



Das Lebensministerium



2. Mitteldeutscher Bioenergietag

Tagungsband
Leipzig, 29.4.2005

Freistaat  Sachsen

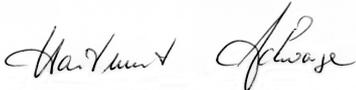
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Vorwort

Die Bereitstellung landwirtschaftlicher Biomasse und ihre energetische Verwertung haben sich zu einem wichtigen wirtschaftlichen Standbein für Landwirtschaftsbetriebe entwickelt. Mit der Neufassung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes, der EU-Biokraftstoffrichtlinie und der Mineralölsteuerbefreiung für Biokraftstoffe auch in Beimischungen wurden die Rahmenbedingungen entscheidend verbessert. Hier eröffnen sich große Perspektiven für die Landwirtschaft und den ländlichen Raum.

Auf dieser Grundlage ist besonders im Bereich Biogaserzeugung und -verwertung eine rasante Entwicklung zu verzeichnen. Gleiches gilt für Biogene Kraftstoffe. Hier entsteht durch die Begrenzung der Mineralölsteuer-Rückerstattung für Landwirte auf max. 10.000 l/Betrieb zusätzlich ein erheblicher wirtschaftlicher Druck zur Suche nach preiswerten Alternativen beim Kraftstoff-Einsatz.

Die Vorträge auf dem 2. Mitteldeutsche Bioenergietag bieten Ihnen, zusammengefasst in diesem Tagungsband, aktuelle Informationen zu diesen Themenfeldern.



Dr. Hartmut Schwarze
Präsident der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Grußwort – Sächsischer Staatsminister für Umwelt und Landwirtschaft <i>Stanislaw Tillich</i>	5
Themenfeld Biogas	
Bereitstellung von Biomasse für Biogasanlagen <i>Dr. Armin Vetter, Dr. Gerd Reinhold</i>	7
Wirtschaftlichkeit von landwirtschaftlichen Biogasanlagen <i>Dr. Kerstin Jäkel</i>	15
Gaserträge von Kofermenten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen <i>Prof. Dr. Thomas Amon</i>	25
Rechtliche Fragen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes <i>Dr. Martin Maslaton</i>	31
Themenfeld Biogene Kraftstoffe	
Biodiesel in der Landwirtschaft am Beispiel der BKK Rudolstadt <i>Torsten Graf</i>	41
Pflanzenöl als Kraftstoff für Traktoren Ergebnisse aus dem 100-Schlepper-Programm <i>Werner Harkner</i>	49
Einsatz von Raps-Produkten in der Fütterung von Rind und Schwein <i>Dr. Joachim Alert, Dr. F. Schöne</i>	65
Anbauverfahren von Getreide für die Ethanolherstellung und Kurzvorstellung des Mehrländerprojektes Ethanol <i>Dr. Michael Grunert, Dr. Martin Farack</i>	77
Einsatz von Schlempe aus der Ethanolherstellung in der Tierfütterung <i>Dr. Manfred Weber</i>	87

Grußwort des Sächsischen Staatsministers für Umwelt und Landwirtschaft,

Herrn Stanislaw Tillich

Innerhalb eines halben Jahres wird bereits der zweite Bioenergetag durchgeführt. Grund dafür ist die hervorragende Resonanz des ersten Bioenergetages im November 2004 in Jena.

Diese gemeinsame Veranstaltung von Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt und der gemeinsame Messestand „Bioenergie Mitteldeutschland“ sind Ausdruck der erreichten neuen Qualität der Zusammenarbeit unserer Länder. Ich freue mich sehr, dass bei der Biomassenutzung die Kooperation unserer Landesanstalten für Landwirtschaft zunehmende Bedeutung in Form von Mehrländerprojekten sowie der Initiative „Biomasse Mitteldeutschland“ hat.

Der zunehmende Wettbewerbsdruck für die landwirtschaftlichen Unternehmer erfordert ein Nachdenken über zusätzliche Einkommensmöglichkeiten. Im Anbau und in der Verwertung nachwachsender Rohstoffe sehe ich eine sinnvolle Wertschöpfungsalternative für die Landwirtschaft und zahlreiche andere Branchen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung. So wurde die verstärkte energetische Nutzung von Biomasse einerseits im Sächsischen Klimaschutzprogramm und andererseits im Energieprogramm Sachsen verankert und ist mit dem Ziel verbunden, bis zum Jahr 2010 fünf Prozent des Endenergieverbrauches durch regenerative Energieträger bereitzustellen. Gegenwärtig liegt dieser Anteil bei reichlich zwei Prozent.

Der Anbau nachwachsender Rohstoffe ist seit Jahren auf Stilllegungsflächen möglich. 2004 wurden in Sachsen mit fast 32.000 ha mehr als die Hälfte der Stilllegungsfläche für den Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt.

Die Verwendungsbreite nachwachsender Rohstoffe und die Möglichkeiten ihrer stofflichen Verwertung sind sehr vielschichtig. Schwerpunkte lagen bei der Entwicklung und Markteinführung neuer Anwendungen und Produkte sowie bei der Einführung „neuer“ Kulturpflanzen oder der Wiedereinführung alter Kulturpflanzen.

Das Potential der nachwachsenden Rohstoffe ist längst nicht ausgeschöpft.

Bei der stofflichen Nutzung, etwa als Dämmstoffe oder als Energieträger erwarte ich deutliche Steigerungsraten.

Auch die Verwendung von Biomasse in der chemischen Industrie ist ein Wachstumsmarkt. So hat sich in den letzten zehn Jahren der Einsatz von Pflanzenölen mit ca. 110.000 t nahezu verdoppelt.

Auf dem Gebiet der Herstellung von BtL (Biomasse to Liquid)-Kraftstoffen konnten in Sachsen in einer Pilotanlage in Freiberg erste Erfahrungen gesammelt und die Machbarkeit grundsätzlich nachgewiesen werden. Mittelfristig besteht jedoch bei dem Thema Konversion von Biomasse zu Kraftstoffen noch erheblicher Forschungsbedarf.

Die Nutzung von Biogas im Freistaat Sachsen hat sich sehr dynamisch entwickelt. In Sachsen gibt es derzeit 50 Biogasanlagen (einschließlich der im Bau befindlichen) im landwirtschaftlichen Bereich und in der verarbeitenden Nahrungsmittelproduktion. Mit der dadurch erzeugten elektrischen Leistung können ca. 25.000 Haushalte versorgt werden.

Nachwachsende Rohstoffe mindern den Verbrauch fossiler Energieträger, reduzieren den Ausstoß klimaschädlicher Gase und sind eine willkommene Wertschöpfungsalternative im ländlichen Raum. Deshalb unterstützt die Sächsische Staatsregierung den Ausbau und die Verwertung nachwachsender Rohstoffe. Seit 1999 wurden so 80 Vorhaben und Projekte gefördert.

In Sachsen sehen wir im Anbau und der Verwertung nachwachsender Rohstoffe - sowohl bei der energetischen als auch der stofflichen Nutzung - ein erhebliches Entwicklungs- und Wachstumspotenzial.

Bereitstellung von Biomasse für Biogasanlagen

Dr. Armin Vetter, Dr. Gerd Reinhold, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

Besonders durch das novellierte „Erneuerbare Energien Gesetz“ (EEG) mit deutlich erhöhten Einspeisevergütungen für Strom aus nichtfossilen Quellen, dem deutlichen Ölpreisanstieg, der Mineralölsteuerermäßigung (-befreiung) für biogene Kraftstoffe, auch als Beimischungen, (seit 01.01.2004) und der Wirkung der Ökosteuern wurden die Rahmenbedingungen geschaffen, die Errichtung von Anlagen zur energetischen Verwertung von Biomasse kalkulierbar zu gestalten.

In den vergangenen Jahren lag der Schwerpunkt des Anbaus von Energiepflanzen auf dem Winterraps als Rohstoff für die Rapsölmethylesterherstellung. Der Anbauumfang wurde zwischenzeitlich soweit ausgedehnt, dass er in vielen Regionen Deutschlands an die fruchtfolgetechnischen Grenzen stößt. Die beginnende Herstellung von Ethanol auf der Basis von Getreide, vorwiegend Masseweizen und Roggen, trägt zur Entlastung des Agrarmarktes und zur Umsetzung der EU-Biokraftstoffrichtlinie bei. Die dritte Säule der Biokraftstoffe, die Herstellung von BTL-Kraftstoffen, befindet sich noch in der Entwicklung.

Dahingegen kann die Biogaserzeugung auf der Basis von Gülle sowie aus direkt für die Biogasgewinnung angebauter Pflanzen, in der Landwirtschaft und im ländlichen Raum einen erheblichen Beitrag zur Einkommenssicherung schon heute leisten. Dies ist unter anderem darin begründet, dass kleinere und mittelgroße Anlagen zur Stromerzeugung (< 5 MW) im novellierten EEG eine Vergütung erfahren können, die betriebswirtschaftlich für die Landwirtschaft hoch interessant sein kann. Damit wird, neben den umweltpolitischen Gesichtspunkten, der Zielstellung der Bundesregierung den Landwirt zum Energiewirt zu befähigen, Rechnung getragen.

Die rasante Entwicklung von Biogasanlagen mit Kofermentation seit der Novellierung des EEG und die Entwicklung sowie Errichtung erster Anlagen zur Monofermentation auf ausschließlicher Basis nachwachsender Rohstoffe, sowohl als Nass- als auch als Trockenfermentationsverfahren zeigen, dass die Landwirtschaft bereit ist, diese Einkommensalternative zu nutzen. Neben der klassischen landwirtschaftlichen Biogasanlage im Größenbereich 50 bis 500 kW elektrischer Leistung werden zunehmend große Gemeinschaftsanlagen von Landwirten als auch von Contractoren geplant und errichtet, die zur Rohstoffversorgung Biomasse von bis zu 1.000 ha benötigen.

Der Anbau von Energiepflanzen, vor allem für die Biogaserzeugung, wird aus den aufgeführten Gründen stetig zunehmen. Mit Ausnahme von lignininfizierten Stoffen ist jede Art von Biomasse aus dem landwirtschaftlichen, industriellen und kommunalen Bereich zur Biogaserzeugung prinzipiell geeignet, auch wenn in der Praxis sehr unterschiedliche Gaserträge und so-

mit auch Rentabilitäten zu erwarten sind. Allerdings ist der im EEG vorgegebene Rahmen zu beachten, der die Einsatzstoffe definiert.:

1. Pflanzen oder Pflanzenbestandteile, die in landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben oder im Rahmen der Landschaftspflege anfallen und die keiner weiteren als der zur Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden
2. Gülle, im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002
3. Schlempe, aus in einer landwirtschaftlichen Brennerei

Für den Einsatz in Biogasanlagen steht folglich ein sehr großes Spektrum potenziell geeigneter Pflanzen zur Verfügung. Die Auswahl der Pflanzenart sollte nach verfahrenstechnischen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten erfolgen. Letzteres ist insofern interessant, da Unkräuter und -gräser, soweit sie den Ertrag und den technologischen Ablauf der Substratbereitstellung und -vergärung nicht negativ beeinflussen, kaum stören. Letztendlich wird der Landwirt seine Fruchtart nach der Höhe des Nettoenergieertrages je Flächeneinheit, nach den Kosten pro Energieeinheit und der Einordnung in das agrotechnische und arbeitswirtschaftliche Regime des Betriebes auswählen. Bisher war Mais die dominierende Fruchtart (Abb. 1).

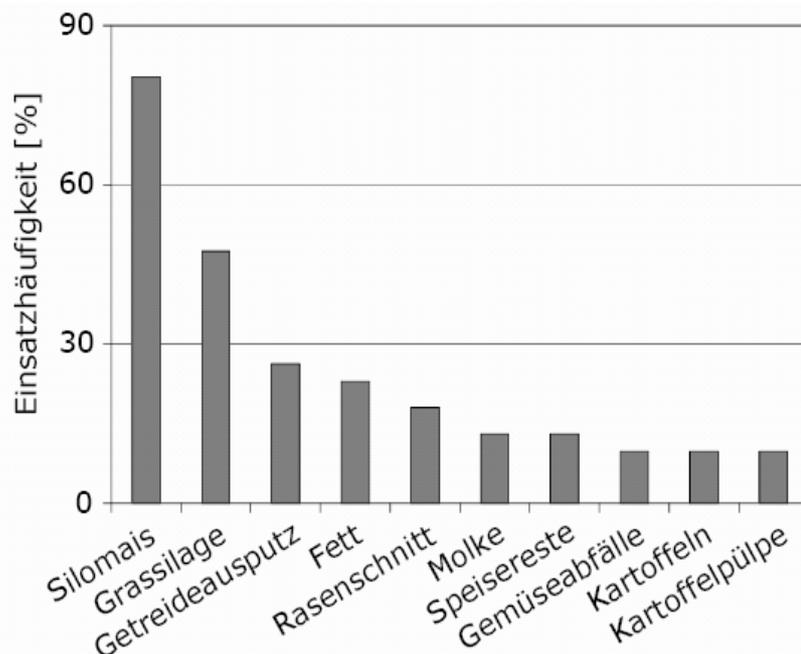


Abbildung 1: Einsatzhäufigkeit von Substraten (WEILAND, 2004)

Die Vollkosten der Bereitstellung sind das entscheidende Kriterium für die Auswahl der Pflanzenart. Bei den geltenden Stromeinspeisevergütungen nach EEG, dem derzeitigen Stand der Fermentationstechnik und den Wirkungsgraden der Blockheizkraftwerke sollten sie 100 Euro/t TM nicht überschreiten, um die Rentabilität der Gesamtanlage nicht zu gefährden.

Die größten Erfahrungen, sowohl im Anbau als auch mit der Konservierung (Silierung), liegen für Mais vor. Für Mais sprechen auch die hohen Biomasseerträge. Künftig allein auf Energiemais als Gärsubstrat zu setzen wäre jedoch problematisch. In vielen Regionen ist der aus phytosanitärer Sicht vertretbare Maisanteil in der Fruchtfolge erreicht. Problematischer könnte die Situation in Zukunft durch ein verstärktes Auftreten des Maiswurzelbohrers oder des Maiszünslers werden. Auch kann Mais als Vorfrucht in den vielerorts extrem getreidebetonten Fruchtfolgen bei den Nachfrüchten Winterweizen/Wintertriticale in Fusarienjahren zu einer verstärkten Mykotoxinbelastung führen. Dieser Effekt kann bei Minimalbodenbearbeitung, die z. B. in Thüringen bereits auf ca. 50 % der Ackerfläche durchgeführt wird, noch verstärkt werden. Es gilt somit zukünftig nicht nur den Nettoenergieertrag einer Fruchtart im Anbaujahr zu betrachten, sondern auch die Vor- und Nachteile im Anbau-/Fruchtfolgesystem.

Mit der 2005 in Kraft getretenen Reform der „Gemeinsamen Agrarpolitik“ (GAP), hat sich über die Betriebsprämienregelung die betriebswirtschaftliche Bewertung von z. B. mehrjährigem Ackerfutter, Winterzwischenfrüchten, etc., im Vergleich zu Mais verbessert. Des Weiteren werden derzeit neue Fruchtarten, wie z. B. Sudangras, Zuckerhirse, Durchwachsene Silphie, in Projekten der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe auf ihre Eignung als Energiepflanzen geprüft. Weiterhin dürfte Ganzpflanzengetreide als zeitig räumende Vorfrucht für den Winterrapsanbau an Bedeutung gewinnen. Technologisch und arbeitswirtschaftlich interessant sind zudem Getreidekörner, die bezogen auf die Tonne Trockenmasse im Preis im Bereich von Silagen liegen, aber vollständig mechanisierbar/automatisierbar bei der Beschickung und damit verbundener Dosierung der Biogasanlage sind.

Bei der Auswahl der Fruchtarten sind des Weiteren die Anforderungen seitens der Vergärung zu beachten (nach WEILAND, 2004):

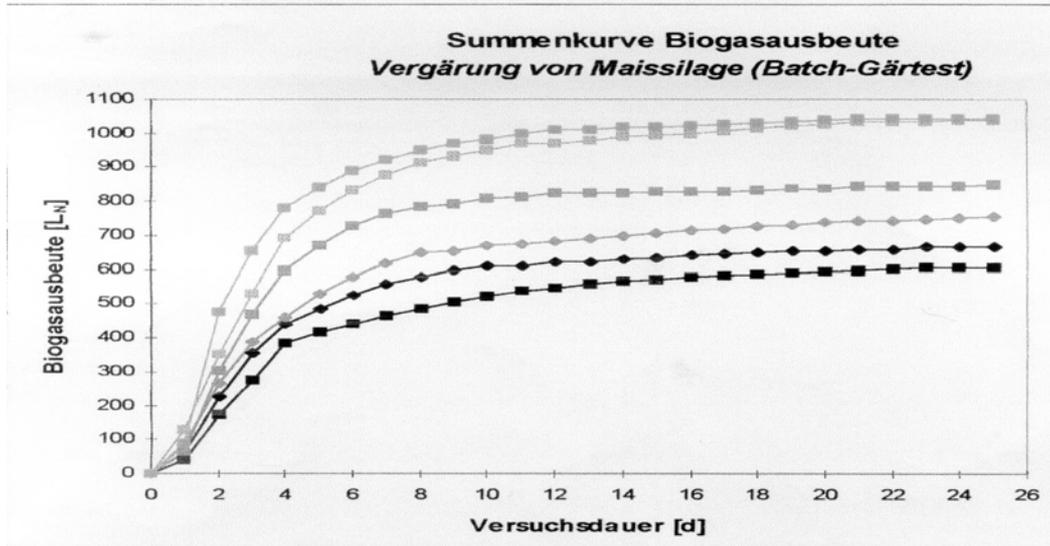
- gute biologische Abbaubarkeit der organischen Inhaltsstoffe
- ausgewogenes Verhältnis von C:N:P:S
- geringe Neigung zur Bildung von Schwimmschichten
- geringe Neigung zur Bildung von Sinkschichten
- geringer Gehalt an Sand, Steinen und anderen Störstoffen

Letztgenannter Punkt dürfte leider Masserüben, die einen sehr hohen Biogasertrag bezogen auf die oTS und die Fläche (ha) aufweisen, nicht für die Biogasproduktion prädestinieren, da das erforderliche Reinigen einen erheblichen Aufwand verursacht. Zusätzlich ist der extrem hohe Aufwand

der Lagerung bei den zz. angewandten Verfahren der Masserübenlage-
 rung zu beachten.

Die biologische Abbaubarkeit der organischen Inhaltsstoffe ist wiederum
 neben der Art der Biomasse, d. h. dem Kohlenhydrat-, Rohprotein-, Fett-
 und Ligningehalt, von der Zerkleinerung des Rohstoffes abhängig. Batch-
 und Praxisversuche, letztere z. B. mit Extrudern, haben gezeigt, dass die
 Zerkleinerung bzw. Auflockerung einen nicht unerheblichen Anstieg der
 Biogasausbeute bewirken kann (Abb. 2).

15-Liter-Gärversuche



- **unzerkleinert**
Zerkleinerung mit Fleischwolf
- Grobzerkleinerung Durchmesser der Sieblöcher = 8 mm
- mittlere Zerkleinerung Durchmesser der Sieblöcher = 4,5 mm
- Feinzerkleinerung Durchmesser der Sieblöcher = 3 mm

Quelle: VTI Saalfeld 2004

Abbildung 2: Einfluss der Zerkleinerung auf die Biogasausbeute

Der Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen für die Biogasproduktion
 muss grundsätzlich mit dem Anbau für Nahrungsmittel konkurrieren. Die
 Erlöse im Pflanzenbau sind je Flächeneinheit mit den Preisen für die Bio-
 masse frei Übergabestelle, d. h. Landhändler oder Biogasanlage zu be-
 rechnen. Unter mittleren Thüringer Standortbedingungen muss ein Beitrag
 zum Betriebsergebnis von > 50 Euro/ha (nach der GAP) erzielt werden
 (siehe Abb. 3). Dann tauscht der „Pflanzenbauer“ Wintergerste oder Win-
 terroggen gegen Energiepflanzen für die Biogasproduktion aus.

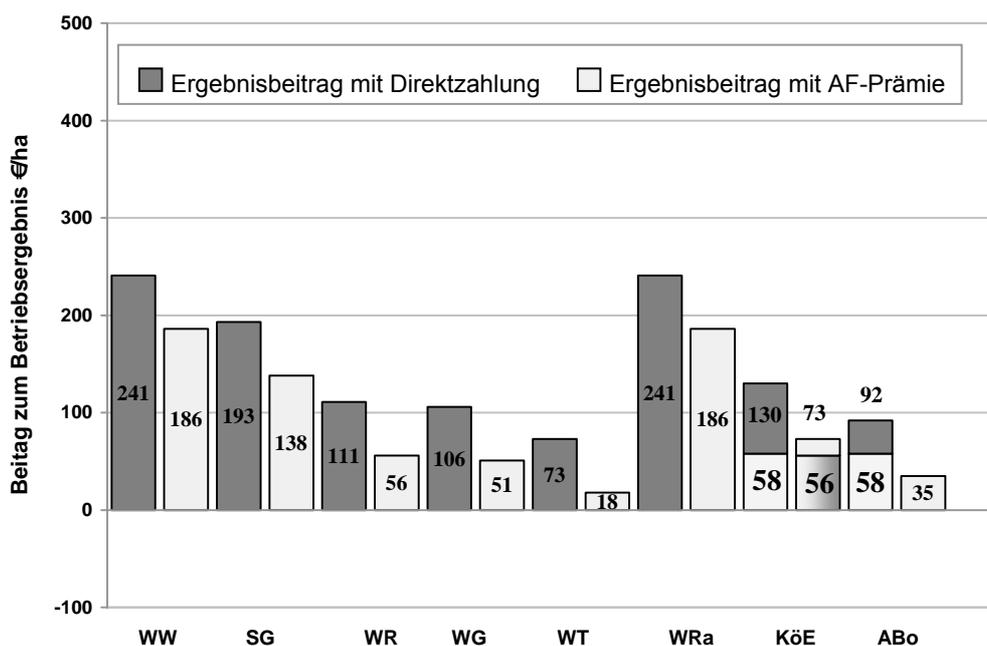


Abbildung 3: Wirtschaftlichkeit von Druschfrüchten (nach Degner, 2005)

Die Bereitstellungskosten für Energiepflanzen (\cong Grundfutterkosten) haben sich bezogen auf die Fläche und die Mengeneinheit bei Ackergras, Klee- und Klee gras, Luzerne und Grünland, d. h. bei allen Fruchtarten, die bisher keine direkten (Getreide) oder indirekten (Mais) Flächenbeihilfen erhielten, erheblich gesenkt. Am wirtschaftlichsten ist die Produktion von Ganzpflanzengetreidesilage, gefolgt von Maissilage. Luzerne und Grünland, die bei den Stückkosten vor der Agrarreform bei weitem keine Konkurrenzfähigkeit erreichten, sind ab diesem Jahr, bezogen auf die Bereitstellungskosten (Euro/dt TM) den erstgenannten Silagen gleichzustellen. Die etwas höheren Kosten für Luzerne (Klee gras) können sich zum Teil bei der Einrechnung der Fruchtfolgeeffekte und des höheren Düngewertes des Gärrückstandes etwas angleichen (Abb. 4).

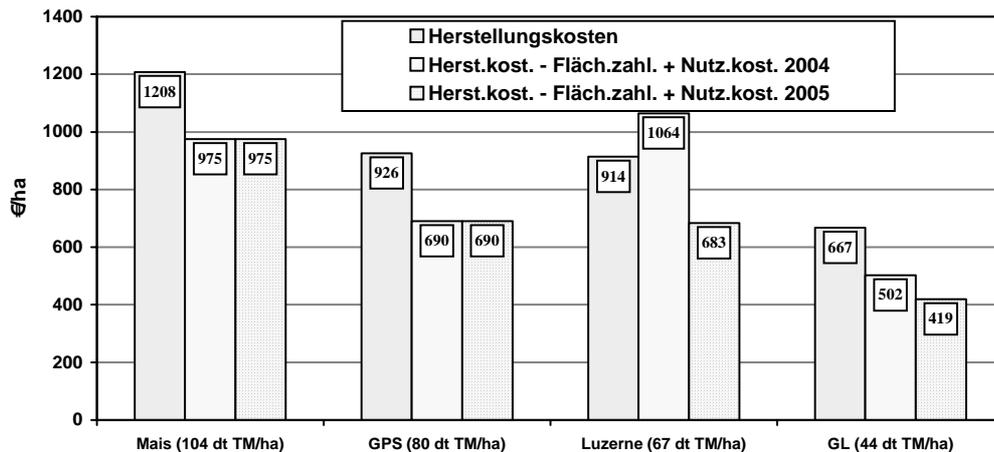


Abbildung 4: Energiepflanzenkosten (\approx Grundfutterkosten) in €/ha 2004/2005 (nach Degner, 2005)

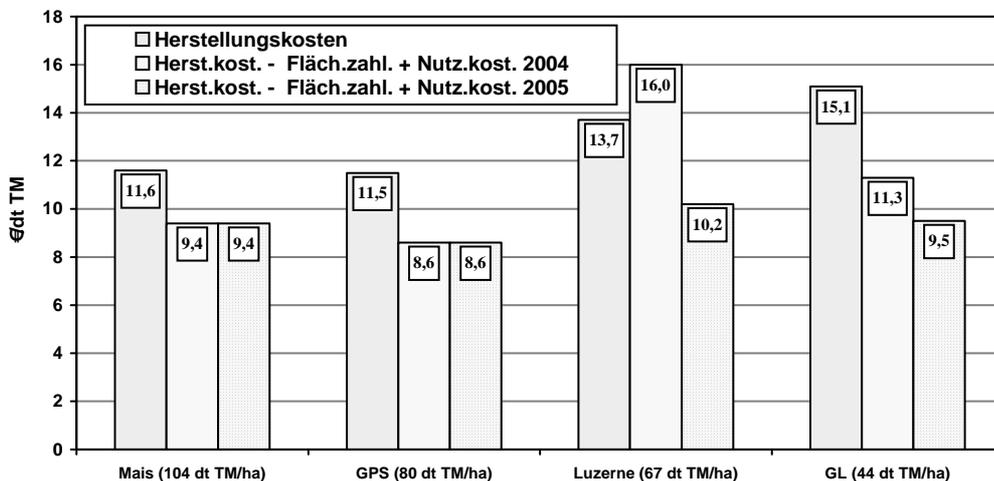


Abbildung 5: Energiepflanzenkosten (\approx Grundfutterkosten) in €/dt TM 2004/2005 (nach Degner, 2005)

Es gilt somit zukünftig genau abzuwägen, welche Silage am besten in den jeweiligen Betrieb passt. Fruchtfolgegesichtspunkte, die Arbeitswirtschaft und die verfügbare Fläche dürften die wichtigsten Entscheidungskriterien sein.

Wichtig ist hier die betriebliche Ermittlung der Herstellungskosten, die mindestens die Kenntnis der betrieblichen Bruttoerträge und der Konservierungs- und Lagerungsverluste voraussetzt. Für die Kostenermittlung können die betriebswirtschaftlichen Richtwerte und die Leitlinien der TLL eine gute Hilfestellung geben.

Neben den Silagen könnte der Einsatz von Getreidekörnern an Bedeutung gewinnen. Bei ähnlichen Preisen, wie Silagen (bezogen auf die Trocken-

masse), ergeben sich Vor- als auch Nachteile. Zu beachten ist, dass der Handelspreis auf 86 % Trockenmasse angegeben wird. Für die Biogasrentabilität ist aber somit der höhere Trockenmassepreis von Bedeutung. Der größte Vorteil ist, wie bereits ausgeführt die gute Lager- und Konservierfähigkeit (Abb. 6).

Silage	Getreide
<ul style="list-style-type: none"> • Ertrag: 10,9 ... 12,3 t_{TS}/ha • CH₄-Ertrag: 320 l/kg oTS • → 3.500 m³/ha • Kosten 100 €/t TM <p>Rohstoffkosten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • → 31 Cent/m³ CH₄ • → 9,4 Cent/kWh elt <p>(33 % Wirkungsgrad) Applikationsmenge: hoch</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 5,6 ... 7,3 dt_{TS} /ha • 350 l/kg oTS • → 2.300 m³/ha • 60 ... 120 €/t TM (Preis) (= 7 ... 14 €/dt FM) <p>Rohstoffkosten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • → 20 ... 34 Cent/m³ CH₄ • → 6 ... 10 Cent/kWh elt <p>(33 % Wirkungsgrad) Applikationsmenge: niedrig + H₂O (?)</p>

Abbildung 6: Verfahrensökonomische Unterschiede Silage - Getreide

Beim Einsatz von Silage wird je Tonne Silageeinsatz eine beträchtliche Menge an Wasser (600 – 700 kg/t) dem Prozess mit zugeführt. Zusätzlich sind die Konservierungsverluste (Silierverluste) zu beachten. Gegebenenfalls ist der Einsatz des anfallenden Silosickersaftes in den Prozess zu integrieren.

Der Einsatz von Getreide erfordert geringere Trockensubstanzgehalte des Grundsubstrates. Besonders bei hohen Einsatzmengen ist oft eine zusätzliche Flüssigkeitszufuhr erforderlich. Zum Teil wird dies durch Rezirkulation von Biogasgülle ausgeglichen. Charakteristisch für den Einsatz von Getreide ist weiterhin der geringere Prozesswärmebedarf.

Der Einsatz von hohen Getreidemengen ist somit besonders geeignet für Grundsubstrate mit geringem Trockensubstanzgehalt (z. B. Schweinegülle) und in Anlagen, die aber über einen hohen Wärmebedarfsträger (Schweinezuchtanlagen) verfügen. Zur Zeit werden auch Monogetreidevergärungsanlagen stark diskutiert.

Ein weiterer Vorteil ist die niedrige Verweilzeit. Nach WEILAND (2004) beträgt sie 20 Tage (Maissilage ca. 50 Tage). Das geschrotete Getreide ermöglicht es, aufgrund der hohen Abbaugeschwindigkeit mit kleineren Faulräumen bei höheren Belastungsstufen zu arbeiten. Der Anteil der Festkosten an den Gesamtkosten der Biogaserzeugung wird somit reduziert. Dies ist besonders relevant in Anbetracht der Kosten für die Feld-

früchte im Vergleich zum Kostenneutral zur Verfügung stehenden Wirtschaftsdünger (Grundsubstrat).

Die vorgestellten Verfahren der Biomassebereitstellung für die Biogasproduktion konzentrieren sich auf „klassische“ Fruchtarten. Sudangras, Topinambur, Durchwachsene Silphie sowie der Anbau von Mischkulturen und Ackerfuttermischungen und die Erprobung des oft zitierten Zweikulturnutzungssystems sind Fragestellungen, die in einem bei der FNR beantragten Forschungsvorhaben ab diesem Jahr tiefergehend bearbeitet werden sollen. Nach Vorliegen der Ergebnisse lassen sich detaillierte Aussagen zur Umweltverträglichkeit sowie zur Effizienz der Energiepflanzenproduktion machen.

Wirtschaftlichkeit von landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Dr. Kerstin Jäkel, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

1 Rahmenbedingungen

Dass sich die Biogasproduktion und –nutzung in den letzten Jahren so stark entwickelt hat, ist entscheidend auf die politischen Rahmenbedingungen, insbesondere auf das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) zurückzuführen. Nachfolgend werden die Vorteile aber auch die Grenzen aufgeführt.

Vorteile für die Volkswirtschaft

- Schonung der Rohstoffressourcen
- aktive Mitwirkung am Umweltschutz
- dezentrale Energieversorgung
- geringere Geruchsemission
- speicherbare Energiequelle
- kontinuierlich verfügbar

Vorteile für die Landwirtschaft

- Energiegewinn
- wirtschaftliche Stabilisierung
- höhere Akzeptanz landwirtschaftlicher Betriebe in der Bevölkerung
- verbesserte Gülleeigenschaften

Vorteile durch die Behandlung der Rohgülle

- gezieltere Düngung möglich
- Gülle wird homogener und dünnflüssiger
- höhere Pflanzenverträglichkeit
- geruchsärmere Gülle entsteht
- Absenken der Nährstoffverluste bei optimaler Ausbringung

Um die genannten Vorteile auch auszunutzen und zu erreichen, wurden zahlreiche Programme des Bundes und der Länder aufgelegt. An Hand der nachfolgend dargestellten Förderungen kann eine verstärkte Investitionsleistung in Biogasanlagen nachvollzogen werden.

Förderprogramme - Bund

- Stromeinspeisegesetz von 1990 (geändert 1998)
- EEG vom 29.03.2000
- KfW Programm
- AFP 2003
- EEG vom 01.08.2004

Förderprogramme - Sachsen

- Einzelförderung 1999
- RL 51 (Dez. 2000 – Zuschuss von 30 % zur Investitionssumme)

Neben den positiven Rahmenbedingungen gibt es auch Faktoren, die bei einem Einstieg in dieses Produktionsverfahren beachtet werden müssen und die je nach betrieblicher Situation hemmend bzw. begrenzend wirken können.

Begrenzende Faktoren

- Es können Gefahren entstehen durch Abgase, Lärm und Unfälle (Explosion, Brand), die Sicherheitsregeln des Fachverbandes Biogas und der Berufsgenossenschaft sind deshalb einzuhalten.
- Technisch gibt es noch Reserven.
- Die Nutzung der Wärmeenergie muss noch verbessert werden.
- Abfallentsorgung ist in der Landwirtschaft kaum möglich.

Begrenzend wirken folgende rechtliche Rahmenbedingungen:

- Immissionsschutzrecht,
- Düngemittelrecht und Düngemittel VO,
- Bioabfall VO.

Aus betrieblicher Sicht sollten folgende wichtige Kriterien geprüft werden:

- Standortsicherheit,
- Liquidität des Unternehmens,
- Stand der baulichen und technische Anlagen der Tierproduktion,
- Rohstoffaufkommen,
- Gewinnerwartung.

2 Kosten der Biogaserzeugung

Nachfolgend werden die Kosten der landwirtschaftlichen Biogasproduktion tabellarisch dargestellt. Aus der Höhe der Investition berechnen sich Abschreibungen und Zinsen, welche die Kapitalkosten bilden. Alle anderen Kosten zählen zu den Betriebskosten. Die in der Tabelle 1 angegebenen Planungswerte wurden an Hand der Buchführungsaufzeichnungen von 20 Biogasproduzenten in Sachsen ermittelt. In der dritten Spalte sind Beeinflussungsmöglichkeiten zur Kostenreduzierung aufgeführt.

Die graphische Darstellung der Abbildung 1 zeigt die prozentuale Aufteilung der Kosten. Die Kapitalkosten bilden mit über 50 % den höchsten Anteil. Die Reparatur-, Wartungs- und Instandhaltungskosten haben die zweitgrößte Bedeutung und weisen darauf hin, dass das Bedienpersonal gut ausgebildet sein muss.

Für Investitionskosten können bei hoher Selbstbeteiligung (z. B. Erdarbeiten) etwa 550 bis 600 EUR/GV angesetzt werden. Bei schlüsselfertigen Anlagen liegen die Kosten bei 600 bis 850 EUR/GV. Die Investitionskosten werden für eine bessere Vergleichbarkeit beim Einsatz von größeren Mengen an Kofermenten auch angegeben werden in EUR/m³ Faulraum oder EUR/kW. Diese schwanken zwischen 250 und 600 EUR/m³ bzw. 2.000 und 4.000 EUR/kW (Abbildung 2).

Tabelle 1: Kosten landwirtschaftlicher Biogasanlagen (Richtwerte)

Kosten	Planungswert	Beeinflussung
Investitionen	<ul style="list-style-type: none"> • 880 €/GV • 420 €/m³ • 3.200 €/kW 	Verfahren, Automatisierungsgrad, Bauma- terial, Sicherheitsstandard, Serienproduk- tion, Planung, Fördermittel
Abschreibung	16 Jahre (6,25 %)	
Zinsen	3 bzw.6 %	Investitionshöhe, Finanzierung, Förder- höhe
Reparatur, Wartung, In- standhaltung, Betriebsmittel	3 % *)	eingesetzte Technik, Wartungsverträge, eingesetztes Personal, Vertragsgestaltung
Versicherungen	0,5 %*)	Angebotsvergleiche, Vertragsgestaltung
Gebühren, Untersuchungen, Verbände, Gemeinkosten, Stromzukauf	?	Arbeitsorganisation
Arbeitskraft	3 - 4 h/d	Automatisierungsgrad, Anzahl Inputmateri- alien, Stundenlohn
Anbau-/Silierkosten Dung- lager- und Ausbringekosten	25 €/t (Mais)	Kosten landw. Maschinen und Silos

*) von der Investitionssumme

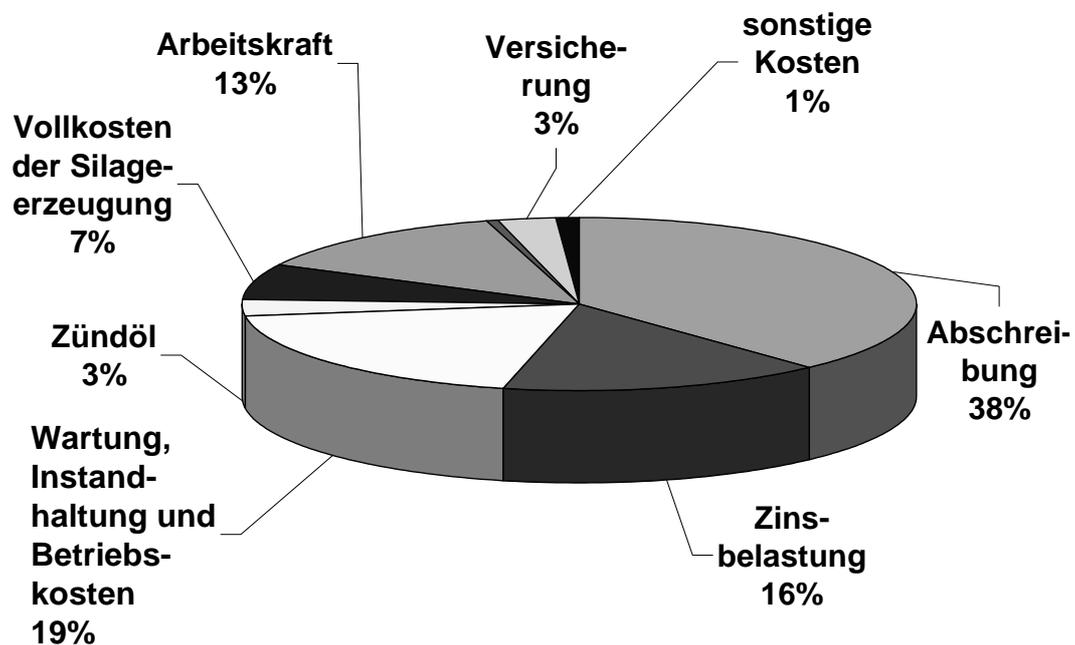


Abbildung 1: Aufteilung der Kosten

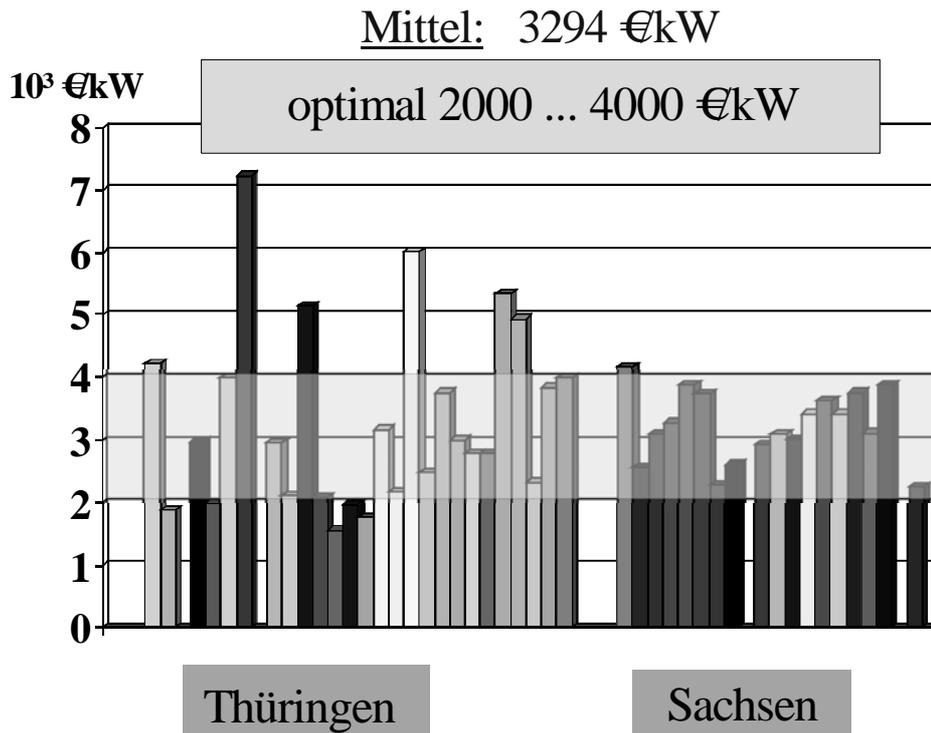


Abbildung 2: Spezifische Investitionen (€/kW) Thüringer und Sächsischer Biogasanlagen

Zu den Investitionskosten gehört auch der Elektroenergieanschluss. Er muss gesondert geplant werden. Die Kosten sind enormen Schwankungen unterworfen. Entscheidend ist der mögliche bzw. optimale Ort der Einspeisung. Die von den EVU genannten günstigsten Einspeisestellen sollte man überprüfen.

Durch technische Störungen und durch Überdimensionierung der Anlagen wird die volle installierte Leistung der BHKW's nicht ausgenutzt. Abbildung 3 zeigt die tatsächliche Nutzung in Volllaststunden in Praxisanlagen in Sachsen.

Die Spanne der Ausfallzeiten in den Anlagen reicht von wenigen Stunden pro Jahr für die Wartung der BHKW's bis zu mehreren Monaten, wenn am Reaktor eine Reparatur durchgeführt werden muss.

Trotz der noch auftretenden Mängel kann die Biogaserzeugung als Stand der Technik betrachtet werden, die Technologie zur Erzeugung von Biogas ist ausgereift.

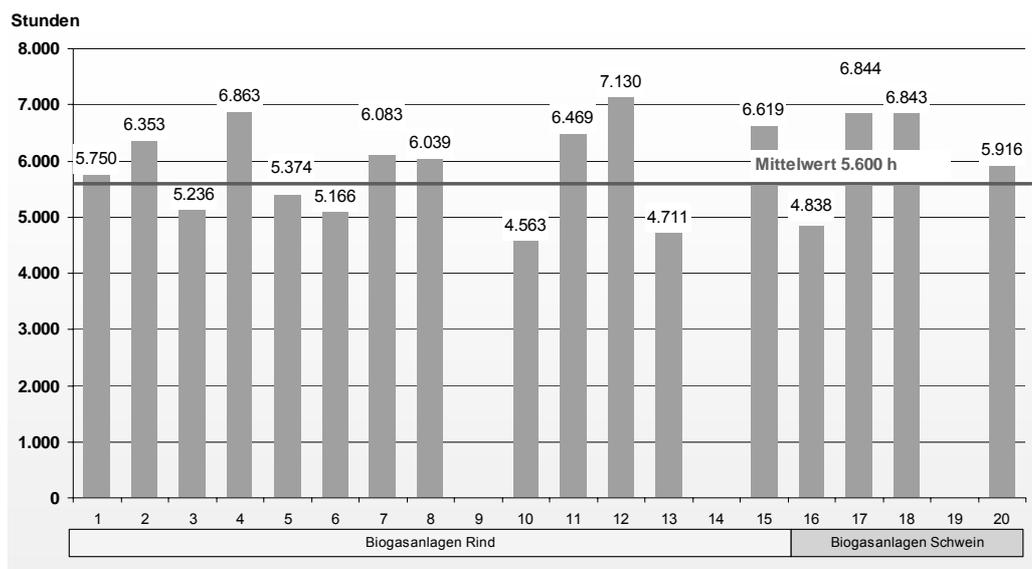


Abbildung 3: Stromerzeugung pro installierte Leistung (Volllaststunden der BHKW)

Nicht zu unterschätzen ist der finanzielle Einsatz für die Arbeitskraft. Er schwankt vor allem je nach Automatisierungsgrad und Anzahl an Kofermenten. Der Anteil der Arbeitskosten nimmt mit steigender Anlagengröße ab. Kleinere Anlagen benötigen eine Betreuungszeit von 1 bis 2 Stunden pro Kalendertag. Deutlich mehr Arbeitsstunden werden notwendig, wenn Kofermente mit in der Anlage verarbeitet werden bzw. Umbaumaßnahmen und größere Reparaturen anstehen. Abbildung 4 zeigt die täglich benötigten Arbeitskraftstunden in den sächsischen Biogasanlagen. Die Managementstunden der Betriebsleiter sind in dieser Darstellung nicht mit enthalten.

Durch das neue EEG versuchen auch reine Marktfruchtbetriebe verstärkt Biomasse für Biogasanlagen zu liefern. Diese alternative Nutzung bietet sich insbesondere auf Grenz- und schlechten Standorten an. Eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung für solche Biogasanlagen ist jedoch besonders kritisch zu prüfen, da die Erzeugung der Gärsubstrate durch die Biogasproduktion mit finanziert werden muss (Substratkosten). Auf ungünstigen Standorten liegen die Erzeugungskosten für die Substrate pro ha etwas niedriger, da weniger Masse geerntet wird, die Kosten pro dt liegen jedoch höher als auf dem günstigen Standort. Der Landwirt sollte sich an der Gewinnsituation pro ha orientieren, um unterschiedliche Verwertungsrichtungen besser vergleichen zu können. In der Tabelle 2 werden einige Fruchtarten auf ihre relative Vorzüglichkeit für den Einsatz in Biogasanlagen gegenübergestellt. Bis auf alle Grünlandnutzungsformen liegen die Gewinne mit rund 2 Cent pro kWh (220 bis 240 €/ha) eng beieinander. Getreide schneidet im Gewinn pro ha etwas schlechter ab. Auf schwachen

Maisstandorten ist die Ganzpflanzensilage auf jeden Fall vorzuziehen. Leider ist keine der unterschiedlichen Bewirtschaftungsvarianten beim Grünland wirtschaftlich.

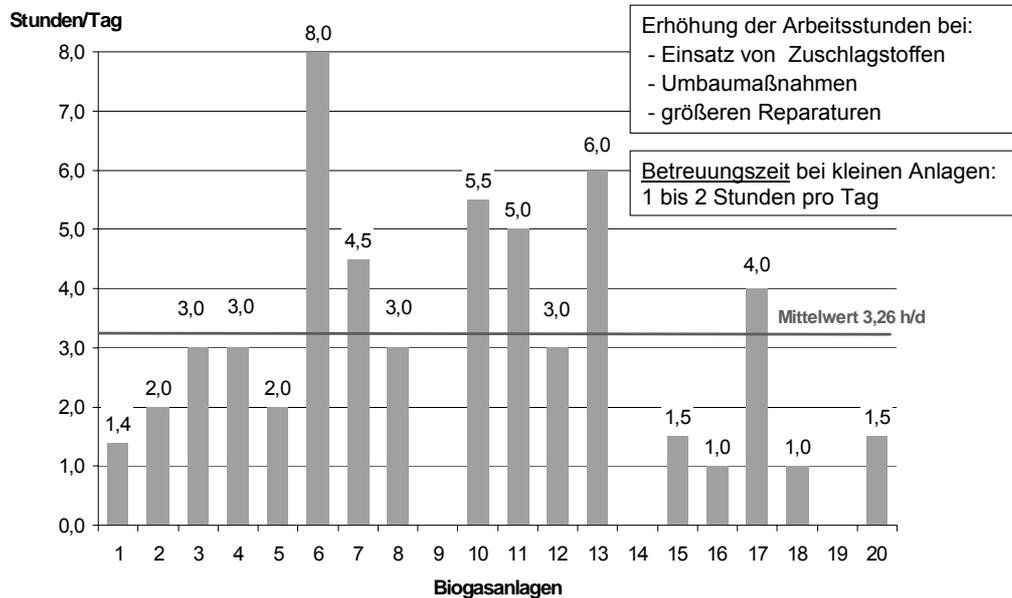


Abbildung 4: Tägliche Arbeitskraftstunden in Biogasanlagen

Tabelle 2: Einsatz von Kofermenten (Berechnung unter Einbeziehung aller Prämien (Bedingungen: TS = 35 %; oTS = 90 %, η el. 33 %)

	ME	Ganzpflanzensilage			Anweilksilage			Mais-silage	Weizen
		Triticale	WG	WR	intensiv	KULAP	Landschafts-pflege		
EEG bis 500 kW									
Bruttoertrag	dt/ha	280	280	280	400	300	270	450	62,5
Nettoertrag	dt/ha	246	246	246	194	146	131	396	61,5
Gasausbeute	m ³ /kg oTS	0,59	0,59	0,59	0,55	0,37	0,13	0,60	0,70
Gasertrag	m ³ /ha	5742	5742	5742	3.286	1.664	525	7261	3670
Energiegehalt	kWh/ha	32731	32731	32731	18.732	9.484	2.990	41.388	20.922
nutzbarer Strom	kWh/ha	11287	11287	11287	6.460	3.270	1.031	14.273	7.215
Erlös Strom	EUR/ha	1840	1840	1840	1.053	533	168	2.326	1.176
Düngewertanteil	EUR/ha	121	121	121	92	58	36	151	95
Energiepflanzen-prämie	EUR/ha	45	45	45	45	45	45	45	45
Gesamterlös	EUR/ha	2005	2005	2005	1.190	636	249	2.522	1.316
	EUR/kWh	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,24	0,18	0,18
Ausbringungskosten (2,5 €/m ³)	EUR/ha	43	43	43	27	20	18	69	11
Erweiterung Dung-lager (1,5 €/m ³)	EUR/ha	26	26	26	16	12	11	42	6
Kosten Biogasan-lage (0,07 €/kWh _{el})*	EUR/ha	790	790	790	452	229	72	999	505
Anbau-/Silierkosten	EUR/ha	903	913	923	1.100	569	305	1172	661
Gesamtkosten	EUR/ha	1762	1772	1781	1.595	830	406	2282	1183
	EUR/kWh	0,16	0,16	0,16	0,25	0,25	0,39	0,16	0,16
Gewinn	EUR/ha	244	234	224	-405	-194	-157	240	133
	EUR/kWh	0,022	0,021	0,020	-0,063	-0,059	-0,152	0,017	0,018
EEG-Vergütung	EUR/kWh	0,163	0,163	0,163	0,163	0,163	0,163	0,163	0,163

3 Erlöse der Biogaserzeugung

Ebenso wie die Kosten können auch die Erlöse auf recht unterschiedliche Weise beeinflusst werden, wie Tabelle 3 zeigt.

Tabelle 3: Erlöse landwirtschaftlicher Biogasanlagen

Erlöse	Planungswert	Beeinflussung
Elektroenergie	bis zu 0,175 €/kWh	EEG, Inputmaterial, Anlagenauslastung, Gasausbeute, Prozessenergie, Motorenkennzahlen
Wärmeenergie	ca. 0,04 €/kWh	Prozessenergie, Wärmeausnutzungsgrad, Verkaufsmöglichkeit
Dungwert	ca. 150 €/t (Mais)	nur bei Zugabe zusätzlicher Stoffe
	ca. 90 €/t (Gras)	
Energiepflanzenprämie	45 €/ha	
Entsorgungseinnahmen	?	nach Situation des Marktes
Düngemittelverkauf	?	
Verbesserung der Gülleeigenschaften	keine monetäre Bewertung	Verweilzeiten, Schwimmschichtbildung
Geringer Verschleiß der Gülletechnik	keine monetäre Bewertung	

Über 90 % der Erlöse kommen aus der Stromeinspeisung. Die Erlöse aus der erzeugten Wärme sollten aus betriebswirtschaftlicher Sicht erhöht werden. Bei den sonstigen Erlösen sind z. B. auch Rückerstattungen von Maschinenausfallversicherungen enthalten. (Abbildung 5)

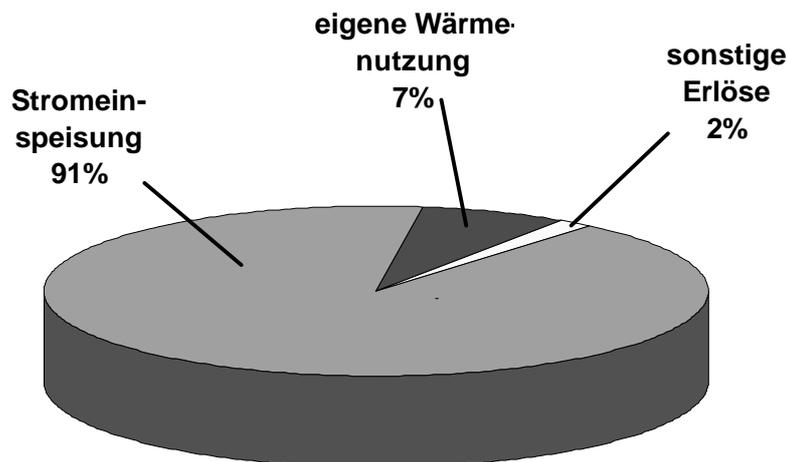


Abbildung 5: Aufteilung der Erlöse

Der bedeutendste Faktor für die Wirtschaftlichkeit ist die Gasausbeute. Eine gute Prozessführung ist demzufolge zwingend erforderlich für hohe Erlöse. Abbildung 6 zeigt die Gewinnunterschiede bei niedriger und hoher Gasausbeute.

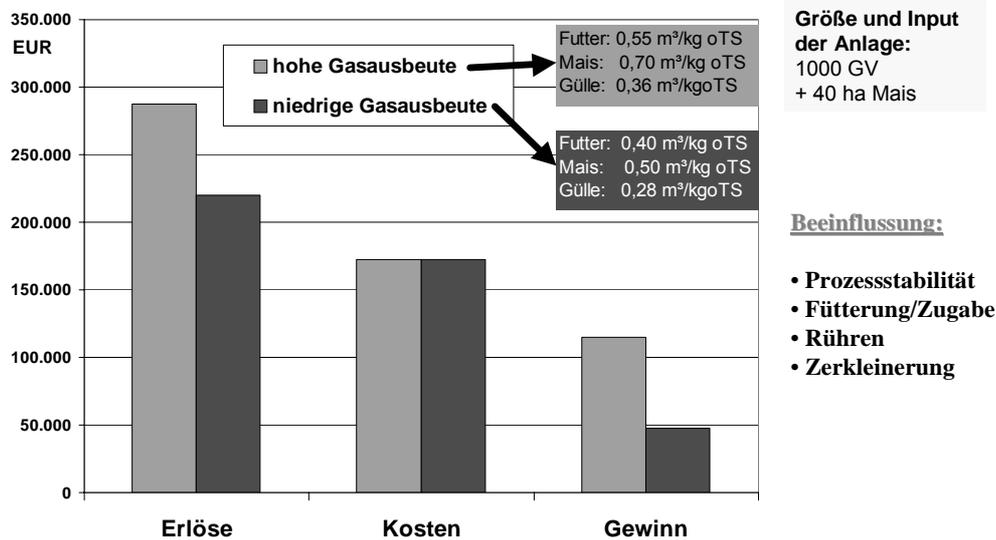


Abbildung 6: Richtwerte für die Gasausbeute

Um aber das Gas vollständig in gelieferten Strom umzusetzen, sollte die elektrische Prozessenergie möglichst gering sein. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass eine höhere Gasausbeute durch die Aufbereitung von Kofermenten auch mit einer Erhöhung der Prozessenergie einhergeht. Exakt wissenschaftliche Untersuchungen zur Abwägung von Kosten und Erlösen stehen noch weitestgehend aus.

Auch alle motorischen Kennzahlen sind von großer Bedeutung für die Stromausbeute. Der Gasverbrauch des Motors in m³/kWh (rund 0,5 m³/kWh), die erzeugte Energiemenge in kWh/m³ Gas und ganz besonders der Wirkungsgrad sind entscheidend für eine hohe Energieausbeute, insbesondere an elektrischer Energie. Auch die Wartungszeiten haben eine hohe Bedeutung. Sie müssen in kurzer Zeit erledigt werden, um Gasverluste zu vermeiden. Der Gasspeicher muss die entsprechende Größe besitzen, um die Wartungszeiten der BHKW's zu überbrücken.

4 Gesamtwirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung

Die nachfolgende Kalkulation stellt drei verschiedene Biogasanlagen mit einer unterschiedlichen Menge an Kosubstraten dar. Während bei der ersten Anlage nur die Rindergülle inklusive Futterreste genutzt wird, wird

in der zweiten und dritten Anlage der Maisanteil (bzw. der Kofermenteeinsatz) gesteigert. In der dritten Anlage wird nur Mais verarbeitet. Wie zu erkennen ist, verschlechtert sich die Gewinnsituation bis zur dritten Anlage auf Grund der hohen Substratkosten für den Mais deutlich. (Tabelle 4)

Tabelle 4: Wirtschaftlichkeit bei unterschiedlichen Substraten

Anschlusswert BHKW Investitionen Amortisation	[kW el.] [EUR/kW] [Jahre]	130 4000 4,8	200 4100 6,7	200 4200 10,3	
Größe und Input der Anlage		1000 GV	1000 GV + Mais	Mais	
Investitionskosten der Anlage		520.000	820.000	840.000	EUR
dav. Fördermittel		0	0	0	EUR
Kosten ohne Fördermittel		520.000	820.000	840.000	EUR
Abschreibung (6,25 %)		32.500	51.250	52.500	EUR/Jahr
Zinsbelastung (Fremdkapital) (3,4 % / 6 %)		15.600	24.600	25.200	EUR/Jahr
Wartung und Betriebskosten		10.400	16.400	16.800	EUR/Jahr
Instandhaltung		5.200	8.200	8.400	EUR/Jahr
Vollkosten der Silageerzeugung		0	46.895	91.740	EUR/Jahr
Arbeitskraft		10.950	16.425	18.000	EUR/Jahr
Versicherung		2.600	4.100	4.200	EUR/Jahr
Gemeinkosten		3.000	5.000	6.000	EUR/Jahr
Gesamtkosten/Jahr		80.250	172.870	222.840	EUR/Jahr
Einnahmen					
Eigenbedarfsdeckung Elektroenergie		0		0	EUR/Jahr
Stromverkauf 0,1750 bzw. *) 0,1746 EUR/kWh		154.816	235.647 *)	235.502 *)	EUR/Jahr
Eigenbedarfsdeckung Wärme 0,025 EUR/kWh		0	0	0	EUR/Jahr
Wärmeenergieverkauf		0	0	0	EUR/Jahr
Energiepflanzenprämie		0	1.800	3.712	EUR/Jahr
Düngewertanteil		0	6.040	12.457	EUR/Jahr
Gesamteinnahmen/Jahr		154.816	243.487	251.671	EUR/Jahr
Gewinn/Verlust		74.566	70.617	28.831	EUR/Jahr

5 Zusammenfassung

Wie aus den vorhergehenden Darstellungen hervorgeht, ist die Biogaserzeugung im Bereich der Wirtschaftsdüngervergärung auch für kleine Anlagen wirtschaftlich. Der Bereich der ausschließlichen Energiepflanzenvergärung ist noch sehr jung. Nur sehr wenige Anlagen sind bisher beispielgebend. Für eine gewinnbringende Energieproduktion aus Kofermenten und Energiepflanzen in der Landwirtschaft müssen sehr exakt die Erzeugungskosten für die Substrate kalkuliert werden. Die Spannweiten der Gewinnerzielung gehen in der Praxis weit auseinander, es gibt aber viele Beeinflussungsmöglichkeiten für einen optimalen Energieerzeugungsprozess.

Biogaserzeugung aus Energiepflanzen

*AMON, THOMAS; KRYVORUCHKO, VITALIY; ZOLLITSCH, WERNER;
BODIROZA, VITOMIR; AMON, BARBARA*

*1 DEPARTMENT OF SUSTAINABLE AGRICULTURAL SYSTEMS, DIVISION OF
AGRICULTURAL ENGINEERING, UNIVERSITY OF NATURAL RESOURCES AND
APPLIED LIFE SCIENCES, PETER-JORDAN STRASSE 82, A-1190 WIEN; E-MAIL:
THOMAS.AMON@BOKU.AC.AT*

*BIOGASERZEUGUNG, ENERGIEPFLANZEN, GETREIDE, WIESENGRAS,
SONNENBLUMEN*

Zusammenfassung

Die Biogaserzeugung ist eine Schlüsseltechnologie zur nachhaltigen Nutzung agrarischer Biomasse. Der Biogasertrag pro Hektar ist ein entscheidender Faktor für die Wirtschaftlichkeit. Sortenwahl, Entwicklungsstadium der Pflanzen, Konservierung und Vorbehandlung beeinflussen den Methanertrag. Bei Getreide wurden folgende Erträge gemessen: 4.415 und 4.002 Nm³ CH₄ ha⁻¹ (Weizen), 3.380 Nm³ CH₄ ha⁻¹ (Roggen) und 3.109 und 3.210 Nm³ CH₄ ha⁻¹ (Triticale). Mit fortschreitender Vegetationsentwicklung nahmen die spezifischen Methanausbeuten ab, während der Trockenmasseertrag zunahm. Für hohe Methanerträge ist bei frühreifen Getreidearten die Ernte ab dem Vegetationsstadium „Ährenschieben“ empfehlenswert. Bei spätreifen Getreidearten liegt der optimale Erntetermin später, im Stadium „Teigreife“. Um die Silierfähigkeit zu erhalten, sollte die Biomasse nicht mehr als 45 % TM enthalten. Der Voraufschluss der Silagen von Sonnenblumen und Wiesengras mit Dampf, Mikrowellen oder Säuren erhöht die Methanausbeute.

1 Introduction

Der Biogasertrag wird vom Nährstoffgehalt der Gärrohstoffe beeinflusst. Auf dessen Qualität wirken in verschiedenen Phasen entlang der Erzeugungs- und Nutzungskette zahlreiche Einflüsse (Abbildung 1).

Die Qualität von Energiepflanzen zur Biogasnutzung wird bereits auf dem Feld (Phase I) geprägt. Neben Standortfaktoren bestimmen vor allem pflanzenbauliche Maßnahmen und Einflüsse, wie Sortenwahl, Kulturführung und die Reifeentwicklung der Pflanzen zum Zeitpunkt der Ernte, den Gehalt und die Verfügbarkeit von Substanzen in den Pflanzen, aus denen Methan gebildet werden kann.

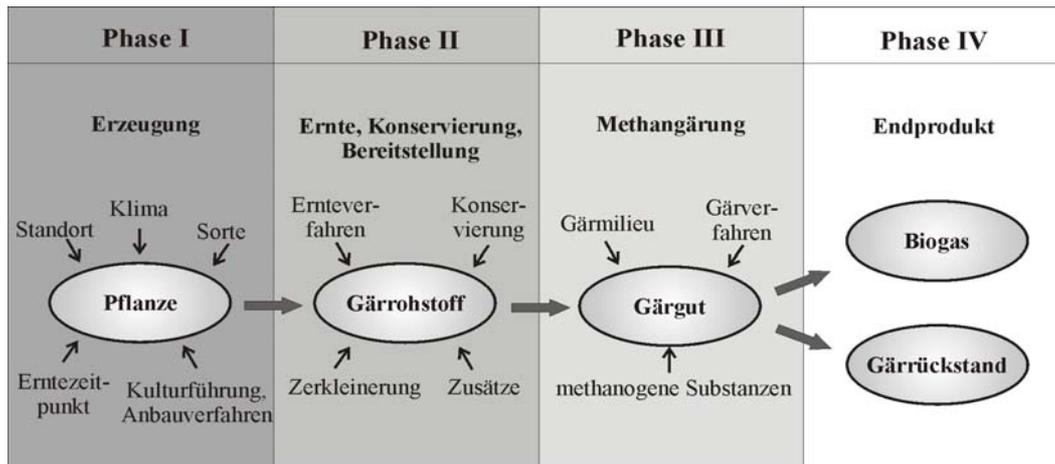


Abbildung 1: Einflüsse auf die Qualität der Pflanzenbiomasse, des Gärrohstoffes und des Gärgutes bei der Nutzung von Energiepflanzen in der Biogaserzeugungskette

2 Ziele

Bei der Biogaserzeugung aus Weizen, Triticale und Roggen werden Methanhektarerträge und das optimale Reifestadium für die Ernte der Bestände bei verschiedenen Sortentypen ermittelt. Dazu werden im Verlaufe der Vegetation das spezifische Methanbildungsvermögen der Gärrohstoffe und der Biomasseertrag der Bestände von jeweils zwei verschiedenen Sorten zu je fünf verschiedenen Entwicklungsstadien der Bestände untersucht.

Die Methanausbeute aus Gärrohstoffen kann durch Cellulose-Lignin-Komplexe vermindert sein. Die Wirkung verschiedener Verfahren der Vorbehandlung auf die spezifische Methanausbeute wird deshalb untersucht. Sonnenblumen, Wiesengras, Weizen und Triticale wurden mit Dampf, Mikrowellen und Säure zum Voraufschluss der Rohfaserfraktion behandelt.

3 Material und Methoden

Die Versuche umfassen Ertragsmessungen in Sortenversuchen, sowie Stoff- und Energiewechselmessungen der anaeroben Vergärung verschiedener Energiepflanzen. Als Einflüsse wurden der Nährstoffgehalt der Gärrohstoffe und die Art der Vorbehandlung untersucht. Die Untersuchungen wurden mit Weizen, Triticale, Roggen, Wiesengras und Sonnenblumen durchgeführt. Die Ernte der Bestände erfolgte im Verlaufe der Vegetation zu jeweils fünf verschiedenen aufeinanderfolgenden Erntezeitpunkten beginnend mit früher Vegetationsentwicklung bis zur Vollreife der Pflanzen (Abbildung 2).

In jedem Reifestadium der Bestände wurden Biomasseerträge ermittelt. Die gewonnenen Proben wurden zerkleinert, aufbereitet und einsiliert. Das spezifische Methanbildungsvermögen der Gärrohstoffe wurde nach DIN-38414 bestimmt. Aus den Ergebnissen der Ertragsmessungen der Pflanzenbestände und der spezifischen Methanbildung der Gärrohstoffe wurde der Methanhektarertrag im Verlaufe der Vegetationsentwicklung berechnet. Der optimale Erntezeitpunkt ist dann erreicht, wenn der Methanhektarertrag maximal und die Biomasse silierfähig ist.

Der Einfluss der Vorbehandlung auf die spezifische Gasausbeute wurde bei der Vergärung von Sonnenblumen und Wiesengras untersucht. Folgende Vorbehandlungsmaßnahmen wurden jeweils geprüft:

- Dampfbehandlung: Druck 0,4 – 0,8 bar, Temperatur 109 – 116°C, Einwirkdauer 1 Stunde.
- Mikrowellenbehandlung: Zu 90 g Probenmaterial wurden 200 g Wasser zugegeben und 15 Minuten lang bei einer Leistung von 560 Watt behandelt.
- Säurebehandlung: Mit Zitronensäure ($C_6H_8O_7$) $M = 192,13 \text{ g/mol}$; Dosierung: 60 g von 20 %iger Zitronensäure zu 30 g Probenfrischmasse. Einwirkdauer 24 Stunden.

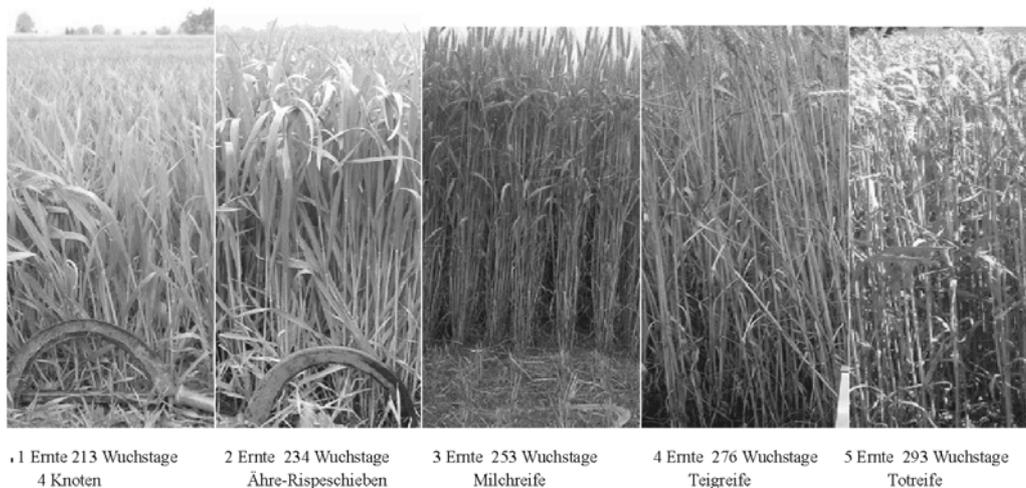


Abbildung 2: Winterweizenbestand (Sorte: Capo) zum jeweiligen Erntezeitpunkt. Standort: Loimersdorf, Niederösterreich

4 Ergebnisse

Methanhektarerträge und optimales Reifestadium. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Entwicklung der Methanhektarerträge $[NI \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}]$ von Roggen (Beskud), Triticale (Tremplin, Talentro) und von Weizen (Capo, Levendis) sowie die spezifischen Methanerträge $[NI \text{ CH}_4 \cdot (\text{kg oTS})^{-1}]$ der Gärrohstoffe im Vegetationsverlauf.

Wie aus Abbildung 3 zu erkennen ist, waren die spezifischen Methanerträge der Gärrohstoffe in den Vegetationsstadien „Ährenschieben“ (ECA 57 – 59) bis „Milchreife“ (ECA 74 – 75) am höchsten. Der TM-Gehalt der Gärrohstoffe lag zwischen 22 und 34 %. Im weiteren Verlauf der Vegetation nahmen die spezifischen Methanerträge der Gärrohstoffe im Allgemeinen ab. Ab den Vegetationsstadium „Teigreife“ (ECA 84 – 85) hatten die Gärrohstoffe i.d.R. einen Trockenmassegehalt von mehr als 35 - 40 %. Bei Biomasse mit mehr als 40 % TM nimmt die Silierbarkeit ab.

Bei Roggen und Triticale wurden maximale Methanhektarerträge schon ab den Entwicklungsstadien „Ährenschieben“ (ECA 57 – 59) bzw. „Milchreife“ (ECA 74 – 75) erreicht. Das Ertragniveau von Roggen und Triticale war ähnlich hoch. Triticale der Sorte Tremplin erreichte den maximalen Methanhektarertrag von 3.581 NI CH₄·ha⁻¹ Ende Juni im Stadium der „Milchreife“ (ECA 74 – 75), während auf demselben Standort die Sorte Talentro den maximalen Methanhektarertrag 3.686 NI CH₄·ha⁻¹ schon Anfang Juni im Vegetationsstadium „Ährenschieben“ (ECA 57 – 59) erreichte.

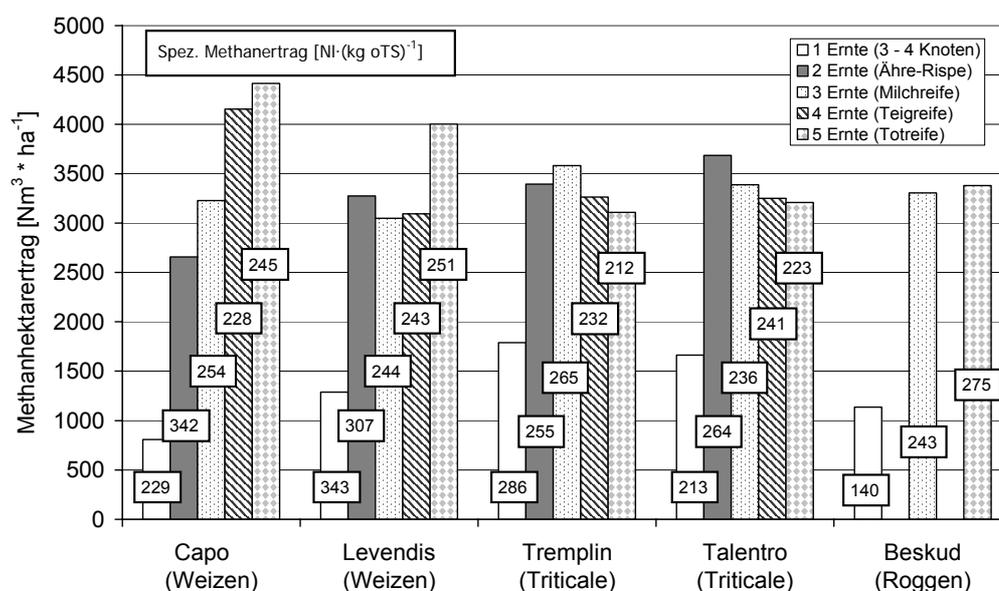


Abbildung 3: Spezifischer Methan- und Methanhektarertrag von Roggen, Triticale und Weizen im Vegetationsverlauf. Standort: Loimersdorf, Niederösterreich

Roggen und Triticale erreichten maximale Methanhektarerträge früher in der Vegetation als Weizen. Weizen erreichte höchste Methanhektarerträge erst gegen Ende der Vegetation. Je nach Sorte wurden zwischen 4.002 und 4.415 Nm³ CH₄·ha⁻¹ erzielt. Beim Weizen zeigte die Sorte Capo im Vergleich zur Sorte Levendis in der Jugendentwicklung niedrigere Biomassezuwächse. Mit Beginn der generativen Phase der Bestände bildete

die Sorte Capo deutlich mehr Biomasse als die Sorte Levendis. Entsprechend waren Verlauf und Höhe der Biomasse- und Methanhektarerträge der beiden Weizensorten unterschiedlich ausgeprägt.

Behandlung der Biomasse. Tabelle 1 zeigt den spezifischen Biogas- und Methanertrag mit Mittelwert (\bar{x}), Anzahl der Wiederholungen (n) und der Standardabweichung des Mittelwertes ($\pm s$) bei der Vergärung von unbehandelten Sonnenblumen und Wiesengras im Vergleich zu den mit Dampf, Mikrowellen und Zitronensäure vorbehandelten Gärrohstoffen. Bei Sonnenblumen führten Dampf- und Mikrowellenbehandlung der Gärrohstoffsilage zu einer deutlichen Steigerung des spezifischen Methanertrages um 65 – 82 % im Vergleich zum unbehandelten Gärrohstoff. Durch die Säurebehandlung wurde ein Mehrertrag von 16 % erreicht. Verfahren der Dampf- und Mikrowellenbehandlung führten auch bei Wiesengras zu Steigerungen des spezifischen Methanertrages um 23 % bzw. 29 % im Vergleich zu unbehandeltem Wiesengras.

Tabelle 1: Spezifischer Biogas- und Methanertrag mit Mittelwert (\bar{x}) und Standardabweichung ($\pm s$) und relative Änderung des Ertrages von Sonnenblumen und Wiesengras bei unterschiedlicher Vorbehandlung mit Dampf, Mikrowellen und Säure. (Anzahl der Wiederholungen = 3).

Variante	Spez. Biogasertrag			Spez. Methanertrag		
	[NI Biogas·(kg oTS) ⁻¹]			[NI CH ₄ ·(kg oTS) ⁻¹]		
	\bar{x}	$\pm s$	%	\bar{x}	$\pm s$	%
Sonnenblumen unbehandelt	439	21	100	243	10	100
Sonnenblumen dampfbehandelt	649	19	148	402	9	165
Sonnenblumen mikrowellenbehandelt	709	26	162	443	12	182
Sonnenblumen säurebehandelt	476	31	108	281	15	116
Wiesengras unbehandelt	577	13	100	309	9	100
Wiesengras dampfbehandelt	682	50	118	380	28	123
Wiesengras mikrowellenbehandelt	737	45	128	399	26	129
Wiesengras säurebehandelt	504	46	87	282	10	91

5 Schlussfolgerungen

Weizen, Triticale und Roggen sind für die Biogaserzeugung gut geeignet. Triticale und Roggen sind auf Grund ihres hohen Biomassebildungsvormögens in relativ frühen Entwicklungsstadien besonders gut als Vorfrüchte, z. B. vor Mais oder für den Zwischenfruchtanbau geeignet.

Um hohe Methanerträge bei guter Silierfähigkeit der Gärrohstoffe zu erreichen, ist bei frühreifen Getreidearten, wie z. B. Triticale und Roggen, die Ernte ab dem Vegetationsstadium „Ährenschieben“ (ECA 57 - 59) empfehlenswert. Bei spätreifen Getreidearten, wie z. B. Winterweizen, liegt der optimale Erntetermin später in der Vegetation, wenn die Bestände das Stadium Teigreife (ECA 84 - 85) erreicht haben. Um die Silierfähigkeit der Gärrohstoffe zu erhalten sollte die Biomasse nicht mehr als 45 % TM in der FM enthalten.

Der Voraufschluss von Gärrohstoffen mit Dampf, Mikrowellen oder Säuren wirkt sich vor allem bei der Nutzung von rohfaserreichen Gärrohstoffen besonders positiv auf die Methanausbeute aus.

Danksagung. Die Untersuchungen werden im Rahmen der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“, einer Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), durchgeführt. Beteiligt sind: Raiffeisen Ware Austria AG, Pioneer Saaten Ges.mbH. Parndorf (Austria), Industrie-Produktions- und umwelttechnisches Service (IPUS), GE Jenbacher, Schmack Biogas, Nawaros-Bioenergie und Rohstoff.

Rechtliche Fragen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes

Rechtsanwälte Dr. Maslaton & Kollegen GmbH

Hinrichsenstraße 16, 04105 Leipzig

RA Dr. Maslaton, Fachanwalt für Verwaltungsrecht,

Lehrbeauftragter für das Recht der erneuerbaren Energien an der
TU Chemnitz/Bergakademie Freiberg

RA Dr. Maslaton, Stellvertretender Sprecher der Regionalgruppe
Sachsen/Thüringen des Fachverbandes Biogas e.V.

I. Einleitung

Das am 1. August 2004 - nach einem langen und schwierigen Gesetzgebungsverfahren - in Kraft getretene neue EEG ist für die Biomasseverstromung von herausragender Bedeutung.

Durch zahlreiche Änderungen sowie die Einführung diverser Boni hat der Markt einen bisher einmaligen Impuls erhalten

Marktkenner rechnen **im Jahr 2005** mit der Entstehung von ca. **1.000 Neuanlagen**.

Dabei werden neben den typischen Kleinanlagen in zunehmendem Maße auch Biogaskraftwerke im Megawattbereich entstehen.

Damit wird die Biomasse zunehmend zu einer etablierten Größe auf dem alternativen Energiesektor.

II. Das novellierte EEG

1. Netzanschluss und Abnahme

a) Grundsatz:

§ 4 Abs. 1 Satz 1 EEG: „Netzbetreiber sind verpflichtet, Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien oder aus Grubengas unverzüglich vorrangig an ihr Netz anzuschließen und den gesamten aus diesen Anlagen angebotenen Strom [...] vorrangig abzunehmen und zu übertragen.“

- Es besteht eine grundsätzliche Pflicht des Netzbetreibers die Anlage an das Netz anzuschließen.
- Der Anschluss muss vorrangig erfolgen, d. h. ggf. sind andere Einspeiser vom Netz zu nehmen, wenn diese keine alternativen Energien liefern.
- Der Anschlusspflicht korrespondiert eine Abnahmepflicht bezüglich des eingespeisten Stroms.
- Die Pflicht zur Abnahme des Stroms besteht auch dann, wenn diese erst durch einen zumutbaren wirtschaftlichen Ausbau des Netzes möglich wird.
- Der Anschluss an das Netz muss unverzüglich erfolgen.

b) Einschränkungen:

Die Netzanschluss- und Abnahmepflicht gilt jedoch nicht ausnahmslos. Einschränkungen ergeben sich:

- bei vollständiger Auslastung des Netzes durch regenerative Energien,
- bei genehmigungsbedürftigen Anlagen (= Biomasseanlagen) entsteht die Ausbaupflicht erst bei Vorlage einer Baugenehmigung, Teilbaugenehmigung oder eines Vorbescheids
- Die Netzanschlusspflicht besteht nur, wenn die Anlage mit einer technischen Einrichtung zur Reduzierung der Einspeiseleistung bei Netzüberlastung ausgestattet ist (Erzeugungsmanagement).

c) Offenlegungspflicht:

Der Netzbetreiber ist gem. § 4 Abs. 4 EEG verpflichtet, die Netzdaten vorzulegen, die für eine nachprüfbare Netzverträglichkeitsprüfung erforderlich sind.

- Achtung! Daraus folgt keine Pflicht des Netzbetreibers selbst eine nachprüfbare Netzberechnung vorzulegen!
- Die Vorlage der Netzdaten muss innerhalb von acht Wochen erfolgen.
- Die Vorlage der Netzdaten hat unentgeltlich zu erfolgen!
- Der Vorlagepflicht korrespondiert die Pflicht des Anlagenbetreibers erforderlichenfalls die für den Anschluss relevanten Anlagendaten offenzulegen.

2. Vergütungssituation

a) Grundvergütung

Im neuen § 8 EEG ist die Vergütung für Strom aus Biomasse sehr ausführlich geregelt. Die Mindestvergütungen für Strom aus Biomasse betragen danach:

- bis zu einer Leistung von 150 kW: 11,5 Cent/kWh
- bis zu einer Leistung von 500 kW: 9,9 Cent/kWh
- bis zu einer Leistung von 5 MW: 8,9 Cent/kWh
- ab einer Leistung von 5 MW: 8,4 Cent/kWh

Die Vergütungshöhen wurden aus dem alten EEG übernommen und um eine zusätzliche Vergütungsstufe bis 150 kW ergänzt.

Durch die Einführung der neuen Vergütungsstufe bis 150 kW soll der Betrieb von kleinen Anlagen rentabler gemacht werden.

Die Vergütung für den eingespeisten Strom erfolgt in sog. Tranchen. Das bedeutet, dass eine Vergütung für die jeweiligen Vergütungsstufen anteilig erfolgt (vgl. § 12 Abs. 2 EEG).

Beispiel:

Eine Biogasanlage speist 750 kW ins Netz ein. Der eingespeiste Strom ist wie folgt zu vergüten:

150 kW sind mit 11,5 Cent/kWh zu vergüten

350 kW sind mit 9,9 Cent/kWh zu vergüten

250 kW sind mit 8,9 Cent/kWh zu vergüten

Die für die Vergütung maßgebliche Leistung richtet sich dabei nicht nach der elektrischen Wirkleistung der Anlage, sondern wird als Quotient zwischen den im Jahr eingespeisten Kilowattstunden und den Zeitstunden eines Kalenderjahres bestimmt.

Beispiel:

Eine 2004 in Betrieb genommene Anlage mit einer installierten Leistung von 500 kW hat im Jahr 2005 insgesamt 3.100 MWh eingespeist. Welche Vergütung ist zu zahlen?

$$\begin{aligned} \text{Leistung der Anlage} &= \frac{\text{Jahresertrag in kWh}}{8.760 \text{ Stunden (= 1 Jahr)}} \\ &= \frac{3.100.000 \text{ kWh}}{8.760 \text{ h}} \\ &= \mathbf{354 \text{ kW}} \end{aligned}$$

zu vergüten sind demnach:

150 kW x 8.760 Stunden mit 11,50 Cent/kWh

154 kW x 8.760 Stunden mit 9,90 Cent/kWh

b) NawaRo-Bonus

Wesentliche Neuerung für die Biomasseverstromung ist der sog. NawaRo-Bonus gem. § 8 Abs. 2 EEG für die ausschließliche Verwendung bestimmter Einsatzstoffe.

Die Höhe des NawaRo-Bonus richtet sich nach der Anlagengröße und beträgt:

○ für eine Leistung bis 500 kW: 6,0 Cent/kWh

○ für eine Leistung bis 5 MW: 4,0 Cent/kWh

Durch den NawaRo-Bonus soll insbesondere die Wirtschaftlichkeit von kleineren Anlagen, die ausschließlich Stoffe aus Landwirtschaft- und Gartenbau, Fäkalien aus der Landwirtschaft und/oder Waldrestholz einsetzen, verbessert werden.

Auch der NawaRo-Bonus wird in Tranchen vergütet.

Leistet eine Anlage also über 500 kW, so werden 500 kW mit 6,0 Cent/kWh und der darüber hinaus eingespeiste Strom bis zur 5-MW-Grenze mit 4,0 Cent/kWh vergütet.

Voraussetzung für den Anspruch auf den NawaRo-Bonus sind:

1. Die ausschließliche Verwendung von Substraten folgender Stoffgruppen:
 - Pflanzen(bestandteile) aus Land- und Forstwirtschaft, Gartenbau und Landschaftspflege, die nicht verarbeitet wurden
 - Gülle gem. EG-Verordnung (EG Nr. 1774/2002)
 - Schlemphen aus landwirtschaftlichen Brennereien verwendet werden
2. Das Vorliegen einer öffentlich-rechtlichen Genehmigung, die ausschließlich auf diese drei Stoffgruppen lautet
oder
das Führen eines Einsatzstofftagebuchs
3. Dass auf dem Betriebsgelände keine Biomasseanlage betrieben wird, in der Strom aus sonstigen Stoffen gewonnen wird.

Nur wenn diese drei Voraussetzungen kumulativ vorliegen besteht der Anspruch auf den NawaRo-Bonus.

Achtung! Sobald eine der Voraussetzungen nicht (mehr) erfüllt ist, entfällt der Anspruch auf den NawaRo-Bonus entgeltlich!

Welche Einsatzstoffe sind zulässig?

Als besonders problematisch erweist sich in der Praxis die Frage, welche Einsatzstoffe tatsächlich NawaRo-bonusfähig sind.

Insofern wurde häufig die Forderung nach dem Erlass einer verbindlichen **Stoffliste** durch das BMU laut.

Diese Forderung scheitert jedoch bereits daran, dass es im EEG an einer entsprechenden **Ermächtigungsgrundlage fehlt**.

Orientierungshilfe können jedoch die Stofflisten der Verbände, z. B. des Fachverbandes Biogas e. V., sein (www.biogas.org).

Folgende (unverbindliche) Einteilung lässt sich vornehmen:

Gülle im Sinne (EG) Nr. 1774/2002:

Zulässige Einsatzstoffe: Kot und/oder Harn einschließlich Einstreu von Nutztieren, vom eigenen oder von anderen landwirtschaftlichen Betrieben.
Nutztiere sind dabei Rinder, Schafe, Schweine, Ziegen, Geflügel, ...

Unzulässige Einsatzstoffe: Kot und/oder Harn einschließlich Einstreu von Heimtieren
Heimtiere sind dabei Pferde, Zoo- und Zirkustiere ...

Schlempe aus landwirtschaftlichen Brennereien:

Zulässige Einsatzstoffe: Schlempe aus einer landwirtschaftlichen Brennerei, für die nach § 25 des Gesetzes über das Branntweinmonopol keine anderweitige Verwertungspflicht besteht.

Unzulässige Einsatzstoffe: Schlempe aus nicht landwirtschaftlichen Brennereien und Bioethanolfabriken.

Pflanzen und Pflanzenbestandteile:

Zulässige Einsatzstoffe: **Ganzpflanzen:** Aufwuchs von Wiesen und Weiden, Ackerfutterpflanzen, Getreideganzpflanzen, Ölsaaten oder Leguminosen, nicht aufbereitete Gemüse, Heil- und Gewürzpflanzen, Schnittblumen ...

Pflanzenbestandteile: Körner, Samen, Corn-Cob Mix, Knollen, Rüben, Obst, Gemüse, Kartoffelkraut, Rübenblätter, Stroh ...

Unzulässige Einsatzstoffe: **Ganzpflanzen:** Gemüse, Heil- und Gewürzpflanzen, Schnittblumen, die zur weiteren Vermarktung getrocknet wurden.

Pflanzenbestandteile: Getreideabputz, Rübenkleinteile und Rübenschnitzel als Nebenprodukt der Zuckerproduktion, Gemüseabputz, Kartoffelschalen, Pülpe, Treber, Trester, Presskuchen, Extraktionsschrote ...

Bezüglich des Verarbeitungsverbots hilft es, wenn man sich die Bezeichnung „**Direktbonus**“ als zusätzlichen Begriff für den NawaRo-Bonus merkt.

Nur Stoffe, die ausschließlich zur Energiegewinnung (direkt) verwendet werden und keinem anderen Zweck sonst dienen, sind NawaRos im Sinne des EEG.

Beispiel:

Wird Raps als Ganzpflanze (direkt) vergoren, handelt es sich um NawaRo. Dem steht auch eine vorherige Zerkleinerung der Pflanzen zur besseren Vergärung nicht entgegen.

Beispiel:

Wird der Raps für die Ölgewinnung angebaut und soll der Presskuchen vergoren werden, stellt dies kein NawaRo dar, da nur das Restprodukt verwertet wird – der Raps mithin nicht direkt der Stromerzeugung dient.

Strittig ist, wie der Zukauf von Einsatzstoffen zu beurteilen ist.

Das EEG enthält keine Vorschrift, die dem **Zukauf von NawaRos** entgegensteht, so dass dieser **grundsätzlich als zulässig** zu erachten ist.

Der Anlagenbetreiber sollte jedoch einige Dinge aus rechtlicher Sicht beachten:

- Man sollte sich unbedingt vom Verkäufer schriftlich zusichern lassen, dass die verkauften Stoffe NawaRo's im Sinne des EEG sind.
- Es empfiehlt sich weiter vor der ersten Beschickung der Anlage mit dem gekauften Stoff, eine Rückstellprobe anzulegen.

Diese Maßnahmen sind erforderlich, um eventuelle Gewährleistungsansprüche für den Fall, dass die Stoffe nicht NawaRo-bonusfähig sind, erfolgreich geltend machen zu können.

Einsatzstofftagebuch

Liegt keine ausschließlich auf die 3 NawaRo's lautende öffentlich-rechtliche Genehmigung für die Anlage vor, ist für den Anspruch auf den NawaRo-Bonus die Führung eines Einsatzstofftagebuchs erforderlich. Dieses muss für jeden Tag mindestens enthalten:

- die Art des Inputs,
- die Menge des Inputs sowie
- dessen Herkunft.

Weitergehende Angaben sind nicht erforderlich.

Umstellung von Altanlagen auf NawaRo

Gem. § 21 Abs. 1 Nr. 4 EEG besteht auch für Anlagen, die vor dem 1. Januar 2004 in Betrieb gegangen sind (Altanlagen), die Möglichkeit den NawaRo-Bonus zu erhalten.

Zu diesem Zweck ist eine **einmalige Umstellung** auf NawaRo's zulässig.

Die Umstellung erfolgt, indem die Anlage nur noch mit NawaRo's beschickt wird und eine bestimmte Übergangszeit abgewartet wird, in der Nicht-NawaRo's im Fermenter zunehmend abgebaut werden.

Nach dieser Zeit gilt die Anlage als NawaRo-Anlage.

Welche Übergangszeit gilt ist nicht gesetzlich geregelt. Häufig anzutreffen sind Zeiträume zwischen **14 - 28 Tagen**. Insofern sollte der Betreiber eine **einvernehmliche Regelung mit dem Netzbetreiber** anstreben.

c) KWK-Bonus

§ 8 Abs. 3 EEG enthält den sogenannten Kraft-Wärme-Kopplungsbonus (KWK-Bonus).

Danach wird der Strom, der KWK-Strom im Sinne des Kraftwärmekopplungsgesetzes ist, mit zusätzlichen **2 Cent/kWh** vergütet.

Der Bonus entfällt nur anteilig auf den KWK-Strom!

KWK-Strom ist dabei der Anteil des Stroms, der prozentual dem relativen Anteil an Nutzwärme entspricht.

Nutzwärme ist diejenige Wärme, die **außerhalb der Anlage** verwendet wird (z. B. Beheizung eines benachbarten Stalles; nicht jedoch Fermenterheizung).

Berechnungsbeispiel:

Ein BHKW erzeugt insgesamt 700 kWh thermische Energie und 400 kWh elektrische Energie. 300 kWh thermische Energie werden außerhalb der Anlage genutzt. Welcher Anteil des Stromes wird als KWK-Strom vergütet?

$$\frac{\text{thermische Energie}}{\text{elektrische Energie}} = \frac{\text{genutzte thermische Energie}}{\text{KWK-Strom}}$$

$$\text{KWK-Strom} = \frac{\text{elektrische Energie} \times \text{genutzte thermische Energie}}{\text{thermische Energie}}$$

$$\text{KWK-Strom} = \frac{400 \text{ kWh} \times 300 \text{ kWh}}{700 \text{ kWh}} = \mathbf{171,4 \text{ kWh}}$$

171,4 kWh werden demnach mit 2,0 Cent/kWh zusätzlich vergütet. Die restlichen 128,6 kWh sind demgegenüber nicht KWK-bonusfähig.

d) Innovations- bzw. Technologiebonus

§ 8 Abs. 4 EEG gewährt einen zusätzlichen Bonus von **2,0 Cent/kWh** für den Einsatz innovativer, besonders energieeffizienter und damit umweltfreundlicher und klimaschonender Anlagentechniken.

Der Erhalt des Bonus ist an die Bedingung geknüpft, dass die Anlage zumindest zeitweise auch **in Kraft-Wärme-Kopplung betrieben** wird.

Im Gegensatz zum KWK-Bonus wird der Innovationsbonus für den **gesamten erzeugten Strom** gezahlt.

Der Technologiebonus wird gem. § 8 Abs. 4 EEG gewährt wenn:

- die Biomasse durch thermochemische Vergasung oder Trockenfermentation umgewandelt wird,
- das zur Stromerzeugung eingesetzte Gas aus Biomasse auf Erdgasqualität aufbereitet worden ist,
- der Strom mittels Brennstoffzellen, Gasturbinen, Dampfmotoren, Organic-Rankine-Anlagen, Mehrstoffgemisch-Anlagen, insbesondere Kalina-Cycle-Anlagen oder Stirling-Motoren gewonnen wird.

Der Innovationsbonus kann nur einmal erlangt werden. Verwendet man mehrere der vorgenannten Techniken kombiniert können gleichwohl nur 2,0 Cent/kWh verlangt werden.

Innovationsbonus ist mit dem KWK-Bonus kombinierbar, d. h. man kann Innovationsbonus und KWK-Bonus gleichzeitig erhalten, soweit man die technischen Anforderungen erfüllt.

e) Zünd- und Stützfeuerung

§ 8 Abs. 6 EEG trifft Aussagen zur Berücksichtigung von Zünd- und Stützfeuerungen bei Biomasseanlagen.

Nach dem 31. Dezember 2006 in Betrieb genommene Anlagen erhalten die Einspeisevergütung nur, wenn für Zwecke der Zünd und Stützfeuerung ausschließlich Biomasse im Sinne der Biomasseverordnung verwendet wird.

Bei **Anlagen, die vor dem 01. Januar 2007 in Betrieb genommen wurden**, ist auch der Anteil des Stromes, der der notwendigen fossilen Zünd- und Stützfeuerung zuzurechnen ist Strom aus Biomasse.

Entgegen der vielfachen Praxis ist also trotz Zünd- und Stützfeuerung der gesamte eingespeiste Strom nach EEG zu vergüten!

f) Degression

§ 8 Abs. 5 enthält eine sogenannte Degressionsvorschrift. Danach wird beginnend mit dem 1. Januar 2005 jährlich jeweils für neu in Betrieb genommene Anlagen die Vergütung um 1,5 Prozent, gerundet auf zwei Stellen hinter dem Komma, gesenkt.

Vergütungssätze für 150 kW-Anlage	
Inbetriebnahme	Vergütungssatz in Cent/kWh
2004:	11,50
2005:	11,33
2006:	11,16
2007:	10,99
2008:	10,83
.....

Aus diesem Grund ist in der Praxis eine möglichst schnelle Inbetriebnahme der Anlage erforderlich.

Inbetriebnahme: Erstmalige Inbetriebsetzung der Anlage nach ihrer Herstellung oder nach ihrer Erneuerung, soweit die Kosten hierfür mindestens 50 Prozent der Kosten einer Neuherstellung der gesamten Anlage einschließlich sämtlicher technischer für den Betrieb erforderlichen Einrichtungen und baulichen Anlagen betragen (§ 3 Abs. 4 EEG).

- Ausreichend ist die Betriebsbereitschaft
- Der Anschluss der Anlage oder eine Abnahme der Anlage durch den Netzbetreiber ist nicht erforderlich (Ausschluss willkürlicher Verzögerungen).

- Für die Praxis empfiehlt sich eine schriftliche Anzeige der Betriebsbereitschaft
- Durch eine Erneuerung kann auch eine Altanlage zur Neuanlage gemacht werden, wenn die 50 Prozent-Kostengrenze überschritten wird.
- Dies ist sinnvoll, um z.B. die ersten 150 kW in Höhe der neuen Vergütungsstufe vergütet zu bekommen; denn diese gilt für Altanlagen nicht (§ 21 Abs. 1 EEG).

3. Sonstige praktische Problemfälle (Überblick)

Neben Fragen bezüglich der Vergütung von Biomassestrom treten bei der Anwendung des (neuen) EEG auch andere nicht biogasspezifische Probleme auf. Das sind in erster Linie:

- Kostentragung für den Anschluss von Anlagen (Abgrenzung Netzananschluss/Netzausbau),
- Ermittlung des wirtschaftlich günstigsten Verknüpfungspunkts für den Anschluss der Anlage ans Netz,
- Abgrenzung Alt-/Neuanlage (Ermittlung der Werterhöhung; Zeitraum der Erneuerung; Art der Erneuerung)
- Einbehalt der Netzbetreiber für sogenannte Blindarbeit?
- Tragung der Kosten der Netzverträglichkeitsprüfung

Biodiesel in der Landwirtschaft am Beispiel der BKK Rudolstadt

*Dipl. Ing. agr. Torsten Graf¹⁾, Dipl. Ing. agr. (FH) Jürgen Uting²⁾
(¹⁾Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, ²⁾BKK Rudolstadt)*

Mit der ab 1. Januar 2005 geltenden Regelung der Agrardieselvergütung wird die Landwirtschaft nach Alternativen und Einsparpotenzialen suchen müssen.

Die Neuregelung zum Agrardiesel hat zur Folge, dass die bisher gewährte Rückvergütung (21,48 Cent/l Dieselkraftstoff) auf eine Maximalmenge von 10.000 l Diesel pro Jahr und landwirtschaftliches Unternehmen, unter Berücksichtigung eines pauschalen Einbehaltes von 350 €, begrenzt ist. Praxisrelevante Alternativen sind die biogenen Treibstoffe Biodiesel und naturbelassenes Rapsöl. Beide Kraftstoffe können in der Landwirtschaft bzw. nachgelagerten Bereichen dezentral erzeugt werden.

Zur Diskussion stehen die Strategien zur Selbstversorgung mit Rapsölkraftstoffen innerhalb der Landwirtschaft.

Welcher Kraftstoff ist nun zukünftig der richtige und sichert, neben Kostenvorteilen gegenüber Dieselkraftstoff, auch gleichzeitig Einsatztauglichkeit und Betriebssicherheit?

Naturbelassenes Rapsöl ist um ca. 10 Cent/l billiger als RME und ca. 26 Cent/l preiswerter als Diesel. Seine Eigenschaften weichen deutlich vom Dieselkraftstoff ab. Zum Einsatz von reinem Rapsöl liegen noch keine Langzeiterfahrungen vor. Pflanzenöl kann nur in dafür speziell umgerüsteten oder pflanzenöлтаuglichen Dieselmotoren direkt als Dieselkraftstoffersatz eingesetzt werden. Die höhere Viskosität des Pflanzenöles führt beim Einsatz in nicht angepassten Motoren zu Problemen im Einspritzsystem und in der Kraftstoffzuführung, insbesondere bei niedrigen Temperaturen. Weiterhin ist die Bildung von Ablagerungen und Verkokungen an Einspritzdüsen, Ein- und Auslassventilen und Kolbenringen infolge unvollständiger Verbrennung möglich, da für eine vollständige Verbrennung eine deutlich höhere Brennraumtemperatur als bei Diesel oder Biodiesel vorherrschen muss. Die Ursache liegt im wesentlich höheren Flammpunkt des Pflanzenöls im Vergleich zu Dieselkraftstoff. Insbesondere im Leerlauf kommt es sowohl zu unvollständiger Verbrennung des Pflanzenöles bei gleichzeitiger Bildung von Ablagerungen im Verbrennungsraum als auch zu einem Kraftstoffeintrag in das Schmieröl. Das kann letztendlich zu schwerwiegenden Motorschäden führen. Zur Erreichung eines zuverlässigen Dauerbetriebs und zur Vermeidung von Havarien ist daher eine finanziell aufwändige Umrüstung von Serien-Dieselmotoren in jedem Fall notwendig. Derzeit gibt es seitens der Motorenhersteller kein Serienmodell für den Pflanzenöleinsatz.

Dies gilt sowohl für den reinen Pflanzenölkraftstoff als auch für Beimischungen zum Dieselmotorkraftstoff. Durch eine eventuelle Beimischung werden wesentliche kraftstoffrelevante Eigenschaften des Pflanzenöls nicht verändert. Mit Schäden muss auch hier, wenn auch zeitlich verzögert, gerechnet werden. Die von mehreren Firmen angebotenen Umrüstsätze für PKW und Nutzfahrzeuge variieren in Art und Umfang der technischen Modifikation erheblich. Entsprechend der Konzepte belaufen sich die finanziellen Aufwendungen für PKW auf ca. 1.000 bis 5.000 €, für Nutzfahrzeuge auf 5.000 bis 10.000 €. Bundesweit liegen zu umgerüsteten PKW, Nutzfahrzeugen und auch Schienenfahrzeugen teilweise Erfahrungen vor. Ein weiteres Einsatzfeld des Pflanzenöls besteht in der Verwertung in Blockheizkraftwerken.

Da die Praxiserfahrungen zum Einsatz von Pflanzenöl in Traktoren sehr unterschiedlich waren hat das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft das „100-Schlepper-Programm“ initiiert. Ziel ist die Überprüfung und Verbesserung der Praxistauglichkeit verschiedener Umrüstungsvarianten und Traktoren, einschließlich des Leistungsverhaltens und der Emissionswerte. Dazu werden verschiedene Modelle und Umrüstkonzeppte getestet. Voraussetzung für die Nutzung von Rapsöl in umgerüsteten Motoren ist die Berücksichtigung der im „Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff“ aufgeführten Parameter und Grenzwerte. Zurzeit wird eine verbindliche Kraftstoffnorm (DIN) erarbeitet, die im Jahr 2005 zur Umsetzung kommen soll.

Die ersten Zwischenergebnisse machen deutlich, dass, neben der fachgerechten Umrüstung, die Kraftstoffqualität eine entscheidende Rolle spielt. Langzeitaussagen sind jedoch noch nicht möglich. Weiterhin bestätigen sich Probleme im Pflanzenöleintrag in das Schmieröl sowie Fragen der Einhaltung von zukünftigen Emissionsrichtwerten bei der Nutzung von Rapsölkraftstoff.

Durch die geringe internationale Marktnachfrage und die Ausrichtung der Industrie auf optimierte Kraftstoffe ist die Unterstützung der Fahrzeug- und Motorenhersteller auch künftig eher als gering einzuschätzen.

Beim Kraftstoff Pflanzenöl ist deshalb nur eine begrenzte Zunahme der Anwendung in bestimmten Marktsegmenten, wie Blockheizkraftwerke sowie Land- und Bautechnik in Trinkwasserschutzgebieten zu erwarten.

Erschwerend kommt aus Sicht der landwirtschaftlichen Großbetriebe hinzu, dass der Bestand an Maschinen eine Vielzahl von Typen- und Altersklassen umfasst. Die Umstellung eines Kleinbetriebes mit ein oder zwei Traktoren wäre dagegen durchaus als realistisch anzusehen, ist aber gegenwärtig aufgrund der 10.000 l-Regelung wenig relevant.

Grundlegend gilt die Aussage, dass der Einsatz von Pflanzenöl als reiner Kraftstoff oder in Mischungen in Fahrzeugen ohne angepassten Motor nicht zu empfehlen ist. Eine Umrüstung der Motoren ist somit grundsätzlich vorzunehmen.

Biodiesel ist der gegenwärtig am Markt etablierte biogene Treibstoff auf der Basis von Rapsöl. Auch als Rapsölmethylester (RME) bekannt, wird er durch die Veresterung des Pflanzenöls in einem einfachen chemischen Prozess in speziellen Anlagen gewonnen. Durch diesen Verarbeitungsschritt wird der Kraftstoff Pflanzenöl an den serienmäßigen Dieselmotor angepasst und ist allein, in Mischung mit Dieselmotor oder in Wechselbetankung einsetzbar. Die Wintertauglichkeit wird mit üblichen Additiven als Winterbiodiesel von den Herstellern bis – 20 °C gesichert. Die Anforderungen an Biodiesel sind in der europäischen Norm DIN EN 14214 geregelt. Der Kunde sollte beim Kauf von Biodiesel auf diese Norm und Qualität achten, da nicht der billigste Anbieter auch immer normgerechte Ware verkauft.

Der Preisunterschied zu Dieselmotorstoff beträgt aktuell bis zu 16 Cent/l. So lagen die Notierungen für Diesel in den letzten Wochen bei durchschnittlich 81 bis 84 €/100 l (inkl. Mineralölsteuer, zuzüglich Mehrwertsteuer frei Raffinerie). Für Biodiesel liegt das Niveau bei 67 bis 69 €/100 l ab Veresterungsanlage. Basis bilden dafür Rapsaatpreise von 22 €/dt und ein Kuchenpreisniveau von 14 €/dt. Dabei können die Preise regional entsprechend der Transportentfernungen und Abnahmemengen schwanken.

Eine Vielzahl von Fahrzeugtypen und auch landwirtschaftlichen Maschinen sind von den Herstellern für den Biodieselbetrieb freigegeben. Informationen dazu finden Sie unter www.tll.de/nawaro.

Eine jetzt veröffentlichte Studie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) belegt, selbst unter Berücksichtigung eines höheren Wartungsaufwandes und der Anrechnung von 5 % Leistungsminderung sowie eines um ca. 5 % höheren Kraftstoffverbrauchs ist Biodiesel bereits ab einem Preisvorteil von 7 Cent/l die günstigste Alternative für größere landwirtschaftliche Betriebe.

Wie kann zukünftig der Kraftstoffbezug gesichert werden?

Am Beispiel des Unternehmens BKK Biodiesel GmbH Rudolstadt-Schwarza, das von den drei landwirtschaftlichen Unternehmen Beulwitz, Kamsdorf und Königsee im Jahr 2000 gegründet wurde, sind Lösungskonzepte und Vermarktungswege aufgezeigt.

Die Entscheidung zum Bau der Anlage wurde im Wesentlichen durch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen des Jahres 1999 mit dem Wegfall der Gasölverbilligung in der Landwirtschaft, steigenden Dieselpreisen sowie der Notwendigkeit einer stabilen Versorgung mit fetthaltigem Rapskuchen als Milchviehfutterkomponente im Rahmen der Qualitätsmilchproduktion der Landmolkerei „Herzgut“ Schwarza bedingt. Ein steigender Preisdruck im Bereich der Erzeugerpreise, u. a. hervorgerufen durch die Transport- und Handelsspannen, unterstrich die Notwendigkeit der Umsetzung regionaler Verwertungs- und Vermarktungsstrategien.

Die Produktionsanlage umfasst eine neugebaute Getreide- und Ölsaatenlagereinrichtung, einschließlich Sozialgebäude und Infrastruktur, d. h. Waage, Aufbereitungshalle, Labor.

Das Unternehmen verarbeitet 12.500 t Rapssaat im Jahr aus der Region, was einer Anbaufläche von ca. 4.000 ha entspricht. Die Rapssaat wird schwerpunktmäßig aus der Erzeugergemeinschaft NAROENTEC (6.300 t), den landwirtschaftlichen Unternehmen Beulwitz, Kamsdorf und Königsee (2.800 t) sowie der Raiffeisen Handels- und Dienstleistungsgenossenschaft (3.400 t) bereitgestellt.

Die Anlage verarbeitet auf zwei Ölpresen mit je 1.000 kg Saat/h Durchsatzleistung die gereinigte und getrocknete Rapssaat im Kaltpressverfahren ohne thermische Vorbehandlung zu Rohöl und Rapspresskuchen mit einem Restfettgehalt von ca. 13 %. Dieser hohe Energiegehalt bedingt den hohen Futterwert des Presskuchens und trägt maßgeblich zur Wirtschaftlichkeit des Gesamtverfahrens bei (Tab. 1).

Tabelle 1: Futterwert des Rapspresskuchens (Quelle: BKK und TLL)

	Kuchen BKK	Kuchen andere Anbieter	Extraktionsschrot
Rohprotein (g/kg)	314	321	353
Rohfett (g/kg)	133	49	35
Rohfaser (g/kg)	110	129	128
Rohasche (g/kg)	59	70	69
N-freier Extrakt (g/kg)	286	331	315
Energiegehalt			
ME Schwein (MJ/kg)	12,67	10,89	10,78
ME Rind (MJ/kg)	12,55	10,75	10,55
NEL (MJ/kg)	7,7	6,55	6,43

Zur Sicherung der Qualität und Lagerfähigkeit wird der Kuchen nach dem Pressen getrocknet.

Das gewonnene Rohöl wird im Batchverfahren unter Einsatz des Katalysators Kaliumhydroxid mit Methanol bei Normaldruck und Raumtemperatur semikontinuierlich in drei Veresterungsstufen umgeestert. Die Anlage produziert rund um die Uhr vollautomatisch.

Neben den so erzeugten 4.000 t Rapsölmethylester (Biodiesel) fallen 625 t Glycerin und 360 t Kaliseife an. Die Prozessstufen der Produktion unterliegen einer ständigen Qualitätskontrolle, so dass nur normgerechte Bio-

dieselchargen nach DIN EN 14214 in den Auslieferungstank gelangen. Parallel zu der laufenden Produktionsüberwachung wesentlicher Parameter im eigenen Labor werden die Anforderungen an die Qualität durch autorisierte Prüflabore kontinuierlich überwacht.

Alle anfallenden Haupt- und Nebenprodukte werden überwiegend regional vermarktet (Abb. 1).

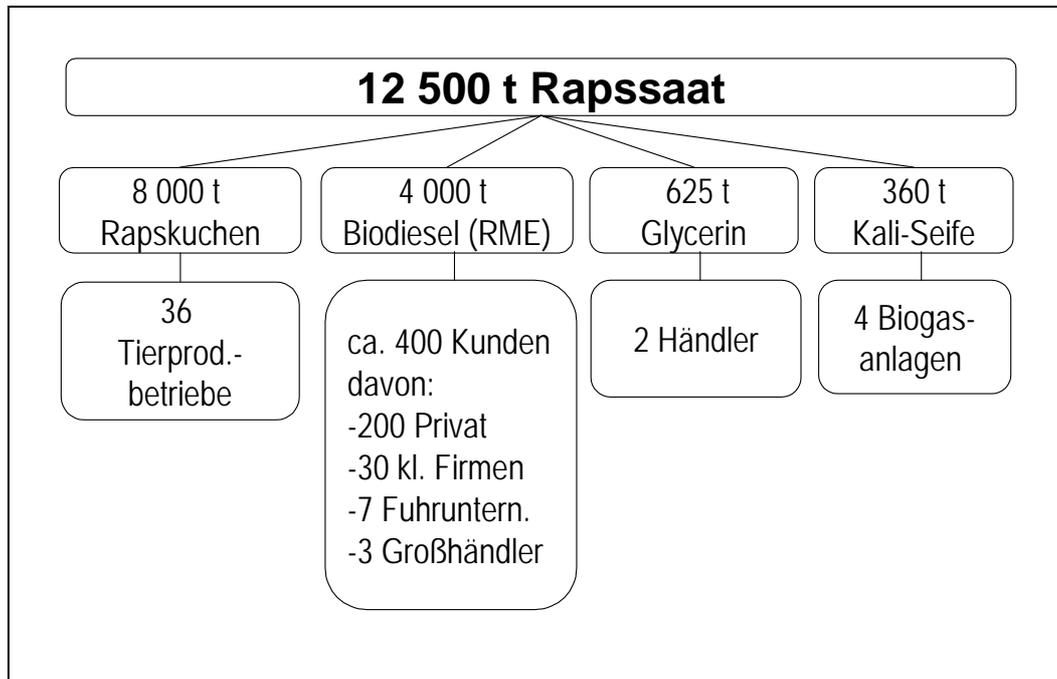


Abbildung 1: Produktionskennzahlen der Biodieselanlage

Der Biodiesel fand in den vergangenen vier Jahren schwerpunktmäßig Absatz bei regionalen Fuhrunternehmen sowie Unternehmen des Öffentlichen Personennahverkehrs. So wurden u. a. beim Bau der Trinkwassertalsperre Leibis in der Nähe von Bad Blankenburg ausschließlich biodieselbetriebene Fahrzeuge eingesetzt. Die Fahrzeugflotte der mit dem Transport von Schüttgütern und Baustoffen beauftragten Loquitz Trans GmbH umfasste 40 LKW der Marke MAN. Auch nach Abschluss der Arbeiten an der Talsperre ist das Unternehmen entschlossen, weiterhin Biodiesel als Kraftstoff zu verwenden.

Zunehmendes Interesse findet der Biodieseleinsatz in der Landwirtschaft. Aus den Erfahrungen des Jahres 2002, wo wegen des Wegfalls der Gasölverbilligung und fehlender Regelungen zum Agrardiesel bereits in größeren Mengen Biodiesel in landwirtschaftlichen Maschinen eingesetzt wurde, lässt sich ableiten, dass der Einsatz problemlos möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist.

In Auswertung der wirtschaftlichen Kennzahlen der dezentralen Biodieselproduktion unter Zugrundelegung eines Rapssaatpreises von 19 €/dt sowie 12 €/dt Kuchen Erlös ergibt sich ein Biodieselpreis von 0,65 €/l frei Tankstelle (ohne MwSt.). Dabei berücksichtigt sind die Verarbeitungs- und Umesterungskosten sowie alle anfallenden Aufwendungen für Aufbereitung, Lagerung, Transport und Kapitaldienst. Der Absatz des Glycerins wurde nicht in die Kalkulation einbezogen (Tab. 2).

Tabelle 2: Kosten und Erlöse der Biodieselproduktion in dezentralen Anlagen (ohne MwSt., Glycerin = 0 €/kg)

Rapssaatpreis (€/t Saat)	150	170	190	210	230
Lagerung, Fracht (€/t Saat)	15				
Schlagkosten (€/t Saat)	25				
Presskosten inkl. Saat (€/t Saat)	190	210	230	250	270
Kuchenpreis (€/t Kuchen)	120				
Abzüglich Erlös Kuchen (€/t Saat)	-84				
Ölkosten (€/t Saat)	106	126	146	166	186
Ölkosten (€/t RME)	353	420	487	553	620
Umesterung (€/t RME)	100				
Lagerung, Transport (€/t RME)	60				
RME-Kosten frei Tankstelle	513	580	647	713	780

Das Ziel muss es sein, den Raps noch stärker im regionalen Kreislauf vor Ort zu erzeugen und zu hochwertigen Endprodukten zu verarbeiten, die dann auch in der Landwirtschaft der Region Einsatz finden. Dazu ist der Rapsanbau in seinem Anbaupotenzial einzelbetrieblich weiterhin, unter Berücksichtigung der notwendigen Anbaupausen von 4 Jahren, voll auszuschöpfen und in seinem Ertragsniveau zu stabilisieren. Nachteile höherer Aufwendungen im Bereich der dezentralen Verarbeitung werden durch sinnvolle Strukturen der Logistik, des Transportaufwandes und regionaler Standortvorteile kompensiert. Perspektivisch steigende Steuern und steigende Preise für fossile Energieträger verbessern zudem die Wirtschaftlichkeit der Rapsproduktion.

Zukünftige Anbauverträge könnten Varianten der Lohnverarbeitung berücksichtigen, wo der Landwirt Eigentümer der Produkte bleibt und den Biodiesel sowie das Futtermittel Rapskuchen im eigenen Betrieb verwertet (Hafermodell). Das hat den Vorteil, dass mögliche zukünftige Besteuerungen des derzeit mineralölsteuerbefreiten Biodiesels nicht zum Tragen kommen.

Mit der Umsetzung von Konzepten, ähnlich dem BKK Rudolstadt, wäre die Landwirtschaft im mitteldeutschen Raum durchaus in der Lage, den von ihr benötigten Treibstoff durch die Produktion vor Ort abzusichern. Regionale Kreisläufe erhöhen die Wertschöpfung im ländlichen Raum und schaffen Arbeitsplätze in der Landwirtschaft sowie nachgelagerten Bereichen.

Zusammenfassung

Der Einsatz von naturbelassenem Rapsöl ist aufgrund der hohen Umrüstkosten und der geringen Praxiserfahrungen für die größeren landwirtschaftlichen Unternehmen Thüringens gegenwärtig und in naher Zukunft nicht zu empfehlen.

Jenseits der 10.000 l Agrardieselgrenze ist Biodiesel die günstigste und kurzfristig realisierbare Alternative zu Dieselkraftstoff.

Langjährige Einsatzerfahrungen in großen Fahrzeugflotten Thüringens belegen die Einsatztauglichkeit und Qualität von u. a. dezentral erzeugtem Biodiesel.

Eine pauschale Empfehlung zur Umstellung auf den Biodieselbetrieb ist nicht möglich. Dies bedarf einzelbetrieblicher Entscheidungen unter Berücksichtigung der Freigaben und des Alters der Maschinen. So können im Unternehmen durchaus die nichtbiodieseltauglichen Landmaschinen mit Agrardiesel betrieben werden, biodieseltaugliche dagegen mit RME. Dies setzt allerdings das Vorhandensein zweier Tankstellen voraus.

Gleichzeitig muss der Kundenwunsch nach biodieseltauglichen Maschinen bei den Herstellern und Händlern deutlich gemacht werden, um auf Händler und Hersteller Einfluss nehmen zu können.

Der Rapsanbau ist bis zur agronomischen Anbaugrenze auszuweiten bei gleichzeitig Einhaltung der erforderlichen Anbaupausen.

Die Verarbeitung sollte in gemeinsam betriebenen Kaltpress- und Veresterungsanlagen oder in Lohnverarbeitung in Thüringen erfolgen.

Fördermöglichkeiten zum Aufbau von Eigenverbrauchstankstellen im Rahmen des Markteinführungsprogramms „Biogene Treib- und Schmierstoffe“ des Bundes sind zu nutzen. Informationen hierzu befinden sich unter www.fnr.de.

Umfassende Informationen und weitere Hinweise können unter www.til.de/nawaro nachgelesen werden.

Nutzung von Pflanzenöl in Verbrennungsmotoren

Prof. Dr.-Ing. habil. E. Hassel

Dipl.-Chem. S. Berndt, Dipl.-Ing. E. Flügge, Dipl.-Ing. W. Harkner,

Dr. rer. nat. U. Schümann, Dipl.-Ing. V. Wichmann

Universität Rostock

Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik

Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren

Gefördert durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. aus Mitteln des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft

1. Vorwort

Erneuerbare Energien sind im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen unerschöpflich und werden als eine Maßnahme zur Realisierung der politischen Ziele, Klimaschutz durch Reduzierung der CO₂-Belastung und Ressourcenschonung durch Substitution fossiler Kraftstoffe angesehen. In der Landwirtschaft wird mit dem Anbau von Pflanzen als nachwachsende Energieträger ein neues Absatzgebiet erschlossen.

Pflanzenöle sind nachwachsende flüssige Kraftstoffe. Öle auf Rapsbasis in Deutschland und auf Sonnenblumenbasis in Südeuropa sind in ihrem äußeren Gebrauch den fossilen Kraftstoffen ähnlich, das heißt sie besitzen eine hohe Energiedichte, sie sind pumpbar und lagerfähig. Hervorzuheben ist die sehr gute Umweltverträglichkeit von Pflanzenölen, wodurch diese Kraftstoffe für den Einsatz in umweltsensiblen Bereichen, wie z. B. in der Land- und Forstwirtschaft prädestiniert sind.

Viele landwirtschaftliche Betriebe sind seit einigen Jahren auf der Suche nach einer wirtschaftlichen Alternative zum Dieselmotorkraftstoff, da der Zuschuss zum Agrardiesel nicht über Jahre gesichert ist und so eine erhebliche Mehrbelastung der Betriebe droht. Biodiesel stellt bisher keine deutlich wirtschaftliche Alternative zum Dieselmotorkraftstoff für die Landwirtschaft dar, da dessen Preis an den Preis für Dieselmotorkraftstoff scheinbar angelehnt und in den letzten Jahren ständig gestiegen ist.

Mit einer Preisdifferenz (Brutto) von ca. 30 bis 35 Cent je Liter (30. Oktober 2004) zum Dieselmotorkraftstoff ist Rapsöl auch außerhalb der Landwirtschaft ein oft diskutierter Kraftstoff.

Auf den ersten Blick erscheint Rapsölroh als Kraftstoff für die Landwirtschaft und andere Anwendungen in Nischen lukrativ. Die Wirtschaftlichkeit wächst mit der Möglichkeit, das Öl aus eigenen Saaten durch Pressen in regionalen Ölmühlen zu gewinnen.

Die Universität Rostock beschäftigte sich in den letzten 3 Jahren intensiv mit rapsöltauglichen Dieselmotoren für landwirtschaftliche Maschinen im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitforschung zum „100-Traktoren-Demonstrationsprojekt“. Die aktuellen Zwischenergebnisse wurden an der

2. Veranstaltung zum Stand des Demonstrationsprojektes am 26. Juni dieses Jahres in Braunschweig dargestellt und diskutiert.

2. Grundsätzliche Unterschiede zwischen Dieselkraftstoff und Rapsöl in der motorischen Verbrennung

Neben den bekannten im „RK-Qualitätsstandard 05/2000“ aufgeführten Kenngrößen gibt es noch weitere Eigenschaften in den denen sich Rapsöl von Dieselkraftstoff unterscheidet.

Eine wesentliche Kenngröße für die Gemischbildung ist die Oberflächenspannung (siehe Abbildung 2.1). Diese ist ein Maß für die benötigte Energie zur Aufbereitung (Zerstäubung) des Kraftstoffes. Bei höherer Oberflächenspannung muss mehr Energie aufgewendet werden, um die gleiche Tropfenverteilung für die Zündung zu erreichen. Rapsöl mit einer im Vergleich zu anderen Kraftstoffen hohen Oberflächenspannung benötigt entsprechend mehr Energie, die entweder aus dem Einspritzstrahlimpuls oder der thermischen Energie des Brennraumes (Wirbelkammermotoren) kommen muss. Hochdruckeinspritzsysteme können diese Energie bereitstellen.

Weiterhin sind, wenn das Einspritzsystem nicht für Rapsöl modifiziert wird, die Rapsöltropfen im Einspritzstrahl wesentlich größer als bei DK (siehe Abbildung 2.2) und benötigen dementsprechend längere Zeit zum Verdampfen.

Rapsöle sind wesentlich weniger kompressibel als Dieselkraftstoff. Dies hat zur Folge, dass bei volumetrischer Kraftstoffmengenmessung mehr Kraftstoff in den Brennraum gefördert wird. Dies kann den mitunter niedrigeren volumetrischen Heizwert des Rapsölkraftstoffes überkompensieren, so dass die Motorleistung ansteigt. Die verringerte Kompressibilität des Kraftstoffes Rapsöl in den Leitungen führt auch zu einem früheren Einspritzbeginn bei konstantem Förderbeginn (siehe Abb. 2.3). Dies kompensiert teilweise den längeren Zündverzug bei Rapsöl. Grundlagenuntersuchungen zur Rapsöleinspritzung und des Strahlzerfalls wurden bisher nur sporadisch durchgeführt. Systematische Untersuchungen auf diesem Gebiet unter Variation der Düsengeometrien sind als Voraussetzung für die Einspritzsystemberechnung aller Rapsölmotoren vom PKW-Einsatz bis zum BHKW-Motor unbedingt erforderlich.

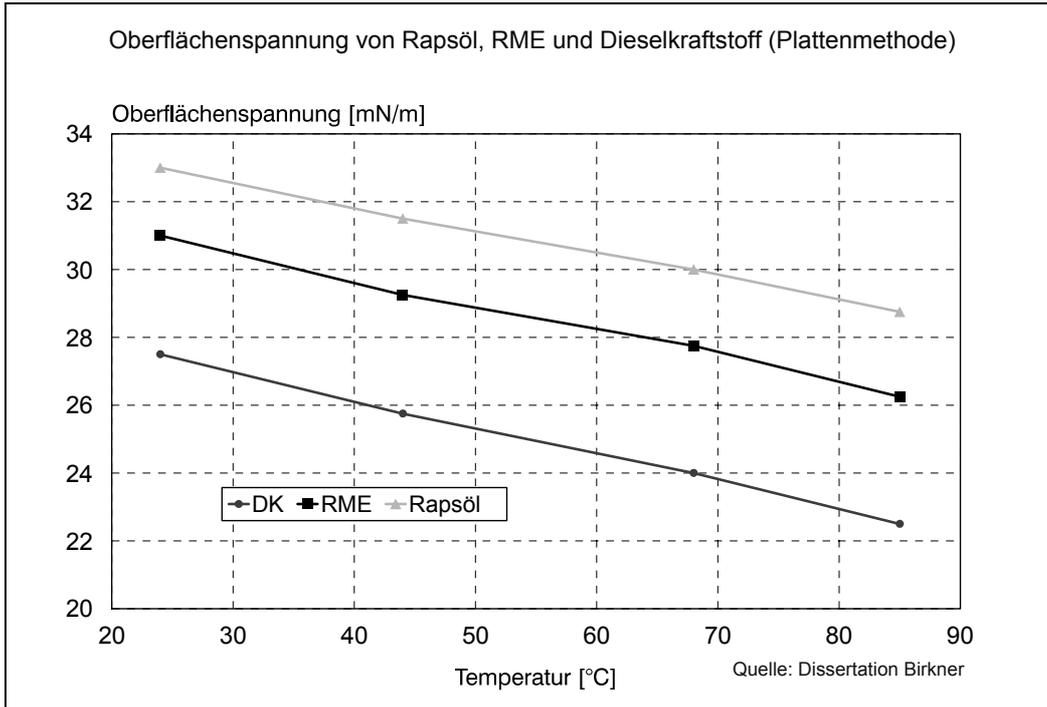


Abbildung 2.1: Oberflächenspannung von DK, RME und Rapsöl

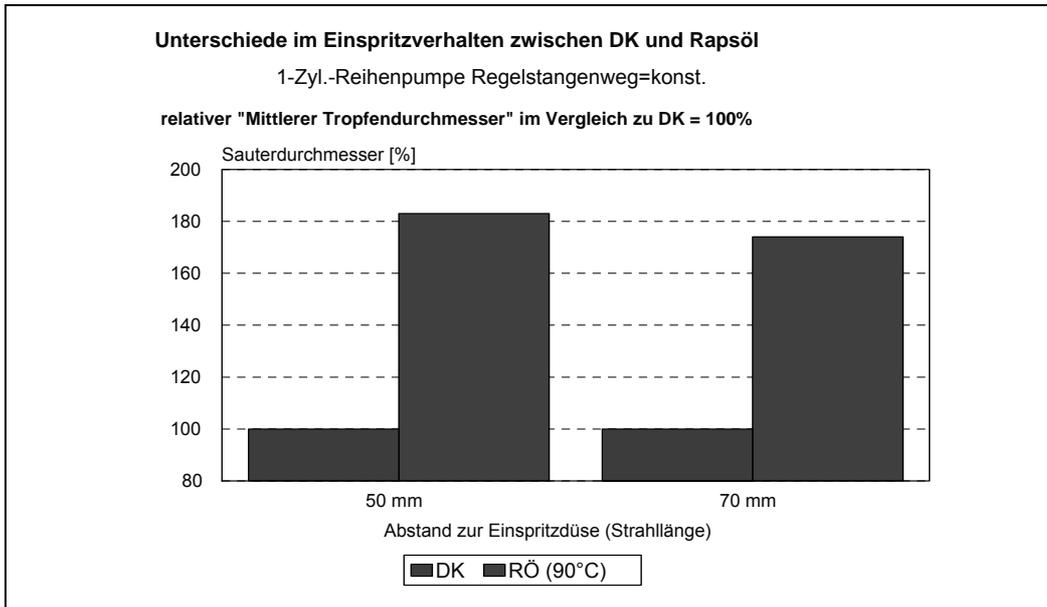


Abbildung 2.2: Vergleich Tropfendurchmesser im Einspritzstrahl von DK und Rapsöl

In Abbildung 2.4 ist beispielhaft die Rapsölverbrennung im Motorleerlauf dargestellt. Man sieht sehr deutlich, dass in einem nicht angepassten Motor (rote Linie) die Verbrennung sehr verzögert einsetzt. Durch Anpassungsmaßnahmen kann die Verbrennung (Energieumsetzung) aber beschleunigt werden (grüne Linie) und ist dann der DK Brennfunktion sehr ähnlich.

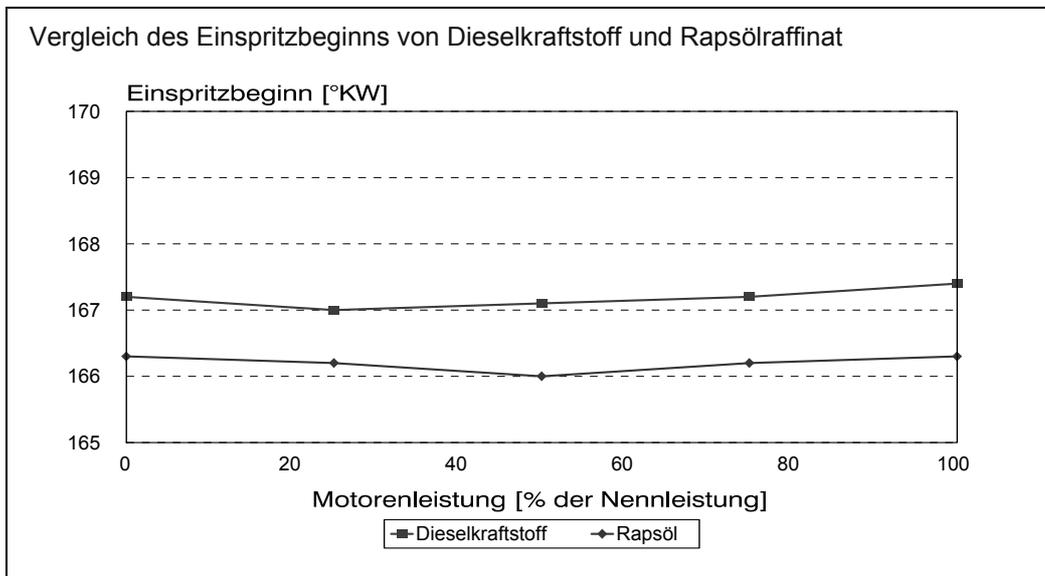


Abbildung 2.3: Vergleich Einspritzbeginn Dieselkraftstoff und Rapsöl

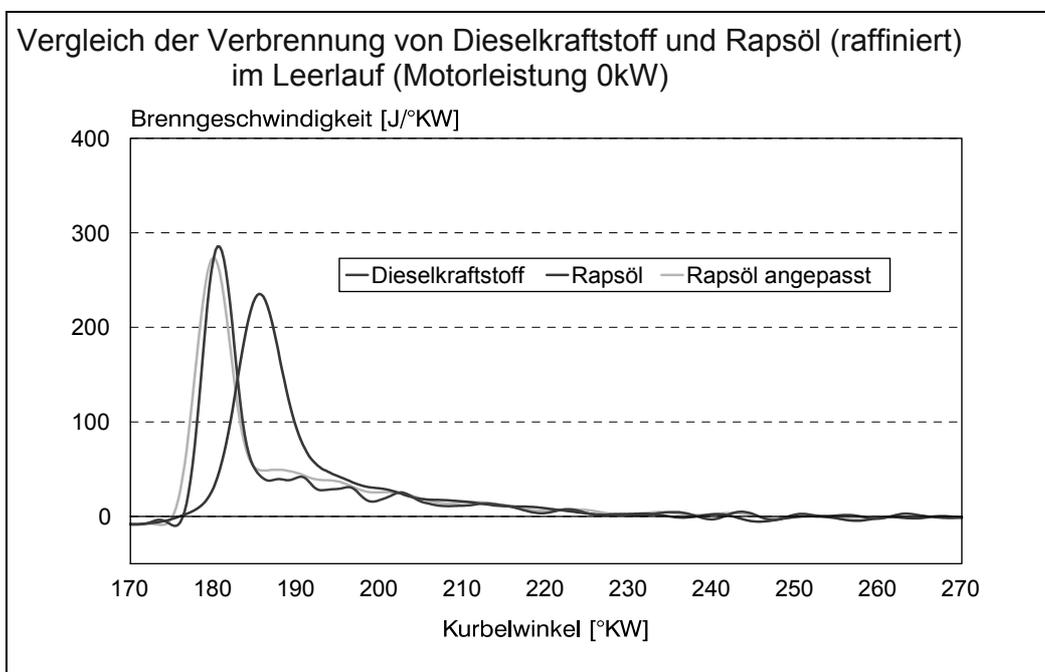


Abbildung 2.4: Vergleich Verbrennung Dieselkraftstoff und Rapsöl in Leerlauf

Den Schwerpunkt der Forschungsarbeiten an der Universität Rostock auf dem Gebiet der pflanzenölbetriebenen Motoren bildet, neben speziellen Laborversuchen, das Demonstrationsvorhaben „Praxiseinsatz von serienmäßigen neuen rapsöltauglichen Traktoren“ des BMVEL. Im Folgenden soll auf dessen Erkenntnisse und Schlussfolgerungen für weitergehende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten eingegangen werden.

3. Erkenntnisse aus dem Demonstrationsvorhaben „Praxiseinsatz von serienmäßigen neuen rapsöltauglichen Traktoren“

3.1 Rahmenbedingungen

Um den Nachweis für die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der Rapsölnutzung im mobilen Bereich der Landwirtschaft zu erbringen, fördert das BMVEL das Demonstrationsvorhaben „Praxiseinsatz von serienmäßigen neuen rapsöltauglichen Traktoren“. In diesem bis zum 30.09.2005 laufenden Vorhaben sollen die ganzjährige Praxistauglichkeit, die Umweltverträglichkeit und die Dauerfestigkeit der Motoren für Rapsöl also insgesamt der Entwicklungsstand ausgewählter Umrüstkonzepte unter Beweis gestellt werden. Das Demonstrationsvorhaben wird von der Universität Rostock wissenschaftlich begleitet, um die Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem Feldtest der Rapsöltraktoren zu erfassen, auszuwerten, zu systematisieren, zu beurteilen und einer breiten Öffentlichkeit bekannt zu machen.

In das Demonstrationsvorhaben wurden 115 Traktoren offiziell aufgenommen, davon sind vier Traktorenbetreiber aus persönlichen Gründen wieder ausgeschieden. Abbildung 3.1 gibt die jeweilige Anzahl an Traktoren der verschiedenen Hersteller wieder.

Das Säulendiagramm zeigt, dass Hersteller, wie DEUTZ-FAHR und FENDT am stärksten vertreten sind. Diese beiden Hersteller sowie auch die Firma WELTE setzen Motoren der DEUTZ AG ein, die über sogenannte Pumpe-Leitung-Düse-Einspritzsysteme verfügen. Das drittstärkste Segment bilden Traktoren der Firmen CASE und JOHN DEERE. Die Motoren dieser Anbieter sowie auch die der meisten anderen sind mit Verteiler- bzw. Reiheneinspritzpumpen ausgestattet. Ausnahmen bilden CLAAS-CATERPILLAR (Common-Rail), SAME und Lamborghini (Pumpe-Leitung-Düse-Einspritzsystem).

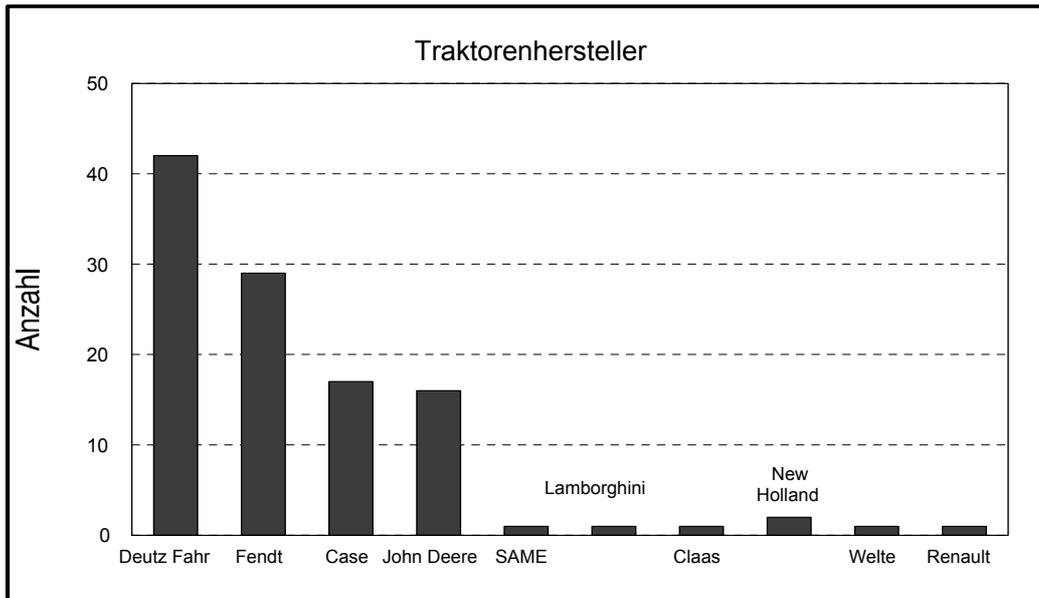


Abbildung 3.1: Anzahl der umgerüsteten Traktoren aufgeschlüsselt nach Traktorenherstellern

Insgesamt beteiligten sich 7 umrüstende Einrichtungen am Programm von denen allerdings nur die Firmen VWP GbR mbH, Hausmann und TC Bastorf überregional tätig wurden. Der Umrüster TC Bastorf wurde im Jahr 2003 wegen unzureichender Umrüstkonzepte aus dem Demonstrationsvorhaben ausgeschlossen.

Die genannten Umrüster haben jeweils die folgende Anzahl an Traktoren umgerüstet:

- Firma Hausmann: 32 Traktoren (Schwerpunkt FENDT)
- VWP GbR mbH: 56 Traktoren (Schwerpunkt DEUTZ-FAHR)
- Stangl Landtechnik/NETec: 2 JOHN-DEERE-Traktoren
- TC Bastorf: 5 Traktoren verschiedener Typen
- LBAG Lüchow: 5 Traktoren (Schwerpunkt FENDT)
- Gruber KG: 10 CASE-Traktoren
- Igl-Landtechnik: 1 CASE-Traktor

Diese Aufstellung verdeutlicht, dass sich die einzelnen Umrüster auf bestimmte Traktorentypen spezialisiert haben. So sind einerseits typenspezifische Besonderheiten zumeist ungleichmäßig verteilt und andererseits kommen die verschiedenen Umrüstkonzepte an verschiedenen Traktorentypen zum Einsatz. Dieser Sachverhalt erschwert den direkten Vergleich der Güte der Anpassungsmaßnahmen.

3.2 Umrüstkonzepte

Bei den Umrüstkonzepten handelt es sich um fünf „1-Tank-Konzepte“ (nur Rapsölbetrieb) und zwei „2-Tank-Konzepte“ (Einsatz von DK in der Kaltstartphase und beim Abstellen des Fahrzeuges). Die eingesetzten Umrüstkonzepte der beteiligten Umrüster unterscheiden sich deutlich in der Tiefe der Umrüstmaßnahmen. Gemeinsamkeiten aller Umrüstkonzepte sind die Vorwärmung des Rapsöles und die Vergrößerung der Leitungsquerschnitte. Die Umrüstungen wurden durch klassische Applikationen (z. B. Einspritzmenge, Düsengeometrie) an den direkteinspritzenden Motoren durchgeführt. Veränderte Wirkprinzipien (z. B. Wechsel des Brennverfahrens) bei der Einspritzung, Gemischbildung und Verbrennung kommen nicht zum Einsatz.

3.3 Veränderungen des Leistungs- und Emissionsverhaltens

Um Veränderungen im Leistungs- und Emissionsverhalten der Traktoren im Rapsölbetrieb innerhalb des Vorhabens zu dokumentieren, werden alle teilnehmenden Fahrzeuge jährlich wiederkehrenden Leistungsmessungen unterzogen. Als Referenz dient grundsätzlich das Leistungs- und Emissionsniveau der einzelnen Traktorenmotoren im Dieselmotorkraftstoffbetrieb unmittelbar vor der Umrüstung. Diese Untersuchungen werden direkt bei den Betreibern der Traktoren vor Ort durchgeführt. Die Messergebnisse dieser Untersuchungen unterliegen somit vielfältigen äußeren Faktoren und erzielen nicht die Genauigkeit vergleichbarer Messungen in speziellen Prüflabors.

Leistungsvermögen im Rapsölbetrieb

Abbildung 3.3.1 zeigt das Leistungsvermögen ausgewählter Traktoren des Demonstrationsvorhabens im Rapsölbetrieb bezogen auf den Dieselmotorkraftstoffbetrieb vor der Umrüstung. Bei einigen Traktoren kam es unmittelbar nach der Umrüstung zu einem geringfügigen Leistungsverlust. Andere wiesen im Rapsölbetrieb am Anfang etwas mehr Leistung auf. Nur bei sehr wenigen ist eine Verringerung des Leistungsvermögens um 10 % zweijähriger Laufzeit zeigt zumeist keine nachteiligen Veränderungen bezüglich des und mehr festgestellt worden. Die Wiederholung der Leistungsmessung nach einjähriger bzw. Leistungsvermögens.

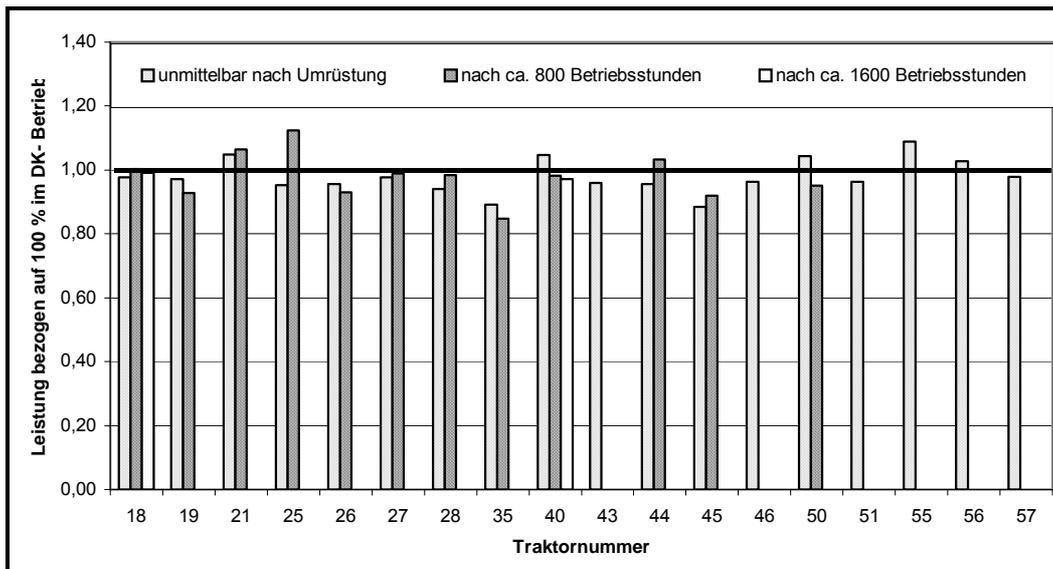


Abbildung 3.3.1: Traktorenleistung im Rapsölbetrieb bezog. auf den DK-Betrieb vor der Umrüstung

Mitunter erfolgten durch die umrüstenden Einrichtungen in der Zwischenzeit gezielte Eingriffe in das Motormanagement, die zu einer Erhöhung der Motorleistung im Rapsölbetrieb führten. Es ist allerdings auch festzustellen, dass trotz fortgesetzter Bemühungen der Umrüster das Leistungsvermögen weniger Traktoren nach wie vor um mehr als 10 % das Dieselniveau unterschreitet.

Bezüglich des Leistungsverhaltens der umgerüsteten Traktoren des Demonstrationsvorhabens lässt sich bislang feststellen, dass der Rapsölbetrieb über einen längeren Zeitraum (2000 h) zu keinen nennenswerten Veränderungen des Leistungsvermögens der rapsölbetriebenen Motoren führt.

Emissionsverhalten im Rapsölbetrieb

Um tendenzielle Aussagen zu Veränderungen im Emissionsverhalten zu erhalten, werden innerhalb der Prüfstandtests die Abgaskomponenten Stickoxide (NO_x) und Kohlenmonoxide (CO) bei bestimmten Lastpunkten gemessen. Abbildung 3.3.2 zeigt die Messergebnisse zur NO_x -Emission ausgewählter Traktoren im Volllastpunkt.

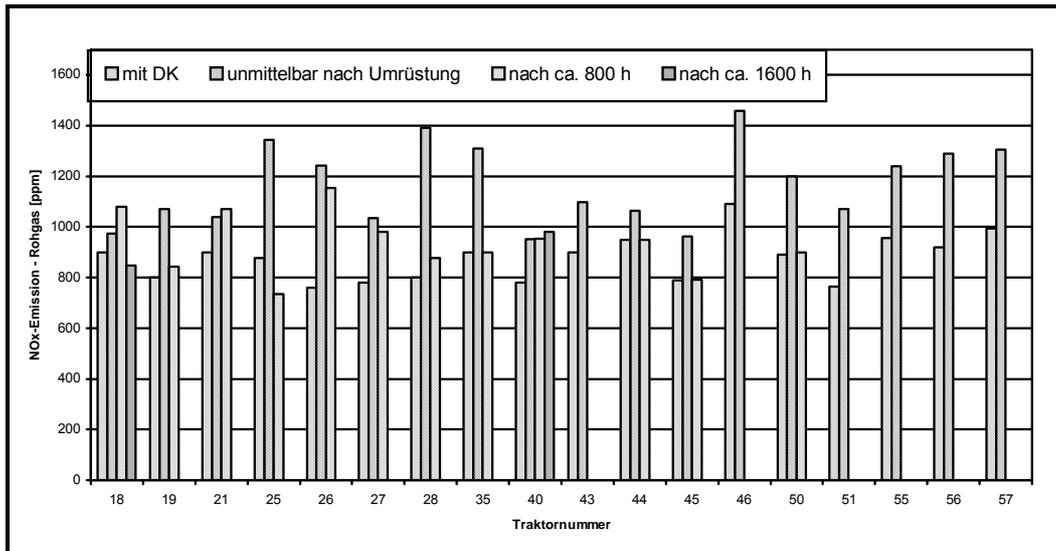


Abbildung 3.3.2: Stickoxid-Emission im Vollastpunkt der umgerüsteten Traktoren

Hier ist zu erkennen, dass der Rapsölbetrieb in den ersten Betriebsstunden nach der Umrüstung mit einer deutlichen Zunahme der NO_x -Emission einherging. Das traf auf fast alle Traktoren nahezu gleichermaßen zu. Erst im weiteren Verlauf des Vorhabens gelang es einigen Umrüstern durch entsprechende Maßnahmen das Emissionsniveau dieser Abgaskomponente bei einigen Traktoren deutlich zu verringern. Die wiederholte Vermessung der Traktoren weist dementsprechend bei diesen Traktoren eine Stickoxidemission in diesem Lastpunkt auf, die der des Dieselbetriebes deutlich näher kommt, diese sogar erreicht. Wie sich das auf die Betriebssicherheit der betroffenen Traktoren auswirkt, ist allerdings noch nicht abzuschätzen, da in diesen Fällen längerfristige Erfahrungen fehlen.

Demgegenüber kommt es durch den Rapsölbetrieb zumeist zu keinen signifikanten Veränderungen der CO -Emission. Abbildung 3.3.3 zeigt die Messergebnisse zu dieser Abgaskomponente bei den ausgewählten Traktoren im Nulllastpunkt.

Messungen der Partikelemissionen an wenigen repräsentativen Traktoren zeigen, dass die für diese Traktoren gültigen Partikelgrenzwerte sehr deutlich unterschritten werden.

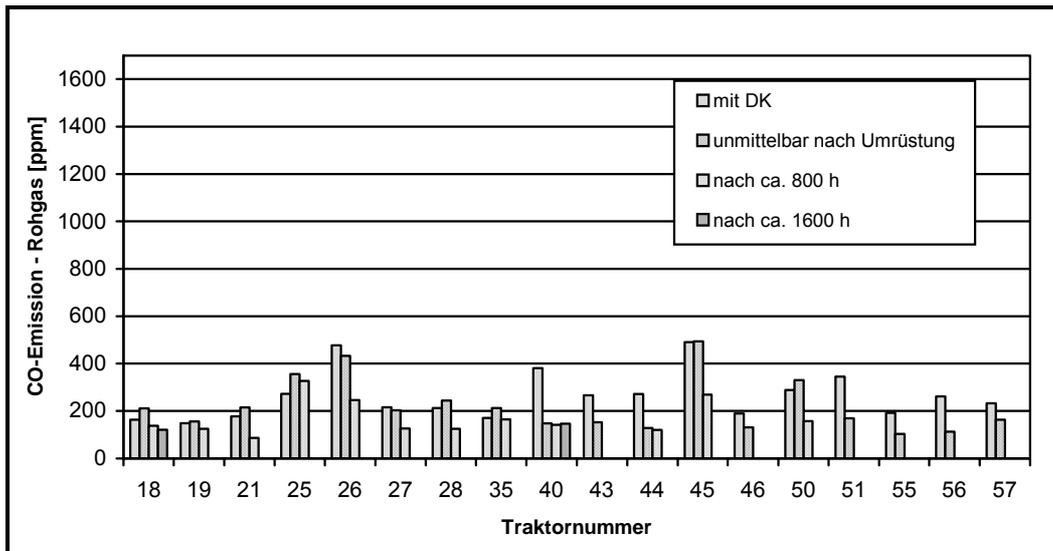


Abbildung 3.3.3: Kohlenmonoxid-Emission im Nulllastpunkt der umgerüsteten Traktoren

3.4 Betriebsverhalten von Traktorenmotoren im Rapsölbetrieb

Ein störungsfreier Motorenbetrieb war bislang bei 30 Traktoren festzustellen. Weiterhin wurden bisher 35 Traktoren mit geringfügigen Störungen registriert. Positive Ergebnisse weisen insbesondere Fendt- und Deutz-Fahr-Traktoren auf. 16 von 24 Fendt-Traktoren der Baureihen 4XX und 7XX laufen bisher ohne Störungen, weitere 5 Traktoren mit geringen Schäden (Motoren: BF4M 2013 C und BF6M 2013 C). Das bedeutet, über 80 % der Fendt-Traktoren dieser Baureihen laufen bisher problemlos! Bei den Deutz-Fahr-Traktoren der Baureihen Agrottron laufen bisher 10 von 42 ohne Störungen und 19 Traktoren mit geringen Schäden (Motoren: BF4M 1012EC, BF6M 1013EC, BF6M 1013E, BF6M 1013FC). Die Pumpe-Leitung-Düse-Systeme der Deutz-Motoren-Baureihe 1013 und 2013 zeigten sich bisher den Anforderungen des Rapsölbetriebes gewachsen. Ähnliche positive Erfahrungen wurden mit schmierölgeschmierten Reiheneinspritzpumpen, wie sie in BHKW's mit hoher Leistung eingesetzt werden, gemacht. Die Technologie der Pumpe-Leitung-Düse-Systeme für die Einspritzung von Rapsöl als Kraftstoff bildet eine aussichtsreiche Basis für die Entwicklung von Einspritzsystemen für zukünftige Motorengenerationen.

Auf der anderen Seite traten bei 36 Traktoren Störungen mit Kosten > 2.000 € und bei 10 Traktoren schwere Störungen mit Kosten > 15.000 € auf. Bei diesen Störungen, die unmittelbar mit dem Rapsölbetrieb in Verbindung zu bringen sind, sind vor allem

- o defekte Verteilereinspritzpumpen und Einspritzdüsen,

- Schäden an den Einspritzpumpen Bosch VP44 sowie Stanadyne, festgehende Auslassventile aufgrund von Ablagerungen (typische Langzeitschäden
 - z. B. nach 2500 h) und
 - verstärkter Rapsöleintrag in das Motorenschmieröl zu nennen. Weiterhin wurden folgende Probleme im Traktorenbetrieb festgestellt:
 - Minderleistungen im Rapsölbetrieb in der ersten Umrüststufe ,
 - Filterverstopfungen durch schlechte Rapsölqualität,
 - Undichtigkeiten an Kraftstoffleitungen und
 - Russablagerungen in Luft- und Abgaskanälen.
- In Abbildung 3.4.1 wurden die Anzahl und Art der häufigsten Betriebsstörungen auf die Jahre 2001 bis 2004 aufgeschlüsselt.

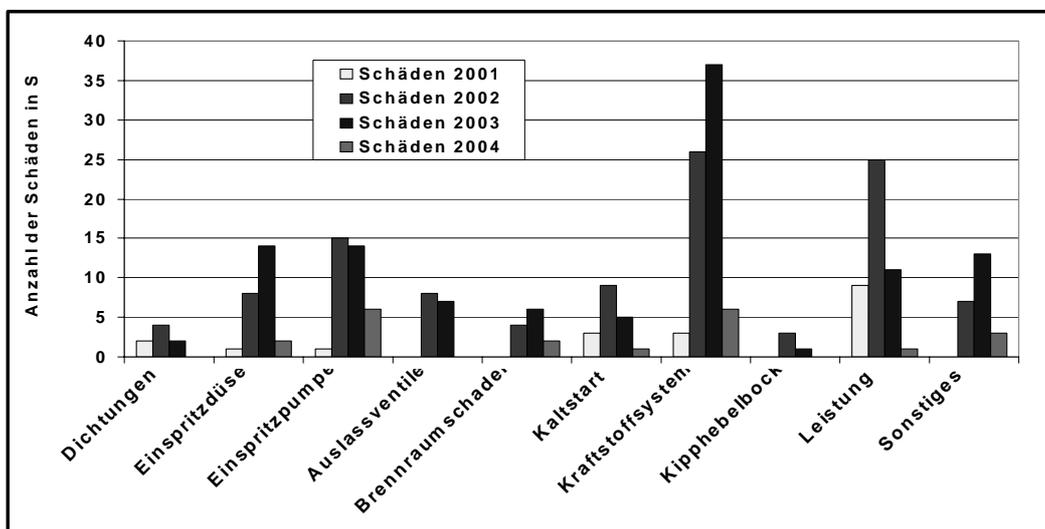


Abbildung 3.4.1: Betriebsstörungen

Besonders kritisch sind Schäden an den Einspritzpumpen und Brennraumschäden zu sehen, da sie mit hohen Kosten verbunden sind. Bezüglich des Kaltstartverhaltens und der Leistungseinbußen im Rapsölbetrieb zeichnet sich ein positiver Trend ab. Die Störungen an den Kraftstoffversorgungssystemen (Niederdruckseite) nehmen ebenfalls ab, da viele Unzulänglichkeiten der Umrüstkonzepte über die Projektlaufzeit behoben wurden. Bei der Häufigkeit und Schwere von Störungen/Schadensbildern, die auf unzureichende technologische Tiefe der jeweiligen Umrüstkonzepte deuten, zeichnen sich wesentliche Unterschiede zwischen den Umrüstern ab. Firmen, die sich mit der Anpassung von Serienmotoren an den

Rapsölbetrieb bereits seit mehr als 10 Jahren beschäftigen, haben deutlich weniger Störungen an Ihren umgerüsteten Motoren.

3.5 Veränderungen der Schmierölqualität

Das Demonstrationsvorhaben ermöglicht zudem Aufschlüsse darüber, welche Veränderungen der Schmierölqualität sich aus dem Rapsölbetrieb der Motoren ergeben. Dazu erfolgt eine intensive Beprobung der Motorschmieröle aller teilnehmenden Traktoren über die gesamte Projektlaufzeit.

Bei allen Umrüstkonzepten ist ein hoher Eintrag von Rapsöl in das Schmieröl festzustellen. Dieser Eintrag bestimmte die erreichbaren Ölwechselintervalle bei den Traktoren (Abbildung: 3.5.1). Andere Schmierölkennwerte, wie z. B. der Rußgehalt oder die TBN-Zahl, liegen in den meisten Fällen weit unter bzw. über den Grenzwerten für einen Ölwechsel.

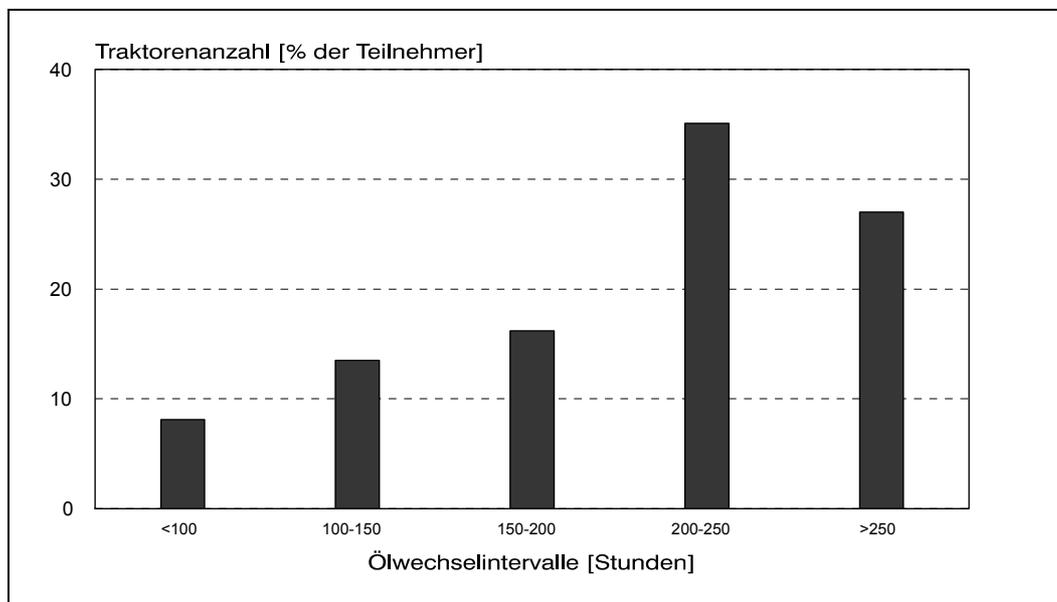


Abbildung 3.5.1: Ölwechselintervalle

Auf Grund der unzureichenden thermischen Stabilität und Oxidationsstabilität des Rapsöls können insbesondere bei sehr hohen Temperaturen am Kolbenboden und in Gegenwart katalytisch wirkender Metalle Polymerisationsreaktionen ausgelöst werden, die zu einem plötzlichen Viskositätsanstieg führen. Bei ca. einem Prozent der analysierten Proben wurde in den Jahren 2001 und 2002 eine beginnende Eindickung (Polymerisation) des Schmieröles festgestellt. In den folgenden Jahren traten diesbezüglich keine Probleme mehr auf. Zur Sicherung eines störungsfreien Motorenbetriebes ist eine konsequente Schmierölüberwachung unbedingt erforder-

lich. Der Kraftstoffeintrag in das Motorenschmieröl sollte durch eine Reduzierung des Kaltbetriebes (Leerlauf, Teillast) auf das unbedingt notwendige Maß begrenzt werden.

4. Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Aus dem Stand des o. g. Demonstrationsprojektes lassen sich folgende Trends für eine mögliche Entwicklung von rapsöltauglichen Dieselmotoren ableiten:

Die Einführung der Hochdruckeinspritzung mit hohen Einspritzstrahlimpulsen hat sich positiv auf die Gemischbildung und Verbrennung von Rapsöl in Motoren und deren Abgasemissionen ausgewirkt. Auf dieser Basis kann die Weiterentwicklung der Rapsölverbrennung in Motoren zur Erfüllung der nächsten Abgasnormen erfolgen. Der hierfür benötigte Entwicklungsaufwand ist mit dem von RME vergleichbar.

Wie bei allen Verbrennungsmotoren, können auch für Rapsölmotoren Grundlagenuntersuchungen zum Einspritz- und Brennverhalten durchgeführt werden, als Basis für Brennverfahren, die die Abgasnormen nach 2008 erfüllen sollen.

Um die Ölwechselintervalle im Rapsölbetrieb auf die Länge von Dieseldieselfkraftstoff ausdehnen zu können, sollten Schmieröle ermittelt und getestet werden, die auch bei hoher Belastung und in Gegenwart hoher Rapsölanteile die Eindickung (Polymerisation) ausschließen bzw. verzögern. Dies werden höchstwahrscheinlich synthetische pflanzenölbasierte Esteröle sein. Die Arbeiten auf diesem Gebiet kommen allen Rapsölmotoren sowie Motoren im RME-Betrieb zu gute.

Neben der Suche nach geeigneten Schmierölen kann die Möglichkeit untersucht werden, durch motorkonstruktive Maßnahmen den Rapsöleintrag zu verringern.

Da es nach jetzigem Entwicklungsstand kaum rapsöltaugliche Verteilereinspritzpumpen gibt, diese aber aus Kostengründen an vielen Motorkonzepten eingesetzt werden, kann die Entwicklung einer rapsöltauglichen Verteilereinspritzpumpe sinnvoll sein. Der Wechsel des Einspritzverfahrens von Verteilereinspritzpumpe zu PLD-Systemen bei der Anpassung an den Rapsölbetrieb ist an ausgeführten Motoren nicht möglich, da für PLD-Systeme ein völlig anderer Motoraufbau als für Verteilerpumpen notwendig ist. Die Wahl des Einspritzsystems ist eine der ersten Festlegungen beim Motorentwurf.

Die PLD-Einspritzsysteme sind weiterzuentwickeln, insbesondere hinsichtlich Einspritzdruckniveau und modernen Verfahren der Einspritzfunktionssteuerung für Förderbeginn und Fördermenge.

5. Rapsöl in Kraftstoffqualität

Für die Nutzung von Rapsöl als Motorenkraftstoff werden Qualitätsanforderungen gestellt, die sich von den Anforderungen an Rapsöl als Lebensmittel deutlich unterscheiden. Als Basis für die Qualitätsbeurteilung von Rapsölkraftstoff dient derzeit der „RK-Qualitätsstandard 05/2000“. Seit Herbst 2003 wird eine zunächst nationale Anforderungsnorm für Rapsölkraftstoff im Unterausschuss 632.2 des Fachausschusses Mineralöl- und Brennstoffnormung im Deutschen Institut für Normung e.V. DIN erarbeitet.

Im Demonstrationsvorhaben „Praxiseinsatz von serienmäßigen neuen rapsöлтаuglichen Traktoren“ sollten ausschließlich Rapsöle eingesetzt werden, die den Spezifikationen des „RK-Qualitätsstandards 05/2000“ entsprechen. Zur Überwachung der Kraftstoffqualität werden deshalb von der Universität Rostock umfangreiche Untersuchungen der eingesetzten Rapsölqualitäten durchgeführt. In Abbildung 5.1 ist die Anzahl der untersuchten Lagertankproben für die Jahre 2001 - 2003 sowie die entsprechende Anzahl der Proben mit Grenzwertüberschreitungen dargestellt. Mehr als 50 % der Proben erfüllen in mindestens einem Parameter die Anforderungen des „RK-Qualitätsstandards 05/2000“ nicht. Eine Verbesserung der eingesetzten Rapsölqualitäten über den Projektzeitraum ist trotz umfangreicher Aufklärungsarbeiten nicht festzustellen.

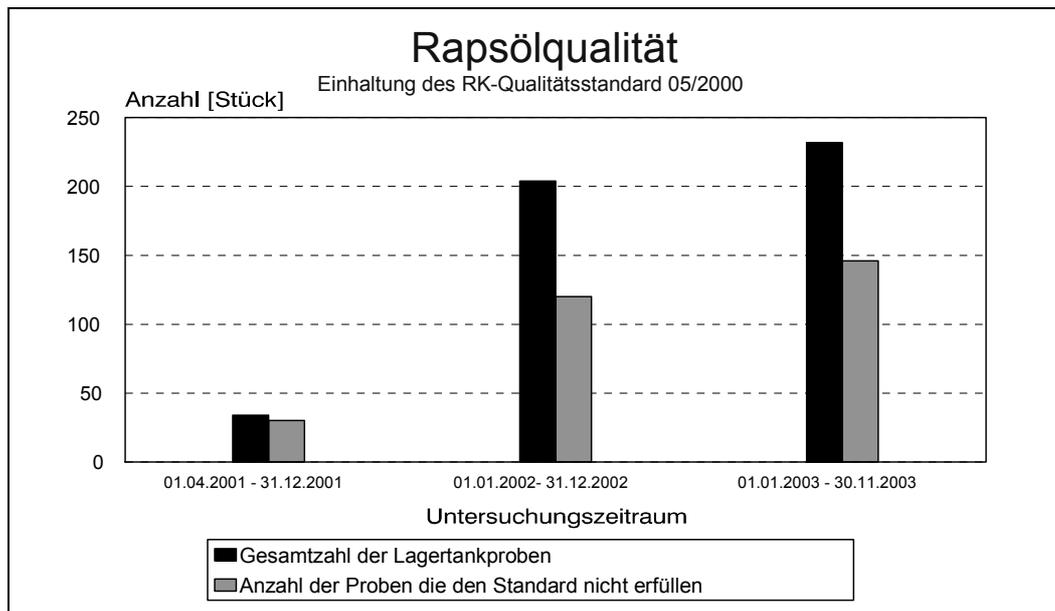


Abbildung 5.1: Abweichungen der Lagertankproben vom „RK-Qualitätsstandard 05/2000“

Die häufigsten Grenzwertüberschreitungen traten bei den Parametern Gesamtverschmutzung, Neutralisationszahl und Phosphorgehalt auf. Bei der

Gesamtverschmutzung erfüllten 35 Prozent der Proben nicht die Anforderung des „RK-Qualitätsstandards 05/2000“. Besonders negativ sind Proben mit einer Gesamtverschmutzung über 50 mg/kg zu werten (Abb. 5.2).

Um die Einhaltung des „RK-Qualitätsstandard 05/2000“ als eine wesentliche Grundlage für sollten mit ihren Parametern deutlich unter den Grenzwerten des bisherigen „RK-verstärkt durch externe Qualitätskontrollen gesichert werden. Die ausgelieferten Rapsöle die Entwicklungsarbeit an Pflanzenölmotoren zu gewährleisten, muss die Lieferqualität Qualitätsstandards 05/2000“ liegen, um weitere zeitlich bedingte Qualitätsverluste bis zum Fahrzeugtank auffangen zu können. Die Filterung und Reinigung der Rapsöle ist zu verbessern. Ziel sollte es sein, dass Rapsölkraftstoff mindestens 1 Jahr lagerfähig ist, ohne die Grenzwerte des „RK-Qualitätsstandard 05/2000“ zu verlassen. Die erfolgreiche Weiterführung der Normung von Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenöлтаugliche Motoren ist ein wesentlicher Meilenstein zur Verbreitung von Rapsöl als Kraftstoff für Motoren.

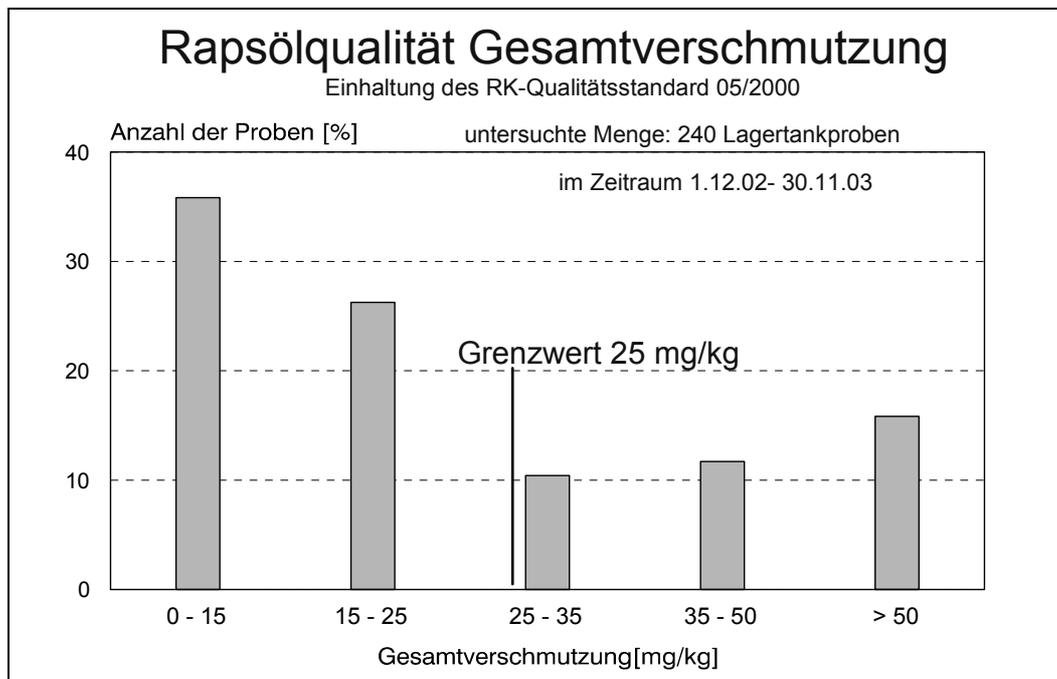


Abbildung 5.2: Rapsölqualität - Kriterium „Gesamtverschmutzung“

Um die Einhaltung des „RK-Qualitätsstandard 05/2000“ als eine wesentliche Grundlage für sollten mit ihren Parametern deutlich unter den Grenzwerten des bisherigen „RK-verstärkt durch externe Qualitätskontrollen gesichert werden. Die ausgelieferten Rapsöle die Entwicklungsarbeit an Pflanzenölmotoren zu gewährleisten, muss die Lieferqualität Qualitätsstandards 05/2000“ liegen, um weitere zeitlich bedingte Qualitätsverluste

bis zum Fahrzeugtank auffangen zu können. Die Filterung und Reinigung der Rapsöle ist zu verbessern. Ziel sollte es sein, dass Rapsölkraftstoff mindestens 1 Jahr lagerfähig ist, ohne die Grenzwerte des „RK-Qualitätsstandard 05/2000“ zu verlassen. Die erfolgreiche Weiterführung der Normung von Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenöлтаugliche Motoren ist ein wesentlicher Meilenstein zur Verbreitung von Rapsöl als Kraftstoff für Motoren.

Vollraffinate sind nach dem jetzigen Erkenntnisstand gut für den Einsatz in Motoren geeignet, da sie den „RK-Qualitätsstandard 05/2000“ einhalten und in vielen für den Motorbetrieb wesentlichen Parametern deutlich unterschreiten. Die Lagerstabilität der Vollraffinate beträgt mindestens 1 Jahr.

6. Zusammenfassung

Die Entwicklung der Dieselmotoren auch für landwirtschaftliche Anwendungen hat insbesondere in der letzten Zeit durch die periodische Verschärfungen der Abgasnormen eine hohe Dynamik erhalten. Die spezielle Entwicklung von Rapsölmotoren die dieser Dynamik angepasst sind, ist noch offen. Technologische und physikalische Grenzen, die den Einsatz von Rapsöl in zukünftigen Motoren bestimmen, werden zurzeit untersucht. Motoren mit PLD-Einspritzsystemen und Hochdruckeinspritzung arbeiten im Demonstrationsvorhaben „Praxiseinsatz von serienmäßigen neuen rapsöлтаuglichen Traktoren“ 2000 Betriebsstunden ohne Störungen.

Grundlagenarbeiten und angewandte Industrieforschung sind notwendig, um auch zukünftig Motoren mit Rapsöl betreiben zu können. Dazu ist die Beteiligung der Industrie bzw. der Hersteller unverzichtbar. Insbesondere die Weiterentwicklung der Einspritzsysteme für Rapsöle z. B. PLD-Systeme und die Entwicklung rapsöлтаuglicher Verteilereinspritzpumpen können hierbei zentrale Aufgaben sein.

Eine wesentliche Größe für den wirtschaftlichen Bedarf von rapsöлтаuglichen Dieselmotoren ist die Stückzahl der Motoren, die auf dem Weltmarkt verkauft werden können. Wann mit serienreifen also umfassend erprobten Technologien zur Umrüstung der modernsten Motoren frühestens zu rechnen ist, kann nicht abgeschätzt werden, da sich die Motorenhersteller als Träger der Technologie zurzeit nicht intensiv mit dieser Problematik beschäftigen. Neben der Entwicklung von Rapsölmotoren ist auch die Normung des Kraftstoffes eine wesentliche Voraussetzung für den erfolgreichen wirtschaftlichen Einsatz von Pflanzenölen in Motoren.

Einsatz von Rapsprodukten in der Fütterung von Rind und Schwein

*Dr. Hans-Joachim Alert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft,
Am Park 3, 04886 Köllitsch*

*Dr. habil. Friedrich Schöne, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft,
Ricarda-Huch-Weg 20, 07743 Jena*

1. Einleitung

Rapsextraktionsschrot fällt als Koppelprodukt bei der Rapsölgewinnung durch Extraktion der Rapssaat in Ölmühlen an. Das Futtermittel enthält nur wenig Restfett. Wird das Öl nur durch mechanisches Abpressen gewonnen, bleibt Rapskuchen, auch als Rapsexpeller bezeichnet, übrig. Dieser weist im Vergleich zum Extraktionsschrot höhere Fettgehalte auf.

Die deutsche Jahresproduktion an Rapsextraktionsschrot beträgt mehr als 2,5 Mio. Tonnen, welches damit nach Sojaextraktionsschrot das bedeutendste Eiweißfuttermittel ist. Rapskuchen dürfte in Mengen von weniger als 100.000 Tonnen pro Jahr anfallen. Für das Einzugsgebiet einer dezentralen Rapsölprelle in der entsprechenden Region kann das Futtermittel Rapskuchen jedoch überaus bedeutsam sein. Tabelle 1 enthält ausgewählte Futterwertkenndaten der Rapsfuttermittel im Vergleich zu Sojaextraktionsschrot.

2. Einsatzwürdigkeit von Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen in der Milchkuhfütterung

Für die Einsatzwürdigkeit von Rapsextraktionsschrot ist vorrangig der Preis maßgebend. Eine Grobkalkulation für den Einzelbetrieb ermöglicht die Austauschmethode (Rapsextraktionsschrot gegen Sojaextraktionsschrot und Weizen) auf Basis von NEL und nXP (Tabelle 2).

Tabelle 1: Rapsfuttermittel im Vergleich Sojaextraktionsschrot (Werte je kg Trockenmasse)

Fettgehalt	Fettgehalt %	Rapskuchen			Rapsextraktionsschrot	Raps- saat	Sojaex- schrot
		8-11	12-15	16-19	1-5 ¹⁾	40 ²⁾	1-3
Rohprotein	g	370	360	350	392	227	510
nXP	g	217	210	204	219	100	288
Rohfaser	g	128	119	111	131	75	67
Lignin	g	85	82	80	90	70	28
Lysin	g	20	19	18	22	13	30
Methionin + Cystin	g	17	16	15	19	10	15
Threonin	g	17	16	15	18	10	21
Phosphor	g	10	9	9	12	7	7
NEL	MJ	8,0	8,3	8,6	7,3	10,8	8,6
ME Rind	MJ	13,1	13,5	14,0	12,0	17,7	13,8
ME Schwein	MJ	12,4	13,2	14,0	11,1	19,8	14,6

¹⁾ nach Zugabe von Rohlecithin

²⁾ Verfütterung nur bei sehr niedrigem Erzeugerpreis, also im Ausnahmefall

nXP = Nutzbares Protein: Proteinmenge, die im Dünndarm zur Verfügung steht und sich aus dem im Pansen gebildeten Mikrobenprotein und dem im Pansen nicht abgebauten Futterprotein („Durchflussprotein“, undegraded protein – UDP) zusammengesetzt.

NEL = Nettoenergie-Laktation

ME = Umsetzbare Energie

Tabelle 2: Preiswürdigkeit von Rapsextraktionsschrot im Austausch gegen Sojaextraktionsschrot und Weizen auf Basis nXP (nutzbares Rohprotein) und NEL für Milchkühe (nach SÜDEKUM UND SPIEKERS 2002)

Preis (€/100 kg) für			
Sojaschrot	Weizen		
	11	12	13
18	14,6	14,7	14,8
20	16,2	16,3	16,4
22	17,7	17,8	17,9
24	19,3	19,4	19,5
26	20,8	20,9	21,0

Bei einem Sojaextraktionsschrotpreis von 22 Euro je dt und einem Weizenpreis von 12 Euro je dt darf Rapsextraktionsschrot danach 17,80 Euro je dt kosten, um Kostengleichheit zu erzielen. Im Vergleich zu früheren Bewertungen verbessert sich die Preiswürdigkeit von Rapsschrot erheblich. Hier wurden neuere Versuchsergebnisse zur Proteinqualität des Soja- und Rapsextraktionsschrotes berücksichtigt, d. h. Sojaextraktionsschrot und Rapsextraktionsschrot werden nicht mehr mit 35 und 25 % unabbaubarem Proteinanteil (UDP) angegeben, wie in der aktuellen DLG Futterwerttabelle von 1997, sondern einheitlich mit 30 % ermittelt in Versuchen mittels Pansenbeuteltechnik (SÜDEKUM und SPIEKERS 2002). Ebenfalls für Rapskuchen/Expeller ergibt sich nach diesen Neufestlegungen ein gleicher UDP-Anteil von 30 %. Rapsextraktionsschrot liegt im nXP-Wert trotzdem niedriger als Sojaextraktionsschrot durch die geringeren Gehalte an verdaulicher organischer Substanz und Rohprotein. Durch die Änderung der nXP-Werte ändern sich gleichzeitig die ruminalen Stickstoffbilanzen (RNB). Beim Rapsextraktionsschrot ist die Bilanz nun niedriger und beim Sojaextraktionsschrot höher. Für Rapskuchen kann der Markt nicht wie bei Rapsextraktionsschrot nur einen Preis bilden, da Rapskuchen besonders im Fettgehalt und damit im Energiegehalt variiert. Liegen keine Angaben zum Fett- und Glucosinolatgehalt vor, sollte Rapskuchen im Rahmen von Vereinbarungspreisen zwischen Biodieselproduzent und Landwirt wie Rapsextraktionsschrot gehandelt werden.

Im Unterschied zur Saatgutzertifizierung ist für den Konsumraps und die Rapsfuttermittel die Glucosinolatbestimmung bisher nicht vorgeschrieben. Glucosinolatanalysen von Rapsfuttermittelchargen würden deren Einsatz sicherer machen. Der Trockenmasse- und Rohfettgehalt bestimmen weitgehend die Lagerfähigkeit. Insbesondere fettreiche Kuchen sollten mehr als 91 % Trockenmasse aufweisen (PÖLL und WIEDNER 1993). Die niedrige Produktfeuchtigkeit garantiert trotz des hohen Fettgehaltes eine gute Lagerstabilität.

3. Glucosinolatgehalt (GSL) in Raps

Der Einsatz von Rapsprodukten in der Tierfütterung wird besonders durch den Gehalt an Senfölglycosiden (Glucosinolaten) eingeschränkt, deren Spaltprodukte toxisch wirken bzw. das Wachstum und die Leistungsfähigkeit der Tiere herabsetzen können. Neben dem Futtermittelverzehr wird der Jodumsatz und die Schilddrüsenfunktion beeinträchtigt (SCHÖNE, 1995). Auch hier ist es der Züchtung gelungen, den Glucosinolatgehalt von 75 – 125 µmol/g entfettete Substanz auf 10 bis 20 µmol/g herabzusetzen. Als glucosinolatarm gelten zur Zeit in der Europäischen Union Rapsorten, die bei 9 % Feuchte weniger als 40 µmol/g Glucosinolat in der entfetteten Substanz enthalten (25 µmol/g im lufttrockenem Samen).

Die deutschen Rapszüchter bzw. das Bundessortenamt haben für 00-Raps < 30 µmol/g entfettete Saat (< 18 µmol/g im lufttrockenem Samen) festgelegt.

Durch die Extraktion werden die Glucosinolate in unterschiedlichem Ausmaß verringert. BILLE et. al. (1983) stellten fest, dass nach dem Entzug der Rapsöle nur noch 40 bis 80 % der in der Rapssaat vorhandenen Glucosinolate im Extraktionsschrot wieder gefunden werden. Bei vergleichbarer Trockensubstanz können die Glucosinolatgehalte im Rapsextraktionsschrot ähnlich hoch oder sogar höher als in der Saat sein, da sich durch den Ölentzug die Bezugsbasis geändert hat.

4. Ergebnisse vergleichender Fütterungsversuche mit Hochleistungskühen zum Ersatz von Sojaextraktionsschrot durch Rapsextraktionsschrot

In einer UFOP-Praxisinformation (SPIEKERS und SÜDEKUM 2002) sind die aktuellen Versuchsergebnisse verschiedener Einrichtungen zum Einsatz von Rapsextraktionsschrot (RES) im Austausch gegen Sojaextraktionsschrot (SE) bei Milchkühen dargestellt (Tabelle 3).

Alle Versuche wurden mit maisbetonten Rationen durchgeführt. Es zeigt sich, dass bei voll-ständigem Ersatz von Sojaextraktionsschrot durch Rapsextraktionsschrot vergleichbar hohe und höhere Milchleistungen bei einem Niveau von über 30 kg Milch je Kuh und Tag erreicht werden können. Der Versuch im Zentrum für Tierhaltung und Technik Iden ist bei ENGELHARD UND KLUTH (2003) ausführlich beschrieben. Die Untersuchungen der Landesanstalt für Landwirtschaft in Köllitsch wurden auf den Einsatz von Rapskuchen in der Milchkuhfütterung erweitert. Im Folgenden werden diese Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 3: Versuche an Milchkühen zum Einsatz von Rapsextraktionsschrot (RES) im Austausch gegen Sojaextraktionsschrot (SE), nach SPIEKERS und SÜDEKUM 2002

Einrichtungen	Futterbasis Anteile in der totalen Mischration (TMR)	Fütterung	Einsatzmengen/ Kuh u. Tag	Milchmenge kg/Tag	Milchfett %	Milcheiweiß %
LWZ Haus Riswick, Kleve (NRW)						
Versuch I	1/3 Maissil. 2/3 Grassil.	Einsatz im Milchleistungsfutter (MLF)	SE: 2,3 kg RES: 3,1 kg	31,1 31,3	3,9 3,9	3,1 3,2
Versuch II	1/2 Maissil. 1/2 Grassil.	Einsatz im MLF	SE: 1,6 kg RES: 2,2 kg	25,2 25,8	4,2 4,1	3,4 3,4
LfL Köllitsch (Sachsen)	1/2 Maissil. 1/2 Grassil.	Einsatz in TMR	SE: 1,6 kg RES: 2,0 kg	31,2 32,7	3,9 4,0	3,4 3,4
LVA Iden (Sachsen-Anhalt)	40 % Maissil.+LKS 25 % Grassil.	Einsatz in TMR	SE: 4,0 kg RES: 4,3 kg	40,0 40,5	3,8 3,9	3,3 3,3
Versuchsgut Hülsenberg (Schleswig-Holstein)	1/2 Maissil. 1/2 Grassil.	Einsatz in TMR	SE: 3,7 kg 2/3 RES + 1/3 SE 2,5 kg + 1,5 kg	34,6 35,3	3,7 3,7	3,2 3,2

5. Einsatz von Rapskuchen in der Milchkuhfütterung im LVG Köllitsch

Die Zusammensetzung der Futtermischung (Tabelle 4) blieb - dem Prinzip der totalen Mischration folgend - während der gesamten Versuchszeit gleich, auch um ggf. einen Langzeiteffekt der Versuchsfuttermittel (Rapskuchen, Rapsextraktionsschrot) feststellen zu können.

Tabelle 4: Zusammensetzung der täglichen Milchkuhration (Totale-Misch-Ration)

Gruppen-Versuchsfutter (TMR)	Rapskuchen kg Trockenmasse	Rapsextraktionsschrot kg Trockenmasse
Grundfutter		
Grasanwelksilage	2,51	2,51
Maissilage	5,48	5,48
Heu	0,86	0,86
Krafffutter		
Gerste	8,02	8,02
Weizenkleie	0,90	0,90
Trockenschnitzel ¹⁾	1,78	1,78
Rapskuchen	2,29	
Rapsextraktionsschrot		2,01
Mineralstoffgemisch	0,20	0,20
Blattin	0,20	0,20

¹⁾ bis durchschnittlich 87. Versuchstag Pressschnitzelsilage

Tabelle 5: Durchschnittliche Trockenmasse- und Rohnährstoffaufnahme je Kuh und Tag (100-tägiger Einzelfütterungsabschnitt)

Aufnahme (kg)	Rapskuchen	Rapsextraktionsschrot
Trockenmasse	20,41	20,53
Trockenmasse/100 kg Lebendmasse	3,14	3,00
Rohprotein	2,94	2,89
Rohfett	0,91	0,71
Rohfaser	3,05	3,08
Strukturwirksame Rohfaser	2,15	2,20
Strukturwirks. Rohfaser/100 kg Lebendmasse	0,32	0,32
Stickstofffreie Extraktstoffe	12,26	12,38

Der Rapsextraktionsschroteinsatz erhöhte im Vergleich zum Rapskucheneinsatz die tägliche Trockenmasseaufnahme der Kühe in der Tendenz um 120 g. Bereits nach 122 Laktationstagen konnte bei allen Kühen eine Lebendmassezunahme registriert werden, die sich in den folgenden Monaten fortsetzte.

Am durchschnittlich 28. Tag nach dem Abkalben wurde in den beiden Versuchsgruppen im Mittel nahezu die gleiche Milchmenge gemessen (Abbildung 1). In der Rapsextraktionsschrotgruppe blieb sie bis zur Probenahme am 87. Tag post partum fast gleich. Danach fiel sie kontinuierlich bis zum Versuchsende ab. In der Rapskuchengruppe stieg die durchschnittliche Milchmenge je Kuh und Tag bis zum 87. Laktationstag weiter an; der Kulminationspunkt lag zwischen dem 87. und 119. Laktationstag.

Die Kühe der Rapskuchengruppe erreichten mit 9.260 kg die höchste durchschnittliche Milchleistung in der Laktation. In der Rapsextraktionsschrotgruppe wurden durchschnittlich 8.430 kg als Laktationsleistung registriert. Trotz der geringeren Milchmenge produzierten die Kühe der Rapsextraktionsschrotgruppe in 301 Laktationstagen tendenziell mehr Milchfett (358 kg) als die Kühe der Rapskuchengruppe (351 kg).

In der Rapsextraktionsschrotgruppe wurden ab dem 119. Laktationstag Milchfettgehalte um 4 % gemessen, die in der Laktation weiter anstiegen. In der Rapskuchengruppe erreichte der Milchfettgehalt die „4-%-Grenze“ erst am 238. Laktationstag. Auch in dieser Gruppe stieg der Milchfettgehalt weiter an, blieb aber immer deutlich unter dem der Rapsextraktionsschrotgruppe.

In der Rapskuchengruppe wurde gegenüber der Rapsextraktionsschrotgruppe ab dem 56. Laktationstag bis zum Ende des Versuches (301. Laktationstag) ein geringerer Milcheiweißgehalt gemessen. Unter 3,5 % lag der Eiweißgehalt der Milch in der Rapsextraktionsschrotgruppe bis zum 56. Laktationstag, in der Rapskuchengruppe hingegen bis zum 119. Tag nach dem Abkalben. Vermutlich besteht in der Rapskuchengruppe trotz des aus Futteraufnahme und Analysekenndaten errechneten über den Empfehlungen liegenden Rohproteinverzehr ein Aminosäuredefizit für die Milchproteinsynthese.

Tabelle 6 zeigt, dass die Rapskuchen- und Rapsextraktionsschrotgruppe trotz der bestehenden Milchmengendifferenz die gleiche Milcheiweißmenge produzierten (320 beziehungsweise 319 kg).

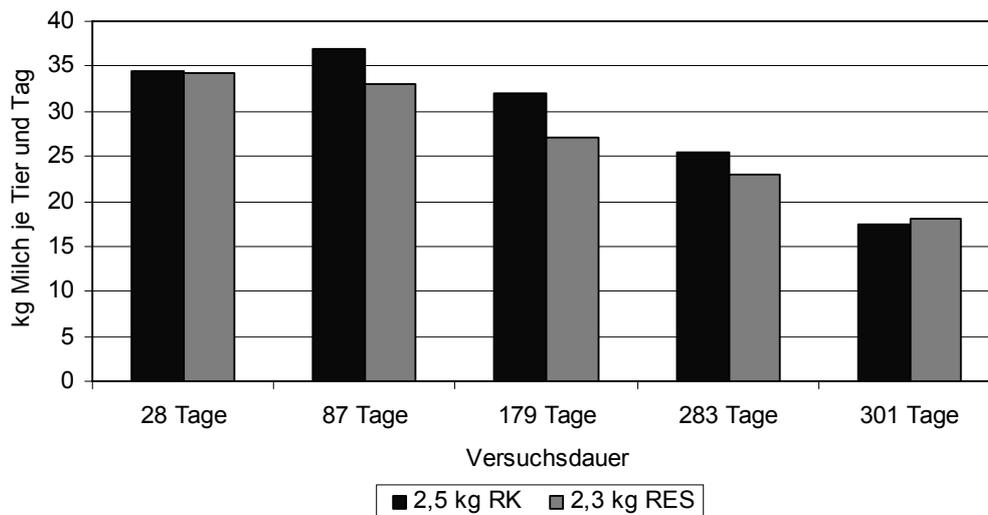


Abbildung 1: Veränderung der Milchmengenleistung im Versuchsverlauf

Tabelle 6: Durchschnittswerte von Milchleistung, Fett- und Eiweißgehalt und –ertrag sowie Harnstoffgehalt im Versuchszeitraum

Versuchsfutter		Rapskuchen	Rapsextraktionsschrot
Anzahl Kühe n		9	9
Parameter			
Milchmenge	kg	9260	8430 ⁺
Fett	%	3,79	4,37
Eiweiß	%	3,46	3,78
Lactose	%	4,84	4,85
Harnstoff	mg/l	171	184
Fett	kg	351	368 ⁺
Eiweiß	kg	320	319

⁺ signifikanter Unterschied zur Rapskuchengruppe ($p < 0,05$)

Die sensorischen Merkmale der Milch wurden weder durch Rapskuchen- noch durch Rapsextraktionsschrotfütterung nachteilig beeinflusst (Tabelle 7). Der nachgewiesene höhere Gehalt an einfach und zweifach ungesättigten Fettsäuren im Milchlaktogen nach Rapskuchenfütterung korrespondiert mit verringerter Milchfetthärte.

Tabelle 7: Sensorische Parameter¹⁾, Milchfetthärte¹⁾ und Acetongehalt der Milch²⁾

Parameter Probenzahl	Rapskuchen 15	Rapsextraktionsschrot 13
Aussehen	5	5
Geruch	5	5
Geschmack	4,53	4,38
Milchfetthärte (Kraftpenetrometer) PE-Wert MLUA-0)	144 ⁺ ± 89	218 ± 131
Acetongehalt mmol/l	0	0

⁺ p < 0,05)

Punkte nach DLG

Aussehen: milchweiße Flüssigkeit, einwandfrei, produkttypisch	5
Geruch: rein, einwandfrei, produkttypisch	4 bis 5
Geschmack: rein, einwandfrei, produkttypisch	5

¹⁾ Milchwirtschaftliche Lehr- und Untersuchungsanstalt e. V.

²⁾ LKV Sachsen

6. Rapsfuttermittel bei Schweinen

Auf das Schwein wirken die Glucosinolate wesentlich stärker als auf den Wiederkäuer, dessen Pansenmikroben die antinutritiven Stoffe inaktivieren. Wird in Schweinerationen ein zuträglicher Glucosinolatgehalt überschritten, kommt es zur Minderung der Futteraufnahme, in deren Folge zu einer verringerten Leistung und es vergrößert sich die Schilddrüse. Mastversuche neueren Datums mit Rapsextraktionsschrot aber auch mit Rapskuchen haben ergeben, dass Schweine Glucosinolatkonzentrationen bis zu einem Bereich von 1 bis 2 mmol/kg Alleinfutter vertragen, ohne dass sich die Futteraufnahme und Leistung vermindert (Tabelle 8). Bis zu einem solchen Glucosinolatanteil vergrößert sich auch nicht die Schilddrüse der Tiere. Ähnliche Grenzwerte der Glucosinolatverträglichkeit wie die Mastschweine besitzen Zuchtsauen. In Fütterungsversuchen war bei Rapskucheneinsatz die Jodkonzentration der Sauenmilch erniedrigt und die Jodausscheidung im Harn stieg an. Entsprechend dem nachgewiesenen höheren Jodverlust resultiert ein Jodmehrbedarf des Organismus und deshalb ist bei Rapsfütterung ein höheres Angebot an diesem Spurenelement notwendig. Wird dies berücksichtigt, beeinflussen Rapsfuttermittel in den unter Punkt 7 angegebenen Höchstanteilen im Alleinfutter nicht das Gewicht bzw. die Funktion der Schilddrüse. Die erforderliche Jodmenge beträgt 0,2 bis 0,3 mg/kg Alleinfutter für Mast-

schweine und 1 mg/kg für laktierende Sauen, in beiden Fällen also das Zweifache des Normal-Bedarfes.

Tabelle 8: Schweinemastversuche mit Rapsextraktionsschrot (RES) oder Rapskuchen (RK)

Autoren Anzahl Schweine je Gruppe	Geprüfter Anteil Rapsfuttermittel (%)	Lebendm.-Zunahme (g/Tag)	Futteraufwand (kg/kg Zunahme)	Muskelfleischanteil (%)	Schilddrüsenmasse g/100 kg Körpermasse
Burgstaller und Lang (1989) n = 12	10 µmol Glucosinolate/g RES				
	0/0	748	2,79	58	nicht erfasst
	15/8 RES ¹⁾	741	2,77	57	nicht erfasst
	30/15 RES ¹⁾	701	2,96	59	nicht erfasst
Weiss u. a. (2002) n = 47	10 µmol Glucosinolate/g RES				
	0	797	2,84	56	9,1
	10 RES	821	2,80	57	9,4
	15 RES	813	2,79	57	8,6
Schöne u. a. (2000) n = 20 (Börge)	21 µmol Glucosinolate/g RK				
	0 RK	779	3,08	55	7,9
	7,5 RK	786	2,99	56	8,8
	15 RK	718	3,17	54	12,9

7. Empfehlungen zum Einsatz der Rapsfuttermittel

Folgende Höchstanteile an Rapsextraktionsschrot bzw. Rapskuchen bezogen auf die Trockenmasse der Gesamtration aber auch als Maximum der je Tag aufzunehmenden Menge können empfohlen werden (Tabelle 9):

Tabelle 9: Einsatzempfehlungen von Rapsextraktionsschrot (≤ 15 mmol Glucosinolate/kg) und Rapskuchen (≤ 20 mmol Glucosinolate/kg). Auch geringe Anteile Rapsfuttermittel im Futter erfordern die Ergänzung der Ration mit zusätzlichem Jod.

	Rapsextraktionsschrot		Rapskuchen	
	Höchstanteil* %	Höchstmenge g/Tag	Höchstanteil* %	Höchstmenge g/Tag
Schwein				
Mastschwein	10	50 – 250	7	100 – 200
Zuchtsau	5	50 – 200	5	50 – 200
Ferkel	0		0	
Geflügel				
Broiler	5	< 1 – 5	5	< 1 – 5
Wiederkäuer				
Kalb	5	50 – 100	5	50 – 100
Milchkuh	15	2000 – 3500	10	1500 – 2500
Mastrind	15	900 – 1800	10	600 – 1200
Mutterschaf	10	100 – 200	10	100 – 200

*) der Trockenmasse der Ration

Bei Zuchtsauen, Kälbern aber auch Mutterschafen fehlen bisher längerfristig angelegte Fütterungsversuche. Bei Ferkeln ist wegen des relativ geringen Energiegehaltes und der nicht so günstigen Akzeptanz ein Einsatz nicht zu empfehlen.

Die höheren Glucosinolatgehalte des Rapskuchens begründen die für die Mastschweine niedrigere Einsatzgrenze im Vergleich zum Rapsextraktionsschrot.

Außer den genannten Einsatzbegrenzungen durch den Glucosinolatgehalt sind als weitere Kriterien noch der relativ niedrige Energiegehalt sowie bei Rapskuchen der hohe Ölgehalt zu nennen. Rapsöl enthält Polyenfettsäuren, die in höheren Mengen zu einer weichen Konsistenz des Fettes im Schlachtkörper der Schweine führen und die Qualität zumindest der Dauerwaren (Salami, Schinken) verschlechtern. Aus diesem Grunde ist der Rapsölanteil im Mittel der Mast in einer Getreide/Extraktionsschrotmischung auf maximal 3 % zu begrenzen. Hierbei ist der durch den Rapskuchen eingebrachte Ölanteil zu berücksichtigen. Andere Pflanzenöle dürfen dann selbstverständlich nicht zusätzlich eingesetzt werden.

In der Milchkuhration machen täglich 350 bis 400 g Rapsöl oder die entsprechenden Öläquivalente über Rapssamenschrot bzw. Rapskuchen das Milchfett bzw. die Butter ölsäurereicher und palmitinsäureärmer. Die Butter ist besser streichfähig und im Hinblick auf die Gesundheit des Kon-

sumenten, für seinen Blutfett- bzw. Cholesterinstatus, günstig einzuschätzen (JAHREIS et al. 1996). Hierbei ist Rapskuchen im Milchkuhfutter im Vergleich zu Rapssamenschrot oder Rapsöl wirtschaftlicher, der Ölpresenbetreiber muss aber mindestens 17 % Rohfett (Basis 90 % Trockenmasse) garantieren. Der Milcherzeuger wieder gewährleistet die Verabreichung von 2 bis 2,5 kg dieses Rapskuchens je Kuh und Tag. Das Fettsäuremuster der besonderen Rohmilch in der Anlieferung aber auch in der Butter muss ständig chemisch-analytisch überprüft werden. Am Ende der Qualitätskette steht das besondere Produkt mit der besseren Streichfähigkeit, dem zusätzlichen Gesundheitswert und dem höheren Preis.

Anbauverfahren Getreide für die Ethanolherstellung und Kurzvorstellung des Mehrländerprojektes „Erzeugung von Ethanolgetreide und Schlempeverfütterung“

Dr. Michael Grunert, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft und Dr. Martin Farack, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft



1. Bioethanol in Deutschland – Stand und Perspektiven

Weltweit ist Ethanol der bei weitem bedeutendste Biokraftstoff. In Deutschland wurde Bioethanol als Kraftstoff erst mit dem neuen Mineralölsteuergesetz wirtschaftlich. Danach sind seit 2004 auch Zumischungen von Biomasse- basierten Kraftstoffen zu fossilen Kraftstoffen von der Mineralölsteuer befreit. Die Zumischung von Ethanol oder dem Additiv ETBE (Ethyl-Tertiär-Butyl-Ether) zu Benzin erschließt einen neuen Markt. Bei 5 % Zumischung könnten hier jährlich bis zu 1,4 Mio. t Ethanol abgesetzt werden, bei Einführung von Kraftstoffen mit höherem Ethanolanteil (z. B. E85 mit 85 %) oder Zumischung zu Dieselmotoren noch wesentlich größere Mengen.

Vor diesem Hintergrund sind seit Kurzem drei große Anlagen zur Ethanolherstellung in Zöbzig, Schwedt und Zeitz (noch Probetrieb) in Betrieb gegangen. Der Rohstoffbedarf dieser Anlagen beläuft sich in der Summe auf ca. 1,6 Mio. t/a Getreide. Verarbeitet werden Roggen und Triticale (Zöbzig und Schwedt) bzw. Weizen (Zeitz).

2. Anforderungen an Getreide als Rohstoff zur Bioethanolherstellung

Bioethanol kann theoretisch aus allen kohlenhydrat- aber auch lignocellulosehaltigen pflanzlichen Produkten gewonnen werden. Aus technologischen, ökonomischen und logistischen Gründen wird sich die Nachfrage auf die Winterformen von Weizen, Triticale und Roggen konzentrieren.

Für die Wirtschaftlichkeit der Ethanolherstellung aus Getreide ist u. a. die Ethanolausbeute (l Ethanol/ kg Getreide) wichtig. Da diese jedoch noch nicht als Qualitätsmerkmal feststellbar ist, dient der Stärkegehalt als Ausdruck des vergärbaren Anteils im Korn als Orientierungswert.

Insgesamt werden folgende Qualitätsanforderungen gestellt:

- hoher Stärke- und niedriger Proteingehalt,
- hohes TKG,
- einwandfreies Grundgetreide.

Die Anforderungen der verschiedenen Verarbeitungsanlagen können dabei voneinander abweichen.

Die Forderung „einwandfreies Grundgetreide“ beinhaltet Grenzwerte für den Gehalt an Mykotoxinen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Verfütterung des bei der Ethanolherstellung anfallenden Nebenproduktes Schlempe für die Wirtschaftlichkeit des Gesamtverfahrens wichtig ist. Da derzeit davon auszugehen ist, dass die Mykotoxine im Verarbeitungsprozess nicht abgebaut werden, es vielmehr sogar zu einer Aufkonzentration im Verfahren kommt, und für die Verfütterung die bekannten Restriktionen bestehen, werden für Ethanolgetreide von den Verarbeitern folgende Grenzwerte genannt:

- MBE Zörbig: DON < 1.000 µg/kg,
- Südzucker in Zeitz: DON < 350 µg/kg.

3. Anbauverfahren

Die spezifischen Qualitätsanforderungen weichen teilweise von denen anderer Verwendungsrichtungen, insbesondere von denen des im mitteldeutschen Raum dominierenden Qualitätsweizenanbaus, ab. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden und gleichzeitig einen hohen Stärkeertrag zu erzielen, sind entsprechend angepasste Anbauverfahren nötig. Die Steuerungsmöglichkeiten reichen hier von der Arten- und Sortenwahl über die Fruchtfolge und Bodenbearbeitung bis zu Düngung und Pflanzenschutz.

Das Absatzpotenzial für Ethanol und die daraus resultierende große Bedarfsmenge rechtfertigen eine Anpassung der Anbauverfahren speziell für diese Verwendungsrichtung. Die Kenntnisse hierzu sind auf Grund der kurzfristigen Entwicklung dieses Absatzfeldes für Getreide noch begrenzt. Entsprechende Untersuchungen sind in Zusammenarbeit mehrerer Bundesländer angelaufen (siehe Punkt 4).

Der Absatz von Partien für die Ethanolproduktion als Notlösung, weil sie die Qualitätskriterien anderer Verwendungsrichtungen nicht erfüllen, ist sicherlich möglich, sollte aber die Ausnahme sein. Zudem werden Abnahmeverträge angestrebt.

3.1 Wahl der Getreideart

In Bezug auf die Ethanolausbeute schneiden nach Rosenberger (2005) Weizen und Triticale annähernd gleich ab, während demgegenüber Rog-

gen deutlich abfällt (Abb. 1). Dies ist auf den geringeren Stärkeanteil und Roggenspezifische Inhaltsstoffe zurückzuführen.

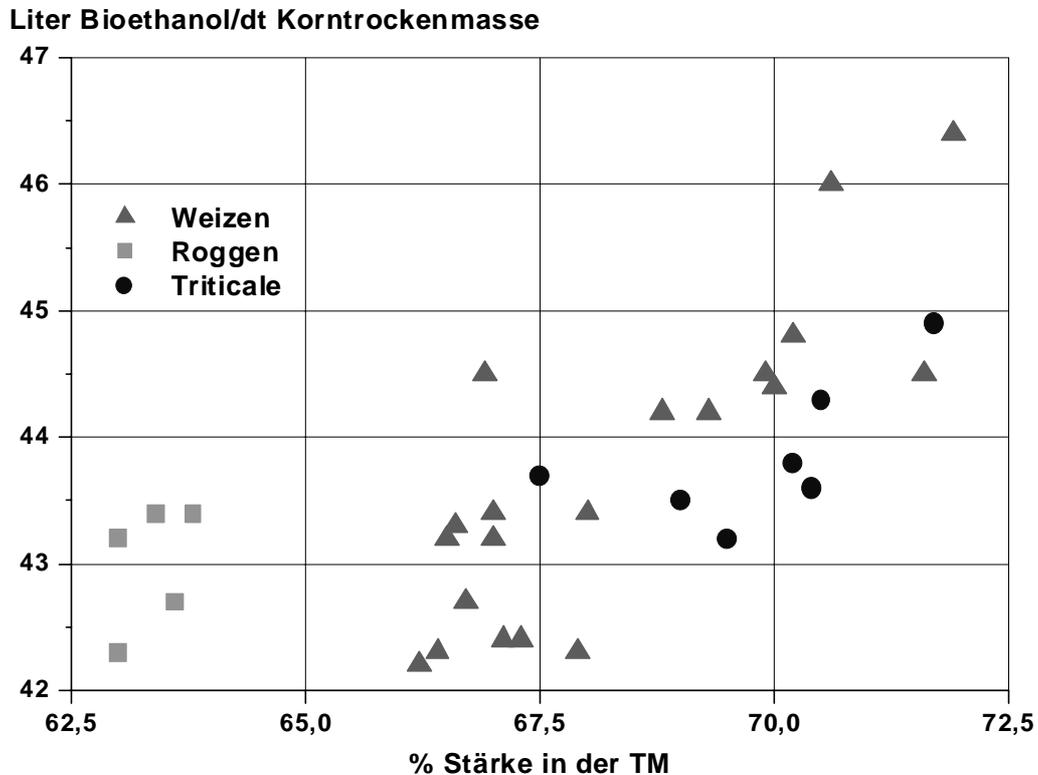


Abbildung 1: Bioethanolausbeute von Weizen, Triticale und Roggen (Sortenscreening der BayWa aus der Ernte 2003, Quelle: ROSENBERGER, 2005)

Hohe Stärkegehalte und niedrige Rohproteingehalte bei möglichst geringen Kosten je Produkteinheit favorisieren unter den besseren Standortbedingungen in Ostdeutschland, wie z. B. in Thüringen oder Sachsen, ertragsstarke A-, B- und C-Weizen sowie Triticale. Dies umso mehr, da sich die A- und B- Weizenpreise in den letzten zwei Jahren den Futterweizenpreisen bis auf wenige Euro je Tonne angenähert haben.

Bei der Wahl der Getreideart auf leichteren Standorten sollte auf Grund der höheren Ethanolausbeute - wenn möglich - dem Triticale gegenüber dem Roggen der Vorzug gegeben werden.

Nach ersten Untersuchungen von Erntematerial aus Landessortenversuchen in Thüringen kann im Durchschnitt mit den in Tabelle 1 genannten Ertragspotenzialen und Stärkegehalten gerechnet werden.

*Tabelle 1: Ertragspotenzial von Wintergetreidearten in Thüringen
(Landessortenversuch 2004)*

	Ertrag dt/ha (86 % TS)	Stärkegehalt in % (100 % TS)	Stärkeertrag dt/ha (bei 100 % TS)
Winterweizen	(9 Orte)	} 67,5 % (65,4 % – 70,3 %) (6 Orte)	
E (n = 8)	95,0		55,1
A 1 (n = 5)	98,5		57,1
A 2 (n = 10)	102,1		59,3
B (n = 12)	102,9		59,7
C (n = 1)	100,8	58,5	
Wintertriticale	92,2 (6 Orte)	67,5 % (65,1 - 69,6 %, 4 Orte)	53,4
Winterroggen	91,1 (6 Orte)	61,1 % (59,5 - 63,2 %, 3 Orte)	47,8

Beim Aufkauf von Getreide für die Ethanolherstellung richten sich die Preise teilweise nach dem Stärkegehalt. Hier muss auf die verwendete Bezugsbasis geachtet werden. So nennt die MBE Zörlbig einen Basiswert von 55 % Stärke bei 85 % Trockensubstanz. Die nach den Ergebnissen der ersten Untersuchungen der Landessortenversuche in Sachsen und Thüringen zu erwartenden Stärkegehalte sind Tab. 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Stärkegehalte der Wintergetreidearten bei unterschiedlicher Bezugsbasis; Ergebnisse aus Landessortenversuchen in Sachsen und Thüringen 2004

	Stärkegehalt	
	bei 100 % Trockensubstanz	bei 85 % Trockensubstanz (Basiswert der MBE Zörlbig)
Winterweizen	65 – 70	55 – 60
Wintertriticale	66 – 69	56 – 59
Winterroggen	60 – 63	51 - 54

3.2 Sortenwahl

Von entscheidender Bedeutung für den Erfolg des Getreideanbaus für die Ethanolproduktion ist die Auswahl geeigneter Sorten. Diese sollte nach folgenden Kriterien erfolgen:

- standortabhängige Ertragsleistung
- hoher Stärke-, niedriger Rohproteingehalt
- geringe Anfälligkeit gegenüber Fusarium bzw. Mutterkorn
- hohe Tausend-Korn-Masse
- Standfestigkeit.

Im Sortiment von Winterroggen und Wintertriticale sind kaum signifikante genetische Unterschiede im Stärkegehalt zu verzeichnen. Daher erlangen hier regionale Ertragsleistung, Mutterkornbefall und Standfestigkeit besondere Bedeutung.

Von den Sortenbearbeitern der Landesanstalten für Landwirtschaft in Sachsen, Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Thüringen wurden zur Aussaat 2004 vorläufige Sortenempfehlungen für die Ethanolherzeugung herausgegeben (siehe Tab. 3).

Tabelle 3: Vorläufige Sortenempfehlung für die Ethanolherzeugung (BEESE und ROSENBERGER, 2004) (Kursiv: Sortenempfehlungen nach Bestätigung durch weitere Stärkeuntersuchungen)

Winterroggen:	Fernando, Picasso, Avanti, Recrut, Foresto <i>Treviso, Ascari</i>
Wintertriticale:	Lambert, Trinidad Kitaro, Vitalis, SW Talentro
Winterweizen:	Certo (C), Biscay C, Hybnos 1 (C) Batis (A), Pegassos (A), Magnus (A) Terrier (B), Dekan (B) <i>Cubus (A), Elvis (A), Tommi (A), Campari (B), Tataros (A/EU) + Neuzulassungen 2004 wie Hermann (C), Alitis (A), Sobi (A), Buteo (B), Champoin (B)</i>

Diese Sortenempfehlungen werden für die Aussaat 2005 anhand von umfangreichen Untersuchungsergebnissen präzisiert. Für die Wirtschaftlichkeit der Ethanolherzeugung spielt die Ethanolausbeute in dt/ha eine größere Rolle als der Stärkegehalt. Untersuchungen von ROSENBERGER (2005) zeigen, dass zwischen Stärkegehalt und Ethanolausbeute ein loser Zusammenhang besteht, jedoch zwischen den Sorten bzw. Herkünften bei gleichem Stärkegehalt Differenzen in der Ethanolausbeute auftreten.

Untersuchungsergebnisse zur Ethanolausbeute der Ernte 2004 werden in die Sortenempfehlungen 2005 eingehen und in der Fachpresse bis Juli 2005 veröffentlicht.

3.3 Düngung

Insbesondere die Stickstoffdüngung hat entscheidenden Einfluss auf die Ertragsbildung und den Protein- und somit auch den Stärkegehalt im Korn. Für den Anbau von Ethanolgetreide wird empfohlen, die 1. N-Gabe zu Vegetationsbeginn in optimaler Höhe zu verabreichen (in Sachsen Berechnung auf der Basis von BEFU). Dabei sind vor allem der N_{min} -Gehalt des Bodens und der Bestandeszustand zu beachten. Der N-Bedarf zum Schossen (EC 31/32) sollte mit dem Nitrat-Schnelltest oder dem N-Tester ermittelt werden. Die angestrebten hohen Stärke- und niedrigen Protein-

gehalte verbieten eine späte Stickstoffdüngung zum Ährenschieben. Daher muss die N-Düngung mit Schossende abgeschlossen sein. Auf Grund möglicher verzögerter Freisetzung von Stickstoff sollte im Frühjahr auf eine organische Düngung verzichtet werden. Exakte Aussagen zur Stickstoffdüngung von Weizen, Roggen und Triticale werden von den angelegten Versuchen auf verschiedenen Standorten Mitteldeutschlands erwartet.

Um eine optimale Bestandes- und Ertragsbildung abzusichern, ist ebenso auf die optimale Versorgung mit Phosphor, Kalium, Magnesium, Schwefel und den pH-Wert des Bodens zu achten. Leider weisen in vielen Betrieben die Bilanzen von Phosphor und Kalium in den letzten Jahren negative Salden auf.

3.4 Pflanzenschutz

Neben der Arten- und Sortenwahl sowie der Stickstoffdüngung ist vor allem eine Strategie zur Vorbeugung vor erhöhten Mycotoxingehalten des Erntegutes von Bedeutung. Gegenüber den Anbauverfahren von Qualitätsgetreide können hier keine Abstriche gemacht werden. Mit dem Ziel der Risikominimierung ist auf folgende Maßnahmen Wert zu legen:

- Auswahl wenig anfälliger Sorten
- Vermeidung von Lagerbildung
- nicht zu starke Einkürzung der Pflanzen
- Ausschluss von Risiko- Vorfrüchten (z. B. Mais)
- Rotte-fördernde Maßnahmen (Zerkleinerung und flache Einarbeitung von Ernterückständen)
- bei Bedarf gezielter Fungizid-Einsatz

Für den Fungizideinsatz in Getreide zur Ethanolherzeugung gilt dieselbe Strategie und Vorgehensweise wie beim Qualitätsgetreideanbau.

3.5 Wirtschaftlichkeit

Gegenüber dem Qualitätsgetreideanbau sind beim Anbau von Ethanolgetreide lediglich geringfügige Kosteneinsparungen möglich (Düngungs-Arbeitsgang bzw. N-Menge). Als zusätzliche Einnahme kann die Energiepflanzenprämie genutzt werden. Eventuell niedrigere Erzeugerpreise können lediglich durch diese Faktoren ausgeglichen werden. Die in der folgenden Tabelle 4 aufgeführten Daten fassen entsprechende Berechnungen kurz zusammen. Sie beruhen auf dem Kalkulationsmodell der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Die Erzeugerpreise für Ethanolgetreide sind Annahmen.

Tabelle 4: Wirtschaftlichkeitsvergleich des Anbaus von Ethanolgetreide in Sachsen

Kennzahl	ME	Qualitäts-Weizen	Weizen Ethanol	Popul.-Roggen Futter	Popul.-Roggen Ethanol	Triticale Futter	Triticale Ethanol
Ertrag gesamt	dt/ha	62	65	50	50	55	55
Erzeugerpreis	€/dt	10,50	9,00	7,50	7,50	8,70	8,70
Energiepflanzenprämie	€/ha		43		43		43
Leistungen	€/ha	651	628	375	418	479	522
Direkt- und Arbeitserledigungskosten	€/ha	437	425	313	313	345	345
Ergebnis nach Arbeitserledigung ¹⁾	€/ha	214	203	62	105	134	177

¹⁾ Leistung abzüglich Direkt- und Arbeitserledigungskosten ohne Direktzahlung

4. Mehrländerprojekt

„Erzeugung von Ethanolgetreide und Schlempeverfütterung“

4.1 Zielstellung, Mitwirkende

Vor dem Hintergrund der geplanten Inbetriebnahme von Ethanolfabriken in Zörbig, Schwedt, Zeitz und noch offener Fragen u. a. bei Rohstoffbereitstellung, der Schlempeverwertung, aber auch der Analytik und der Qualitätsbewertung wurde von Landesanstalten mehrerer Bundesländer das Projekt „Erzeugung von Ethanolgetreide und Schlempeverfütterung“ im September 2004 begonnen. Mit diesem Vorhaben sind folgende Zielstellungen verbunden:

- Optimierung der Anbauverfahren von Getreide zur Ethanolherstellung
- fundierte Aussagen zum Futterwert von Schlempen und zur Rationsgestaltung
- verbindliche Analyseverfahren zur Eignung von Getreidepartien
- verfahrensökonomische Bewertung der Getreidebereitstellung und der Schlempeverwertung
- Prüfung der Möglichkeit zur Reduzierung von Mycotoxingehalten im Verfahrensablauf

An dem Mehrländerprojekt sind folgende Einrichtungen beteiligt:

- Landesanstalten für Landwirtschaft der Bundesländer Brandenburg, Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen
- Mitteldeutsche Bioenergie GmbH & Co. KG Zörbig
- Südzucker AG Mannheim

Die Federführung liegt bei der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.

4.2 Themen des Mehrländerprojektes

Auf der Grundlage einer einheitlichen Vorgehensweise und der Bündelung der Kapazitäten sollen fundierte Ergebnisse zu wichtigen, die Verfahrenskette Bioethanol betreffenden Themen erzielt werden. Das Gesamtprojekt umfasst 26 Teilvorhaben, die jeweils von mehreren der genannten Partner bearbeitet werden. Neben den Themen zur Untersuchung der Verdaulichkeit/Verfütterung von Schlempen, die Sie dem folgenden Vortrag von Herrn Dr. Weber entnehmen können, werden folgende Themenkomplexe bearbeitet:

- Lagerungs- und Konservierungsversuche mit Getreidepress-Schlempe
- Untersuchungen zur Sortenempfehlung für Ethanolgetreide
- Untersuchungen zum Anbauverfahren für Ethanolgetreide
- Verfahrensökonomische Bewertung der Erzeugung von Ethanolgetreide und der Verwertung der Schlempe
- Analytische Untersuchungen zur Qualitätssicherung für Ethanolgetreide und Ethanol-Schlempe
- Verhalten von Mykotoxinen bei der Ethanolerzeugung aus Getreide und bei der Silierung bzw. Konservierung von Schlempen
- Minderung der DON-Gehalte als Verfahrensstufe der Ethanolherstellung

Das Gesamtvorhaben wurde im September 2004 begonnen. Der Bearbeitungszeitraum erstreckt sich bis Ende Dezember 2006 (anbautechnische Versuche bis 2007).

Die Ergebnisse der einzelnen Vorhaben werden von den Bearbeitern veröffentlicht und fließen in den Abschlussbericht des Gesamtvorhabens ein. Ergebnisse aus Mehrländerprojekten wie z. B. „Erzeugung von Ethanolgetreide und Schlempeverfütterung“ werden mit dem nebenstehenden Logo gekennzeichnet. Dabei erkennen Sie an den Wappen, welche Bundesländer jeweils beteiligt sind.



Verwendete Literatur:

- BEESE, G.; ROSENBERGER, A.: Bioethanol – Anforderungen an den Rohstoff und Empfehlungen zur Sortenwahl. In: Infodienst der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 09/2004, S. 15-22
- KIRSCHKE, H.-J.: Herstellung von Ethanol durch die MBE - Mitteldeutsche Bioenergie GmbH & Co. KG in Zörbig, Anforderungen an die Rohstoffe. Vortrag am 2. 6. 2004 in Nossen
- NOLTE, B.: Herstellung von Ethanol durch die Südzucker AG in Zeitz, Rohstoffversorgung in Zeitz. Vortrag am 2. 6. 2004 in Nossen
- ROSENBERGER, A.: Getreide für Bioethanolanlagen, Vortrag in Isseroda am 9.2.2005

Einsatz von Schlempe aus der Ethanolherstellung in der Tierfütterung

Dr. Manfred Weber,

*Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt
Zentrum für Tierhaltung und Technik Iden (Manfred.Weber@llg-mlu.lsa-net.de)*

Wie ist die Ausgangslage?

In Sachsen-Anhalt werden durch die Südzucker AG in Zeitz und durch die Mitteldeutsche BioEnergie GmbH und Co. KG in Zörbig Bioethanolanlagen errichtet, in denen zukünftig erhebliche Mengen Getreide zur Verarbeitung kommen. Am Standort Zörbig, wo der Beginn der Produktionsbeginn unmittelbar bevorsteht, sollen 250.000 bis 300.000 t (vorwiegend Roggen) vergoren werden. Darüber hinaus wird die Sauter-Gruppe, zu der dieses Unternehmen gehört, eine weitere Anlage mit einer Verarbeitungskapazität von mehr als 500.000 t in Schwedt (Brandenburg) in Betrieb nehmen. Auf eine ähnliche Größenordnung beläuft sich die Verarbeitungsleistung der Anlage in Zeitz.

Für die Landwirtschaft ergeben sich damit interessante Perspektiven hinsichtlich der Belieferung der Werke mit Getreide als auch des Einsatzes der bei der Ethanolherstellung anfallenden Schlempe in der Fütterung.

Die als Koppelprodukt bei der Ethanolherstellung anfallende Schlempe steht zukünftig in erheblichen Größenordnungen als Tierfutter auf dem Futtermittelmarkt zur Verfügung. Scheiterte der Einsatz, der früher in flüssiger Form (8 % TM) anfallenden Dünnschlempe, oft an Problemen bei Transport, Lagerhaltung und Futtervorlage, steht das Futtermittel heute zumeist auf 88 % TM getrocknet und pelletiert zur Verfügung. Durch die Werke in Zörbig und Schwedt wird aber auch eine Feuchtschlempe (40 % TM, auch DGS = Distiller's Grain with Solubles) angeboten. Erste Analyseergebnisse, die ansprechende Gehalte an pansenstabilem Protein und auch an Energie aufweisen, sowie die in Aussicht gestellten Preise machen dieses Futtermittel als Einzelkomponente in Mischrationen für Milchkühe besonders interessant. Allerdings bestehen in Europa keine Erfahrungen zum Einsatz der Feuchtschlempe in diesem Bereich und existieren ebenso wenig Ergebnisse aus Fütterungsversuchen.

Auch im Bereich der Schweinefütterung ist der Einsatz der Trockenschlempe (92 % TS, auch DDGS = Distiller's dry Grain with Solubles) als Futtermittel denkbar. Durch seinen hohen Eiweißgehalt von über 30 % könnte es zum Teil das importierte Sojaextraktionsschrot ersetzen. Erfahrungen die für den Einsatz beim Schwein hauptsächlich in der USA mit Maisschlempen gemacht wurden sind in keiner Weise auf die in unserer Region anfallenden Schlempe übertragbar. Durch den Unterschied im Ausgangsprodukt der Bioethanolherstellung (USA: Mais, Sautergruppe: Roggen, Südzucker: Weizen) wird sich auch das zu verwertende Endpro-

dukt unterschiedlich gestalten. Unterschiede sind in erster Linie im Eiweißgehalt aber auch in der Eiweißverdaulichkeit zu erwarten. Daher ist es notwendig die verschiedenen Endprodukte in ersten Versuchen auf die Verdaulichkeiten zu testen, damit in der Rationsberechnung nachvollziehbare Werte eingehen.

Welche Ergebnisse liegen aus der Literatur vor?

In der deutschen Literatur finden sich nur sehr wenige und alte Angaben zu Inhaltsstoffen und Verwendbarkeit von Schlempe in der Tierfütterung. Neuere Zahlen kommen aus den USA (zumeist aber nur über Maischlempe) und aus Schweden. Die in Abbildung 1 dargestellten älteren Daten aus Deutschland zeigen sehr inhomogene Werte, vor allem in den Proteinanteilen. Neuere Analysen von schwedischer und spanischer Trockenschlempe bieten in diesem Punkt ein deutlich einheitlicheres Bild (Abb. 2), zeigen aber auch Unterschiede in den Kohlenhydratfraktionen auf.

Um adäquate Fütterungsempfehlungen aussprechen zu können, geht aus diesen Daten ganz klar ein ernstzunehmender Forschungsbedarf hervor.

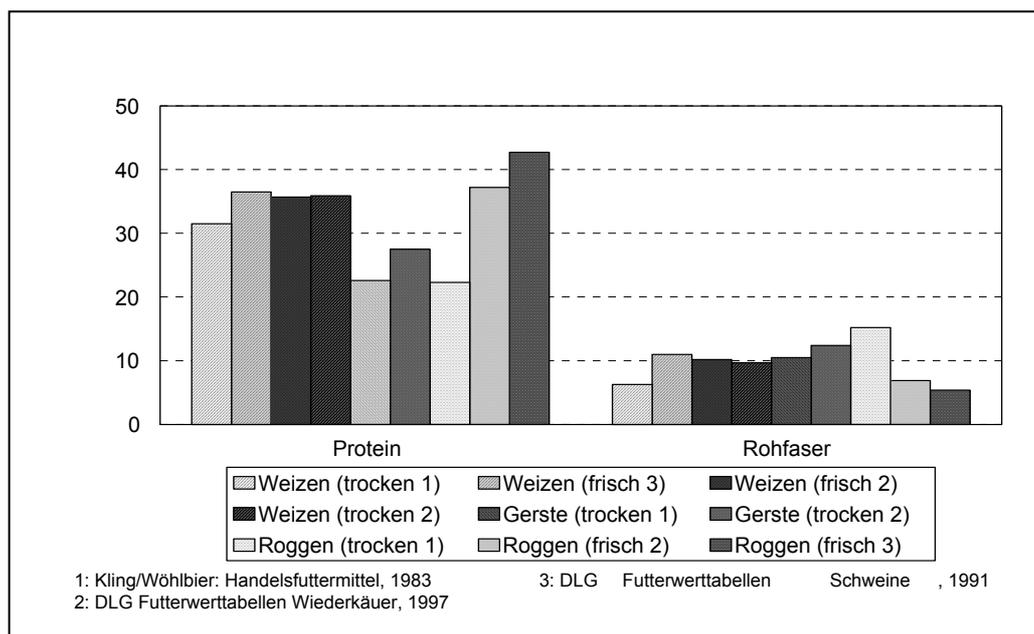


Abbildung 1: Analysendaten verschiedener Schlempen aus Deutschland

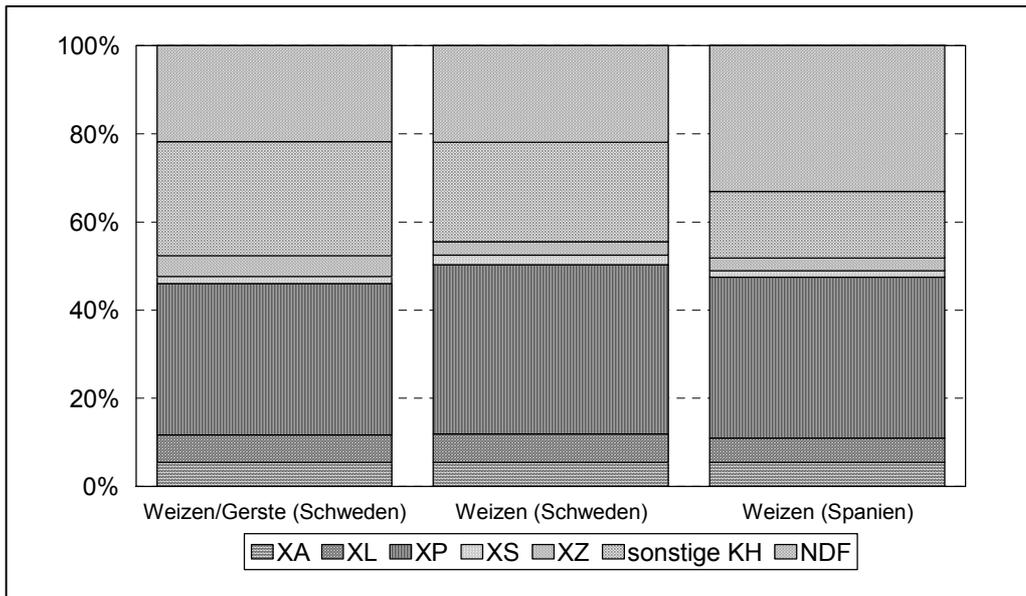


Abbildung 2: Zusammensetzung von Getreideschlempen

Welche Versuche werden im Mehrländerprojekt durchgeführt?

Im Rahmen des Mehrländerprojektes „Erzeugung von Bioethanolgetreide und Schlempeverfütterung“ soll solchen offenen Fragen nachgegangen werden. Untersuchungen sind bereits, bzw. werden in Kürze in folgenden Institutionen durchgeführt:

- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
- Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
- Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt
- Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Im Vorfeld von praxisnahen Fütterungsversuchen müssen zur Absicherung der Rationsgenauigkeit Zahlen zur Verdaulichkeit vorliegen. Hierzu werden abgestimmt 4 Versuche am Hammel (2 x Pressschlempe und 2 x Trockenschlempe) in Bayern, Brandenburg, Sachsen und Thüringen durchgeführt. Beim Schwein ist bereits ein Verdauungsversuch in Bayern abgeschlossen, zwei weitere in Sachsen und Mecklenburg-Vorpommern (hier in Zusammenarbeit mit Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, NTT), sind in Vorbereitung.

Drei Fütterungsversuche im Bereich Rind laufen bereits (Milchkühe in Sachsen-Anhalt und Thüringen und Fresser in Bayern). Der in Sachsen geplante Fütterungsversuch mit Milchkühen wird in Kürze anlaufen.

Auf Grund der geringeren Vorzüglichkeit der Schlempe in der Schweineernährung, werden nach Produktionsstart der Trockenschlempe im Werk Zeitz nur 4 Versuche beim Schwein durchgeführt, 2 davon beim Ferkel (Sachsen-Anhalt und Sachsen) und 2 beim Mastschwein (Thüringen und Brandenburg).

Darüber hinaus sind in der Thüringer Landesanstalt Versuche mit Geflügel (Broiler, Junghennen und Mastputen) geplant.

Erste Ergebnisse aus den Verdauungsversuchen

A.) Verdauungsversuche am Hammel (Preißinger, Spiekers, Obermaier)

An der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft wurde vom Autorenkollektiv Dr. W. Preißinger, Dr. H. Spiekers, A. Obermaier ein Verdauungsversuch mit einer aus Schweden stammenden Trockenschlempe, die der zukünftig in Zeitz produzierten Schlempe technisch verwandt ist, am Hammel durchgeführt. Insgesamt wurden zwei unterschiedliche Rationen an jeweils 4 Hammel verfüttert und aus diesen die durchschnittlichen Verdauungsquotienten errechnet.

Im Vorfeld des nach den gemeinsamen Richtlinien durchgeführten Versuchs, wurden die Rohnährstoffe der zu untersuchenden Schlempe analysiert. Die Werte sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Rohnährstoffgehalte der Schlempe und des Beifutters

	Schlempe	Beifutter
Trockenmasse (g/kg)	915	927
Org. Substanz (g/kg T)	944	939
Rohprotein (g/kg T)	390	149
Rohfett (g/kg T)	62	21
Rohfaser (g/kg T)	76	279
NfE (g/kg T)	417	490
Zucker (g/kg T)	29	
Stärke (g/kg T)	15	

Neben den Rohnährstoffen erfolgte ebenfalls eine Analyse der Mineralstoff- und Aminosäuregehalte (Tabelle 2)

Tabelle 2: Mineralstoff- und Aminosäuregehalte der Schlempe

Parameter		Gehalte
Kalzium	(g/kg T)	1,4
Phosphor	(g/kg T)	10,8
Natrium	(g/kg T)	1,3
Kalium	(g/kg T)	13,4
Magnesium	(g/kg T)	3,6
Kupfer	(mg/kg T)	14,5
Zink	(mg/kg T)	74,6
Lysin	(g/kg T)	6,8
Methionin	(g/kg T)	6,1
Cystin	(g/kg T)	6,9
Threonin	(g/kg T)	11,7
Tryptophan	(g/kg T)	3,7

Damit unterscheidet sich die hier untersuchte Weizenschlempe aus Schweden von den in der Literatur aufgeführten Schlempeanalysen vor allem im Rohproteingehalt. Mit 39% in der Trockenmasse rangiert sie weit über den übrigen Zahlen. Die übrigen Parameter liegen in den üblichen Schwankungsbreiten.

Die im Versuch ermittelten Verdauungsquotienten sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Verdauungsquotienten der Schlempe in %

Mittelwert und Standardabweichung	
Org. Substanz	74,9 ± 5,8
Rohprotein	74,0 ± 3,7
Rohfett	89,7 ± 3,3
Rohfaser	50,6 ± 32,3
NfE	77,8 ± 7,1

Der aus den Rohnährstoffen und den entsprechenden Verdaulichkeiten ermittelte Energiegehalt beträgt demnach 12,17 MJ ME bzw. 7,36 MJ NEL pro kg Trockensubstanz und liegt damit zwischen den von in den DLG-Tabellen angegebenen Werte für Mais- bzw. Gerstenschlempe.

B.) Verdauungsversuch am Mastschwein (Lindermayer)

Ebenfalls an der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft wurde von Dr. Lindermayer ein Verdauungsversuch an Mastschweinen durchgeführt. Im Vorfeld dazu testeten die bayerischen Wissenschaftler die Akzeptanz der Schlempe durch die Mastschweine. 10 % Schlempe in der Ration akzeptierten die Mastschweine ohne Verzehrdepressionen. Erst bei einem Gehalt von mehr als 30 % ging die Futteraufnahme deutlich (um 20 %) zurück.

Einen besonderen Stellenwert in der Schweinefütterung haben die essentiellen Aminosäuren in der Schweinefütterung. Diese müssen dem Tier von außen zugeführt werden, da der Organismus nicht in der Lage ist solche selbst zu bilden. Vergleicht man die in Tabelle 2 aufgeführten Aminosäuregehalte mit Werten aus den Standardwerken, zeigt sich ein sehr geringer Wert der Leitaminosäure Lysin mit 6,7 g pro Kilogramm Trockenmasse. Diese ist zudem noch sehr schlecht verfügbar. Außerdem lag der analysierte Phosphorgehalt um 100% über den üblichen Gehalten von Weizenschlempen. Gründe dafür werden in der technischen Aufbereitung der Schlempe vermutet.

Der eigentliche Verdauungsversuch wurde nach folgendem Muster angelegt:

- Substitutionsversuch
- 7-tägige Vorperiode / 7-tägige Sammelperiode
- Change over (2 x 3 Tiere/Behandlung)
- Versuchsdauer 2 x 14 Tage
- Rationen

Grundration (97 % Weizen + 3 % Mifu 21,5/3/5/6/1/0,5-Ph)

Testration (70 % Grundration + 30 % Schlempe)

In der Abbildung 3 werden die ermittelten Verdaulichkeiten mit denen der DLG-Standardwerten verglichen.

Insgesamt stellte sich die schwedische Schlempe als höher verdaulich heraus und erreichte daher auch höhere Energiewerte.

Die von Lindermayer durchgeführte Wirtschaftlichkeitsberechnung ergab die in Tabelle 4 dargestellten Aussagen.

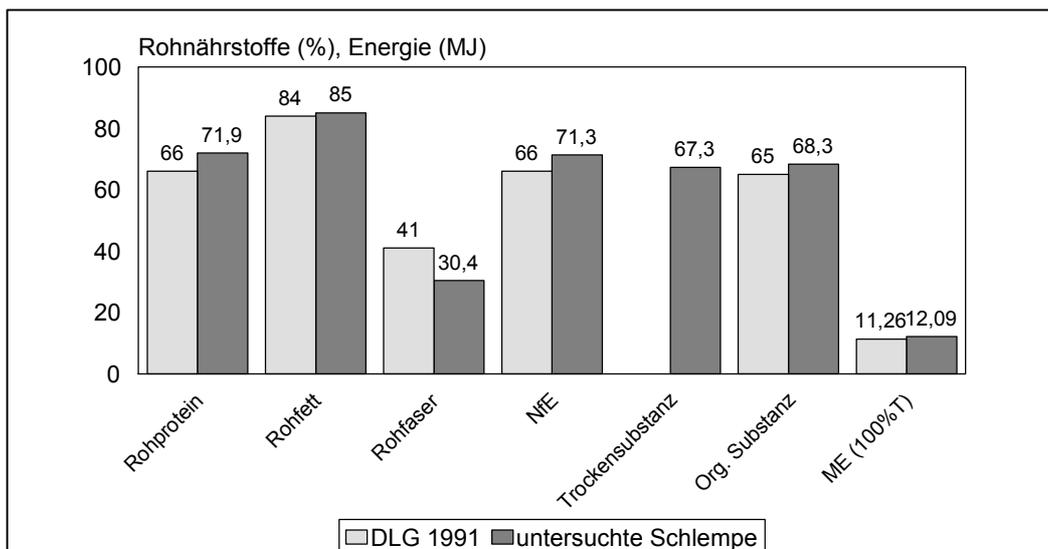


Abbildung 3: Verdaulichkeiten der getesteten Schlempe im Vergleich mit den DLG-Standardwerten

Tabelle 4: Wirtschaftlichkeitsberechnung Schlempeinsatz beim Schwein

Schweine	Preiswürdigkeit (€/dt) ¹		Einsatzempfehlung (%)
	frei Trog	Korrigiert ²	
Ferkel	4,86/0,0	0,0	-
Mast	8,68/5,96	1,5	5-8
Zuchtsauen, säugend	7,30/4,86	1,0	4
Zuchtsauen, tragend	9,74/7,55	2,0	10

¹) Getreide 10 €/dt, Soja HP 25 €/dt, Mifu 60/80 €/dt

²) Verfügbares Lysin, mehr N/Tier/ha, Extralager, Extraarbeit, Gewinn/Risiko (0,5/1/5€/Tier)

Bezieht man in die Rechnung auch die schlechtere Verfügbarkeit des Lysins, damit die höhere Ausscheidung von Stickstoff in die Gülle, den zusätzlichen Aufwand und den Risikobeitrag des Futtermittels mit ein, dürfen 100 kg Trockenschlempe nicht mehr als 1,5 bis 2 Euro Kosten, um andere Komponenten wirtschaftlich sinnvoll ersetzen zu können. Die Einsatzempfehlungen von Linder Mayer liegen bei 5 - 8 % in der Schweinemast und zwischen 4 und 10 % in der Sauenfütterung.

Insgesamt zeigt sich hier ein rohproteinreiches Eiweißfuttermittel, das aber auf Grund seiner geringen Aminosäuregehalte nicht in erster Linie beim Schwein eingesetzt werden sollte. Die Verdaulichkeiten, die einer Kleie ähnlich sind und die relative Energiearmut lassen an einen Einsatz als Sattfutter bei tragenden Sauen denken.

Zu beachten ist auf jeden Fall auch der hohe Phosphorgehalt, der in starken Veredlungsgebieten den Einsatz der Schlempe ausschließt.

Impressum

Herausgeber:	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden Internet: WWW.LANDWIRTSCHAFT.SACHSEN.DE/LFL
Redaktion:	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Fachbereich Pflanzliche Erzeugung Dr. Michael Grunert Telefon: 0341 / 91 74 - 147 Telefax: 0341 / 91 74 - 111 e-mail: Michael.Grunert@leipzig.lfl.smul.sachsen.de (Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente)
Redaktionsschluss:	April 2005
Auflagenhöhe:	200 Exemplare
Druck:	reprogress GmbH Chemnitzer Straße 48b 01187 Dresden
Bestelladresse:	siehe Redaktion
Schutzgebühr:	10,00 €

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

