

# Verbesserung der Stickstoffeffizienz von Gülle durch Aufbereitung

Christine Bosshard<sup>1</sup>, René Flisch<sup>1</sup>, Jochen Mayer<sup>1</sup>, Sonja Basler<sup>2</sup>, Jean-Louis Hersener<sup>3</sup>, Urs Meier<sup>4</sup> und Walter Richner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich

<sup>2</sup>LZ Liebegg, 5722 Gränichen

<sup>3</sup>Ingenieurbüro Hersener, 8542 Wiesendangen

<sup>4</sup>Meritec GmbH, 8357 Guntershausen

Auskünfte: Christine Bosshard, E-Mail: christine.bosshard@art.admin.ch, Tel. +41 44 377 71 11



Foto: Jochen Mayer, ART

Gefässversuche mit Mais und Sommerweizen zur Ermittlung der Stickstoffausnutzungseffizienz von aufbereiteter Gülle.

## Einleitung

Hofdünger (Gülle und Mist) spielen in der landwirtschaftlichen Praxis im Bereich der Pflanzenernährung eine zentrale Rolle. Die in Hofdüngern enthaltenen Nährstoffe sind wichtige Produktionsfaktoren im Pflanzenbau. Vor allem Stickstoff (N) ist für die Ertragsbildung von grosser Bedeutung. Ein Teil des Dünger-N dient der Erzeugung von pflanzlichen und tierischen Produkten, der Rest wird in der organischen Bodensubstanz gebunden (Immobilisierung) und/oder geht gasförmig oder durch Auswaschung unproduktiv verloren. Die Tierhaltung zur Milch- und Fleischproduktion führt zu erheblichen Mengen an Hofdüngern. Regionale N-Überschüsse aufgrund zu hoher Nutztierdichte erhöhen das Risiko von N-Emissionen. Stickstoffverluste belasten nicht nur die Umwelt (Versauerung und Überdüngung natürlicher Ökosysteme, Belastung von Ober-

flächengewässern und Grundwasser, Verstärkung des Treibhauseffektes), sondern verringern auch die Systemeffizienz. Während durchschnittlich nur zirka 50 % des mit Mineraldünger ausgebrachten N von den Pflanzen aufgenommen wird, ist die Ausnutzung von Hofdünger-N in der Regel tiefer und auch viel variabler (Dobermann 2005; Gutser *et al.* 2005). Die N-Ausnutzungseffizienz (NAE) von Hofdüngern muss deshalb gesteigert und der Verlust umweltrelevanter N-Verbindungen reduziert werden. Neue Technologien zur Aufbereitung von Hofdüngern, wie zum Beispiel anaerobe Vergärung (aV) von Gülle zur Biogasgewinnung in Kombination mit Membrantrenntechniken (Ultrafiltration, UF; Umkehrosmose, RO), versprechen die NAE von Gülle zu verbessern. Weitere Vorteile der technischen Aufbereitung von Gülle sind: Reduktion des Transportvolumens der Gülle sowie Produktion erneuerbarer Energie (Biogas).

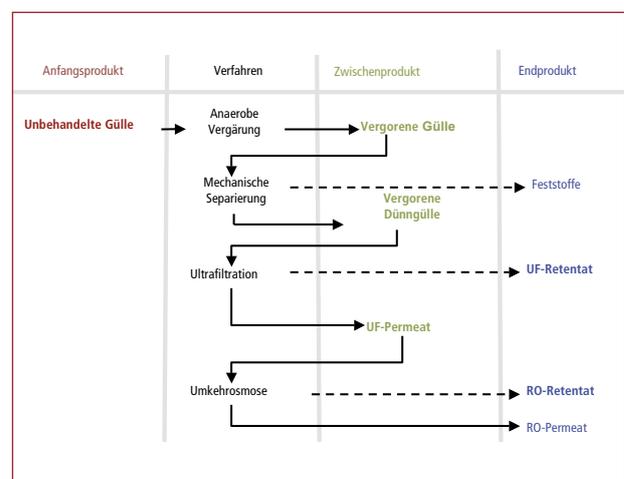


Abb. 1 | Verfahrensschritte der Gülleaufbereitung zur Erzeugung der verschiedenen Düngerprodukte. Nur die fett geschriebenen Düngerprodukte wurden in den Gefäss- und Feldversuche untersucht.

In dieser Studie wurden verschiedene Düngerprodukte aus der Aufbereitung von Gülle (aV, UF, RO) in Gefäss- und Feldversuchen getestet, mit dem Ziel, den Beitrag der technischen GÜlleaufbereitung zur Verbesserung der NAE und der Reduktion von N-Verlusten zu ermitteln. Zudem wurde untersucht, wie die Eigenschaften von Schweinegülle durch die GÜlleaufbereitung beeinflusst werden.

## Material und Methoden

### GÜlleaufbereitung: Anaerobe Vergärung kombiniert mit Membrantrennverfahren

Die verschiedenen Aufbereitungsschritte, aus denen die Düngerprodukte, die in der Studie untersucht wurden, hervorgingen, sind in Abbildung 1 ersichtlich. Die Schweinegülle wurde in einem ersten Schritt anaerob vergoren und anschliessend mechanisch separiert, um die Feststoffe von der Flüssigphase (Dünngülle) zu trennen. In einem zweiten Schritt fand die Weiteraufbereitung der vergorenen Dünngülle mittels Membrantrennverfahren (UF und RO) statt. Bei der UF wird eine Flüssigkeit – in unserem Fall die Dünngülle – mit Druck durch eine semipermeable Membran gezwungen. Hochmolekulare Substanzen (z. B. Bakterien, Proteine, Makromoleküle) werden an der Membran zurückgehalten (Abb. 2). Dabei entsteht ein konzentrierter Teilstrom, das UF-Retentat. Niedermolekulare Substanzen (z. B. Ionen) können die Membran passieren und resultieren in einem weniger konzentrierten Teilstrom, dem UF-Per-

### Zusammenfassung

Stickstoffemissionen aus Agrarökosystemen in die Umwelt haben in den letzten Jahrzehnten aufgrund der Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion zugenommen. Die Landwirtschaft ist Hauptemittentin von Stickstoffverbindungen wie Ammoniak, Nitrat und Lachgas, die sich negativ auf die Umwelt auswirken können. Die effizientere Nutzung von Düngerstickstoff sowie die Reduktion umweltschädigender Stickstoffemissionen sind deshalb den meisten Industrienationen ein dringendes Anliegen. Neue Technologien der Hofdüngeraufbereitung, wie zum Beispiel anaerobe Vergärung von Gülle kombiniert mit anschliessender Ultrafiltration und Umkehrosiose, können für die Landwirtschaft deshalb attraktiv sein, da sie das Potenzial besitzen, den Nährstoffeininsatz zu optimieren, das Transportvolumen von Gülle zu senken und erneuerbare Energie zu erzeugen.

In dieser Studie wurden vergorene Gülle und Düngerprodukte aus der nachfolgenden Membrantrennung (Ultrafiltration und Umkehrosiose) auf ihre Eigenschaften untersucht sowie deren scheinbare Stickstoffausnutzungseffizienz mittels der Differenzmethode in Gefäss- und Feldversuchen ermittelt. Durch die Aufbereitung der Gülle stieg der Ammoniumstickstoffgehalt in den aufbereiteten Düngerprodukten an, womit die Pflanzenverfügbarkeit des GÜllestickstoffs verbessert wurde. Da während der Aufbereitung aber gleichzeitig auch der pH-Wert anstieg, erhöht sich das Risiko gasförmiger Stickstoffverluste während der Lagerung und Ausbringung. Neue Aufbereitungstechnologien können, sind sie mit emissionsarmen Ausbringetechniken gekoppelt, die Stickstoffausnutzung von Gülle verbessern und die Stickstoffemissionen in die Umwelt senken.

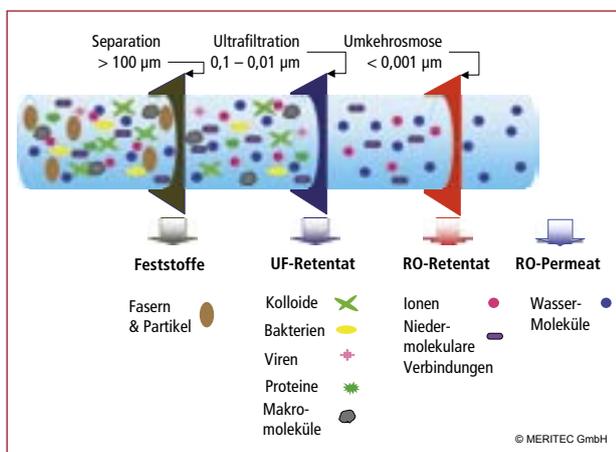


Abb. 2 | Stoffabtrennung mittels Separierung und Membrantrennung (Ultrafiltration, UF und Umkehrosiose, RO) bei der Aufbereitung von Gülle.



Abb. 3 | Umkehrosmose-Anlage.

meat. In einem letzten Schritt wurde das UF-Permeat mittels RO (Abb. 3) weiter aufbereitet. Durch Anlegen eines Drucks, der den osmotischen Druck übersteigt, wird die Flüssigkeit von einer Region höherer zu einer Region tieferer Konzentration (Gegenteil von Osmose) wieder durch eine semipermeable Membran gezwungen (Abb. 2). Die niedermolekularen Substanzen, die bei der UF die Membran noch passierten, werden nun als RO-Retentat zurückgehalten und aufkonzentriert. Wassermoleküle hingegen können die Membran passieren und gelangen in das RO-Permeat. Ausser den Feststoffen und dem RO-Permeat wurden alle aus der Güllaufbereitung resultierenden Zwischen- und Endprodukte (Abb. 1) charakterisiert und deren NAE in Gefäss- und Feldversuchen ermittelt.

### Gefäss- und Feldversuche

Die Gefässversuche wurden mit Sommerweizen (*Triticum aestivum* L. var. Fiorina) und Mais (*Zea mays* var. Delitop) in der Vegetationshalle von ART, die Feldversuche an zwei Standorten (Zürich-Affoltern und Oensingen) mit Winterweizen (*Triticum aestivum* L. var. Zinal) durchgeführt. Bei der Versuchsanordnung handelte es sich um ein vollständig randomisiertes Blockdesign mit jeweils vier Wiederholungen für jedes Düngerprodukt. Folgende Düngerverfahren wurden untersucht:

- Unbehandelte Schweinegülle (Anfangsprodukt)
- Vergorene Schweinegülle
- Vergorene Dünngülle
- UF-Retentat
- UF-Permeat
- RO-Retentat
- Ammoniumsulfat aus Ammoniakstrippung (nur in Gefässversuchen)
- Mineraldünger (Ammoniumnitrat)
- Ungedüngtes Kontrollverfahren

Die Düngung betrug in den Gefässversuchen beim Sommerweizen total 1 g, beim Mais 1,3 g mineralischer N pro Gefäss (0,038 m<sup>2</sup>) und in den Feldversuchen mit Winterweizen 135 kg N ha<sup>-1</sup>.

### Berechnungen

Die scheinbare N-Ausnutzungseffizienz der verschiedenen Düngerprodukte wurde mittels der Differenzmethode (Muñoz et al. 2004) berechnet:

$$NAE (\%) = \left[ \frac{(N\text{-Aufnahme}_{\text{gedüngt}} - N\text{-Aufnahme}_{\text{ungedüngt}})}{\text{total } N_{\text{gedüngt}}} \right] \times 100$$

wobei N-Aufnahme<sub>gedüngt</sub> (g pro Gefäss oder kg ha<sup>-1</sup>) der Aufnahme von N in die oberirdische Pflanzenmasse der mit N gedüngten Kultur und N-Aufnahme<sub>ungedüngt</sub> (g pro Gefäss oder kg ha<sup>-1</sup>) der Aufnahme von N in die oberirdische Pflanzenmasse der ungedüngten Kultur entspricht. Total N<sub>gedüngt</sub> (g pro Gefäss oder kg ha<sup>-1</sup>) ist die total ausgebrachte N-Menge. Die N-Aufnahme in die Pflanze im ungedüngten Verfahren entspricht dem totalen N-Entzug aus dem Boden. Die Differenz in der N-Aufnahme zwischen dem gedüngten und dem ungedüngten Verfahren entspricht deshalb dem N-Entzug aus dem jeweiligen Dünger.

### Statistische Analyse

Die Varianzanalyse wurde mit dem statistischen Analyseprogramm SYSTAT 11 (Systat Software Inc., USA) durchgeführt. Der Effekt der untersuchten Düngerprodukte auf die NAE wurde mittels «General Linear Model» (GLM) entsprechend dem komplett randomisierten Blockdesign überprüft. Bei signifikantem Effekt wurde

Tab. 1 | Ausgewählte Eigenschaften (Trockensubstanz [TS], pH-Wert, Gesamt-N [N<sub>tot</sub>], Ammonium-N [NH<sub>4</sub>-N]) der verschiedenen Düngerprodukte aus der Güllaufbereitung

Düngerprodukt	TS	pH (H <sub>2</sub> O)	N <sub>tot</sub>		Anteil NH <sub>4</sub> -N am Gesamt-N (%)
	(%)		(g/kg FS)		
Unbehandelte Schweinegülle	2,8	8,26	4,6	3,1	67,4
Vergorene Schweinegülle	1,9	8,30	3,9	3,4	87,2
Vergorene Dünngülle	1,9	8,52	4,0	3,4	85,0
UF-Retentat	4,6	8,53	6,0	3,8	63,3
UF-Permeat	1,1	8,68	3,4	3,3	97,1
RO-Retentat	3,7	8,81	7,8	7,6	97,4

der Tukey-HSD-Test mit einem Signifikanzniveau von  $P \leq 0,05$  verwendet. Prozentzahlen wurden für die Varianzanalyse arcsin-transformiert.

## Resultate und Diskussion

### Einfluss der Aufbereitung auf die Gülleeigenschaften

#### Trockensubstanz-Gehalt:

Durch die anaerobe Vergärung wurde der Trockensubstanzgehalt (TS) der Gülle reduziert (Tab. 2). Die Reduktion des TS-Gehaltes vermindert die Viskosität der Gülle und verbessert somit deren Fließfähigkeit (Chatigny *et al.* 2004). Dadurch kann die Gülle schneller von den Pflanzen abfließen und schneller in den Boden einsickern, was gasförmige N-Verluste reduzieren kann. Ultrafiltration und RO erhöht den TS-Gehalt in den Retentaten (Tab. 1).

#### pH-Wert:

Da während der anaeroben Vergärung ein Teil des organisch gebundenen N in Ammoniumkarbonat überführt wird, steigt der pH-Wert der Gülle in der Regel an (Kirchmann und Witter 1992). In dieser Studie war der pH-Wert der vergorenen Gülle gegenüber der unvergorenen jedoch nur geringfügig höher, was auf den schon relativ hohen pH-Wert der unbehandelten Gülle zurückzuführen sein könnte. Die weitere Aufbereitung mit UF und RO führte zu einem weiteren pH-Anstieg im Permeat und den Retentaten (Tab. 1). Ab einem pH-Wert von 7 verschiebt sich das Dissoziationsgleichgewicht zwischen Ammonium ( $\text{NH}_4$ ) und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) in Richtung höherer  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen. Dies erhöht das Risiko von  $\text{NH}_3$ -Verlusten während der Lagerung und Ausbringung (Pötsch *et al.* 2004). Düngerprodukte mit hohen  $\text{NH}_4$ -Konzentrationen müssen deshalb unmittelbar nach dem Ausbringen in den Boden eingearbeitet werden.

#### Stickstoffgehalt:

Durch den Vergärungsprozess sollte sich der absolute Gehalt an totalem N – wenn überhaupt – nur geringfügig verändern, da nur ein geringer Teil des N ins Biogas überführt werden kann. Die Abnahme des Total-N-Gehalts der Gülle um 15 % nach der Vergärung (Tab. 1) konnte nicht schlüssig erklärt werden. Während des Vergärungsprozesses wird organische Substanz abgebaut. Organisch gebundener N wird dabei durch Mikroorganismen in pflanzenverfügbarem N überführt, so dass der  $\text{NH}_4$ -N-Gehalt zu- und der Gehalt an organischem N in der Gülle gleichzeitig abnimmt (Gutser *et al.* 2005). Die UF und RO führten zu einem weiteren Anstieg des  $\text{NH}_4$ -N-Gehalts, vor allem im RO-Retentat, während im

UF-Retentat der Anteil von  $\text{NH}_4$ -N am totalen N mit dem von unbehandelter Gülle vergleichbar war (Tab. 1). Dies kann damit erklärt werden, dass während der UF organische N-Verbindungen (z. B. Proteine) die semipermeable Membran nicht passieren können und so im UF-Retentat angereichert werden, während Ionen (z. B.  $\text{NH}_4^+$ ) die Membran passieren und ins UF-Permeat gehen. Die Umwandlung von organisch gebundenem N in  $\text{NH}_4$ -N während der Aufbereitung erhöhte den Gehalt an direkt pflanzenverfügbarem N gegenüber der unbehandelten Gülle. Die N-Freisetzung aus Düngerprodukten aus der Gülleaufbereitung wird dadurch vorhersagbarer und lässt damit einen präziseren Einsatz des Gülle-N zu. Da jedoch gleichzeitig mit der Zunahme des  $\text{NH}_4$ -N-Gehalts auch der pH-Wert der Gülle ansteigt, erhöht sich das Risiko von potenziellen  $\text{NH}_3$ -Verlusten während der Lagerung und Ausbringung.

#### Massenbilanz:

Die Berechnung der Massenbilanz ergab, dass durch die Aufkonzentrierung der Gülle über die gesamte Aufbereitungskette (aV, UF und RO) ein beachtlicher Anteil an Wasser aus der Gülle entfernt werden konnte. Das Volumen des RO-Retentats konnte gegenüber der unbehandelten Gülle um ungefähr 60 % reduziert werden (Daten nicht gezeigt).

### NAE der Düngerprodukte aus der Gülleaufbereitung

#### Gefässversuche:

Verglichen mit der unbehandelten Gülle wiesen die Düngerprodukte aus der Gülleaufbereitung in den Gefässversuchen mit Sommerweizen und Mais in der Regel eine höhere NAE auf (Tab. 2). Ausnahmen bildeten das UF- und zum Teil auch das RO-Retentat. Wie schon erwähnt und wie auch aus Tabelle 2 ersichtlich, reicherten sich die organischen N-Verbindungen während der UF im Retentat an, weil sie die Membran nicht passieren konnten. Das UF-Retentat war mit einem Anteil von 63 % direkt pflanzenverfügbarem N am totalen N mit der unbehandelten Gülle vergleichbar (Tab. 1). Im Gegensatz dazu wiesen die vergorene Gülle sowie das UF-Permeat und RO-Retentat mit 87 % bzw. jeweils 97 % einen wesentlich höheren  $\text{NH}_4$ -N-Anteil am totalen N auf (Tab. 1). Die NAE war in diesen Düngerprodukten deshalb signifikant höher als im UF-Retentat oder in der unbehandelten Gülle (Tab. 2). Trotz einem Anteil von 97 % direkt pflanzenverfügbarem N war die N-Ausnutzung des RO-Retentats durch den Mais bescheiden (Tab. 2). Dies konnte im Gefässversuch mit Sommerweizen nicht festgestellt werden. Möglicherweise wurde die N-Ausnutzung durch den salzempfindlichen Mais wegen der hohen Salzkonzentration im RO-Retentat (Daten nicht gezeigt) gehemmt. ➤

**Tab. 2 | Scheinbare Stickstoffausnutzungs-Effizienz (NAE) der verschiedenen Düngerprodukte aus den Gefäss- und Feldversuchen. Standardabweichung in Klammern. n = 4**

Düngerprodukt	Gefässversuche		Feldversuch Zürich-Affoltern <sup>a</sup>
	Sommerweizen	Mais	Winterweizen
	NAE (%)		
Unbehandelte Schweinegülle	30,9 (4,3) d	28,0 (3,8) ce	37,1 (8,0) b
Vergorene Schweinegülle	48,3 (4,3) c	52,6 (4,5) b	55,9 (11,3) ab
Vergorene Dünngülle	50,9 (4,2) bc	46,8 (2,3) b	56,3 (6,9) ab
UF-Retentat	36,8 (7,3) d	21,7 (1,2) e	42,9 (1,3) b
UF-Permeat	58,2 (3,3) b	47,7 (2,6) b	53,7 (8,4) ab
RO-Retentat	50,1 (2,8) bc	36,6 (2,0) c	54,6 (7,3) ab
Ammoniumsulfat <sup>b</sup>	77,0 (4,9) a	62,0 (4,7) a	n.u.
Mineraldünger <sup>c</sup>	67,8 (15,5) a	69,9 (4,7) a	63,3 (9,0)

<sup>a</sup> Nur Standort Zürich-Affoltern, da keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Standorten und keine Standort x Düngerinteraktion bei beiden Standorten.

<sup>b</sup> Aus Ammoniakstrippung.

<sup>c</sup> Ammoniumnitrat.

n.u. nicht untersucht.

Innerhalb einer Spalte sind die mit verschiedenen Buchstaben gekennzeichneten Mittelwerte nach Tukey's-multiple-range Test signifikant voneinander verschieden ( $P \leq 0,05$ ).

Im Vergleich zum Mineraldünger (Ammoniumnitrat) wiesen sowohl die vergorene Gülle wie auch die Düngerprodukte aus der UF und RO eine signifikant tiefere NAE auf (Tab. 2). Einzig das Ammoniumsulfat aus der Ammoniakstrippung führte zu einer ähnlich hohen NAE wie beim Mineraldünger (Tab. 2).

### Feldversuche:

In den Feldversuchen unterschied sich die NAE der meisten Düngerprodukte aus der anaeroben Vergärung, der UF und RO statistisch nicht von der NAE der unbehandelten Gülle und des Mineraldüngers (Tab. 2). Dies könnte auf die höhere Variabilität in den Feld- gegenüber den Gefässversuchen zurückzuführen sein. Tendenziell war die N-Ausnutzung der Aufbereitungsprodukte durch den Winterweizen jedoch höher als bei der unbehandelten Gülle.

### Schlussfolgerungen

- Die Ergebnisse aus den Gefäss- und Feldversuchen zeigen, dass die aus der Aufbereitung gewonnenen Düngerprodukte (UF-Retentat, UF-Permeat, RO-Retentat) zur landwirtschaftlichen Düngung geeignet sind.
- Neue Technologien in der Gülleaufbereitung wie zum Beispiel anaerobe Vergärung kombiniert mit Ultrafiltration und Umkehrosmose haben das Potenzial, die Stickstoffausnutzungseffizienz von Gülle zu verbessern und Stickstoff-Emissionen in die Umwelt zu verringern, wenn die Aufbereitungsprodukte sachgemäss gelagert und emissionsarm ausgebracht (z. B. Schleppschlauchverteiler) werden.
- Wegen des hohen Anteils an direkt pflanzenverfügbarem Stickstoff vor allem im Permeat aus der Ultrafiltration und im Retentat aus der Umkehrosmose könnten diese Produkte Mineraldünger zumindest teilweise ersetzen.
- Durch die Reduktion des Transportvolumens der Gülle könnte das Problem von regionalen Stickstoff-Überschüssen entschärft werden (erleichterter Transport in Regionen mit N-Bedarf). ■

### Dank

Die Autoren bedanken sich beim BLW sowie bei den Kantonen Aargau, Appenzell Ausserrhoden und Schaffhausen für die finanzielle Unterstützung.

### Literatur

- Chatigny M. H., Rochette P., Angers D. A., Massé D. & Côté D., 2004. Ammonia volatilization and selected soil characteristics following application of anaerobically digested pig slurry. *Soil Science Society of America Journal* **68**, 306–312.
- Dobermann A., 2005. Nitrogen use efficiency – state of art. Paper präsentiert am IFA International Workshop on enhanced-efficiency fertilizers, Frankfurt, Deutschland, 28.–30. Juni 2005.
- Gutser R., Ebertseder T., Weber A., Schraml M. & Schmidhalter U., 2005. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **168**, 439–446.
- Kirchmann H. & Witter E., 1992. Treatment of solid animal manures: Identification of low  $\text{NH}_3$  emission practices. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **52**, 65–71.
- Muñoz G. R., Kelling K. A., Powell M. J. & Speth P. E., 2004. Comparison of estimates of first-year dairy manure nitrogen availability or recovery using nitrogen-15 and other techniques. *Journal of Environmental Quality* **33**, 719–727.
- Pötsch E. M., Pfundtner E., Resch R. & Much P., 2004. Stoffliche Zusammensetzung und Ausbringungseigenschaften von Gärrückständen aus Biogasanlagen. In: Biogasproduktion – alternative Biomassennutzung und Energiegewinnung in der Landwirtschaft, 10. Alpenländisches Expertenforum, Irdning, Österreich.

**Riassunto****Migliorare l'efficacia dell'azoto del liquame attraverso la sua lavorazione**

Le emissioni atmosferiche di azoto degli ecosistemi agricoli sono aumentate nell'ultimo decennio, a seguito dell'intensificazione della produzione agricola. L'agricoltura è la principale fonte di emissioni di composti azotati quali ammoniaca, nitrati e protossido d'azoto che possono avere un impatto negativo sull'ambiente. Nella maggior parte dei paesi industrializzati l'utilizzo efficace dell'azoto contenuto nei concimi e la riduzione delle emissioni dannose per l'ambiente sono dunque dei problemi urgenti da trattare. Le nuove tecnologie per la lavorazione dei concimi aziendali, quali ad esempio la fermentazione anaerobica del liquame, in combinazione con l'ultrafiltrazione e l'osmosi inversa, possono rappresentare una soluzione allettante per l'agricoltura, in quanto potenzialmente in grado di ottimizzare l'impiego delle sostanze nutritive, ridurre i volumi di liquame da trasportare e generare energia rinnovabile. Nel presente studio sono state analizzate le proprietà di liquame fermentato e concimi ottenuti mediante membrane di ultrafiltrazione e osmosi inversa nonché la rispettiva efficienza apparente dell'azoto in base al metodo differenziale in prova in contenitori e sul campo. Attraverso la lavorazione del liquame il tenore in azoto ammoniacale dei concimi ottenuti aumenta, così come la quantità di azoto nel liquame disponibile per le piante. Siccome vi è pure un aumento del pH durante la lavorazione il rischio di perdite di azoto allo stato gassoso durante lo stoccaggio e lo spandimento segue la medesima tendenza. Le nuove tecnologie di lavorazione, se combinate con tecniche di spandimento a basso carico di emissioni, possono migliorare la gestione dell'azoto del liquame e ridurre le emissioni nell'ambiente.

**Summary****Improving Nitrogen Efficiency via Slurry Treatment**

Over the last few decades, intensified agricultural production has greatly increased fluxes of nitrogen (N) between different compartments of the biosphere, and more specifically, emissions of N compounds from agroecosystems. Agriculture is one of the main emitters of N compounds (e.g. ammonia, nitrate, nitrous oxide) with negative impacts on the environment like greenhouse-gas emissions and contamination of surface and ground water. Greater efficiency in N-fertiliser use and the reduction of environmentally harmful N losses are therefore still urgent matters of concern for most industrial countries. New technologies such as anaerobic fermentation (AF) of slurry combined with subsequent ultrafiltration (UF) and reverse osmosis (RO) can be attractive options for agriculture, potentially enabling to optimise nutrient management, reduce volumes of transported slurry, and generate renewable energy. In this study, anaerobically fermented pig slurry and fertilizer products from the subsequent mechanical separation (UF and RO) were characterised and their apparent N-use efficiency determined in pot and field experiments by means of the difference method. Treatment of pig slurry with AF, UF and RO increased the ammonium N concentration, which improved plant N availability. Since the pH value also increases in parallel during treatment, the risk of gaseous losses during storage and application also rises. Nevertheless, new slurry-treatment technologies coupled with low-emission application techniques (e. g. spreader with trailed hoses) can potentially both increase the N efficiency of slurry and reduce N emissions to the environment.

**Key words:** anaerobic fermentation, nitrogen use efficiency, pig slurry, reverse osmosis, ultrafiltration.