

**Aus dem Institut für Ökologischen Landbau Trenthorst**

Hans-Marten Paulsen  
Gerold Rahmann

**Wie sieht der energieautarke Hof mit optimierter  
Nährstoffbilanz im Jahr 2025 aus?**

Veröffentlicht in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 274

Braunschweig  
**Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)**  
2004



# Wie sieht der energieautarke Hof mit optimierter Nährstoffbilanz im Jahr 2025 aus?

Hans Marten Paulsen und Gerold Rahmann<sup>1</sup>

## 1 Einleitung

Landwirtschaftliche Betriebe sind Produzenten von Biomasse. Erzeugt werden Pflanzen, Tiere, tierische Produkte und Wirtschaftsdünger, die als Verkaufsprodukt, Futter, Energiequelle oder als Dünger genutzt werden. Grundlage für die tierische Erzeugung ist die Pflanzenproduktion. Motor des Pflanzenwachstums sind Sonnenlicht, Wasser, Kohlendioxid und Nährstoffe. Zusätzlich beansprucht Pflanzenbau Fläche. Dies ist für alle Betriebstypen gleich.

Im ökologischen Landbau bestehen jedoch durch die zugrunde liegende Produktionsweise und die Philosophie des Anbausystems einige Besonderheiten, die hinsichtlich der weiteren Verbesserung der Umweltverträglichkeit und der Leistungsfähigkeit der Produktion deutliches Optimierungspotenzial aufweisen. Durch den Verzicht auf chemisch-synthetische Düngemittel besteht hier ein systemimmanenter Zwang zur Verbesserung der Nährstoffeffizienz. Weiterhin wäre eine weitere Verbesserung der Umweltfreundlichkeit der Produktion, z. B. auch durch die Erzeugung eigener Energie, ein zusätzlicher Benefit für das Marketing der Betriebe. Auch für die politische Ausgestaltung der Landwirtschaft der Zukunft wird die Gestaltung umweltfreundlicher Betriebe mit günstiger Kohlenstoff(C)- und Stickstoff(N)-Bilanz richtungweisend sein.

Im Folgenden wird aufgezeigt, welche Möglichkeiten ein ökologisch wirtschaftender Betrieb hat, um sich dem Ideal der energieautarken und nährstoffoptimierten Produktion anzunähern. Bis 2025 wäre es durch entsprechende Ausgestaltung der politischen Rahmenbedingungen durchaus möglich, auf breiter Basis umweltfreundliche Produktionseinheiten dieser Art eingeführt zu haben.

---

<sup>1</sup> Dir. und Prof. PD Dr. Gerold Rahmann und Dr. Hans-Marten Paulsen, Institut für ökologischen Landbau (FAL), Trenthorst 32, 23847 Westerau  
E-Mail: gerold.rahmann@fal.de, hans.paulsen@fal.de

## **2 Besonderheiten des ökologischen Landbaus und Optimierungspotenzial**

### **2.1 Zwang zur Gründüngung**

Im ökologischen Landbau besteht durch den Zwang zum Leguminosenanbau die Notwendigkeit von Grünbrachen oder von Feldfutterbau. Auch Leguminosen als Untersaaten und Zwischenfrucht zur N-Anreicherung sowie Nichtleguminosen als Winterzwischenfrüchte, um Nährstoffe vor der Auswaschung zu schützen, sind unverzichtbare Bestandteile ökologischer Fruchtfolgen. Auch wenn ökologische Betriebe in der Gesamt N-Bilanz geringere Überschüsse aufweisen als konventionelle Betriebe (KORSAETH und ELTUN, 2000) ist der Leguminosenbau ein „hot spot“ für N-Austräge (BERRY et al., 2003; JENSEN et al. 2004) und das Einarbeiten organischer Grünmasse eine relativ ungezielte Art der Düngung. Unter den Gesichtspunkten der Düngungseffizienz und des Umweltschutzes haben Grünbracheflächen daher ein Optimierungspotenzial. Jedoch ist der Düngewert von Gründüngungsflächen (LOGES, 1998) in der Vollkostenrechnung zu berücksichtigen (LABER, 2003) und besonders in ökologischen Betrieben ein wesentlicher Faktor für das Betriebseinkommen.

### **2.2 Mangel an beweglichen Nährstoffquellen im Betrieb**

Ökologisch wirtschaftende Betriebe können Ihren Nährstoffbedarf nur begrenzt durch den Import von Düngemitteln decken. Zulässig sind z. B. die Zufuhr von P, K und Mg aus natürlichen Quellen im Rahmen einer Entzugsdüngung oder dann, wenn eine unzureichende Bodenversorgung nachgewiesen wird. Als N-haltige Dünger dürfen Wirtschaftsdünger sowie organisches Material aus ökologischer Erzeugung importiert werden (EU, 1991). Jedoch wird dieses Material meist in den Betrieben benötigt in denen es anfällt. Es steht damit für Betriebe ohne Viehhaltung in der Regel nicht zur Verfügung.

In allen viehhaltenden Betrieben werden Körnerfrüchte und Stroh zu tierischen Produkten aber auch zu Wirtschaftsdünger veredelt; in wiederkäuerhaltenden Betrieben auch die Grünmasse des Feldfutterbaus. Dadurch existieren hier mobile Nährstoffmengen, mit denen Versorgungsengpässe bei der pflanzlichen Produktion geschlossen werden können. Die konsequente Nutzung jedes Grünaufwuchses als Viehfutter ist unter Gesichtspunkten der Futterqualität, der benötigten Futtermenge und auch aus Kostengründen jedoch meist nicht möglich. Während Gülle, Jauche und Biogasgülle N in pflanzenverfügbarer Form enthalten und daher pflanzenbedarfsgerecht ausgebracht werden können, erfordert die N-Freisetzung von Stallmist und unvergorenen organischen Materialien deutlich mehr Zeit und ist unkontrollierter. Zudem werden die festen Materialien meist vor dem Anbau der Kulturpflanzen ausgebracht, so dass Pflanzenwachstum und Umweltbelastungen beim Einsatz dieser Düngerformen weniger steuerbar sind.

Bei Grünbracheflächen im Rahmen der zurzeit noch gültigen konjunkturellen Flächenstilllegung verbleibt vor allem bei viehlosen Betrieben die oberirdische organische Masse meist vollständig auf den Flächen. Die darin enthaltenen Nährstoffmengen sind damit immobil und können nur relativ ungezielt ausgenutzt werden.

Die Verordnungen zum ökologischen Landbau favorisieren zwar eine Bodendüngung statt einer Pflanzendüngung, jedoch wäre es im Sinne der Einsparung ohnehin knapper Pflanzennährstoffe und der Vermeidung von Nährstoffausträgen für den ökologischen Landbau sehr interessant, anstelle von festen organischen Wirtschaftsdüngern oder in den Boden eingearbeiteten Pflanzenmaterialien mobile wirksame Düngemittel zu erzeugen und deren pflanzenverfügbare Nährstoffe gezielt in den Versorgungslücken der Pflanzen zuzuführen. Die Schaffung solcher mobilen Düngepools ist daher für alle Betriebstypen anzustreben.

### **2.3 Marketingansatz: Umwelt- und klimafreundlich**

Umweltfreundliche Produktion ist ein wichtiges Kriterium für die Kaufentscheidung ökologisch erzeugter Produkte. Zunehmend gelangen auch Gesichtspunkte und Möglichkeiten des Klimaschutzes durch den Anbau nachwachsender Energieträger ins öffentliche und politische Interesse. Die Nutzung betriebseigener regenerativer Treibstoffe oder der Anbau von Energiepflanzen für die Vergärung in Biogasanlagen sind auch im ökologischen Landbau heute bereits Gegenstand verschiedener Forschungsprojekte (BMU, 2004; MÖLLER, 2003).

Der in ökologischen Betrieben notwendige oben beschriebene Leguminosenanbau bietet hier Chancen zur Biomassebereitstellung für die Energiegewinnung. Die Einführung von Biogasanlagen in landwirtschaftliche Betriebe führt zu einer Kombination der Aspekte der CO<sub>2</sub>-neutralen Energiebereitstellung und der Mobilisierung organisch gebundener Pflanzennährstoffe (MÖLLER, 2003) und wird daher 2025 besonders im ökologischen Landbau ein wichtiger Bestandteil der Produktion sein.

## **3 2025: Biogasanlagen zur Optimierung der Nährstoffverteilung und -ausnutzung**

In Biogasanlagen können erhebliche Energiemengen erzeugt werden. Bei der Vergärung von Gülle werden Kofermentate für einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen für notwendig erachtet (KEYMER, 2002). Bei der Kofermentation von Gras und Grassilage wird mit Biogasmengen zwischen ca. 100 und 500 m<sup>3</sup>/t Frischmasse gerechnet (KEYMER und ACHNER, 2003). In Marktfruchtbetrieben können Trockenfermentationsverfahren zur Vergärung von Pflanzenmaterial eingesetzt werden (ASCHMAN und MITTERLEITNER, 2002). Die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen wird jedoch überwiegend von der Stromerzeu-

gung und der Einspeisevergütung beeinflusst (KÖTTNER, 2002), da z. B. die Nutzung der entstehenden Wärme nur in wenigen Fällen vollständig möglich ist (KEYMER, 2002). Die Rentabilität der Biogasproduktion wird aber auch in Zukunft stark von betriebsspezifischen Rahmenbedingungen abhängen und über Investitionsentscheidungen entscheiden. So ist zum Beispiel der betriebsinterne Düngewert der Biogasgülle für ökologische Betriebe sicherlich höher anzusetzen, als in den gängigen Kalkulationen für Biogasanlagen, da Nachhaltige Düngemittel nicht importiert werden können. Auch gibt es im ökologischen Landbau heute bereits erhebliche Probleme mit der P-Nachlieferung aus Böden (SCHULTE, 1996; EMMERLING und SCHRÖDER, 1999; PAGEL et al., 1999; OEHL et al., 2002). Die ausschließlich als Dünger zulässigen Rohphosphate haben erhebliche Wirkungsdefizite gegenüber aufgeschlossenen P-Düngern. Daher wird in Zukunft für ökologische Betriebe auch die Zufuhr von dem pflanzenverfügbarem P, das vorher von Pflanzen aufgenommen wurde und in die Biogasgülle gelangt, unverzichtbares Element in der Düngung werden und die Rentabilität der Biogasanlagen zusätzlich zu steigern.<sup>2</sup>

Zum Beispiel liefert bei einer Grünbrache ein Schnitt mit  $15 \text{ t ha}^{-1}$  bei vorsichtiger Abschätzung ca.  $1.500 \text{ m}^3$  Biogas (kalkuliert mit Werten für Wiesengras nach KEYMER und SCHILCHER, 2003). Das entspricht  $8.400 \text{ kWh}$  und damit ca.  $840 \text{ l Heizöl}$ . Zusätzlich werden pro Hektar ca.  $100 \text{ kg N}$  und  $8 \text{ kg P}$  abgefahren und in der Biogasanlage mobilisiert. Werden alle Aufwüchse der Flächen konsequent zu Biogas vergoren können pro Hektar zwischen  $10$  und  $400 \text{ N}$  für die Düngung verfügbar werden (Tabelle 1) und große Mengen Heizöl ersetzt werden.

**Tabelle 1:** N-Entzüge durch vergärbare Aufwüchse

Vergärbare Aufwüchse	N-Menge ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
Kleegras	250 - 400
Zwischenfrüchte	50 - 120
Erbsenstroh	40 - 80
Getreidestroh	10 - 30
Rapsstroh	40 - 80

Quelle: Möller (2004); Rapsstroh ergänzt.

<sup>2</sup> Grundsätzlich ist die Frage der Verwendung von Klärschlämmen bzw. menschlicher Fäkalien neu zu diskutieren. Deren Rohstoffe wie Phosphor, Kalium und andere Elemente sowie Nährstoffe stellen eine wertvolle Ressource dar und werden langfristig für einen „wirklich“ nachhaltigen Stoffkreislauf benötigt werden. Dann sind aber die mit Klärschlamm verbundenen Risiken wie pathogene Keime, Reststoffe von Medizinalstoffen und Hormonen, organische und anorganische toxische Verbindungen, Schwermetalle etc. zu eliminieren, damit eine Belastung von Böden, Luft und Wasser vermieden wird. Es gibt bereits heute konzeptionelle Ansätze der getrennten Sammlung von menschlichen Fäkalien und sonstigen Abwässern. Hier ist jedoch ein erheblicher infrastruktureller Aufwand notwendig, der in den nächsten 20 Jahren nicht bewältigt werden kann. Deswegen wird dieses Thema hier nicht weiter behandelt.

Bei der Betrachtung ganzer Fruchtfolgen wird deutlich, dass in viehlosen Betrieben (Tabelle 2) für die düngerbedürftigen Kulturen durch konsequente Vergärung von Grünschnitten und Stroh in Biogasanlagen erhebliche N-Mengen als mobil einsetzbarer Dünger zur Verfügung gestellt werden können. Für 6 ha Anbaufläche sind dies nach der Abschätzung 500 kg N und zusätzlich 70 kg P, also durchschnittlich 80 kg ha<sup>-1</sup> N und 11 kg ha<sup>-1</sup> P. Zusätzlich bleibt der im Wurzelraum der Leguminosen verfügbare N als langsam mobilisierbarer immobilere Dünger vorhanden. Im viehhaltenden Betrieb können durch Nutzung von nicht als Einstreu benötigtem Stroh und Restschnitten von Futterflächen in einer Biogasanlage, zusätzlich zur ohnehin stattfindenden Nährstoffverteilung über die Wirtschaftsdünger, ca. 40 kg ha<sup>-1</sup> N und 4-5 kg ha<sup>-1</sup> P in der Fruchtfolge verteilt werden (Tabelle 2). Durch die Entnahme der oberirdischen Pflanzenmasse wird eine unkontrollierte Nährstofffreisetzung vermieden und ungewollte Austräge vermieden.

**Tabelle 2:** Abschätzung zusätzlich verfügbarer mobiler N- und P-Mengen zur gezielten Düngung in der Fruchtfolge bei Vergärung von Grünschnitten und Stroh in einer Biogasanlage im viehlosen Betrieb

Marktfruchtbetrieb, viehlos <sup>a</sup>		für Biogas	Mobiles N u. P kg ha <sup>-1</sup>	Verfügbare Nährstoffmengen
Kleegras		3 Schnitte	300 N, 30 P	Immobil: 200 N ha <sup>-1</sup>  Mobiler Düngepool 500 N 70 P für 6 ha
Winterweizen	<<<	Stroh	20 N, 4 P	
Hafer		Stroh	20 N, 4 P	
Erbsen		Stroh	50 N, 10 P	
Winterraps	<<<	Stroh	40 N, 8 P	
Dinkel		Stroh	20 N, 4 P	
mit Kleegrasuntersaat		1 Schnitt	50 N, 10 P	

<<< = Düngung, <sup>a</sup>Fruchtfolge ‚Marktfrucht‘ im Versuchsbetrieb Trenthorst, FAL

**Tabelle 3:** Abschätzung zusätzlich verfügbarer mobiler N- und P-Mengen zur gezielten Düngung in der Fruchtfolge durch Vergärung von Grünschnitten und Stroh in einer Biogasanlage im Vieh haltenden Betrieb

Milchviehbetrieb <sup>a</sup>		für Biogas	Mobiles N u. P kg ha <sup>-1</sup>	Verfügbare Nährstoffmengen
Kleegras	<<<	1 Schnitt	100 N, 10 P	Immobil: 200 N ha <sup>-1</sup>
Kleegras		1 Schnitt	100 N, 10 P	
Winterweizen	<<<	Stallmist/Biogas		Mobiler Düngepool 280 N 32 P für 6 ha und Grünland
Hafer/Ackerbohne		Stroh	35 N, 7 P	
Erbsen/Sommergerste		Stallmist/Biogas		
Triticale mit Klee gras untersaat		Stallmist/Biogas -		
+ Grünlandflächen	<<<	1 Schnitt	50 N, 5 P	

<<< = Düngung, <sup>a</sup>Fruchtfolge ‚Milchvieh‘ im Versuchsbetrieb Trenthorst, FAL

## 4 2025: Der energieautarke Hof

### 4.1 Strom- und Wärmegewinnung

Die Strom- und Wärmegewinnung in Biogasanlagen, kann in landwirtschaftlichen Betrieben z. B. durch Windkraftanlagen, Solarzellen, Holzhackschnitzel und Holz- und Strohheizungen und Solarwärme ergänzt werden. Strom und Wärme können im landwirtschaftlichen Betrieb bereits heute schon im ausreichenden Maße für Eigen- und Betriebsbedarf zur Verfügung gestellt werden.

Laufende Forschungs- und Demonstrationsprojekte beschäftigen sich heute mit der effizienten Bereitstellung von Biomasse. So werden spezielle Maissorten mit hohem Masseertrag für den ökologischen Anbau gezüchtet (KWS, 2004). Das Zweikultur-Nutzungssystem (SCHEFFER, 2000; SCHEFFER et al. 2003) erlaubt die zweimalige Beerntung von Biomasse und/oder Körnern aufeinander folgender Früchte. Zu nennen ist z. B. das Verfahren, das von GRASS und SCHEFFER (2003) vorgestellt wurde, bei dem im Herbst als Erstkultur früh erntbare Arten für die Biomassegewinnung angebaut werden (Wintererbsen oder Rübsen) und nach der Ernte Ende Mai als Zweitkultur Mais angebaut wird. Hierbei sind bei zwei Ernten Flächenerträge von insgesamt über 25 t TM/ha möglich. Zusätzlich verbleiben durch Abfuhr der Grünmasse und starken Massenwuchs weniger auswaschungsgefährdete Rest-Nitratmengen im Boden.

Die Entwicklungen auf diesem Sektor werden bis 2025 sicherlich tragfähige Energiekonzepte hervorbringen. In Projekten wie dem Bioenergiehof Obernjesa ([www.bioenergiehof.de](http://www.bioenergiehof.de)) werden bereits heute unter anderem durch das Zweikulturnutzungskonzept lagerfähige Energiespeicher in Form feucht konservierter Biomasse erzeugt. Bei der dort in der Erprobung befindlichen Kombination von Biogasgewinnung ( $\text{CH}_4$ ) aus Presssaft siliierter Biomasse und der Gewinnung von Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) durch Vergasung (Pyrolyse) des getrockneten Pressrückstandes sollen weitere Effizienzgewinne in der Gasausbeute erzielt werden. Der Vergärungsprozess wird von überschüssigem Material befreit, welches einem eigenständigen Gasgewinnungsprozess unterzogen wird. Entwicklungen dieser Art zeigen, dass eine verbesserte und vollständigere Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung durch neue Technologien und Denkansätze weiterhin möglich ist. Eine ausschließliche Spezialisierung auf Biomassegewinnung zur Energieerzeugung ist jedoch ein Spezialfall landwirtschaftlicher Produktion.

Aber auch durch weiteres Gedankengut ökologischer Produktion, wie z. B. die Förderung der Biodiversität (IFOAM, 2002) ergeben sich Potenziale zur Nutzung von Biomasse. Ökologischer Landbau zeichnet sich durch eine höhere Biodiversität im Fruchtanbau, sowie in der Landschaftsgestaltung aus. Hecken, Feldraine und Dauerkulturen gehören hier zu den wesentlichen Elementen. Auch die Biomasse dieser Bereiche könnte zur Energiegewinnung genutzt werden. Weiterhin sind im ökologischen Landbau durch die fehlende Möglichkeit chemisch-synthetische Düngemittel einzusetzen mehr Grenzstandorte der Produktivität für einjährige Ackerkulturen vorhanden als im konventionellen Landbau. Hier könnten bei Vorhandensein entsprechender Verwertungsschienen mehrjährige Kulturen oder Dauerkulturen etabliert werden, die Nährstoffe gut ausnutzen können und die auf solchen Flächen einen nachhaltigen Ertrag liefern. Im Sinne der ökologischen Richtlinien (IFOAM, 2002) würde damit eine standortangepasste landwirtschaftliche Produktion wieder aufgenommen. Die Verwertung des Pflanzenaufwuchses der genannten Flächen in Biogasanlagen oder Heizanlagen würde einen weiteren wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Energie-, Nährstoff- und Klimabilanz ökologischer Betriebe darstellen.

## **4.2 2025: Anbausysteme zur Herstellung einer Treibstoffautarkie**

Vervollständigt wird die Energieautarkie von landwirtschaftlichen Betrieben durch den Einsatz selbst erzeugter regenerativer Treibstoffe. Bioethanol, Biodiesel und extrahiertes Pflanzenöl sind nur mit erheblichem technischen Aufwand in Großanlagen zu gewinnen. Kaltgepresstes Pflanzenöl kann dagegen auch in kleineren Einheiten produziert werden, die eher dem Ziel einer größtmöglichen Regionalität der Produktion bei ökologischer Wirtschaftsweise (OPPERMANN, 2003) entsprechen. Heute wird Pflanzenöl bereits in darauf spezialisierten ökologischen landwirtschaftlichen Betrieben oder in kleineren Ölmöhlen gepresst. Zur Erhaltung der Wirtschaftlichkeit wird hier heute zum Teil auch konventioneller Raps verarbeitet und Öl und Ölkuchen getrennt vermarktet.

Pflanzenölmotoren sind heute bereits ebenfalls verfügbar und werden bisher meist auf eigenes Risiko von Landwirten, Spediteuren und PKW-Fahrern aber in enger Absprache und mit Kulanz der Umrüstfirmen betrieben. Im sogenannten 100-Schlepper Programm der Bundesregierung wird der Betrieb von verschiedenen Umrüstern auf Pflanzenölbetrieb modifizierten Schleppern wissenschaftlich untersucht. 70 % der Schlepper laufen dabei ohne größere Störungen. Die Störungsanfälligkeit ist dabei abhängig vom Motoren- und Einspritzpumpentyp und vom Umrüster (SCHÜMANN et al., 2004). Weiterhin sind viele Störungen durch eine schlechte Treibstoffqualität bedingt (SCHÜMANN, 2004). Die Umrüsttechnik ist für bestimmte Schleppermodelle ausgereift, so dass es heute bereits Firmen gibt, die auf Ihre Motorumrüstung Garantien geben. Blockiert wird die Entwicklung zurzeit durch mangelndes Interesse von Motoren- und Schlepperherstellern, die notwendige Entwicklungsarbeit für eine Serienfertigung verschiedener Pflanzenölmotoren zu leisten. Die Umrüstkosten sind daher hoch, da für neue Motorenentwicklungen auch jeweils neue Umrüstkonzeppte gefunden werden müssen. Jedoch ist zu erwarten, dass es bis 2025 zu einer deutlichen Verteuerung der Ölpreise gekommen ist und auch die Dieselrückvergütung für Landwirte bis dorthin weggefallen oder durch Pauschalzahlungen ersetzt ist. Daher wird der Betrieb mit Pflanzenöl zunehmend rentabler werden und die Nachfrage aus der Praxis nach Motoren dieser Art steigen. Denn bereits heute wird aus dem Speditions-gewerbe über sehr hohe Laufleistungen pflanzenölgetriebener LKWs berichtet, die mit deutlichen Kostenvorteilen gegenüber Mineralölbetrieb fahren. Einsatzerfahrungen liegen jedoch bis heute überwiegend mit Rapsöl vor. Mit anderen Ölen sind Versuche zum Betrieb von Motoren erst in kleineren Studien durchgeführt worden (NIEMIE et al., 1999; BERNARDO et al., 2003). Für die Herstellung einer Treibstoffautarkie im ökologischen Anbau ist der Einsatz von Ölen verschiedener Kulturpflanzen jedoch zwingend, denn aus Gründen der Fruchtfolge und der Minimierung des Anbaurisikos kann hier nicht ausschließlich auf Raps gesetzt werden (PAULSEN, 2003).

#### **4.2.1 Optimierte Grünbrache (Teilbrache)**

Da Raps im ökologischen Landbau unter starkem Schädlingsdruck leidet, ist er normalerweise nicht Bestandteil der Fruchtfolgen (PETTERSON, 2002). Um aber sein hohes Ertragspotenzial auch im ökologischen Betrieb für die Treibstoffgewinnung verfügbar zu machen, wurde in Forschungsarbeiten der letzten Jahren Experimente zur Etablierung von Kleeuntersaaten im ökologischen Winterrapsanbau angestellt (PAULSEN et al., 2003a, Abbildung 1). Der Raps profitiert im Anbaujahr nicht von der N-Lieferung des Klees (Tabelle 4). Für den Nachbau z. B. von Weizen ist durch diese Anbauform aber noch eine gute Vorfrucht vorhanden. Die Versuche zeigten, dass diese Variante eine wertvolle Aufwertung der Grünbrachefläche darstellt und gleichzeitig das hohe Anbaurisiko von Winterraps auf die ohnehin in der Fruchtfolge notwendige Grünbrachefläche verlagert werden kann. Auf diese Weise können selbst in Jahren schwachen Ertrages immerhin noch 300 l Öl pro Hektar erzeugt werden. Da der Treibstoffbedarf ökologischer Produktion zwischen 50 und 150 l ha<sup>-1</sup>

liegt (HOLZ, 2002; PAULSEN, 2003) kann mit dieser Ölmenge der Treibstoffbedarf für durchschnittlich 3 ha Landbewirtschaftung sichergestellt werden. Diese Ölmenge entspricht auch der zugrundeliegenden Ertragserwartung im Konzept des Mischfruchtanbaus mit Ölpflanzen, das im folgenden Abschnitt erläutert wird.

Zusätzlich zur Öllieferung hinterlässt bei der Teilbrache eine Hauptkultur mit Ihrer Untersaat Klee(gras)-Kohlenstoff (C) für die Biogasanlage und N für die Nachfrucht und passt in das vorher vorgestellte Konzept zur Schaffung mobiler Düngemittel bei gleichzeitiger Energiegewinnung und Verminderung von Nährstoffverlusten.

**Abbildung 1:** Winterraps mit Weißkleeuntersaat, Trenthorst, Herbst 2001



**Tabelle 4:** Kornerträge, N-Entzüge und N-Aufnahme von Winterraps mit und ohne Weißkleeuntersaat sowie Kornerträge der Nachfrucht Hafer, Trenthorst 2002 und 2003

Anbauvariante	Korn- ertrag dt ha <sup>-1</sup>	N-Gehalte [%] bzw. (N-Aufnahme) [kg ha <sup>-1</sup> ]				Ertrag 03 Nachfrucht Hafer <sup>a</sup> dt ha <sup>-1</sup>	N <sub>min</sub> Mrz./03 0-90 cm kg ha <sup>-1</sup>
		Pflanze Blühbeginn	kg ha <sup>-1</sup>	Hafer <sup>a</sup> dt ha <sup>-1</sup>	Stroh		
Mit Kleeuntersaat	8,6	2,2 (69)	104	75	- (44)	75	104
Ohne Kleeuntersaat	8,9	2,3 (87)	79	56	- (73)	56	79
F-Test <sup>a</sup>	ns	ns	ns	***	ns	***	ns

<sup>a</sup>: \*\*\* = P = 0,001; ns = nicht signifikant; <sup>a</sup> = Böhm (2003), unveröffentlicht, Rothertrag.

## 4.2.2 Mischfruchtanbau mit Ölpflanzen

Beim Mischfruchtanbau mit Ölpflanzen werden Ölpflanzen mit anderen Kulturen gemeinsam angebaut. Pflanzenbauliche Vorteile können z. B. durch eine verbesserte Unkrautunterdrückung durch dichtere Bestände, durch Stützwirkungen und durch eine höhere Ertragselastizität gegeben sein (BRANDT et al., 2002; PAULSEN und SCHOCHOW, 2004). Mischfruchtanbau passt besonders in ökologische Betriebe, da dort keine Pestizide eingesetzt werden und es zu keinen Mittelunverträglichkeiten bei den verschiedenen Pflanzen kommt. Zur Zeit werden Mischungen von Leindotter (Abbildung 2), Färberdistel (Abbildung 3), Senf, Raps, Öllein (Abbildung 4) und Sonnenblume (Abbildung 5) mit Leguminosen, Getreide bzw. Mais oder miteinander (Abbildung 6) erprobt (BRANDT et al., 2003; IEU 2003; MAKOWSKI und PSCHIEDL, 2003; PAULSEN, 2003; PAULSEN et al., 2003b; PAULSEN, 2004; PAULSEN et al. 2004). Das Ertragspotenzial der Ölfrüchte im Mischbau ist stark abhängig von den Standortbedingungen, Klima und Witterung. In normalen Anbaujahren kann neben der Ernte der Hauptkultur mit zusätzlichen Ölerträgen von der Ölsaat zwischen 100 und 300 kg ha<sup>-1</sup> gerechnet werden. Gelingt es Ölfrüchte als Mischkultur in mehreren Fruchtfolgegliedern zu etablieren, kann der Treibstoffbedarf für die Flächenbewirtschaftung allein mit Ölen aus Mischfruchtanbau sichergestellt werden (Tabelle 5). Wird zusätzlich Raps als Fruchtfolgeglied, z. B. in Form der oben beschriebenen Teilbrache eingeführt, übertrifft die Pflanzenölerzeugung der Treibstoffbedarf deutlich.

Anbausysteme dieser Art werden sich in Zukunft gerade im ökologischen Landbau noch weiter durchsetzen. Erforderlich sind aber technische Anpassungen bei der Drilltechnik und der Saatgutreinigung (PAULSEN et al., 2003c). Bei den Motoren ist weitere Entwicklungsarbeit zur Anpassung an verschiedene Ölqualitäten und auf Treibstoffseite Forschung zur Standardisierung von Mischölen oder Nicht-Rapsölen zur Treibstoffnutzung notwendig.

**Abbildung 2:** Erntegut aus Mischfruchtanbau von Erbsen u. Leindotter, Trenthorst 2004



**Abbildung 3:** Mischfruchtanbau von Lupine u. Färberdistel, Trenthorst 2004



**Abbildung 4:** Mischfruchtanbau von Sommerweizen u. Öllein, Trenthorst 2004



**Abbildung 5:** Mischfruchtanbau von Mais u. Sonnenblumen, Trenthorst 2004



**Abbildung 6:** Mischfruchtanbau von Öllein u. Leindotter, Trenthorst 2004**Tabelle 5:** Abschätzung der Korn- und Ölerträge und des Treibstoffbedarfs für die Flächenbewirtschaftung einer Fruchtfolge mit Ölkulturen in Mischkultur mit und ohne Raps auf der Grünbrache im ökologischen Landbau

Kulturen	Kornertrag dt ha <sup>-1</sup>	Ölertrag* kg ha <sup>-1</sup>	Treibstoffbedarf** kg ha <sup>-1</sup>
Klee mit Raps (Teilbrache)	(8)	(240)	140
Klee ohne Raps	-	-	120
Winterweizen-Leindotter	40/4	120	120
Lupine-Saflor	25/8	240	120
Mais-Sonnenblume <sup>a</sup>	20/6	200	140
Öllein-Leindotter	8/10	300 <sup>b</sup>	120
Fruchtfolge [kg gesamt]		860 (-1100)	620-640

\* 30 % Ölausbeute, Sonnenblume 40 % zusätzlich fällt Ölkuchen an; \*\* nach Holz (2002).

<sup>a</sup> Abschätzung noch im Versuchsstadium; <sup>b</sup> nur Leindotteröl.

## 5 Zusammenfassung

Anhand laufender Forschungsprojekte wird beschrieben, welche Möglichkeiten der ökologische Landbau hat, in Zukunft energieautark und nährstoffoptimiert arbeiten zu können. 2025 wird der ökologische Landbau durch eine konsequente Nutzung aller produktionsspezifischen Koppelprodukte des Pflanzenbaus und in geringerem Maße auch von eigens angebauten Energiepflanzen erhebliche Mengen organisches Material in Biogasanlagen verwerten. Die für eine weitere Intensivierung durch gezielte Nährstoffzufuhr in der Pflanzenproduktion notwendige N- und P-Mobilität wird durch diese Maßnahme geschaffen. Gleichzeitig verringert die konsequente Abfuhr der oberirdischen Pflanzenmasse von den Flächen eine unkontrollierte N-Mineralisierung und damit die Auswaschungsgefahr. In Kombination mit anderen bereits heute anwendbaren Methoden der regenerativen Energiegewinnung (u. a. Windkraft, Sonnenenergie, Holzheizung, Vergasung von Feststoffen) wird eine Elektrizitäts- und Wärmeautarkie in den Betrieben möglich sein. Bis 2025 wird diese Entwicklung durch steigende Energiepreise und politische Rahmenbedingungen deutlich vorangeschritten sein.

Durch eine Intensivierung der Brachennutzung in Form eines Anbaus von Energiepflanzen mit Kleeuntersaaten werden punktuelle N-Überschüsse vermindert und der nutzbare Energieertrag der Flächen diversifiziert und erhöht. Die Erzeugung von Pflanzenöl im Mischfruchtanbau von Ölpflanzen mit anderen Kulturen in standortangepassten Fruchtfolgen wird den Betrieb der landwirtschaftlichen Zugmaschinen mit selbst erzeugten Treibstoffen zulassen. Eine CO<sub>2</sub>-neutrale Energieerzeugung mit verringertem N-Austrag durch neue Anbausysteme als weitere verbesserte Umwelleistung wird das Marketinginstrument für ökologische Produkte im Jahr 2025 sein.

## Literaturverzeichnis

- ASCHMANN V, MITTERLEITNER H (2002) Trocken vergären: Es geht auch ohne Gülle. In: Biogas, Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar (Hrsg.), Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 22-25
- BACHINGER J, ZANDER P (2004) Planungswerkzeuge zur Optimierung der Stickstoffversorgung in Anbausystemen des Ökologischen Landbaus - Standort- und vorfruchtabhängige Kalkulation der N-Salden von Anbauverfahren. In: RAHMANN G, NIEBERG H (Hrsg.) Ressortforschung für den ökologischen Landbau 2002, Tagungsband zum Statusseminar „Ressortforschung für den ökologischen Landbau – Aktivitäten aus Bund und Ländern“ am 13. März 2003 im Forum der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig, Landbauforschung Völkenrode, FAL Agricultural Research, Sonderheft 259, 21-30

- BERNARDO A, HOWARD-HILDIGE O'CONNELL A, NICHOL R, RYAN J, RICE B, ROCHE E, LEAHY JJ (2003) Camelina oil as fuel for diesel transport engines. *Industrial Crops and Products* 17, 191-197
- BERRY PM, STOCKDALE EA, SYLVESTER-BRADLEY R, PHILIPPS L, SMITH KA, LORD EI, WATSON CA, FORTUNE S (2003) N, P and K budgets for crop rotations on nine organic farms in the UK. *Soil Use and Management* 112-118
- BMU (2004) Biogasnutzung auch für Ökolandbau attraktiv. Jürgen Trittin besucht BMU-Projekt im Wendland, Pressemitteilung des BMU Nr. 164/04, Berlin, 07.06.2004
- BÖHM H (2003) Versuchsbeerntung 2003, Institut für ökologischen Landbau, FAL, Trenthorst, unveröffentlichte Daten
- BRANDT D, MAKOWSKI N, SCHRIMPF E (2002) Mischfruchtanbau. Faltblatt, Bundesverband Pflanzenöle e. V., Saarbrücken
- EMMERLING CH, SCHROEDER D (1999) P-Versorgung und P-Nachlieferung in langjährig ökologisch bewirtschafteten Boeden. In: HOFFMANN, H., MUELLER, S. (eds.): Vom Rand zur Mitte: Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Humboldt-Universität, Berlin (Germany). Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät. ISBN: 3-89574-370-4, Berlin, Germany, Dr. Koester-Verlag, 1999, p. 31-34
- EU (1991) Council Regulation (EEC) No 2092/91 of 24 June 1991 on organic production of agricultural products and indications referring thereto on agricultural products and foodstuffs. *Official Journal L* 198 ,22/07/1991 P. 0001 – 0015
- GRASS R, SCHEFFER K (2003) Direkt- und Spätsaat von Silomais nach Wintererbsenvorfrucht – Erfahrungen aus Forschung und Praxis. 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Univ. f. Bodenkultur, Wien.45-48
- HOLZ W (2002) Kraftstoffverbrauchswerte für landwirtschaftliche Arbeiten, Bauernblatt für Schleswig-Holstein vom 5.1.02
- IEU, Institut für Energie- und Umwelttechnik (2001) (unveröffentlicht) Bericht über die Versuchsreihe Mischfrucht für die ökologische Landwirtschaft, Anbau 2001. Brand & Kaiser GbR, Josephsplatz 3, München, Selbstverlag
- IFOAM (2002) International Federation of Organic Agriculture Movements, Norms, IFOAM Basic Standards for Organic Production and Processing, IFOAM Accreditation Criteria for Bodies certifying Organic Production and Processing including Policies related to IFOAM Norms. IFOAM norms: including policies related to IFOAM norms / International Federation of Organic Agriculture Movements. – Tholey-Theley

- JENSEN ES, HAUGGAARD-NIELSEN H, AVELINE A, CROZAT Y (2004) Grain legumes and nitrate leaching: significance and prevention. Paper presented at Legumes for the benefit of agriculture, nutrition and the environment, Palais de Congrès, Dijon, France, 7 -11 June 2004; Published in Proceedings of the 5th European Conference on grain legumes, page 63-64. AEP European association for grain legume research
- KEYMER U (2002) Wie rechnet sich Biogas. In: Biogas, Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar (Hrsg.), Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 40-45
- KEYMER U, SCHILCHER A (2003) Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/03040/>
- KORSAETH A, ELTUN R (2000) Nitrogen mass balances in conventional, integrated and ecological cropping systems and the relationship between balance calculations and nitrogen runoff in an 8-year field experiment in Norway. Agriculture, ecosystems and environment 79, 199-214
- KOTTNER M (2002) Neues Energie-Gesetz ist die treibende Kraft. In: Biogas, Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar (Hrsg.), Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 12-15
- KWS (Kleinwanzlebener Saatzucht) (2004): Energiemais. [www.kws.de/ca/ge/bete](http://www.kws.de/ca/ge/bete) vom 30.7.04
- LABER H (2003) Wie viel kostet 'Bio-Stickstoff'? – eine Anregung zur Diskussion. Ökomechanischer Gärtner-Rundbrief(Fe/Mä):35-38
- LOGES R (1998) Ertrag, Futterqualität, N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung und Vorfruchtwert von Rotklee- und Rotklee-grasbeständen. Dissertation, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität Kiel
- MAKOWSKI N, PSCHIEDL M (2003) Anbau von Leindotter. Alternativen im ökologischen Landbau. Raps 21, 73-77
- MATTHIAS J (2002) Energiepflanzen steigern den Gasertrag. In: Biogas, Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar (Hrsg.), Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 86-89
- MÖLLER K (2003) Systemwirkungen einer „Biogaswirtschaft“ im ökologischen Landbau: Pflanzenbauliche Aspekte, Auswirkungen auf den N-Haushalt und auf die Spurengasemissionen, Biogas Journal(1):20-29
- MÖLLER K (2004) Biogas im viehlosen Betrieb. In : Schmid, H. (Hrsg.), 2004: Viehloser Öko-Ackerbau. Professur für ökologischen Landbau, Justus-Liebig-Universität Giessen, 32-33
- NIEMI SA, ILLIKAINEN PE, MÄKINEN MLK, LAIHO VOK (1997) Performance and Exhaust Emissions of a Tractor Engine Using Mustard Seed Oil as Fuel. Alternative Fuels and Heavy Duty Engines (SAE SP-1247), SAE Paper 970219, 21-32

- OEHL F, OBERSON A, TAGMANN HU, BESSON JM, DUBOIS D, MADER P, ROTH HR, FROSSARD E (2002) Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 25-35
- OPPERMANN R (2003) Ökologischer Landbau am Scheideweg: Regionalität als Lösungsansatz? In: KRATOCHVIL, R., MERGILI, S., HEITZLHOFER, T., 2003: Reader zur Vorlesung Ökologischer Landbau & Regionale Entwicklung, Sommersemester 2003. [http://www.boku.ac.at/oekoland/MitarbeiterInnen/Kratochvil/2\\_Reader.pdf](http://www.boku.ac.at/oekoland/MitarbeiterInnen/Kratochvil/2_Reader.pdf) vom 30.7.04
- PAGEL H, BENKENSTEIN H, KRUEGER W (1999) Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung von Phosphat-Vorräten des Bodens. In: HOFFMANN H, MUELLER S (eds.): *Vom Rand zur Mitte: Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau*, Humboldt-Universität, Berlin (Germany). Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät. ISBN: 3-89574-370-4, Berlin, Germany, Dr. Koester-Verlag, 1999, p. 27-30
- PAULSEN HM (2003) Fruchtfolgegestaltung im Ökobetrieb zur Erlangung einer Treibstoffautarkie. In: *Dezentrale Pflanzenölnutzung. 5. Tagung Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft vom 28.-29.11.2003 in Aulendorf*, Tagungsband Landesgewerbeamt Baden-Württemberg. Veranstalter Bundschuh Biogas-Gruppe e. V., Bund der Landjugend Württemberg-Hohenzollern, Biogas Förderverein Schwäbischer Wald e. V., Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, abrufbar unter <http://orgprints.org>.
- PAULSEN HM (2004) Treibstoffautarkie durch Ölfruchtanbau. *Bio-Land* (1): 26-27
- PAULSEN HM, BÖHM H, STUCKERT P, ULVERICH J (2003a) Anbau von Raps mit Kleeunter Saat im ökologischen Landbau. In: FREYER B (ed) *Ökologischer Landbau der Zukunft : Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau*, 24.-26. Februar 2002 in Wien, 491-492
- PAULSEN HM, DAHLMANN C, PSCHIEDL M (2003b) Anbau von Ölpflanzen im Mischanbau mit anderen Kulturen im ökologischen Anbau. In: Freyer, B. (ed) *Ökologischer Landbau der Zukunft : Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau*, 24.-26. Februar 2002 in Wien. Wien : Universität für Bodenkultur / Institut für Ökologischen Landbau, 49-52
- PAULSEN HM, DAHLMANN C, PSCHIEDL M (2003c) Mischfruchtanbau von Ölpflanzen mit anderen Kulturen im ökologischen Landbau. In: RAHMANN, G., NIEBERG H. (eds), 2003: *Ressortforschung für den ökologischen Landbau 2002 : Statusseminar Ressortforschung für den ökologischen Landbau - Aktivitäten aus Bund und Ländern im Forum der FAL in Braunschweig am 13. März 2003*. Braunschweig : FAL, Landbauforsch. Völkenrode SH 259, 126-127
- PAULSEN H M, SCHOCHOW M (2004) Mischfruchtanbau mit Ölpflanzen – Ein Fruchtfolgeinstrument zur Risikominderung und zur Energiebereitstellung. *Gäa Journal* 4 (im Druck)
- PAULSEN HM, SCHOCHOW M, ULVERICH J (2004) Mit der richtigen Fruchtfolge ist Treibstoffautarkie möglich. *Ökologie und Landbau* 132, 4/2004, 26-29

- PETTERSON B, WALLENHAMMAR AC, SVARÉN A (2002) Organic Production of oilseed rape in Sweden. Proceedings of the 14th IFOAM World Congress, 64
- SCHEFFER K, GRASS R, REULEIN J (2003) Verfügbare Biomassepotentiale für Energie und Rohstoffe bei flächendeckendem ökologischem Landbau. 7. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau, Univ. f. Bodenkultur, Wien, 65-68
- SCHEFFER R (2000) Biomasse – gespeicherte Sonnenenergie aus der Vielfalt der Pflanzenarten – Potenziale, Bereitstellung, Konversion. In: FVS • DGS-Themen 2000, Themenheft 2000: Teil 1: Sonne - Die Energie des 21. Jahrhunderts, Forschungsverbund Sonnenenergie, 34-39
- SCHULTE G (1996) Bodenchemische und bodenbiologische Untersuchungen ökologisch bewirtschafteter Böden in Rheinland-Pfalz unter besonderer Berücksichtigung der Nitratproblematik. Dissertation, Universität Trier
- SCHÜMANN U (2004) Rapsöl als Kraftstoff für Dieselmotoren: Rapsölqualität, -lagerung und -versorgung, Das „100-Traktoren-Demonstrationsprojekt“ des BMVEL, 2. Statusseminar am 21. Juni 2004 an der FAL, Braunschweig, <http://fnr-server.de/cms35/index.php?id=391> vom August 2004
- SCHÜMANN U, WICHMANN V, GOLISCH J (2004) Umrüsterkonzepte, Motorparameter von Traktoren im Rapsölbetrieb, Schmierölproblematik, Abgasemissionen, Betriebserfahrungen, Das „100-Traktoren-Demonstrationsprojekt“ des BMVEL, 2. Statusseminar am 21. Juni 2004 an der FAL, Braunschweig <http://fnr-server.de/cms35/index.php?id=391> vom August 2004