

**ifeu -
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg GmbH**

Gutachten

Erweiterung der Ökobilanz für RME

**Im Auftrag der
Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V.**

Projekt Nr. 530/025

Heidelberg, Mai 2003

Autoren:

Dipl.-Phys. Ing. Sven O. Gärtner

Dr. Guido A. Reinhardt

**ifeu -
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg GmbH
Germany**

Wilckensstr. 3
69120 Heidelberg
Tel. +49-(0)6221-4767-0
Fax +49-(0)6221-4767-19
E-Mail: ifeu@ifeu.de

Erweiterung der Ökobilanz für RME

Inhalt

1	Hintergrund und Ziel	2
2	Vorgehensweise und Festlegungen	4
3	Szenarien und Ergebnisse	6
3.1	Basisszenario	6
3.2	Vorfruchtwert	8
3.3	Lachgasemissionen	10
3.4	Honigproduktion	12
3.5	Biogasgewinnung aus Rapsschrot	14
4	Ergebnisübersicht	17
5	Literatur	19

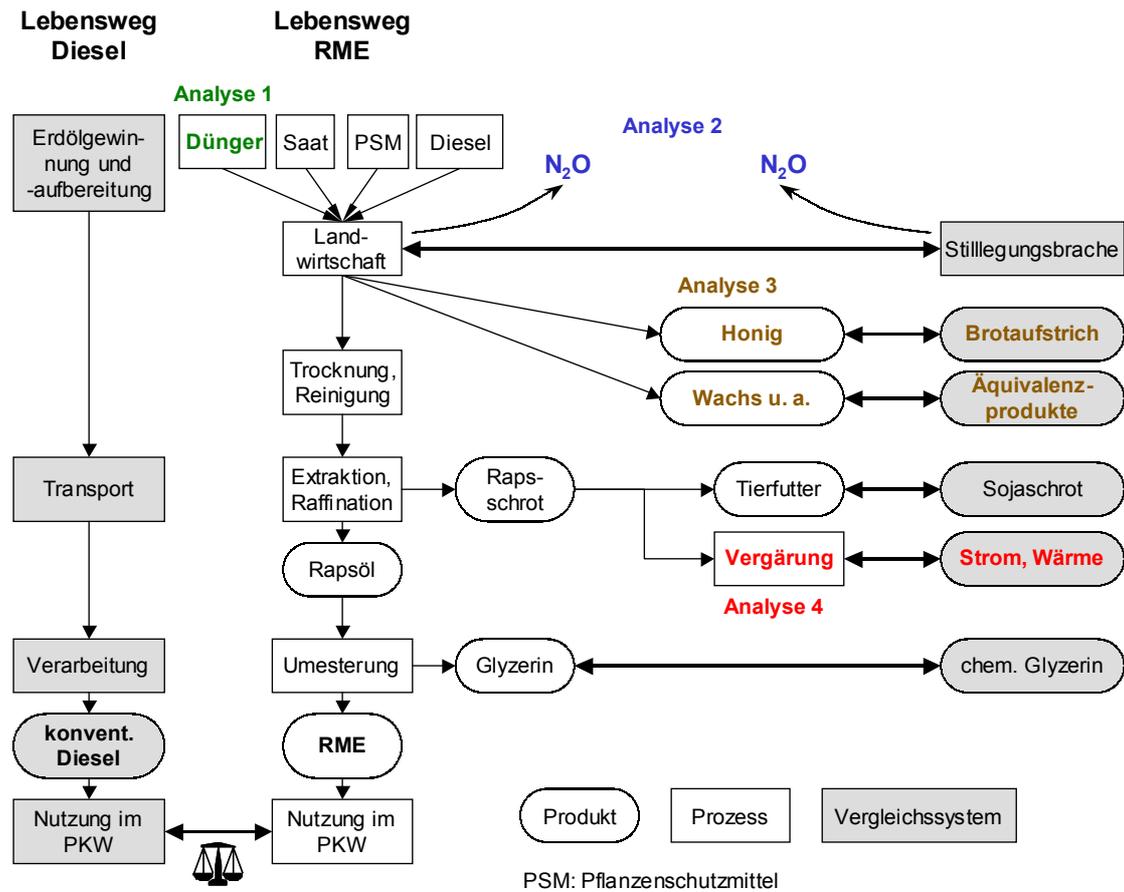
1 Hintergrund und Ziel

In den letzten Jahren hat der Biokraftstoff Rapsölmethylester (RME) in Deutschland einen Boom erfahren. Die Umweltforschung beschäftigt sich seit Beginn der 90er Jahre intensiv mit den Umweltwirkungen von RME im Vergleich zu konventionellem Dieselmotorkraftstoff. Bereits seit 1991 führt das IFEU detaillierte ökologische Bilanzierungen zu diesem Thema durch, die seither fortgeschrieben, aktualisiert und erweitert werden. Mittlerweile zeigen sich u. a. folgende Ergebnisse, die auch von anderen Institutionen im In- und Ausland erhalten bzw. bestätigt werden: Die Bilanz fällt positiv für RME aus, wenn es um die Einsparung fossiler Energiequellen und den Treibhauseffekt geht, während sie für konventionellen Diesel spricht, wenn es um Versauerung, Nährstoffeintrag in Böden und Gewässer und den Abbau der Ozonschicht geht. Damit scheint die Diskussion um die Vor- und Nachteile von RME gegenüber Dieselmotorkraftstoff weitgehend abgeschlossen und das System gut einschätzbar zu sein.

Andererseits hat es in den letzten Jahren verstärkt Bemühungen um den wissenschaftlichen Fortschritt in verschiedenen Bereichen der Landwirtschaft gegeben. Hierzu zählen die Problematik der Emission von klimarelevanten Gasen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen oder der Vorfruchtwert von Raps auf die Erträge der Nachfrucht. Auch sind gerade durch die größere Rapsproduktion in letzter Zeit gewisse Nebenprodukte wirtschaftlich interessant geworden wie der Raps Honig, oder es sind andere Verwertungsmethoden für Nebenprodukte denkbar geworden wie die Vergärung von Raps Schrot zur Produktion von Biogas.

Diese Effekte zu analysieren ist Aufgabe einer Untersuchung, mit der die Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. das IFEU Anfang 2003 beauftragt hat. Dabei sollen ausgehend vom Gesamtvergleich zwischen RME und konventionellem Dieselmotorkraftstoff vier Schwerpunkte untersucht werden. Diese sind auf der folgenden Seite zusammengestellt.

An der grundlegenden Erarbeitung und Abstimmung der wissenschaftlichen Daten haben mitgewirkt: E. Härtl, Landwirtschaftsamt Deggendorf, U. Keymer und A. Schilcher, Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, München, H. Krämer, Bio-System, Konstanz, sowie Dr. W. von der Ohe, Niedersächsisches Landesinstitut für Bienenkunde, Celle. Zur Klärung von Fragen haben ferner beigetragen Dr. B. Ball, SAC, Penicuik (Schottland), B. Gabrielle, INRA, Thiverval-Grignon (Frankreich), Prof. Dr. H. Goldbach, Universität Bonn, Dr. O. Heinemeyer, FAL, Braunschweig, Prof. Dr. H. J. Hellebrand, ATB Potsdam, Prof. Dr. B. Honermeier, Universität Gießen, Dr. P. Rosenkranz, Universität Hohenheim, Stuttgart, Dr. R.-R. Schulz, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow, sowie Dr. U. Skiba, CEH, Penicuik (Schottland). Ihnen allen danken die Autoren herzlich für ihre Hilfe.



1. Vorfruchtwert

Raps hat auf Grund seiner Eigenschaften positive Wirkungen auf das Ertragspotenzial der Nachfrucht. Neue Forschungsergebnisse werden berücksichtigt.

2. Lachgas-Emissionen

Durch bakterielle Prozesse wird aus Böden Lachgas (N_2O) freigesetzt. Da die Höhe dieser Emissionen von unterschiedlichen Faktoren abhängig ist, werden entsprechende neuere Forschungsergebnisse berücksichtigt.

3. Honigproduktion

Die Produktion von Honig und seinen Nebenprodukten wie Wachs und Blütenpollen als Kuppelprodukte zum Biodiesel-Raps wird einbezogen. Dies umfasst insbesondere auch die Gutschrift von Äquivalenzprodukten, die durch Rapshonig und seine Nebenprodukte ersetzt werden.

4. Biogasgewinnung aus Rapsschrot

An Stelle der derzeit üblichen Verfütterung von Rapsschrot kann dieses auch in einer Biogasanlage vergoren und somit zur Energiegewinnung genutzt werden. Diese Verwendung wird hier betrachtet.

Sowohl bei RME als auch bei dem damit zu vergleichenden fossilen Dieselkraftstoff werden die vollständigen Lebenswege „von der Wiege bis zur Bahre“ berücksichtigt.

2 Vorgehensweise und Festlegungen

Methodische Vorgehensweise

Die Erstellung der Bilanzen der hier betrachteten Lebenswegvergleiche wurde in Anlehnung an die Ökobilanznorm /DIN 14040 ff./ durchgeführt. Sämtliche Systemgrenzen, Randbedingungen und Vorgehensweisen sind in /BORKEN ET AL. 1999/ sowie /REINHARDT ET AL. 1999/ dokumentiert. Einige der wichtigsten Kenngrößen und Systemgrenzen sind:

- Bezugsraum für die Produktion und Verwendung von Raps sowie RME ist die Bundesrepublik Deutschland. Für alle Hilfsstoffe, Rohstoffe, Transporte etc. wurden die jeweils für Deutschland realen Mixe einschließlich der realen Import- bzw. Exportmixe bilanziert. Bezugszeitraum: 2000-2005.
- Alle notwendigen Erweiterungen für die neu durchzuführenden Berechnungen wurden an die Vorgehensweisen und Systemgrenzen der oben genannten Quellen angepasst.

Verwendete Datenbasis

Die meisten Basisdaten und Ökobilanzen entstammen /BORKEN ET AL. 1999/, /REINHARDT ET AL. 1999/ sowie /GÄRTNER UND REINHARDT 2001/. Für die zusätzlich durchgeführten Berechnungen wurden folgende Daten verwendet:

- Für das Basisszenario:
 - Aktualisierung der N-Düngerbereitstellung ausgehend von /PATYK UND REINHARDT 1997/ auf der Basis von /EFMA 1995/ und /EFMA 2000/: 12 g N₂O pro kg N-Dünger. N₂O-Emissionen beim Sojaanbau: 2 kg N₂O pro ha und Jahr /IFEU 2003/.
- Für den Vorfruchtwert:
 - Umrechnung des Mehrertrags der Nachfrucht nach /KALTSCHMITT UND REINHARDT 1997/.
- Für die Honigproduktion (Auswahl der wichtigsten Daten):
 - Ertrag 80 kg Rapshonig, 2 kg Wachs, 2 kg Propolis, Bedarf an Zuckerlösung 60 kg, Schwefelung 0,2 g, an chemischen Behandlungsmitteln 50 g, an elektrischer Energie 0,35 kWh (alle Angaben pro ha und Jahr, /IFEU 2003/ nach /HÄRTL 2003/ und /VON DER OHE 2003/), Überseehonig – Massenäquivalenz, Transport 10.000 km, Einsatz von Rohrzucker; Erdbeermarmelade – Massenäquivalenz, 60 % Zuckergehalt, Dampfbedarf 1,3 MJ/kg; Rübensirup – Massenäquivalenz, Dampfbedarf 1,5 MJ/kg; Nuss-Nougat-Creme – Massenäquivalenz, Zucker 38 kg, Pflanzenöl 14 kg, Haselnüsse und Kakao je 10 kg, Transport Haselnüsse 5.000 km, Kakao 8.000 km, Dampfbedarf 1,3 MJ/kg; Arzneimittel 100 g pro ha und Jahr; Carnaubawachs – Massenäquivalenz, Transport 10.000 km, Dampfbedarf 1,3 MJ/kg (alle Daten: /IFEU 2003/).
- Für die Rapsschrotvergärung (Auswahl der wichtigsten Daten):
 - Gasausbeute 350 l/kg Rapsextraktionsschrot (RES), Wirkungsgrade des BHKW: Strom 35 % und Wärme 55 %, Eigenstrombedarf der Anlage 10 % vom Stromoutput des BHKW, Eigenwärmebedarf 20 % vom Wärmeoutput (/IFEU 2003/ auf der Basis von /GEGNER 2003/, /KEYMER 2003/ und /KRÄMER 2003/), pflanzenverfügbare N-Anteil im Gärrest entsprechend 100%iger Nährstoffbilanz: 76 kg N pro ha und Jahr, obere und untere Grenze der Ammoniakemission 0,3 bzw. 0,12 g NH₃-N/g N (/IFEU 2003/ nach /EDELHANN ET AL.

2001/ und /KRÄMER 2003/), Emissionsfaktoren des BHKW nach /IFEU 2003/, übrige Daten nach /EDELMANN ET AL. 2001/.

Ergebnisdarstellung

Im Basisszenario und den Szenarien zur Honigproduktion und Schrotvergärung wird die Differenz RME-Dieselmotorkraftstoff, beim Lachgasszenario das Verhältnis zum Basisszenario grafisch dargestellt und zusätzlich, orientiert an den Bedürfnissen eines „schnellen“ Lesers, kurz diskutiert. Die grafischen Darstellungen erfolgen mit verschiedenen anschaulichen Bezugsgrößen.

Bei der Beschreibung der Umweltwirkungen wie auch der Ergebnisse wird einfach verständlichen Begriffen Vorrang gegenüber wissenschaftlich exakten Darstellungen eingeräumt wie beispielsweise „Versauerung“ anstelle von „Versauerungspotenzial auf der Basis von SO₂-Äquivalenten“.

Analysierte Umweltwirkungen

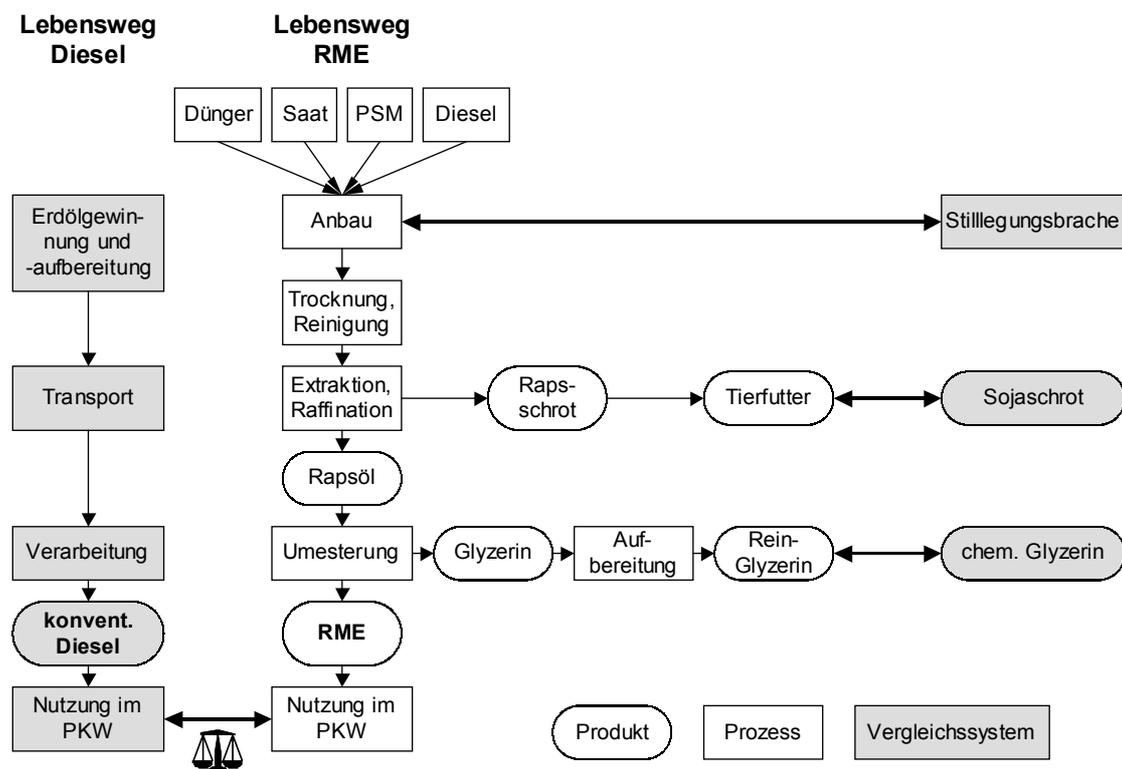
Die in dieser Untersuchung bilanzierten Umweltwirkungen sind in der Tabelle zusammengefasst. Auf Grund der unzureichenden Datenbasis im Bereich der Verbrennung der Kraftstoffe können aussagekräftige, weitergehende Bilanzen zu human- und ökotoxischen Wirkungen unseres Erachtens derzeit nicht erstellt werden. Und für die beiden anderen Umweltwirkungskategorien des DIN-NAGUS „Lärm“ und „Naturraumbeanspruchung“ gibt es derzeit noch keine allgemein akzeptierte Bilanzierungsweise.

Umweltwirkung	Beschreibung
Energieeinsparung	In dieser Untersuchung wird die so genannte Ressourcenschonung für die nicht erneuerbaren Energieträger bilanziert, das sind die fossilen Brennstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle sowie Uranerz. Im Folgenden wird auf Grund einheitlicher Tendenz der Ergebnisse diese Umweltwirkung mit „Energieeinsparung“ bezeichnet.
Treibhauseffekt	Erwärmung der Atmosphäre in Folge der vom Menschen verursachten Freisetzung von klimawirksamen Gasen. Wichtigstes Treibhausgas: Kohlendioxid (CO ₂) aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern. Hier werden CO ₂ , Methan und Lachgas erfasst.
Versauerung	Verschiebung des Säuregleichgewichts in Böden und Gewässern durch Säure bildende Gase (Stichwort „saurer Regen“). Erfasst werden Schwefeldioxid, Stickoxide, Ammoniak und Chlorwasserstoff.
Nährstoffeintrag	Einbringung von Nährstoffen in Böden und Gewässer (Stichwort „Algenblüte“). Erfasst werden Stickoxide und Ammoniak.
Fotomog (Sommersmog)	Bildung von bestimmten reaktiven Stoffen, u. a. Ozon, unter dem Einfluss von Sonnenstrahlung in der bodennahen Atmosphäre (Stichwort „Ozonalarm“). Berücksichtigt werden Kohlenwasserstoffe.
Ozonabbau	Zerstörung des schützenden Ozons in der Stratosphäre durch bestimmte Gase wie FCKW oder Lachgas (Stichwort „Ozonloch“). Hier wird Lachgas erfasst.

3 Szenarien und Ergebnisse

Grundlage der vorliegenden Studie sind Untersuchungen, die das IFEU in den letzten Jahren zur Frage des ökologischen Vergleichs von Rapskraftstoffen mit konventionellem Dieselmotorkraftstoff durchgeführt hat. Daraus wird, angepasst an den gewählten Bezugszeitraum, das Basisszenario festgelegt. Dieses Szenario bildet den Ausgangspunkt für die auf Seite 3 beschriebenen Analysen. Die Ergebnisse aller nachfolgenden Analysen werden in Bezug auf dieses Szenario diskutiert.

3.1 Basisszenario



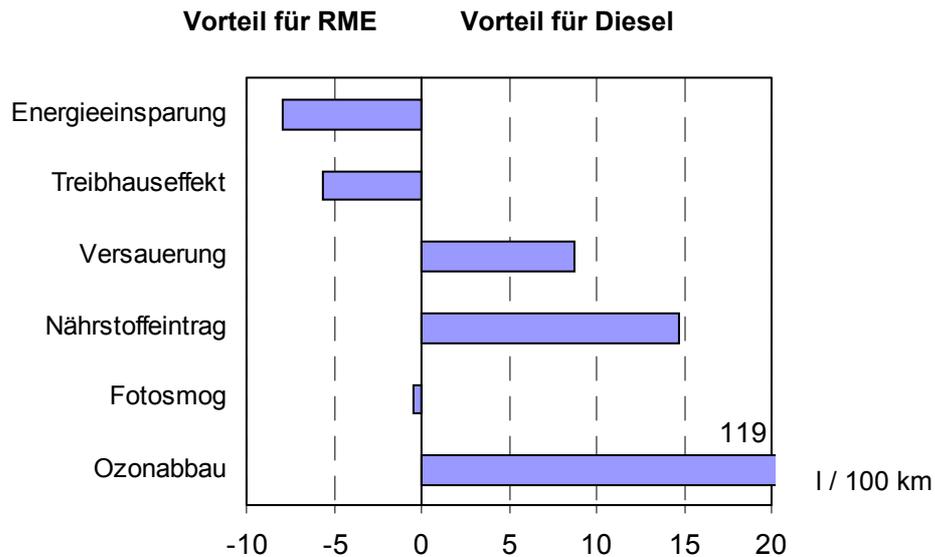
Landwirtschaft: Der Anbau wird für durchschnittliche deutsche Verhältnisse bei guter fachlicher Praxis gegenüber einer aktiv begrüneten einjährigen Brache bilanziert. Die Ernte erfolgt im Direktdrusch; das Rapsstroh wird in den Boden eingearbeitet. Die Rapssaat wird am Hof getrocknet, gereinigt und gekühlt.

Verarbeitung: Die Rapssaat wird zu einer zentralen Ölmühle transportiert, dort gepresst und das Rapsöl extrahiert. Das dabei anfallende Kuppelprodukt Rapsextraktionsschrot wird als Tierfutter verwendet und ersetzt aus Nordamerika importiertes Sojaschrot. Das Rapsöl wird anschließend zu Rapsölmethylester (RME) umgeestert. Das dabei entstehende Glyzerin wird aufbereitet und ersetzt auf chemischem Weg erzeugtes Glyzerin.

Nutzung: RME wird in Diesel-PKW's eingesetzt und ersetzt konventionellen Dieselmotorkraftstoff.

Unterschiede zu früheren Bilanzen „RME im Vergleich zu Dieselkraftstoff“

Im Rahmen der Festlegung des Basisszenarios wurden diverse Aktualisierungen der Vorgängerbilanzen durchgeführt (Anpassung der Jahresbezüge für die energetischen Vorketten, Emissionen bei Transportprozessen etc.). Zu besonders augenfälligen Ergebnisunterschieden führten zwei Aktualisierungen: Aktualisierung der Bereitstellung von Stickstoffdüngemitteln sowie die Einbeziehung der Lachgasemissionen bei der Sojaproduktion. Beide Aktualisierungen wirken sich sowohl beim Treibhauseffekt als auch beim Ozonabbau zu Gunsten von RME bedeutend aus.



Lesebeispiel für die ersten beiden Balken:

Dargestellt sind die Ergebnisse für Energieeinsparung und Treibhauseffekt für den Vergleich von RME und konventionellem Dieselkraftstoff im Basisszenario (s. Text).

Bei der Verwendung von RME an Stelle von Diesel spart man auf 100 km Fahrstrecke so viel Energie ein wie die Produktion von 8 l Diesel erfordert oder man spart so viele Treibhausgase ein wie bei Produktion und Verbrauch von knapp 6 l Diesel entstehen. Umgerechnet lassen sich ca. 2,2 kg CO₂-Äquivalente pro eingesetztem Liter RME einsparen.

Die Nutzung von RME hat gegenüber dem Einsatz von fossilem Dieselkraftstoff ökologische Vor- und Nachteile. RME ist vorteilhaft bei der Einsparung fossiler Energien und beim Treibhauseffekt, nachteilig bei der Versauerung, dem Nährstoffeintrag und dem Ozonabbau. Beim Fotosmog zeigt sich kein klares Ergebnis zu Gunsten des einen oder des anderen Kraftstoffs.

Eine objektive, wissenschaftlich begründete Entscheidung für den einen oder den anderen Treibstoff kann demnach nicht erfolgen. Erst wenn zusätzliche Kriterien herangezogen werden, lässt sich eine zusammenfassende Gesamtbewertung erlangen. Wenn man beispielsweise der Schonung fossiler Energieressourcen und dem Treibhauseffekt größere ökologische Bedeutung zumisst als den anderen Umweltwirkungen, so lässt sich eine Entscheidung für RME rechtfertigen. Bei anderen Werthaltungen kann jedoch auch ein anderes Ergebnis erhalten werden.

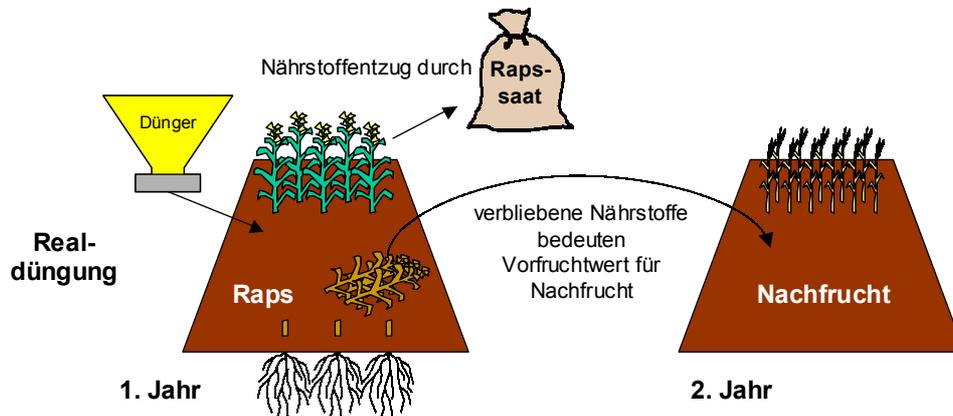
3.2 Vorfruchtwert

Bei vielen Ökobilanzen landwirtschaftlicher Produkte erweisen sich die Düngemittel oft als ergebnisrelevant – so auch beim Vergleich „RME versus Dieselkraftstoff“. Aus diesem Grund spielt die Ableitung für die in den Bilanzen zu berücksichtigenden Düngemittel eine überaus wichtige Rolle. Zwei der gebräuchlichsten Ansätze zur Bestimmung der Düngemittelmengen, die je nach Fragestellung angewendet werden, sind:

- **Realdüngung:**

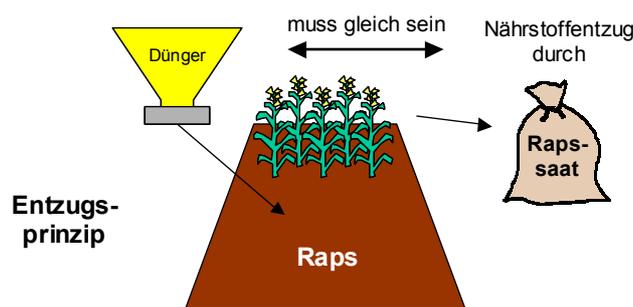
Betrachtet werden hier zunächst die tatsächlich in der Landwirtschaft eingesetzten Düngemittelmengen. Davon abgezogen werden dann die so genannten Vorfruchtwerte, sofern sie auftreten. Darunter versteht man die bodenverbessernden Eigenschaften der vorhergehenden Kultur, u. a. die Düngewirkung von Pflanzenresten, die nach der Ernte auf dem Acker verbleiben und der Nachfrucht als Nährstoffquelle dienen. Dieser Effekt ist bei Raps bekanntlich sehr ausgeprägt.

Nach diesem Ansatz ist RME schon Anfang der 1990er Jahre am IFEU ökobilanziell betrachtet worden /REINHARDT 1993/.



- **Entzugsprinzip** (über die gesamte Fruchtfolge):

Bei diesem Ansatz werden genau die Nährstoffmengen bestimmt, die durch das abtransportierte Erntegut dem landwirtschaftlichen Feld entzogen werden. Auf diese Weise werden die verbleibenden Erntereste direkt als Vorfruchtwert verbucht. Damit ist der Vorfruchtwert bereits vom Grundsatz her berücksichtigt. Durch die Betrachtung des Nährstoffentzugs einer gesamten Fruchtfolge gegenüber dem einer Fruchtfolge mit Brache statt Raps werden fruchtfolgespezifische Nährstoffverhältnisse berücksichtigt. Diese Methode der Bilanzierung wendet das IFEU als Standard bei den RME-Ökobilanzen seit Mitte der 90er Jahre an.



Quelle	Vorfruchtwert in kg N/ha
Literaturwerte nach /REINHARDT 1993/	bis 60
Durchschnittswert nach /REINHARDT 1993/	32,5
/HONERMEIER UND GAUDCHAU 2003/ berechnet nach /IFEU 2003/	15 – 30

Diskussion

- **Vorfruchtwert:** Die Literatur beziffert den Vorfruchtwert von Raps auf bis zu 60 kg Stickstoff pro Hektar, die dem Rapsstroh, den Wurzeln und den Schotenresten entstammen. In diesem Rahmen bewegen sich auch die Ergebnisse von Einzeluntersuchungen, in denen für verschiedene Bodentypen Messungen durchgeführt wurden. Jüngste Untersuchungen wie die von /HONERMEIER UND GAUDCHAU 2003/ bestätigen diese Werte: Die in dieser Analyse ermittelte Vorfruchtwirkung lässt sich darstellen als eine von der Nachfrucht genutzte Stickstoffmenge in einer Höhe von etwa 15 bis 30 kg.

Bei Ökobilanzen werden im Regelfall durchschnittliche Vorfruchtwerte verwendet. Bezüglich Raps wurde bereits 1991 vom IFEU ein durchschnittlicher Vorfruchtwert in Höhe von 32,5 kg N pro ha veranschlagt /REINHARDT 1993/. Dies deckt sich auch weiterhin mit den neueren Untersuchungen. Damit kann zusammengefasst werden, dass hinsichtlich des Vorfruchtwertes keine neuen Erkenntnisse für die Ökobilanzierung von RME vorliegen.

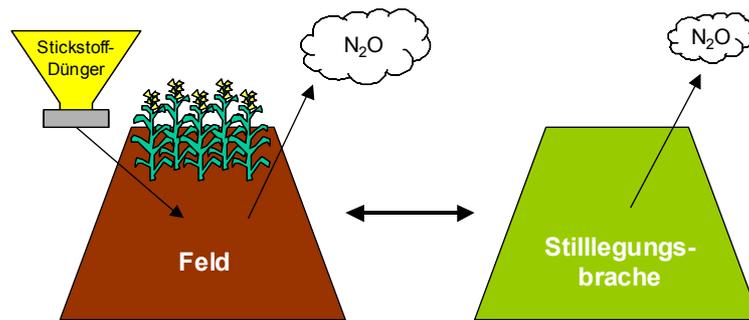
- **Vergleich der Ansätze:** Vom Grundsatz her unterschätzt das Entzugsprinzip die aufzuwendenden Düngemittel, denn der Nachfrucht stehen nicht 100 % aller auf dem Feld verbleibenden Nährstoffe zur Verfügung. Dementsprechend fallen die Düngemittelmengen nach dem Entzugsprinzip tendenziell geringer aus als nach dem Realprinzip. Andererseits sollte bei einer Ökobilanz über einen zukünftig zusätzlichen Rapsanbau für RME nicht die derzeitige durchschnittliche Düngepraxis zu Grunde gelegt werden, sondern eine nach guter fachlicher Praxis optimierte Düngung. Werden die Zahlen für den in den Bilanzen anzurechnenden Dünger nach den beiden Ansätzen verglichen, so zeigt sich, dass die dabei auftretenden Unterschiede von ca. 10 bis 20 kg N nicht zu signifikant unterschiedlichen Ergebnissen führen. Insofern kann zusammengefasst werden, dass keine Änderungen bei den in den Bilanzen angesetzten Düngemittelmengen vorgenommen werden müssen.

Abschließend sei noch angemerkt, dass hier Stickstoff stellvertretend für alle Pflanzennährstoffe aufgeführt wurde. Für die anderen Pflanzennährstoffe gilt – auf verschiedene Art und Weise – Entsprechendes. Zusammengefasst kommt man aber zum gleichen Fazit:

Fazit

- Auch neuere Publikationen bringen im Hinblick auf den Vorfruchtwert keine neuen Erkenntnisse für die Ökobilanzierung von RME.
- Für eine auf die Zukunft ausgerichtete RME-Ökobilanz ist das „Entzugsprinzip über die gesamte Fruchtfolge“ der „Realdüngung“ vorzuziehen.
- In diesem Sinne ergeben sich für die RME-Bilanz keine Änderungen gegenüber vorhergehenden Bilanzen.

3.3 Lachgasemissionen



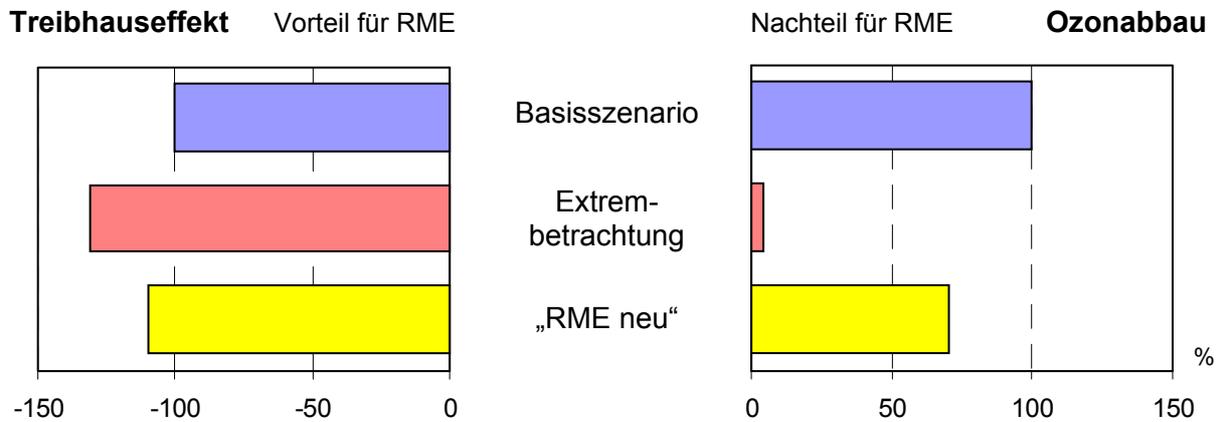
Biologische Aktivitäten im Feld bewirken eine Freisetzung von Lachgas (N_2O) aus vorhandenen Stickstoffverbindungen. Dies hängt von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem der Bodenart, der Menge zugeführter Stickstoff-Düngemittel, den Maßnahmen zur Bodenbearbeitung und den Witterungsbedingungen. /IPCC 1996/ nennt eine Bandbreite und einen Durchschnittswert für die Emissionen, die sich auf Grund einer bestimmten Stickstoffdüngermenge ergeben, sowie einen Hintergrundwert für Lachgasemissionen, die auf ungedüngten Böden bzw. zusätzlich zu den düngerinduzierten Emissionen entstehen. Die Ökobilanzierung von RME hat dabei einige Besonderheiten, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Abschätzung der Lachgasemissionen von Stilllegungsflächen

Einjährige Rotationsbrachen werden derzeit standardmäßig als agrarisches Referenzsystem für den Biodiesel-Rapsanbau angesetzt. Die Angaben von /IPCC 1996/ geben allerdings keine Auskunft über Lachgasemissionen, die von solchen Flächen ausgehen. Bisher wurden sie bei den meisten RME-Ökobilanzen quasi Null gesetzt (die Hintergrundemission ist bei /IPCC 1996/ ja bereits berücksichtigt). Dem steht entgegen, dass die Lachgasemission von einjährigen Brachen auf Grund der ausgeprägten Stickstoffdynamik landwirtschaftlicher Böden nach Experteneinschätzung in Einzelfällen durchaus sogar in der gleichen Höhe liegen kann wie beim Kulturpflanzenanbau. Dies wird auch durch Messungen beispielsweise von /HEINEMEYER ET AL. 1998/ belegt. Vergleichbare Messungen /HELLEBRAND ET AL. 2003/ auf anderen Böden zeigen andererseits wiederum deutlich geringere Werte. Außerdem ist ebenfalls einhellige Experteneinschätzung, dass durchaus eine gewisse Abhängigkeit der Lachgasemissionen von eingesetzten stickstoffhaltigen Düngemitteln existiert.

Damit kann zusammengefasst werden, dass die bisherige Praxis (Annahme einer Nullemission) die Realität mit ziemlicher Sicherheit unterschätzt. Andererseits ist der beispielsweise von /SCHARMER 2001/ gewählte Ansatz der Gleichsetzung der Emissionen von der Brache und dem Kulturpflanzenanbau unseres Erachtens ebenfalls nicht haltbar. Insofern spricht vieles dafür, dass sich in Abhängigkeit der äußeren Faktoren ein realer Wert ergibt, der zwischen diesen beiden Extremwerten liegt. Da auf der Basis der uns vorliegenden Untersuchungen kein wissenschaftlich belastbarer Durchschnittswert für Deutschland abgeleitet werden kann, setzen wir für die Rotationsbrache 50 % der nach IPCC düngerinduzierten Emissionen (bezogen auf eine angenommene durchschnittliche Stickstoffdüngergabe über alle Fruchtfolgeglieder in Höhe von 180 kg Stickstoff pro ha und Jahr) an. Um die derzeitige Situation beim Biodiesel-Rapsanbau möglichst realitätsnah abzubilden, wird zusätzlich berücksichtigt, dass etwa die Hälfte des heutigen Rapsanbaus auf so genannten Basisflächen stattfindet, die damit nicht mehr für die Nahrungsmittelproduktion zur Verfügung stehen. Damit kommt als plausibelstes Referenzsystem die Dauerbrache in Frage, da an-

sonsten im Ausland entsprechende Nahrungsmittel produziert werden müssten (zur Systematik s. /JUNGK UND REINHARDT 2000/) oder bei Verringerung von Überschussproduktion im Inland zusätzliche Branchen etabliert werden müssten.



Lesebeispiel für das rechte Diagramm:

Dargestellt ist der Ozonabbau beim Vergleich zwischen RME und konventionellem Dieselmotorkraftstoff.

Wird von der Vergleichsfläche genauso viel Lachgas freigesetzt wie vom Rapsfeld (**Extrem-betrachtung**), dann verringert sich der Ozonabbau gegenüber dem Basisszenario von 100 % auf 5 %. Werden die derzeitigen Verhältnisse zu Grunde gelegt („**RME neu**“), verringert er sich auf ca. 70 % des Basisszenarios.

Ergebnis

Die in der **Abbildung** dargestellten Ergebnisse zeigen, dass der Unterschied zwischen den beiden Extremwerten (**Basisszenario** = „Nullemission“, **Extrem-betrachtung** = Gleichsetzung der Emissionen von der Branche mit dem des Kulturpflanzenanbaus, siehe jeweils Text zuvor) zwar äußerst groß ist, sich an den bisher abgeleiteten Grundaussagen aber nichts ändert: RME spart gegenüber Dieselmotorkraftstoff Klimagas ein, setzt dafür aber mehr Lachgas frei. Der von uns abgeleitete Ansatz („**RME neu**“ = 50 % der düngerinduzierten Emissionen sowie Berücksichtigung des Anbaus auf Basisflächen, siehe oben) führt insgesamt zu günstigeren Ergebnissen für Raps-Biodiesel gegenüber den bisher publizierten Ökobilanzen.

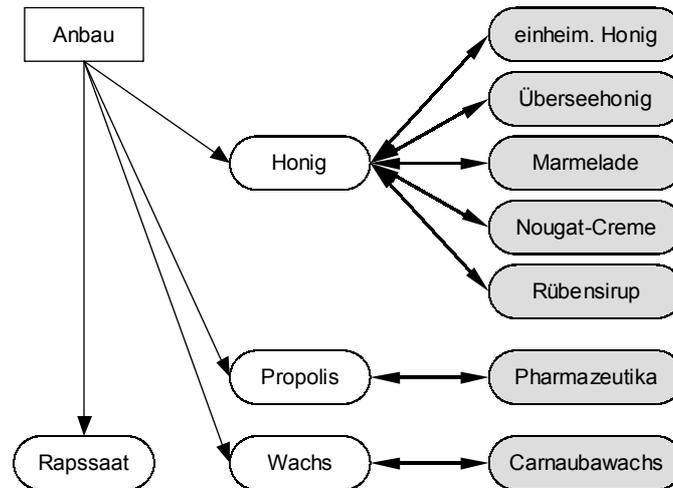
Fazit

Die Interpretation der neuesten Erkenntnisse zur Lachgasemission von Rapsflächen wie auch von Rotationsbrachen führt zu neuen Basisdaten, die die grundsätzlichen Ergebnisse zwar weiterhin bestätigen, zahlenmäßig aber günstiger für RME ausfallen:

- Es gilt weiterhin, dass RME gegenüber Dieselmotorkraftstoff Klimagas einspart, dafür aber mehr Lachgas freisetzt.
- Die Einsparung an Klimagasen durch RME ist höher als bisher in den meisten Bilanzen wiedergegeben, während die Mehremission an Lachgas geringer ausfällt.

Wir empfehlen, in Folgebilanzen die neu abgeleiteten Basisfaktoren zu verwenden.

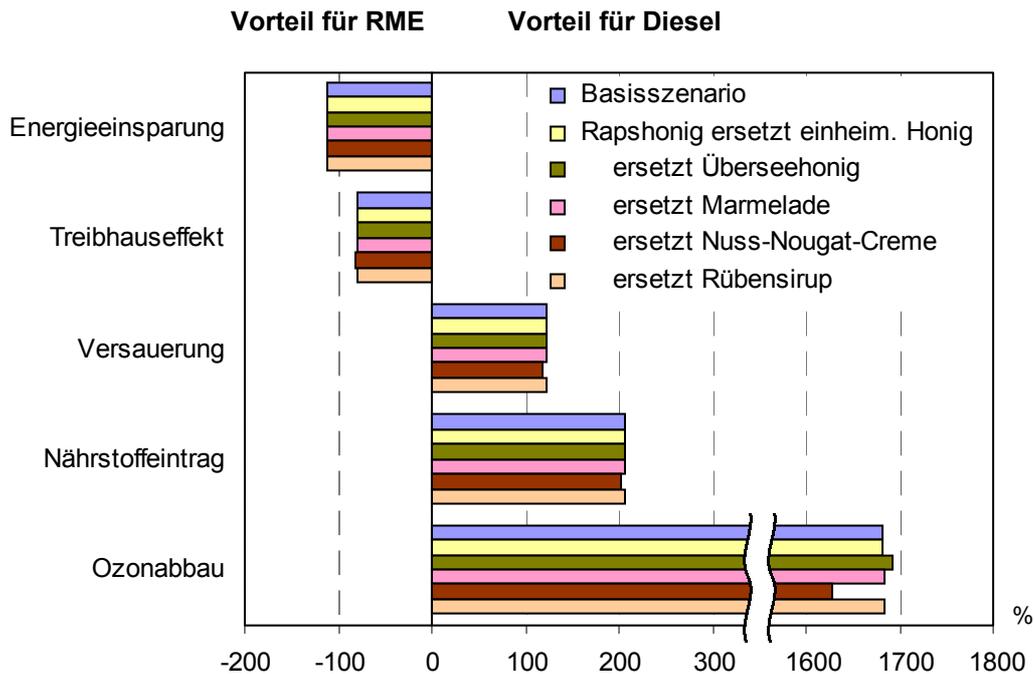
3.4 Honigproduktion



In bisherigen Bilanzen wurde im Allgemeinen nicht berücksichtigt, dass Raps in seiner Blütezeit eine ergiebige Nektarquelle und damit eine gute Bienenweide ist. Durch den verstärkten Anbau von Raps ist es in den vergangenen Jahren zu einer deutlichen Erhöhung des Angebots an Rapshonig auf dem deutschen Markt gekommen. Dabei ist aus den Statistiken nicht eindeutig ableitbar, welches Produkt oder welche Produkte durch den deutschen Rapshonig zurückgedrängt werden. Aus diesem Grund ist es unumgänglich, verschiedene Szenarien zu analysieren. Dabei spielen die verschiedenen Produkte eine Rolle, die Honig ersetzen kann und von denen folgende fünf Möglichkeiten betrachtet wurden:

- Der Honig kann andere heimische Honigsorten ersetzen.
- Er kann den Konsum von Importhonig (z. B. aus Lateinamerika), der in Deutschland einen Marktanteil von etwa 80 % hat, reduzieren.
- Rapshonig könnte andere süße Brotaufstriche ersetzen. Exemplarisch werden betrachtet:
 - Erdbeermarmelade als ein Vertreter der großen Zahl von Fruchtaufstrichen
 - Nuss-Nougat-Creme, die in vielen Haushalten vorhanden ist
 - Zuckerrübensirup, ein von Zuckergehalt und Konsistenz her honigähnlicher Aufstrich

Als Nebenprodukte können bei der Honigproduktion auch Pollen, Bienenwachs, Propolis und Gelée Royale gewonnen werden. Bienenwachs wird größtenteils in der Kosmetik- und Pharmaindustrie verwendet und kann verschiedene Stoffe ersetzen. Hier wird die Anwendung als Überzugsmittel für Dragees betrachtet und Carnaubawachs, ein hartes Wachs von den Blättern der in Brasilien beheimateten Carnaubapalme, ersetzt. Während die Wachsproduktion in Deutschland eine gewisse Bedeutung hat, ist die Nutzung der anderen Produkte verschwindend gering. Exemplarisch wird hier Propolis in der Anwendung als natürliches Arzneimittel zur Gesunderhaltung des menschlichen Körpers betrachtet, das der Anwendung chemischer Pharmazeutika vorbeugt.



Lesebeispiel für den ersten Balken:

Dargestellt ist die Energiebilanz zwischen RME und konventionellem Dieseldieselkraftstoff im Basisszenario.

Bei der Verwendung von RME statt Diesel spart man das 1,1fache (110 %) des Energiebedarfs zur Produktion und Nutzung von Dieseldieselkraftstoff ein.

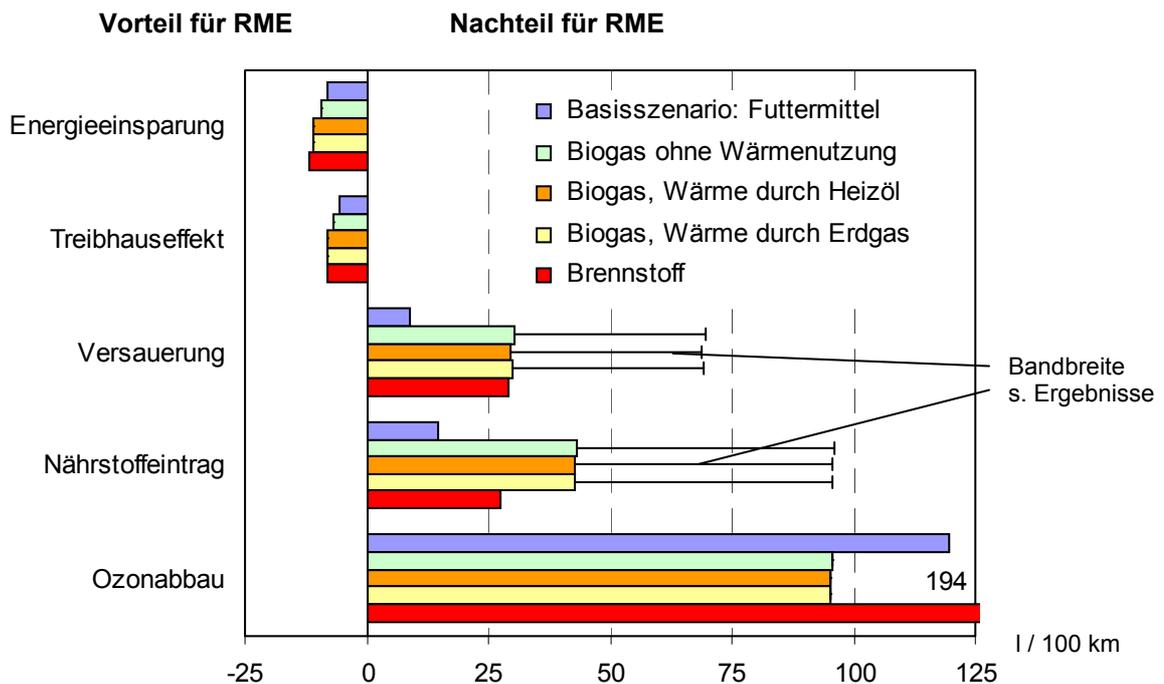
Ergebnis

Die Honigproduktion beeinflusst das Gesamtergebnis bei keinem der betrachteten Ersatzprodukte wesentlich (siehe Diagramm). Das hängt insbesondere mit den relativ geringen Mengen an Honig und seinen Nebenprodukten zusammen. Eine Detailbetrachtung (hier nicht dargestellt) zeigt, dass die Nebenprodukte Wachs und Propolis in allen Umweltwirkungen weit weniger als 20 % der Aufwendungen ausmachen. Dies rechtfertigt ein gutes Vertrauen in die durchgeführte Bilanzierung, obwohl die Ersatzprodukte von Bienenwachs und Propolis in Abhängigkeit vom jeweiligen Verwendungszweck durchaus unterschiedlich sein können.

Fazit

- Die Berücksichtigung der Produktion von Honig und seinen Nebenprodukten auf Rapsfeldern vervollständigt die RME-Bilanz.
- Sie hat jedoch selbst unter Extremannahmen nur minimale Auswirkungen auf die Gesamtbilanz, die sich je nach Szenario und Umweltwirkung zu Gunsten oder zu Ungunsten von RME auswirken können.

Dennoch schlagen wir der Vollständigkeit halber vor, zukünftig die Produktion von Honig und seinen Nebenprodukten von Rapsfeldern in die RME-Bilanzen aufzunehmen.



Lesebeispiel für den zweiten Balken:

Dargestellt ist der Vergleich der gesamten Energiebilanzen zwischen RME und konventionellem Dieselkraftstoff bei Verfütterung, Vergärung und Verbrennung von Rapsschrot.

Wird Rapsschrot vergoren und das gewonnene Biogas zur Stromerzeugung genutzt, dann spart man auf 100 km Fahrstrecke so viel Energie ein wie die Produktion und Nutzung von 8 l Diesel erfordert.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Interpretation der Daten und der Ergebnisse führt zu folgenden Aussagen:

- **Vergleich der Biogasgewinnung aus Rapsschrot gegenüber seiner Verfütterung:** Es zeigen sich ökologische Vor- und auch Nachteile. Somit lässt sich zunächst keine objektive, wissenschaftlich begründbare Bewertung vornehmen. Bemerkenswerterweise treten jedoch nahezu die gleichen Vor- und Nachteile auf wie beim Vergleich von RME gegenüber Diesel: Vorteile bei Energieeinsparung und Treibhauseffekt, Nachteile bei der Versauerung und dem Nährstoffeintrag. Zusätzlich hat die Biogasgewinnung gegenüber der Verfütterung einen Vorteil beim Ozonabbau. Damit gilt: Entscheidet man sich auf Grund seiner Werthaltung für den Einsatz von RME anstelle von Diesel, dann folgt mit genau dieser Werthaltung, dass eine Verwendung von Rapsschrot zur Biogasgewinnung einer Verfütterung eindeutig vorzuziehen ist.
- **Vergleiche „Verfütterung oder Verbrennung“ und „Biogasgewinnung oder Verbrennung“:** Analoges gilt, wenn man Rapsschrot verbrennt, statt es zu verfüttern oder zu Biogas zu vergären: Beim Vergleich „Verfütterung oder Verbrennung“ ist unter der Werthaltung, die RME gegenüber Diesel bevorzugt, die Verbrennung einer Verfütterung vorzuziehen (s. /GÄRTNER UND REINHARDT 2001/). Beim Vergleich „Biogasgewinnung oder Verbrennung“ hat die Verbrennung nur beim Ozonabbau einen Nachteil gegenüber der Biogasgewinnung aus Rapsschrot. Unter der vorausgesetzten Werthaltung ist damit die Verbrennung eindeutig günstiger als die Vergärung von Rapsschrot.

- **Gesamteinstufung:** Für den Vergleich „Verfütterung, Biogasgewinnung oder Verbrennung von Rapsschrot“ kann somit zusammengefasst werden: Unter einer Werthaltung, die auf Grund der Vorteile in der Energieeinsparung und dem Treibhauseffekt RME gegenüber Diesel bevorzugt, lässt sich folgende Rangabstufung vornehmen: Die Verbrennung von Rapsschrot ist aus ökologischer Sicht günstiger als die Vergärung zur Biogasgewinnung und diese günstiger als die Nutzung als Futtermittel.
- **Aussagekraft:** Die hier vorgenommene Bilanzierung der Biogasgewinnung wurde für durchschnittliche Verhältnisse und für bestimmte Rahmenbedingungen durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass die Umweltwirkungen Versauerung und Nährstoffeintrag drastisch von den Ammoniakemissionen bestimmt werden, die bei der Lagerung und Ausbringung des Gärrests auftreten. Dabei sind verschiedene einflussreiche Faktoren sehr variabel, wie die Gärbedingungen oder die Ausbringungstechnik. Im Diagramm sind daher die Auswirkungen der Effekte auf die Ergebnisse in Form von Bandbreiten dargestellt. Trotz der großen Bandbreite der Ergebnisse ändern sich allerdings die Aussagen für die ökologische Einschätzung der Biogasgewinnung aus Rapsschrot im Vergleich zu dessen Verfütterung oder Verbrennung nicht. Diesbezüglich können die Ergebnisse also als wissenschaftlich aussagekräftig angesehen werden.

Zudem zeigen sich bei der Betrachtung der verschiedenen Optionen zur Vergärung nur geringe Unterschiede. Das heißt, das Gesamtergebnis wird nur geringfügig günstiger, wenn die Überschusswärme genutzt wird, als bei einer Nichtnutzung. Noch geringer sind die Unterschiede, wenn die Wärme ansonsten durch Heizöl oder durch Erdgas bereitgestellt werden muss, wobei die Bilanzen leicht günstiger ausfallen, wenn Heizöl ersetzt wird. Andererseits wird die Bilanz durch eine Vielzahl weiterer Parameter bestimmt wie die Gasausbeute, Düngewirkung des Gärrests oder systembedingte Unterschiede (Transportwege, Anlagenauslegung etc.). Dadurch können sich die Bilanzergebnisse zum Teil erheblich verändern.

Zusammengefasst heißt das, dass die hier abgeleiteten Ergebnisse für den Vergleich zwischen der Verfütterung, Vergärung oder Verbrennung von Rapsschrot als belastbar angesehen werden können. Für die Analyse eines bestimmten Systems oder den Vergleich von unterschiedlichen Anwendungen bei der Vergärung von Rapsschrot zur Biogasproduktion sind dagegen Detailbilanzen notwendig.

4 Ergebnisübersicht

Gegenüber vorherigen RME-Bilanzen ergeben sich mehrere Veränderungen. Neben Anpassungen des Basisszenarios, die im Zuge dieses Projekts vorgenommen wurden und das Ergebnis zu Gunsten von RME beeinflussen, führen die neu abgeleiteten Basisdaten bei den Lachgasemissionen zu zahlenmäßig günstigeren Ergebnissen beim Ozonabbau und dem Treibhauseffekt. Dagegen führen sowohl die zusätzliche Betrachtung der Produktion von Honig und seinen Nebenprodukten von Rapsfeldern wie auch die neuesten Erkenntnisse über den Vorfruchtwert von Raps nicht zu maßgeblichen Änderungen der Ergebnisse in der Gesamtbilanz. Die potenzielle Vergärung von Rapsschrot zu Biogas hingegen würde die RME-Bilanz deutlich verbessern.

Die Ergebnisse im einzelnen sind:

Berücksichtigung des Vorfruchtwerts von Raps

- Auch neuere Publikationen bringen im Hinblick auf den Vorfruchtwert keine neuen Erkenntnisse für die Ökobilanzierung von RME.
- In diesem Sinne ergeben sich für die RME-Bilanz keine Änderungen gegenüber vorhergehenden Bilanzen.

Lachgasemissionen

Die Interpretation der neuesten Erkenntnisse zur Lachgasemission von Rapsflächen wie auch von Rotationsbrachen führt zu neuen Basisdaten, die die grundsätzlichen Ergebnisse zwar weiterhin bestätigen, zahlenmäßig aber günstiger für RME ausfallen:

- Es gilt weiterhin, dass RME gegenüber Dieselkraftstoff Klimagase einspart, dafür aber mehr Lachgas freisetzt.
- Die Einsparung an Klimagasen durch RME ist höher als bisher in den meisten Bilanzen wiedergegeben, während die Mehremission an Lachgas geringer ausfällt.

Wir empfehlen, in Folgebilanzen die neu abgeleiteten Basisfaktoren zu verwenden.

Honigproduktion

- Die Berücksichtigung der Produktion von Honig und seinen Nebenprodukten (Wachs, Propolis, Pollen und Gelée Royale) auf Rapsfeldern vervollständigt die RME-Bilanz.
- Die Berücksichtigung der Produktion von Honig und seinen Nebenprodukten hat jedoch selbst unter Extremannahmen nur minimale Auswirkungen auf die Gesamtbilanz, die sich je nach Szenario zu Gunsten oder zu Ungunsten von RME auswirken können.
- Die Nebenprodukte Wachs und Propolis und damit die vielfältigen Vergleichsprodukte spielen dabei nur eine untergeordnete Rolle.

Dennoch schlagen wir der Vollständigkeit wegen vor, zukünftig die Produktion von Honig und seinen Nebenprodukten von Rapsfeldern in die RME-Bilanzen aufzunehmen.

Biogasgewinnung aus Rapsschrot

- **Vergleich der Biogasgewinnung aus Rapsschrot gegenüber seiner Verfütterung:** Es zeigen sich ökologische Vor- und auch Nachteile. Somit lässt sich zunächst keine objektive, wissenschaftlich begründbare Bewertung vornehmen. Bemerkenswerterweise treten jedoch nahezu die gleichen Vor- und Nachteile auf wie beim Vergleich von RME gegenüber Diesel: Vorteile bei Energieeinsparung und Treibhauseffekt, Nachteile bei der Versauerung und dem Nährstoffeintrag. Zusätzlich hat die Biogasgewinnung gegenüber der Verfütterung einen Vorteil beim Ozonabbau. Damit gilt: Entscheidet man sich auf Grund seiner Werthaltung für den Einsatz von RME anstelle von Diesel, dann folgt mit eben dieser Werthaltung, dass eine Verwendung von Rapsschrot zur Biogasgewinnung einer Verfütterung eindeutig vorzuziehen ist.
- **Vergleiche „Verfütterung oder Verbrennung“ und „Biogasgewinnung oder Verbrennung“:** Analoges gilt, wenn man Rapsschrot verbrennt, statt es zu verfüttern oder zu Biogas zu vergären: Beim Vergleich „Verfütterung oder Verbrennung“ ist unter der Werthaltung, die RME gegenüber Diesel bevorzugt, die Verbrennung einer Verfütterung vorzuziehen (s. /GÄRTNER UND REINHARDT 2001/). Beim Vergleich „Biogasgewinnung oder Verbrennung“ hat die Verbrennung nur beim Ozonabbau einen Nachteil gegenüber der Biogasgewinnung aus Rapsschrot. Unter der vorausgesetzten Werthaltung ist damit die Verbrennung eindeutig günstiger als die Vergärung von Rapsschrot.
- **Gesamteinstufung:** Für den Vergleich „Verfütterung, Biogasgewinnung oder Verbrennung von Rapsschrot“ kann somit zusammengefasst werden: Unter einer Werthaltung, die auf Grund der Vorteile in der Energieeinsparung und dem Treibhauseffekt RME gegenüber Diesel bevorzugt, lässt sich folgende Rangabstufung vornehmen: Die Verbrennung von Rapsschrot ist aus ökologischer Sicht günstiger als die Vergärung zur Biogasgewinnung und diese günstiger als die Nutzung als Futtermittel.
- **Aussagekraft:** Die hier vorgenommene Bilanzierung der Biogasgewinnung wurde für durchschnittliche Verhältnisse und für bestimmte Rahmenbedingungen durchgeführt. Die hier abgeleiteten Ergebnisse für den Vergleich zwischen der Verfütterung, Vergärung oder Verbrennung von Rapsschrot können als belastbar angesehen werden. Für die Analyse eines bestimmten Systems oder den Vergleich von unterschiedlichen Anwendungen bei der Vergärung von Rapsschrot zur Biogasproduktion sind dagegen Detailbilanzen notwendig.

5 Literatur

- /BORKEN ET AL. 1999/ Borken, J., Patyk, A., Reinhardt, G.A.: Basisdaten für ökologische Bilanzierungen. Verlag Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1999
- /DIN 14040 ff./ Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.): DIN EN ISO 14040 bis 14043. Deutsche Normen. Beuth Verlag, Berlin 1997 bis 2000
- /EDELMANN ET AL. 2001/ Edelmann, W., Schleiss, K., Engeli, H., Baier, U.: Ökobilanz der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Projekt 35408, Bern 2001
- /EFMA 1995/ European Fertilizer Manufacturers' Association: Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry. 8 Broschüren, No. 2: Production of Nitric Acid. Brüssel 1995
- /EFMA 2000/ European Fertilizer Manufacturers' Association: Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry. 8 Broschüren, No. 2: Production of Nitric Acid, Brüssel 2000
- /GÄRTNER UND REINHARDT 2001/ Gärtner, S.O., Reinhardt, G.A.: Ökologischer Vergleich von RME und Rapsöl. Im Auftrag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, FKZ 01 NR 045, Gülzow 2001
- /GEGNER 2003/ Gegner, M., Fachverband Biogas, Freising: Schriftliche Mitteilung vom 6. 4. 2003
- /HÄRTL 2003/ Härtl, E., Landwirtschaftsamt Deggendorf: Persönliche Mitteilung vom 31. 3. 2003
- /HEINEMEYER ET AL. 1998/ Heinemeyer, O., Kücke, M., Kohrs, K., Schnug, E., Munch, J.C., Kaiser, E.A.: Lachgasemissionen beim Rapsanbau. Landbauforschung Völkenrode, SH 190, 173-181
- /HELLEBRAND ET AL. 2003/ Hellebrand, H.J., Kern, J., Scholz, V.: Long-term studies on greenhouse gas fluxes during cultivation on sandy soils. Atmospheric Environment 37, 2003 (12), 1635-1644
- /HONERMEIER UND GAUDCHAU 2003/ Honermeier, B., Gaudchau, M.: Analyse und Bewertung der Vorfruchtwirkung von Winterraps. UFOP-Schriftenreihe, im Druck
- /IFEU 2003/ eigene Abschätzungen bzw. Berechnungen
- /IPCC 1996/ International Panel on Climate Change: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Workbook Draft, 1996
- /JUNGK UND REINHARDT 2000/ Jungk, N.C., Reinhardt, G.A.: Landwirtschaftliche Referenzsysteme in ökologischen Bilanzierungen. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, FKZ 99 NR 009, Berlin 2000
- /KALTSCHMITT UND REINHARDT 1997/ Kaltschmitt, M., Reinhardt, G.A. (Hrsg.): Nachwachsende Energieträger – Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Verlag Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1997
- /KEYMER 2003/ Keymer, U., Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, München: Persönliche Mitteilung vom 1. 4. 2003

- /KRÄMER 2003/ Krämer, H., Bio-System, Konstanz: Schriftliche Mitteilung vom 23. 4. 2003
- /VON DER OHE 2003/ von der Ohe, W., Niedersächsisches Landesinstitut für Bienenkunde, Celle: Persönliche Mitteilung vom 1. 4. 2003
- /PATYK UND REINHARDT 1997/ Patyk, A., Reinhardt, G.A.: Düngemittel – Energie- und Stoffstrombilanzen. Verlag Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1997
- /REINHARDT 1993/ Reinhardt, G.A.: Energie- und CO₂-Bilanzierung nachwachsender Rohstoffe. Theoretische Grundlagen und Fallstudie Raps. Verlag Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1993
- /REINHARDT ET AL. 1999/ Reinhardt, G.A., Borken, J., Patyk, A., Vogt, R., Zemanek, G.: Ressourcen- und Emissionsbilanzen: Rapsöl und RME im Vergleich zu Dieselkraftstoff. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Kraus, K., Niklas, G., Tappe, M.: Aktuelle Bewertung des Einsatzes von Rapsöl/RME im Vergleich zu Dieselkraftstoff. UBA-Texte 97/99, Berlin 1999
- /SCHARMER 2001/ Scharmer, K.: Biodiesel. Energie- und Umweltbilanz Rapsölmethylester. UFOP Bonn 2001