

## Auswirkung von Biogasgülle auf Bodenparameter

Hans Unterfrauner<sup>1\*</sup>, Walter Somitsch<sup>2</sup>, Robert Peticzka<sup>3</sup>, Stefan Brauneis<sup>3</sup> und Martina Schlaipfer<sup>3</sup>

### Zusammenfassung

Die Anwendung von Biogasgülle kann die Bodenfruchtbarkeit von leichten, schwach gepufferten Böden beeinträchtigen. Der hohe Anteil an freien K-Ionen kann folgende Auswirkungen auf den Boden haben: Versauerung, Überfrachtung des Sorptionskomplexes, Zerstörung der Aggregate. Dies kann zu Problemen im Wasser-Lufthaushalt (z.B. Verschlammung, verminderte Infiltration) zur Mobilisierung von Al und zu einer disharmonischen Ernährung der Kulturpflanzen führen.

In einem 40 Wochen dauernden Feldversuch wurden mehrere Bodenhilfsstoffe auf ihre Eignung zur Verminderung der genannten unerwünschten Wirkungen von Biogasgülle untersucht. Als Messparameter wurden die Aggregatstabilität, die Neutralisationswirkung, die Absorption von freien K-Ionen sowie die Nachlieferung von Ca und Mg herangezogen. Die mineralischen Bodenhilfsstoffe wurden 2 Tage vor der Ausbringung der Biogasgülle auf die Versuchsflächen gestreut. Von den getesteten Varianten zeigte das Produkt P3 eine genügend hohe Sofort- und längerfristige Wirkung, um die unerwünschten Effekte von Biogasgülle zu kompensieren. Die Ertragsunterschiede (Mais) im Vergleich zur Nullfläche (keine Biogasgülle und kein Bodenhilfsstoff) betragen auf der Fläche PB (Biogasgülle ohne Bodenhilfsstoff) minus 5%, auf der Fläche P3 (Biogasgülle mit Produktvorlage P3) plus 10%.

*Schlagwörter:* Bodenfruchtbarkeit, freie Kalium Ionen, Versauerung, Nährstoffverhältnisse, Aggregatstabilität

### Summary

The application of biogas fermentation residues can affect adversely soil fertility. The high content of free K ions can cause the following changes (p.e. acidification, overloading of the sorption complex, destruction of the aggregates). Especially light, acid soils with low puffer capacity showed a high sensitivity.

In a forty weeks lasting field trial several mixtures of soil conditioning products were tested for their compensation of adverse effects of biogas fermentation residues on soils by support of certain parameters. The test parameters were stabilization of soil aggregates, neutralization of acids and adsorption of free potassium ions. The test mixture P3 showed very good short- and long-term effects, when applied 2 days before application of the biogas manure. Key soil parameters remained at constant level or were even improved. After the test period of forty weeks a significant improvement of the soil condition was observed compared to the initial situation. The yield differences (Maize) to the reference area showed minus 5% for the area PB (biogas fermentation residues without product mixture) and plus 10% for the area P3 (biogas fermentation residues with product mixture P3). In agricultural practice the test mixture P3 can contribute to the reduction of adverse effects of biogas manure on the soil characteristics of light, acid soils, and therefore to stabilize soil fertility.

*Keywords:* soil fertility, free Potassium ions, acidification, nutrient ratios, aggregate stability

### Einleitung

Die Anzahl der Biogasanlagen ist in Österreich von 80 im Jahr 2001 auf über 300 Anfang 2006 gestiegen (PFUNDTNER 2006). Derzeit befinden sich knapp 350 Anlagen in Betrieb. Die bei der Biogasproduktion anfallende Biogasgülle wird vorwiegend vom Standpunkt der Düngewirkung und der Gefährdung durch organische und mineralische Schadstoffe aus betrachtet (FACHBEIRAT FÜR BODENFRUCHTBARKEIT 2007, DMVO 2007, BMLFUW 2006). Studien zu möglichen beeinträchtigenden Auswirkungen der Biogasgülle auf biologische, chemische und physikalische Bodeneigenschaften gibt es wenige (z.B. UNTERFRAUNER 2005, 2008, 2009, FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE 2007, PETZ 2000, LANDESANSTALT SACHSEN 1999).

In den vergangenen Jahren wurde vermehrt festgestellt, dass auf mit Biogasgülle gedüngten Flächen die Bodenfruchtbarkeit und die Erträge sinken. Als problematisch hat sich vor allem der in der Gülle gelöste Anteil an Kalium erwiesen. Mehr als 95% des gesamten Kaliums liegen als freie K Ionen vor, womit die Wirksamkeit mit einem K-Flüssigdünger verglichen werden muss (K geht keine organische Bindungsform ein, BERGMANN 1993).

Dies kann zu folgenden Auswirkungen auf Bodenparameter führen:

- Förderung der Versauerung durch Mobilisierung von „potentieller Säure“ durch Kalium (K) und Umbau von N Verbindungen in Nitrat.
- Überfrachtung des Sorptionskomplexes mit K.

<sup>1</sup> BoWaSan, Liebenauer Hauptstraße 34/2/3, A-8041 GRAZ

<sup>2</sup> IPUS GmbH, Werksgasse 281, A-8786 ROTTENMANN

<sup>3</sup> Institut für Geographie und Regionalforschung, Universitätsstraße 7, A-1010 WIEN

\* Ansprechpartner: [h.unterfrauner@bowasan.at](mailto:h.unterfrauner@bowasan.at)

Tabelle 1: Bodenhilfsstoff-Mischungen, Versuchsvarianten

Versuchsvariante	Biogasgülle [m <sup>3</sup> /ha]	Produktkomponenten	Menge gesamt [kg/ha]
P0	-	-	
PB	50	-	
P1	50	nanoporöses Alumosilikat	2000
P2	50	Mischkalk, Magnesit	2000
P3	50	Mischkalk, Magnesit, Gips, nanoporöse Alumosilikate	3200

- Disharmonien zwischen Ca:Mg:K.
- Zerstörung der Aggregate und Förderung der Verschlämmung.

In einem Topfversuch wurden im Jahr 2005 die Auswirkungen von Biogasgülle auf pH Wert, elektrische Leitfähigkeit (eL) und Zusammensetzung der Stoffe am Sorptionskomplex von Böden verschiedener Schwereklassen untersucht (UNTERFRAUNER 2005). Dabei wurden ad hoc Wirkungen (pH und eL Messungen alle 1,5 Stunden) und die Veränderungen nach 3 Wochen analytisch erfasst.

Bei schwach sauren, leichten Böden (Bodenart Sand, lehmiger Sand) stiegen die eL und das pH<sub>KCl</sub> sprunghaft an. Nach der ersten Zufuhr von Wasser (simulierter Niederschlag) 14 Stunden nach der Ausbringung wurde ein Teil der gelösten Salze ausgewaschen, die eL ging auf ca. 30% des Höchstwertes zurück. Der pH Anstieg hatte 3 Stunden nach Ausbringung ein Maximum erreicht und ging mit den simulierten Niederschlagsereignissen rasch zum Ausgangsniveau zurück. Nach 3 Wochen zeigte eine deutliche Versauerung, die pH Werte im Neutralsalzextrakt lagen um 0,4 pH Einheiten niedriger als vor der Ausbringung. Die Veränderungen am Sorptionskomplex waren ein massiver Anstieg des K Anteiles (von 4 auf 14% CEC) und eine Verringerung des Anteiles von Ca (von 74 auf 59% CEC) und Mg (von 14 auf 10% CEC).

Bei den schwach sauren, schweren Böden (Bodenart sandiger Lehm, lehmiger Ton) stiegen der Salzgehalt und die pH Werte ebenfalls sprunghaft an. Durch die simulierten Niederschläge wurde der Salzgehalt allerdings innerhalb von 3 Wochen kaum verändert und die pH Werte im Neutralsalzextrakt zeigten einen um ca. 0,5 pH Einheiten höheren Wert an. Die Auswirkungen auf den Sorptionskomplex zeigten sich beim sandigen Lehm in einem leichten Anstieg von K, beim lehmigen Ton zeigten sich keine nachweisbaren Veränderungen.

In einem Feldversuch im Herbst 2007 wurden die Auswirkungen von Biogasgülle auf Bodenparameter eines leichten schwach gepufferten Boden unter besonderer Berücksichtigung des Kaliums untersucht (UNTERFRAUNER 2008). Die Ergebnisse bestätigten jene des Topfversuches.

Aufbauend darauf wurde vom Herbst 2008 bis Frühjahr/Herbst 2009 ein weiterer Feldversuch durchgeführt. Ziel war die Abtestung von verschiedenen Bodenhilfsstoff-Mischungen für die Praxisanwendung, die, kurz vor der Ausbringung von Biogasgülle auf einen Boden aufgebracht, die unerwünschte Wirkung von Biogasgülle auf bestimmte Bodenparameter vermindern sollen.

Tabelle 2: Einige Inhaltsstoffe und Parameter der ausgebrachten Biogasgülle

Inhaltsstoffe	gelöste Menge [kg/50m <sup>3</sup> ]	Gesamtgehalt [kg/50m <sup>3</sup> ]	Parameter
N	(NH <sub>4</sub> -N) 143	(Nt) 250	pH: 8,5
Ca	3,5	59	eL <sub>unverdünnt</sub> : 29,1 mS/cm
K	163	163	Wassergehalt: 93%
Mg	0,20	28,7	
PO <sub>4</sub>	4,6	142	

## Material und Methoden

Ein ca. 3,5 ha großes gedroschenes Maisfeld (Bezirk Deutschlandsberg) wurde feldbodenkundlich beschrieben und beprobt. Der Bodentyp ist eine kalkfreie Braunerde, die Bodenart lehmiger Sand.

Die Produkte wurden mit einem Schneckenstreuer auf die Maisstoppel gestreut, 2 Tage später wurde Biogasgülle mittels Schwenkverteiler (Mösch) ausgebracht, die oberflächliche Einarbeitung (ca. 6cm) erfolgte mit einem Grubber. Vor der Ausbringung, nach 2, 17 und 20 Wochen wurden Bodenproben [0 bis 10cm] gezogen und nach der Methode der „Fraktionierten Analyse“ (ÖNORM S2122-1, 2004) analysiert. Die Stabilität der Aggregate (mod. nach MURER 1993) und die Verschlämmungsneigung (mod. nach KLUTE 1986) wurden vom Physiogeographischen Laboratorium der Uni Wien untersucht.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Biogasgülle stammt aus einer Anlage die vorwiegend mit Maissilage (~ 75%) und Schweinegülle (~ 25%) gespeist wird. Die Vergärung erfolgt 2 stufig.

Die gelösten Inhaltsstoffe der Biogasgülle bewirkten eine Veränderung der Säureparameter des Bodens. Das pH<sub>KCl</sub> sank auf der Fläche PB von 5,7 auf 5,4. Größer war die pH<sub>KCl</sub> Abnahme bei der Fläche P1 (von 5,7 auf 5,2). Bei den Flächen mit Vorlage von neutralisierenden Mischungen (P2, P3) wurde der Säureschub abgepuffert und bereits vorhandene Säuren teilweise neutralisiert. Bei der Fläche P3 wurde nach 20 Wochen ein höherer pH<sub>KCl</sub> Wert als vor der Ausbringung festgestellt. Die ausgebrachte Biogasgülle bedingte einen starken Anstieg der K Konzentration in der Bodenlösung (nach 2 Wochen waren noch 80mg/l gelöst). Dies führte dazu, dass an den Austauschern adsorbierte Säure („potentielle Säure“) zum Teil mobilisiert wurde (z.B. Fläche PB Abnahme von 47 auf 27%). Da der Boden ein schwaches Puffersystem besitzt und die freigesetzte Säure nicht neutralisieren konnte, stieg die leicht austauschbare Säure an (z.B. Fläche PB von 5,3 auf 17,6) und der pH Wert

Tabelle 3: Veränderungen von Bodenkennwerten 2, 17 und 20 Wochen nach der Ausbringung

Beprobung	Fläche	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	eL [mS/cm]	BS [%CEC <sub>p</sub> ]	Ca [%CECa]	Mg [%CECa]	K [%CECa]	H [%CEC <sub>p</sub> ]	pot S [%CEC <sub>p</sub> ]
vor Ausbr.	P0	<b>7,2</b>	<b>5,7</b>	<b>0,3</b>	<b>49</b>	<b>76</b>	<b>9,4</b>	<b>7,8</b>	<b>5,3</b>	<b>47</b>
2 Wochen nach Ausbr.	PB	7,7	5,6	1,2	58	55	8,6	9,8	17,6	27
	P1	7,6	5,2	1,3	53	65	9,8	10,8	8,5	40
	P2	7,6	5,6	1,1	58	65	8,2	8,1	14,2	31
	P3	7,9	6,4	2,0	61	72	7,6	8,1	5,5	33
17 Wochen nach Ausbr.	PB	6,6	5,4	0,6	57	68	10,6	11,2	8,4	37
	P1	6,8	5,5	0,5	62	69	9,2	12,9	6,9	32
	P2	6,9	5,9	0,7	68	72	9,3	11,1	5,6	26
	P3	7,3	5,2	0,7	62	74	8,9	8,7	6,1	32
20 Wochen nach Ausbr.	PB	6,7	5,4	0,5	46	66	10,3	10,2	12,1	47
	P1	6,4	5,2	0,6	45	69	<b>10,0</b>	11,2	7,7	50
	P2	6,9	5,7	0,7	47	74	9,0	10,2	5,2	50
	P3	<b>7,2</b>	<b>5,8</b>	0,8	<b>56</b>	<b>77</b>	8,1	<b>7,8</b>	<b>5,5</b>	<b>39</b>

eL...elekt. Leitfähigkeit; BS...Basensättigung; CEC...Cationexchange Capacity [Index<sub>a</sub>: aktueller CEC, Index<sub>p</sub>: potentieller CEC]; pot S ... potentielle Säure; **fett** markiert: gleichbleibende oder verbesserte Parameter

sank. Die Basensättigung stieg durch das adsorbierte K vorübergehend an. Ohne Vorlage von neutralisierenden Stoffen wurde das Puffersystem stark strapaziert. Es sind weitere Auswirkungen zu erwarten (z.B. Säuredegradation, Zerfall von Tonmineralen, Einschränkung der Mikroorganismenvielfalt). Nur die Mischung P3 hat bewirkt, dass durch die Biogasgülle die Säureparameter im Boden nicht ungünstig beeinflusst wurden. Nach dem Betrachtungszeitraum von 20 Wochen war sogar eine deutlich bessere Situation als der Ausgangszustand festzustellen. Der Sorptionskomplex wurde von K überschwemmt. Auf der Fläche PB bewirkte dies nach 2 Wochen eine Verminderung der Ca Sättigung von > 20%, der Anteil des Mg trat hinter jenem des K zurück. Diese ad hoc Veränderung führt zu einer Verschlechterung der Aggregatstabilität und zur Erhöhung der Verschlämungsneigung.

Die Aggregatstabilität sank auf der Fläche PB um ~ 10%, die Flächen P1 und P3 konnten die Degradation weitgehend abfedern. Nach 20 Wochen war die Aggregatstabilität auf der Fläche P3 deutlich höher als auf P0. Die Verschlämung (Verminderung der Infiltration) wurde durch die dispergierten Kolloide verursacht. Die Unterschiede auf den Flächen waren signifikant. Auf den Flächen mit einer Produktvorlage war die Infiltrationsrate über 6 Stunden im Schnitt um 15%

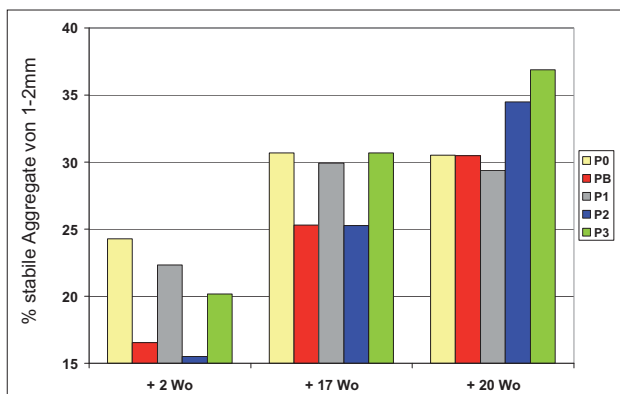


Abbildung 1: Veränderung Aggregatstabilität, 2-17 und 20 Wochen nach Ausbringung

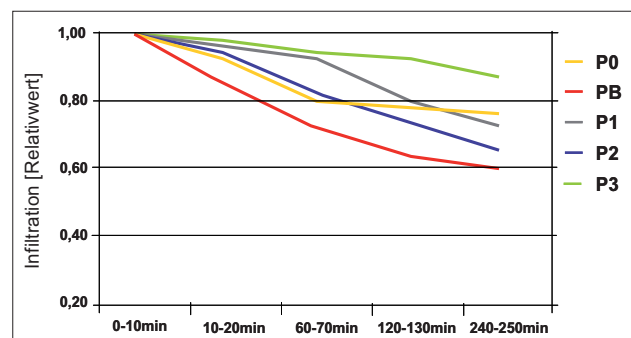


Abbildung 2: Veränderung Infiltration 20 Wochen nach Ausbringung der Biogasgülle

höher als auf PB. Bei P3 betrug der Unterschied >30%. Dies bedeutet ein höheres Wasserspeichervermögen, verminderte Erosion, schnelleres Abtrocknen und bessere Befahrbarkeit im Frühjahr.

Eine getrennte Erfassung der Erträge war aus technischen Gründen nicht möglich. Um dennoch einen Trend feststellen zu können wurden Mitte Oktober 2009 von den einzelnen Flächen jeweils 15 Maispflanzen oberhalb der Stelzwurzeln abgeschnitten.

Von den 15 Maispflanzen wurden jeweils 5 Pflanzen, welche als repräsentativ beurteilt wurden (am häufigsten vertretener Phänotyp) ausgewählt. Davon wurden Kolben und Restpflanzen getrennt abgewogen (feldfeuchter Zustand) und auf Hektarerträge hochgerechnet (Annahme 70000 Pflanzen pro Hektar).

Biogasgülle beinhalten viele Nährstoffe und besitzen unbestritten eine Düngewirkung. Wird Biogasgülle Flächen zugeführt auf denen das Inputmaterial für Biogasanlagen erzeugt wird, könnte man theoretisch von einem „geschlossenen“ Nährstoffkreislauf ausgehen. Nährstoffe aus dem Boden werden von den Pflanzen zum Wachstum genutzt. Bei der Herstellung von Biogas werden C- Verbindungen in Methan umgewandelt, Nährstoffe verbleiben in der Biogasgülle und können nach der Ausbringung wiederum von den Pflanzen genutzt werden. Dies ist nur bei Betrachtung



Tabelle 4: Frischgewicht von jeweils 5 Kolben und 5 Restpflanzen

Fläche	Gewicht Kolben [kg]	Gewicht Restpfl. [kg]	Gewicht Pflanze gesamt [kg]	Differenz pro ha zu P0 [kg/ha]
P0	1,4	2,9	4,3	0
PB	1,3	2,8	4,1	- 2.800
P1	1,3	2,9	4,2	- 1.400
P2	1,4	3,0	4,4	+ 1.400
P3	1,6	3,1	4,7	+ 5.600



Abbildung 3: Kolben der Versuchsflächen

der Mengenverhältnisse in der Eintrag-Austrag- Bilanzierung richtig.

Aus ökologischer Sicht darf nicht die Betrachtung der Nährstoffmengen allein im Vordergrund stehen, sondern es müssen zusätzlich die Bindungsformen und die Löslichkeiten bewertet werden. Silomais entzieht zwischen 200 und 250kg/ha an Kalium. Diese Menge entziehen die Pflanzen während der Vegetationsperiode von 6-7 Monaten dem Boden. Durch die Zufuhr von 50m<sup>3</sup> Biogasgülle werden ca. 160kg Kalium in 1 bis 2 Gaben als freie Ionen, in unmittelbar pflanzenverfügbarer Form zugeführt (vergleichbar mit einem Flüssigdünger). Das freie Kalium kann ausgewaschen werden, es kann aber auch durch seine hohe Konzentration in der Bodenlösung andere Kationen vom Sorptionskomplex (z.B. Ca, Mg, H, Al) verdrängen und die oben beschriebenen Konsequenzen verursachen.

Zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ist zu empfehlen, empfindliche Böden aus dem Biogasgülleregime herauszunehmen. Sollte dies aus Gründen der Betriebsstruktur nicht möglich sein, sollten die Mengen angepasst und die Böden auf die Ausbringung von Biogasgülle vorbereitet werden.

Die derzeitigen Kriterien zur Festlegung der Ausbringungsmengen und des Ausbringungszeitpunktes sind vorwiegend an die N- Fraktionen gekoppelt. Die Ergebnisse der Untersuchung legen nahe, diese Kriterien um den Parameter Kalium sowie um bodenphysikalische und bodenchemische Parameter, gegebenenfalls nach einer Bodenvorbereitung, zu erweitern.

## Literatur

- BMLFUW, 2006: Richtlinien zur sachgerechten Düngung, Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 6. Auflage.
- BERGMANN, W., 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag, 3. Auflage.
- DÜNGEMITTELVERORDNUNG, BGBl 53/2007, 2007: 53. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der die Düngemittelverordnung 2004 geändert wird.
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e.V., 2008: Schlussbericht zu dem Verbundprojekt Pflanzenbauliche Verwertung von Gärrückständen aus Biogasanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Inputs substrats Energiepflanzen. Projektkoordinator Dipl.-Ing. Karen Sensel, Humboldt-Universität zu Berlin (IASP) Invalidenstr. 42, 10115 Berlin.
- FACHBEIRAT FÜR BODENFRUCHTBARKEIT UND BODENSCHUTZ, 2007: Der Sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker und Grünland. 2. Auflage.
- KLUTE, A. and DIRKSEN, 1986: Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. P.687 – 734. In A. Klute (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2<sup>nd</sup> edition. ASA, Madison, USA.
- MURER, E.J., A. BAUMGARTEN, G. EDER, M.H. GERZABEK, E. KANDELER and N. RAMPAZZO, 1993: An improved sieving machine for estimation of soil aggregate stability (SAS) Geoderma.
- ÖNORM S2122-1, 2004: Fraktionierte Analyse-Untersuchungsmethoden. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- PETZ, W., 2000: Auswirkungen von Biogasgülldüngung auf Bodenfauna und einige Bodeneigenschaften. Eine Freilandstudie an vier Standorten

- in Oberösterreich. Im Auftrag von: Amt der Oberösterreichischen Landesregierung Landesrat für Wasserwirtschaft Dr. Achatz.
- PFUNDTNER, E., 2006: Neufassung der Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker und Grünland. 12. Alpenländisches Expertenforum, 30. März 2006, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft, A-8952 Irndning.
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 1999: Umweltwirkung von Biogasgülle. Forschungsbericht des Freistaates Sachsen.
- UNTERFRAUNER, H., 2005: Auswirkungen von Biogasgülle auf die oberste Bodenschicht. Forschungsprojekt der Firma Bodenkalk (Graz).
- UNTERFRAUNER, H., 2008: Auswirkung von Biogasgülle auf Bodenparameter unter besonderer Berücksichtigung des Kaliums (K). 63. ALVA Tagung.
- UNTERFRAUNER, H., 2008: Auswirkung von Biogasgülle auf Bodenparameter unter besonderer Berücksichtigung des Kaliums. Posterpräsentation, 120. VLUFA Kongress Jena.
- UNTERFRAUNER, H. und W. SOMITSCH, 2009: Minderung der schädlichen Wirkung von Biogasgülle auf Böden durch gezielte Stärkung bestimmter Parameter vor der Applikation. 64. ALVA Tagung.
- UNTERFRAUNER, H., W. SOMITSCH, R. PETICZKA, S. BRAUNEIS und M. SCHLAIPFER, 2009: Vorbereitung von leichten, schwach gepufferten Böden auf die Applikation von Biogasgülle. Mitteilungen der österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, Heft 76, in Druck.
- UNTERFRAUNER, H., 2009: Modelluntersuchungen zum Fe-P Antagonismus in Bodensäulen in Hinblick auf die Düngung mit Biogasgülle. Forschungsprojekt Nr. 100372, BMLFUW-LE 1.3.2/0125-II/1/2008.