

# Der Beitrag landwirtschaftlichen Energiepflanzenanbaus zum Klimaschutz - eine regional differenzierte Analyse für Baden-Württemberg

The contribution of agricultural bio-energy crops to climate protection  
- a regional analysis for Baden-Württemberg

Elisabeth ANGENENDT, Angelika KONOLD, Enno BAHRS und  
Jürgen ZEDDIES

## Zusammenfassung

Die Landwirtschaft kann durch den Anbau von Bioenergieträgern einen wichtigen Anteil zum Klimaschutz und zum Ausbau der erneuerbaren Energien leisten. Dieser Beitrag untersucht mit Hilfe einer Modellanalyse das Anbaupotenzial von landwirtschaftlichen Energiepflanzen in Baden-Württemberg. Die Ergebnisse zeigen, dass eine potenzielle Ausweitung des Energiepflanzenanbaus regional sehr unterschiedlich verläuft. So wird im Kontext der für die Zukunft geschätzten Energie- und Agrarrohstoffpreise insbesondere in Ackerbauregionen unter den gegebenen Annahmen die Anbaufläche für Energiepflanzen, auch die für mehrjährige Kulturen wie z.B. Miscanthus, bis an die gesetzten Restriktionsgrenzen ausgedehnt. Demgegenüber wird in grünlandstarken intensiven Futterbauregionen vor allem die Option der energetischen Grünlandverwertung genutzt.

Die Landwirtschaft Baden-Württembergs kann durch den Anbau von Bioenergiepflanzen zu einer erheblichen Minderung der Treibhausgasemissionen beitragen und gleichzeitig durch höhere Deckungsbeiträge an der staatlichen Förderung für erneuerbare Energien partizipieren.

**Schlagnorte:** Energiepflanzen, Ökologisch-ökonomische Modellierung, Treibhausgasemissionen

### Summary

Agriculture can considerably contribute to climate protection and the extent of renewable energies by biomass cultivation. This paper identifies the agricultural biomass potential for bio-energy usage in Baden-Württemberg applying an economic-ecological modelling approach. The results show that the extension of energy crop cultivation varies widely within the investigated regions. Within the context of forecasted prices for energy and agricultural commodities particularly in cash cropping dominated regions arable land for energy crops will be extended to land limitation restriction, also for perennial energy crops such as *Miscanthus*. In contrast, grassland is primarily used for energetic conversion in regions dominated by grassland and intensive fodder production.

Agriculture in Baden-Württemberg can share significant contributions to greenhouse gas mitigation while simultaneously achieving higher gross margins due to subsidies for renewable energies.

**Keywords:** energy crops, ecological and economical modelling, greenhouse gas emissions

### 1. Einleitung und Zielsetzung

Die Landwirtschaft spielt in der Diskussion um einen möglichen Klimawandel und der Klimaschutzpolitik eine besondere Rolle. Erstens trägt sie auf globaler Ebene zu einem nicht unerheblichen Maße zu den Emissionen klimarelevanter Gase bei. Zweitens ist ihre Produktionsgrundlage durch einen möglichen Klimawandel besonders stark betroffen und drittens kann sie einen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen leisten (HEIßENHUBER und ZEHETMEIER, 2008, 7; TRIEBE, 2007, 1). Hierbei spielen insbesondere der Anbau nachwachsender Rohstoffe und die damit verbundene Möglichkeit, fossile Energien zu substituieren, eine wichtige Rolle. Die Wechselwirkungen zwischen Klimaschutz und Energieproduktion aus Biomasse finden in zahlreichen umweltpolitischen Bemühungen auf den verschiedenen administrativen Ebenen (EU, Staaten und Bundesländer) Beachtung.

Die Förderung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe verursacht aber auch eine verstärkte Flächenkonkurrenz und führte in den letzten Jahren zu einem Anstieg der Landnutzungsintensität und potenziellen Umweltproblemen (GÖMANN et al., 2011, 190).

Um die von politischen Maßnahmen ausgelösten Wirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion und die Umwelt ex ante zu untersuchen, können bio-ökonomische Modellansätze einen wertvollen Beitrag leisten (SCHÖNHART et al., 2011, 123). In dem hier vorgestellten Beitrag soll mit Hilfe des ökonomisch-ökologischen Regionalmodells EFEM (Economic Farm Emission Model) der Beitrag landwirtschaftlicher Bioenergieträger zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Rahmen verschiedener Szenarien untersucht werden. Das Modell bildet vergleichsweise differenziert die landwirtschaftlichen Produktionsverfahren ab, so dass eine Erfassung von Stickstoff- und Kohlenstoffkreisläufen und eine Bilanzierung von Treibhausgasbilanzen möglich sind. Es wurde in verschiedenen Projekten für die umweltökonomische Bewertung im Forschungsfeld landwirtschaftlich bedingter Treibhausgasemissionen eingesetzt (z.B. TRIEBE, 2007; BLANK, 2011).

## 2. Methode

EFEM basiert auf statischer linearer Programmierung (LP) und ist ein Angebotsmodell, bei dem der betriebliche Deckungsbeitrag maximiert wird. Die Betriebsmittel- und Erzeugerpreise sind exogen vorgegeben, ebenso die Kapazitätsgrenzen der im Modell abgebildeten Betriebe. Es beruht auf einem Bottom-up Ansatz, d.h. die regionale Analyse basiert auf der Hochrechnung einzelbetrieblicher Modelle. Dabei erfolgt die weitere regionale Untergliederung Baden-Württembergs anhand der sogenannten Vergleichsgebietsgruppen. Diese Untergliederung geschieht nach Kriterien vergleichbarer natürlicher landwirtschaftlicher Ertragsfähigkeit, wobei geologische, topographische und klimatische Gegebenheiten maßgeblich sind (LEL, 2010, 54ff). Zur Bildung der für den Modellansatz benötigten Betriebsmodelle werden die Buchführungsdaten des Testbetriebsnetzes von Baden-Württemberg verwendet. Die Einteilung und die Auswahl der typischen Betriebe erfolgt nach Betriebstypen anhand der EU-Klassifizierung (LEL, 2010, 73). Die Kapazitäten der ausgewählten typischen Betriebe bilden den Restriktionsrahmen des linearen Optimierungsprozesses. Kernstück von EFEM ist das Produktionsmodul. Hiermit werden die wichtigsten Produktionsverfahren der Tier- und Pflanzenproduktion abgebildet. Diese lassen sich hinsichtlich Erträge, Intensitäten, Leistungen und Kosten regional unterscheiden. Für die Option des Energiepflanzenanbaus wurden im

Modell die Produktionsverfahren der gängigen einjährigen Kulturen wie Silomais, Winterraps sowie Getreide und Zuckerrüben zur Ethanolherstellung und die mehrjährigen Kulturen Miscanthus und Kurzumtriebsplantagen (Weide und Pappeln) integriert. Des Weiteren kann Stroh zur Wärmeproduktion genutzt werden, sofern die im Modell integrierte Humusbilanz eingehalten wird (TRIEBE, 2007, 62ff). Im Produktionsmodul sind auch die Komponenten zur Ermittlung von Treibhausgasemissionen integriert. Dabei werden die erwarteten Emissionen je nach Entstehungsort unterschiedlichen Produktionsbereichen zugeordnet: dem vorgelagerten Bereich, der Landwirtschaft und dem nachgelagerten Bereich. Letzterer erfasst insbesondere die Emissionen, die zur Umwandlung der Bioenergiepflanzen in den jeweiligen Energieträger entstehen. Hierdurch lässt sich der Netto-Substitutionseffekt der angebauten Energiepflanzen ableiten (KAULE, 2011, 63).

Die Validierung und Kalibrierung von EFEM erfolgte anhand der regionalen Daten zur Agrarstrukturhebung von 2003. Hierbei wird ein Abgleich der modellierten Tierzahlen und der Flächennutzung durchgeführt. In einem weiteren Schritt wurde die Datengrundlage von EFEM auf das Jahr 2015 fortgeschrieben und ein business as usual Szenario (BAU\_2015) als Vergleichszenario definiert. Dieses Jahr wurde gewählt, da man insbesondere für die benötigten Input-Daten<sup>1</sup> auf sektorale Analysen im Rahmen des Health Checks zurückgreifen konnte (OFFERMANN et al. 2009, 20 ff; KAULE et al., 2011, 65f, 75f). Darauf aufbauend wurden zur Untersuchung des Anbaupotenzials für Bioenergiepflanzen zwei verschiedene Szenarien definiert. BioE30: Bioenergiepflanzen dürfen auf maximal 30% der Landnutzungsfläche angebaut werden. BioE100Mj: auf 30% der durch eine GIS-basierte Standortanalyse ermittelten Eignungsfläche für mehrjährige Kulturen dürfen diese angebaut werden (ANGENENDT et al., 2011, 178). Die restliche Fläche kann entweder zur Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln oder für einjährige Energiepflanzen genutzt werden. Mit Hilfe dieses Szenarios soll die Option eines massiven Anbaus von Bioenergiepflanzen simuliert werden. In beiden Biomassenszenarien darf Grünland bis

---

<sup>1</sup> Die prognostizierten Betriebsmittel- und Erzeugerpreise für 2015 wurde von Dr. Petra Salamon, Institut für Marktanalyse und Agrarhandelspolitik, Johann Heinrich von Thünen-Institut zur Verfügung gestellt.

zur gesetzlich erlaubten Grenze umgebrochen werden.<sup>2</sup> Die dabei freigesetzten CO<sub>2</sub>-Emissionen werden modellintern erfasst und gehen in die Gesamtbilanz mit ein (KAULE et al., 2011, 18). Die Preise für die Energiepflanzen wurden aus Preisstatistiken abgeleitet und analog der sonstigen im Modell integrierten Preise fortgeschrieben (KAULE et al., 2011, 65f, 75f). Die Ergebnisse sollen nachfolgend an ausgewählten Untersuchungsregionen aufgezeigt werden: einer günstigen Ackerbauregion (Unterland/Gäue), einer extensiven Futterbauregion (Alb/Baar) und einer intensiven Futterbauregion (Allgäu) sowie für Baden-Württemberg insgesamt.

### 3. Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die Auswirkungen eines verstärkten Anbaus von Bioenergiepflanzen auf die Ackernutzung. Es zeigt sich, dass der Silomaisanbau insbesondere in der Ackerbauregion, in der extensiven Futterbauregion sowie in Baden-Württemberg insgesamt stark ausgedehnt wird. Er steigt bei weiterer Lockerung der Anbaurestriktionen in BioE100Mj gegenüber BioE30 weiter an. So würde dann in Baden-Württemberg auf einem Flächenanteil von mehr als 30% Silomais für die Biogasproduktion angebaut werden. Demgegenüber lösen die Bioenergieszenarien in der intensiven Futterbauregion deutlich geringere Änderungen der Ackernutzung aus. Hier bleibt der Anbau von Futterpflanzen für die Milchviehhaltung dominierend. Die Ergebnisse des Szenarios BioE100Mj zeigen, dass insbesondere in der Ackerbauregion der Anbau von mehrjährigen Kulturen zur Energieproduktion eine wirtschaftliche Alternative zu den einjährigen Kulturen darstellt. In dieser Region würden ca. 28% der Ackerfläche mit Miscanthus bepflanzt. Das entspricht nahezu 100% der durch die Modellrestriktionen limitierten Fläche für mehrjährige Kulturen. Im Landesdurchschnitt würden auf 18% der Ackerfläche mehrjährige Energiepflanzen angebaut, wodurch das durch die Modellrestriktionen vorgegebene Flächenpotenzial zu fast 90% ausgeschöpft würde. Das Ausmaß der Tierproduktion bleibt in allen Regionen durch die Anbauoption von Energiepflanzen unbeeinflusst.

---

<sup>2</sup> In Baden-Württemberg wurde, nach Beendigung des Forschungsprojektes, zum 1. Juli 2011 ein Umbruchverbot von Dauergrünland eingeführt.

Die Einkommenssituation der landwirtschaftlichen Betriebe in Baden-Württemberg differiert deutlich zwischen den einzelnen Untersuchungsregionen. So ist der flächenbezogene Deckungsbeitrag im Szenario BAU\_2015 in der intensiven Futterbauregion mehr als doppelt so hoch wie in der Ackerbauregion (vgl. Abb. 2). Diese profitiert wiederum am deutlichsten von der Option des Energiepflanzenanbaus. Während in der extensiven Futterbauregion und im Landesdurchschnitt in BioE100Mj ein Zuwachs von knapp 20% gegenüber BAU\_2015 erzielt würde, liegt dieser in der Ackerbauregion bei 30%. Da die Bioenergieszenarien in der intensiven Futterbauregion gegenüber BAU\_2015 kaum Auswirkungen auf die Produktionsstruktur haben, sind hier auch die Einkommenswirkungen am geringsten.

Das Energiepotenzial je Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche liegt je nach Untersuchungsregion und Bioenergieszenario zwischen knapp 3.000 kWh (int. Futterbauregion, BioE30) und ca. 25.000 kWh (Ackerbauregion, BioE100Mj). Mit der in BioE100Mj auf Landesebene produzierten Energiemenge ließe sich etwa 5,5% des Primärenergieverbrauchs von Baden-Württemberg in 2009 abdecken.

Die Auswirkungen der untersuchten Bioenergieszenarien auf die Treibhausgasemissionen zeigt Abbildung 3. Dabei wird von den in EFEM berechneten Gesamtemissionen eine Gutschrift für die Energiepflanzen, die sich durch die Substitution von fossilen Energieträgern ergeben würde, abgezogen. Die sich hierdurch ergebende Treibhausgasbilanz fällt erwartungsgemäß in Abhängigkeit der Produktionsstruktur und dem Umfang des Energiepflanzenanbaus regional sehr unterschiedlich aus. So ist im Szenario BAU\_2015 die Bilanz der intensiven Futterbauregion, durch die mit der Rinderhaltung verbundenen systemimmanenten hohen Methanemissionen, doppelt so hoch wie in der Ackerbauregion. Das Reduktionspotenzial des Bioenergiepflanzenanbaus auf die Treibhausgasbilanz wirkt sich bei der Ackerbauregion am deutlichsten aus. Hier ist die Gutschrift für die Energiepflanzen so hoch, dass sich die Landwirtschaft in beiden untersuchten Bioenergieszenarien zu einer Senke von Treibhausgasemissionen entwickeln würde. Auf Landesebene ist dies erst bei Szenario BioE100Mj der Fall. Die extensive Futterbauregion bleibt in beiden Bioenergieszenarien eine leichte Quelle von Treibhausgasemissionen. Bei der intensiven Futterbauregion führen die in der Analyse festgelegten Szenariendefinitionen sogar zu einem leichten Anstieg der Treibhausgasbilanz ge-

genüber dem Vergleichszenario BAU\_2015. Hier führt der in den Bioenergieszenarien bis zur gesetzlichen Grenze erlaubte Grünlandumbruch zu einem Anstieg der Treibhausgasbilanz, da das neu gewonnene Ackerland nicht zum Anbau von Bioenergie, sondern für Ackerfutter genutzt würde.

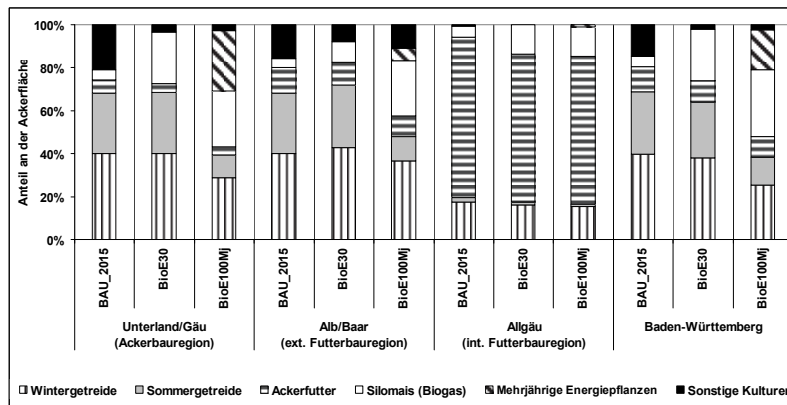


Abb. 1: Auswirkung der Modellszenarien auf die Ackernutzung in den Untersuchungsregionen

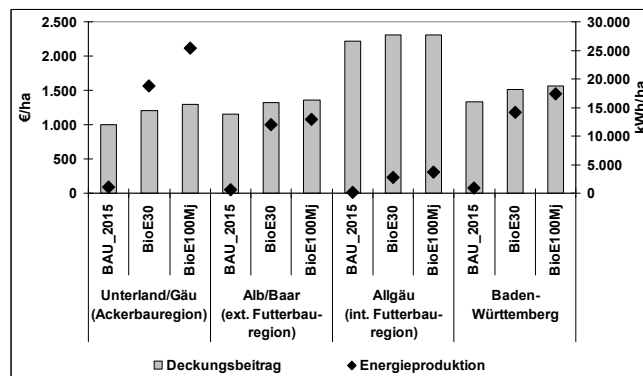


Abb. 2: Auswirkungen der Modellszenarien auf die Einkommenssituation und die Energieproduktion in den Untersuchungsregionen

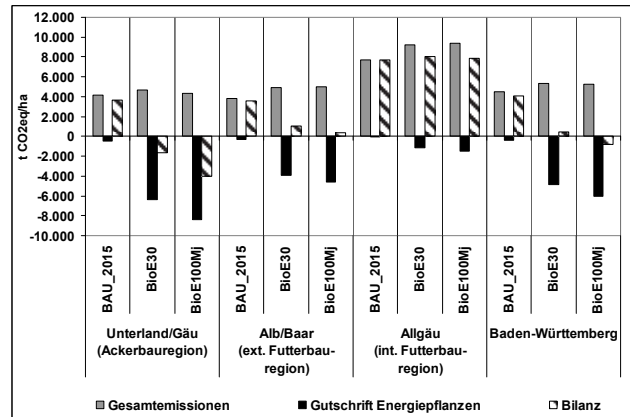


Abb. 3: Auswirkungen der Modellszenarien auf die Höhe der Treibhausgasemissionen der Untersuchungsgebiete

#### 4. Schlussfolgerungen und Diskussion

Die Ergebnisse von statischen linearen Programmierungsmodellen, wie das hier verwendete EFEM-Modell, sind insbesondere von den exogen vorgegebenen Preisen abhängig. So würden sich im Falle der zuvor aufgezeigten starken Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus, die Preise für Nahrungs- und Futtermittelpreise erhöhen, sofern dieser Markt nicht von Produzenten außerhalb Baden-Württembergs bedient würde. Eine ausführliche Sensitivitätsanalyse mit systematisch variierenden Erzeugerpreisen wurde im Rahmen des Projektes durchgeführt (KAULE et al., 2011, 108ff). Dabei führt erwartungsgemäß eine Erhöhung der Preise für Nahrungs- und Futtermittel zu einer Einschränkung des Anbaus von Silomais für Biogasanlagen bei gleichzeitiger Ausdehnung des Getreideanbaus. Überraschend dabei war der relativ stabile Anbauumfang der mehrjährigen Kultur Miscanthus. Die aus betriebswirtschaftlicher Sicht hohe relative Vorzüglichkeit dieser Kultur, ist auch auf die bei den Modellszenarien für 2015 prognostizierten hohen Preise für Betriebsmittel zurückzuführen. In der Realität spielen bei den Landwirten, hinsichtlich einer langfristigen Flächenbindung, Gesichtspunkte wie die vergleichsweise hohen Investitionskosten bei der Pflanzung und die Einstellung zu unternehmerischem Risiko, eine bedeutende Rolle, die in dem hier verwendeten Untersuchungsansatz nicht berücksichtigt wurde. Hier können Modellansätze, wie das von



MUSSHOFF und JERCHEL (2010, 185f) verwendete Realloptionsmodell, durch die Berücksichtigung von komplexeren Planungsannahmen, die in der Realität beobachtete Anbauzurückhaltung besser erklären.

Die Bewertung des Beitrags von landwirtschaftlichen Bioenergiepflanzen zum Klimaschutz ist insbesondere von den gesetzten Bilanzgrenzen abhängig. So berücksichtigt der hier vorgestellte Modellansatz zwar die durch die Ausweitung des Energiepflanzenanbaus verursachten Emissionen von Futtermittelimporte und von Grünlandumbruch, infolge eines direkten Landnutzungswandels. Emissionen durch induzierten indirekten Landnutzungswandel werden hingegen nicht berücksichtigt. Auch gehen die Treibhausgasemissionen, die ein potenzieller Mehrbedarf an Nahrungsmittelimporten verursachen würde, nicht in die Bilanz an. Derzeit gibt es eine Vielzahl von wissenschaftlichen Arbeiten die versuchen, den Beitrag der landwirtschaftlichen Produktion auf die globalen indirekten Landnutzungsänderungen zu zuordnen. Dies ist insbesondere für die vollständige Erfassung von produktbezogenen Carbon Footprints von großer Bedeutung (PONSIOEN und BLONK, 2011, 121 f; Fritsche et al., 2010, 14ff). Bei einer Bewertung des Beitrags landwirtschaftlicher Bioenergiepflanzen zu den nationalen Reduktionsverpflichtungen auf Basis der nationalen Emissionsberichterstattung spielen Landnutzungsänderungen außerhalb des Landes noch keine Rolle.

### Danksagung

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt NawEnNat wurde im Rahmen des Förderprogramms BWPLUS (Baden-Württemberg Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung) finanziert.

### Literatur

- ANGENENDT, E., KONOLD, A., JOOB, R., BAHRS, E. und ZEDDIES, J. (2011): Nachhaltiger Anbau von Bioenergie - Eine Ökonomisch-Ökologische Analyse für das Umweltministerium in Baden-Württemberg. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus, Band 46, 117-188.
- BLANK, D. (2011): Agriculture as Emission Source and Carbon Sink: Economic-Ecological Modelling for the EU-15. In: Zeddies, J. (Hrsg): Agrarökonomische Forschung, Band 12/2011, ISSN 1862-4235. Hohenheim.
- FRITSCHKE, U., HENNENBERG, K. and HÜNECKE, K. (2010): The „iLUC Faktor“ as a mean to Hedge Risks of GHG Emissions from Indirect Land Use Change. Oeko Institut Working Paper.

- GÖMMAN, H., KREINS, P., MÜNCH, J. und DELZEIT, R. (2011): Auswirkungen der Novellierung des Erneuerbare-Energiegesetzes auf die Landwirtschaft in Deutschland. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus, Band 46, 189-201.
- HEIBENHUBER, A. und ZEHETMEIER, M. (2008): Klima, Landwirtschaft und Ernährungssicherung. Klimawandel und Ökolandbau. KTBL-Schrift 472, 7-22.
- KAULE, G., STAHR, K. und ZEDDIES, J. (2011): Nachwachsende Energieträger und Biodiversität: naturschutzbezogene und ökonomische Entwicklung und Bewertung von Anbauszenarien (NawEnNat) und Abschätzung der Produktionspotenziale für den Anbau von Energiepflanzen zur CO<sub>2</sub>-Bindung in Baden-Württemberg und deren ökologische und ökonomische Bewertung. Forschungsbericht BWPLUS. URL: <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de> (4.04.2012)
- LEL (Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der Ländlichen Räume) (2010): Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse. Heft 58.
- MUSSHOFF, O. und JERCHEL, K. (2010): Die Umstellung landwirtschaftlich genutzter Flächen auf Kurzumtriebsplantagen – Eine Anwendung des Realoptionsansatzes. Allgemeine Forst und Jagzeitung, 181, 9/10, 175-187.
- OFFERMANN, F., BROCKMEIER, M., GÖMANN, H., KLEINHANS, W., KREINS, P., LEDEBUR, VON. O., OSTERBURG, B., PELIKAN, J. und SALAMON, P. (2009): vTI-Baseline 2008. vTI Sonderheft 325.
- PONSIONEN, T. C. and BLONK, T. J. (2012): Calculating land use change in carbon footprints of agricultural products as an impact of current land use. Journal of Cleaner Production, 28, 120-126.
- SCHÖNHART, M., SCHAUPPENLEHNER, T., SCHMID, E. and MUHAR, A. (2011): Integration of bio-physical and economic models to analyze management intensity and landscape structure effects at farm and landscape level. Agricultural systems, 104, 122-134.
- TRIEBE, S. (2007): Möglichkeiten zur Verminderung von Treibhausgasen aus der Landwirtschaft in den Bundesländern Brandenburg und Niedersachsen. Lohmar – Köln: Josef EUL Verlag.

#### **Anschrift der VerfasserInnen**

*Dr. Elisabeth Angenendt, Angelika Konold,  
Prof. Dr. Enno Bahrs und Prof. Dr. Jürgen Zeddies  
Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410B), Universität Hohenheim  
Schloss Osthof Süd, 70593 Stuttgart, Deutschland  
Tel.: +49 711 45922569  
eMail: Elisabeth.Angenendt@uni-hohenheim.de, Angelika.Konold@uni-hohenheim.de,  
bahrs@uni-hohenheim.de und Juergen.Zeddies@uni-hohenheim.de*