>-1</sup> )           | 143,8     | 149,3   | 139,8    | 152,4  | 165,5    |
| Beikraut-Ertrag (dt TM ha <sup>-1</sup> )       | 9,2       | 11,3    | 9,4      | 12,2   | 10,5     |
| Gesamt-Ertrag (dt TM ha <sup>-1</sup> )         | 153,1     | 160,6   | 148,4    | 164,6  | 176,0    |
| C (%) Sprossmasse Mais                          | 44,45     | 44,04   | 43,84    | 44,09  | 44,29    |
| N (%) Sprossmasse Mais                          | 1,02      | 1,16*   | 1,22**   | 1,01   | 1,15     |
| C/N-Verhältnis Mais                             | 43,75     | 38,06*  | 35,81**  | 43,57  | 38,45    |
| C (%) Boden                                     | 1,06      | 1,10    | 1,11***  | 1,10** | 1,14***  |
| N (%) Boden                                     | 0,112     | 0,120** | 0,121*** | 0,117  | 0,120*** |
| C/N-Verhältnis Boden                            | 9,23      | 8,94    | 8,85     | 9,34   | 9,25     |

Signifikante Unterschiede gegenüber der Kontrolle: \*p<0,05, \*\*p<0,01, \*\*\*p<0,001 (Dunnett-Test)

Die Dehydrogenase-Aktivität im Boden reagiert sensibel auf Menge und Qualität organischer Düngung (KAUTZ et al. 2004). Von der differenzierten Düngung mit Gärrückständen zeigte sich die Dehydrogenase-Aktivität signifikant beeinflusst (Abb. 1). Die höchste Dehydrogenase-Aktivität lag im Juni 2005 mit 93,4 µg TPF g Boden<sup>-1</sup> 24 h<sup>-1</sup> in der Düngungsvariante mit Gärrückständen aus der Biogasanlage, in der überwiegend Schweinegülle eingesetzt wird (Substrat A). Eine Erhöhung der Aufwandmenge von 30 auf 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ergab in diesem Jahr keine Steigerung der Dehydrogenase-Aktivität. Demgegenüber führte bei dem Gärrückstandsdünger aus nachwachsenden Rohstoffen nur die hohe Intensitätsstufe zu einer signifikant höheren Dehydrogenase-Aktivität als in der Kontrolle. Im Jahr 2006 wurde der höchste Wert im August in der Variante mit Applikation des Substrats A (vergorene Gülle) in der Intensitätsstufe 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> gemessen (88,6 µg TPF g Boden<sup>-1</sup> 24 h<sup>-1</sup>). Auch das Substrat B aus nachwachsenden Rohstoffen führte bei einer Aufwandmenge von 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> zu einer gegenüber der Kontrolle signifikant erhöhten Dehydrogenase-Aktivität. Die β-Glucosidase-Aktivität zeigte sich hingegen nicht von der Gärrückstandsdüngung beeinflusst (Daten nicht gezeigt). Dies deutet darauf hin, dass

die für die Bodenmikroorganismen potentiell fördernde Wirkung der Gärrückstände weniger auf ihre Wirkung als C-Quelle zurückzuführen ist, sondern vor allem in Zusammenhang mit einer Verbesserung der Nährstoffversorgung steht.

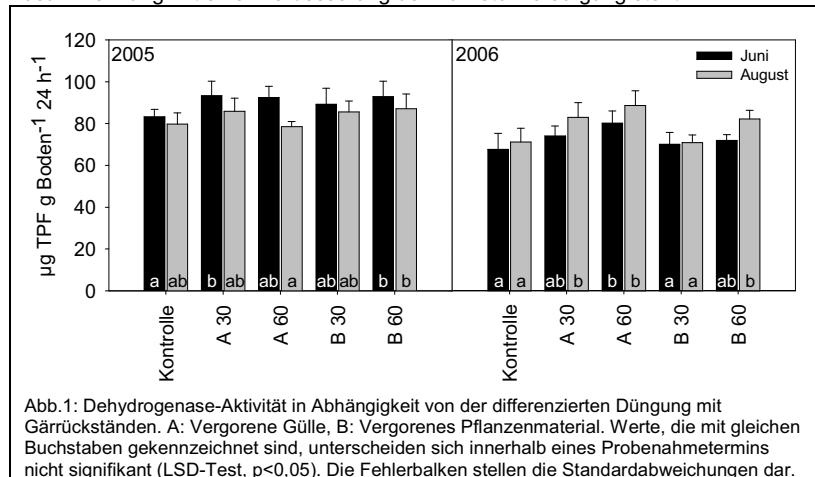


Abb.1: Dehydrogenase-Aktivität in Abhängigkeit von der differenzierten Düngung mit Gärrückständen. A: Vergorene Gülle, B: Vergorenes Pflanzenmaterial. Werte, die mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet sind, unterscheiden sich innerhalb eines Probenahmetermins nicht signifikant (LSD-Test,  $p < 0,05$ ). Die Fehlerbalken stellen die Standardabweichungen dar.

#### Schlussfolgerungen:

Es zeigte sich, dass Herkunft und Qualität von Gärrückständen für ihre Wirkung auf Nährstoffversorgung von Nutzpflanzen sowie auf bodenchemische und bodenbiologische Kenngrößen von Bedeutung sind. Die nachgewiesene Förderung der Dehydrogenase-Aktivität als Maß für die bodenmikrobiologische Aktivität deutet darauf hin, dass Düngung mit Gärrückständen einen Beitrag zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit leisten kann. Allerdings erschwert die schwankende Qualität der Gärrückstände die Prognose der Wirkung auf Erträge und Bodenparameter.

#### Danksagung:

Wir danken der KWS Saat AG für die Bereitstellung des Saatguts sowie den Betreibern der Biogasanlagen für die Bereitstellung der Gärrückstände. Unser Dank gilt weiterhin Gabriele Kolle und Kerstin Jespersen für die Durchführung der Laborarbeit.

#### Literatur:

Brenner A., Clemens J. (2005): Vergleich der Stoffflüsse mit ökologischer Bilanzierung von zwei Kofermentationsanlagen. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunkts USL 128.

Kautz T., Wirth S., Ellmer F. (2004): Microbial activity in a sandy arable soil is governed by the fertilization regime. *European J Soil Biol* 40: 87-94.

Pötsch E. M., Pfundtner E., Resch R., Much P. (2004): Stoffliche Zusammensetzung und Ausbringungseigenschaften von Gärrückständen aus Biogasanlagen. 10. Alpenländisches Expertenforum, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein.

Tabatabai M. A. (1994): Soil Enzymes. In: Weaver R. W., Augle S., Bottomly P.J., Bezdicsek D., Smith S., Tabatabai M. A., Wollum A. (Hrsg.): *Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. SSSA, Madison, S. 775-883.

Thalman A. (1967): Über die mikrobielle Aktivität und ihre Beziehungen zu Fruchtbarkeitsmerkmalen einiger Böden unter besonderer Berücksichtigung der Dehydrogenaseaktivität. Dissertation, Universität Gießen.

**Innovatives Nutzungsverfahren zur energetischen Verwertung von Biomassen aus naturschutzfachlich bedeutsamen Landschaften****Innovative techniques for energetic using of biomasses from ecologically valuable areas**R. Graß<sup>1</sup>, J. Reulein<sup>1</sup>, K. Scheffer<sup>2</sup> und M. Wachendorf<sup>1</sup>**Keywords:** biogas, nature protection and environmental compatibility, biodiversity**Schlagwörter:** Biogas, Naturschutz und Umweltverträglichkeit, Biodiversität**Abstract:**

*Biomasses from ecologically valuable areas (e.g. extensive grasslands) can not economically be used in conventional biogas plants as such substrates have a low digestibility. In the procedure proposed ensiled biomass from such vegetations are mechanically dried. Only the sap pressed out is used in the digester for methane production with retention times below 10 days and with methane yields of more than 450 l/kg organic dry matter. The heat produced in the combined heat and power plant is used on-site for drying the press cake. The dried cake is then processed to form a marketable solid fuel. The technology proposed has less demand towards the digestibility of biomass than conventional biogas techniques.*

**Einleitung und Zielsetzung:**

Unterschiedliche Studien gehen davon aus, dass in Zukunft bis zu 1/3 der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland für den Anbau nachwachsender Rohstoffe zur Energieerzeugung verwendet werden. Auch im Ökologischen Landbau (ÖL) steigt das Interesse an der Erzeugung regenerativer Energien und der Etablierung eines neuen Betriebszweiges. Allerdings wird gerade im ÖL der Energiepflanzenanbau kontrovers diskutiert. Besonders wird die Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Futterbau einerseits und dem Energiepflanzenbau andererseits kritisch beurteilt. Ferner besteht die Befürchtung, dass der Energiepflanzenanbau ähnlich wie im konventionellen Landbau zu einer Vereinfachung der Fruchtfolgen mit einer Abnahme der Artenvielfalt führt. Dies wird mit der Fixierung auf den Maisanbau im konventionellen Landbau bestätigt. Aspekte des Natur- und Umweltschutzes werden dabei nicht berücksichtigt. Das hängt auch damit zusammen, dass der Mais für die Biogastechnologie hervorragende Vergärungseigenschaften besitzt. Mittlerweile werden Alternativen im Energiepflanzenanbau entwickelt (GRAß & SCHEFFER 2005), um negative Auswirkungen wie Artenverarmung, Nährstoffauswaschung, Bodenerosion, usw. zu reduzieren. Dennoch ist weiterhin die Verwertung der Aufwüchse von Naturschutzflächen, später geschnittenen Grünlandbeständen oder Saumflächen wie Blühstreifen in Biogasanlagen aufgrund schlechterer Vergärungseigenschaften unrentabel (LEMMER & OECHSNER 2001). Der ursprünglichen Zielsetzung des Ökologischen Landbaus würde es aber entsprechen, eine derartige Flächennutzung zu erhalten und zu fördern, da sie im gesamten Ökosystem wichtige Funktionen bekleiden. Eine grundlegende Anforderung an den Energiepflanzenbau sollte daher

---

<sup>1</sup>Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaften und Nachwachsende Rohstoffe, Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen, Deutschland, grass@wiz.uni-kassel.de, reulein@wiz.uni-kassel.de

<sup>2</sup>Großer Bruch 15, 37133 Friedland, Deutschland

sein, dass mit ihm keine Artenverarmung und keine Erhöhung der negativen Umweltauswirkungen einhergehen.

Allerdings bleibt das Problem bestehen, wie solche Aufwüchse von Naturschutzflächen, extensivem Grünland, Saumflächen usw. sinnvoll und damit wirtschaftlicher genutzt werden können. Eine energetische Nutzung dieser Aufwüchse, bei der die Qualität keine primäre Bedeutung hat, wäre dabei sehr interessant.

Mit einem neuen Verfahren zur Energieerzeugung aus Biomasse sollen diese Aspekte berücksichtigt werden.

#### **Das neue Biogas-Nutzungsverfahren:**

Bei dem neuen Nutzungsverfahren, das schematisch in Abb. 1 dargestellt ist, werden Silagen unterschiedlicher Biomassen mechanisch entwässert. Diese Entwässerung erfolgt mittels einer Schneckenpresse und als Produkt entstehen dabei eine flüssige Phase (Presssaft) und eine feste Phase (Presskuchen). Der Presssaft wird in einer Biogasanlage zu Methan vergoren, woraus Strom und Wärme produziert werden. Der Presskuchen wird nach Trocknung zu Brennstoff aufbereitet. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte und die dabei durchgeführten Prozesse detailliert erläutert.

Ganzpflanzensilagen können aus nahezu allen Kultur- und Wildpflanzen hergestellt werden. Mit dem Silieren wird die Konservierung der Biomasse sichergestellt, so dass das Verfahren über das Ganze Jahr hinweg gleichmäßig betrieben werden kann. Die Biomasse wird in Abhängigkeit ihrer Beschaffenheit mechanisch und thermisch vorkonditioniert (z.B. Anmaischen) und gelangt danach in eine Schneckenpresse. Durch Druck und Reibung wird ein großer Teil des in den Silagen enthaltenen Rohwassers ausgepresst. Zurück bleibt ein Presskuchen mit einem Trockensubstanzgehalt von ca. 50%. Im Presssaft ist neben den wasserlöslichen Mineralstoffen auch ein erheblicher Anteil an organischen Verbindungen enthalten. Diese zeichnen sich durch eine hohe und effiziente Vergärbarkeit in einer Biogasanlage zu Methangas aus. Somit werden sehr kurze Verweilzeiten von ca. 10 Tagen im Fermenter erreicht. Durch die mechanische Entwässerung werden überproportional hohe Anteile an Nährstoffen (Mineralstoffe) aus der Ausgangsilage in den Presssaft überführt (REULEIN et al. 2006). Zugleich wird damit der Mineralstoffgehalt im Presskuchen reduziert. Dies ist besonders interessant hinsichtlich von Mineralstoffen, die bei der Verbrennung negative Auswirkungen aufweisen: Stickstoff, Kalium und Chlor. Dadurch wird ein umwelt- und anlagenverträglicherer Brennstoff hergestellt. Zugleich wird über den höheren Mineralstoffgehalt im Presssaft eine überproportional höhere Rückführung von Nährstoffen in den landwirtschaftlichen Kreislauf ermöglicht, da nach der Nutzung in der Biogasanlage der Presssaft als Dünger wieder auf die Felder gelangt.

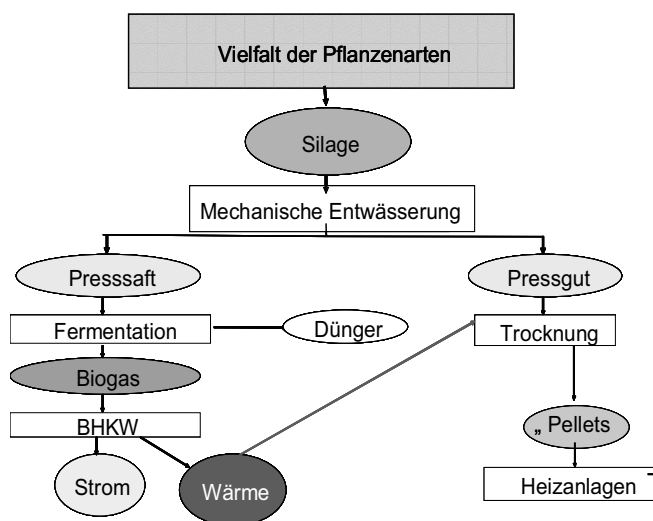
Die gesamte bei der Biogasverstromung anfallende Wärme wird ganzjährig zur Nachtrocknung des Presskuchens verbraucht.

Als Endprodukt liegen ca. 60 bis 70% des Flächenertrages als trockener, pelletierfähiger, asche-, mineralstoff- und stickstoffreduzierter Brennstoff aus Biomasse vor.

Bei der „herkömmlichen“ Nutzung der Biomasse in Biogasanlagen, ist das Ziel, die gesamte Pflanze möglichst effektiv in Methangas umzuwandeln. Dabei bleiben jedoch ca. 20 bis 40% der C-Verbindungen energetisch ungenutzt, da diese anaerob nicht abgebaut werden können. Hinzu kommt, dass vielerorts kein schlüssiges Konzept für Nutzung der bei der Verstromung anfallenden Wärme besteht. Dies führt dazu, dass bei der Biogasproduktion mit stationärer Verstromung maximal 50% der auf der Fläche gewachsenen Energie zur Substitution von fossilen Energieträgern genutzt wird.



Ein anderer Weg zur energetischen Biomassenutzung ist die Brennstoffbereitstellung aus trocken geernteten Kulturpflanzen wie z. B. Getreidekorn. Die Vorteile dabei sind, dass die Verwertung orts- und zeitunabhängig mit sehr hohen Wirkungsgraden von über 90% möglich ist. Zudem sind diese Brennstoffe sehr preiswert und technisch ausgereift produzierbar. Die Brennstoffeigenschaften wie z.B. die Kalium- und Chlorgehalte dieser Biomassen sind zwar mit technischen Mitteln in den Griff zu bekommen, die entstehenden Abgase sind durch hohe Staub- und NOx-Gehalte aber oft nicht als „unbedenklich“ im Sinne des Umweltschutzes einzustufen. Außerdem werden durch die Verbrennung alle in den Aschen enthaltenen Mineralstoffe und der Stickstoff aus dem landwirtschaftlichen Kreislauf genommen.



Die mechanische Entwässerung von Ganzpflanzensilagen verbindet die beiden Verfahren Biogasnutzung und Verbrennung von Biomasse. Grundgedanke ist die Herstellung von Brennstoffen hoher Qualität aus Ganzpflanzensilagen, um damit die Vorteile aus hohem Biomasseertrag (Energieertrag) je Flächeneinheit und einer bedarfsgerechten und effektiven Energiebereitstellung zu nutzen. An die Qualität der Biomasse werden nur geringe Ansprüche gestellt, so dass es in diesem System auch möglich ist, Aufwüchse von anfangs beschriebenen Flächen in die energetische Nutzung mit aufzunehmen. Dabei häufig auftretende Qualitätsminderungen hinsichtlich einer energetischen Nutzung aufgrund späterer Mahdtermine, um naturschutzfachlichen Ansprüchen zu genügen und eine hohe Biodiversität zu erhalten, sind dabei von untergeordneter Rolle. Ferner würde somit die gerade im Ökologischen Landbau geführte Diskussion um die Flächenkonkurrenz von Energie- mit Nahrungs- und Futterpflanzen entschärft werden.

#### Ausblick:

In einer Voruntersuchung werden derzeit Aufwüchse von Naturschutzflächen und von unterschiedlichen Grünlandgesellschaften verschiedener Regionen, Höhenlagen und Nutzungsintensitäten hinsichtlich ihrer Eignung zur Verwertung in dem vorgestellten Verfahren untersucht. Die Ergebnisse werden im Vortrag auf der Tagung präsentiert.

**Fazit:**

Mit dem vorgestellten Verfahren der mechanischen Entwässerung können Ressourcen optimal genutzt, spezifische Erntetermine eingehalten und eine kostengünstige bzw. wirtschaftliche Verwertungsalternative für energetisch schwierig zu nutzende Biomassen geschaffen werden. Die Nutzung und Erhaltung von naturschutzfachlich wertvollen Flächen könnte somit verbessert werden.

**Literatur:**

Graß R., Scheffer K. (2005): Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. *Natur und Landschaft* 9/10:435-439.

Lemmer A., Oechsner H. (2001): Kofermentation von Gras und Silomais. *Landtechnik* 6:412-413.

Reulein J., Scheffer K., Wachendorf M. (2006): Aufbereitung von Nachwachsenden Rohstoffen zur energetischen Nutzung mittels mechanischer Entwässerung. *Rostock, Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften* 18:120-121.

**Bioenergie versus Ökolandbau: Flächenkonkurrenz als Entwicklungshemmnis?****Bioenergy versus organic agriculture: Is competition for land restricting the development?**S. Simon<sup>1</sup>, M. Demmeler<sup>2</sup> und A. Heißenhuber<sup>2</sup>

**Keywords:** bioenergy, nature protection and environmental compatibility, development of organic agriculture

**Schlagwörter:** Bioenergie, Naturschutz und Umweltverträglichkeit, Entwicklung Ökologische Landwirtschaft

**Abstract:**

*To satisfy national sustainability targets in Germany, both bioenergy and organic farming claim a growing area of farmland. Analyses with a land use model and accompanying expert interviews show, how the competition for land is growing in certain regions. A restricted area potential for energy crops – even with an ever intensifying farming opposes targets for an increasing share of land for organic agriculture and nature conservation. Thus there is a need for policy action, to discuss and solve this goal conflict. An ongoing study currently develops strategies for two selected German regions for a more ecologically compatible bioenergy production.*

**Einleitung und Zielsetzung:**

Die Bioenergiewirtschaft und die Ökologische Lebensmittelwirtschaft werden in der Umweltpolitik als zukunftsfähige Alternativen zu herkömmlichen Konzepten („Energiewende“ und „Agrarwende“) betrachtet. Beide sind auf die Rohstoffbereitstellung durch die Landwirtschaft angewiesen, die beiden Ansätze sind jedoch nicht zielkongruent. Während sich der Ökologische Landbau einen gesetzlich eindeutig festgelegten Rahmen gibt, definiert sich die Bioenergiewirtschaft allein über den Output an erneuerbarer Energie. Der Anbau von Energiepflanzen zur Bioenergiegewinnung belegt zunehmend Flächen, die bisher für die Nahrungsmittelproduktion genutzt wurden. Gleichzeitig benötigt ökologische Nahrungsmittelerzeugung pro erzeugte Einheit einen höheren Flächeneinsatz als konventionelle Produktion.

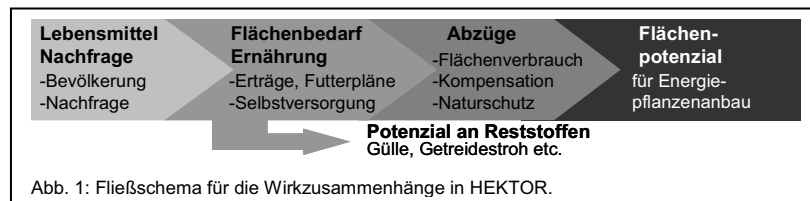
Eine zentrale Frage lautet daher: Wie viel Fläche steht wofür zukünftig zur Verfügung? Im vorliegenden Beitrag werden zunächst Flächenpotenziale analysiert, die unter Umständen zukünftig nicht mehr in der Nahrungsmittelproduktion genutzt werden. Für Deutschland wird anhand zweier Szenarien aufgezeigt, um welche Flächen alternative Nutzungskonzepte, wie Ökologischer Landbau oder die Biomasseerzeugung, konkurrieren. Neben der quantitativen stellt sich jedoch auch die qualitative Frage: Welche Nutzungsintensitäten mit welchen ökologischen und naturschutzfachlich relevanten Auswirkungen finden statt? Mögliche Auswirkungen werden in einer Beispielregion mit hoher Biogasanlagendichte analysiert.

<sup>1</sup>Institut für Technische Thermodynamik, Systemanalyse und Technikbewertung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Sonja.Simon@dlr.de

<sup>2</sup>Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues der TU München, Alte Akademie 14, 85350 Freising-Weihenstephan, Deutschland, demmeler@wzw.tum.de

**Methoden:****Flächenmodell HEKTOR**

Die Ermittlung verfügbarer Flächen erfolgt mit dem Modell HEKTOR. Das Modell bildet den zukünftigen Flächenbedarf für die Nahrungsmittelproduktion im Rahmen von Szenarien ab und umfasst ausgehend vom gegenwärtigen Zustand einen Betrachtungshorizont bis 2030. (Für eine detaillierte Dokumentation des Modells vgl. SIMON 2006, FRITSCHKE et al. 2004). Die Wirkzusammenhänge des Modells sind wie folgt (Abb. 1): Ausgehend von Bevölkerung und Pro-Kopf-Verbrauch an Nahrungsmitteln wird der Gesamtnahrungsverbrauch errechnet. Dieser wird mittels pflanzlicher und tierischer Produktionsprozesse und Selbstversorgungsgrade von unterschiedlicher Intensität in Flächennutzung umgewandelt.



Der ermittelte Flächenbedarf wird von der landwirtschaftlich genutzten Fläche eines Landes abgezogen. Ein weiterer Schritt berücksichtigt die außer-landwirtschaftliche Nachfrage von Siedlung, Verkehr und Naturschutz an Flächen, die gegenwärtig noch landwirtschaftlich genutzt werden. Hieraus ergeben sich verfügbare Flächen, die künftig beispielsweise durch Energiepflanzenanbau oder für eine Extensivierung der Nahrungsmittelproduktion genutzt werden können.

Da diese Flächen stark von der zukünftigen Ausrichtung der landwirtschaftlichen Produktion abhängen, wurden HEKTOR Szenarien für die künftige Nahrungsmittelproduktion vorgegeben, anhand derer Aussagen über Flächenkonkurrenz und Flächenwirksamkeit veränderter Flächennutzung getroffen werden. Dem Referenzszenario, das die aktuellen Entwicklungen in der Nahrungs- und Futtermittelproduktion in Deutschland fortschreibt wurde ein „Öko-plus-Szenario“ gegenübergestellt. Dieses Szenario soll gesellschaftlichen Zielen bezüglich einer nachhaltigen Entwicklung Rechnung tragen und beinhaltet einen Ausbau des ökologischen Landbaus auf einen Anteil von 30% bis 2030, einen sinkenden Flächenverbrauch für Siedlung und Verkehr auf 25 ha/d bis 2030 und eine gesteigerte Ausweisung von Naturschutzflächen (SIMON 2006).

Experteninterviews:

Die quantitative Bestimmung der Flächenkonkurrenz zwischen Ökolandbau und Energiepflanzenanbau für Deutschland wird durch eine qualitative Analyse ausgewählter Regionen gestützt. Im empirischen Teil wurden leitfadengestützte Experteninterviews durchgeführt, die sich mit den ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der regionalen Biomasseerzeugung befassen. In den Regionen Ostprignitz-Ruppin/Brandenburg und Chiemgau/ Bayern wurden aus den Bereichen (Bio-) Landwirtschaft, Energiewirtschaft, Naturschutz und Tourismus je 16 Experten befragt. Erste Auswertungen liegen bislang für die Region Chiemgau (Bayern) vor. Die Region kennzeichnet sich nicht nur durch einen großen Anteil an Biolandwirten, sondern weist aufgrund der hohen Dichte an Biogasanlagen eine sehr gute Eignung

zur Charakterisierung der die Bioenergieentwicklung begleitenden Rahmenbedingungen und Auswirkungen auf.

#### Ergebnisse und Diskussion:

Die Berechnungen mit HEKTOR zeigen die Verfügbarkeit an landwirtschaftlich genutzter Fläche bis 2030 (Abb. 2). Wenn sich im Referenzszenario die bisherigen Trends für die landwirtschaftliche Produktion, den Flächenverbrauch und Naturschutz fortsetzen, entwickelt das Flächenpotenzial eine erhebliche Dynamik und erreicht bis 2030 über 3 Mio. ha. Zusammen mit dem landwirtschaftlichen Reststoffpotenzial ließen sich dann etwa 6% des deutschen Primärenergieverbrauchs abdecken.

Bei einer Ausdehnung der Ökologischen Landwirtschaft auf einen Anteil von 30% im Öko-plus-Szenario 2030 werden 1,3 Mio. ha zusätzlich benötigt. Geringere Flächenwirkung erzeugen die zusätzlichen Naturschutzflächen (2030: 0,3 Mio. ha). Gemildert wird die Konkurrenz durch die Reduktion des Flächenverbrauchs auf 0,6 Mio. ha bis 2030. Über den gesamten Betrachtungszeitraum verbleibt im Öko-plus-Szenario ein relativ konstantes Flächenpotenzial von 2,5 Mio. ha.

In Anbetracht der Entwicklung des Energiepflanzenanbaus der letzten Jahre wird die zunehmende Flächenkonkurrenz deutlich. Die Auswirkungen sind bereits heute in einigen Regionen Deutschlands spürbar.

Die bisherigen Auswertungen der Expertenbefragung in der Beispielregion Chiemgau, die im deutschen Vergleich mit am stärksten von der Bioenergiewirtschaft erschlossen ist, zeigen einige charakteristische Effekte, die nach Auffassung der regionalen Landwirtschaftsexperten (auch) für die Entwicklung des Biolandbaues mittelfristig nicht ohne Folgen bleiben werden.

Die Nutzung der Biomasse erfolgt nahezu ausschließlich in Biogasanlagen. Anfängliche Erwartungen und Hoffnungen von Seiten des Naturschutzes, auch Standorte mit geringer Produktivität bzw. Grünland von Naturschutzflächen könnten bei der Biomassenutzung zum Einsatz kommen, haben sich in der Region nicht erfüllt. Als Substrat der Biogaserzeugung kommt aufgrund der hohen Methanhektarleistung weit überwiegend Mais zum Einsatz, der auf den Gunststandorten der Region bzw. auf Stilllegungsflächen angebaut wird. Die Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen (insbesondere Gülle) aus der Landwirtschaft spielt eine zunehmend geringere Rolle. Konzepte zum Anbau von Mischkulturen konnten sich in der Praxis bislang nicht nennenswert gegenüber der Mais-Monokultur durchsetzen.

In den zurückliegenden fünf Jahren haben sich im Kontext des Biogas-Booms die Pachtpreise in der Region mehr als verdoppelt, im näheren Einzugsbereich von Biogasanlagen teilweise verdreifacht. Als „Verlierer“ des Biomasse-Booms werden von den regionalen Experten die bäuerlichen Milchviehbetriebe kleiner bis mittlerer Größe gesehen, die die Pachtpreise für benötigte Flächen nicht mehr erbringen können und am erforderlichen Wachstum gehindert werden. Als „Gewinner“ gelten nach Einschätzung der Experten ein Teil der Anlagenbetreiber, die aber selbst durch die hohen Pachtpreise in wirtschaftliche Schwierigkeiten kommen. Zugleich zeichnet

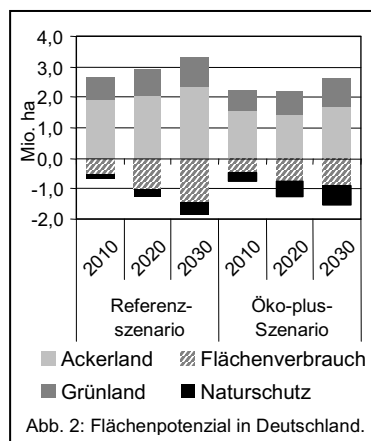


Abb. 2: Flächenpotenzial in Deutschland.

sich der Trend ab, dass zum einen die Biomasseverwertungsanlagen immer größer werden und Großprojekte ohne landwirtschaftliche Unternehmensbeteiligung – in Planung befindet sich in der Region eine Anlage mit einem Flächenbedarf von mehr als 100.000 Hektar Ackerfläche – bleiben.

**Schlussfolgerungen:**

Die Analysen legen den Schluss nahe, dass – unter den Prämissen einer nationalen Bereitstellung von Biolebensmitteln und Biomasse – regional ein Verdrängungswettbewerb um Fläche erfolgen wird. Eine starke Zunahme der Biomasse-Erzeugung in Deutschland wird den Trend verstärken, wonach die Bio-Lebensmittelerzeugung zur Deckung der wachsenden Nachfrage am nationalen Markt in zunehmendem Maße im Ausland erfolgen wird (vgl. LID 2006). In Deutschland ist das Flächenpotenzial, um gleichzeitig im großen Umfang den Flächenbedarf der ökologischen Land- und Ernährungswirtschaft und eine umfangreichere Energiegewinnung aus Biomasse zu erfüllen, stark begrenzt.

Den Entlastungswirkungen erneuerbarer Energien hinsichtlich der Verringerung von Treibhausgasemissionen und der Schonung fossiler Energieressourcen stehen bei der landwirtschaftlichen Biomasseerzeugung Umwelt belastende Auswirkungen durch eine intensive(re) Flächenbewirtschaftung – Einengung der Fruchtfolge, einen dominanten Einsatz der Bodenzehrpfanze Mais, Versuche der Etablierung von GVO-Pflanzen als Energiepflanzen, u. a. – gegenüber (vgl. auch FRITSCHKE et al. 2004). Die Potenziale eines Mischfruchtanbaus (SCHEFFER 2003), die auch im Ökolandbau eine mögliche Alternative darstellen könnten, kommen bislang bei Anlagenkonzeptionen kaum zum Einsatz.

Zur detaillierten Klärung der Frage nach der Qualität der Landnutzung werden zukünftig im Rahmen des Projektes „Naturschutzverträgliche Biomassebereitstellung in der Region“ mittels einer GIS-Analyse (KLEINSCHMIT et al. 2006) ökologische und ökonomische Effekte verschiedener landwirtschaftlicher (Bio-)Nutzungsszenarien auf einem regionalen Betrachtungsmaßstab analysiert und mit den Akteuren in den Regionen hinsichtlich ihrer Plausibilität diskutiert. Dadurch sollen Lösungskonzepte für die Flächenkonkurrenzen erarbeitet werden, die eine Abstimmung mit agrarökologischen Zielen, sowie Zielen des Natur- und Landschaftsschutzes bieten können.

**Danksagung:**

Die Autoren danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die Finanzierung des Projektes „Übertragbare Strategien zur naturverträglichen Biomassebereitstellung auf Landkreisebene“.

**Literatur:**

Fritsche U. R., Dehoust G. et al. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Freiburg, Darmstadt, Berlin, Öko-Institut e.V.

Kleinschmit B., Förster M., Korte B., Ross L. (2006): Energie vom Acker. GIS in der Energiewirtschaft – Teil 3: Potenziale und Risiken des Biomasseanbaus. In: GIS-Business 8: 25-27.

LID (Landwirtschaftlicher Informationsdienst) (30.6.2006): Deutsche Produzenten verpassen den Bio-Boom. Bionetz.ch 168.

Scheffer K. (2003): Der Anbau von Energiepflanzen als Chance einer weiteren Ökologisierung der Landnutzung. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbaukunde 15: 114-119.

Simon S. (2006): Szenarien nachhaltiger Bioenergiepotenziale bis 2030 – Modellierung für Deutschland, Polen, Tschechien und Ungarn. Dissertation, Technische Universität München. (in Vorbereitung).

## Nachhaltige Fruchtfolgesysteme für den biologischen Energiepflanzenanbau in Österreich

### Sustainable crop rotations for organic energy crop production in Austria

R. Hrbek<sup>1,2</sup>, B. Freyer<sup>1</sup>, T. Amon<sup>2</sup> und J. K. Friedel<sup>1</sup>

**Keywords:** development of organic agriculture, crop rotations for biogas production

**Schlagwörter:** Entwicklung Ökolandbau, Fruchtfolgen für Biogaserzeugung

#### Abstract:

*Biogas production is a key technology for sustainable use of biomass from agricultural production. An optimisation of biogas production from energy crops should not confine to the consideration of the biogas process. To assure a durable success, cropping of energy plants has to be designed according to the principles of sustainable crop rotations. Only in site-adapted and ecologically balanced crop rotation systems, energy crop production is meaningful. The general aim of this study was to develop site-adapted crop rotation systems including energy crops as main and catch crops. Study regions were chosen to represent large regions of Austria. To include a great share of the crop species relevant for Austria, sites from the dry region (NUTS III region „Weinviertel“), the transition zone (NUTS III region „Mostviertel-Eisenwurzen, Northern part“) and the Northern Alps (NUTS III region „Mostviertel-Eisenwurzen, Southern part“) were chosen.*

*Altogether, three different categories of model crop rotations were designed:*

- 1. Typical regional model crop rotations*
- 2. Crop rotations for energy crop production (I) with the aim of optimising methane hectare yields considering ethical and economic guidelines*
- 3. Crop rotations for energy crop production (II) with the aim of maximal methane hectare yields*

*The methane hectare yields in organic crop rotations I amounted to around 830 to 1700 Nm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Crop rotations II yielded around 2430 to 3650 Nm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Highest values were achieved on farms with a great share of energetically used fodder crops.*

#### Einleitung und Zielsetzung:

Die Biogaserzeugung ist eine Schlüsseltechnologie zur nachhaltigen Nutzung von agrarisch erzeugter Biomasse. Eine optimale Biogaserzeugung aus Energiepflanzen darf sich aber nicht nur auf die Betrachtung des Biogasprozesses beschränken. Um dauerhaft Erfolg zu bringen, muss der Energiepflanzenanbau nach den Grundsätzen einer nachhaltigen Fruchtfolge und Bodenfruchtbarkeit gestaltet sein. Das Hauptziel der Untersuchung bestand daher in der Entwicklung standortangepasster biologischer und konventioneller Fruchtfolgesysteme unter der Einbeziehung von Energiepflanzen als Haupt- und Zwischenfrüchte. Im folgendem wird auf biologische Fruchtfolgesysteme eingegangen.

#### Methoden:

Die Untersuchungen fanden in zwei für den Ackerbau in Österreich typischen Anbaugebieten, sowie in einem Randgebiet (Gebiet III) statt.

---

<sup>1</sup>Institut für Ökologischen Landbau, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur Wien, Gregor-Mendel-Str. 33, 1180 Wien, Österreich, regina.hrbek@boku.ac.at

<sup>2</sup>Institut für Landtechnik, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur Wien, Peter-Jordan-Strasse 82, 1190 Wien, Österreich

Zur Gebietsabgrenzung wurde auf NUTS-III-Regionen<sup>3</sup> zurückgegriffen. Bei den Untersuchungsregionen handelt es sich um:

- I. Trockengebiet: NUTS III-Region Weinviertel,
  - II. Übergangsgebiet: NUTS III-Region Mostviertel-Eisenwurzen, Teil NORD
  - III. Nördliche Randalpen: NUTS III-Region Mostviertel-Eisenwurzen, Teil SÜD
- Die Region Mostviertel-Eisenwurzen wurde in Nord und Süd geteilt, da sie unterschiedliche klimatische Bereiche repräsentiert. Die Region im Norden ist ein typisches Ackerbaugebiet mit Rinder- und Schweinehaltung, während im Süden (Region mit geringem Ackerbauanteil) das Grünland mit Rinderhaltung (keine Schweinebetriebe) dominiert. Als Datengrundlagen für die Erstellung von Modellfruchtfolgen dienten:
- Anteile (%) der Ackerkulturen an der Ackerfläche (AF) (EDER 2005)
  - Kulturartenverteilung und Modellbetriebe vorausgehender Untersuchungen (KRATOCHVIL 2003)
  - Hinweise von Beratern zu regionstypischen Modellfruchtfolgen
  - Ertragsschätzungen vorausgehender Untersuchungen (KRATOCHVIL 2003)
  - Erträge aus BMLFUW (2002) für den biologischen Landbau
  - Stroherträge: Berechnung nach dem üblichen Korn/Strohverhältnis
  - Stammdaten für die Gasproduktion (KTBL 2005, AMON et al. 2003, AMON & HOPFNER-SIXT 2005) (Tab. 1).

Tab. 1: Mittlere Ertragsdaten (angegeben in oTS = organische Trockensubstanz) und mittlere Methanhektarerträge verschiedener Kulturarten in den Untersuchungsregionen.

| Kulturart               | Faktor<br>Nm <sup>3</sup> dt <sup>-1</sup> | Mittlere oTS<br>dt ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> |       |       | Methanertrag<br>Nm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> |      |      |
|-------------------------|--|---|-------|-------|--|------|------|
|                         |  | Untersuchungsregionen*                              |       |       |  |      |      |
|                         |  | I.  | II.   | III.  | I.   | II.  | III. |
| Luzerne 1. Jahr         | 43,2                                       | 71,9  | -     | -     | 3106   | -    | -    |
| Luzerne 2. Jahr         | 43,2                                       | 80,9  | -     | -     | 3495   | -    | -    |
| Kleegrass 1. Jahr       | 33,5                                       | -   | 99,0  | 99,0  | -  | 3317 | 3317 |
| Kleegrass 2. Jahr       | 33,5                                       | -   | 108,0 | 108,0 | -  | 3618 | 3618 |
| Silomais                | 39,0                                       | 96,0  | 133,4 | 121,0 | 3744   | 5203 | 4719 |
| Winterweizenstroh       | 18,9                                       | 36,6  | 37,4  | 33,8  | 692  | 707  | 639  |
| Winterroggen (GPS)      | 38,0                                       | -   | 37,6  | -     | -  | 1429 | -    |
| Sommergerste (GPS)      | 27,0                                       | 32,1  | 32,1  | 32,1  | 867  | 867  | 867  |
| Dinkelstroh             | 18,9                                       | -   | 34,7  | -     | -  | 656  | -    |
| Triticalestroh          | 18,9                                       | -   | 45,3  | 40,0  | -  | 856  | 756  |
| Sonnenblume-Restpflanze | 35,0                                       | 23,2  | -     | -     | 812  | -    | -    |
| Sonnenblume-Presskuchen | 35,0                                       | 12,9  | -     | -     | 452  | -    | -    |
| Zwischenfrucht (ZF)     | 33,5                                       | 18,0  | 27,1  | 27,1  | 603  | 908  | 908  |

Legende: Nm<sup>3</sup> = Norm-Kubikmeter, GPS = Ganzpflanzensilage, - = Kulturart kommt in den vorliegenden Fruchtfolgen nicht vor, \* I = Weinviertel, II = Mostviertel-Eisenwurzen NORD, III = Mostviertel-Eisenwurzen SÜD.

Die Methanhektarerträge ganzer Fruchtfolgen ergeben sich aus der Summe der Methanhektarerträge der Kulturen dividiert durch die Anzahl der Fruchtfolgejahre.

<sup>3</sup>NUTS (zu deutsch „Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik“) ist eine allgemeine, hierarchisch aufgebaute, dreistufige territoriale Gliederung der EU-Staaten, wobei die NUTS-Einheiten in der Regel aus einer Verwaltungseinheit oder der Gruppierung mehrerer Einheiten bestehen. Die NUTS-Gliederung dient sowohl statistischen Zwecken als auch – auf den Ebenen II und III – zur Beurteilung möglicher Regionalförderungen (BMLFUW 1998: S. 312).



Aufbauend auf diesen Daten wurden drei verschiedene Kategorien von Modellfruchtfolgen formuliert:

1. Regionstypische Modellfruchtfolgen (= Ist-Zustand, Ergebnisse nicht dargestellt)
2. Fruchtfolgen für den Energiepflanzenanbau (I) mit dem Ziel der Methanhektarertragsoptimierung unter Berücksichtigung ethischer und ökonomischer Rahmenbedingungen (Kulturarten mit einem hohen Methanhektarertrag werden in die Fruchtfolge eingegliedert; Kulturen mit hohem Marktpreis bzw. Kulturen, die zur menschlichen Ernährung dienen und aus ökonomischen bzw. ethischen Gründen nicht in der Biogasanlage vergärt werden sollen, werden als Marktfrüchte verkauft; keine Vergärung von Stroh und Zwischenfrüchten, da dies wegen des niedrigen Methanertrages pro Hektar nicht wirtschaftlich ist (WALLA & SCHNEEBERGER 2005a))
3. Fruchtfolgen für den Energiepflanzenanbau (II) mit dem Ziel maximaler Methanhektarerträge (alle Nebenprodukte werden der Biogasanlage zugeführt)

#### Ergebnisse und Diskussion:

Die Methanhektarerträge der Fruchtfolgen I betragen 830 bis 1700 Nm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Tab. 2). Die Fruchtfolgen II erzielen 2430 bis 3650 Nm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Tab. 3).

Tab. 2: Methanhektarerträge (Nm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) biologischer Fruchtfolgen (I) unter Berücksichtigung ethischer und ökonomischer Rahmenbedingungen.

| Untersuchungsregionen                                      | Fruchtfolgeglieder*  | Nm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> |
|--|--|--|
| I. Trockengebiet:<br>Weinviertel                           | <u>1.1 a: Ohne Tierhaltung (mit Hack- u. Ölfrüchten):</u><br>1. <b>Luzerne</b> , 2. <b>Luzerne</b> , 3. WW (ZF), 4. <b>Silomais</b> , 5. Kartoffel, Ölkürbis (ZF), 6. WW (ZF), 7. SG             | 1 479  |
|  | <u>1.1 b: Ohne Tierhaltung (ohne Hack- u. Ölfrüchten):</u><br>1. <b>Luzerne</b> , 2. <b>Luzerne</b> , 3. WW (ZF), 4. <b>Silomais</b> , 5. Körnererbse, Winterroggen, 6. WW (ZF), 7. SG           | 1 479  |
| II. Übergangsbereich:<br>Mostviertel –<br>Eisenwurzen NORD | <u>2.1 a: Ohne Tierhaltung (6-jährige Fruchtfolge):</u><br>1. <b>Kleegras</b> , 2. <b>Kleegras</b> , 3. WW (ZF), 4. <b>Silomais (10,6%**)</b> und Kartoffel (6%), 5. WW, Dinkel, 6. Winterroggen | 1 704  |
|  | <u>2.1 b: Ohne Tierhaltung (5-jährige Fruchtfolge):</u><br>1. <b>Kleegras</b> , 2. WW (ZF), 3. <b>Silomais (14%**)</b> und Kartoffel (6%), 4. WW u. Dinkel, 5. Winterroggen                      | 1 391  |
|  | <u>2.2 a: Mit Schweinehaltung:</u><br>1. <b>Kleegras</b> , 2. Kleegras, 3. WW (ZF), 4. <b>Silomais</b> , 5. Wintergerste und Dinkel (ZF), 6. Sojabohne (ZF), 7. SG u. Hafer                      | 1 219  |
|  | <u>2.3 a: Mit Rinderhaltung:</u><br>1. <b>Kleegras</b> , 2. WeWi, 3. Triticale (ZF), 4. SG u. Triticale  | 829  |
| III. Nördliche Randalpen: Mostviertel –<br>Eisenwurzen SÜD | <u>3.1 a: Mit Rinderhaltung:</u><br>1. <b>Kleegras</b> , 2. Kleegras, 3. <b>Silomais (10%**)</b> und WW (10%), 4. Triticale (ZF), 5. SG  | 1 135  |

Legende: WW = Winterweizen, ZF = Zwischenfrucht, SG = Sommergerste, Nm<sup>3</sup> = Norm-Kubikmeter, WeWi = Wechselwiese, \* fett gedruckte Fruchtfolgeglieder werden in der Biogasanlage vergoren, \*\* Prozentanteil an der gesamten Fruchtfolge.

Die höchsten Werte werden auf Betrieben mit einem hohen Anteil an energetisch genutzten Feldfutter-Pflanzen erreicht. Zusätzlich ergeben sich bei den viehhaltenden Betrieben noch Methanhektarerträge aus der vergorenen Rinder- bzw. Schweinegülle in Höhe von 100 – 300 Nm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Bei den Fruchtfolgen II müssen die viehhaltenden Betriebe Kraftfutter zukaufen. Trotzdem kann es bei Betrieben mit Rinderhaltung zu einer Einkommenserhöhung durch zusätzliche Erlöse aus der Biogasproduktion kommen, allerdings bei steigendem Arbeitszeitbedarf (WALLA & SCHNEEBERGER 2005b).

Tab. 3: Methanhektarerträge ( $\text{Nm}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) biologischer Fruchtfolgen (II) mit dem Ziel maximaler Methanerträge.

| Standorträume   | Fruchtfolgeglieder*   | $\text{Nm}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ |
|---|---|--|
| I. Trockengebiet:<br>Weinviertel                                | <u>1.1 a: Ohne Tierhaltung:</u><br>1. Luzerne, 2. Luzerne, 3. WW* (ZF), 4. Silomais (ZF),<br>5. SB*** und SB-Presskuchen (ZF), 6. Silomais (ZF), 7.<br>SG (GPS)   | 2 762                                      |
| II. Übergangsbereich:<br>Mostviertel –<br>Eisenwurzen NORD      | <u>2.1 a: Ohne Tierhaltung:</u><br>1. Klee gras, 2. Klee gras, 3. WW* (ZF), 4. Silomais,<br>5. Winterroggen und Silomais (Zweitfrucht), 6. SG<br>(GPS)            | 3 647                                      |
|   | <u>2.2 a: Mit Schweinehaltung:</u><br>1. Klee gras, 2. Klee gras, 3. WW* (ZF), 4. Silomais (ZF),<br>5. Sojabohne (13,3%) und Dinkel (3,3%**) (ZF), 6. SG<br>(GPS) | 2 839                                      |
|   | <u>2.3 a: Mit Rinderhaltung:</u><br>1. Klee gras, 2. Klee gras, 3. Triticale**** (ZF), 4. SG<br>(GPS)   | 2 394                                      |
| III. Nördliche Rand-<br>alpen: Mostviertel –<br>Eisenwurzen SÜD | <u>3.1 a: Mit Rinderhaltung:</u><br>1. Klee gras, 2. Klee gras, 3. WW (10%**) und Silomais<br>(10%**), 4. Triticale**** (ZF), 5. SG (GPS)                         | 2 429                                      |

Legende: siehe Tabelle 2, GPS = Ganzpflanzensilage, SB = Sonnenblume, \* Stroh vergoren, Körner verkauft, \*\*\* Sonnenblumenrestpflanze (Körner zur Ölgewinnung), \*\*\*\* Stroh vergoren, Körner verfüttert.

### Schlussfolgerungen:

Der Anbau von nachwachsenden Energiepflanzen trägt zum Klimaschutz bei, bietet der Landwirtschaft Einkommensalternativen und stärkt den ländlichen Raum. Energiepflanzenfruchtfolgen müssen sich aber an den klimatischen Bedingungen und an den Bodeneigenschaften orientieren und somit standortbezogen sein. Standortangepasste und ökologisch ausgewogene Fruchtfolgesysteme können im biologischen Landbau als Zusatznutzen relevante Methanerträge liefern.

### Literatur:

Amon T. und Hopfner-Sixt K. (2005): Analyse und Optimierung neuer Biogasanlagen. Projektnr. 809288 / 8539 KA/SA, 2004 – 2005. Im Auftrag der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) – Austrian Research Promotion Agency. Institut für Landtechnik, Universität für Bodenkultur, Wien.

Amon T. (2003): Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras. Endbericht Juli 2003. Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik, BOKU, Wien. 88 S.

BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft), (2002): Standarddeckungsbeiträge und Daten für die Betriebsberatung im Biologischen Landbau 2002/2003. Wien, 190 S.

Eder M. (2005): persönliche Mitteilung, Mai 2005. Institut für Agrar- und Forstökonomie, Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, Feistmantelstrasse 4, 1180 Wien, Österreich.

Kratochvil R. (2003): Betriebs- und regionalwirtschaftliche Aspekte einer großflächigen Bewirtschaftung nach den Prinzipien des Ökologischen Landbaus am Beispiel der Region Mostviertel-Eisenwurzen. Dissertation, Univ. f. Bodenkultur Wien.

KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (2005): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.

Walla C., Schneeberger W. (2005a): Energiepflanzenproduktion in viehlosen Biobetrieben. Berichte ü. Landwirtschaft 84/1.

Walla C., Schneeberger W. (2005b): Ökonomische Analysen zum Betriebszweig Energiepflanzenproduktion für Biogasanlagen. In: Austrian Biomass Association: Proceedings - Central European Biomass Conference 2005, 26. 29.1.2005, Graz; Eigenverlag, Wien.

### Auswirkungen der Einbindung einer Biogasanlage in ein ökologisches Betriebssystem

#### Effects of integrating a biogas plant into an organic farming system

S. Helbig<sup>1</sup>, R. Grass<sup>2</sup> und K.-J. Hülsbergen<sup>1</sup>

**Keywords:** biogas, nutrient management, farming system

**Schlüsselwörter:** Biogas, Nährstoffmanagement

**Abstract:**

*Biogas plants gain increasing circulation in organic agriculture. Among systems engineering effects on matter cycles, soil, plants and environment particularly depend on the integration of the biogas plant into the farming system. Ecological effects should already be taken into consideration in the planning stage. Therefore appropriate tools are required.*

*In this contribution ecological effects of changing an organic cash crop farming system into a biogas system are shown by using an established modelling approach. Starting from an existing cash crop farm a biogas-scenario was developed which includes e. g. structural adaptations of the cultivation system and crop rotation, the use of internal products and manuring. The biogas plant was conceived as a joint plant so that matter flows between the examined farming system and neighbouring farms occur. Scenario calculations show that the integration of a biogas plant with a capacity of 350 kW<sub>e</sub> on a 250 ha cash crop farm leads to intensified nitrogen flows by what yield potentials but also potential nitrogen losses increase. Energy input as well as energy tie-up in crop production rise. Energy efficiency (output/input-relation) is highly dependent on the chosen energy crop. Planning energy crop rotations risks of soil erosion and minimizing strategies need to be taken into consideration. Plant capacities are to be compared with biomass yields. Yield potentials of energy crops have to be realistically estimated in consideration of ecological aspects to avoid incorrect planning.*

**Einleitung und Zielsetzung:**

Die Einbindung von Biogasanlagen in ökologische Betriebssysteme kann zu deren Intensivierung und damit zu einer erhöhten Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe führen. Nach CLEMENS & AHLGRIMM (2001) können durch die Biogastechnologie Treibhausgasemissionen auf Betriebsebene vermindert werden. Den Chancen stehen jedoch auch ökologische Risiken gegenüber, die auf umgestaltete Betriebsstrukturen und den Einsatz von Gärrestgülle als einem Düngesubstrat mit hohem Anteil anorganischen Stickstoffs zurückzuführen sind. Insbesondere für ökologische Marktfruchtbetriebe ist eine deutliche Veränderung betrieblicher Stoffströme zu erwarten.

Die Einbindung einer Biogasanlage in das Produktionssystem erfolgt betriebsindividuell und bewirkt komplexe Wechselwirkungen innerhalb des Betriebskreislaufes. Daher kann die Betrachtung von Einzelaspekten oder betrieblicher Fallbeispiele nur eingeschränkt Aussagen zu ökologischen Wirkungen des Biogaseinsatzes im Ökologischen Landbau liefern. Es ist notwendig, eine Methode zu etablieren, mit der eine repräsentative Anzahl von Betriebssystemen mit Biogasanlagen untersucht und anhand eines Sets ökologischer Indikatoren vergleichbare und reproduzierbare Aussagen im Systemzusammenhang getroffen

---

<sup>1</sup>LS für Ökologischen Landbau, TU München, 85350 Freising, Deutschland, shelbig@wzw.tum.de

<sup>2</sup>FG Ökologischer Land- und Pflanzenbau, Universität Kassel, Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen, Deutschland

werden können. Die Modellierung von Wirkungszusammenhängen in einem landwirtschaftlichen Biogassystem erlaubt das Abschätzen potentieller Umweltwirkungen noch vor der Integration der Anlage und kann zu einer ökologisch tragfähigen Betriebsentwicklung beitragen. Am Beispiel eines Öko-Marktfruchtbetriebes werden in Szenariorechnungen Umweltwirkungen, die durch die Integration einer Biogasanlage verursacht werden, analysiert und es wird geprüft, inwieweit ein bestehendes Modell zur Abbildung und Bewertung von Stoffflüssen auf Biogasbetriebssysteme anwendbar ist.

#### **Methoden:**

Der Untersuchungsbetrieb liegt am Nordrand des Bayerischen Tertiärhügellandes. Es handelt sich um einen Öko-Marktfruchtbetrieb, der den Bau einer Biogasanlage plant. Das gemeinsam mit dem Betriebsleiter entwickelte Biogasszenario geht von der Installation einer 350 kW<sub>el</sub>-Biogasanlage aus, die ausschließlich mit pflanzlicher Biomasse betrieben wird. Die Anbaustruktur des Marktfruchtbetriebes (75% Getreide mit Weißkleeuntersaat, 25% Körnerleguminosen) wird im Szenario durch den Anbau von Energiepflanzen erweitert (26% Getreide, 13% Körnermais, 14% Körnerleguminosen, 11% Silomais, 24% Klee gras, 12% Leg./Nichtleg.-Gemenge). Damit dient etwa die Hälfte der Ackerfläche dem Anbau von Marktfrüchten, auf der restlichen Fläche werden Energiepflanzen angebaut. Im Szenario sind der Zukauf von pflanzlichen Substraten und die Ausfuhr der damit zugeführten Stickstoff(N)-Menge über Abgabe der entsprechenden Menge Gärrestgülle vorgesehen.

Die Analyse des bestehenden Marktfruchtbetriebes wie auch des Biogasbetriebsszenarios erfolgt mit dem Betriebs- und Umweltmanagementsystem REPRO (HÜLSBERGEN 2003). In das Modell sind die Methoden für die Bilanzierung von Stickstoff- und Energieflüssen nach HÜLSBERGEN (2001), die Abschätzung der N-Verlustpotentiale nach ABRAHAM (2001) und die Berechnung der Erosivität von Fruchtfolgen nach SIEBRECHT et al. (2006) integriert.

Die Biogasertragspotentiale der Gärsubstrate werden anhand der Trockenmasseerträge und der spezifischen Gasbildungspotentiale berechnet (Lfl 2006).

#### **Ergebnisse und Diskussion:**

In Abb. 1 sind die Stickstoffflüsse des Marktfruchtbetriebes dargestellt. Erkennbar ist die wesentliche Stickstoffzufuhr in den Betrieb über die N-Fixierung der Leguminosen (Bilanzgrößen ‚Immissionen‘ und ‚Saatgut‘ nicht dargestellt) und die Rückführung großer Mengen Stickstoffs über Ernte- und Wurzelrückstände in den Boden. Insgesamt zeigt sich der Betrieb als nährstoffextensives System; es werden vernachlässigbar geringe N-Verlustpotentiale über Denitrifikation und Auswaschung ausgewiesen.

Abb. 2 zeigt die für das Biogasszenario simulierten N-Flüsse. Über den Substratzukauf gelangen ca. 100 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> in den Betrieb; diese N-Menge verlässt das System wieder über die Abgabe von Gärrestsubstraten. Die auf Basis von Untersuchungen (STINNER et al. 2005, RAUBUCH et al. 2005) erwartete Steigerung der Erträge und Proteingehalte im Getreide führt im Biogasszenario zu einem erhöhten N-Entzug im Ernteertrag. Durch die energetische Nutzung der Nebenprodukte und Zwischenfrüchte werden den Böden mit 26 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> nur relativ geringe N-Mengen über Ernte- und Wurzelrückstände zugeführt. Der wesentliche Anteil des N der geernteten Biomasse (103 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) gelangt in die Biogasanlage und von dort (unter Annahme N-verlustfreier Anlagen und Lagerbehälter) über die Biogasgülle in den Boden. Für den Stickstoff im Gärrest werden aufgrund des erhöhten Mineral-N-Anteils Ammoniakverluste von 16 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> bei der Ausbringung berechnet. Die Verlagerung von N mit dem Sickerwasser führt zu einer

berechneten Konzentration von  $12 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$ . Zu beachten ist jedoch, dass die N-Verluste mit dem in REPRO verwendeten Ansatz eher unterschätzt werden, da der Modellierungszeitraum nur wenige Jahre beträgt und längerfristige Effekte (Aufbau von Mineralisierungspotentialen) unberücksichtigt bleiben.

Der Aufbau des Boden- $N_{\text{org}}$ -Pools ist in beiden Systemen vergleichbar (ca.  $20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , Abb. 1 und 2). Allerdings ist die Bewertung der Humusreproduktionsleistung von Biogasgülle noch unsicher (MÖLLER et al. 2006); hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

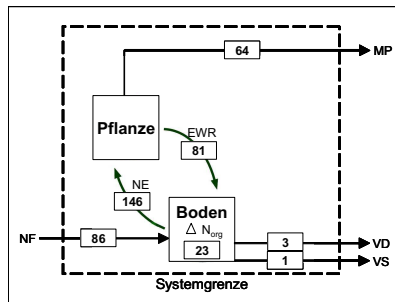


Abb. 1: Stickstoffflüsse ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) im Marktfruchtbetrieb.

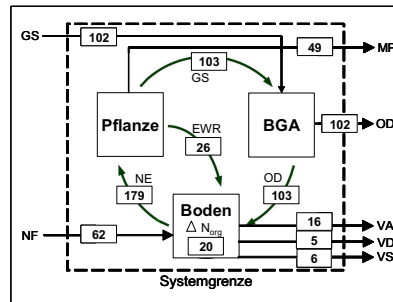


Abb. 2: Stickstoffflüsse ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) im Biogasszenario.

(NF -  $\text{N}_2$ -Fixierung; GS - zu vergärendes Substrat; NE - Nährstoffentzug; EWR - Ernte- und Wurzelrückstände; MP - pflanzliche Marktprodukte; OD - organischer Dünger, VA - Ammoniakverluste, VD - Denitrifikationsverluste, VS - sickerwassergebundene Nitratverluste).

Der Energieeinsatz steigt von  $5 \text{ GJ ha}^{-1}$  im Marktfruchtbetrieb auf  $12 \text{ GJ ha}^{-1}$  im Biogasbetriebsszenario und ist mit Ökobetrieben mit Viehhaltung vergleichbar (HÜLSBERGEN et al. 2002). Mais besitzt durch einen doppelt so hohen Energieoutput je eingesetzter Energie (Output/Input-Verhältnis 20:1) sowie durch eine um ca. 100 GJ höhere Energiebindung energetische Vorteile gegenüber mehrschnittigem Klee gras (Output/Input-Verhältnis 11:1). Diese Vorteile den fruchtartspezifischen Risiken (Humuswirkung, Unkrautdruck, Erosionsdisposition) gegenüberzustellen, bleibt in Hinblick auf eine gesamtbetriebliche Umweltbewertung eine Herausforderung.

Der C-Faktor (Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor) des Biogasbetriebsszenarios ist mit 0,10 doppelt so hoch wie der des Marktfruchtbetriebes mit 0,05. Die Erosionsgefährdung der Fruchtfolge nimmt durch die Umstellung auf das Biogassystem deutlich zu. Dabei überdeckt die stark erosive Eigenschaft des Silomaises im Szenario erosionsmindernde Maßnahmen wie Bodenbedeckung über den Winter und Anbau Gefügestabilisierenden überjährigen Klee grasses.

Die Berechnung der Gasausbeute zeigt, dass die Substrate der zugrunde gelegten Fruchtfolge nicht genügend Energie liefern, um die geplante Anlage auszulasten. Die Anlagenkapazität wird nur zu 72 % (8000 Betriebsstunden) bis 82 % (7000 Betriebsstunden) ausgeschöpft. Diese Werte stimmen mit Untersuchungen von KEMPKENS (2006) zur Auslastung von Biogasanlagen im Ökolandbau überein.

**Schlussfolgerungen:**

Die Integration einer Biogasanlage in einen ökologischen Marktfruchtbetrieb beeinflusst wesentliche Umweltbereiche. Einer vielfältigen Fruchtfolgegestaltung steht eine erhöhte Erosionsdisposition gegenüber. Entgegen der emissionsmindernden Effekte einer Biogasanlage in viehhaltenden Systemen kommt es im untersuchten Fall

durch den Einsatz der Gärrestgülle zu einem erhöhten Emissionspotential. Weiterhin werden erhöhte N-Verluste im Boden ausgewiesen. Das als Richtwert angegebene Biomassepotential von ca. 2 kWh<sub>el</sub> ha<sup>-1</sup> ist unter den Bedingungen des Ökolandbaus kaum zu erreichen. In diesem Szenario ist der ökologische Vorteil der Biogastechnologie für das Betriebssystem fraglich, was die Notwendigkeit bestätigt, Auswirkungen der Integration einer Anlage (I) betriebsspezifisch und (II) im Vorfeld der Umstrukturierung zu untersuchen. Das Modell REPRO erlaubt eine Charakterisierung von Betriebssystemen hinsichtlich wesentlicher Umweltwirkungen. Der Modellansatz wird um ein Biogasmodul erweitert, mit dem die Stoff- und Energieflüsse durch die Biogasanlage detailliert abzubilden sind. Grundlage für die Modellentwicklung und -validierung bilden umfangreiche Messreihen im Rahmen des Projekts „Wissenschaftliche Begleitung von Biogas-Pilotanlagen auf landwirtschaftlichen Betrieben in Bayern“ der Arbeitsgruppe um Dr. A. Gronauer an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft.

#### **Literatur:**

Abraham J. (2001): Auswirkungen von Standortvariabilitäten auf den Stickstoffhaushalt ackerbaulich genutzter Böden unter Berücksichtigung der Betriebsstruktur, der standortspezifischen Bewirtschaftung und der Witterungsbedingungen. Diss., Shaker-Verlag.

Clemens J., Ahlgrimm H.-J. (2001): Greenhouse gases from animal husbandry: mitigation options. Nutrient cycling in Agroecosystems 60: 287-300.

Hülsbergen K.-J., Feil B., Biermann S., Rathke G.-W., Kalk W.-D., Diepenbrock W. (2001): A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. Agriculture, Ecosystems & Environment 86: 303-321.

Hülsbergen K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habil., Berichte aus der Landwirtschaft. Shaker Verlag Aachen.

Kempkens K. (2006): Biogas im Ökologischen Landbau. Beitrag zur Tollower Vortragsveranstaltung. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. <http://landwirtschaft-mv.de/content/lfa/oeko/-pflanzen/biogasmv.pdf>, (Abruf: 13.08.2006).

LfL (2006): Biogasausbeuten verschiedener Substrate, <http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/-index.php>, (Abruf 20.08.2006).

Möller K., Leithold G., Michel J., Schnell S., Stinner W., Weiske, A. (2006): Auswirkungen der Fermentation biogener Rückstände in Biogasanlagen auf Flächenproduktivität und Umweltverträglichkeit im Ökologischen Landbau – Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Gesamtbewertung im Rahmen typischer Fruchtfolgen viehhaltender und viehloser ökologisch wirtschaftender Betriebe. Endbericht DBU.

Raubuch M., Terhoeven-Urselmanns T., Scheller E. (2005): Suspensionen aus Biogas: Qualität und Wirkung auf den Ertrag. In: Heß, J. und Rahmann, G. (Hrsg.): Ende der Nische - Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 1.-4. März 2007, 199 S.

Siebrecht N., Kainz M. und Hülsbergen K.-J. (2006): Wirkungen des Ökologischen Landbaus auf Bodenerosion. Beitrag zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau: Zwischen Tradition und Globalisierung, Hohenheim.

Stinner W., Möller K., Leithold G. (2005): Biogaserzeugung im viehlosen Betrieb: Effekte auf Stickstoffmanagement, Erträge und Qualität. In: Heß, J. und Rahmann, G. (Hrsg.): Ende der Nische: Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau: Ende der Nische, Kassel, S. 185-188.

**Strukturen landwirtschaftlicher Biogasproduktion im ökologischen Landbau in Deutschland****Structures of biogas production in organic farming systems in Germany**V. Anspach<sup>1</sup> und D. Möller<sup>1</sup>**Keywords:** biogas, production systems, development of organic agriculture**Schlagwörter:** Biogas, Betriebssysteme, Entwicklung Ökolandbau

**Abstract:** *The relevance of biogas on organic farms is increasing. To analyse the structures, development and importance of biogas production in the organic sector, telephone-based and face-to-face interviews have been carried out on more than 80 plant managers. Today at least 120 biogas plants with an electrical power of 15-20 MW<sub>el</sub> are installed. Since 2005 the number of biogas plants has increased by about 1/3, the electrical power by about 64%. Most of the plants are located on forage cropping farms, but at currently more and more so-called biogas farms have come into existence. The main reasons for acquiring biogas – beside generation income from electricity sales - are positive effects on crop production, upgrading of organic fertilisers and a sensible use of grass/clover and grassland. The acquisition of substrates and the use of maize have a great importance in organic farming.*

**Einleitung und Zielsetzung:**

In der Biogasproduktion sehen viele ökologisch wirtschaftende Betriebe ein potentiell lohnendes Betätigungsfeld, das sich wirkungsvoll in die bestehende Betriebsorganisation integrieren lässt. Positive Aspekte werden in der Möglichkeit einer verbesserten Grünland- und vor allem Klee grasverwertung bei allen Betriebsformen, insbesondere aber bei Ackerbaubetrieben gesehen. Zudem wirkt sich die Abfuhr des oberirdischen Pflanzenmaterials positiv auf die Sammelleistung der Knöllchenbakterien aus. Die deutlichsten Effekte einer Biogaswirtschaft liegen jedoch in der pflanzenbaulichen Wirkung der Biogasgülle. Durch eine exakte und gezielte Bestandesführung sind sowohl deutliche Mehrerträge als auch eine erleichterte Qualitätsproduktion möglich. Dies liegt vor allem an der besseren Fließfähigkeit und Homogenität sowie den hohen Ammoniumanteil und der dadurch besseren Verfügbarkeit des Stickstoffs in der Biogasgülle (MÖLLER et al. 2006).

Auch für Ökobetriebe stellt sich jedoch die Herausforderung, wirtschaftlich sinnvolle Verfahren zur Produktion von nachwachsenden Rohstoffen zu entwickeln. Dies bedeutet zum einen niedrige Produktionskosten bei hohen Flächenerträgen und zum anderen günstige sowie langfristig verfügbare Flächen. Darüber hinaus müssen trag- und zukunftsfähige Konzepte zur Einbindung von Biogasanlagen in den landwirtschaftlichen Betrieb entwickelt werden, die die Aspekte Stromerzeugung, Wärmenutzung und Nährstoffmanagement optimal verbinden (MÖLLER 2006). Es stellt sich die Frage, welche Betriebe Biogasanlagen nach welchen Konzepten betreiben. Dafür ist die Analyse vorhandener Strukturen und der Bedeutung von Biogasanlagen im ökologischen Landbau notwendig.

---

<sup>1</sup>Fachgebiet Betriebswirtschaft, Universität Kassel - Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Steinstraße 19, 37213 Witzenhausen, Victor Anspach: vanspach@uni-kassel.de, Detlev Möller: d.moeller@uni-kassel.de

**Methode:**

Die Entwicklung und Bedeutung von Biogasanlagen im Ökolandbau sowie die Strukturen und Betriebskonzepte der Betriebe sind bisher nicht untersucht. Aus diesem Grund wurde eine Strukturanalyse vorgenommen, die wesentliche Aspekte der Betriebskonzeption und zur Biogasanlage erfasst (Tab.1). Die Recherche nach Betrieben mit Biogasanlage erfolgte in Zusammenarbeit mit Ökoverbänden, Ministerien und durch persönliche Kontakte. Auf Basis qualitativer persönlicher Interviews oder telefonischer Befragung wurden grundlegende Daten über die Biogasanlagen und die Betriebsstruktur von 83 Betrieben gesammelt. Betriebsdaten und Daten zu den Biogasanlagen liegen für alle Betriebe vollständig vor. Daten der Spalte „Im Aufbau“ basieren auf persönlichen Interviews bei 20 Betrieben, die im Sommer 2006 durchgeführt wurden. Ergänzt wurde die Befragung durch Experteninterviews.

**Tab. 1:** Erfasste Parameter.

| Betriebsdaten   | Daten zur Biogasanlage  | Im Aufbau  |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Betriebsgröße</li> <li>- Betriebsausrichtung</li> <li>- Verbandszugehörigkeit</li> <li>- Region</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Art der Biogasanlage</li> <li>- Baujahr</li> <li>- Leistung               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Substratzusammensetzung und Substratzukauf</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gründe für den Bau</li> <li>- Wärmenutzungskonzepte</li> <li>- Pflanzenbauliche Auswirkung</li> <li>- Wirtschaftlichkeit</li> </ul> |

Folgend werden ausgewählte Untersuchungsergebnisse vorgestellt.

**Ergebnisse und Diskussion:**

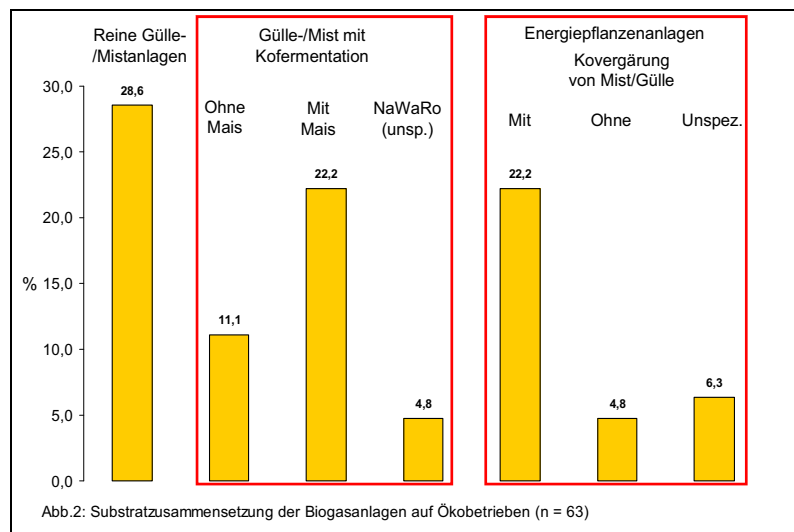
Ökobetriebe gehören zu den Pionieren der Biogasbranche. Die erste noch heute betriebene Biogasanlage auf einem Ökobetrieb stellt eine 20 kW<sub>el</sub> Anlage dar, die 1981 in Hessen errichtet wurde. Insgesamt sind 4 noch heute betriebene Biogasanlagen aus den 80er Jahren bekannt. In den 90er Jahren ist die Entwicklung durch ein gleichmäßiges kontinuierliches Wachstum geprägt. Pro Jahr wurden ca. 3 Biogasanlagen mit einer durchschnittlichen Leistung von 40 kW<sub>el</sub> gebaut. Bis zum Jahr 2005 setzte sich diese Entwicklung fort, wobei die durchschnittlich installierte Leistung auf ca. 140 kW<sub>el</sub> stieg. Ein regelrechter Biogasboom entstand ab den Jahren 2005/06. Allein 2006 bis Frühjahr 2007 entstanden so viele Biogasanlagen wie in den 6 Jahren zuvor. Die neu installierte Leistung beträgt über 8 MW<sub>el</sub> und stellt damit ca. 64% der gesamten installierten Leistung auf Ökobetrieben dar. Die durchschnittliche Leistung stieg auf über 300 kW<sub>el</sub> je neuer Biogasanlage. Im Durchschnitt aller Biogasanlagen auf Ökobetrieben liegt sie bei ca. 180 kW<sub>el</sub> und damit um etwa 100 kW<sub>el</sub> niedriger als auf konventionellen Betrieben (FNR 2005). Der Grund liegt in der relativ hohen Anzahl älterer und damit kleinerer Anlagen. Im Vergleich neu installierter Anlagen sind jedoch kaum Unterschiede zwischen Anlagen auf ökologischen und konventionellen Betrieben feststellbar. Bereits heute wird über die Hälfte des erzeugten Stroms von Biogasanlagen mit einer installierten Leistung von 500 kW<sub>el</sub> oder mehr produziert. Mindestens 3% aller Biogasanlagen in Deutschland sind auf Ökobetrieben angesiedelt, rund die Hälfte dieser Anlagen ist in Baden-Württemberg zu finden. Da in einigen Bundesländern die Datenerhebung noch nicht abgeschlossen ist, wird von insgesamt 120-150 Biogasanlagen ausgegangen werden, dies entspricht einem Anteil von rund 5% aller Anlagen. Die elektrische Gesamtleistung beträgt etwa 15-20 MW<sub>el</sub>.

Den überwiegenden Anteil der Betriebe stellen Futterbaubetriebe mit ca. 70%. Jeweils ca. 10% sind Ackerbau-, Gemischt- oder Biogasbetriebe. Letztere sind erst in den vergangenen drei Jahren aus Futterbaubetrieben entstanden und haben ihre Tierhaltung aus unterschiedlichen Gründen ausgegliedert oder abgeschafft.



Biogasbetriebe sind dadurch gekennzeichnet, dass sie über 50% des Betriebseinkommens mit der Biogasanlage erwirtschaften. Ihre Substratgrundlage besteht aus Energiepflanzen, vor allem Gras- und Kleegrassilagen. Drei Anlagen wirtschaften gänzlich ohne Wirtschaftsdünger, die Hälfte der Biogasbetriebe ohne die Nutzung von Mais als Substrat. Ein Drittel aller Biogasanlagen sind reine Gülle- bzw. Festmistanlagen mit ausschließlicher Kovergärung von Silageabraum und Futterresten. Ein weiteres Drittel führt seine Biogasanlagen gülle- bzw. mistbasiert mit Kovergärung von Energiepflanzen. Als Energiepflanzen werden vor allem Gras- und Kleegrassilage, Getreide-GPS, Mais und Getreide eingesetzt. Von diesen Betrieben nutzen zwei Drittel Mais als Substrat (eigen und/oder zugekauft), ein Drittel verzichtet auf Mais. Energiepflanzenanlagen stellen ca. ein Viertel aller Biogasanlagen. 22% der Anlagen sind Energiepflanzenanlagen mit und ca. 5% ohne Kovergärung von Wirtschaftsdünger. Bei Anlagen mit der Bezeichnung „unspezifisch“ (Abb. 2) ist die genaue Substratzusammensetzung nicht bekannt. Rund die Hälfte aller Biogasanlagen nutzt zugekaufte Substrate, die überwiegend aus konventionellem Anbau stammen.

Hauptgründe für den Bau einer Biogasanlage lagen bei den meisten Landwirten, neben der Stromproduktion, in der positiven pflanzenbaulichen Wirkung der Biogasgülle, der Veredlung von Wirtschaftsdünger und einer sinnvollen Nutzung von überschüssigen Klee gras- und Grünlandbeständen. Die Ertragssteigerungen durch die Biogasgülle werden von den Landwirten auf etwa 20-30% beziffert, bei gleich bleibend hohen oder sogar besseren Qualitäten. Gerade die Möglichkeiten eines effizienteren Nährstoffmanagements werden sehr positiv bewertet.



**Schlussfolgerungen:**

Unter Ökobetrieben ist in den letzten Jahren eine sehr hohe Nachfrage nach Biogasanlagen entstanden. Die starken direkten und indirekten positiven Effekte auf den Pflanzenbau schlagen sich in einer deutlich erhöhten Wertschöpfung auf den Betrieben nieder. Dies wird von den Landwirten als größter Vorteil beschrieben. Der Zukauf von Substraten wird von vielen Betrieben als notwendig zur Deckung des Rohstoffbedarfs erachtet. Mais stellt auch im Ökolandbau ein wichtiges Substrat dar. Die relative Bedeutung der Biogastechnologie ist im Ökolandbau genauso hoch wie in der konventionellen Landwirtschaft. Aus diesem Grund sollten verstärkt ökolandbauspezifische Forschungsfragen bearbeitet werden, da die Ergebnisse aus herkömmlichen Untersuchungen nur sehr eingeschränkt auf Fragen des Ökolandbaus übertragbar sind.

**Literatur:**

FNR (2005): Basisdaten Biogas Deutschland. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow.

Möller D. (2006): Ist Biogas eine neue Chance? DLG-Mitteilungen 5/2006, S. 48-51.

Möller K., Leithold G., Michel J., Schnell S., Stinner W., Weiske A. (Hrsg.)(2006): Auswirkung der Fermentation biogener Rückstände in Biogasanlagen auf Flächenproduktivität und Umweltverträglichkeit im Ökologischen Landbau. Endbericht: DBU – AZ15074, Gießen/Leipzig.