

Biogas durch Klimafarming nachhaltig produzieren

von Hans-Peter Schmidt

Zitierweise:

Schmidt, HP
Biogas durch Klimafarming nachhaltig produzieren

Ithaka Journal 1|2012: 61–66 (2012)
www.ithaka-journal.net

Herausgeber: Delinat-Institut für Ökologie und Klimafarming, CH-1974 Arbaz
www.delinat-institut.org, www.ithaka-journal.net.
ISSN 1663-0521

Biogas durch Klimafarming nachhaltig produzieren

von Hans-Peter Schmidt

Die Verstromung von Biogas aus Maismonokulturen weist eine erbärmliche Klimabilanz und vor allem eine katastrophale Ökobilanz auf. Wirtschaftlich rechnet sich die Vermaisung der Landschaft nur durch eine verirrte Subventionspolitik. Trotzdem wird die Energie- und Rohstoffgewinnung aus Biomasse eine Schlüsselrolle für die bevorstehende Energie-, Rohstoff-, Nahrungsmittel- und Umweltkrise spielen müssen. Umso wichtiger ist die ökologische Intensivierung der Biomasseproduktion und die Vernetzung mit anderen Gewinnungsformen erneuerbarer Energien.

Im ersten Teil dieses Artikels «Klimabilanz für Biogas aus Maismonokulturen» wurde gezeigt, dass bei Berücksichtigung aller Einflussgrößen, von der Düngung der Maisflächen bis zu den Methanverlusten, eine insgesamt negative Klimabilanz von $-4 \text{ t CO}_2/\text{ha}$ für die Biogasverstromung aus Maismonokulturen entsteht (siehe S. 59). Mit 330 g CO_2 pro kWh Strom ist Biogas aus konventionellen Maismonokulturen hinsichtlich der verursachten Klimagase nur geringfügig besser als die Verstromung von fossilem Erdgas. Trotzdem behaupten die ministerielle und industrielle Propaganda, die vor allem ihr katastrophales Subventions- und Investitionsgrab verteidigen, dass Biogas aus intensivem Maisanbau klimapositiv sei, da der methanisierte Mais, ja den Kohlenstoff ursprünglich

aus der Atmosphäre aufgenommen habe. Um aber eine insgesamt positive Klimabilanz behaupten zu können, muss man sich arg blind stellen für die herrschende landwirtschaftliche Praxis und ihre Folgen hinsichtlich der Emissionen von Treibhausgasen.

Korrekt freilich ist, dass das Wachstum von Biomasse der Atmosphäre CO_2 entzieht, wobei die Kohlenstoffatome (C) als Hauptelement in den pflanzlichen Zellverband eingebaut werden. Je komplexer die Kohlenstoffatome in organische Molekülketten aufgebaut und eingebunden werden, desto mehr Sonnenenergie wird dabei gespeichert und schließlich bei der Zersetzung der Biomasse, sei es durch Feuer, durch Vergärung, durch Pyrolyse oder durch bakterielle Veratmung, wieder frei. Dieser Kreislauf des Kohlenstoffs ist das grundlegende Prinzip allen Lebens auf Erden. Kohlenstoff lässt sich so lange recyceln und «erneuern», wie Sonnenenergie zur Verfügung steht und das Leben, dass diese Energie verstofflicht, noch nicht ausgestorben ist.

Wer also behauptet, landwirtschaftliche Flächen dürften nur für die Lebensmittelproduktion genutzt werden, und wer außer Lebensmittel sonst noch etwas braucht, solle schauen, woher aus der Erdgeschichte er es sich stiehlt, betrügt in seinem fundamentalistischen Eifer nicht nur sich selbst, sondern die Menschheit gleich mit. Nur das, was die Natur im Jahreszyklus hervorbringt, kann der Menschheit auch als Ressource

dienen. Alles, was darüber hinausgeht, ist Raubbau. Entweder leben 20 Milliarden nur von Brot allein oder 6 Milliarden in festen, geheizten Häusern, mit Elektrofahrrädern, Computern und Ferien im Grünen. Sei es das eine Szenario oder das andere, beides kann unmöglich das weltweite Potential der Biomasseproduktion für Lebensmittel, Rohstoffe, Energie und Ökosystemdienstleistungen übersteigen. Bodenschätze sind nur eine Hypothek, die zeitnah zurückgezahlt werden muss. Erneuerbar und damit dauerhaft verfügbar sind einzig und allein die Rohstoffe, die im biologischen Kreislauf der Biomasse Sonnenenergie akkumulieren und wieder freisetzen.

Anstatt mit halbwayen Argumenten gegen die stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse zu kämpfen, sollten sich Naturschutzorganisationen lieber für eine ökologische Intensivierung sowohl der Lebensmittel- als auch der Biomasseproduktion engagieren. Überhaupt ist es ein Jammer, wie gering selbst bei großen, verdienten Umweltorganisationen das Verständnis für die agronomischen Zusammenhänge und das enorme Potential der Landwirtschaft für die Gestaltung einer nachhaltigen Zukunft der Zivilisation ist.

Ökologische Optimierung der Biomasseproduktion

In den folgenden Abschnitten werden verschiedene Möglichkeiten beschrieben, durch die die Klimabilanz der Biogasproduktion aus landwirtschaftlicher Biomasseproduktion verbessert werden kann. Willkommene Nebenwirkungen der meisten dieser Maßnahmen sind nicht nur erhöhte Ökosystemdienstleistungen, sondern auch die verbesserte Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses.

Erhöhung der Pflanzenvielfalt

Der erste Schritt weg von den fatalen Folgen der Maismono-

kulturen ist die Erhöhung der Biodiversität auf den Biomasseproduktionsflächen. Wie das berühmte Jena-Experiment und auch andere Untersuchungen gezeigt haben, erhöhen sich durch die Pflanzenvielfalt einer Wiese die Biomasseproduktion, die biologische Aktivität des Bodens, die Kohlenstoffretention im Boden (Humus) sowie die Pflanzengesundheit (Tilman 2001, Hector 1999, Loreau 2001, Kahmen 2005, Khalsa 2012).

Vor diesem Hintergrund hat die Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) in Veitshöchheim Saadmischungen mehrjähriger Kraut- und Staudenpflanzen mit hoher Artenvielfalt speziell für die Biomasseproduktion entwickelt (siehe u.a. «Neue Wege in der Biomasseproduktion» und «Anders Biogasen»). Der Vorteil dieser artenvielfältigen Saadmischungen besteht nicht zuletzt darin, dass sie im Unterschied zum einjährigen Mais nur alle drei bis fünf Jahre neu ausgesät werden müssen. Dies spart nicht nur Arbeitszeit, Diesel und Kosten fürs Saatgut, sondern schon den Boden, der in dieser Zeit nicht bearbeitet werden muss. Im Unterschied zum Maisanbau werden die Böden nicht verdichtet und liegen nie nackt im Wind. So wird Erosion verhindert, Nährstoffauswaschungen vermindert und Humus aufgebaut. Pflanzenschutzspritzungen sind bei der Biomasseproduktion mit den artenvielfältigen Veitshöchheimer Mischungen nicht nötig, was wiederum die Umwelt schont und zugleich die Wirtschaftlichkeit verbessert.

Unter Leitung von Birgit Vollrath und Werner Kuhn führen die LWG und ihre Partner seit 2009 großflächige Praxisversuche mit den optimierten, artenvielfältigen Saadmischungen durch. Dabei zeigt sich bisher, dass die Biomasseerträge durchschnittlich höher als beim intensiven Maisanbau ausfallen; in keinem der Versuche traten signifikant niedrigere Erträge als

beim Mais auf (Vollrath 2010). Durch den etwas höheren Ligningehalt der Staudenpflanzen lag die Biogasausbeute zwar etwas niedriger als beim Mais, doch kann dies sowohl durch Anpassungen der Saadmischung als auch durch Optimierung des Methanisierungsprozesses ausgeglichen werden.

Wenn Maisäcker zu Wildblumenwiesen werden und damit bei gleichen Erträgen sowie niedrigeren Bewirtschaftungskosten die Biodiversität fördern, Humus aufbauen und Energie- sowie Rohstoffe produzieren, dann übernimmt auch die Landwirtschaft wieder eine aktive Rolle bei der nachhaltigen Gestaltung der Landschaft und der Gesellschaft. Wenn Bienen wieder Wildblumenhonig auf landwirtschaftlichen Feldern produzieren, wird bereits viel erreicht sein.

Energetische und stoffliche Nutzung der Gärreste durch Pyrolyse

Neben der Erhöhung der Biodiversität und der Umstellung auf mehrjährige Pflanzenmischungen, die eindeutig die wichtigsten Maßnahmen zur Verbesserung der Ökobilanz von Biogas sind, gibt es eine Reihe weiterer Maßnahmen, die das Gesamtsystem der Biomassenutzung deutlich verbessern können. Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit werden diese Maßnahmen im Folgenden für den Anbau von Mais dargestellt und hinsichtlich ihrer Reduktion von Treibhausgasemissionen berechnet. Die gleichen Maßnahmen können auch bei der Verwendung von vergleichbaren Biomassen wie z.B. für die Veitshöchheimer Mischung umgesetzt werden.

Bei der Methanisierung von Maissilage werden nur rund 60% des im Mais enthaltenen Kohlenstoffs in Methangas umgewandelt. Der größte Anteil des verbleibenden Kohlenstoffs ist hauptsächlich in Form von Lignin im Gärrest enthalten. Üblicherweise wird der flüssige Gärrest wieder zurück auf die

Felder gefahren, wo er rasch verrotet oder gar verfault, wobei über 95% des enthaltenen Kohlenstoff als CO₂ in die Atmosphäre entweichen.

Eine bessere Verwertung des Gärrestes wäre die Co-Kompostierung, wo die stickstoffreichen Gärreste mit 10 bis 20% zur Kompostierung anderer Biomassen hinzugegeben werden. Auf diese Weise könnten bis zu 50% des Kohlenstoffs zu stabileren Huminverbindungen aufgebaut werden, so dass sie schließlich zum Humusaufbau des Feldes eingesetzt werden könnten. Die Kosten für eine solche Co-Kompostierung sind allerdings erheblich und in Abwesenheit von Qualitätskompostierungen in unmittelbarer Nähe der Biogasanlagen nur schwer in die Praxis umzusetzen.

Eine weitaus effizientere und wirtschaftlichere Nutzung des Kohlenstoffüberschusses stellt die Pyrolyse der Gärreste dar. Hierbei werden die Gärreste zunächst einer Fest-Flüssigtrennung unterzogen. Auf diese Weise kommt es zu Trockenmassegehalten von etwa 35%. Durch Trocknung mittels Abwärme aus Biogasanlage oder durch Zugabe trockener Biomassereststoffe wie Getreidespelzen oder Kaffeesatz wird der Trockenmassegehalt auf 45 bis 50% erhöht. Nachfolgend kann der so getrocknete Gärrest in einem kontinuierlichen Verfahren pyrolysiert und zu Pflanzenkohle sowie zu thermisch nutzbarem Synthesegas umgewandelt werden.

Die Pflanzenkohle aus Biogasgärresten ist von hervorragender Qualität und kann ebenso wie Pflanzenkohle aus Grünschnitt, Elefantengras, Schilf oder anderen vergleichbaren Biomassen als Bodenverbesserer, als Futterzusatz, zur Güllebehandlung oder als Stalleinstreu verwendet werden (siehe: «Pflanzenkohle»). Wahlweise kann man die Pflanzenkohle aus den Gärresten auch als Brennstoff mit einem Heizwert von rund 20 MJ/kg oder als Reduktionsmittel in der Metal-

lurgie einsetzen. Mit einem Heizwert von 16,5 MJ/kg Trockensubstanz haben die Gärreste übrigens allein schon einen Heizwert wie Holzpellets. Bei aktuellen und seit langem sehr stabilen Weltmarktpreisen von 380 bis 600 Eur pro Tonne Pflanzenkohle, würde die Pyrolyse der Gärreste die Hälfte des Umsatzes einer Biogasanlage ausmachen und damit die Wirtschaftlichkeit der Anlage sichern.

Durch die Pyrolyse der Gärreste kann die Klimabilanz des Gesamtprozesses um rund 5,2 t CO₂ pro Hektar verbessert werden (siehe Tabelle 2 am Ende des Artikels).

Optimierte Nutzung der Flüssiggärreste durch Pflanzenkohle und Milchsäuregärung

Die vom Mais aufgenommenen Düngemittel sind nach der Vergärung fast noch vollständig im Gärrest enthalten. Aus diesem Grund wird der Gärrest auch als Düngemittel wieder zurück auf die Felder gefahren. Allerdings gehen bei der Lagerung und beim Ausbringen der Gärreste rund 20% des Stickstoffs in Form von Ammoniak verloren. Weitere 15% des Gesamtstickstoffs gehen durch Bodenauswaschungen aus dem System verloren, so dass es insgesamt zu Stickstoffverlusten von rund einem Drittel kommt, was pro Hektar und Jahr ca. 70 kg Stickstoff ausmachen (LFL 2009). Stickstoffverluste in dieser Größenordnung führen zur Belastung von Grund- und Oberflächenwasser, sind Ursache für Bodenversauerung und in Form von Lachgasemissionen stark klimaschädlich.

Eine der vielversprechendsten Möglichkeit zur Reduktion der Stickstoffverluste der Gärreste besteht darin, durch Fermentierung der Gärreste deren pH-Wert auf unter 6,5 zu senken, womit die gasförmigen Ammoniakverluste fast vollständig vermieden werden. Ähnlich wie bei der Güllebehandlung (siehe: «Güllebehandlung durch Pflanzenkohle») kann auch

die Biogasgülle durch Zugabe von Milchsäurebakterien, leicht verfügbarem Zucker (Vinasse) und Pflanzenkohle einer Milchsäuregärung unterzogen werden. Während durch die Gärung der pH-Wert unter die kritische Schwelle gesenkt wird, sorgt die Pflanzenkohle durch ihre hohe spezifische Oberfläche für die Adsorption von Nährstoffen, die im Boden dann weniger schnell ausgewaschen werden und sowohl als Nährstoffe für Pflanzen als auch als Komplexbildner für den Humusaufbau zur Verfügung stehen.

Aus Sicht der Klimabilanz erklärt sich die Bedeutung der Gärrestfermentier insbesondere daher, dass durch die Milchsäuregärung das günstige Milieu für die Methan produzierenden Bakterien verschoben und deren Aktivität somit beendet wird. Auf diese Weise kann das Nachgasen des Gärrestelagers verhindert werden, womit die stark klimaschädlichen Methangasverluste reduziert werden. Gelingt es, mit dieser Technik gelingt, die Methanverluste zu halbieren, würde dies einer Verbesserung der Klimabilanz um 1,1 t CO₂equ pro Hektar und Jahr entsprechen (siehe Tab. 2 am Ende des Artikels). In einem vom Bundesforschungsministerium (BMBF) geförderten Projekt wird derzeit der Einsatz von Pflanzenkohle und Milchsäuregärung zur Optimierung einer Biogasanlage im norddeutschen Gartow untersucht. Erste veröffentlichte Resultate werden für 2013 erwartet (Projekt Climacarbo).

Optimierte Flächennutzung: Biomasse versus Solarpanels

Wird Biogas aus Maissilage lediglich verstromt, handelt es sich um eine energetisch außerordentlich uneffiziente Flächennutzung. Denn die 14 MWh Strom, die von einem Hektar Mais pro Jahr aus Biogas produziert werden können, lassen sich auch auf lediglich 1 % dieses Hektars mit handelsüblichen Solarpanels erzeugen. Überträgt man das auf ein Fuß-

Tabelle 1:

Solarenergiepotential landwirtschaftlicher Flächen.

<i>Agrosolar</i>		
Feldgröße in ha	1	
% der Feldfläche für Solarpanels	1.00%	
m ² Solarfläche	100	
Ratio kWh/Wp	1.05	Durchschnittlicher mitteldeutscher Feldstandort
Nominelle Leistung Wp/m ²	140	Handelsübliches Polykristallinmodul
Jahresproduktion kWh/a Solar	14'700	
<i>Methanverstromung</i>		
Methanproduktion auf Feldfläche in t	4	
Stromausbeute in kWh pro t CH ₄	3'169	
Stromproduktion durch Methan in kWh	14'070	

ballfeld, so würde bereits die halbe Fläche eines einzigen Torraumes genügen, um mit Solarpanels genauso viel Energie zu erzeugen wie mit dem auf dem gesamten Fußballfeld angebauten Mais (Neumann 2011). Würde man also von einem Hektar Mais (10 000 m²) lediglich 100 m² ausgliedern und mit Solarpanels ausstatten, ließe sich ohne Pestizide und Düngemittel die gleiche Menge Strom gewinnen wie aus dem Mais des ganzen Hektars (Tab. 1).

Würden die Solarpanels mit dem Solarwing-System in 4 m Höhe schwebend über dem Feld installiert (siehe Abb. 1 und 2), könnte darunter der Mais oder eben eine artenreiche Biomasse Mischung mit gleichem Ertrag wie zuvor wachsen, die Energieausbeute des Feldes hingegen wäre doppelt so hoch.

Humusaufbau

Durch Umsetzung guter landwirtschaftlicher Praxis mit ganzjähriger Bodenbedeckung, Direktsaat, Untersaat, artenvielfältiger Klee gras-Kräuter-Mischungen, Winterbegrünung und Verwendung von Pflanzenkohlekomposten kann, gerade auf den durch industrielle Landwirtschaft verarmten Standorten, ein jährlicher Humuszuwachs von 0,1 % erreicht werden. Der Humuszuwachs wird sich mit den Jahren verlangsamen und ab einem bestimmten Stand nicht weiter zu nehmen. Doch insofern ein gesunder Boden mindestens 5% Humus enthalten sollte, sind solche Optimalzustände auf den meisten europäischen Standorten noch in sehr weiter Ferne. Für detailliertere Beschreibungen der Humusaufbautechniken seien u.a. die Ithaka-Artikel «Humusaufbau statt Hungersnot» und «Terra Preta – Modell einer Kulturtechnik» empfohlen.

Zusammenfassung

Durch die präsentierten Maßnahmen des Klimafarmings würde sich die Klimabilanz der Biogasproduktion aus Mais deutlich positiv gestalten lassen. Anstatt eine negative Klimabilanz von 4,6 t CO₂ pro Hektar zu verzeichnen, könnten über 22 t CO₂/ha und Jahr sequestriert werden. Das entspricht einem Unterschied zwischen den beiden Methoden von 26,6 Tonnen CO₂equ pro Hektar und Jahr. Bei Zertifikatspreisen von 50 EUR pro Tonne CO₂ entspräche dies einem jährlichen Zusatzlös pro Hektar von 1330 EUR, was übrigens deutlich über den Deckungsbeiträgen sowohl für den Mais als auch die meisten anderen Feldkulturen liegt.

Würden zudem anstatt Mais mehrjährige, artenvielfältige Saatmischungen verwendet, ließen sich durch landwirtschaftliche Biomassenutzung die Ökosystemdienstleistungen

Tabelle 2:

Vergleich der Klimabilanzen konventioneller Biogasproduktion und Biogasproduktion nach den Methoden des Klimafarmings.

	<i>konventionell</i>	<i>klimafarming</i>	<i>Anmerkungen</i>
t CO ₂ eq durch Düngung	-1.47	-0.15	Düngung Klima Tab.1 / Reduktion der mineralischen Düngung durch Verwendung von fermentierter Pflanzkohle und Kompost
t CO ₂ eq Lachgas durch Düngung	-0.60	-0.30	Düngung Klima Tab.1 / Reduktion der Düngeverluste durch Fermentation und Pflanzkohle
Treibstoffverbrauch l/ha	147.00	147.00	www.spritmonitor.de
Treibstoffverbrauch t CO ₂ eq/ha	-0.39	-0.39	2,64 kg CO ₂ /l Diesel
Pflanzenschutz / Herbizide	-0.20	-0.20	Schätzwert
Humusaufbau in %/a	0.00	0.10	durch Umsetzung guter landwirtschaftlicher Praxis mit Untersaat, Kleegrasmischungen, Direktsaat, Pflanzkohlekompost, Winterbegrünung kann auf armen Standorten ein jährlicher Humuszuwachs von 0,1 % erreicht werden.
CO ₂ eq durch Humusaufbau in t	0	10	1% Humus entspricht etwa 100 t CO ₂ /ha
Maisernte t/ha	12	10	geringere Ernte durch Reduktion von Mineraldünger
C-Gehalt	45.00%	45.00%	C-Gehalt 45% von TM
C-Gehalt in t/ha	5.4	4.5	
CO ₂ -Assimilation in der Biomasse in t/ha	19.8	16.5	
CH ₄ -Ausbeute kg CH ₄ /t TM	370	370	
CH ₄ -Verlust	2.00%	0.50%	Durchschnittswert je nach Bauart der Anlage. Reduktion durch Fermentierung der Gärreste
CH ₄ -Verlust in t CO ₂ eq/ha	-2.22	-0.46	
C-Gehalt im Gärrest in % TM Mais	16.70%	16.70%	
Csequ durch Pyrolyse des Gärrestes in t CO ₂ /ha	0.00	4.90	80% des C der Gärreste als Synthesegas, Pflanzkohle abzgl. Trocknung + Anlagenbetrieb
C-Verlust Gärreste t C/ha	-2.00	0.00	Verrottung des Gärrests durch Rückführung aufs Feld
CO ₂ eq. des C-Verlust im Gärrest in t	-7.35	0.00	
Methanproduktion in t CH ₄ / ha	4.44	3.70	
CO ₂ durch Verbrennung des CH ₄	-12.21	-10.18	Faktor 44/16
CO ₂ -Einsparung durch Solarenergieproduktion auf 1% der Fläche in t CO ₂	0.00	7.35	entsprechend dem aktuellen deutschen Strommix von 500 g CO ₂ /kWh
Gesamte CO ₂ eq Emission in t	-24.43	-11.67	
CO ₂ sequ. in t	19.80	33.85	CO ₂ -Assimilation durch Mais + Humusaufbau + Solarequivalent
CO ₂ -Bilanz	-4.63	22.18	
Stromausbeute in kWh pro t CH ₄	3169	3169	
Strom durch Methan in kWh	14070	11725	
CO ₂ -Aufwand pro kWh Strom in g CO ₂ /kWh	329	-1892	ohne Abwärmenutzung

Abb. 1 und 2

Auf 1% der Feldfläche könnte mit einer solchen schwebenden Solarwing-Konstruktion ebenso viel Strom pro Jahr erzeugt werden wie durch das Biogas aus dem auf der gesamten Fläche wachsenden Mais. (Visualisierung: Johannes P. Steidl, Copyright: Delinat-Institut)



gen erhöhen, aktiv und langfristig CO₂ aus der Atmosphäre entziehen sowie Energie- und Rohstoffe gewinnen. Selbstverständlich lässt sich das gleiche System auch auf die Nahrungsmittelproduktion übertragen bzw. mit der Biomasseproduktion kombinieren.

Das Potential der Landwirtschaft ist enorm, wir müssen es nur nutzen. Nutzen wir es!

Literatur

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2009): *Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel*. http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_31972.pdf

BMELV: *Maisanbau in Deutschland*, <http://www.bmelv.de/SharedDocs/Standardartikel/Landwirtschaft/Bioenergie-Nachwachsende-Rohstoffe/Bioenergie/Maisanbau.html>

Hector, A., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., Caldeira, M.C., Diemer, M., Dimitrakopoulos, P.G. et al. (1999): *Plant diversity and productivity experiments in European grasslands*. *Science*, 286, 1123–1127.

Kahmen, A., Perner, J., Audorff, V., Weisser, W. & Buchmann, N. (2005): *Effects of plant diversity, community composition and environmental parameters on productivity in montane European grasslands*. *Oecologia*, 142, 606–615.

Khalsa J, Fricke T, Weisser WW, Weigelt A, Wachendorf M (2012): *Effects of functional groups and species richness on biomass constituents relevant for combustion: results from a grassland diversity experiment*, *Grass and Forage Science*. doi: 10.1111/j.1365-2494.2012.00895.x

Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P. et al. (2001): *Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges*. *Science* 294, 804–808.

Neumann HM, Schär D, Baumgartner F (2011): *The potential of photovoltaic carports to cover the energy demand of road passenger transport*. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, DOI: 10.1002/pip.1199

Tilman D, Reich PB, Knops J, Wedin D, Mielke T, Lehman C (2001): *Diversity and productivity in a long-term grassland experiment*. *Science* 294, 843–845.

Vollrath B, Kuhn W (2010): *Neu: Wildpflanzen geben Biogas*, *Biogas Journal*, Sonderheft Energiepflanzen