

## **N-Düngung – Präzisionsdüngung und Gießkannenprinzip**

Urs Schmidhalter

Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Department für Pflanzenwissenschaften, Technische Universität München, Freising, E-Mail: schmidhalter@wzw.tum.de

### **Einleitung**

Der Mineraldüngeraufwand war in Deutschland seit 1950 bis 1980 durch eine stete Zunahme von 30 auf 120-130 kg N/ha landwirtschaftliche Nutzfläche gekennzeichnet, blieb dann bis etwa 1990 auf diesem Niveau, gefolgt von einem leichten Rückgang auf ungefähr 110 kg N/ha. Die Lieferung von mineralischem Stickstoff an die Landwirtschaft betrug in den letzten zwanzig Jahren etwa 1.75 Mio t Stickstoff (Industrieverband Agrar, 2010). Die Indizes der Preisentwicklung von Düngemitteln erhöhten sich in den letzten Jahren um fast 200%.

Der Wirtschaftsdüngeranfall aus der Rinder- und Schweinehaltung ist im Zeitraum 1994-2010 um ca. 13% zurückgegangen. Der jährliche Wirtschaftsdüngeranfall aus der Rinder- und Schweinehaltung lag in 2009 bei 152 Mio t FM/a, davon betrug der Anfall an Gülle, Festmist und Jauche 111, 32 und 10 Mio t FM/a (Schultheiß et al., 2010). In diesen Wirtschaftsdüngern sind über 1 Mio t Stickstoff enthalten.

Weizen, Mais, Gerste, Raps und Zuckerrüben bilden anteilmäßig die wichtigen Ackerkulturen mit 28%, 19%, 14%, 12% und 3%. Im Zeitraum 1992-2010 hat sich der Anteil von Mais, Weizen und Raps zwischen 6-4% erhöht, derjenige von Gerste und Zuckerrüben um 7-2% erniedrigt.

Die durchschnittlichen Erntemengen und Ernteerträge von Getreide haben sich in Deutschland in den letzten fünfzehn Jahren nicht wesentlich verändert. Eine regionalisierte Betrachtung zeigt je nach Bundesland und Ackerkultur leichte Zunahmen, Stagnationen oder leichte Abnahmen in den Erträgen. Die Grünlanderträge haben sich nicht verändert.

Daraus lässt sich ableiten, dass die Effizienz des N-Einsatzes in den letzten zwanzig Jahren gegenüber dem Zeitraum 1980-1990 verbessert wurde und bedingt durch den Rückgang des Anfalls an Wirtschaftsdüngern in den letzten 20 Jahren bei konstantem Mineraldüngereinsatz eine weitere leichte Verbesserung erreicht wurde.

Als Zielwert für den betriebliche Nährstoffvergleich ist von der Düngeverordnung für die in 2006, 2007 und 2008 begonnenen Düngejahre ein betrieblicher Nährstoffüberschuss von 90 Kilogramm Stickstoff je Hektar und Jahr und für die in 2009, 2010 und 2011 begonnenen Düngejahre ein Überschuss von 60 Kilogramm je Hektar und Jahr festgelegt worden. In diesen Zahlen wird eine Diskrepanz zwischen der errechneten Reduktion, wie oben skizziert, und der im Betriebsvergleich anzustrebenden Reduktion, aktuell vorwiegend auf Vergleichen der weniger geeigneten Feld-Stall-Bilanz (im Vergleich zur Hoftorbilanz) basierend, zum Ausdruck gebracht. Künftige stärkere Reduktionen sind primär im verbesserten Einsatz organischer Wirtschaftsdünger im Vergleich zu Mineraldüngern zu erreichen. Technische Weiterentwicklungen und Regularien (Düngeverordnung etc.) haben in den letzten zwanzig Jahren zu Verbesserungen im N-Management beigetragen. Gründe hierfür liegen unter anderem in verbesserten Ausbringtechniken von Mineraldüngern und organischen Düngern wie auch in der Schaffung der erforderlichen Lagerkapazitäten für Wirtschaftsdünger. Als wesentliche technische

Innovationen in den letzten fünfzehn Jahren können Entwicklungen in der teilflächenspezifischen N-Düngung genannt werden, wie auch die Bereitstellung leistungsfähiger Nitrifikations- und Ureasehemmstoffe, die zu einer präziseren Düngung beitragen.

Der Anteil von Kalkammonsalpeter, Harnstoff, Ammon-Nitrat-Harnstofflösung und anderen Einnährstoffdüngern an den eingesetzten stickstoffhaltigen Düngemitteln lag in den Jahren 2007-2009 bei 43%, 22%, 11% und 16%. Aufgrund eigener langjähriger Untersuchungen und aus Ergebnissen der Officialberatung kann geschlossen werden, dass die N-Form in der pflanzenbaulichen Betrachtung eher eine nachrangige Rolle spielt. Eine umfassende vergleichende Bewertung von Umweltemissionen (Nitrat, Ammoniak, Stickoxide einschließlich Lachgas) verschiedener N-Formen liegt nicht vor.

Bei Ackerkulturen wie Zuckerrüben und Braugerste sind qualitätsorientierte Begrenzungen der N-Düngung fester Bestandteil des N-Düngungskonzepts, im Gegensatz dazu sind weitere Optimierungen bei den Ackerkulturen Raps und Mais, die flächenmäßig stark zugenommen haben, erforderlich, und auch bei einer sortendifferenzierten Qualitätsdüngung von Weizen möglich.

Eine bedarfsgerechte N-Düngung basiert auf einer realistischen Ertragserwartung und bemisst aufgrund der Schätzung/Messung des aus dem Bodenpool nachgelieferten Stickstoffs die durch Düngung zuzuführende Stickstoffmenge. Während umfangreiche und realistische Bedarfsschätzungen für verschiedene Kulturen vorliegen, liegt die Schwierigkeit darin den Ertrag ex-ante vorherzusagen und die N-Nachlieferung des Bodens aus verschiedenen Quellen (Nachlieferung aus dem Boden bzw. aus Vorfrüchten, Zwischenfrüchten und organischen Düngern) bleibt schwierig abzuschätzen. In der Regel wird der mineralisch verfügbare Stickstoff zu Beginn der Vegetation geschätzt. Schlagbezogene  $N_{\min}$ -Untersuchungen werden eher relativ selten durchgeführt. Für weitere Optimierungen wird es unumgänglich sein den aktuell im Boden vorhandenen Stickstoff vermehrt zu messen. Untersuchungen sind heute relativ rasch auch mit weiter vereinfachten Schnelltests im Betrieb oder direkt auf dem Felde durchführbar (Schmidhalter, 2005; [www.nitratesoiltest.com](http://www.nitratesoiltest.com)). Vor der Saat oder zu frühen Vegetationsstadien kann der verfügbare Stickstoff verlässlich nur durch Messung des Bodens erfasst werden, während in späteren Stadien vermehrt auch optische Methoden es erlauben die N-Nachlieferung aus dem Boden indirekt über die Pflanzen abzuschätzen. Durch Kombination spektraloptischer Verfahren mit klassischen Düngungsfenstern kann die Nachlieferung auch teilflächenspezifisch erfasst werden (Schmidhalter und Jungert, 2006, unveröffentlicht).

### **Präzisionsdüngung**

Entwicklung, Wachstum und Stickstoffaufnahme von Pflanzen können auf Feldern lokal variieren. Mit teilflächenspezifischer Düngung kann eine an die lokale Heterogenität angepasste N-Düngung (Präzisionsdüngung) durchgeführt werden. Im Idealfall führt dies zu Ressourceneinsparungen, zur Optimierung von Erträgen und Qualitäten und zu Emissionsreduktionen in die Umwelt.

Um diese Ziele zu erreichen sind Methoden und Technologien erforderlich, die die Standortheterogenität aufzeigen, die Ursächlichkeit der standörtlich bedingten Ertragsunterschiede erkennen lassen, teilflächenspezifische Regeln der Bewirtschaftung bereitstellen und die technische Umsetzung ermöglichen. In der vergangenen Dekade sind umfangreiche Arbeiten in der Entwicklung, Testung und im Einsatz teilflächenspezifischer N-Düngungskonzepte durchgeführt worden. Als

Basis für die Umsetzung einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung können Kartenansätze, basierend auf zuvor gewonnener Information (mapping-Verfahren), oder Echtzeitinformationen (online Verfahren) bzw. auch Kombinationen dieser zwei Ansätze gewählt werden. In der Praxis am meisten verbreitet sind Echtzeitverfahren. Es wird geschätzt, dass auf etwa 5% der ackerbaulich genutzten Fläche in Deutschland teilflächenspezifisch Stickstoff gedüngt wird.

Eine kausale Bewertung der standörtlichen Ertragspotenziale zeigt, dass die Wasserversorgung, beeinflusst durch die standörtliche Variation der Bodentextur, und der Topographie, die lokale Ertragsvariabilität wesentlich beeinflusst (Schmidhalter et al., 2006). Für die Abgrenzung von Managementzonen haben sich terrestrische oder flugzeugbasierte spektralsensorische Verfahren als besonders leistungsfähig erwiesen und waren geophysikalischen Verfahren überlegen (Schmidhalter et al., 2008; Jungert, 2011). Langjährige Untersuchungen in Bayern haben gezeigt, dass Ertragszonen stabil waren, wenn auch der Grad der Differenzierung jahresbedingt variieren kann (Jungert, 2011).

Die Auswirkungen teilflächenspezifischer Stickstoffdüngung wurden in mehrjährigen, ortsfesten Untersuchungen im Zeitraum 2002-2007 an verschiedenen Standorten in Bayern untersucht. Bei diesen Untersuchungen wurden Mapping- und online Ansätze (N-Sensor) im Vergleich zu einheitlicher Düngung bewertet (Ebertseder et al., 2006). Beim Kartenansatz wurde eine reduzierte N-Düngung auf ertragsschwächeren Zonen zu Gunsten einer Umverteilung auf die Hohertragszonen untersucht, während der in den N-Sensor implementierte Algorithmus die Stickstoffdüngung in den Niedrigertragszonen betont und zum Zeitpunkt der Spätdüngung (Qualitätsdüngung) dies zu Gunsten der Zonen mit stärkerem Wachstum umkehrt.

Mit dem Mapping-Ansatz konnte bei Getreide in den Niedrigertragszonen bzw. den kolluvialen Hohertragszonen bei vergleichbarer Ertragsleistung die N-Effizienz zwischen 13% und 26% gegenüber einheitlicher Düngung erhöht werden (Jungert, 2011). Eine Erhöhung der N-Düngung auf den Hohertragszonen gegenüber der betriebsüblichen optimierten Düngung erwies sich als nicht notwendig. Die Ergebnisse zeigen, dass auf Niedrigertragszonen und kolluvialen Hohertragszonen erhebliche N-Einsparungen möglich sind. Die Stickstoffkostenfreien Leistungen unterschieden sich beim Mappingansatz bzw. bei einheitlicher Düngung nicht wesentlich.

Der Online-Ansatz basierend auf dem N-Sensor reduzierte die N-Effizienz um 13% in den Niedrigertragszonen, führte andererseits zu einer Steigerung der N-Effizienz von 7% in den Hohertragszonen (Jungert, 2011). Während die Stickstoffkostenfreie Leistung in den Niedrigertragszonen, aber auch in der Mittlerertragszone leicht erhöht wurde, ergab sich eine kleine Reduktion auf den Hohertragszonen. Der Online Ansatz reduzierte die Lagerung von Getreide und resultierte in homogeneren Beständen. Die Erträge wurden durch den Sensoransatz um 3% in der Niedrigertragszone und um 1% in der Mittlerertragszone erhöht. Der Sensoransatz ermöglichte es auch den Ertrag mit adäquater Genauigkeit abzuschätzen und konnte auch für die Abgrenzung von Managementzonen eingesetzt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass weitere Optimierungen sowohl beim Kartenansatz wie auch beim N-Sensoransatz möglich und sinnvoll sind. Bei kleiner strukturierten Betrieben eignet sich auch ein Kartenansatz bzw. kann eine Sensor basierte Düngung über Dienstleister eingesetzt werden.

In den letzten Jahren sind umfangreiche Untersuchungen in der Bewertung passiver und aktiver Sensoren durchgeführt worden und optimierte Algorithmen zur Ableitung von Biomassezuständen und N-Aufnahmen insbesondere bei Ackerkulturen wie

Weizen und Mais entwickelt worden (u.a. Mistele et al. 2008, Mistele und Schmidhalter, 2010; Erdle et al., 2011). In neueren Ansätzen wird vermehrt auch versucht den Wasserstatus von Kulturpflanzen zu erfassen (El-Sayed et al., 2011; Winterhalter et al., 2011), eine Information die zur Optimierung im N-Management beitragen kann.

### **Effizientere Dünger**

Die Entwicklung effizienterer Dünger ermöglicht einen gezielteren Einsatz von Stickstoff. Dazu tragen neu entwickelte Nitrifikations- und Ureasehemmstoffe bei.

Nitrifikationshemmer ermöglichen vorgezogene, höhere Gaben, da die Stabilisierung des Ammoniumstickstoffs zu einer verzögerten Umwandlung zu Nitratstickstoff beiträgt. Eine frühere Bereitstellung stabilisierten Stickstoffs ist auch bei Frühjahr- oder Vorsommertrockenheit vorteilhaft, da sich der Stickstoff bereits in der Wurzelzone befindet. Eine Einsparung von Teilgaben ist betriebswirtschaftlich vorteilhaft. Während in eigenen langjährigen Untersuchungen vorteilhafte Wirkungen von Nitrifikationshemmstoffen bei Einsatz von mineralischem Stickstoff auf die Ertragsleistung von Weizen gezeigt werden konnten (Linzmeier, 2011), ergaben sich in einer vergleichenden Bewertung von Ergebnissen der Officialberatung keine statistisch gesicherten Erhöhungen des Ertrags. Zur Sicherung der Eiweißqualität empfiehlt sich die Kombination von stabilisierter mit nicht-stabilisierten N-Düngern. Der Einsatz eines Nitrifikationshemmstoffs zu Gärresten förderte die N-Aufnahme bei Mais (Schmidhalter et al., 2011).

Nitrifikationsinhibitoren reduzieren die N-Auswaschung (Gutser, 2006). Jüngere Untersuchungen zeigen auf, dass Nitrifikationshemmstoffe sehr gut geeignet sind Lachgasverluste bei Einsatz von mineralischen Düngern (Linzmeier, 2001) wie auch bei organischer Düngung mit Gülle (Schmidhalter et al., 2011) wesentlich zu reduzieren. Die Reduktionen betragen bei mineralischer N-Düngung bis zu 40% und bei organischer Flüssigmistdüngung bis zu 60%. Diese Ergebnisse sind in Einklang mit einer jüngst veröffentlichten Übersichtsarbeit (Akiyama et al., 2010). Nitrifikationshemmstoffe stellen bei Nutzung aller Maßnahmen, die zur guten fachlichen Praxis beitragen, die zurzeit effektivste Maßnahme dar, um Lachgasverluste wesentlich zu reduzieren. Da etwa 10% des mineralisch gedüngten Stickstoffs in Deutschland stabilisiert gedüngt wird, kann dies bereits jetzt zu einer Reduktion von Lachgasverlusten beitragen. Die Bedeutung von Nitrifikationshemmstoffen in der Lachgasvermeidung wird zurzeit noch wesentlich unterschätzt.

Ammoniakverluste aus Harnstoff lassen sich durch Ureasehemmstoffe wesentlich reduzieren. Bei langjährigen ackerbaulichen Untersuchungen konnten Reduktionen von bis 40% im Ackerbau und bis zu 60% im Grünland aufgezeigt werden (Übersicht in Schmidhalter et al., 2010).

### **Der lange Weg zur organischen Präzisionsdüngung**

Verbesserungen und Optimierungen in der N-Düngung sind insbesondere beim Einsatz organischer Dünger erforderlich. Organische Wirtschaftsdünger tragen wesentlich mit einem Anteil von etwa 37 % zum Stickstoffinput in die deutsche Landwirtschaft bei. Organische Wirtschaftsdünger fallen überwiegend als Gülle an und zu einem kleineren Anteil als Festmist bzw. Jauche.

Die Diskrepanz in der Bewertung mineralischer und organischer Dünger ist augenscheinlich. Während die Düngegesetzgebung die inhaltstoffliche Bewertung von Mineraldüngern präzise festlegt, stehen für organische Dünger häufig nur

Schätzwerte zur Verfügung. Die hohe Varianz die Gülle bspw. im Ammonium- oder Gesamtstickstoffgehalt aufweisen, hinterfragt solche sicher gut gemeinten, aber im Einzelfall oft nicht zutreffenden tabellarischen Schätzwerte. Das Defizit in der genauen Kenntnis der Inhaltsstoffe organischer Dünger erschwert eine Optimierung in der organischen Düngung. Während die ausgebrachten Volumina präzise erfasst werden können, ist der Kenntnisstand der ausgebrachten Nährstoffmengen ungenügend. Ansätze sind jedoch vorhanden, die zu Verbesserungen auf diesem Sektor beitragen können (Schmidhalter, 2011). Die repräsentative Erfassung der in großen Güllelagern enthaltenen Nährstoffmengen erfordert eine ausreichende Homogenisierung und die Analyse der darin enthaltenen Nährstoffe. Technische Lösungen liegen vor, die es ermöglichen eine gute Kenntnis der mit Gülle ausgebrachten Nährstoffe zu erreichen.

Ausführliche Untersuchungen auf verschiedenen Betrieben haben gezeigt, dass die Nährstoffzusammensetzung bei Ausbringung von Gülle in der Tat mit jedem ausgebrachten Fass wesentlich variieren kann. Dieses Problem kann durch intensive Mischung mittels leistungsfähiger Rührwerke weitgehend gelöst werden. Damit können die primär in den Feststoffen enthaltenen Nährstoffe, nämlich der organische Stickstoff und das Phosphat, repräsentativ erfasst werden. Die primär in der Flüssigphase enthaltenen Nährstoffe Ammonium und Kalium sind ohne weitere Homogenisierung bereits repräsentativ in der Flüssigphase verteilt, was eine vereinfachte Erfassung zulässt bzw. ermöglicht. Daraus leitet sich die Forderung nach einer effizienten Rührtechnik ab, für die bessere Erfassung der in der Festphase vorhandenen Nährstoffe, besonders auch in Wirtschaftsdüngern aus der Schweinehaltung.

Während die Düngemittelgesetzgebung die Gehalte und Toleranzen von Mineraldüngern im Prozentbereich festlegt, ist die Erfassung der in organischen Flüssigdüngern enthaltenen Nährstoffe, mit einigen Ausnahmen, nicht vorgesehen und basiert überwiegend auf Schätzwerten. Diese Diskrepanz in der Bewertung organischer Dünger, die mit fast 2/5 zum gesamten Stickstoffdüngeraufwand beitragen, ist auffällig und erschwert Verbesserungen im Bereich des organischen Wirtschaftdüngermanagements.

Bei Betrachtung der enormen Nährstoffmengen und des Wertes dieser Nährstoffmengen scheint es vernünftig eine adäquatere Bewertung zu verlangen. Für die Analyse kommen chemische, aber auch alternative vereinfachte Untersuchungen in Frage. Nährstoffe können auch vereinfacht mit Schnelltesten (Dichtebestimmung, elektrische Leitfähigkeit, Elektroden) oder mit NIRS (in-situ oder im Güllefass) bestimmt werden. Eine vernünftige Approximation durch solche Schnellmethoden ist in jedem Fall besser als eine Ableitung basierend auf eher zufälligen Schätzwerten. Positiv zur besseren Wertschätzung von organischen Düngern tragen Fördermaßnahmen bei (bspw. Kulap), die Analysen voraussetzen. Zurzeit bestehen noch nicht ausreichende Kenntnisse wie variabel bei mehrjähriger Betrachtung die Nährstoffgehalte in Güllelagern im Einzelbetrieb sind.

Bewertungsgrundlagen bei bekannter Zusammensetzung sind vorhanden, die neben der kurzfristigen Wirkung auch die längerfristige Wirkung zu berücksichtigen versuchen (Gutser et al., 2005). Jüngst sind auch optimierte Anwendungskriterien für die Gärrestdüngung erarbeitet worden (Fouda et al., 2011).

Mit besseren Kenntnissen der Nährstoffzusammensetzung organischer Dünger ist ein erster wichtiger und notwendiger Schritt getan, der zu einer wesentlich besseren Bewertung und auch Wertschätzung der organischen Dünger beitragen kann. Organische Dünger bekommen dadurch den Wert, den sie verdienen, und dies

ermöglicht eine rationalere Gestaltung der Düngung und ermöglicht eine bessere fachliche Praxis.

## Literatur

- Akiyama, H.; X. Yan und K. Yagi 2010: Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N<sub>2</sub>O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology* 16: 1837-1846.
- Ebertseder, T.; U. Schmidhalter; R. Gutser; U. Hege und S. Jungert 2005: Evaluation of mapping and one-line nitrogen fertilizer application strategies in multi-year and multi-location static field trials for increasing nitrogen use efficiency of cereals. In: *Precision Agriculture '05*, ed. J.V. Stafford, Wageningen Academic Publishers, 327-335.
- Elsayed, S.; B. Mistele und U. Schmidhalter 2011: Can changes in leaf water potential be assessed spectrally? *Functional Plant Biology* 38: 523-533.
- Erdle, K.; B. Mistele und U. Schmidhalter 2011: Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. *Field Crops Research* (in press).
- Fouda, S.; S. von Tucher; F. Lichti und U. Schmidhalter 2011: Nitrogen offtake from different biogas residues applied to ryegrass (submitted to *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*).
- Gutser, R. 2006: Nitrifikationsinhibitoren zur Steuerung der N-Freisetzung aus mineralischen und organischen Düngemitteln. *Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft, Rendsburg*: 378-396.
- Gutser, R.; T. Ebertseder; A. Weber; M. Schraml und U. Schmidhalter 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
- Industrieverband Agrar 2010: <http://www.iva.de/publikationen/wichtige-zahlen-2009-2010>
- Jungert, S. 2011: Optimierung der Stickstoffdüngung durch teilflächenspezifische Landbewirtschaftung. *Dissertation Technische Universität München*.
- Linzmeier, W. 2011: Verwertungseffizienz und gasförmige N-Verluste von 3,4-Dimethylpyrazolosphat (DMPP)-stabilisiertem Ammoniumdünger. *Dissertation Technische Universität München*.
- Linzmeier, W.; R. Gutser und U. Schmidhalter 2001: Nitrous oxide emission from soil and from a nitroren-15-labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). *Biology and Fertility of Soils* 34: 103-108
- Mistele, B. und U. Schmidhalter 2008: Estimating the nitrogen nutrition index using spectral canopy reflectance measurements. *European Journal of Agronomy* 29: 184-190.
- Mistele, B. und U. Schmidhalter 2010: Tractor-based quadrilateral spectral reflectance measurements to detect biomass and total aerial nitrogen in winter wheat. *Agronomy Journal* 102: 499-506.
- Schmidhalter, U. 2005: Development of a quick on-farm test to determine nitrate levels in soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168: 432-438.
- Schmidhalter, U. 2011: Nährstoffvariabilität in Gülle. *Internationale Tagung „Gülle 11“, Gülledüngung und Gärrestdüngung auf Grünland*. 17./18.10. 2011. Bad Waldsee-Reute.
- Schmidhalter, U.; C. Bredemeier; D. Geesing; B. Mistele; T. Selige und S. Jungert 2006: Precision Agriculture: Spatial and Temporal Variability of Soil Water Nitrogen and Plant Crop Response. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 11: 97-106.
- Schmidhalter, U.; F.-X. Maidl; H. Heuwinkel; M. Demmel; H. Auernhammer; P. Noack und M. Rothmund 2008: Precision Farming - Adaptation of land use management to small scale heterogeneity. In: P.Schröder; J. Pfadenhauer und J.C. Munch (Eds.). *Perspectives for Agroecosystem Management*, Elsevier, 121-199.
- Schmidhalter, U.; M. Schraml; A. Weber und R. Gutser 2010: Ammoniakemissionen aus Mineräldüngern - Versuchsergebnisse auf mitteleuropäischen Standorten. *KTBL-Schrift* 483: 93-102.
- Schmidhalter, U.; R. Manhart; K. Heil; M. Schraml und S. von Tucher 2011: Gülle- und Gärrestdüngung zu Mais. *Zeitschrift Mais* 2: 89-91.
- Schultheiß, U.; H. Döhler und M. Schwab 2010: Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft – jährliche Anfallmengen in der Bundesrepublik Deutschland. *Landtechnik* 5: 354-356.
- Winterhalter, L.; B. Mistele; S. Jampatong und U. Schmidhalter 2011: High throughput sensing of aerial biomass and above ground nitrogen uptake in the vegetative stage of well-watered and drought stressed tropical maize hybrids. *Crop Science* 51: 479-489.

