

## **Energietechnik (Alternative Energien)**

Josef Boxberger, Andreas Gronauer, Gerhard Moitzi,  
Institut für Landtechnik, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für  
Bodenkultur, Wien

### **Kurzfassung**

Die agrarische Produktion beruht auf dem Einsatz des begrenzten Faktors technischer Energie, woraus sich die geforderte Energie- und Kraftstoffeffizienz ableitet. Der technische Fortschritt und dem wachsenden Bewusstsein Energie zu sparen sind Triebfedern die Energieeffizienz in der agrarischen Produktion zu verbessern. Der Einsatz von alternativen Energieträgern wie Pflanzenkraftstoffe und Biogas aus der kaskadischen Nutzung stellt einen bedeutenden Beitrag um die Abhängigkeit von fossiler Energie im Landwirtschaftssektor zu mindern.

### **Schlüsselwörter**

Energieeffizienz, Kraftstoffeffizienz, Biokraftstoffe, Biogas

## **Energy management (Renewable Energies)**

Josef Boxberger, Andreas Gronauer, Gerhard Moitzi,  
Institut für Landtechnik, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für  
Bodenkultur, Wien

### **Abstract**

Agricultural production is based on the use of the limited factor technical energy, which leads to the necessity of energy- and fuel efficiency. The technical progress and the increased awareness of saving energy are important promoters to improve the energy efficiency in agricultural production. The application of alternative energy carriers like plant-based fuels (biofuel) and biogas from multipurpose utilisation is a significant contribution to mitigate the dependence from fossil energy in agriculture sector.

### **Keywords**

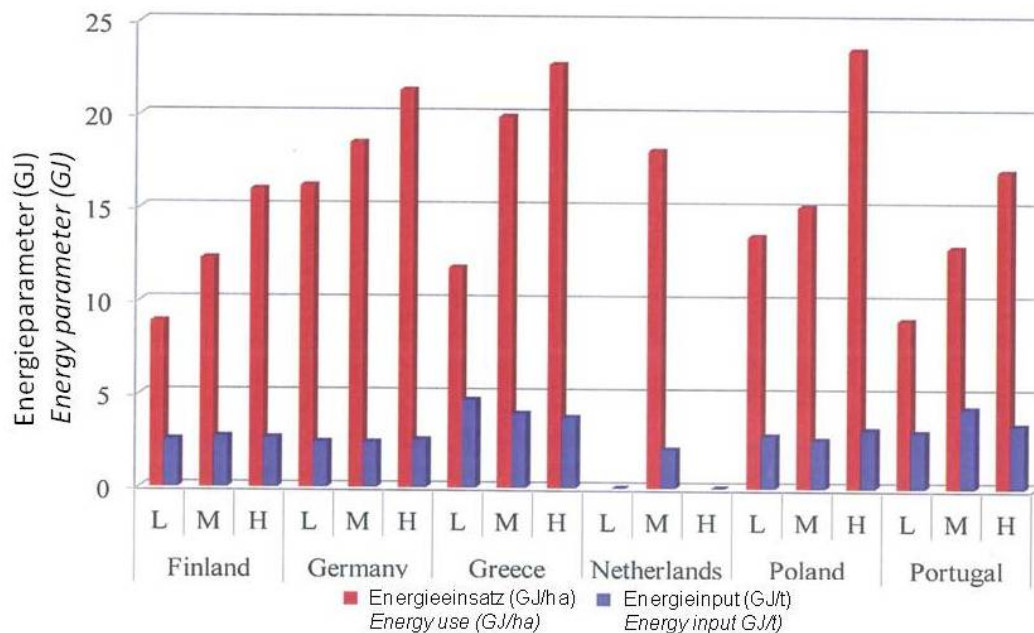
Energy efficiency, fuel efficiency, biofuel, biogas

Prognosen einer rückläufigen Rohölförderung (IEA, 2012, Bölkow-Stiftung 2012), internationale und nationale Ziele des Klimaschutzes (IPCC, EU-Klimaschutzziele, BMU 2010) und ein weltweit steigender Versorgungsanspruch für Lebensmittel stellen gleichgerichtete Forderungen an die Produktion von Rohstoffen des Pflanzenbaus. War zunächst die Stimmung gegenüber der Nutzung von Biomasse für die Energiegewinnung durchaus positiv, so hat sich im Laufe der Zeit ein kontroverser gesellschaftlicher Konflikt entwickelt, der schon vor Jahren eine ethische Diskussion ausgelöst hat. Ein erster Höhepunkt dieser Diskussion ergab sich aus der Situation, dass der Getreidepreis schon vor dem Jahr 2000 unter den Brennstoffpreis sank und der Wunsch aufkeimte, Getreide als Brennstoff einzusetzen.

In einer im letzten Jahr erschienenen Studie wurde neuerdings der Versuch unternommen, ein sozialetisches Diskussionsmodell für die Nutzung von Energie aus Biomasse zu entwickeln. Auf der Basis von Fallbeispielen entstand so eine bewertende Matrix nach den ethischen Prinzipien Wohlergehen, Autonomie und Gerechtigkeit für die Betroffenen (Landwirte, Verwerter, Energiekonsument, Nahrungsmittelkonsumenten, zukünftige Generationen usw.) [16].

### **Energie- und Kraftstoffeffizienz**

Für einen landwirtschaftlichen Betrieb ist sowohl ein hoher Energieinput als auch ein unnötig verminderter Energiesaldo wirtschaftlich und ökologisch unerwünscht. Sie bewirken zum einen eine vermehrte CO<sub>2</sub>-Emission aus fossilen Energieträgern und zum anderen eine unzureichende Faktoreffizienz infolge energetisch ungünstiger Verfahrensabläufe. Angesichts der Energiepreise gewinnt der Energieeinsatz bzw. die Energieeffizienz in der Landwirtschaft mehr an Bedeutung. Das EU-Projekt "Agriculture and Energy Efficiency" (AGREE; [www.agree.aua.gr](http://www.agree.aua.gr)) untersucht in einem integrierten Ansatz den Energieeinsatz von landwirtschaftlichen Erzeugnissen unter spezieller Berücksichtigung des "Trade-offs" zwischen Energieeffizienz, Ökonomie und Ökologie. Erste Ergebnisse zeigen, dass der flächen- und produktbezogene Energieaufwand in der Weizenproduktion zwischen den untersuchten Ländern (FI, DE, GR, NL, PL, ES) je Bewirtschaftungsintensität schwanken (**Bild 1**).



**Bild 1:** Energieeinsatz und -input in der Weizenproduktion bei drei Produktionsszenarien (L, M, H - geringer, mittlerer, hoher Energieeinsatz) [1].

**Figure 1:** Energy use and input of wheat production in three production scenarios (L, M, H - Low, Medium, High energy input) [1].

Dabei nimmt der indirekte Energieeinsatz über den mineralischen N-Dünger den größten Beitrag ein. Die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der Maßnahmen wie teilflächenspezifische Düngung "Precision Farming", verringerte N-Düngung oder Optimierung der Trocknungstechnik (z.B. thermische Isolierung, Integration von Wärmepumpen zur Nutzung der Restwärme) zur Steigerung der Energieeffizienz in der Weizenproduktion wurden in [9] untersucht.

Um den Einsatz des Energieträgers Dieselkraftstoff in der Landwirtschaft zu reduzieren, werden kurzfristige, mittelfristige und langfristige Maßnahmen verfolgt. Gerade bei den kurzfristigen Maßnahmen, die keiner unmittelbaren Investition bedürfen, liegen große Einsparungspotenziale, die durch den Fahrer aktiv beeinflusst werden können. Durch gezielte Schulung der Fahrer kann dieses Potenzial realisiert werden [12].

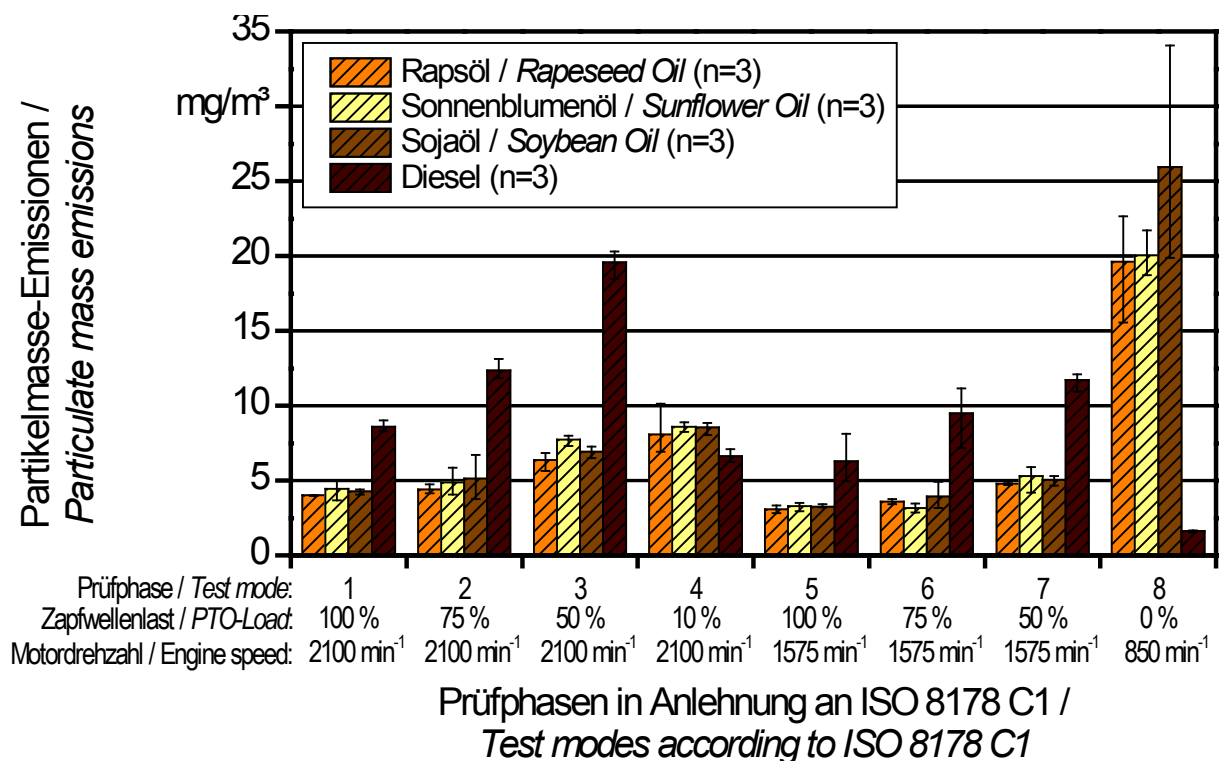
Die Bodenbearbeitung stellt eine energieintensive Maßnahme dar, bei der pro 1 cm Bearbeitungstiefe 100 m<sup>3</sup>/ha bzw. 150 t Boden/ha bewegt werden. Langjährige Untersuchungen (17 Jahre) aus Kanada [8] haben nachgewiesen, dass eine mehrjährige organische Düngung mit Stallmist bzw. Rottemist im Vergleich zur mineralischen Düngung den Zugkraftbedarf und somit auch den Kraftstoffbedarf beim Pflügen um bis zu 35 % verringerte. Zahlreiche technische Maßnahmen (Reifendruckregelanlagen, richtige Ballastierung, etc.) stehen zur Verfügung um die Energieumwandlung bei der Bodenbearbeitung zu erhöhen. Untersuchungen beim Pflügen mit Traktionsverstärkung zeigen, dass der Kraftstoffeinsatz um 10% vermindert werden kann [10].

In der Bodenbearbeitung setzt sich der Trend zur pfluglosen Bewirtschaftung fort, bei dem Kraftstoffeinsparungen bis zu 80 % (Direktsaat) realisiert werden können. Eine Alternative zu den Mulch- und Direktsaatsysteme sind die zur Zeit untersuchten Strip-Tillage-Systeme bei Zuckerrübe, Raps und Mais [4, 6], bei denen Kraftstoffeinsparungen von 55 % erreicht werden können [6].

### Biokraftstoffe

Seit 2008 bieten führende Traktorenhersteller Traktoren mit serienmäßigen Rapsölmotoren an (siehe auch Jahrbuch Agrartechnik 2009). Um die Rohstoffbasis zu erweitern, wäre es wünschenswert, neben Rapsöl auch andere Pflanzenöle einzusetzen. Da die Auswirkungen anderer Pflanzenöle hinsichtlich des Abgasverhaltens weitgehend unbekannt sind, wurde in einem Forschungsprojekt der Ausstoß von Abgasen bei Verwendung von Dieseldieselkraftstoff, Rapsöl, Sonnenblumenöl und Sojaöl untersucht [14].

Die eingesetzten Traktoren zeigten mit den Pflanzenölkraftstoffen (DIN SPEC 51623) einen signifikant geringeren Ausstoß an Kohlenwasserstoffen und Feinstaub. Bei Sonnenblumenöl und Sojaöl ergab sich ein ähnliches Emissionsverhalten wie bei Rapsöl (**Bild 2**). Zur Nutzung dieser erweiterten Rohstoffbasis sind jedoch noch weitere Untersuchungen über die Langzeit-Auswirkungen auf die Motoren erforderlich.



**Bild 2:** Partikelmasse-Emissionen eines pflanzenötauglichen Traktors für alle acht Prüfphasen bei Verwendung von Rapsöl, Sonnenblumenöl, Sojaöl und Diesel [14].

**Figure 2:** Particulate mass-emissions of a plant oil compatible tractor for each of the eight test modes during operation with rapeseed oil, sunflower oil, soybean oil and diesel [14].

## **Biogas**

Unter den eingangs erwähnten Bedingungen ist längerfristig davon auszugehen, dass sich das Verfahren der Biogasproduktion zunehmend von der Nutzung nachwachsender Rohstoffe auf sekundäre Rohstoffe verlagern wird bzw. am Ende einer Nutzungskaskade, bzw. Bioraffinerie stehen wird. Gleichzeitig gilt es die Verfahrenstechnik weiterzuentwickeln und die Ressourceneffizienz zu steigern. Verfahrenstechnisch nehmen diese Herausforderungen ihren Ausgangspunkt in der Produktion pflanzlicher Rohstoffe [3], deren Aufbereitung und Konservierung, gefolgt von Maßnahmen zur Intensivierung des mikrobiologischen Prozesses, seiner Überwachung, Ansätzen zur Prozessregelung, effizienten Gasnutzung sowie verbesserten Sicherheitstechnik und Umweltschutzmaßnahmen. In allen Bereichen hat es in den letzten Jahren technische Fortschritte auf der Basis von Entwicklungen und Forschungsaktivitäten gegeben.

### *Erschließung lignozellulosehaltiger Ausgangsmaterialien und Grünlandaufwuchs*

Wie erwartet hat in Deutschland die Vorgabe, dass das Gärsubstrat 150 Tage im gasdichten Fermentersystem verweilen muss (VDI-Richtlinie 3475) dazu geführt, dass technologische Entwicklungen der Substrataufbereitung in Deutschland rückläufig sind. Dennoch zeigen diverse internationale Veröffentlichungen, dass gerade in diesem Feld hohe Potenziale liegen, die Effizienz der Substratverwertung entscheidend zu verbessern. Neuere Untersuchungen zeigen, dass bei Einsatz von Silagen und Verweilzeiten von über 100 Tagen bei Raumbelastungen unter 1,5 kg oTS/m<sup>3</sup>\*d (im gesamten, gasdicht abgedeckten Raum) deutlich verminderte Restgaspotentialmengen erreicht werden. Beim Einsatz von leicht abbaubaren Substraten, wie z.B. Rüben, oder wenn die biologische Abbaubarkeit der Substrate durch Aufbereitungstechnologien erhöht wird, ist von einer drastischen Verkürzung der nötigen Verweilzeiten auszugehen, vorausgesetzt die Biogasproduktion erfolgt unter stabilen Prozessbedingungen. Dies zeigt z.B. der Einsatz von Stroh, generell arm an leicht abbaubaren Bestandteilen wie z.B. Proteinen und reich an Strukturkohlehydraten wie Cellulose und Hemicellulose. Da diese jedoch zusammen mit Lignin im sogenannten Lignocellulosekomplex verbunden sind, müssen sie erst für die Mikroorganismen im Fermenter verfügbar gemacht werden [13, 11].

Aufgrund der Verpflichtung zur Erhaltung des Dauergrünlandes und rückläufigen Tierzahlen im Bereich der Rindermast und beim Milchvieh wird die Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung künftig an Bedeutung gewinnen. Eine aktuelle Übersicht geben [15]. Die Verwendung von Gras im fermentativen Prozess stellt hohe und vor allem andere Ansprüche an die Anlagentechnik, wie die reine Maisverwertung. Die wichtigste Voraussetzung ist die mechanische Zerkleinerung des Grases vor dem Zufügen in die Biogasanlage. Die Halmlänge sollte so kurz wie möglich sein.

### *Anlagensicherheit bei Biogasanlagen*

Der sprunghafte Anstieg der Unfallzahlen ist auf eine erhöhte Bautätigkeit (Neuzulassung und Erweiterung von Anlagen) zurückzuführen. Ein zweiter wichtiger Aspekt sind die Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten. Allein im Jahr 2009 ereigneten sich in Deutschland

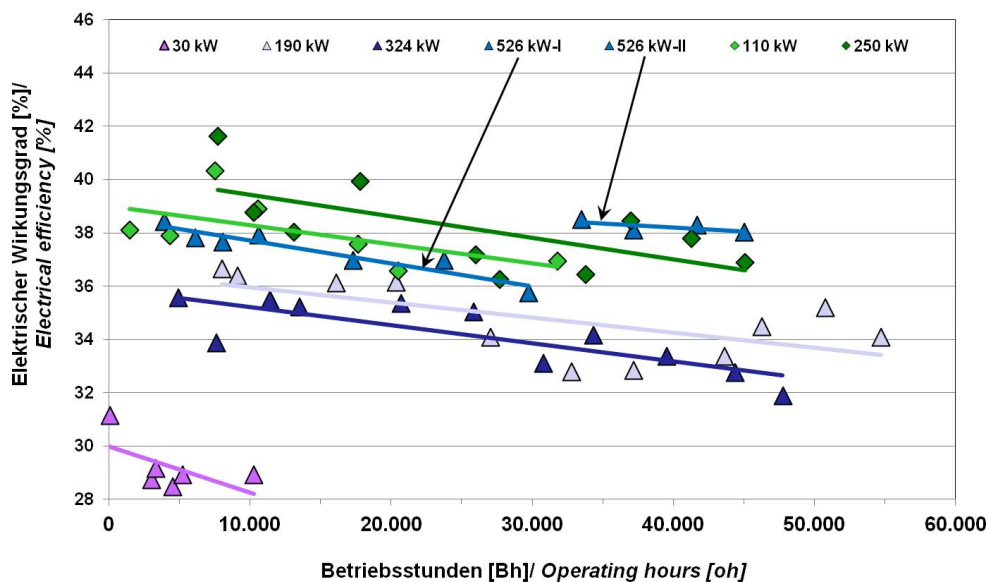
52 % der Unfälle im Bereich von Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten. Wesentliche Ursachen liegen in folgenden Bereichen:

- Austausch von defekten Rührwerken bzw. Teilen davon.
- Verschleiß von Fütterungs- und Einbringtechnik.
- Probleme mit der Heizleistung.
- Zunehmende Sedimentierung d. h. absetzen von Sand, Kies und Steinen, die zu Lasten des Faulraumes gehen.
- Leckagen an Bullaugen, Überdrucksicherungen, Gasspeichersystemen, etc.

Für die Praxis als erschwerend muss die unübersichtliche Rechts-/Verordnungslage gewertet werden. Derzeit sind ca. 30 relevante gesetzliche technische Regeln wie TRBS, BGVs, etc. und mindestens 50 untergeordnete technische Richtlinien (DIN, DVGW, DWA, VDI, ...) zu beachten.

### Effiziente Stromerzeugung mit BHKW

Da einerseits der elektrische Wirkungsgrad der BHKW einen starken Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hat und andererseits dieser eventuell nicht auf dem Niveau der prüfstandsermittelten Herstellerangaben liegt und sich zudem im Verlauf der Betriebszeit reduziert, sind Erkenntnisse über den Wirkungsgradverlauf und Maßnahmen zur Verbesserung des Wirkungsgrades für die Betreiber von besonderer Bedeutung. In Langzeituntersuchungen wurde die Entwicklung des Wirkungsgrades an unterschiedlichen BHKW erfasst [2].



**Bild 3:** Entwicklung des elektrischen Wirkungsgrades unterschiedlicher BHKW über die Betriebsdauer [2].

**Figure 3:** Course of the electric efficiency of different CHPU [2].

Die Untersuchungen haben ergeben, dass der elektrische Wirkungsgrad während der Betriebsdauer um 2,7 bis 4,7 % absinkt. Eine sorgfältige Wartung wirkt dem Absinken des Wirkungsgrades ebenso entgegen wie eine Generalüberholung. Den besten Effekt erzielten diese Maßnahmen, wenn sie vom BHKW-Hersteller durchgeführt wurden.

Im Gegensatz zu anderen Möglichkeiten der Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen bietet die Nutzung von Biogas den Vorteil, zeitlich unabhängig von Sonne, Wind und anderen direkten Umwelteinflüssen zu sein. Allerdings liefert derzeit ein Großteil der bestehenden Biogasanlagen nur eine nahezu konstante Grundlastenergie. Die Anpassung der Biogasproduktion an wechselnde Lastgänge bzw. Bedarfsszenarien ist jedoch auf verschiedene Weise denkbar. Im Zusammenspiel der erneuerbaren Energieträger stellt sich zunehmend heraus, dass im Gegensatz zur solaren und aeolischen Energiegewinnung die Rolle der Biomasse und insbesondere des Biogasverfahrens als Systemdienstleister in Stromnetzen Regel- bzw. Spitzenlasten abdecken kann [7].

Vor diesem Hintergrund gilt es Technologien sowohl für die Biogaserzeugung als auch Speicherung, Aufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz adäquat weiter zu entwickeln. So gibt [5] an, dass in 2011 die Anzahl der Gasaufbereitungs- und einspeiseanlagen in Deutschland von ca. 50 auf über 120 mehr als verdoppelt hat. Die mit diesen Technologien verbundenen Herausforderungen greifen weit über den Bereich der Agrartechnik in die Energietechnik hinaus, sollten aber zukünftig vermehrt im interdisziplinären Verbund bearbeitet werden, da sie in der landwirtschaftlichen Praxis bereits präsent geworden sind.

### **Zusammenfassung**

Der Energieeinsatz und die Bereitstellung von Energie aus der Landwirtschaft befindet sich aufgrund der steigenden Energiepreise in einem Wandel. Der technische Fortschritt und dem wachsenden Bewusstsein Energie zu sparen sind Triebfedern die Energieeffizienz in der agrarischen Produktion zu verbessern. Alternative Energieträger wie Pflanzenkraftstoffe und Biogas aus der kaskadischen Nutzung stellen einen bedeutenden Beitrag um die Unabhängigkeit von fossiler Energie in der Landwirtschaft zu erhöhen.

## Literatur

- [1] AGREE (2012): Agriculture and Energy Efficiency - AGREE. 2nd Project Newsletter. May 2012.
- [2] Aschmann, V., Effenberger, M. (2012): Elektrische Wirkungsgrade von biogasbetriebenen BHKW. Landtechnik 67 Jhrg. H. 2, S. 118-121.
- [3] Bauer, A., Leonhartsberger, C., Bosch, P., Amon, B., Friedl, A., Amon T. (2010): Analysis of methane yields from energy crops and agricultural by- products and estimation of energy potential from sustainable crop rotation systems in EU-27. Clean Technologies and Environmental Policy, 12, 153-161.
- [4] Demmel, M., Brandhuber, R. Kirchmeier, H. (2012): Strip Tillage for corn and sugar beet – results of a three year investigation on three locations. In: CIGR-AgEng, "Agriculture & Engineering for a Healthier Life" International Conference of Agricultural Engineering. CIGR-AgEng 2012, Valencia, Spain.
- [5] Grope, J., (2012): Biomethanbereitstellung, -verteilung und -nutzung in Deutschland - Ergebnisse zweier Marktmonitoring. Fachverband Biogas e.V., Tagungsband 2012, S. 195 – 203.
- [6] Hermann, W.: Strip-Till: Streifenlockerung bei Zuckerrüben, Raps und Mais - Alternative zur Mulch- und Direktsaat. In: LOP Landwirtschaft ohne Pflug, Heft 7, 2008, S. 31-34.
- [7] Holzhammer, U., Hochloff, P. (2011): Steuerbare und bedarfsorientierte Stromerzeugung aus Biogas und Biomethan, 6. VDI Fachtagung Biogas – Energieträger der Zukunft, Braunschweig, 8. und 9. Juni 2011.
- [8] McLaughlin, N., Liang, A., Ma, B.L., Gregorich, E., Morrison, M., Burt, S., Patterson, S., Evenson, L. (2012): Effect of organic and inorganic nitrogen amendments and crop rotation in tillage energy in a clay loam soil. In: CIGR- AgEng, "Agriculture & Engineering for a Healthier Life" International Conference of Agricultural Engineering. CIGR-AgEng 2012, Valencia, Spain
- [9] Meyer-Aurich, A., Ziegler, T., Jubaer, H., Scholz, L., Dalgaard, T. (2012): Implications of energy efficiency measures in wheat production. In: CIGR-AgEng, "Agriculture & Engineering for a Healthier Life" International Conference of Agricultural Engineering. CIGR-AgEng 2012, Valencia, Spain.
- [10] Moitzi, G., Haas, M., Wagentristl, H., Boxberger, J. & Gronauer, A. (2012): Specific Energy consumption and field performance in ploughing and cultivating with consideration on traction improvement. In: CIGR-AgEng, "Agriculture & Engineering for a Healthier Life" International Conference of Agricultural Engineering. CIGR-AgEng 2012, Valencia, Spain.
- [11] Pereira Ramos, L (2003): The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. Quimica Nova, 26, 863-871.



- [12] Schrottmaier, J., Handler, F., Nadlinger, M., Wiederkehr, P., Miglbauer, H., Pickl, N., Krutak, R. (2009): Spritsparen mit Traktoren. Trainerhandbuch. Hrsg. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- [13] Schwarz, W. H. (2001). The cellulosome and cellulose degradation by anaerobic bacteria. Applied Microbiology and Biotechnology, 56, 634-649.
- [14] Thuneke, K., Emberger, P., T. Gassner, T., Remmele, E. (2011): Emission Behaviour of New Tractors with Different Vegetable Oils. In: Efficient and safe production processes in sustainable agriculture and forestry. XXXIV CIOSTA CIGR V Conference 2011 29 June -1 July 2011 Vienna – Austria University of Natural Resources and Life Sciences.
- [15] Thurner, S., Fröhner, A., Demmel, M., Kohler, B. (2011): Verfahrenstechnik für die Grassilageerzeugung – Überblick, Vergleich und Optimierungsmöglichkeiten. Fachverband Biogas e.V., Tagungsband 2011.
- [16] Zichy, M., Dürnberger, C., Formowitz, B., Uhl, A. (2011): Energie aus Biomasse – ein ethisches Diskussionsmodell. Viehweg und Teubner Verlag Springer Fachmedien Wiesbaden.

**Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

**Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Boxberger, Josef; Gronauer, Andreas; Moitzi, Gerhard: Energietechnik (Alternative Energien). In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2012. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2012. – S. 1-9

**Zitierfähige URL / Citable URL**

<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00043473>

**Link zum Beitrag / Link to Article**

<http://www.jahrbuch-agrartechnik.de/index.php/artikelansicht/items/108.html>