

Vol. 58 No. 3 09.2008

Landbauforschung

*vTI Agriculture and
Forestry Research*



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz

Landbauforschung

Landbauforschung (vTI Agriculture and Forestry Research) ist ein wissenschaftliches Publikationsorgan des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei. Die Zeitschrift wird vom vTI herausgegeben und erscheint vierteljährlich. Sonderhefte erscheinen nach Bedarf.

In der Zeitschrift werden Forschungsergebnisse aus der Ressortforschung des BMELV mit Bezug zur Land- und Forstwirtschaft und den ländlichen Räumen veröffentlicht, einschließlich Forschungsergebnissen aus Kooperationsprojekten, an denen das vTI beteiligt ist.

Die Landbauforschung ist eine multidisziplinär ausgerichtete Zeitschrift, die die verschiedenen Facetten der Agrar- und Forstwissenschaft einschließt und besonderes Augenmerk auf deren interdisziplinäre Verknüpfung legt.

Englischsprachige Beiträge sind erwünscht, damit die Forschungsergebnisse einem möglichst breiten wissenschaftlichen Diskurs zugeführt werden können.

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren verantwortlich. Eine Haftungsübernahme durch die Redaktion erfolgt nicht.

Mit der Einsendung von Manuskripten geben die Verfasser ihre Einwilligung zur Veröffentlichung. Die von den Autoren zu beachtenden Richtlinien zur Einreichung der Beiträge sind unter www.vti.bund.de oder bei der Geschäftsführung erhältlich. Das exklusive Urheber- und Verwertungsrecht für angenommene Manuskripte liegt beim vTI. Es darf kein Teil des Inhalts ohne schriftliche Genehmigung der Geschäftsführung in irgendeiner Form vervielfältigt oder verbreitet werden.

Herausgeber
Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)

Gutachtergremium
Siehe 3. Umschlagseite

Schriftleitung
Prof. Dr. Folkhard Isermeyer

Geschäftsführung
Dr. Matthias Rütze
Tel. 040 · 739 62 - 247
Leuschnerstraße 91
21031 Hamburg, Germany
landbauforschung@vti.bund.de
www.vti.bund.de

ISSN 0458-6859

Alle Rechte vorbehalten.

vTI Agriculture and Forestry Research

Landbauforschung (vTI Agriculture and Forestry Research) is the scientific journal of the Johann Heinrich von Thünen Institute (vTI), Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries. The journal is published quarterly by the vTI. Special issues are published additionally.

The journal publishes research results under the auspices of the German Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV). Articles bear relevance to agriculture and forestry, as well as to rural areas, and include reports on cooperative projects involving the vTI.

vTI Agriculture and Forestry Research is a multidisciplinary journal, encompassing the various facets of this field of research and placing a particular emphasis on interdisciplinary linkages.

English language contributions are desired so that the research results can achieve as broad a scientific discourse as possible.

The authors are responsible for the content of their papers. The publishers cannot assume responsibility for the accuracy of articles published.

With the submission of a manuscript, the author grants his or her permission for publication. Authors are requested to follow the guidelines for submission found at www.vti.bund.de or available from the management.

The vTI retains exclusive copy and usage rights for accepted manuscripts. No portion of the content may be duplicated or distributed in any form without the written permission of the publisher.

Publisher
Johann Heinrich von Thünen Institute (vTI)

Editorial Board
Directors of vTI-Institutes

Editor in Chief
Prof. Dr. Folkhard Isermeyer

Managing Editor
Dr. Matthias Rütze
Phone + 49 - 40 · 739 62 - 247
Leuschnerstraße 91
21031 Hamburg, Germany
landbauforschung@vti.bund.de
www.vti.bund.de

ISSN 0458 – 6859

All rights reserved.

Howard C. Lee, Robin Walker, Silvia Haneklaus, Lois Philips, Gerold Rahmann and Ewald Schnug

Organic farming in Europe: A potential major contribution to food security in a scenario of climate change and fossil fuel depletion

Ökologischer Landbau in Europa: Ein potentiell signifikanter Beitrag zur Nahrungsmittelsicherheit unter den Bedingungen von Klimawandel und begrenzten fossilen Brennstoffen

145

James S. Schepers

Potential of precision agriculture to protect water bodies from negative impacts of agriculture

Möglichkeiten der Präzisionslandwirtschaft zum Schutz von Gewässern vor negativen Einflüssen der Landwirtschaft

153

Rob G. V. Bramley, Patricia A. Hill, Peter J. Thorburn, Frederieke J. Kroon and Kerstin Panten

Precision Agriculture for improved environmental outcomes: Some Australian perspectives

161

Verringerung von Umweltbelastungen durch den Einsatz von Precision Agriculture: Einige Australische Perspektiven

Rainer Oppermann, Gerold Rahmann, Mareike Göritz, Gunnar Demuth und Ulrich Schumacher

Soziologische Untersuchungen zur Implementation von Tiergesundheitsplänen im Ökologischen Landbau

179

Sociological study on implementation of animal health plans in organic farming

Christian Epe, Christine Holst, Regine Koopmann, Thomas Schnieder, Michael Larsen and Georg von Samson-Himmelstjerna

Investigation on the influence of nematophagous fungi as feed additive on nematode infection risk of sheep and goats on pasture

191

Untersuchung zum Einfluss nematophager Pilze als Fütterungszusatz auf das Nematodeninfektionsrisiko bei Schafen und Ziegen auf der Weide

Elke Bloem, Andreas Berk, Silvia Haneklaus, Dirk Selmar and Ewald Schnug

Influence of *Tropaeolum majus* supplements on growth and antimicrobial capacity of glucotropaeolin in piglets

203

Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus L.*) als Futterzusatzstoff in der Ferkelaufzucht – Einfluss auf Wachstum und antimikrobielles Potenzial des Glucotropaeolins

Klaus Walter

Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen 2. Grundfutterqualität und erzielbare Leistung

211

The feeding and husbandry of high performance cows Part 2. Basic ration quality and feasible yields

Mohammad Heshmati Rafsanjani, Sylvia Kratz, Jürgen Fleckenstein and Ewald Schnug

Solubility of uranium in fertilizers

231

Löslichkeit von Uran aus Düngemitteln

Ute Menge-Hartmann und Siegfried Schittenhelm

Depotstabilität von lokal injiziertem Ammonium und Einfluss auf den Metabolismus von Sommerweizen

235

Depot stability of locally injected ammonium and effect on the metabolism of spring wheat

Organic farming in Europe: A potential major contribution to food security in a scenario of climate change and fossil fuel depletion

Howard C. Lee*, Robin Walker**, Silvia Haneklaus***, Lois Philips*, Gerold Rahmann**** and Ewald Schnug***

Summary

Prevailing evidence indicates that the combustion of coal, oil and natural gas contributes to global greenhouse gas (GHG) emissions and associated climate change, including increased instability of weather, (extreme weather events -EWEs) such as temperature fluctuations and adverse distributions of rainfall. 'Peak' models for the availability of oil and natural gas indicate that shortages are likely in the near future and, combined with EWEs, may threaten the productivity of European agricultural systems. The production of mineral fertilizer and pesticides, and fuel for agricultural machinery will be affected as will the transport of agricultural commodities from producer to processor to consumer. This will put food security in highly populated towns and cities at risk. It is concluded that food production and consumption in Europe, post peak oil, will depend upon more localised farming that is relatively resilient to EWEs, can operate effectively with reduced inputs and is adaptable to likely increases in weed, pest and disease problems. It is proposed here that organic farming can best satisfy these needs. In terms of sustainable food production policies in Europe, it is suggested that there needs to be a greater emphasis upon regional, resource-based organic production, and with a special focus upon greater energy and water use efficiency. It is therefore recommended that urgent action is required to investigate the further development of organic farming in post peak oil Europe, and before the security of current food production and distribution systems is compromised.

Keywords: *food security, fossil fuels, depletion, organic farming*

Zusammenfassung

Die Verbrennung von Kohle, Öl und Erdgas trägt zur Freisetzung von klimarelevanten Treibhausgasen und einem anthropogen verursachten Klimawandel bei, welcher sich unter anderem in extremen Witterungsbedingungen niederschlägt. Sogenannte Peak-Modelle zeigen, dass die Ölreserven in unmittelbarer Zukunft knapp werden. Zusammen mit extremen Witterungsbedingungen gefährdet dies die Produktivität landwirtschaftlicher Betriebe in Europa. Besonders die energieaufwendige Produktion von Mineraldünger und Pestiziden, aber auch die Bereitstellung von Treibstoff für die Landmaschinen wäre davon betroffen. Der Transport landwirtschaftlicher Erzeugnisse von Produzenten zu Verarbeitern und Verbrauchern wäre insofern eingeschränkt als erdölabhängiger Transport nur bedingt stattfinden könnte, so dass die ausreichende Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln in großen Städten und Metropolen gefährdet wäre. Somit ergibt sich zukünftig die Notwendigkeit zur räumlichen Nähe von Nahrungsmittelerzeugung und -verbrauch, wobei Anbausysteme nicht nur robust gegenüber extremen Witterungereignissen (Trockenheit, Hochwasser, ungünstige Niederschlagsverteilung sowie veränderten Umweltbedingungen (Unkrautdruck, neue Krankheiten und Schädlinge) sein sollten, sondern auch mit einem reduzierten Input an Ressourcen wirtschaften und die Nahrungsmittelsicherheit der angrenzenden Bevölkerung sicherstellen müssen. Die Ökologische Landwirtschaft versucht, diesem Anspruch gerecht zu werden. Hierzu muss sich der Ökologische Landbau eine höhere Effizienz und Stabilität entwickeln. Zunächst ist es notwendig, das Leistungsvermögen der Ökologischen Landwirtschaft unter limitierten fossilen Rohstoffreserven zu analysieren, bevor Nahrungsmittelproduktion und Versorgungssysteme in Europa gefährdet sind.

Schlüsselworte: *Nahrungsmittelsicherheit, fossile Brennstoffe, Erschöpfung von Reserven, Ökologische Landwirtschaft*

* Hadlow College, Hadlow, Tonbridge, Kent TN11 0AL, UK, Email: howard.lee@hadlow.ac.uk

** Scottish Agricultural College (SAC), Craibstone Estate, Bucksburn, Aberdeen AB21 9YA, Scotland

*** Institute for Crop and Soil Science, Julius Kühn-Institute (JKI), Federal Research Centre for Cultivated Crops, Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig, Germany

**** Institute of Organic Farming, Heinrich von Thünen-Institute (vTl), Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries, Trenthorst 32, D-23847 Westerau, Germany

Introduction

European nations depend upon the consumption of large quantities of fossil energy, accounting for approximately three quarters of the total carbon dioxide (CO₂) released into the atmosphere (Hammons, 2006). Fossil fuel consumption by European farming is known to be associated with the release of CO₂, though this accounts for only about 5 % of total fossil energy use (Pinstrup-Andersen, 1999 cited in Dalgaard et al., 2001). However, farms can also lead to other emissions of GHGs, such as nitrous oxide and methane from the land and/or livestock (Olesen & Bindi, 2002). Gaseous emissions from farmland and ruminants are and always have been a natural part of biological processes: it is emissions from fossil fuels that are considered in this paper.

In 2005, German agriculture contributed approximately 6.3 % to anthropogenic GHG emissions (133 mt equivalent) (Smith et al., 2007). However, organic farming has been demonstrated to contribute less to GHG emissions than comparable non-organic farming systems (Rahmann et al., 2008).

Paradoxically, though the use of fossil energy by our society has increased rapidly in recent years and contributed to an ongoing process of climate change, the probable future scenario is one of depletion of reserves (Guseo et al., 2007) and reduced availability, including that for agriculture.

The focus of this paper is therefore on how agriculture in the 21st century can adapt to a legacy of climate change due to prior combustion of fossil fuels but within a likely future scenario of reduced supplies of those same fuels.

Climate change, fossil fuel depletion and the implications for farming in Europe

Climate change

Climate change is now widely accepted as a real phenomenon (e.g. Dietz et al., 2007), involving increased temperatures and summer droughts (Fuhrer, 2003). There are also increasing references to the negative effects of climate change, including extreme weather events (EWEs), on agriculture (IAASTD, 2008). Olesen & Bindi (2002) conclude that:

"The possible increase in water shortage and (EWEs) may cause lower harvestable yields, higher yield variability and a reduction in suitable areas for traditional crops." (Olesen & Bindi, 2002, p. 257)

Extremes of temperature can be a problem but variations in rainfall have been shown to be more critical, such

as results from the Broadbalk long term cereal experiment, Rothamsted (UK), where a clear negative correlation has been demonstrated between cereal grain yields and rainfall (Chmielewska & Potts, 1995). A recent review by Motha (2007) concludes that the implications of climatic variation are severe. For future planning, this researcher states that:

"It is imperative that proactive mitigation measures and adaptation strategies be developed based on sound scientific knowledge about the hazards (of EWEs) so that preparedness measures can be implemented to counter their effects." (Motha, 2007, p. 307)

Fossil fuels

The concept of 'peak oil' is now well documented (Greene et al., 2006; Brandt, 2007; Guseo et al., 2007) and the consensus is that supplies may become limited before 2010, as the peak is passed and world production declines (Campbell, 2006). A similar depletion protocol has also been predicted for natural gas (Bentley, 2002). What are the likely effects for agriculture in Europe? Currently, the relatively high yields of European farming require matching inputs of mineral fertilisers and synthetic pesticides (Struik & Bonciarelli, 1997), the production of which is in turn dependent upon the use of fossil energy (Ramírez & Worrell, 2006) and especially natural gas (Ahlgren et al., 2008). Therefore as fossil fuel supplies decline, fertilizer and pesticide inputs may become less available, or at least much more expensive, leading to reduced applications and a potentially negative impact upon crop yields. Oil restrictions are also likely to specifically affect the transportation of goods:

"As conventional oil supplies run down...rising prices... could put transport in conflict...with other energy demands..." (Woodcock et al., 2007, p. 1083)

Thus, the transportation of food over more than a few kilometres may become much more expensive and therefore unviable.

Proactive adaptation strategies: the potential resilience of organic farming systems to climate change and fossil fuel depletion

Adaptations to climate change

An important aspect of the development of non-organic farming systems has been a gradual decline of soil organic matter (SOM), especially for arable cropping. This is illustrated by a study of changes in SOM for southern Belgium

between 1955 and 2005 (Goidts & Wesemael, 2007):

"For units under cropland, an average decrease of 5.8 t C·ha⁻¹ was measured in the plough layer (from an initial equivalent SOC (soil organic carbon) stock of 46.4 t C ha⁻¹...)" (Goidts & Wesemael, 2007, p.341)

By contrast, organic farms seem to be associated with relatively higher and increasing SOMs, demonstrated in a paired farm study by Armstrong-Brown et al. (2000). Higher SOMs are known to facilitate better soil water retention in droughts (Siegrist et al., 1998) and enhanced infiltration capacities (Schnug et al., 2006). Thus, organically farmed soils seem more likely to be resilient to very low or high rainfall EWEs. The latter is especially important, since studies in Germany have shown that watersheds dominated by organic farms contain soils that are better at absorbing sudden precipitation, reducing the risk of soil erosion on-farms, and mitigating against flooding further down the watershed (Schnug et al., 2004; Schnug et al., 2006).

Energy dynamics

Whilst nutrient dynamics have been widely studied for organic and other farming systems, investigations of energy dynamics have been more limited. Consideration of fossil energy use in agro-ecological systems was pioneered by Odum (see 1971, 1996 and Odum et al., 2000). Clearly, it is insufficient to merely consider fossil energy consumed unless it is compared with the energy value of the food produced. Loake (2001) has reviewed this and a summary is shown in Table 1. This indicates that energy ratios for organic farming are far superior to those for non-organic. More recent studies are also supportive, though the differences are more modest (e.g. crop production in Italy (Sartori et al., 2005); smallholder apricot production in Turkey (Gündemu, 2006); general farming in Australia (Wood et al., 2006); and agricultural commodity production in the UK (Williams et al., 2006)). It is however important to understand the boundaries defined by and limitations of such studies before direct comparisons are made with other farming systems: this paper is not suggesting that all organic farming is more energy efficient than non-organic but that it is a potentially important factor that needs further investigation. Of the organic production examples reviewed in this paper, favourable energy ratios can largely be attributed to lower indirect fossil energy needs, since manufactured fertilizers and synthetic pesticides are omitted. This is not simply because they are prohibited as part of organic certification, but also because organic systems are largely based upon a pro-active rather than reactive management regime for weeds, pests and diseases. This organic approach is also important for maximising the

availability of soil nutrients for crops at the optimum point in the rotation (e.g. phosphorous: Walker et al., 2006; Stockdale et al., 2006).

As global fossil fuel reserves become depleted and therefore more expensive, the increasing cost of agrochemicals and fertilisers will encourage farmers to look towards alternative, lower-input agriculture, including the principles and techniques developed from organic research and its practice.

Table 1:
Energy ratios in UK farming^(a)

Ratio	Conventional system	Organic system	Components of ratio
Gross energy ^(b)	0.0002	0.0025	Energy out/energy in. Energy = net yield. Energy in = solar inputs, processing inputs, energy in, home related energy, fertilisers, fuels, electricity, machinery and feed purchased. (GJ).
Net energy	0.14	4.09	Energy out/energy in. Energy = net yield. Energy in = processing inputs, energy in, home related energy, fertilisers, fuels, electricity, machinery and feed purchased. (GJ).
Farm gate	0.34	4.29	Energy out/energy in. Energy = net yield. Energy in = fertilisers, fuels, electricity, machinery and feed purchased. (GJ).
Direct Human	30-35	4.3	Food energy output per man-hour of farm labour (MJ/man-hour).

^(a) All ratios and definitions taken from Leach (1976).

^(b) Gross energy includes solar inputs that despite being an important energy input are usually omitted because they dominate inputs, swamping the ratio and making it of little policy value (Leach, 1976).

Source: Loake (2001)

It is therefore suggested that studies by Loake (2001) and others need to be revisited to: (i) accurately audit direct and indirect fossil energy use for organic and non-organic farms and; (ii) strive for improved organic systems which maximise energy capture, minimise direct and indirect fossil energy inputs and optimise internal energy recycling without sacrificing yields. A reassessment of the relative efficacy of energy audit methods is also needed, as considered by Wilson & Brigstocke (1980) and Pervanchon et al. (2002).

Could a wider adoption of organic farming help improve food security in Europe?

IAASTD (2008) indicates that food security is a key future policy imperative and can be achieved by measures including a greater emphasis on agroecological systems such as

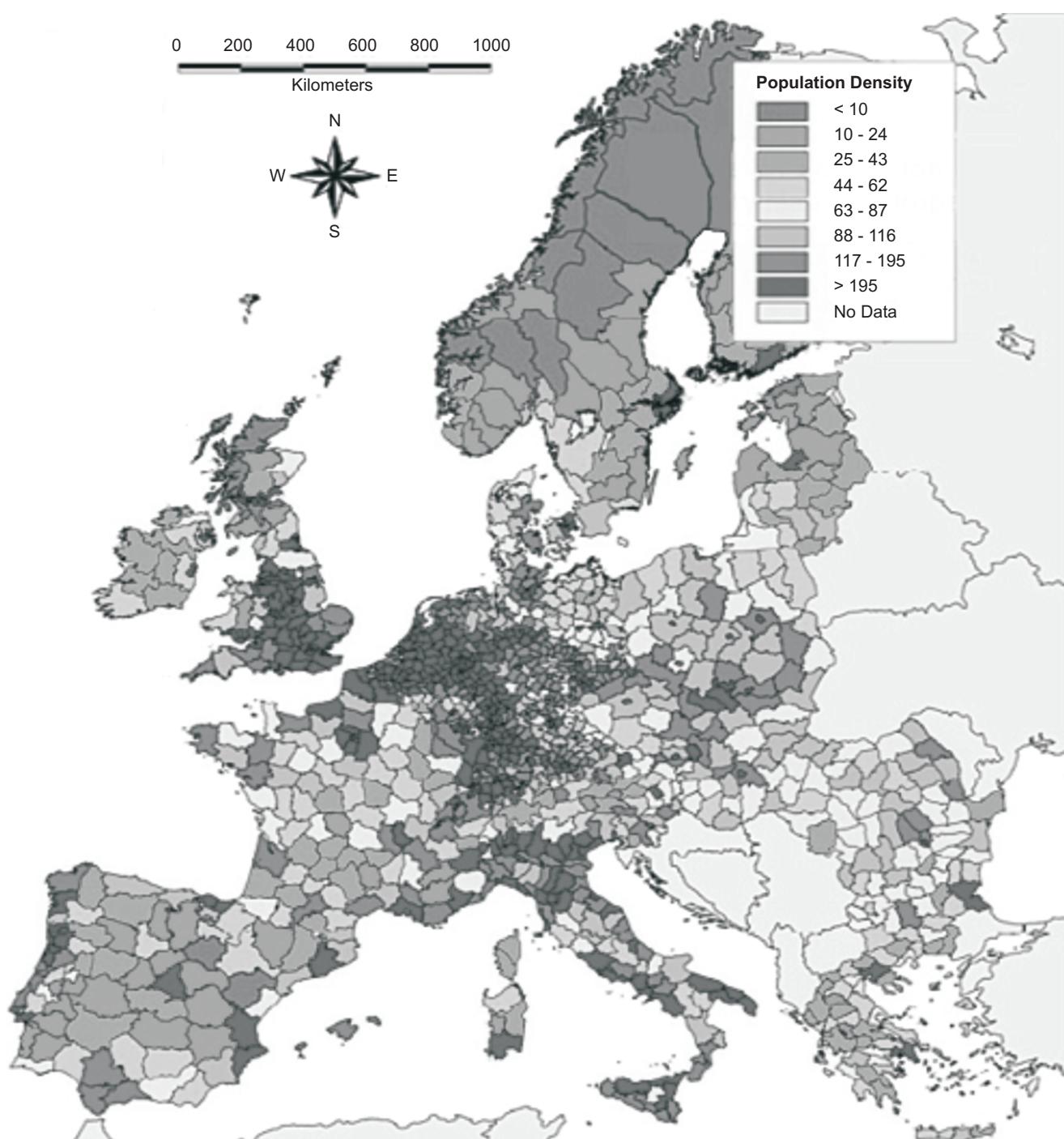


Figure 1:
Population density map of Europe (adapted from Anon 2007)

organic farming. The potential of organic farming to feed the global population has been debated for many years, but a recent, extensive and authoritative review (Badgley et al., 2007) clearly indicates that it is possible. This study considers Europe and suggests that it could feed itself by means of organic farming.

Currently, how food-secure is Europe? Data are sparse, but recent assessments in Britain (UK Agriculture, 2005) suggest that non-organic domestic production continues to decline and currently feeds no more than 60 - 73 % of that population.

Thus, total food production in Europe, post peak oil and natural gas, may be much reduced and commodities might

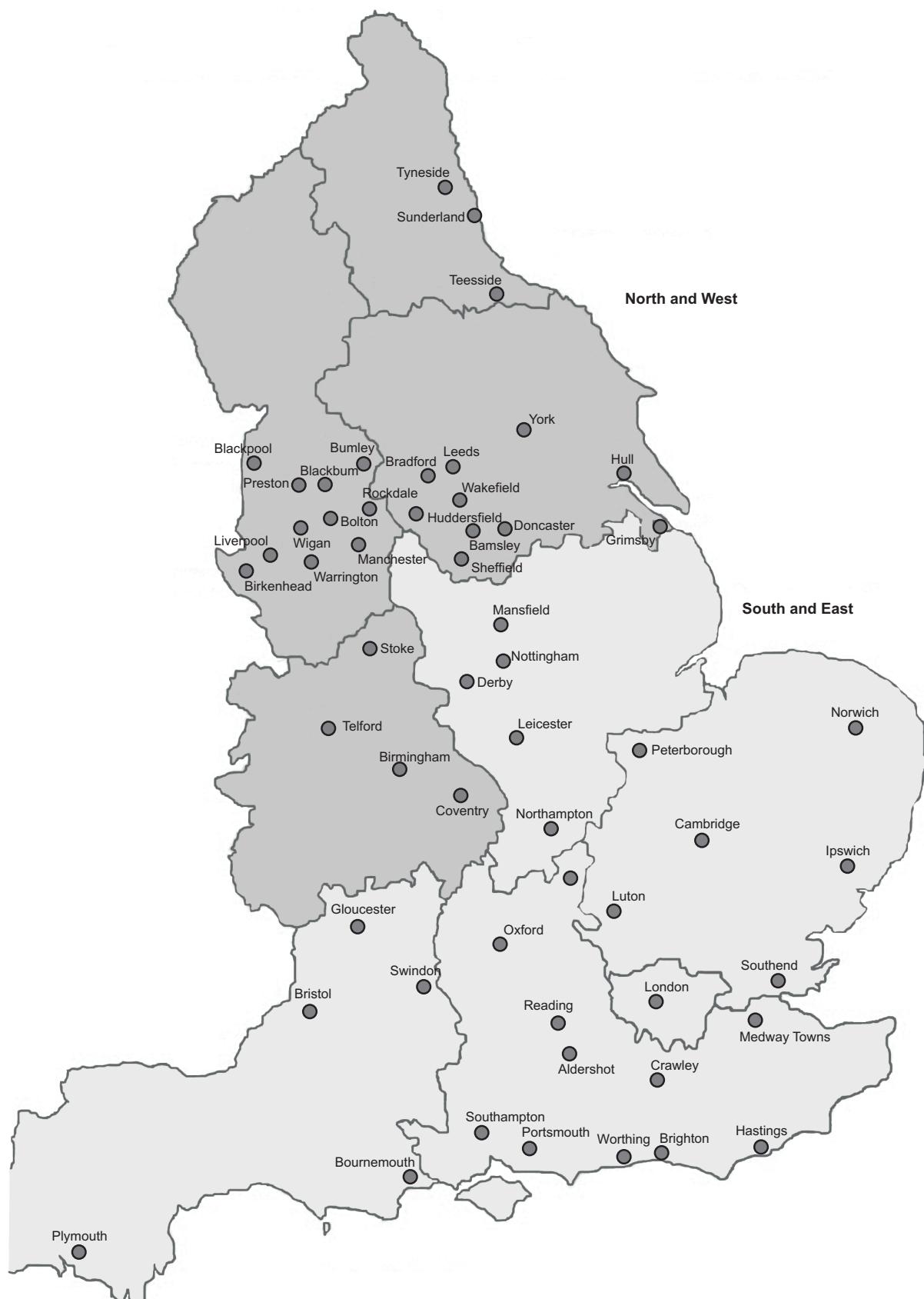


Figure 2:

England : primary urban areas with a population greater than 125,000. (adapted from Defra (2006))

only be able to be transported relatively short distances to the consumer. It follows that food production and consumption will become more regionalised and quite probably localised. If we consider the population distribution of European nations (Figure 1), it can be seen that the spread is heterogeneous. For example, in England (Figure 2), most people live close to urban centres of population.

Rural and urban issues

In a post peak oil scenario, the problem of access to food in rural areas seems likely to be less challenging, due to lower population pressures. Rather, the key issue may be how it will be possible to feed higher densities of people in urban centres. The Food and Agriculture Organisation has undertaken a review of European urban and peri-urban food production, but the emphasis is upon the health benefits of a vegetable-focussed diet rather than food security (FAO 2001). However, much can be learned from experiences of urban and peri-urban organic food production in Cuba, where yields as high as 2.5 kg vegetables per square metre *per month* have been achieved (Viljoen & Howe, 2005), though within a more favourable climate than that likely to be seen across Europe.

The hypotheses of this paper

It is suggested that organic farm management might be identified with: (i) increased resilience to EWEs, (ii) relatively lower consumption of fossil fuels per unit of yield, and; (iii) enhanced future food security for Europe, especially in urban centres.

Proposed actions: pilot demonstration farms

To test these hypotheses, it is proposed that a study be instituted across Europe, involving a comparison of watersheds that are primarily farmed organically with those that are farmed non-organically. This is not as potentially expensive as it might seem: watersheds dominated by organic farms already exist in parts of Germany (Schnug et al., 2004) and also in Britain, as indicated in Figure 3. Such a comparison will need to involve at least several years of audits of randomly chosen farms within each watershed for: fossil energy consumption (direct and indirect) and efficiency of use, soil characteristics, crop yields, and water dynamics.

It is also suggested that the potential of organic production to feed urban areas needs to be explored. Test sites need to be established in and around European cities, to establish maximum sustainable yields using the Cuban model as a bench mark but also benefiting from existing project experience in Europe as documented by FAO.

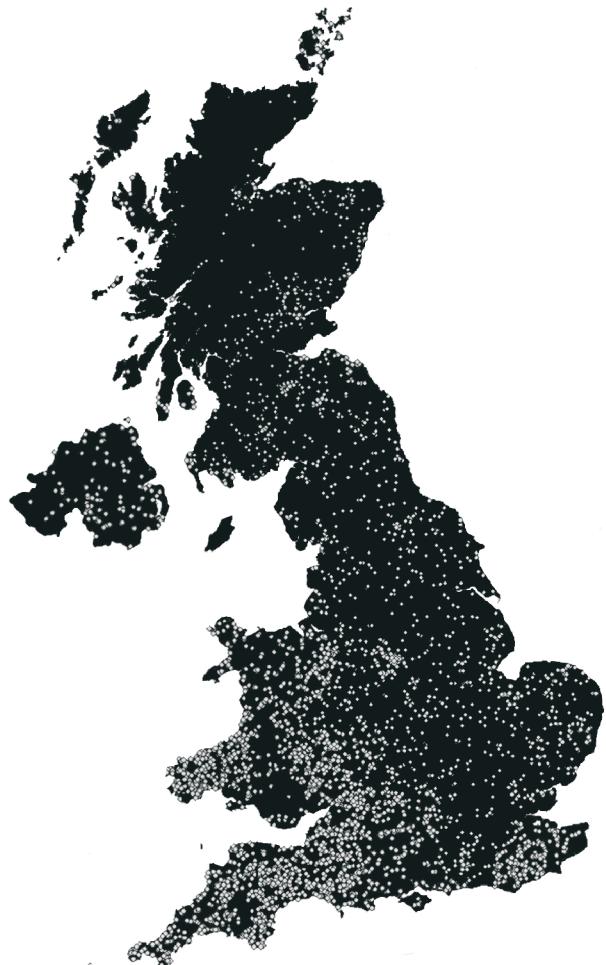


Figure 3:
UK map of organic holdings 2004 (adapted from Defra (2006))

Conclusions

Further urgent research is needed to answer the following questions: can organic farming systems really lead the way in adapting agriculture to the hazards of a more unstable climate? Can organic farms be developed, which use minimal or even no fossil energy inputs (including engine fossil fuels) and yet sustain yields? Do urban and peri-urban organic production systems hold the key to secure and sustainable food supplies in European cities? It is suggested that a base of knowledge and experience needs to be generated as an utmost priority, before the full effects of peak oil and natural gas are felt and shortages of food become a reality in 21st Century Europe.

References

- Ahlgren S, Bak A, Bernesson S, Nordberg A, Noren O, Hansson P-A (2008) Ammonium nitrate fertiliser production based on biomass - environmental effects from a life cycle perspective. *Bioresource Technology* in press
- Anon (2007) [online] Zu finden in <http://www.eupedia.com/europe/maps_of_europe.shtml> [zitiert am 07.07.2008]
- Armstrong-Brown A, Cook HF, Lee HC (2000) Topsoil characteristics from a paired farm survey organic versus conventional farming in southern England. *Biol Agric Horticult* 18:37-54
- Badgley C, Moghtader CJ, Quintero E, Zakem E, Chappell MJ, Avilés-Vázquez K, Samulon A, Perfecto I (2007) Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agric Food Syst* 22(2):86-108
- Bentley RW (2002) Global oil and gas depletion : an overview. *Energy Policy* 30:189-205
- Brandt AR (2007) Testing Hubbert. *Energy Policy* 35(5):3074-3088
- Campbell CJ (2006) The Rimini Protocol, an oil depletion protocol : heading off economic chaos and political conflict during the second half of the age of oil. *Energy Policy* 34(12):1319-1325
- Chmielewska FM, Potts JM (1995) The relationship between crop yields from an experiment in southern England and long-term climate variations. *Agric For Meteorol* 73:43-66
- Dalgaard T, Halberg N, Porter JR (2001) A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agric Ecosyst Environ* 87:51-65
- Dietz S, Hope C, Patmore N (2007) Some economics of 'dangerous' climate change : reflections on the Stern Review. *Global Environ Change* 17:311-325
- FAO (2001) Urban and peri-urban food and nutrition action plan [online]. Zu finden in <<http://www.euro.who.int/document/e72949.pdf>>
- Führer J (2003) Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agric Ecosyst Environ* 97:1-20
- Goidts E, Wesemael B van (2007) Regional assessment of soil organic carbon changes under agriculture in Southern Belgium (1955-2005). *Geoderma* 141:341-354
- Greene DL, Hopson JL, Li J (2006) Have we run out of oil yet? Oil peaking analysis from an optimist's perspective. *Energy Policy* 34(5):515-531
- Gündem E (2006) Energy use on organic farming : a comparative analysis on organic versus conventional apricot production on small holdings in Turkey. *Energy Conversion Manage* 47:3351-3359
- Guseo R, Dalla Valle A, Guidolin M (2007) World oil depletion models : price effects compared with strategic or technological interventions. *Technol Forecasting Social Change* 74(4):452-469
- Hammons TJ (2006) Impact of electric power generation on green house gas emissions in Europe : Russia, Greece, Italy and views of the EU power plant supply industry - a critical analysis. *Electrical Power Energy Syst* 28:548-564
- International Assessment of Agricultural Science and Technology for Development (2008) The state of global agriculture. IAASTD : UNESCO
- Loake C (2001) Energy accounting and well-being - examining UK organic and conventional farming systems through a human energy perspective. *Agric Syst* 70:275-294
- Motha RP (2007) Development of an agricultural weather policy. *Agric For Meteorol* 142:303-313
- Odum EP (1971) Fundamentals of ecology. Philadelphia : Saunders, 574 p
- Odum HT (1996) Environmental accounting : energy and environmental decision making. New York : Wiley, 370 p
- Odum HT, Brown MT, Ulgiati S (2000) Ecosystems as energetic systems. In: Jørgensen SE, Müller F (eds) *Handbook of ecosystem theories and management*. Boca Raton : Lewis, pp 281-302
- Olesen JE, Bindt M (2002) Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *Eur J Agron* 16:239-262
- Pervanchon F, Bockstaller C, Girardin P (2002) Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. *Agric Syst* 72:149-172
- Rahmann G, Aulrich K, Barth K, Böhm H, Koopmann R, Oppermann R, Paulsen HM, Weißmann F (2008) Klimarelevanz des Ökologischen Landbaus - Stand des Wissens. *Landbauforsch* 58(1-2):71-89
- Ramírez CA, Worrell E (2006) Feeding fossil fuels to the soil: an analysis of energy embedded and technological learning in the fertilizer industry Resources. *Conserv Recyc* 46(1):75-93
- Sartori L, Basso B, Bertocco M, Oliviero G (2005) Energy use and economic evaluation of a three year crop rotation for conservation and organic farming in NE Italy. *Biosystems Eng* 91(2):245-256
- Schnug E, Rogasik J, Panten K, Paulsen HM, Haneklaus S (2004) Ökologischer Landbau erhöht die Versickerungsleistung von Böden - ein unverzichtbarer Beitrag zum vorbeugenden Hochwasserschutz. *Ökologie Landbau* 32(132):53-55
- Schnug E, Haneklaus S, Rahmann G, Walker R (2006) Organic farming - stewardship for food security, food quality, environment and nature conservation. *Asp App Biol* 79:57-61
- Siegrist S, Scabu D, Pfiffner L, Mäder P (1998) Does organic agriculture reduce soil erodibility? : The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agric Ecosyst Environ* 69:253-264
- Smith P, Martino D, Cai Z, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O (2007) Agriculture [online]. Zu finden in <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter8.pdf>> [zitiert am 07.07.2008]
- Stockdale EA, Watson CA, Edwards AC (2006) Phosphate rock : using biological processes to increase its effectiveness as a fertiliser. *Intern Fertiliser Soc Proc* 59:2:1-24
- Struik PC, Bonciarelli F (1997) Resource use at the cropping system level. In: Ittersum MK van, Geijn SC van de (eds) *4th Congress of the European Society for Agronomy, Veldhoven, Netherlands 1996 : perspectives for agronomy*. Amsterdam : Elsevier, pp 179-189
- UK Agriculture (2005) Farming statistics [online]. Zu finden in <http://www.ukagriculture.com/statistics/farming_statistics.cfm> [zitiert am 07.07.2008]
- Viljoen A, Howe J (2005) Cuba : laboratory for urban agriculture. In Viljoen A (ed) *Continuous productive urban landscapes : designing urban agriculture for sustainable cities*. Amsterdam : Architectural Press, pp 147-191
- Williams AG, Audsley E, Sanders DL (2006) Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities : main report ; Defra Research Project ; ISO205 [online]. Zu finden in <www.silsoe.cranfield.ac.uk> and <www.defra.gov.uk> [zitiert am 07.07.2008]
- Wilson PN, Brigstocke TDA (1980) Energy usage in British agriculture - a review of future prospects. *Agric Syst* 5(1):51-70
- Walker RL, Watson CA, Rees RM, Stockdale EA (2006) Improving supply and phosphorus use efficiency in organic farming systems. *Asp Appl Biol* 79:311-315
- Wood R, Lenzen M, Dey C, Lundie S (2006) A comparative study of some environmental impacts of conventional and organic farming in Australia. *Agric Syst* 89:324-348
- Woodcock J, Banister D, Edwards P, Prentice AM, Roberts I (2007) Energy and transport. *Lancet* 370:1078-1088

Potential of precision agriculture to protect water bodies from negative impacts of agriculture

James S. Schepers*

Abstract

Precision agriculture is sometimes promoted as the solution to controlling non-point contamination of surface and ground water. The potential is high for improved nutrient management practices to protect water quality and promote agricultural sustainability, but these efforts must be undertaken with due consideration of the uncertainties associated with weather and crop growth patterns. Synchronizing nutrient availability with crop nutrient needs is an important key to making progress. Site-specific management tools, including remote sensing, enable producers and consultants to improve many aspects of crop management.

Keywords: *Crop Sensors, Economic Incentives, Nutrients, Nitrogen, Remote Sensing, Water Quality*

Zusammenfassung

Möglichkeiten der Präzisionslandwirtschaft zum Schutz von Gewässern vor negativen Einflüssen der Landwirtschaft

Präzisionslandwirtschaft hat ein großes Potenzial um diffuse Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in Gewässer zu reduzieren. Diese wird jedoch in hohem Masse von Unsicherheiten bei der Vorhersage von Witterungsverläufen und Wachstumsentwicklung von Pflanzenbeständen beeinträchtigt. Besonderes Augenmerk ist hier auf die Synchronisierung von Nährstoffanlieferung aus dem Boden und dem Bedarf der Pflanzen zu legen.

Schlüsselwörter: *Pflanzenbau, Bodennutzung, Düngung, Nährstoffe, Ökonomie, Sensorik, Stickstoff, Wasserqualität*

Paper presented at the Symposium "Protecting water bodies from negative impacts of agriculture - Challenges of Precision Agriculture and Remote Sensing" organized for the Task Force Sustainable Agriculture of the Agenda 21 for the Baltic Region (BALTIC21) by the Institute of Soil Science and Plant Nutrition of the former Federal Agricultural Research Centre (FAL) on November 28-9, 2007

* United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service, 120 Keim Hall, Lincoln, Nebraska 68583-0915, USA, Email: Jim.Schepers@ars.usda.gov

Approaches to protect water quality typically fall into two general categories: reactive or proactive. These categories are not mutually exclusive because the practice of growing crops and the need for environmental stewardship are intimately related by extremely complex interactions. The search for new tools that integrate across the many considerations involved in crop and livestock production brings us to the topic of precision agriculture.

Spatial and temporal variability in nature are significant contributing factors behind many of world's environmental problems. These realities become accentuated as mankind imposes uniform, and often inappropriate, management practices onto the landscape. The unpredictable nature of weather adds to the problem because it tempts and even encourages farmers to anticipate what might happen weather-wise for several months into the future. Farmers do a great job of anticipating "worst-case" scenarios and making management decision accordingly. Over the years, producers have accumulated a rich background of experiences and likely even acquired some "hand-me-down" tidbits from past generations. These traditions, beliefs, and habits are hard to combat unless economic pressures or governmental regulations dictate the need for change. In any case, the truism stating that "A picture is worth a thousand words" is noteworthy because it offers a clue to human behavior and the decision making process. Pictures and images instantly integrate ever so many factors that are expressed as spatial variables in color, shapes, texture, tones, shadows, distance, etc.. It would literally take thousands of words to describe everything that a picture or image displays. The interesting part about looking at a picture is that each individual will have a different impression depending on their training, experiences in life, and interests.

A common perception is that precision agriculture involves a transition from uniform treatments to variable-rate treatments in an attempt to compensate for the effects of spatial and temporal variability in fields. This can be summarized by indicating that producers would attempt to do the **right things**, in the **right places**, at the **right times**. Making the decision to impose some kind of variable-rate treatment or spatial treatment on the landscape requires spatial information. Sources of this information may come from sampling the soil for chemical constituents, yield maps showing patterns of spatial variability, soil survey maps, aerial photographs of crop vigor, etc. (Table 1). Acquiring spatial information is frequently the most expensive and time consuming part of making variable rate applications. At the end of the day, one of the most difficult tasks is to quantify the environmental attributes when considering which precision agriculture tools to consider. Deciding what treatments to impose and where to impose them is the first task.

Table 1:

Sample of precision agriculture measurements, methods of determination, and application of information

Measurement	Method	Application
soil samples	manual	nutrient management decisions delineation of management zones
field scouting	manual	problem identification
tissue testing	manual	nutrient status
pH	Veris	lime applications
apparent electrical conductivity	Veris or EM-38	rooting depth, drainage, salinity, clay content, cation exchange capacity
soil color	imagery, near infrared sensors	organic matter content
elevation and aspect	Imagery, global positioning system	drainage, topography
biomass, leaf area index, chlorophyll content, water status, yield estimation	imagery or sensors	nutrient management, irrigation decisions, in-season crop assessment
yield, grain moisture content, protein content	harvest machines	post mortem evaluations

An alternative way to think about precision agriculture is as an organized scheme to remove or compensate for the effects of natural processes from a management program, to the extent possible, and recognize and engage those processes that need to be a part of a management plan. Laws of physics like **gravity** dictate that water is going to naturally flow down-gradient and percolate through soil. Laws of chemistry, like the fact that **nitrates are soluble in water**, are here to stay so wherever the water goes, so goes the nitrate. Therefore, the task set before producers, agricultural consultants, and scientists is to design and develop management systems that work around and with the above laws of nature to accomplish the desired goals. For example, precipitation can be both a blessing and a curse so producers must learn to accommodate this uncertainty (temporal and spatial) in their management strategies. Likewise, there usually isn't a lot that producers can do to modify soil textural properties and landscape features (topography) to make them more desirable in terms of minimizing the impact of natural processes other than to reduce the opportunity for unfavorable consequences. For example, installing terraces with an under-ground tile outlet system is one way to channel the flow of excess precipitation from a field while minimizing soil erosion and related nutrient losses. In other situations, installing subsur-

face drainage systems in fields with poor internal drainage is a way to work around the slow permeability properties of fine-textured soils. A different situation exists with flood (gravity) irrigation of soils with variable soil texture within the root zone. It follows that water infiltration and nitrate leaching are likely to vary considerably because of spatial variability in soil properties, so sprinkler irrigation provides an opportunity to apply the water more uniformly across the landscape. These examples do not necessarily involve spatially variable cultural practices but demonstrate the realization that landscapes, soil properties, and weather are factors that have a bearing on the environmental implications of management practices.

Several practical examples are available where local and regional government agencies have created incentives to entice producers to lessen the environmental implications of their nutrient and water management practices. For nearly a decade the Central Platte Natural Resources District in Central Nebraska has provided cost sharing incentives to producers who convert from furrow irrigation to center-pivot sprinkler irrigation. In this case, the local agency that is supported by tax revenues paid for much of the under-ground pipe to deliver the irrigation water to the center of the field. This decision was based on research showing that center-pivot irrigation reduced water application rates by at least 50 % compared to furrow irrigation and that fertilizer N application rates for corn could be reduced by ~30 % (Schepers et al., 1995). Concurrently, they also cost share on a flow control and manifold system to improve the uniformity of fertilizer rates across the applicator. They also cost share on flow meters for irrigation wells to help producers monitor their water application rates. These incentives were intended to improve whole-field water and nutrient management practices, but other agencies are now offering incentives to improve within-field nutrient management practices. In the State of Missouri, producers can receive a one-time payment of \$150/ha for adopting a reactive N management strategy based on either SPAD meter data or crop sensor technologies. Producers must enroll for three years to qualify, but receive the entire incentive payment the first year. This program is funded by the Natural Resources Conservation Service (USDA-NRCS) through the Environmental Quality Incentives Program (EQIP). The commercial availability of active crop canopy sensor technologies has allowed real-time nutrient management (reactive approach) to become a reality.

Early approaches to precision agriculture were based on the premise that grid soil sampling would provide the information needed to make spatially variable nutrient applications. This concept was driven by a segment of the agricultural industry that had developed and patented equipment to apply multiple nutrients at variable rates.

One hectare grid maps were quite common, but positioning the sampling points was sometimes problematic when the grid pattern was established via a computer without visualizing various landscape features (i.e., topography, old field boundaries, previous crops and cultural practices, etc.) (Schepers et al., 2000). As such, sampling points were likely to be designated in transition zones between soil types, within small areas of the field that were not representative, near areas protected by trees, and in areas known to have received significant quantities of manure in the past. Supporters of the concept were disappointed to learn that their efforts did not remove the spatial variability in crop growth and yields. Adjusting the position of the soil sampling points to accommodate field conditions helped, but many times producers were only equipped to make variable rate applications of one nutrient. Grid sampling has gradually migrated to management zone sampling to reduce costs and improve the reliability of the nutrient and soil property maps.

The feasibility of monitoring crop yields via combines and generating yield maps was realized in the early 1990s. Tremendous advancements in user friendliness and accuracy have been made since then. Seeing the spatial depiction of yield variability within a field is a powerful tool for analyzing relative profitability and creating awareness of spatial attributes in general. Today, yield monitoring devices have been designed and installed on various kinds of harvesting equipment. Grain moisture content sensors were developed concurrently, but now other attributes like grain protein content can also be mapped during harvest. The limitation of yield maps is that they can only illustrate spatial patterns, while producers would also like to know when during the growing season the differences began appearing. One simple and effective approach for determining the cause(s) of differential plant growth is to apply a strip of manure across a spatially variable field. Some plants within this transect are likely to respond and others are not. Making side-by-side comparisons (with and without manure) of the nutrient content in the leaf tissue can be an effective way to determine which nutrient(s) is likely to be deficient (Masek et al., 2000). This approach uses the crop as a bio-indicator of nutrient balance rather than relying of chemical extraction procedures to quantify the relative proportion of plant available nutrients in the soil. Multiple sampling times in several locations along the manure-applied transect may be required to identify the cause and location of differential crop responses. In any case, once the problem(s) are identified, producers are in a position to make better informed management decisions.

Capitalizing on the power of imagery is a new and exciting possibility for society, and especially agriculture. This is because of new technologies that enable the rapid and inexpensive collection and storage of high resolution im-

agery. Digital cameras from a decade ago offered a few hundred pixels but now cameras with 10 or more megapixels are quite common. In 2007, commercial cameras mounted in small aircraft are able to provide 7.5-cm spatial resolution of 17-ha fields with a 39 mega-pixel camera. What this means is that farmers, consultants, environmentalists, community planners, and policy makers have many options for integrating spatial and temporal information using remote sensing tools. Along with this opportunity comes the need for personnel who have the technical expertise to manage and analyze huge quantities of digital data and the practical experiences to add value to the imagery by offering interpretations that can lead to improved management options.

Lessons learned

Failure of several recent commercial efforts to introduce remote sensing into agriculture has left some very compelling road markers for future efforts. A brief description and analysis will serve to define several key criteria that need to be met for success. One effort (Resource21) began in the early 1990s as a consortium of large diverse companies that each hoped to play a major role in the delivery of field maps based on satellite imagery to farmers. The concept was that one partner would build the needed satellites, another would capture and interpret the data, and a third would deliver the final product to producers through an existing network of retail outlets and service centers. Several other notable agricultural seed and fertilizer suppliers partnered in this venture with specialized interests related to their business. Over nearly a decade the consortium collaborated with a dozen or so University and USDA-Agricultural Research Service groups to assist with the calibration between near-satellite imagery and ground-based observations. Along the way, both low and high altitude aircraft were used to explore spatial and temporal resolution issues along with other complicating problems encountered with imagery.

The various goals of the project and related field activities revealed many useful findings about the potential for characterizing different types of vegetation (weeds versus crops) from imagery, differentiating between nitrogen and phosphorus deficiencies and water stress in key crops (corn, wheat, soybean, and cotton), and estimating yield potential during the growing season. A team worked from the beginning to develop products that they anticipated would be valuable to producers, agricultural consultants, and suppliers. Procedures and mechanisms were in place and tested to electronically deliver field maps to producers within 24 hours of a scheduled high altitude flight (proxy for an image that would be provided by a satellite). Field maps were delivered to producers utilizing a satellite-based

information system that was already in place for delivering weather and market reports to subscribing producers. The color reports received by producers were quite revealing in terms of spatial patterns in fields and changes that had occurred since the previous image a week earlier. At the end of the growing season, producers could compare their sequence of images for each field with yield maps generated by their harvesters. Producers were generally impressed with the degree of similarity in patterns and could even offer explanations for many of the notable areas. The major comment was that even though the reports were delivered promptly the consortium did not provide an agronomic interpretation and recommendation in terms of field management options. The next year, subsidized field maps were hand-delivered to the participating producers via consultants employed by the local agricultural cooperative. The dominate situation at the end of the year was that most producers questioned how they could recover the cost of the imagery and consultant services. A broader observation is that producers were not prepared to make management decisions and implement changes that would add value to the field maps and related reports. No effort was made to assign environmental implications to map interpretations or consultant recommendations other than those that amounted to intuitive impressions. While the Resource21 effort was never commercialized, the concurrent research helped to better understand the difficulties in differentiating between different types of plants stresses using imagery (Osborne et al., 2004a, 2004b; Schlemmer et al., 2005).

For years, the U.S. National Atmospheric and Space Agency (NASA) has worked to market LandSat imagery to producers for making routine management decisions. An interest group called Ag 20/20 comprised of commodity groups representing corn, cotton, wheat, and soybeans noted that LandSat imagery lacked the needed spatial resolution and the turn around time for the imagery was unacceptable. This group prioritized the types of information producers hoped to acquire using remote sensing tools. Top emphasis was given to nutrient management, followed by water stress detection, characterization of weed pressures, and early detection of crop diseases and insect infestations. All of these management considerations have environmental implications, but the quest for additional information to enhance profitability was the dominant factor influencing producer responses.

An interesting commercial remote sensing effort organized by John Deere was recently terminated after three years. This program was based on data that was acquired by a multi-band digital camera that was attached to the landing gear of a fleet of small aircraft (e.g., Cesena 172). Initially, the program was marketed to cotton producers for variable rate application of growth regulators early in

the growing season and for application of defoliants to facilitate harvesting. A subsequent use of the imagery was for making variable-rate N applications to cotton during the growing season. This program expanded into corn production areas of the U.S. for making variable-rate N applications but was not readily adopted. Again, producer feedback indicated that they were not prepared to make management decisions that would add obvious profitability to their operation. Even higher prices of N fertilizer were not enough to entice producers to place a greater emphasis on in-season N management. Lack of commercial high-clearance equipment for making in-season N applications to corn was not a limitation. Rather, the risk of encountering an N deficiency and fear of a subsequent yield reduction were strong deterrents for making management decisions that could substantially reduce profitability. For example, corn producers can economically justify applying 16 g N fertilizer if it results in an extra kg of grain (i.e., ~10 lbs N @ \$0.35/lb N for each bushel @ \$3.50/bushel). The environmental concern is that the incremental recovery for the last unit of N fertilizer applied (i.e., nitrogen use efficiency, NUE) near the point of maximum economic yield is <10 %.

The attitude of most corn producers in the U.S. is that spatial N management for corn production is not worth the cost and effort, but this is because the yield, quality, and market value of the grain do not decline with modest amounts of excess N fertilizer. This is in contrast to crops like sugar beet and malting barley where excess N availability can result in market penalties. Other crops like certain types of wheat garner a bonus if the grain exceeds a protein content threshold of 14 %. In this case, producers strive to only apply enough N fertilizer to minimally exceed the protein content threshold that triggers the bonus price because excess N fertilizer is likely to induce lodging. These examples, with the exception of corn, offer some obvious and very tangible opportunities for using the crop as a bio-indicator of N status. Assuming the remote sensing tools and analytical techniques are available to reliably monitor the crop (accurate, inexpensive, and timely), then it should be possible to implement spatial and temporal N management strategies that enhance profitability and help protect the environment.

Nitrogen management in crop production systems is incredibly complex because this nutrient is used in such large quantities by plants and, as an essential nutrient, is dynamic to the point of being evasive to crops in some situations. Nitrogen, as an element or simple compound, has a wide range of oxidation states and can exist as a gas, liquid, or solid depending on conditions of temperature and pressure. In the nitrate form (NO_3^-) it is totally soluble in water and thus subject to leaching. To complicate matters, soil microorganisms tend to transform all forms of N

to NO_3^- when conditions are favorable for plant growth (ideal water and temperature). Under conditions with excess water, N can be lost to the atmosphere through denitrification. Because N can be so transitory, it is unwise to attempt to store it in the soil for any length of time other than in the organic form. Within the plant, N is the most abundant element and comprises 50 to 70 % of the chlorophyll molecules that capture energy from the sun in the photosynthesis process. As such, N availability is critical in the production of plant biomass, which translates into forage and grain production. Plant chlorophyll levels continue to increase until one of the other essential elements used in metabolism becomes limiting. The difficulty for producers and managers is that most crops are known to take up excess N when it is available (luxury consumption). The limitation when using remote sensing techniques to assess crop vigor is in knowing if the element of environmental interest (e.g., P, NO_3^- , etc.) is limiting crop growth or if it is present in excess amounts. Only destructive laboratory tests will provide these answers at this time.

It is no wonder that producers who support their livelihood through the production of grain and forage products are keen on nutrient management and especially N. The green color that humans see in plants is an indication of chlorophyll level, which is a function of N status in the tissue and thereby soil N availability. So how can producers and consultants use remote sensing to tighten their N management practices and thereby protect the environment? Stated differently, how can remote sensing be used to achieve the desired level of environmental stewardship and what kinds of incentives and subsidies will be required to entice the desired actions to achieve these goals?

Promising approaches

One of the more intuitive outcomes of the Resource21 effort was documentation showing that relative corn yield for a field could be predicted with considerable accuracy (>80 %) during the growing season (Shanahan et al., 2001). The statistical significance of this relationship increased as the season progressed because there was progressively less time for weather to impose stresses that might reduce yields. This relationship helps support the premise that the crop can be used as a bio-indicator of crop vigor for making in-season N management decisions. Other supporting evidence is that chlorophyll meter data (Minolta SPAD) for corn typically shows a strong positive relationship between relative yield and relative SPAD readings. Minolta SPAD readings are highly correlated with leaf chlorophyll concentrations, which is why the device is commonly considered the chlorophyll standard for field measurements. As such, remote sensing approaches for assessing crop N status frequently attempt to emulate

SPAD meter results. In the case of the John Deere remote sensing program (called Opti-Gro), they used SPAD meter data to calibrate their "crop vigor index" that was generated from the images and used to make in-season fertilizer N recommendations.

A company called Mosaic (partnership between Cargill and IMC) picked up on the above late-season relationship between vegetation indexes and corn yield generated from imagery (Shanahan et al., 2001) to generate a proxy yield map. This approach generated a relative vegetation index value for each pixel based on the field average. Each relative pixel value was then used to redistribute the total amount of grain harvested from the field after producers provided realistic upper and lower yield values for the field. The resulting proxy yield map was used as the "yield goal" factor when making variable-rate fertilizer N recommendations for the following crop year. One shortcoming of this approach is that it generates proactive fertilizer N recommendations based on the results of the previous growing season as influenced by weather, nutrient management, and cultural practices. Another weakness that has environmental implications is that temporal differences in weather patterns from year to year can have a strong and frequently contrasting influence on crop yields (Schepers et al., 2004). The result is that imagery can be grossly problematic for parts of a field and thereby represent a significant environmental challenge in some areas and an economic loss in others.

The intended outcome of variable-rate nutrient applications is to redistribute the fertilizer to more closely match crop needs. Intuitively, this approach should reduce applications in fertile areas and possibly increase the applications in less-fertile areas. If done correctly, variable-rate nutrient applications should be environmentally friendly and at least break-even economically. A possible caution is that if increased application rates in less fertile areas are not accompanied by increased plant uptake, then an environmental risk can result. In-season nutrient management based on real-time imagery offers a way for producers to respond to the way weather affects spatial landscape features.

Corn producers in the U.S. are usually not inclined to make more than one variable-rate N application because of the cost and time requirement. Timing of this application limits the use of real-time imagery because the crop needs to exhibit differential signs of N deficiency for the approach to be effective. Imagery from early in the growing season is less likely to display spatial patterns related to nutrient availability. The risk of delayed image collection is that more strongly nutrient deficient areas may have already encountered yield-limiting physiological processes. Strategies that involve multiple images are better suited for in-season management decisions (i.e., reactive) but still run of risk of having to deal with low-quality images be-

cause of cloud cover and shadows. For these reasons it may be advisable for producers who plan to make proactive management decisions based on imagery to be selective about when the data are collected (i.e., urgency should not override the importance of quality). Reactive management decisions are probably best made using real-time sensors if the appropriate devices are available. The ideal scenario would be to have access to a series of inexpensive aircraft or satellite images collected during the growing season that offer enough spatial resolution to display meaningful patterns if they exist (i.e., coarse tuning) so that field scouting and perhaps higher resolution imagery could be justified (i.e., verification and fine tuning). These high resolution images or ground-based sensor data could then be used to guide real-time applications.

Reactive strategies

Access to current and reliable information at the appropriate spatial resolution is essential when considering reactive management decisions. Information with these characteristics has the greatest potential to have a positive environmental impact. However, documenting the impact of management practices on the environment (i.e., water quality, NO_3^- leaching, greenhouse gas emissions, and runoff losses) is usually difficult to quantify because the studies need to be conducted under natural field conditions (i.e., realistic conditions for crops growing in undisturbed soils). Efforts to document these losses are frequently confounded by a variety of spatial and temporal factors. For example, measurement of NO_3^- N leaching losses with suction lysimeters placed at the bottom of the root zone under furrow irrigation of a silt loam soil showed 2 to 5-fold differences in water infiltration rates between rows depending on the traffic pattern of the planting and tillage equipment (personal communication, Dr. Darrell Watts). This large difference in water percolation rate totally overshadowed any modest differences in NO_3^- leaching that might have ensued due to spatial N fertilizer treatment differences. Measuring greenhouse gas emissions is fraught with equally serious problems because losses depend on the placement of the collection chambers relative to areas of compaction, incorporation of crop residues or manure, soil water content differences, and proximity to plant roots that release exudates that stimulate microbial activity. Finally, nutrient loss events related to weather are frequently not captured by periodic sampling protocols (e.g., weekly or monthly) unless samples are collected continuously and analyzed frequently (i.e., not composited). For these reasons, documentation of the environmental benefits of spatial and temporal management decisions based on remote sensing technologies is frequently intuitive or indirect (i.e., reduced application rates, yield differences,

lower amounts of carry-over nutrient into the next growing season, etc.).

A new generation of active sensors is able to generate real-time maps of field attributes like soil color and crop vigor when coupled with GPS (global positioning system) technologies. The idea for using modulated light to evaluate crop vigor goes back ~70 years (Holland et al., 2004). Sophisticated electronics and modern optic designs make it possible for users to select the desired wavebands to characterize a given set of plant parameters (e.g., chlorophyll status, amount of living biomass, water status, leaf area index, etc.). Because these devices generate their own light, they can be used any time of the day or night (see www.hollandscientific.com for examples of applications). Comparisons between passive and active sensors are limited, but indications are that the data collected are comparable, with certain limitations (Stamatiadis et al., 2005 and 2006).

Proactive applications

Imagery can be a powerful environmental tool because it documents the current situation and can serve to illustrate change over time. Sometimes imagery identifies simple but unknown problems that have practical solutions. Examples of remote sensing applications with environmental implications are quite diverse. The environmental implications may be both direct and indirect as follows:

Document invasive species (weeds and trees) – Information on the occurrence and spread of invasive weeds (e.g., leafy spurge) and trees (e.g., Western Red Cedar) in grazing lands is used to initiate chemical spraying and burning programs. Imagery after treatment documents the successes. In other instances, imagery showing habitat changes in and near rivers is used to make management decisions.

Land use (crops and irrigation) – Natural Resources Districts in Nebraska use annual imagery to document the types of crops grown and the type of irrigation used on each field. This information is merged with groundwater nitrate-N concentrations from irrigation wells, fertilizer records, and yields to identify crops and cultural practices that result in significant risks to groundwater quality. Historic records (since 1988) in one region have identified seed corn, popcorn, and potato production (all high-value crops) as problem systems. Fields receiving manure had higher nitrate-N concentrations in the groundwater while fields under center-pivot irrigation had lower concentrations.

Hail damage – Imagery is sometimes used to document the spatial extent of crop damage to establish fair insurance payments. Producers use the information to develop weed and disease management strategies.

Wind damage – Forestry companies used high resolution aircraft imagery after hurricane Katrina to identify

areas within forests that were severely damaged. Selective harvesting was initiated to inhibit the spread of disease and reduce the risk of future fires.

Fire losses on the landscape – Imagery is used to assess the aerial extent of damage caused by fires and to plan conservation measures. These applications include forests, grazing lands, areas along railroad right-of-ways where accidental fires were started, and accidental fires in crop fields started by catalytic converters and sparks from field implements.

Irrigation uniformity – Producers use aircraft and satellite imagery to evaluate the uniformity of water distribution within fields. Problems related to topography have strong environmental (leaching and denitrification) and economic implications. Mechanical problems with sprinkler irrigation systems identified in imagery can have both economic and environmental implications.

Accidental herbicide damage – The economic shortcomings of herbicide spray drift are of intense interest to producers and insurance companies. Environmental implications follow because reduced crop uptake of mobile nutrients means that they will be subject to runoff and leaching losses. Similar concerns exist when the wrong herbicides are inadvertently used and a crop is destroyed.

Wetlands – Changes in wetland size, density, and the species present are signs that management options should be re-evaluated. Massive wetland areas in Nebraska are imaged annually (30-cm spatial resolution) to document changes.

Buried pipeline leaks – High pressure gas pipelines (natural gas and anhydrous ammonia) are imaged routinely to detect vandalism and leaks. A lack of vegetation over the pipeline generally signals a leak and related environmental concern.

Taxation – Cities, counties, and governmental agencies use imagery to detect destruction of wetlands, unapproved construction practices (ponds and drainage ways), and existence of real estate in general to support local government operations.

Elevation and drainage – Imagery is a powerful tool to identify plugged and ineffective tile drainage systems in fields. Remedies may involve simple repairs or be more complex if additional tile drainage lines are required. The environmental implication frequently amounts to a trade-off between denitrification on the landscape or delivering the high NO_3 water to a stream for others to deal with (i.e., treatment by municipalities before domestic consumption and contribution to the hypoxic zone in the Gulf of Mexico). The vertical resolution of imagery is usually about twice the horizontal resolution so many government entities use 7.5 or 15-cm spatial resolution imagery to estimate elevation for purposes of calculating runoff and designing roads, bridges, and drainage ways.

Security assessment – Surveillance issues related to security can potentially conflict with environmental concerns (trees and scrubs to prevent erosion and control runoff versus line-of-sight detection of human activity). Remote sensing is used by military personnel to design environmentally friendly landscapes that provide the needed security.

Establish commodity contract Prices – Large corporations use remote sensing to estimate the amount of land planted to certain crops and to estimate production. They use the area information and estimated yields to establish contract prices for crops like potato. Large scale (low spatial resolution) imagery is used to estimate production levels so they can plan for storage, transportation, and processing. All of these operations have direct and indirect environmental implications at some level within the food chain.

Opportunities for Remote Sensing

The tools and technologies involved in remote sensing will forever be improving and becoming more sophisticated. When it comes to integrating remote sensing into production agriculture and concurrently into environmental stewardship efforts, several disciplines are involved. No tool is able to integrate all of the factors and considerations that have a bearing on the food chain and environment as can be accomplished with remote sensing. Adoption of these technologies is hindered because it is difficult to quantify environmental attributes. In contrast, the economy of the world operates on monetary values. Another difficulty that needs to be overcome is that the remote sensing community does not know what agricultural producers want or could use. Conversely, producers and consultants are not usually aware of the remote sensing technologies that they could have with little or no modification. In between these groups is the need for individuals who are able to apply scientific principles to link what remote sensing tools have to offer to profitable and environmentally sound agronomic applications. The latter group is in short supply at present and probably holds the key to integrating various disciplines. It is quite clear that one discipline or interest group alone will not be successful. The Resource21 and John Deere efforts showed that the end user needs to be involved from the beginning because they are the ones who must ultimately add value to the products that they produce and profitability to their operation. Alternatively, government entities may choose to develop incentive programs (subsidies and cost sharing) or regulate producer management activities. Efforts to legislate things like water quality and environmental stewardship have never worked very well so more participatory approaches are appropriate. This is going to require some

level of technology transfer to producers to help them gain confidence in what precision agriculture and remote sensing has to offer. Unless the financial incentives are quite high or the “regulatory stick” is debilitating it is going to take some serious “hand holding” on the part of scientists to promote adoption of remote sensing technologies. Identifying the “low hanging fruit” is recommended (i.e., high value crops, situations with obvious environmental problems that are candidate for regulation, and technologies that are minimally intimidating to users) as a starting place. Promotion of remote sensing technologies should be on the basis of profitability. Policy makers are advised to be content that environmental friendliness will follow if producers adopt a sound program that integrates the temporal and spatial aspects of appropriately combined proactive and reactive management strategies.

References

- Holland KH, Schepers JS, Shanahan JF, Horst GL (2004) Plant canopy sensor with modulated polychromatic light source. In: Robert PC (ed) Proceedings of the 7th International Conference on Precision Agriculture and other precision resource management. Minneapolis MN : Precision Agriculture Center
- Masek TJ, Schepers JS, Mason SC, Francis DD (2000) Use of precision farming to improve application of feedlot waste to increase use efficiency and protect water quality. Commun Soil Sci Plant Anal 32(7-8):1355-1369
- Osborne SL, Schepers JS, Schlemmer MR (2004a) Using multi-spectral imagery to evaluate corn grown under nitrogen and water stressed conditions. J Plant Nutr 27(11):1917-1929
- Osborne SL, Schepers JS, Schlemmer MR (2004b) Detecting nitrogen and phosphorus stress in corn using multi-spectral imagery. Comm Soil Sci Plant Anal 35(3-4):505-516
- Schepers A, Shanahan JF, Liebig MA, Schepers JS, Johnson S, Luchiari A (2004). Delineation of management zones that characterize spatial variability of soil properties and corn yields across years. Agron J 96:195-203
- Schepers JS, Varvel GE, Watts DG (1995) Nitrogen and water management strategies to reduce nitrate leaching under irrigated maize. J Contam Hydrol 20:227-239
- Schepers JS, Schlemmer MR, Ferguson RB (2000) Site-specific considerations for managing phosphorus. J Environ Qual 29:125-130
- Schlemmer MS, Shanahan JF, Schepers JS, Francis DD (2005) Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing N and relative water content. Agron J 97:106-112
- Shanahan JF, Schepers JS, Francis DD, Varvel GE, Wilhelm WW, Tringe JS, Schlemmer MR, Major DJ (2001) Use of remote sensing imagery to estimate corn grain yield. Agron J 93:583-589
- Stamatiadis S, Schepers J, Tsadilas C, Christofides C, Samaras V, Francis D (2005) Ground sensors of canopy reflectance as a tool for the prediction of cotton yield. Precision Agric 6:399-411
- Stamatiadis S, Taskos D, Tsadilas C, Christofides C, Tsadila E, Schepers JS (2006) Relation of ground-sensor canopy reflectance to biomass production and grape color in two Merlot vineyards. Am J Enology Viticul 57(4):accepted 5-3-06

Precision Agriculture for improved environmental outcomes: Some Australian perspectives

Rob G. V. Bramley*, Patricia A. Hill*, Peter J. Thorburn**, Frederike J. Kroon*** and Kerstin Panten*,****

Abstract

Precision Agriculture (PA) can be regarded as a means of increasing the chance that the inputs to production are applied in the right amounts in the right place at the right time. Intuitively, if farmers adopting PA are successful in achieving this objective, the likelihood of negative environmental impacts arising should be reduced. Conversely, where the likelihood of a negative environmental impact is shown to be high, the opportunity for reducing the amount of inputs used, and/or increasing their efficiency of use, should be apparent.

This paper explores these issues using examples from the Australian sugar and dairy industries. We conclude that the use of spatial data to better inform agricultural management can make a valuable contribution to reducing the risk of negative environmental impact whether applied in the implementation of PA (field and within-field scales) or at whole farm or regional scales. However, for the maximum environmental benefit to accrue through PA, the existing regional or whole-of-industry management guidelines need to be replaced by guidelines for site-specific management. This in turn will require a considerable enhancement to existing agronomic understanding.

Keywords: *Spatial variability, sugarcane production, intensive dairy farming, water quality, experimentation*

Zusammenfassung

Precision Agriculture (PA) erhöht die Wahrscheinlichkeit landwirtschaftliche Produktionsmittel in richtiger Menge, am richtigen Ort und zur richtigen Zeit anzuwenden. Im Umkehrschluss kann davon ausgegangen werden, dass Landwirte die PA erfolgreich einsetzen und die oben genannten Ziele erreichen, negative Umwelteinflüsse aus landwirtschaftlichen Produktionsprozessen reduzieren können. Weiterhin kann angenommen werden, dass in Fällen in denen starke negative Umwelteinflüsse durch Landwirtschaft nachgewiesen sind, PA die Möglichkeit bietet den Einsatz von landwirtschaftlichen Betriebsmitteln zu reduzieren bzw. ihre Effizienz zu steigern.

Im folgenden Artikel wird diesen Fragen an Beispielen aus der Australischen Zucker- und Milchindustrie nachgegangen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Verwendung räumlicher Daten im Zuge einer verbesserten landwirtschaftlichen Betriebsführung, entscheidend zu einer Verminderung des Risikos negativer Umwelteinflüsse beitragen kann, unabhängig davon, ob PA auf der Feldebene, Betriebsebene oder regionalen Ebene angewendet wird. Um den ökologischen Gewinn aus der Anwendung von PA zu maximieren, ist es jedoch notwendig existierende, herkömmliche Bewirtschaftungsrichtlinien durch Leitlinien für räumlich variable Landbewirtschaftung zu ersetzen. Dies wiederum setzt eine wesentliche Erweiterung des bestehenden landwirtschaftlichen Verständnisses voraus.

Schlüsselworte: *Räumliche Variabilität, Zuckerrohrproduktion, intensive Milchviehhaltung, Wasserqualität, Versuchsanstellung*

CSIRO Sustainable Ecosystems

* PMB 2, Glen Osmond, SA 5064, Australia;

** 306 Carmody Road, St Lucia, QLD 4067, Australia;

*** PO Box 780, Atherton, QLD 4883, Australia.

**** Present Address: JKI Institute for Crop and Soil Science, Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig, Germany

Introduction

Agriculture is increasingly under pressure to meet public demands for improved environmental performance, sustainability of practices, and accountability for the traceability, quality and safety of its products (Ancev et al., 2005). In Australia, as in Europe (e.g. Stoorvogel and Bouma, 2005), "improved environmental performance" is generally taken to infer minimisation of the impacts of agriculture on water bodies, whether these be groundwater, rivers and lakes, or the sea. An obvious question is: how might "improved environmental performance" be achieved and demonstrated?

The advent of so-called 'Precision Agriculture' (PA; e.g. Cook and Bramley, 1998; Pierce and Nowak, 1999; Srinivasan, 2006) is a response to the recognition that land is variable. It involves the collection of data describing the performance of the production system (e.g. yield, quality) and its inherent characteristics (e.g. soil properties) at high spatial resolution, and the subsequent use of this data to assist with management decision making. As such, PA is also a response to the availability of some key enabling technologies, of which global positioning systems (GPS), geographical information systems (GIS), crop yield monitors and remote sensing are the most important.

Because of the inherent variability of land (i.e. topography, soil properties), the input-output relationships (Cook and Bramley, 1998) driving agricultural production systems vary spatially, often over distances of only a few metres (McBratney and Pringle, 1999). PA seeks to promote a better understanding of these relationships and provide a means of targeting management in response to them in such a way that the likelihood of a beneficial outcome being achieved is increased, whether in respect of the better targeting of inputs (e.g. Cook and Bramley, 1998) or selective harvesting of outputs (e.g. Bramley et al., 2005b). Thus, PA may be regarded as a form of agriculture which "increases the number of correct decisions per unit area of land per unit time with associated net benefits" (McBratney et al., 2005).

Intuitively, if a producer makes a "correct decision" in regard to an input such as nitrogen fertilizer, its efficiency of use should be enhanced, with the consequence that the chance of the nitrogen being leached to groundwater or exported off-site via runoff is reduced. Some industries have been quick to use this idea as a basis for promoting both the adoption of PA, and in cases where there has been some adoption, the environmental credentials of the industry (e.g. Wrigley and Moore, 2006). However, experimentally-based demonstration of the ability of PA to contribute to improved environmental stewardship has proven difficult judging by a dearth of scientific literature on the subject. Not the least of reasons for this is the fact that agriculture is generally regarded as a diffuse source

of pollution rather than a point source. However, Wong et al. (2006) and Stoorvogel and Bouma (2005) present evidence from Western Australia and Holland of the potential contribution of PA to minimising the risk of NO_3 leaching. Here, we also focus on the environmental component of "net benefits" (McBratney et al., 2005) and provide an additional Australian perspective to the evaluation of the role for PA in protecting water bodies from the negative impacts of agriculture.

Environmental management in Australia

Constitutionally, Australia is a Commonwealth of States. Land and water management in Australia is a responsibility of the State and Territory Governments, whilst the Federal Government plays an important role in helping to coordinate efforts and activities across state and territory borders. In both land and coastal domains, regional input into natural resource management (NRM) by local stakeholders is coordinated through Catchment Management Authorities (CMAs) and NRM Boards.

In coastal regions, the major focus of the Federal Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts (DEWHA) is on achieving significant reductions in the discharge of pollutants to agreed water quality 'hotspots' through its Coastal Catchment Initiative (CCI) program. The CCI, together with the relevant jurisdictions (i.e. State and Territory Governments), identify and agree on coastal hotspots and promote competent water quality planning to improve and protect water quality. To this effect, the CCI has been funding the development and implementation of Water Quality Improvement Plans (WQIPs) for various coastal hotspots around Australia, including the Great Barrier Reef region (The State of Queensland & Commonwealth of Australia, 2003). A WQIP will identify the most cost-effective and timely projects for investment by all parties - including the Australian Government, State and Local Governments, and community and environment groups.

A WQIP includes three key components. First, it identifies the Environmental Values (EVs) of water bodies and the Water Quality Objectives (WQOs) that will protect these. Next, it estimates the sustainable target loads based on the WQOs, and compares these with the estimated current pollutant loads. Finally, it identifies management action targets, and associated management actions, that will result in progressive (quantified) reductions in the pollutant loads from both diffuse and point sources required to achieve sustainable loads.

The framework for setting EVs and WQOs is well established through the National Water Quality Management Strategy (ANZECC, 1994, 1998). Furthermore, in the State of Queensland, this framework is embedded in the *Environmental Protection (Water) Policy 1997* (State

of Queensland, 1997). The preferred uses and values of local water bodies are determined by identifying the EVs, which are categorised into aquatic ecosystems, primary industries, recreation and aesthetics, drinking water, industrial uses, and cultural and spiritual values. Based on the community's choices for EVs, and the water quality guidelines and standards to protect them (ANZECC, 2000), draft water WQOs are identified. These draft WQOs can be considered 'trigger values', that would indicate a potential environmental problem if exceeded, and 'trigger' a management response. Note that in Queensland, whilst it is possible for EVs to be scheduled under the Queensland *Environmental Protection Act*, WQIPs currently have no 'teeth'. That is, their effectiveness is essentially dependent on voluntary self-regulation by local industries. The threat nevertheless remains that Government will regulate perceived polluters if WQOs are either not met, or actions are not taken towards meeting them. This raises the question as to which actions individuals or industries might take in order to reduce the possibility of a WQO being exceeded.

Precision Agriculture, sugarcane production and protection of the Great Barrier Reef

The Great Barrier Reef (GBR; Figure 1) contributes an estimated A\$6.9 billion per year to the Australian economy, principally through tourism activities (Access Economics, 2007). The economic contribution depends on the maintenance and enhancement of the environmental values of the GBR aquatic ecosystems. To protect the GBR, and its environmental values, from land based sources of pollution, the Australian and Queensland Governments jointly developed and launched the *Reef Water Quality Protection Plan* (the 'Reef Plan'; The State of Queensland & Commonwealth of Australia, 2003). The goal of the Reef Plan is 'to halt and reverse the decline in water quality entering the Reef within 10 years'. A key aspect of implementing the Reef Plan is the development and implementation of WQIPs for high risk coastal catchments. The primary concern of these WQIPs is the reduction of sediment, nutrient and pesticide loads in water entering the GBR.

Fifteen river catchments covering an area of approximately 375,000 km² drain into the GBR Marine Park (GBRMP) which itself covers around 350,000 km² and spans almost 2,000 km of coastline (Johnson et al., 2001). In areal terms, landuse within these catchments is dominated by extensive grazing of unimproved pastures in the more inland areas. However, in the coastal floodplains immediately adjacent to the GBRMP, intensive cropping, dominated by sugarcane production, is a major land use (Figure 1); further details are provided by Johnson et al. (2001). The close proximity of this intensive land use to the GBRMP coupled with high and strongly seasonal tropical

rainfall, raises the likelihood that land use signals may be evident in both fresh and marine waters, especially during peak flood events (Mitchell et al., 1997; Furnas and Mitchell, 2001; see also <http://www.clw.csiro.au/new/2007/sedimentplumes.html> - last accessed April, 2008). Again, this raises the question as to what actions individuals or industries might take in order to ensure that the WQOs of the WQIPs in the GBR region are met?

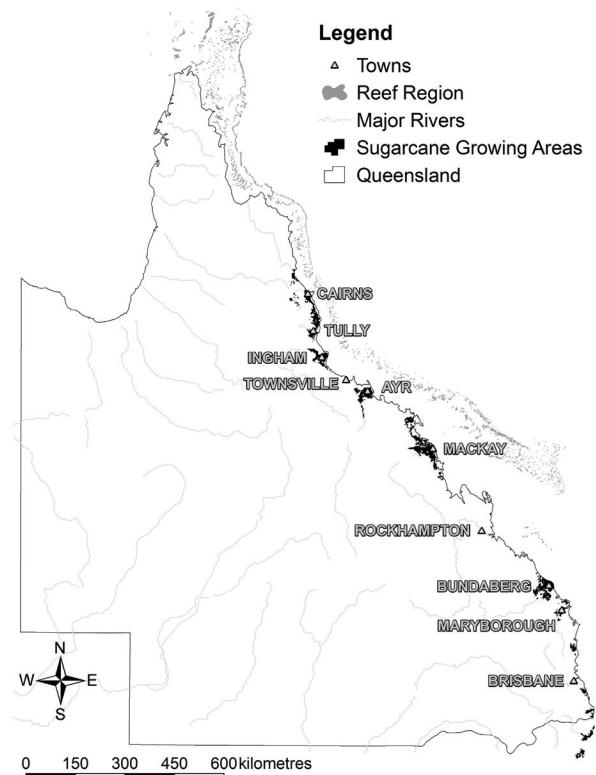


Figure 1:
The Great Barrier Reef and Queensland Sugar Industry

In a study of land use impact on water quality in the lower Herbert River catchment, Bramley and Roth (2002) demonstrated that compared to grazing and forestry, sugarcane production had a significant impact on riverine water quality, as evidenced by higher concentrations of nitrogen (N), phosphorus (P) and total suspended solids (TSS) in stream-waters draining land under sugarcane. Notwithstanding that major rainfall events during this study tended to occur in coastal, rather than inland (i.e. grazed) regions, inclusion of sampling sites that were dominated by upper-catchment grazing did not alter the conclusion that land under sugarcane was the predominant source of pollutants. Thus, it was concluded that there was considerable room for improvement in the management of land under sugarcane with the aim of minimizing the off-site export of nutrients and sediments.

Improving management of sugarcane production at regional and industry scales

Until recently, the management of fertilizers by Australian growers of sugarcane was based on recommendations (Calcino, 1994) that were applied ubiquitously throughout the cane-growing regions of Queensland with almost no account taken of either between or within region soil differences. Thus, in the case of P for example, the recommendations did not account for the likelihood that different soils under sugarcane production would have differing P sorption behaviour (Wood, 1988; Bramley et al., 2003) and therefore differing abilities to supply P to the crop (Moody and Bolland, 1999; Burkitt et al., 2002), or indeed, release it to the environment. Bramley et al. (2003) made use of the availability of an intensive (1:5,000) regional soil survey (Wood et al., 2003) coupled with indices of P sorption by both the soils surveyed, and by sediments derived from them (Edis et al., 2002), and of the susceptibility of the soils to runoff, to map spatial variation in the potential for P loss from Lower Herbert land under sugarcane. They also proposed an 'environmentally sound basis for P fertilizer management' based on integration of this potential for P loss with a knowledge of the P requirements of sugarcane and the index of soil P sorption.

From a philosophical point of view, the approach suggested by Bramley et al. (2003) is PA applied at regional scale. That is, spatial variation in soil P behaviour in the Herbert district formed the basis of targeted application of P to 'zones' delineated on the basis of soil type, rather than the standard P fertilizer recommendations of Calcino (1994). More recently, Schroeder et al. (2006) have followed a similar approach based on an understanding of soil properties to ensure that fertilizer management is better matched to both the crop demand for nutrients and the soil's ability to provide them. This approach, known as '6 easy steps' and using a series of regionally based, soil-specific sets of fertilizer recommendations, is currently being rolled out to the industry (e.g. Schroeder et al., 2007).

Improving management of sugarcane production at paddock and sub-paddock scales

Notwithstanding the potential for initiatives such as the '6 easy steps' to elicit changes to the management of sugarcane production that are consistent with the Reef Water Quality Protection Plan (State of Queensland and Commonwealth of Australia, 2003) at regional scales, we were interested in assessing the potential of PA to provide further improvements to the environmental performance of

the sugar industry at the paddock scale¹. This follows from the recent widespread adoption of GPS-guided controlled traffic and consequent industry interest in PA (Bramley, 2007), together with earlier exploratory work (Bramley et al., 1997, 1998; Bramley and Quabba, 2001) which suggests that within-paddock yield variation in sugarcane production systems is of a similar order of magnitude as for other crops (Cook et al., 2006; Figure 2).

Whilst the soil-specific fertilizer management strategy proposed by Schroeder et al. (2006) has attractions as a means of improving the efficiency of fertilizer use, its effective implementation is dependent on access to soil maps at appropriate scale. It also relies on the concept of soil types and their spatial arrangement rather than individual soil properties which may themselves vary considerably for any given soil type; Moody (1994) provides a nice illustration of this for Krasnozems which are common in the Australian wet tropics. For PA applications, it is reasonable to assume that soil data will be required at higher resolution than is conventionally available in regional maps of soil type (typically 1:50,000 or 1:100,000). Thorburn et al. (2003b, 2007a,b) have recently proposed a strategy for N fertilizer management for sugarcane based on the idea of maintaining nutrient balances through nutrient replacement. They proposed that the amount of N to be applied this year is based on that removed in the previous crop, plus an amount unavoidably lost to the environment, reasoning that these combined N losses are 1 kg N t⁻¹. Thus, the N application to a sugarcane crop with the replacement strategy requires application of 1 kg N t⁻¹ of harvested sugarcane from the previous crop. They argue that in an overwhelming number of situations, the soil under cane will be in a 'quasi-steady state' with respect to its organic matter content because of the long history of sugarcane production, often as a monoculture (Garside et al., 1997). Obviously there will be short term changes in organic matter resulting, for example, from the annual addition of cane trash (10-20 t ha⁻¹) to the soil during harvest (Robertson and Thorburn, 2007). But these changes around the steady state value represent short-term periods of net immobilisation or mineralisation of N. Thorburn et al. (2007a,b) have demonstrated that the strategy may deliver significant environmental benefits over conventional practice without compromising profitability.

Because this approach depends only on a knowledge of yield, it lends itself to application where yield mapping forms a part of the implementation of PA, especially where detailed knowledge of soil fertility parameters is sparse. The N Replacement strategy was developed and its implementation tested in paddock-scale field experiments

¹ Note that throughout this paper, the terms 'paddock' and 'block' are used to refer to a single field or farm management unit.

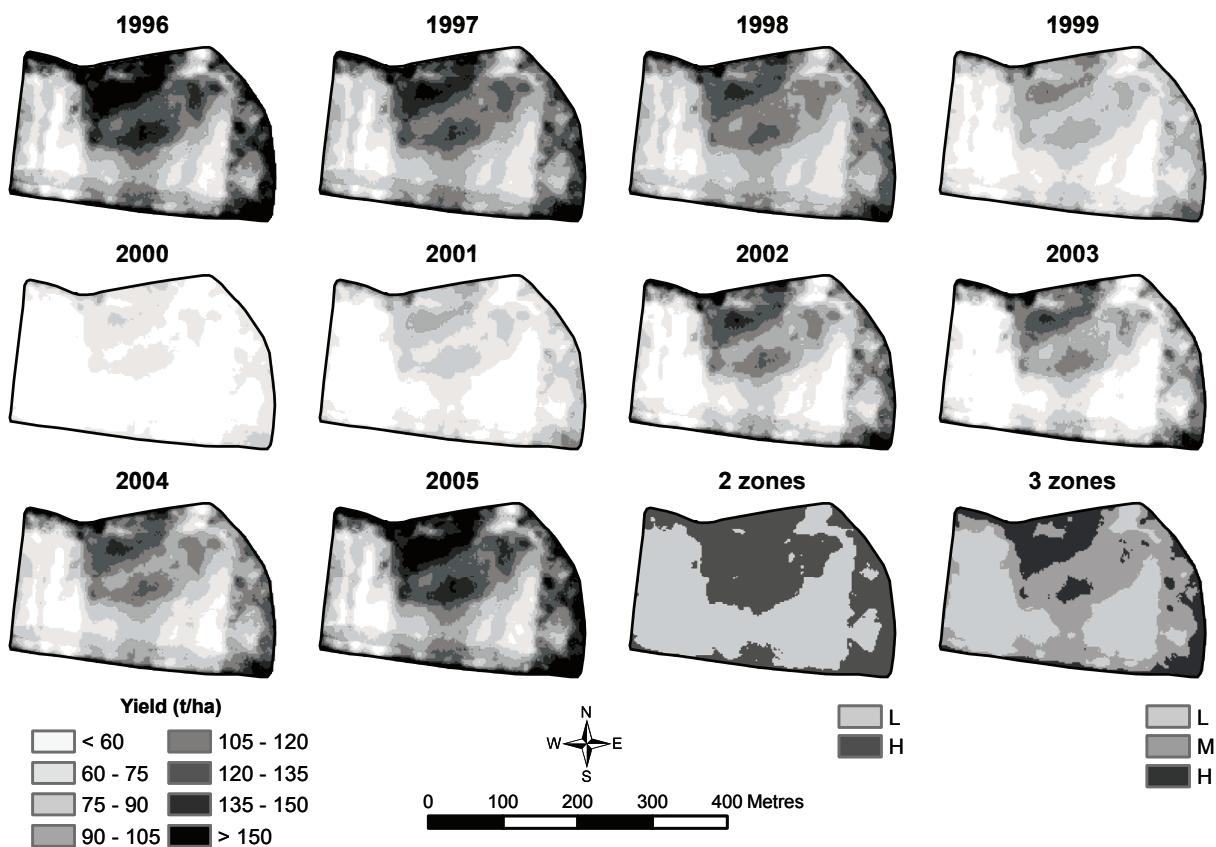


Figure 2:
 Estimated (and in 1998, actual) yield in a 6.7 ha Herbert River sugarcane paddock, 1996-2005

conducted in most sugarcane growing regions in Australia (Thorburn et al., 2007a,b; Webster et al., 2008). However, at that scale there are considerable yield differences (Figure 2). So the fact that the N Replacement system gives similar yields compared with higher N applications (Thorburn et al., 2007a,b; Webster et al., 2008) suggests both that high yielding parts of the block are being adequately fertilised and that lower yielding parts of the block are being over fertilised. Thus, application of the N Replacement concept at smaller spatial scales, as can be achieved through yield mapping and variable rate fertilizer application, may allow N applications to be reduced in some parts of a block.

Here, we assess what potential additional benefits might accrue through integration of the N Replacement strategy with variable rate fertilizer application – a technology that might be expected to be used by a farmer adopting PA. Such an approach requires access to yield maps for previous years. Our analysis is based on a single yield map obtained in 1998 from a 6.7 ha block of cane from the Herbert River district (Bramley and Quabba, 2001); the cane in this block was 1st ratoon in 1998. Because we only had access to yield maps for this block for a single year (1998),

we had to simulate yield maps for other years (Table 1).

The 1998 yield map was interpolated using a procedure based on that developed for winegrape yield mapping (Bramley and Williams, 2001) and a normalised ($\mu=0$, $\sigma=1$) version of this map was produced. Knowing the mean district cane yields (Table 1), and ignoring the tendency for yields to decline gradually through the ratooning cycle, estimates of the mean yield in our block of interest were made for the period 1996-2005 using simple linear scaling of the 1998 mean yield against the known annual district mean yields. Annual rainfall data were accessed for the 1996-2005 period from Australian Bureau of Meteorology records. We used these to modify the range of variation present in the simulated yield maps based on the assumption that within-paddock variation was likely to be greater in dry, compared to wet years. A random number generator was used to generate estimates of the coefficient of variation (CV) in kriged yield data (i.e. in the simulated yield maps) between values of 20 and 40 %. These were ranked and assigned to individual years in order of annual rainfall. Thus, the simulated yield map for 2003, the driest year (Table 1), was assigned the highest randomly generated CV (38 %), whilst the wettest year (2000) was

assigned the lowest CV (22 %). Knowing the mean estimated block yields for each year, the standard deviation of mapped yield was calculated from these CVs and the normalised 1998 yield map then back-transformed to give simulated maps for the ten year period of interest. The results are shown in Figure 2. Also shown in Figure 2 are the results of clustering the yield maps for the 10 year study period into so-called management zones using *k*-means clustering (Cuppitt and Whelan, 2001); 2 and 3 zone solutions are shown.

Table 1:

Estimation of yield and N inputs in a Herbert River sugarcane paddock, 1996-2005^a

Year	Mean district cane yield (t/ha) ^b	N applied (kg/ha) ^c	Annual rainfall (Sep-Aug) (mm)	Estimated mean block yield (t/ha)	Estimated CV % (kriged data) ^d	Estimated σ (kriged data) (t/ha)
1996	97.6	213	1208	111.3	32	35.62
1997	92.0	198	2082	104.8	27	28.31
1998	86.1	209	2846	98.6	23.4	23.11
1999	69.2	204	2556	78.9	24	18.95
2000	48.0	183	3457	54.7	22	12.04
2001	58.2	201	2409	66.4	26	17.25
2002	77.3	205	1161	88.1	34	29.97
2003	71.1	191	949	81.1	38	30.81
2004	81.6	155	1648	93.0	28	26.03
2005	97.3	153	1533	110.9	31	34.38
Mean		190				

^a1998 data in bold are actual, not estimated, values

^bCalculated from sugar mill records

^cData provided by Incitec-Pivot

^dCV denotes coefficient of variation

From fertilizer usage statistics obtained from a major supplier of fertilizer to the sugar industry for the 1996-2005 period, 'standard practice' was assumed to be uniform application of N at a rate of 190 kg N ha⁻¹ y⁻¹ – the mean rate used in the Herbert River district over the 10 year study period. The maps shown in Figure 2 were then used to estimate the potential loss of N to the environment, and its spatial variability within the block. Four other possible fertilizer strategies were also evaluated. First, the N Replacement strategy of Thorburn et al. (2007a,b) was evaluated assuming that N was applied uniformly at a rate of 1 kg t⁻¹ mean yield achieved in the previous year (Nrep), and that 0.9 kg N t⁻¹ yield achieved this year is removed in the crop (Thorburn et al., 2007a,b). Second, a modified version of the Nrep strategy was evaluated with the paddock divided into the 2 management zones identified from the 2 cluster *k*-means clustering shown in Figure 2

(Zone based). Third, the Nrep strategy was modified on the basis that N use efficiency by sugarcane is potentially better than demonstrated at a paddock-scale by Thorburn et al. (2007a,b) because N concentrations in sugarcane (Thorburn et al. 2007b) are lower than that originally assumed by Thorburn et al. (2003b) in developing the strategy. Thus, the third strategy (eff) involved N application at rates of 0.7 or 0.8 kg N ha⁻¹ t⁻¹ yield in the previous year to the higher and lower yielding zones with crop removal adjusted to 0.6 kg N t⁻¹ yield achieved this year. Aside from assuming a more efficient use of N, this strategy also recognises that one consequence of the poorer performing parts of the paddock being lower yielding is that they are also areas of lower N uptake by the crop, relative to the amount applied, and thus are potentially larger contributors of N to the environment. Finally, we simulated the Nrep strategy when implemented using continuous variable rate fertilizer technology (1998 only). To make this more realistic in relation to typical spreading equipment, a fertilizer application map was simulated from the 1997 yield map (2 m pixels) by locally averaging to 10 m pixels. All calculated N application rates were rounded up to the nearest 5 kg N ha⁻¹.

In addition to evaluating the effects of these different strategies on the potential for N loss to the environment, their impact on farm income was also estimated. The cost of fertilizer was assumed to be A\$1 kg⁻¹ N, based on a urea price of A\$460 t⁻¹. Harvesting costs were assumed to be A\$6.50 t⁻¹, and the sugar price was set at A\$340 t⁻¹ (equivalent to US\$0.12 lb⁻¹); for sake of simplicity, these costs were assumed to be constant for the 10 year study period. It was also assumed that the sugar content of harvested cane (ccs) was invariant in both space and time and was set at 12. The work of Kingston and Hyde (1995) shows this assumption to be incorrect but, in the absence of information about spatial variation in ccs or its relation to spatial variation in yield and in the interests of simplicity, we assumed constant ccs. Using this information and the maps shown in Figure 2, partial gross margins for the various fertilizer strategies evaluated were estimated as gross income from sales of cane, less the costs of fertilizer and harvesting.

The results of this analysis are shown in Figures 3-6 and Table 2. Figure 3 shows the implications for potential N loss to the environment of 'standard practice' and the various strategies based on N Replacement, except continuous variable rate, for 1998 only. As can be seen, application of an industry standard uniform rate of N in 1998 was estimated to result in a much larger N surplus – and thus, potential for N loss to the environment – than the other strategies (Figure 3). When the results are collated for 9 harvest seasons (1997-2005), it can be seen that much of the paddock may potentially leak approximately 1000 kg N over 9 years under the standard practice, whereas each

of the strategies based on N Replacement result in at least some parts of the block where there is no leakage at all (Figure 4). Note however, that because the Nrep strategies depend on calculation of mean paddock yield, irrespective of whether this is partitioned into zones, the Nrep and Zone based strategies yield almost identical results (Table 2) and so Figures 3 and 4 essentially illustrate the effects of the different strategies on spatial variation in N use efficiency. This shows that N surpluses derived following application of any other nutrient management scheme would scale in proportion to the application rates. As the data in Table 1 suggest, 'standard practice' in our analysis results in application of approximately twice as much N as would be applied on the basis of a requirement of 1 kg N t⁻¹ cane. It also represents application of more N than in the industry recommendations of Calcino (1994); had these been followed (approximately 20 % less N applied), the results presented in Figure 3 and 4 suggest that proportional reduction in N surplus would have resulted. Whatever, the results presented in Figures 3 and 4 strongly suggest that not only is 'standard practice' based on flawed agronomy, but that the N Replacement strategy of Thorburn et al. (2007a,b) almost certainly assumes a higher requirement of sugarcane for N than is in fact the case; indeed, Thorburn et al. (2007b) present field data in support of this view. Thus, application of N following the 'eff' strategy results in further reductions in potential N loss (Figures 4 and 5) but importantly, does not impact on the financial performance of the paddock (Table 2). Also apparent from Figures 4 and 5 is that a lack of perfect knowledge about inter-annual variation in yield potential, driven primarily by variation in climate, results in the possibility of N being in deficit in parts of the paddock in some years.

Figure 6 presents the results of the variable rate strategy and also considers the effect of fertilizer price on the analysis, given that fertilizer N has doubled in price in Australia over the 12 months to June 2008. As can be seen, neither

change in fertilizer price, nor an increase in the efficiency of N use have marked effects on partial gross margins or potential N surplus when the variable rate N Replacement strategy is followed. On the other hand, comparison of Figures 3 and 6 suggests that the variable rate strategy may result in a more uniform efficiency of N use over the paddock as whole; the long term agronomic implications of this are unclear.

Whilst this analysis is somewhat simplistic, it nevertheless sends some messages to the sugar industry that warrant more robust evaluation. First, it seems clear that PA may have a positive contribution to make to minimising off-farm losses of N without reducing the profitability of cane production. Indeed, Table 2 suggests that PA delivers a 'win-win' in that being kind to the environment is also profitable. However, it is equally apparent that PA will deliver little, if any benefit, if it is not combined with good agronomy. Thus, the fact that Thorburn et al. (2007a,b) found that the N Replacement strategy did not lead to loss of yield suggests that sugarcane can do well at less than 1 kg N t⁻¹; yields obtained at low rates of N (up to 150 kg N ha⁻¹ less than conventional practice) also support this view (Thorburn et al. (2003a; 2007b). However, PA offers the significant benefit through yield mapping of enabling identification of the inherently higher and lower yielding areas and therefore those where N use efficiency can be expected to be higher or lower.

In spite of early identification of the potential for adoption of PA by canegrowers (Bramley et al., 1997, 1998; Bramley and Quabba, 2001), it has only been more recently and largely due to widespread adoption of GPS-guided controlled traffic that the Australian industry has once again shown interest in PA (Bramley, 2007). This analysis suggests that PA does indeed offer the basis for minimising the opportunity for N to be lost off-site, and thus of providing the benefits that, hitherto, the industry has assumed to accrue (Wrigley and Moore, 2006).

Table 2:

Summary of implications for profitability and environmental performance of selected N fertilizer management strategies in a Herbert River sugarcane paddock, 1996-2005

	Standard Practice		N Replacement		Nrep - Zonal		Nrep - Zonal		Variable Rate	
	1998	1997-05	1998	1997-05	1998	1997-05	1998	1997-05	1998	1997-05
N applied (kg)	1,273	11,457	704	5327	725	5368	547	4071	502	nd
N surplus (kg)	680	6,792	108	644	129	678	10	-168	104	nd
Gross margin (\$)	11,065	85,620	11,601	91,602	11,616	91,734	11,794	93,031	11,164	nd
Value of N surplus (\$)	680	6,792	108	771	129	786	10	236	104	nd

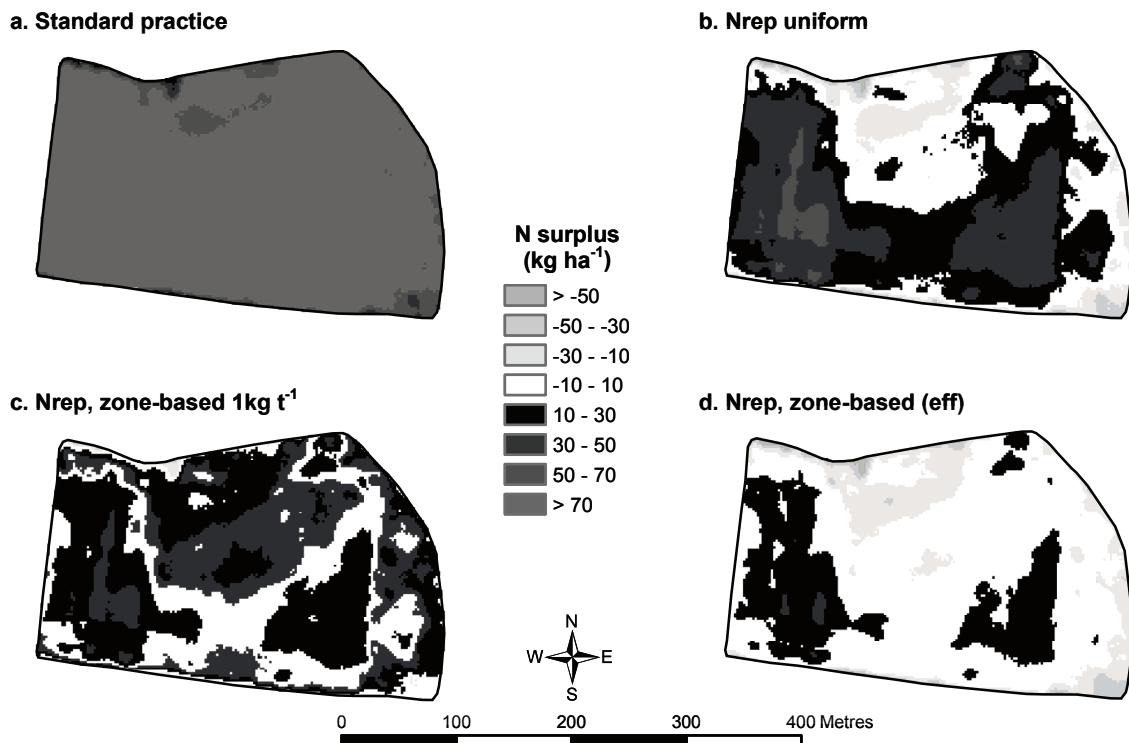


Figure 3:

Estimated potential N surplus derived from a 6.7 ha Herbert River cane paddock in 1998 when under various fertilizer management strategies. Three strategies simulated assuming N offtake by the crop of 0.9 kg N t^{-1} were (a) uniform application of 190 kg N ha^{-1} ; (b), uniform application of N following the replacement strategy of Thorburn et al. (2007a,b); and (c) zone-based differential application of N based on the strategy of Thorburn et al. (2007a,b). Also shown in (d) is the N surplus when the N requirement and offtake was assumed to be 0.7 and 0.6 kg N t^{-1} in the high yielding zone, but 0.8 and 0.6 kg N t^{-1} in the low yielding zone

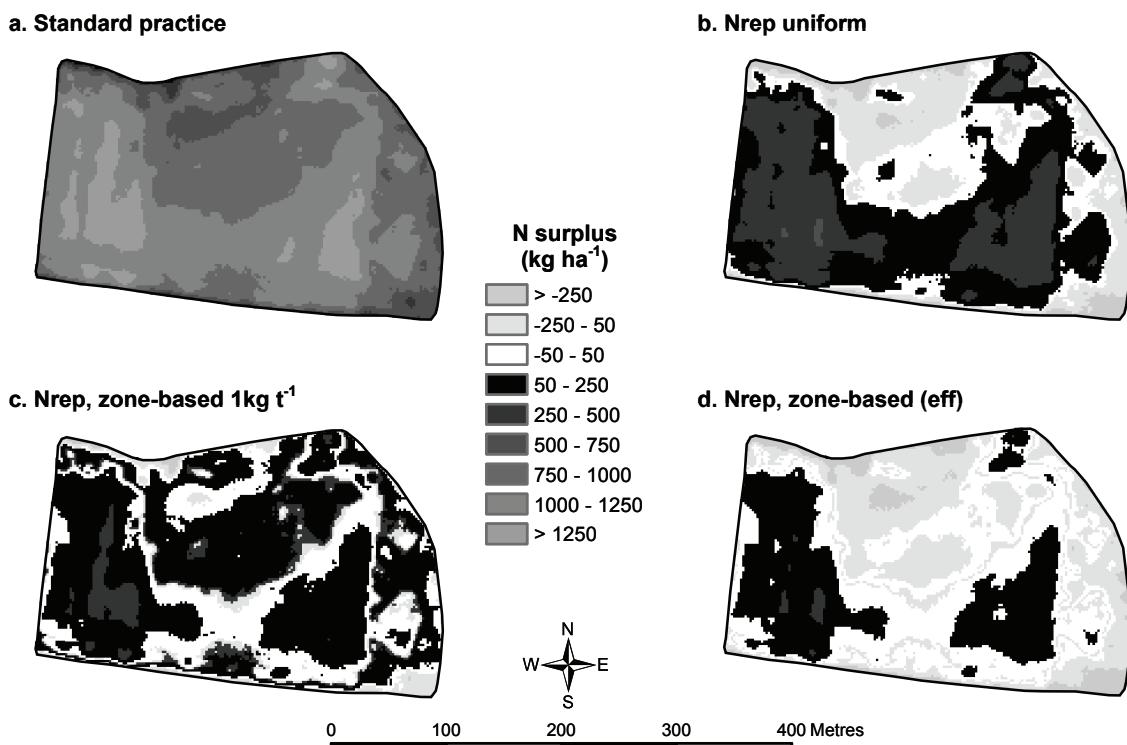


Figure 4:

Estimated N surplus from a 6.7 ha sugarcane paddock over a nine year period (1996-2005). The legend is as per Figure 3

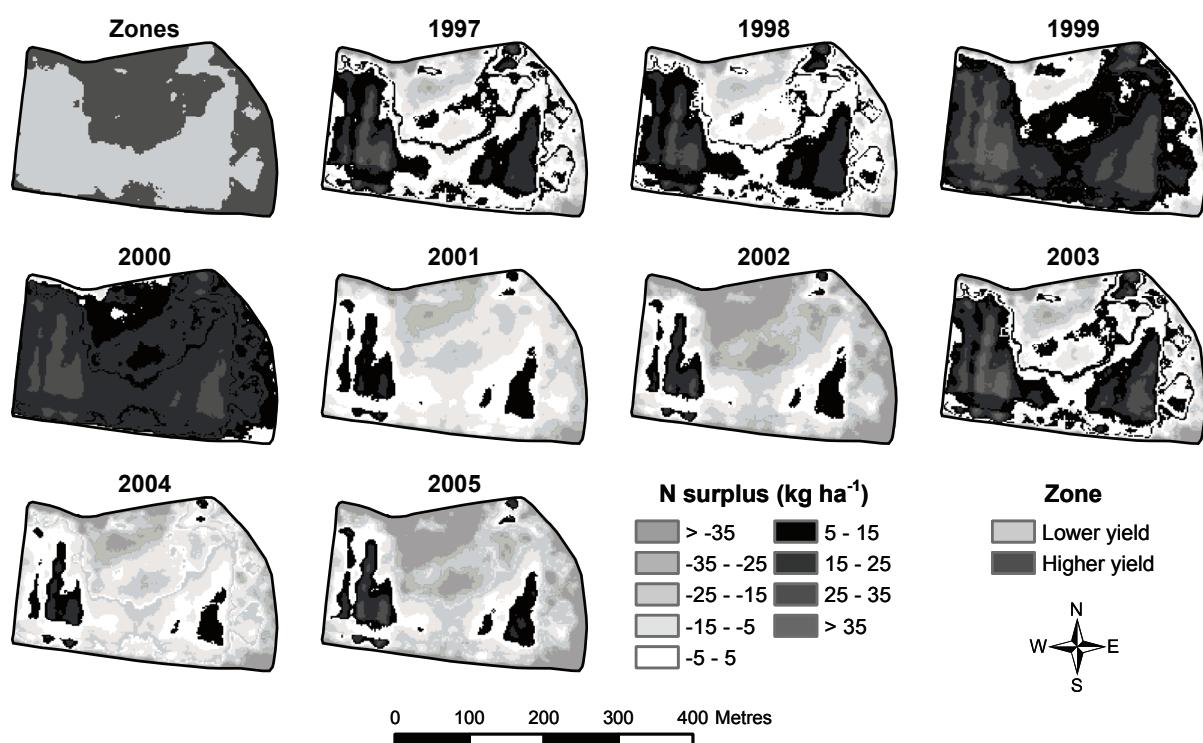


Figure 5.
 Estimated N surplus over 9 years under a zonal N management strategy assuming N use efficiency of 0.6 kg N t^{-1}

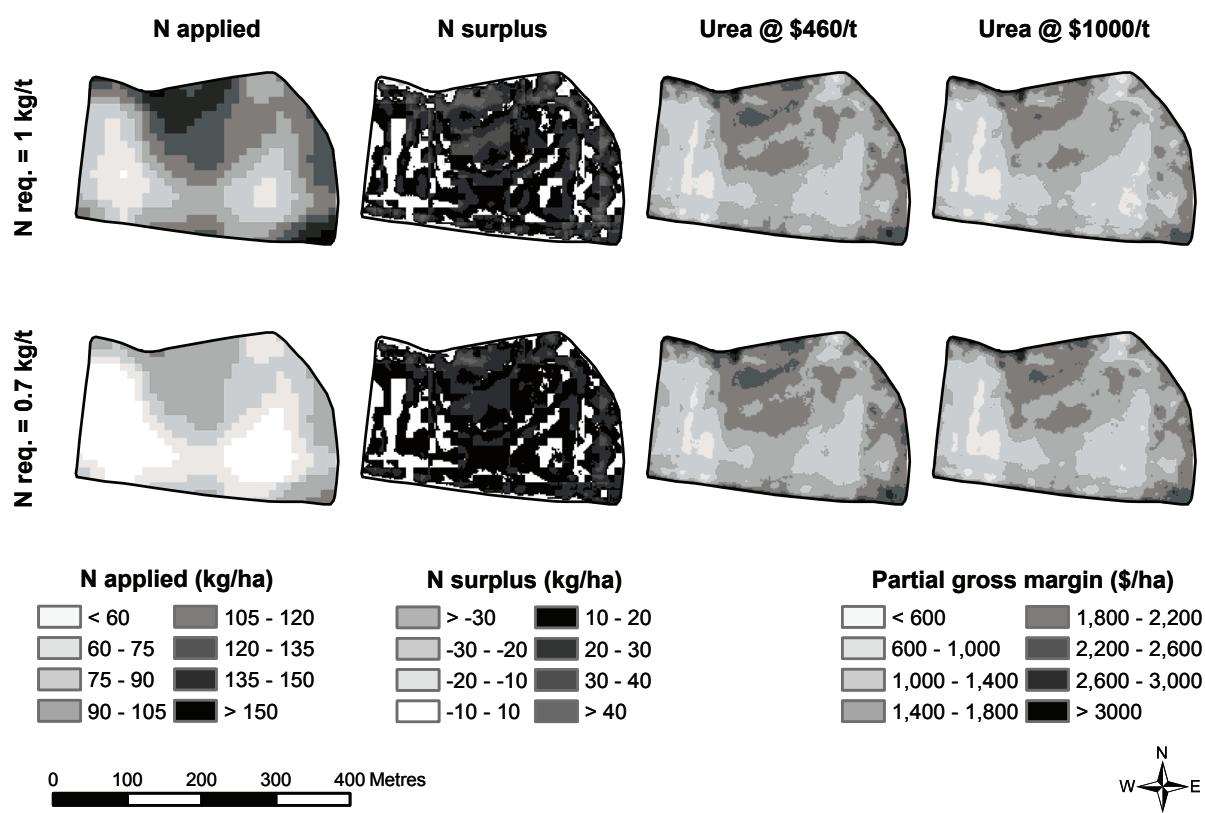


Figure 6:
 N surplus following variable rate application in 1998 and the effect of fertilizer price on the partial gross margin from N use

Best practice is dependent on access to spatial data – a second example from the dairy industry

Intensive dairying is a major land use in the Gippsland region of Victoria (Figure 7), supplying milk and dairy products to much of Australia. However, in a somewhat similar situation to that confronting the sugar industry in Queensland, the region is bounded at its most downstream end by the Gippsland Lakes, a significant area of wetland of major ecological significance. As with the GBR, there are concerns that agriculture in the region may negatively impact on the lakes.

Ellinbank is a 180 ha research dairy farm operated by the Victorian Department of Primary Industries; approximately 150 ha is under dryland dairy pasture. Best management practice with respect to all facets of dairy production is considered to be implemented here. The farm is fenced into small (< 2 ha) paddocks, and these paddocks are cell-grazed using temporary electric fencing. Effluent is applied strategically and conservatively to approximately 10 ha of the farm, and irrigation is used only on fodder crops. The farm runs approximately 400 milking cows, with an average stock density of 2.7 cows / ha.

Following concern at the potential for nutrient loss from intensive dairy farms, the Farm Nutrient Loss Index (FNLI; Melland et al., 2007) was developed as an educational tool to help farmers understand about nutrient budgeting and loss. Whilst FNLI may achieve its original educational objectives, its implementation as a management aid is limited by the fact that, because it is a paddock-based assessment tool, it does not accommodate spatial continuities and so does not permit interaction between paddocks, which is critical to the management of dairy systems given the movement of stock. Recently, Hill (2008) has addressed this issue by implementing a modified version of FNLI in a GIS following the schema shown in Figure 8. Her objective was to facilitate examination of the *risk* of nutrient loss in agricultural landscapes, using inherent biophysical factors combined with dynamic management factors to determine nutrient loss *likelihood*. Here, we illustrate this with regards to fertilizer N and the risk of it being lost via surface runoff.

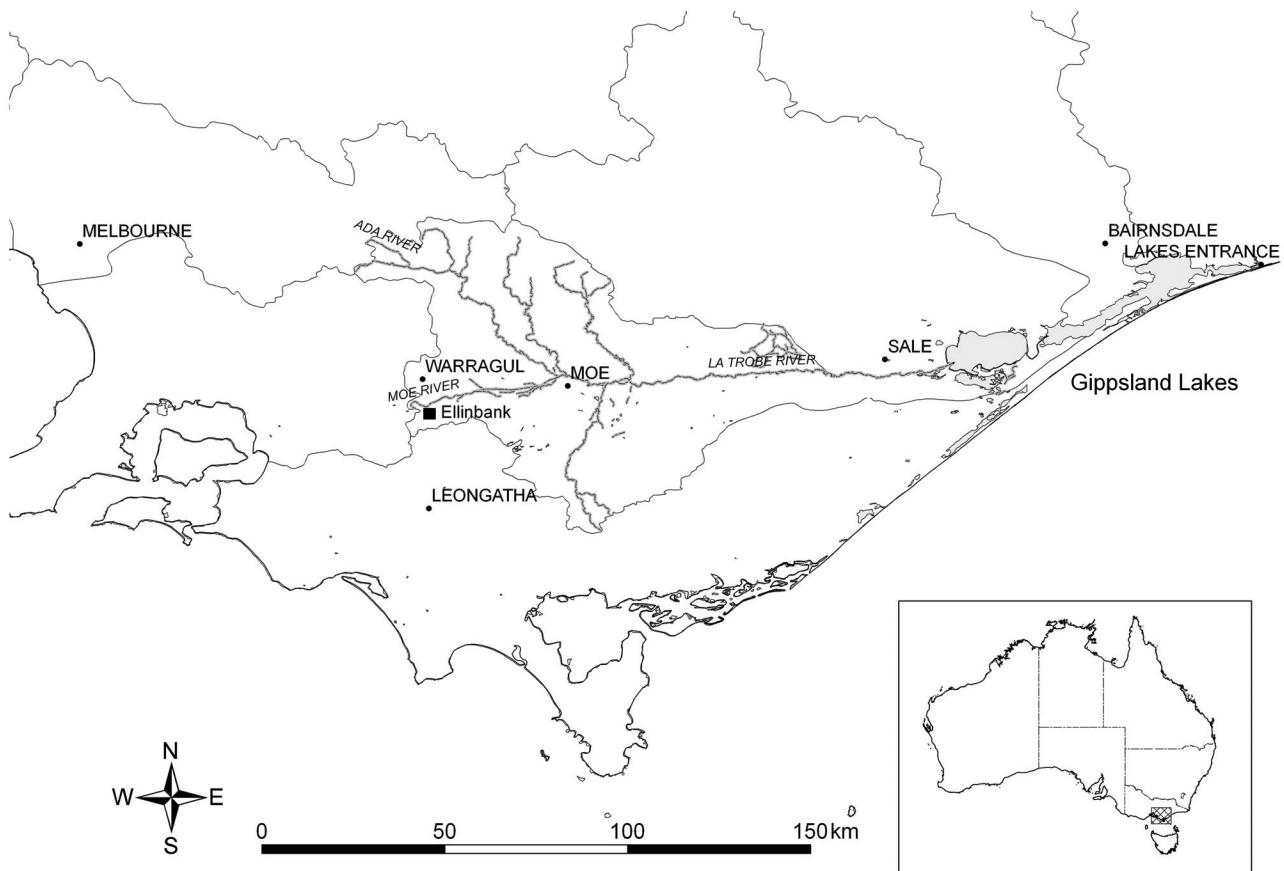


Figure 7:
The Gippsland region of Victoria

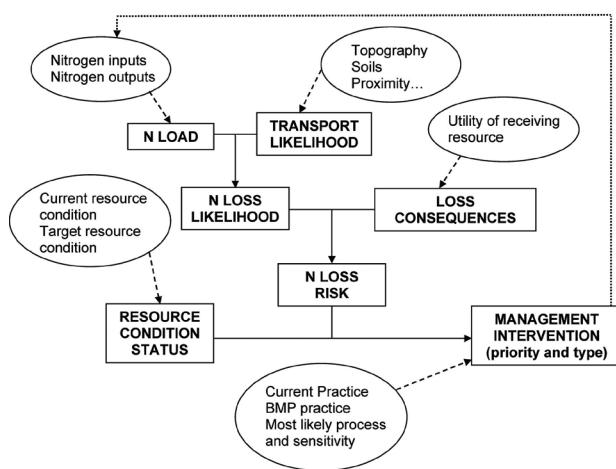


Figure 8:
 Schema used for assessing the risk of N loss from dairy farms and identifying opportunities for improvements to management (Hill, 2008)

Risk may be defined as the integration of *likelihood* and *consequence* (Standards Australia/Standards New Zealand, 2006). Generally, this integration takes the form of a simple multiplication of the likelihood and consequences factors.

The *likelihood* of nitrogen loss by runoff is a function of both nitrogen availability and the likelihood that runoff will occur. Fundamental to the work of Hill (2008) has been retention of a focus on nutrient budgeting to provide an estimate of the amount of nitrogen available for loss. Thus, and using the Ellinbank dairy farm as the focus of study, per paddock inputs of N (Figure 9c), were estimated from detailed farm records of fertilizer inputs (Figure 9a), fixation by legumes, imported feed and application of dairy shed effluent. Similarly, per paddock outputs of N (Figure 9d) were estimated knowing the amount of milk produced (Figure 9b), the liveweight gain of the cattle, and from estimates of the amounts of N exported in manure and urine (Eckard et al., 2007) and through farm records of exported feed or plant material (hay, silage, etc); further details are provided by Hill (2008). The difference between the maps shown in Figures 9c and 9d gives the amount of N that is potentially available annually for loss to the environment, otherwise termed the 'N load' (Figure 10a). The N load can then be combined with the likelihood of loss. Hill (2008) determined the likelihood of nutrient loss occurring on the basis that soil properties and landscape position control losses through various transport pathways,

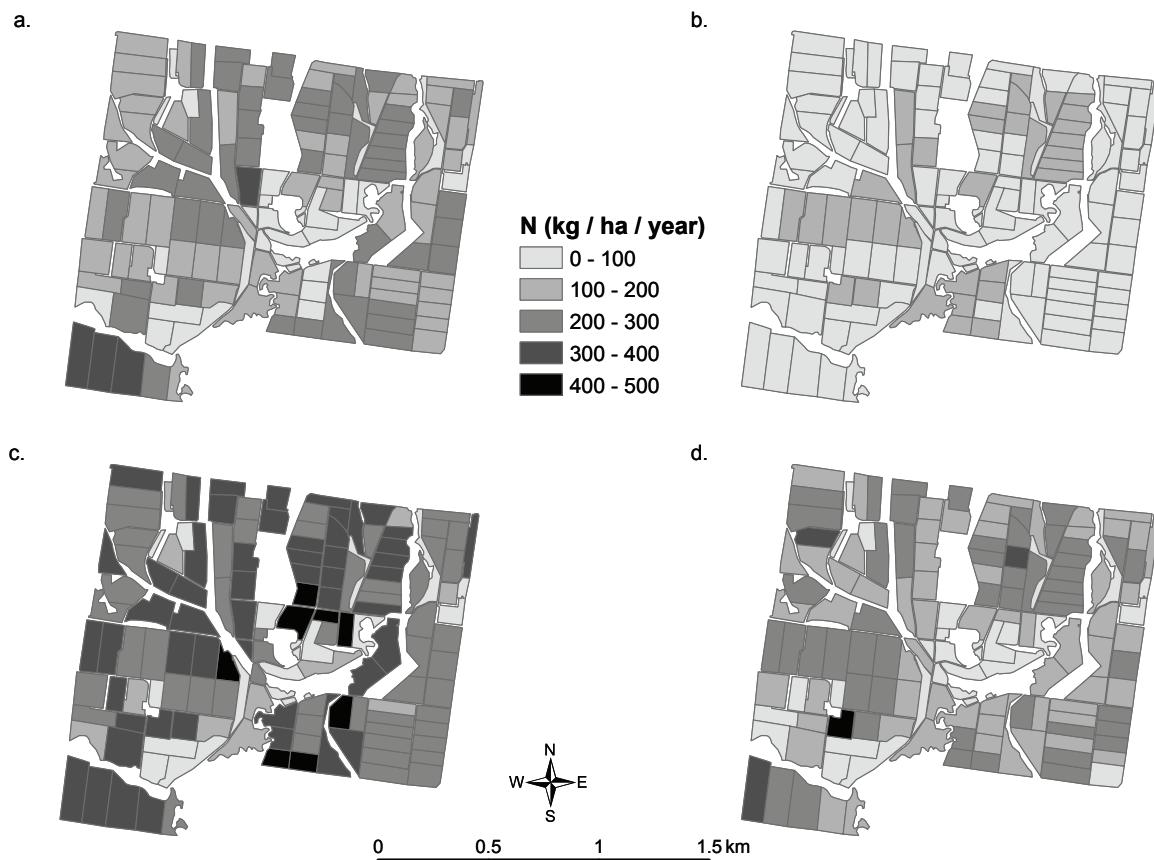


Figure 9:
 Nitrogen budgeting at Ellinbank dairy farm. (a) Fertilizer inputs, (b) exports in milk, (c) total inputs, and (d) total exports

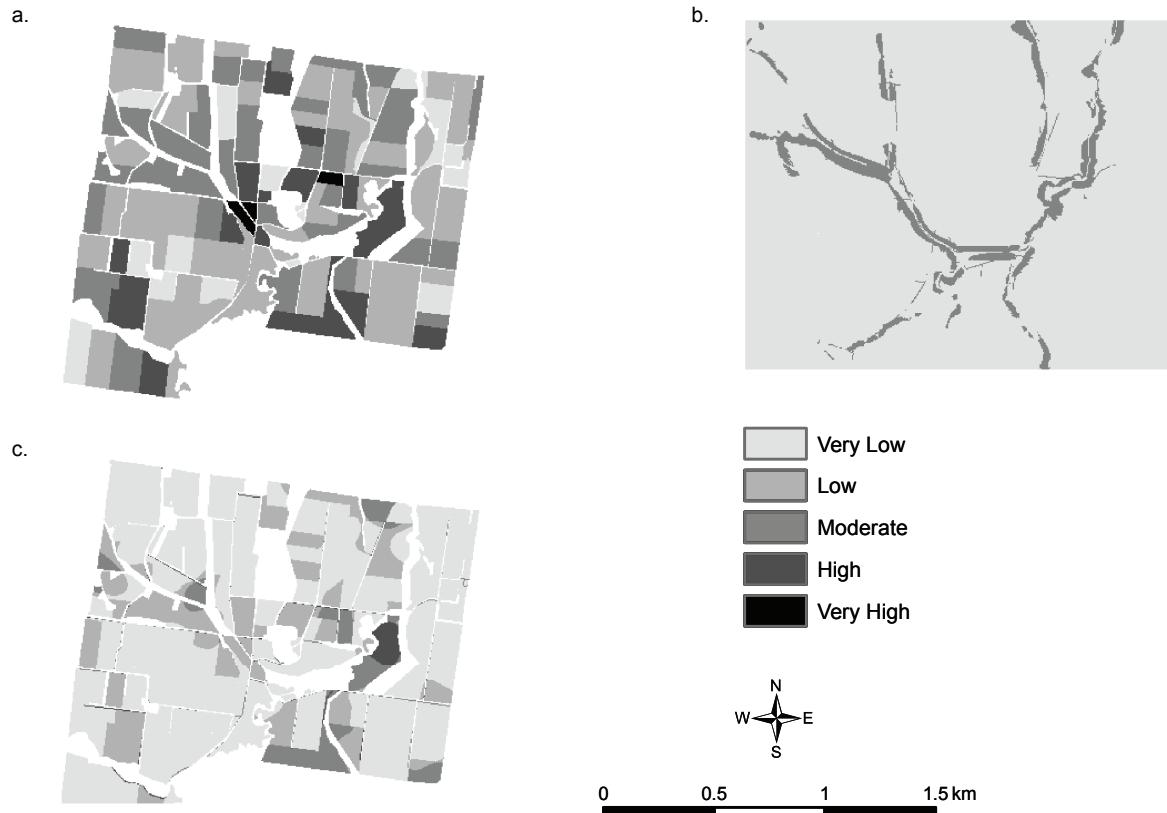


Figure 10:

Likelihood of N loss via runoff at Ellinbank. Integration of (a) the N load (obtained from the difference between N inputs (Figure 9c) and outputs (Figure 9d)) with (b) the likelihood of runoff occurrence (derived from soil and landscape properties) enables estimation of (c) the likelihood of N loss via runoff

including runoff, leaching / deep drainage, waterlogging, subsurface lateral flow and gaseous emission of nitrous oxide from soils. The soil and landscape properties considered important in controlling these processes were the soil profile type, the degree and dominant shape of slopes, the presence of runoff modifying features, proximity to receiving waterways and depth to groundwater.

Soil water movement in FNLI is derived from allocation of soil profile classes based on modal soils (Melland et al., 2007). However, in a 1:100,000 soil survey (Sargeant and Imhof, 2006), only 2 dominant landforms were identified for the entire Ellinbank property; one (Warragul) dominated by acidic red ferrosols, and another (Yarragon) dominated by clay loams over medium clays. However, the experience of the farm manager suggested a greater range of soil variation exists when considered at the farm scale. A finer level of detail was therefore considered appropriate for further analysis. A feature of advances in soil survey methodologies and, in particular, the digital storage and interpolation of soil property data (e.g. McBratney et al., 2003), is the ability to examine spatial variation in individual soil properties relevant to a particular purpose, as op-

posed to mapping soils as 'types' according to a classification system. Bramley et al. (2003) used such an approach in quantifying the risk of P loss from the Lower Herbert (see above). Thus, following a property-specific soil survey involving the collection of 104 cores, and with access to a digital elevation model derived from 20 m contour data, Hill (2008) was able to map spatial variation in N loss likelihood for the range of possible loss pathways for the Ellinbank property. Recall that, here we focus on loss by runoff only (Figure 10a). Thus, the N load and the runoff likelihood maps layers (Figures 10a and b) were combined using a multiplicative approach, to create an N loss likelihood layer (Figure 10c).

The consequences of N loss are based on flow pathways (on and off-farm), and the utility of the water body that receives water via these pathways. The utility of the resource determines the resource condition targets, and hence the consequences of pollution of the water body. Thus for example, N lost via the La Trobe River to the Gippsland Lakes is deemed far more serious than accession to the farm dam, which is used only for stock watering. Because most water at Ellinbank drains off-farm, the majority of the

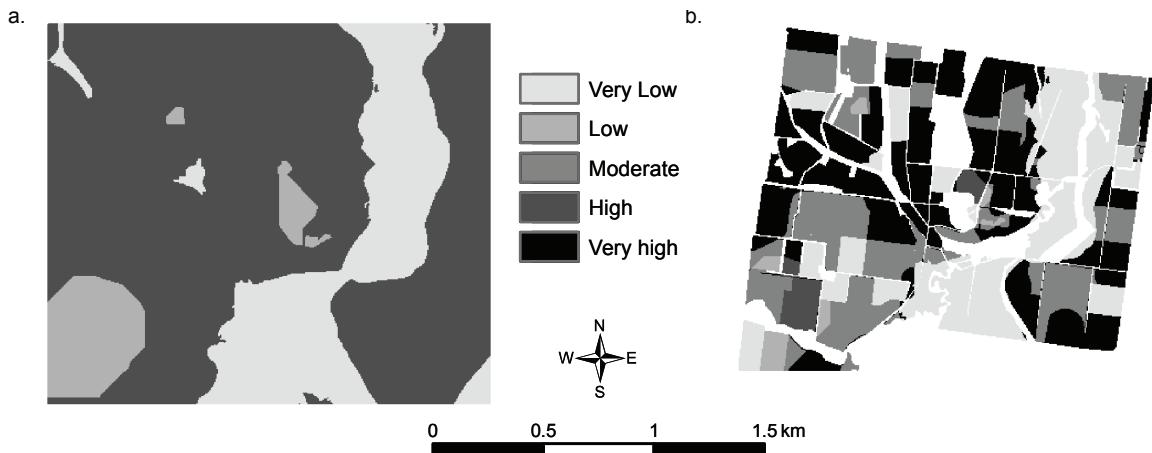


Figure 11:

Risk of N loss via runoff at Ellinbank. Integration of (a) the consequences of N loss with the likelihood of N loss via runoff (Figure 10c) enables estimation of (b) the risk of N loss via runoff

property fell into a 'high' category with respect to N loss consequence, with areas of low consequence being those where runoff is into farm dams rather than the broader catchment (Figure 11a).

Integration of the maps shown in Figures 10c (*likelihood*) and 11a (*consequences*) using a multiplicative approach enabled Hill (2008) to map the *risk* of N pollution via runoff for the Ellinbank property (Figure 11b). Two features of Figure 11b are immediately apparent. First, pollution risk, when considered at farm scale, is highly spatially variable – as was the case with the paddock scale sugarcane example. Second, even though it is regarded as a 'best practice' farm, this analysis suggests that Ellinbank poses a significant risk with respect to offsite pollution arising from N, with the majority of the property having a pollution risk towards the high end of Hill's (2008) range.

Like the sugar example, this study provides a number of lessons for farmers and catchment managers. First, whilst this example is not Precision Agriculture (PA) *sensu stricto*, it highlights the value of spatial information. Second, this kind of analysis provides value and understanding with respect to the source of N surpluses and demonstrates that they are not uniformly derived, even though the analysis used a spatial resolution conditioned largely by the size of the component paddocks. However, as with the sugar example, this analysis demonstrates that access to spatial data and a PA approach will not deliver benefit by itself; there is also a need for significant improvements in agronomic management – in this case, presumably with respect to the management of fertilizers and dairy shed effluent in particular. Indeed, given that promotion of the production of milk is the whole point of using N fertilizer in dairy systems, a striking feature of Figure 9 is the low N use efficiency implied by the difference between N applied

(Figure 9a) and N exported in product (i.e. milk; Figure 9b). Thus, possible next steps towards true best practice might include a stronger move towards PA in terms of recording pasture production and milk yield on the basis of stocked areas rather than paddocks, the use of finer resolution spatial data, and more targeted management of paddocks and nutrients applied to them for both production and environmental goals. Such a strategy could lead to intensification of some areas but quarantining of others. It could also be informed by refinements to the loss risk assessment methodology incorporating temporal, in addition to spatial data, so that in addition to identifying where high risk of loss occurs, farm managers can also be aware of when the risks of N loss are greatest.

A basis for more targeted management

A common feature of both our sugarcane and dairy examples is the demonstration that uniform management strategies, which in effect manage for the average condition, are a poor strategy from both a production and environmental perspective. Another is that they highlight the opportunity (and the need) for significant improvements to agronomic understanding. In this respect, they are consistent with the previous demonstrations that both generalised fertilizer recommendations (Cook and Bramley, 2000) and soil and plant test interpretation criteria (Bramley and Janik, 2005) derived from trials conducted over wide biogeographical regions may provide poor advice with respect to the management of specific locations. Indeed, this shortcoming is a principal reason for interest in PA and the use of variable rate fertilizer technology. However, as our sugar example indicates, access to a means of better targeting fertilizer does not deliver the benefit by

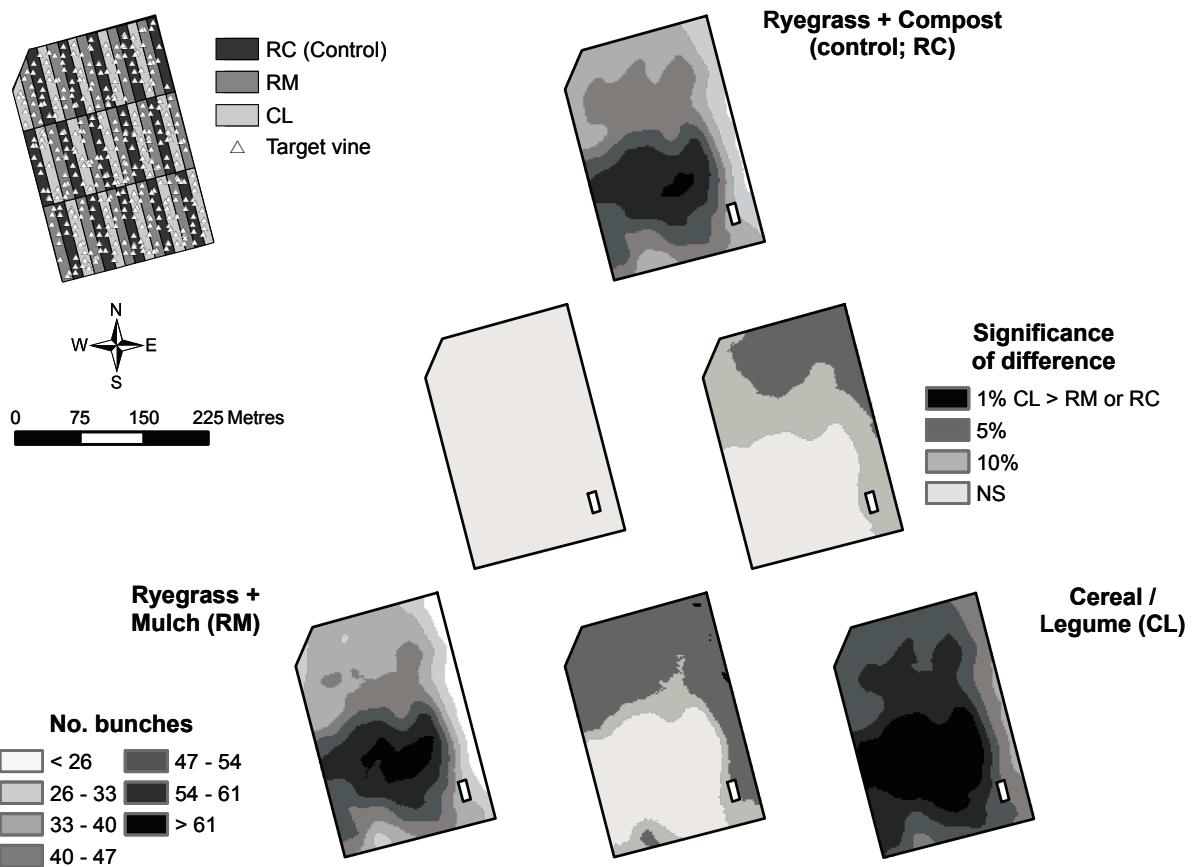


Figure 12:

A whole of block experiment conducted in South Australia (Panten and Bramley, 2007) in which a highly replicated design (top left) was applied in 2004 over an entire 4.8 ha vineyard to assess the merits of 3 mid-row management strategies. The method of Bishop and Lark (2006) was used to analyse treatment effects. Treatment specific responses, in this case assessed in terms of the number of bunches per m of row measured for 378 target vines at vintage in 2006, are shown in the maps in the corners of the triangle, with the significance of the difference between these shown in the maps positioned between them; the same legends apply to each bunch number or difference map. Whilst there is no significant difference between the RM and RC treatments, the benefits delivered by the CL treatment are markedly spatially variable

itself; it only satisfies the objective of putting the right amount in the right place at the right time if the right amount, place and time are known. This then raises questions as to how the farmer and/or their agronomic advisor should acquire this essential knowledge?

An obvious response to this question is that they should conduct some experiments on their own properties. However, if an experiment were to be conducted with the aim of guiding management of the sugarcane paddock or dairy farm discussed above, where ought it to be located? Should a trial be implemented in the lower yielding areas to the east or west of the sugarcane paddock, in the average yielding area in the centre or perhaps in the higher yielding northern part? Perhaps the delineation of zones might help, in which case should the trial be placed in the lower or higher yielding zone, in both or perhaps across the boundary between the two? In which of the Ellinbank paddocks ought an experiment to be located in such a

way that it informs management of the whole farm? Irrespective of the answers to these questions, on what basis should the results obtained be translated to locations beyond the experimental area? This question is relevant whether other parts of the same properties, other sugarcane or dairy farms in the Herbert or Gippsland districts or other farms even further afield are of interest. Such questions were the basis for early work with broadacre cereals (Adams and Cook, 1997; Cook et al., 1999) which explored the idea of conducting experiments with highly replicated designs over whole management units. More recently, Bramley et al. (2005a) and Panten and Bramley (2007) have explored the power of this approach in vineyards.

In the experiment reported by Panten and Bramley (2007), a new approach to the analysis of "landscape scale" experiments (Bishop and Lark, 2006) was used. This is based on the assumption that the observed responses (e.g.

yields) to a set of different treatments may be regarded as realizations of spatially auto-correlated and cross-correlated random variables. Thus, through the combined use of linear models of co-regionalisation and co-kriging (Webster and Oliver, 2001) the treatment responses to different treatments can be estimated for any part of the experimental site using the data pertaining to both. This allows the estimation of contrasts between different treatments measured at different locations over regions of different size and shape (Bishop and Lark, 2006). Figure 12 illustrates the application and merit of this approach to a vineyard experiment aimed at identifying the best of 3 alternate mid-row management strategies for enhancing vine vigour in an organically managed vineyard in South Australia (Panten and Bramley, 2007). As can be seen, rather than restricting the experiment to an array of small plots in one part of the block, as in the classical 'white peg' approach to agronomic experimentation, the experiment is applied over the whole management unit. Analysis of the results using the method of Bishop and Lark (2006) then enables the manager to see that the response to treatments is spatially variable. Critically, and in contrast to the traditional plot-based approach to agronomic experimentation which seeks to find out whether treatment A is significantly better than treatment B, this approach recognises that whilst treatment A may be better in some parts of a paddock, treatment B may be significantly better in others. Thus, a key element of both PA and the use of this experimental approach is that spatially explicit use of both A and B is feasible and appropriate. Another benefit of this approach is that by matching treatment response to a suitable covariate, perhaps plant available water or an index of soil fertility in this example, extrapolation of treatment response to other vineyards or properties beyond becomes much more feasible than is likely to be possible for a small, plot based experiment. In the latter case, the range of variation in the covariate may be insufficient for the development of a robust basis for extrapolation (Bramley et al., 2005a).

Conclusions and future directions

An often-heard remark at sugar industry 'shed' meetings during the 1990s was "You can't be green when you're in the red !" It is therefore significant that of 210 published studies of PA – largely focussed on the US grains industry - in which economic losses or benefits were reported, 68 % reported benefits from some sort of PA technology (Griffin and Lowenberg-DeBoer, 2005); there are several examples of the profitable application of Precision Viticulture (Bramley et al., 2005b). If the definition of "profit" is extended from a purely financial viewpoint to one which also encompasses environmental performance,

or even more generally, demonstration that a correct decision demonstrating net benefit (McBratney et al., 2005) has been made, then the case studies presented here are strongly supportive of the view that PA is profitable. They also suggest that when collected at appropriate scales, the use of spatial data in agriculture can make a useful contribution to improved environmental stewardship. However, it is clear that the size of this contribution will be dependent on improvements to agronomy at the farm and paddock scale. In other words, it must be clearly understood that site specific management requires development of appropriate agronomic expertise on a site specific basis. By default, this means that the interpretation of soil tests and development of fertilizer strategies, for example, will need to be done on a site specific basis. Thus, whilst PA promotes a new approach to experimentation, its successful application may also depend on it.

These conclusions raise important questions for agronomic researchers, research managers and policy makers. One key question is that, if it is accepted that sub-optimal agronomy is a major problem contributing to the off-site impacts of agriculture, how will the strong perception amongst funders of agricultural research that "we have already done that" be countered? With respect to policy makers, especially in subsidised agricultural economies, a second key question to consider is whether subsidisation provides a disincentive for farmers to be as good at farming as they possibly can be? Ought adoption of at least some elements of PA be a legislative requirement or otherwise supported by policy? If such issues can be addressed, then we suggest that Precision Agriculture has a lot to offer the quest for improved environmental outcomes.

Acknowledgments

Preparation of this paper was funded by CSIRO Sustainable Ecosystems (CSE). It was inspired by an invitation to the senior author to participate in a meeting of the Task Force on Sustainable Agriculture of the Agenda 21 for the Baltic Sea Region (Baltic 21), *Protecting water bodies from negative impacts of agriculture. Part II: Challenges of Precision Agriculture and Remote Sensing*, held in Braunschweig, Germany in November 2007. We are most grateful to Luis Laredo (CSE) for production of Figure 1.

References

- Access Economics (2007) Economic and financial value of the Great Barrier Reef Marine Park, 2005-06 : report for Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville, Qld, 87 p
- Adams ML, Cook SE (1997) Methods of on-farm experimentation using precision agriculture technology. In: 1997 ASAE Annual International Meeting. St. Joseph, MI : ASAE
- Ancev T, Whelan BM, McBratney AB (2005) Evaluating the benefits from pre-

- cision agriculture : the economics of meeting traceability requirements and environmental targets. In: Stafford JV (ed) *Precision Agriculture '05*. Wageningen : Wageningen Academic Publishers, pp 985-992
- ANZECC (1994) National water quality management strategy : policies and principles ; a reference document [online]. Zu finden in <www.environment.gov.au/water/publications/quality/index.html#nwqmsguidelines> [Zitiert am 19.06.2008]
- ANZECC (1998) National water quality management strategy : implementation guidelines [online]. Zu finden in <www.environment.gov.au/water/publications/quality/index.html#nwqmsguidelines> [Zitiert am 19.06.2008]
- ANZECC (2000) Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality : vol 1-3 [online]. Zu finden in <www.environment.gov.au/water/publications/quality/index.html#nwqmsguidelines> [Zitiert am 19.06.2008]
- Bishop TFA, Lark RM (2006) The geostatistical analysis of experiments at the landscape-scale. *Geoderma* 133(1-2):87-106
- Bramley RGV (2007) Precision agriculture : an avenue for profitable innovation in the Australian sugar industry, or technology we can do without? In: Bruce R (ed) *Precision agriculture options for the Australian sugarcane Industry*. Brisbane : Sugar Research and Development Corporation, SRDC Technical Report 3/2007:5-59
- Bramley RGV, Janik LJ (2005) Precision agriculture demands a new approach to soil and plant sampling and analysis – examples from Australia. *Comm Soil Sci Plant Anal* 36:9-22
- Bramley RGV, Quabba RP (2001) Opportunities for improving the management of sugarcane production through the adoption of precision agriculture – an Australian perspective. *Proc Int Soc Sugar Cane Technologists* 24:38-46
- Bramley RGV, Roth CH (2002) Land use impact on water quality in an intensively managed catchment in the Australian humid tropics. *Mar Freshwater Res* 53:931-940
- Bramley RGV, Williams SK (2001) A protocol for the construction of yield maps from data collected using commercially available grape yield monitors [online]. Zu finden in <www.cse.csiro.au/client_serv/resources/CRCVYield_Mapping_Protocol.pdf> [Zitiert am 19.06.2008]
- Bramley RGV, Cook SE, McMahon GG (eds) (1997) Precision agriculture : what can it offer the Australian sugar industry? : proceedings of a workshop held at the Mercure Inn, Townsville, 10-12 June 1997. Townsville : CSIRO Land Water, 101 p
- Bramley RGV, Cook SE, Cox DRV, McMahon GG, Roth CH (1998) Precision agriculture : what is it and what can it offer the Australian sugar industry? *Proc Aust Soc Sugar Cane Technologists* 20:188-195
- Bramley RGV, Lanyon DM, Panten K 2005a. Whole-of-vineyard experimentation - an improved basis for knowledge generation and decision making. In: Stafford JV (ed) *Precision Agriculture '05*. Wageningen : Wageningen Academic Publishers, pp 883-890
- Bramley RGV, Proffitt APB, Hinze CJ, Pearse B, Hamilton RP (2005b) Generating benefits from precision viticulture through selective harvesting. In: Stafford JV (ed) *Precision Agriculture '05*. Wageningen : Wageningen Academic Publishers, pp 891-898
- Bramley RGV, Roth CH, Wood AW (2003) Risk assessment of phosphorus loss from sugarcane soils – a tool to promote improved management of P fertilizer. *Aust J Soil Res* 41:627-644
- Burkitt LL, Moody PW, Gourley CJP, Hannah MC (2002) A simple phosphorus buffering index for Australian soils. *Aust J Soil Res* 40:497-513
- Calcino DV (1994) Australian sugarcane nutrition manual. Brisbane, Qld : Bureau of Sugar Experiment Stations
- Cook SE, Bramley RGV (1998) Precision agriculture - opportunities, benefits and pitfalls. *Aust J Exp Agric* 38:753-763
- Cook SE, Bramley RGV (2000) Coping with variability in agricultural production – implications for soil testing and fertilizer management. *Comm Soil Sci Plant Anal* 31:1531-1551
- Cook SE, Adams ML, Corner RJ (1999) On-farm experimentation to determine site-specific responses to variable inputs. In: Robert PC, Rust RH, Larson (eds) *Precision agriculture* : proceedings of the 4th International Conference on Precision Agriculture ; part A, Minneapolis, 19-22 of July 1998. Madison : ASA-CSSA-SSSA, pp 611-621
- Cook SE, Adams ML, Bramley RGV, Whelan BM (2006) Australia. In: Srinivasan A (ed) *Handbook of precision agriculture : principles and applications*. New York : Food Products Press, pp 529-566
- Cuppitt J, Whelan BM (2001) Determining potential within-field crop management zones. In: Grenier C, Blackmore S (eds) *Third European Conference on Precision Agriculture*. Montpellier : agro Montpellier - Génie Rural, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, France, pp 7-12
- Eckard RJ, Chapman DF, White RE (2007) Nitrogen balances in temperate perennial grass and clover dairy pastures in south-eastern Australia. *Aust J Agric Res* 58:1167-1173
- Edis RB, Bramley RGV, White RE, Wood AW (2002) Desorption of phosphate from sugarcane soils into simulated natural waters. *Mar Freshwater Res* 53:961-970
- Furnas M, Mitchell A (2001) Runoff of terrestrial sediment and nutrients into the Great Barrier Reef World Heritage Area. In: Wolanski E (ed) *Oceanographic processes of coral reefs : physical and biological links in the Great Barrier Reef*. Boca Raton : CRC Press, pp 37-51
- Garside AL, Smith MA, Chapman LS, Hurney AP, Magarey RC (1997) The yield plateau in the Australian sugar industry: 1970-1990. In: Keating BA, Wilson JR (eds) *Intensive sugarcane production : meeting the challenge beyond 2000* ; proceedings of the Sugar 2000 Symposium, Brisbane, Australia, 20 – 23 August 1996. New York : CAB International, pp 103-124
- Griffin TW, Lowenberg-DeBoer J (2005) Worldwide adoption and profitability of precision agriculture. *Revista Politica Agricola* 14:20-38
- Hill PA (2008) Managing nitrogen losses in rural landscapes - the use of spatial information and risk management frameworks in balancing production and conservation in a dairy case study. Canberra : Australian National University, PhD Thesis, in press/under examination
- Johnson AKL, Bramley RGV, Roth CH (2001) Landcover and water quality in river catchments of the Great Barrier Reef Marine Park. In: Wolanski E (ed) *Oceanographic processes of coral reefs : physical and biological links in the Great Barrier Reef*. Boca Raton : CRC Press, pp 19-35
- Kingston G, Hyde RE (1995) Intra-field variation of commercial cane sugar (ccs) values. *Proc Aust Soc Sugar Cane Technologists* 17:30-38
- McBratney AB, Pringle MJ (1999) Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. *Precision Agriculture* 1:125-152
- McBratney AB, Mendonça Santos ML, Minasny B (2003) On digital soil mapping. *Geoderma* 117:3-52
- McBratney A, Whelan B, Ancev T, Bouma J (2005) Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture* 6:7-23
- Melland A, Smith A, Waller R (2007) Farm nutrient loss index : an index for assessing the risk of nitrogen and phosphorus loss for the Australian grazing industries [online]. Zu finden in <www.asris.csiro.au/downloads/BFD/FNL1%20User%20Manual%20v1.18.pdf> [Zitiert am 19.06.2008]
- Mitchell AW, Bramley RGV, Johnson AKL (1997) Export of nutrients and suspended sediment during a cyclone-mediated flood event in the Herbert River catchment, Australia. *Mar Freshwater Res* 48:79-88
- Moody PW (1994) Chemical fertility of Kraznozem : a review. *Aust J Soil Res* 32:1015-1041
- Moody PW, Bolland MDA (1999) 'Phosphorus'. In: Peverill KI, Sparrow LA, Reuter DJ (eds) *Soil analysis : an Interpretation manual*. Collingwood, Vic : CSIRO Publ, pp 187-220
- Panten K, Bramley RGV (2007) Using the whole of block approach to measure spatially variable responses to experimental treatments in vineyards. In: Fountas S, Aggelopoulos A, Gemtos F, Blackmore S (eds) *Poster papers, proceedings : 6th European Conference on Precision Agriculture (ECPA), 3. European Conference on Precision Livestock Farming (ECPLF), 3-6 June 2007, Skiathos, Greece*
- Pierce FJ, Nowak P (1999) Aspects of precision agriculture. *Adv Agron* 67:1-85
- Robertson FA, Thorburn PJ (2007) Management of sugarcane harvest residues : consequences for soil carbon and nitrogen. *Aust J Soil Res* 45:13-23
- Sargeant I, Imhof M (2006) Major agricultural soils of West Gippsland [online]. Zu finden in <www.dpi.vic.gov.au/dpi/vro/wgregn.nsf/pages/wg_soil_detailed> [Zitiert am 19.06.2008]
- Schroeder BL, Wood AW, Moody PW, Panitz JH, Agnew JR, Slaggett RJ, Salter B (2006) Delivering nutrient management guidelines to growers in the

- Central Region of the Australian sugar industry. Proc Aust Soc Sugar Cane Technologists 28:142-154
- Schroeder BL, Panitz JH, Wood AW, Moody PW, Salter B (2007) Soil-specific nutrient management guidelines for sugarcane production in the Bundaberg District. Indooroopilly : BSES, Techn Publ TE07004
- Srinivasan A (ed) (2006) Handbook of precision agriculture : principles and applications. New York : Food Products Press, 683 p
- Standards Australia/Standards New Zealand (2006) Environmental risk management – principles and process. Sydney : Standards Australia/Standards New Zealand
- State of Queensland (1997) Environmental protection (water) policy 1997 [online]. Zu finden in <www.legislation.qld.gov.au/LEGISLTN/CURRENT/E/Env-ProWatePo97.pdf> [zitiert am 19.06.2008]
- State of Queensland and Commonwealth of Australia (2003) Reef water quality protection plan : for catchments adjacent to the Great Barrier Reef World Heritage Area [online]. Zu finden in <www.reefplan.qld.gov.au> [zitiert am 19.06.2008]
- Stoorvogel J, Bouma J (2005) Precision agriculture : the solution to control nutrient emissions? In: Stafford JV (ed) Precision agriculture '05. Wageningen : Wageningen Academic Publishers, pp 47-55
- Thorburn PJ, Dart IK, Biggs IM, Baillie CP, Smith MA, Keating BA (2003a) The fate of nitrogen applied to sugarcane by trickle irrigation. Irrigat Sci 22:201-209
- Thorburn PJ, Park SE, Biggs IM (2003b) Nitrogen fertiliser management in the Australian sugar industry : strategic opportunities for improved efficiency. Proc Aust Soc Sugar Cane Technologists 25, 12 p (on CD)
- Thorburn PJ, Webster AJ, Biggs IM, Biggs JS, Park SE, Spillman MF (2007a) Towards innovative management of nitrogen fertiliser for a sustainable sugar industry. Proc Aust Soc Sugar Cane Technologists 29:85-96
- Thorburn PJ, Webster AJ, Biggs IM, Staunton S, Park SE (2007b) Systems to balance production and environmental goals of nitrogen fertiliser management. Proc Internat Soc Sugar Cane Technology 26:302-311
- Webster AJ, Thorburn PJ, Biggs JS, Biggs IM, Spillman MF, Park SE (2008) N replacement : a simple approach to improving nitrogen use efficiency in sugarcane. Proc Aust Soc Sugar Cane Technologists 30:355-356
- Webster R, Oliver MA (2001) Geostatistics for environmental scientists. Chichester : Wiley, 271 p
- Wong MTF, Asseng S, Zhang H (2006) A flexible approach to managing variability in grain yield and nitrate leaching at within-field to farm scales. Precision Agriculture 7:405-417
- Wood AW (1988) Phosphate sorption characteristics of sugarcane soils in the Ingham area. Proc Aust Soc Sugar Cane Technologists 10:111-117
- Wood A, Schroeder B, Stewart B (2003) Soil specific management guidelines for sugarcane production : soil reference booklet for the Herbert District. Townsville, Qld : CRC Sustainable Sugar Production
- Wrigley T, Moore S (2006) Public environment report 2006. Brisbane : Cane-growers

Soziologische Untersuchungen zur Implementation von Tiergesundheitsplänen im Ökologischen Landbau

Rainer Oppermann*, Gerold Rahmann*, Mareike Göritz*, Gunnar Demuth* und Ulrich Schumacher**

Zusammenfassung

Die Ökologische Landwirtschaft erhebt den Anspruch, dass Nutztiere artgemäß zu halten sind. Ein wichtiger Parameter für artgemäße Tierhaltung ist die Gesundheit der Tiere. In verschiedenen Studien hat sich gezeigt, dass auch im Ökologischen Landbau erhebliche Defizite in der Tiergesundheit bestehen. Die Untersuchung der Gesundheitssituation von Milchkühen, Schweinen und Legehennen auf jeweils 20 Bio-Betrieben hat die Befunde vorhergehender Studien zum Stand der Tiergesundheit bestätigt. Dennoch ist die Situation zwischen den Betrieben sehr unterschiedlich. Es zeigt sich, dass eine Reihe von Betrieben auch über einen längeren Zeitraum eine gute Tiergesundheit vorweisen können. Deshalb muss prinzipiell daran festgehalten werden, Tiergesundheit als eine zentrale Managementaufgabe zu definieren und bei der Suche nach Lösungen vornehmlich bei den Betriebsleitern und Betriebsleiterinnen anzusetzen.

Tiergesundheitspläne sind ein partizipativer Ansatz. Sie eignen sich als Instrument für eine betriebsindividuelle Verbesserung. Der Erfolg ist aber von der Betreuung und vielen anderen Faktoren abhängig, die nicht direkt mit der Tierhaltung zu tun haben müssen (Arbeitsüberlastung, finanzielle Spielräume, betriebliche und private Situationen sowie persönlichen Prioritäten).

Es wurde deutlich, dass es große Unterschiede in der subjektiven und objektiven Betrachtung der Tiergesundheit auf der Ebene der Landwirte, der Berater/Tierärzte als auch der Wissenschaft gibt. Viele Tierhalter gaben an, dass sie erst durch die im Rahmen von Tiergesundheitsplänen üblichen Gesundheitsüberprüfungen auf ihre Probleme aufmerksam geworden sind. Doch nur ein gutes Drittel der Betriebe hat die Chancen der Tiergesundheitspläne intensiv genutzt.

Die Tiergesundheitspläne lassen sich abschließend noch nicht bewerten, da zum einen die Zeitdauer nicht ausreicht, aber auch die notwendige Optimierung der Pläne aufgrund von Erkenntnisgewinnen während des Projektes noch nicht berücksichtigt werden konnte.

Schlüsselwörter: Ökologischer Landbau, Tiergesundheit, Tiergesundheitspläne

Abstract

Sociological study on implementation of animal health plans in organic farming

Organic farming states to have a high animal welfare level. Animal health is an important parameter. Several studies show, that there are severe deficits. Significant deficits in animal health related to a broad range of problems. The study (2006 to 2008) on 20 organic dairy cow, 20 pig and 20 laying hen farms confirmed these results. But the situation among the different farms varies greatly. It is however apparent that a number of farms demonstrate good animal health over a long period of time. The project shows that animal health must be defined as a central management task and that solutions must be found by the actors, starting with the farm managers.

Animal health plans with a participative approach are suited as an instrument to improve health on individual farms. A farm's situation depends, however, on management and many other factors, not necessarily connected with animal husbandry (overwork, information, financial possibilities, personal and business situations and priorities, and finally, unknown factors). Not all livestock farms were ready to put more effort than a certain level for better animal health. Particularly the large farms had problems with participation and left the project before its conclusion.

It could be found that there are large differences in the subjective and objective consideration of animal health for farmers, consultants/veterinarians and scientists. Farmers mentioned that they first became aware of their problems through the animal health check. But solutions were seldom sought. More motivation for improvement could first be generated with proven economic significance ("Sick animals perform less"). In the case of laying hens, poor health is not necessarily connected to poorer economic performance ("Even hens without feathers lay eggs").

Keywords: Organic farming, animal health, animal health plans

* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, D-23847 Westerau, oel@vti.bund.de

** Bioland-Bundesverband, Ressort Landbau, Kaiserstr. 18, D-55116 Mainz

1 Einleitung

Das Thema Tiergesundheit ist zu einer Frage geworden, die sich in der Landwirtschaft nicht mehr nur als rein betriebliche Problemstellung oder als innerlandwirtschaftliche Angelegenheit diskutieren lässt. Dies gilt für den Öko-Landbau in ganz besondere Weise. Er hat es noch mehr als die konventionellen Landwirtschaft mit dem Problem zu tun, dass hohe gesellschaftliche Ansprüche an seine Tierhaltungsformen gerichtet werden (Nida-Rümelin und von der Pfordten, 2005; Rahmann et al., 2005; Hoerster, 2004).

In verschiedenen Studien hat sich gezeigt, dass erhebliche Defizite in der Tiergesundheit im Ökologischen Landbau bestehen (Rahmann et al., 2004). Bei Legehennen sind dieses vor allem Federpicken und Kannibalismus sowie Parasiten (Hörning et al., 2004; Bergfeld, 2004; Fiks et al., 2003), bei Milchkühen Euterentzündungen und Lahmheiten (Brinkmann und Winckler, 2005) und bei Schweinen Durchfälle und Parasiten (Sundrum und Ebke, 2005; Berg, 2001). Um den Gesundheitsproblemen zu begegnen bzw. um diese frühzeitig zu erkennen, empfehlen Hovi et al. (2003) die Implementierung von Tiergesundheitsplänen (TGP).

Bei Tiergesundheitsplänen handelt es sich um formlose und betriebsindividuelle Konzepte zur Verbesserung der Tiergesundheit. Diese Herden- oder Tiergesundheitspläne werden vom Landwirt, im Optimalfall in Zusammenarbeit mit dem Tierarzt, erstellt. Der Umfang dieser Pläne schwankt zwischen 2 und 100 Seiten, es gibt also kein einheitliches Schema, nach dem diese Pläne erstellt werden. Vielmehr werden sie betriebsindividuell geführt und veranlassen die Betriebsleiter, sich intensiv mit Tiergesundheit, Vorbeugemaßnahmen, Hygiene und Management auseinander zu setzen (Plate, 2006).

In Deutschland gibt es bislang keine Erfahrungen mit einem solchen Instrument. In drei Studien – gefördert durch das Bundesprogramm Ökologischer Landbau – wurde seit 2003 die Tiergesundheit bei jeweils 20 Ferkelproduzenten sowie 20 Milchkuh- und 20 Legehennenhaltern erfasst. Es wurden zentrale Indikatoren für Tiergesundheit identifiziert und darauf aufbauend in einem partizipativen Ansatz betriebsindividuelle Tiergesundheitspläne entwickelt und implementiert (Rahmann und Oppermann, 2008). Die Umsetzungsfähigkeit, Wirkung und Akzeptanz bei den Akteuren wurde soziologisch untersucht. Die Betreuungsintensität und die Partizipation aus veterinär-medizinischer Sicht war zwischen den drei Tierarten sehr unterschiedlich. Während die Milchkuhbetriebe sehr intensiv betreut und auch beraten (meistens telefonisch) wurden, wurde auf den Schweine- und Legehennenbetrieben „nur“ jeweils die Tiergesundheitssituation festgestellt, gemeinsam mit dem Tierhalter Lösungen und Zielparameter in einem Tiergesundheitsplan festgehalten und nach einem Jahr bei einem Besuch festgestellt, wie sich die Tiergesundheit auf

dem Betrieb verändert hat bzw. welche Teile des Tiergesundheitsplanes umgesetzt wurden (detaillierte Information der veterinär-medizinischen Untersuchungen in March et al., 2007).

Vor allem mit Blick auf die Differenziertheit landwirtschaftlicher Strukturen, die auch für die Bio-Landwirtschaft gelten, sowie mit Blick auf die Vielfalt der Akteure sowie ihrer unterschiedlichen Interessen und Neigungen lässt sich ein fundiertes Urteil über die Tauglichkeit des Instruments Tiergesundheitsplan nur fällen, wenn man auf einer breiteren Basis fragt, wie die betroffenen Akteure solche Pläne wahrnehmen, wie sie mit ihnen praktisch umgehen und was sie an Kritik formulieren. Nur so lässt sich klären, ob und wo es verallgemeinerbare Erfahrungen gibt, die bei der Entwicklung und beim Einsatz solcher Pläne künftig berücksichtigt werden sollten.

Insbesondere die Abklärung subjektiver Vorteilsüberlegungen und Bedenken ist dazu notwendig. Wer wissen will, ob ein solches Instrument in der Ökologischen Tierhaltung eine Chance hat, muss wissen, wie zufrieden die Landwirte sind, die ein solches Instrument praktisch getestet haben. Fragestellungen und Sachverhalte dieser Art lassen sich jedoch nur empirisch klären, und sie lassen sich nur dann hinreichend aussagekräftig klären, wenn man die betroffenen Akteure direkt, intensiv und in wissenschaftlich kontrollierter Form befragt.

Weil in diesem Projekt die Akteure sowie ihre Handlungsmöglichkeiten und Handlungsmotive in den Mittelpunkt gerückt wurden, handelt es sich um Fragestellungen, die sehr soziologisch geprägt sind. Da es auf der anderen Seite jedoch sowohl bei der Entwicklung wie auch beim Einsatz der Pläne um ein breites Spektrum von Handlungsbedingungen und Handlungsmotiven gehen musste, sind darüber hinaus auch wichtige betriebsstrukturelle und ökonomische Sachverhalte und Probleme erfragt und dokumentiert worden.

2 Methoden

2.1 Auswahl der Praxisbetriebe

Jeweils 20 Betriebe wurden von den BÖL-Projekten: 03OE406 (Milchkuhe, Universität Göttingen, March et al., 2006), 05OE019 (Schweinehaltung, Universität Kassel, Dietze et al., 2008) und 05OE013 (Legehennen, VTI, Holle et al., 2008) in ihrer Tiergesundheit bewertet. Für diese Betriebe wurden Tiergesundheitspläne entwickelt und implementiert. Die Auswahl der Betriebe erfolgte auf freiwilliger Basis, so dass es sich nicht um eine randomisierte Stichprobe handelt. Es sollte vielmehr untersucht werden, welche Entwicklungspotenziale durch Tiergesundheitspläne möglich sind, wenn die Bereitschaft zur Durchführung eines Probelaufs mit diesem Instrument grundsätzlich ge-

geben ist. Die Betriebe lagen im gesamten Bundesgebiet verteilt (Tabelle 1).

Tabelle 1:
Durchschnittliche Struktur der untersuchten Betriebe

	Milchkühe	Sauen	Legehennen
Flächenausstattung (ha)	112,18	73,42	119,82
Tiere (Anzahl)	63	61	6920
Arbeitskräfte im Betrieb insgesamt (AK)	3,66	2,10	5,98
Arbeitskräfte im Tierhaltungsbereich (AK)	2,14	1,35	1,70
Durch Betriebsleiter geschätzter Einkommensbeitrag aus der Tierhaltung	57 %	63 %	84 %

Quelle: eigene Untersuchung

Die Betriebe wurden 2006 und 2007 für die soziologischen Interviews aufgesucht und die Ergebnisse mit den Untersuchungen der Projekte aus veterinär-medizinischer Sicht verglichen. Die soziologische Untersuchung wurde abgestimmt und parallel zu den veterinär-medizinischen Untersuchungen auf den gleichen Betrieben durchgeführt. Die Erhebung hat mit standardisierten Interviews gearbeitet. Die Erhebung erstreckte sich über zwei Untersuchungsrunden mit unterschiedlichen Fragebögen. Die Interviews wurden in beiden Runden in Form von face-to-face-Interviews durchgeführt (Fragebögen mit geschlossenen, halboffenen Fragen und offenen Fragen, der Fragebogen ist bei den Autoren erhältlich). Die erste Fragebogenrunde fand im Jahr 2006 statt; nach der Auswertung der ersten Runde folgte die zweite Erhebung im Jahr 2007.

Die erste Interviewrunde fokussierte auf die Rekonstruktion der Entwicklungsgeschichte der Betriebe, die Erfassung der wichtigsten betrieblichen Handlungsbedingungen sowie auf die Klärung der Ansprüche und Erwartungen der Landwirte an Tiergesundheitspläne. Darüber hinaus wurden Fragen zu den Ausbildungswegen, zu beruflichen Qualifikationen sowie zu Weiterbildungsaktivitäten gestellt.

Die zweite Runde fokussierte hingegen auf die Nutzungserfahrungen der Akteure mit den bereits eingesetzten Tiergesundheitsplänen sowie auf die Ansichten der Bio-Landwirte zur generellen Verbreitung solcher Pläne im Ökologischen Landbau. Ein Abschnitt des Interviews war der Kooperation mit Tierärzten und Beratern gewidmet. Die Pläne waren zu diesem Zeitpunkt zwischen einem halben Jahr und einem guten Jahr auf den Betrieben im Einsatz. Die veterinär-medizinischen Besuche wurden unabhängig davon durchgeführt.

Der Fragebogen der ersten Runde enthielt 61 Fragen für die Legehennenhalter und ökologischen Ferkelerzeuger sowie 56 Fragen für die Milchviehbetriebe. In der zweiten Runde war die Zahl der Fragen mit 35 Fragen in allen Tierbereichen gleich. Die Dauer der Gespräche war in beiden Interviewrunden sehr unterschiedlich. In der ersten Runde dauerten die Gespräche zwischen 45 und 160 Minuten. Die große Spanne erklärt sich aus der unterschiedlich ausgeprägten Auskunftsbereitschaft (Redefreudigkeit) bei den halboffenen und offenen Fragen. In der zweiten Runde lagen die Gesprächzeiten zwischen 30 Minuten und einer Stunde. Auch hier erklären sich die Unterschiede aus der unterschiedlichen Länge erklärender und erläuternder Auskünfte.

3 Ergebnisse

3.1 Gründe für die Umstellung auf die ökologische Landwirtschaft und Motive des beruflichen Handelns

Der Einsatz von Tiergesundheitsplänen bezieht sich – trotz seiner Bedeutung für die Tiergesundheit – auf ein relativ umgrenztes Feld des betrieblichen Handelns und stellt somit nur einen Ausschnitt der beruflichen Praxis dar. Um die Hintergründe des beruflichen Handelns breiter zu erfassen und Erkenntnisse über grundlegende Einstellungen und Wertorientierungen zu gewinnen, wurden deshalb auch Fragen gestellt, die sich auf das allgemeine Interesse am Ökologischen Landbau und generelle Umstellungsüberlegungen beziehen.

In der ersten Befragungsrunde wurde dazu die Frage gestellt, warum die Betriebe auf Ökologischen Landbau umgestellt hatten. Mit dieser Frage sollte auch ein Zugang zu den Ideen und Vorstellungen der Akteure über „richtiges“ oder „gutes“ berufliches Handeln erreicht werden.

Tatsächlich hat die Mehrzahl der Gesprächspartner die Frage nach Umstellungsgründen und Umstellungsüberlegungen genutzt, um längere Ausführungen über ihre Einstellungen zur Ökologischen Landwirtschaft zu machen und damit zu verdeutlichen, wie sie zu ihrem Beruf stehen. In den Berichten und Darstellungen dazu waren Abwägungen und Entscheidungsgründe sichtbar, die sich zu Umstellungsgruppen verdichten ließen. Es waren drei große Begründungsgruppen und eine „Sondergruppe“ erkennbar:

- In den Antworten auf die Umstellungsfrage war bei 29 der 60 Betriebe eine Dominanz moralischer, ökologischer oder ökosozialer Überlegungen und Erwägungen erkennbar. Dies bedeutete nicht, dass andere Gründe, z. B. rein wirtschaftlicher Art, bei dieser Gruppe keine Rolle gespielt hatten. Für die Betriebe dieser Gruppe stellte sich die Entscheidung für den ökologischen Landbau jedoch in erster Linie als eine Gewissens- und

Überzeugungsfrage dar, war also ideologisch und ideell geprägt. Zudem ließen die Antworten erkennen, dass Argumente und Erwägungen, die sich auf das Gewissen oder auf moralische, ökologische oder ökosoziale Überzeugungen bezogen, für diese Gruppe heute noch von großer Relevanz sind. Dabei mischten sich ethische Postulate, sinnstiftende Ideen zu Leben und Natur und ökologische bzw. ökosoziale Kritikpositionen zu Fehlentwicklungen in Landwirtschaft und Gesellschaft. Für die Zwecke der Untersuchung war entscheidend, dass sich die Befragten mit Positionen der genannten Art nach wie vor identifizierten. Von einer Abkehr von ideologischen Basispositionen der ökologischen Bewegung konnte nicht gesprochen werden, wenn auch zu vermuten stand, dass solche Positionen heute nicht mehr als Gegensatz zum Streben nach wirtschaftlichem und beruflichem Erfolg verstanden werden.

- Im Unterschied zu dieser Gruppe zeigte sich bei 18 Betriebsleitern ein ausgeprägt pluralistisches Begründungsmuster. Bei dieser Gruppe standen die oben genannten moralischen, ökologischen und ökosozialen Überlegungen gleichberechtigt neben wirtschaftlichen, betriebstrukturellen und vermarktungsbezogene Vorteilsüberlegungen. Es war keine Bedeutungshierarchie in den Motiven erkennbar.
- Bei einer dritten Gruppe, die aus sechs Betrieben bestand, dominierten hingegen wirtschaftliche und strukturelle Beweggründe eindeutig. Zwar wurden auch von dieser Gruppe andere Gründe genannt. Doch wurden in diesen Fällen andere Gründe gegenüber den wirtschaftlichen und strukturellen Gründen klar als zweitrangig oder nachgeordnet bezeichnet. Solche Gründe blieben dem von wirtschaftlichen Erfolgsüberlegungen bestimmten Entscheidungskontext untergeordnet. Diese Betriebe bildeten eine Art Gegenpol zu der ersten Gruppe.
- Schließlich tauchte in den Interviews noch eine vierte Gruppe von Umstellungsberichten auf, die nicht eindeutig zuzuordnen waren. Sechs Betriebe fielen in diesen Bereich. Kennzeichnend für diese Gruppe war, dass die Beweggründe für die Umstellung in den Antworten entweder nicht klar genug herauskamen und sich eine Zuordnung deshalb verbot oder dass es sich um Einzelbedingungen sehr konkreter familiärer und persönlicher Natur handelte (Rechtliche Gründe, Einflussnahme der Eltern, Vorgaben der Trägerorganisationen der Betriebe etc.).

Interessant war bei der Frage nach den Gründen für die Umstellung auch die unterschiedliche Verteilung der Begründungsmuster zwischen den Tierbereichen. Das bunteste, jedoch ausgeglichenste Bild, gaben die Legehennenbe-

triebe ab. In diesem Bereich fielen acht Betriebe unter das Begründungsmuster einer Dominanz moralischer, ökologischer und ökosozialer Gründe. Fünf Betriebe waren der „Kombinationskonstellation“ zuzurechnen. Weitere fünf Betriebe entfielen auf die Gruppe mit klarer Dominanz wirtschaftlicher und struktureller Beweggründe. Zwei Betriebe waren der Restgruppe zuzurechnen.

Bei den Ferkelerzeugern äußerten sich acht Betriebe in die Richtung, dass der Einfluss moralischer, ökologischer und ökosozialer Gründe bei der Umstellung am größten war. Hier waren die „Kombinationskonstellation“ mit acht Betrieben am stärksten vertreten. Nur zwei Betriebe gaben eine Dominanz wirtschaftlicher und struktureller Überlegungen an. Zwei Betriebe entzogen sich der Einordnung in Gruppen.

Im Bereich der Milchviehhalter lag die Gruppe mit einer Dominanz ethischer, ökologischer und ökosozialer Umstellungsgründe mit 13 Betrieben am deutlichsten vorn. Fünf Betriebe gaben das „Kombinationsmuster“ als Entscheidungshintergrund an. Zwei Betriebe ließen sich in keines der drei Muster einordnen.

Neben der offenen Frage nach Umstellungsgründen wurden den Befragten vier Argumente (a bis d) zu übergeordneten beruflichen Handlungszielen vorgelegt. Diese Argumente waren mit der Frage verbunden, ob sie „voll geteilt“ werden und ob der Befragte darüber hinaus wünscht, dass sich auch seine Berufskollegen damit identifizieren. Die Argumente wurden vorgelesen und konnten mitgelesen werden.

Gefragt wurde dann, ob diesen Argumenten „voll zugestimmt“ wird und vom Befragten gewünscht wird, dass sich die Berufskollegen „damit ebenfalls identifizieren“ (1. Antwortmöglichkeit), ob die Argumentation „für weniger wichtig gehalten“ wird (2. Antwortmöglichkeit) oder ob sie sogar „für falsch“ gehalten wird (3. Antwortmöglichkeit). Die vier Argumente, zu denen Stellung bezogen werden sollte, waren:

- a) „Tiergesundheit ist heute eine zentrale Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg in der ökologischen Tierhaltung. Wer versucht, an dieser Stelle zu sparen, handelt unprofessionell und wirtschaftlich kurzsichtig“.
- b) „Die ökologische Tierhaltung geht von der moralischen Verantwortung der Tierhalter für das Nutztier als Mitgeschöpf aus. Ich halte diese moralische Überzeugung für eine unverzichtbare Grundlage des beruflichen Selbstverständnisses. Sie gibt mir Kraft. Und ich könnte meinen Beruf ohne diese Grundlage nicht ausüben“.
- c) „Die ökologische Tierhaltung lebt von ihrem guten Image beim Verbraucher. Der Verbraucher erwartet heute, dass Tiere in der ökologischen Landwirtschaft

gesund gehalten werden, sonst gibt es Rückschläge am Markt. Deshalb müssen sich ökologische Milchviehhalter bei der Tiergesundheit besonders anstrengen".

d) „Die Ökologische Landwirtschaft erhält öffentliche Fördermittel und muss sich dieser Förderung als würdig erweisen. Sie muss bei Themen wie dem Tierschutz und der Tiergesundheit, welche die Öffentlichkeit stark bewegen, deshalb besonders sensibel sein und sich deshalb bei der Tiergesundheit besonders anstrengen".

Die dritte Antwortmöglichkeit („falsch“) wurde sehr selten gewählt. Bei den Legehennenhaltern wurde sie beim Argument d) nur einmal angekreuzt. Im Bereich der Milchviehhalter wurde sie dreimal beim Argument d) und einmal beim Argument c) gewählt. Bei den Ferkelerzeugern taucht sie ebenfalls nur einmal auf – ebenfalls beim Argument d).

Demgegenüber wird bei allen vier Argumentationsmustern die erste Antwortmöglichkeit von allen Befragten oder von der übergroßen Mehrheit gewählt. Nur beim Thema Fördermittel und den damit verbundenen Anforderungen fallen die Zustimmungsraten leicht ab.

Wenn man bedenkt, dass bei den gestellten Fragen in „maximalistischer“ Form gefragt wurde (reine, sehr anspruchsvolle und überhöhte Positionen, die durch den Wunsch zugespitzt wurden, dass sich auch die Berufskollegen an die formulierten Positionen halten sollten), dann ist das Ergebnis überraschend.

Als die Frage formuliert wurde, war mit einer größeren Distanz zu den „hehren Zielen“ gerechnet worden, etwa in dem Sinne, dass sich ein größerer Teil der Befragten für die Rubrik „weniger wichtig“ entscheiden würde und dass es eine klarere Abstufung zwischen den vier Fragen geben würde. Eine solche Abstufung war jedoch nicht erkennbar.

3.2 Die Bewertung der Tiergesundheitssituation durch die Befragten

Zur Klärung der Akzeptanz von Tiergesundheitsplänen ist es sicher unerlässlich, genauer zu wissen, was die Landwirte über den Stand der Tiergesundheit im eigenen Betrieb und im Sektor denken. Das Interesse an Tiergesundheitsplänen wäre schwach und solche Instrumente hätten keine Chance, wenn sich den Akteuren die Tiergesundheitssituation als unproblematisch darstellen würde.

Zu fragen war deshalb, wie die Teilnehmer der Untersuchung den Stand der Tiergesundheit im jeweiligen Produktionsbereich (Milch, Eier, Ferkel) sowie im eigenen Betrieb beurteilen. Dazu wurden drei Fragen gestellt, die sich auf die Tiergesundheit im eigenen Betrieb und auf die Situation der Branche bezogen.

Um die Sichtweise der Befragten mit Blick auf die Branche zu erfassen, wurden die Befragten mit der (zugespitzten) These konfrontiert, dass die Ökologische Tierhaltung im Bereich der Tiergesundheit **große Mängel** aufweist. Durch die Zuspitzung der Frage sollten klare Reaktionen provoziert werden. Den Befragten wurde zudem abverlangt, sich zwischen drei vorgegebenen Antworten zu entscheiden. Die Aussagen, zwischen denen die Befragten wählen sollten, postulierten:

Aussage 1: Es gibt große Mängel bei der Tiergesundheit.

Aussage 2: Es gibt Mängel, aber von großen Mängeln kann man nicht sprechen.

Aussage 3: Es gibt in Einzelfällen Missstände.

Aussage 4: Hier bestand die Möglichkeit, eine eigene und differenzierte Bewertung vorzunehmen.

Die genannte Frage wurde anstandslos beantwortet. Befürchtungen, dass die holzschnittartige Formulierung auf Unverständnis oder Ablehnung stoßen würde, bestätigten sich nicht. Es gab auch kein Zögern beim Ankreuzen. Die Möglichkeit, kein Urteil über den Sektor abzugeben, nutzte nur ein Landwirt. Eine Sonderbewertung (Aussage 4) wollte ebenfalls nur ein Landwirt abgeben, wobei sich jedoch herausstellte, dass er sich zwischen Antwort 2 und 3 nicht entscheiden konnte.

Für die Aussage 1 (Bestätigung großer Mängel) entschieden sich neun Landwirte. 27 Landwirte entschieden sich demgegenüber für die Aussage 2 (Mängel, aber keine großen Mängel). 22 Landwirte entschieden sich für die Aussage 3 (in Einzelfällen Missstände).

Das Gesamtbild stellte sich also differenziert dar. Angeichts der „hart“ formulierten These, dass es große Mängel im Sektor gibt, war die Bestätigung dieser These durch 15 % der Befragten als ernster Hinweis zu nehmen, dass unter den Befragten eine relevante Gruppe von einer Situation ausgeht, die nicht länger zu tolerieren ist. Die größte Gruppe (45 %) gesteht Mängel hingegen zu, lehnte aber eine (zu) dramatische Bewertung ab. Ob dies eine Position mit einem kritischen oder unkritischen Unterton ist, lässt sich mit den Antworten nicht bewerten. Die Antworten können aber als Position verstanden werden, die Handlungsbedarf anzeigt. Auf der anderen Seite sehen mehr als ein Drittel der Befragten keinen Handlungsbedarf für den Sektor, sondern nur für die „üblichen Verdächtigen“, die ihr Handwerk nicht beherrschen.

Allerdings unterscheiden sich die Antworten zwischen den Produktionsbereichen stark. Die Situationseinschätzung fiel bei den Legehennenhaltern bei weitem am positivsten aus. Im Bereich Milch und Schwein entfielen

die meisten „Ankreuzungen“ hingegen auf die Aussage Nr. 2, d. h.: Hier ist die Tendenz am ausgeprägtesten, Tiergesundheitsprobleme zwar zu sehen, aber nicht zu stark zu dramatisieren. Die Position „keine Aufregung bitte“ (Aussage 3) ist hingegen nur bei den Legehennenhaltern mehrheitsfähig, mit 60 % jedoch sehr deutlich.

Vor diesem Hintergrund war die Frage, wie der Blick auf die Tiergesundheitssituation im eigenen Betrieb ausfällt, von besonderem Interesse. Gefragt worden war, ob die Gesprächspartner die Tiergesundheitssituation im eigenen Betrieb als zufriedenstellend bewerten. Ausgewertet wurde in drei Rubriken. In die erste Rubrik fielen Bejahungen ohne Einschränkungen. In die zweite Rubrik fielen Bejahungen, die mit gewissen Einschränkungen verbunden waren. In die dritte Rubrik wurden die verneinenden Antworten eingeordnet (Situation ist nicht befriedigend).

Auch hier machte es Sinn, die Ergebnisse getrennt nach Tierarten zu analysieren. Bei den Legehennenbetrieben erklärten 13 Betriebe, dass sie mit der Tiergesundheitssituation im eigenen Betrieb zufrieden sind. Zwei Betriebe votierten für ein Ja mit Einschränkungen und fünf Betriebe waren mit der Gesundheitssituation nicht zufrieden. Bei den Schweinehaltern waren hingegen neun Betriebe uneingeschränkt zufrieden. Vier Betriebe waren nur mit Einschränkungen zufrieden. Sieben Betriebe waren nicht zufrieden. Im Bereich der Milchviehhalter optierten sieben Betriebe für ein uneingeschränktes Ja. Nur zwei Betriebe machten bei ihrem Ja eine Einschränkung. Als unzufrieden bezeichneten sich allerdings 11 Betriebe, d. h. die Mehrheit der befragten 20 Betriebe.

Die Fragen zur Tiergesundheitssituation im eigenen Betrieb ergaben eine deutliche Abstufung zwischen den drei Tierbereichen. Auch mit Blick auf die Situation im eigenen Betrieb waren die Legehennenbetriebe diejenigen Betriebe, die am positivsten urteilten. Bei den Schweinebetrieben war die Zufriedenheit hingegen schon stärker eingetrübt. Aber im Gesamtbild überwog dennoch die Zufriedenheit. Nur die Milchviehhalter sahen ihre eigene Situation mehrheitlich negativ.

Nun ist Zufriedenheit sicher eine subjektive Kategorie. Man kann mit „wenig“ zufrieden und mit „viel“ unzufrieden sein. Die Antworten auf die Frage nach der Zufriedenheit mit der Tiergesundheit im eigenen Betrieb bekamen einen sehr viel eindeutigeren Charakter, wenn man sie zu den veterinär-medizinischen Tiergesundheitsanalysen in Beziehung gesetzt hatte.

Vor diesem Hintergrund waren die Antworten für den Legehennenbereich (sektoral und einzelbetrieblich) im Grunde nicht nachvollziehbar. Bei der Hälfte der Legehennenbetriebe ergaben sich keine Abweichungen zwischen Statusanalyse und Selbsteinschätzung. Doch bei der anderen Hälfte ergaben sich gravierende Abweichungen. Da die Ergebnisse der Statusanalyse erst nach der Erstbefra-

gung auf den Betrieb kamen, ist eine Beeinflussung nicht gegeben. Die Befragten hatten demnach nur zur Hälfte ein realistisches Bild ihrer Situation und in der Mehrzahl der Abweichungen wird die eigene Situation als zu positiv eingeschätzt, in vier Fällen sogar in sehr drastischer Form. In diesen Fällen waren die Befragten von einer guten Tiergesundheitssituation ausgegangen, während die Statusanalyse einen sehr negativen Befund erbracht hatte. Bei den Ferkelerzeugern bleibt zwar eine Kluft zwischen Selbsteinschätzung und Statusanalyse. Es liegen allerdings keine Welten an Bewertungsunterschieden dazwischen. Die Milchviehhalter zeigen sich hingegen im Großen und Ganzen als Realisten. Statusanalyse und Selbsteinschätzung liegen hier sehr nahe beieinander.

3.3 Bereits durchgeführte Veränderungen im Bereich Tiergesundheit und Veränderungsplanungen

An die Frage, wie ein Betriebsleiter oder eine Betriebsleiterin die Tiergesundheitssituation im eigenen Betrieb beurteilt, hatte sich im ersten Fragebogen eine Gruppe von Fragen angeschlossen, die sich auf die Anstrengungen beziehen, die von den Betrieben bisher unternommen worden waren, um die Tiergesundheitssituation zu verbessern. Gefragt wurde darüber hinaus ebenfalls, was für die Zukunft geplant war. Auch hier handelt es sich um die subjektiven Bewertungen der Akteure.

In allen drei Tierbereichen gaben die Befragten mit deutlichen Mehrheiten an, dass sie „in letzter Zeit“ Veränderung zur Verbesserung der Tiergesundheit ausprobiert hatten. Im Bereich der Legehennen sind dies 17 Betriebe. Bei den Ferkelerzeugern sind es ebenfalls 17 Betriebe und bei den Milchviehhaltern 16 Betriebe.

Auf die weitergehende Frage, ob die durchgeführten Veränderungen zu sichtbaren, positiven Ergebnissen geführt hatten, antworteten neun der 17 Legehennenbetriebe eindeutig mit ja. Nur in einem Betrieb hatte der Betriebsleiter eine Verschlechterung festgestellt. Doch waren es immerhin sieben Betriebe, welche die Frage verneinten. Hier waren Veränderungen versucht worden, ohne dass sich die Situation verbessert hatte. Bei den Ferkelerzeugern beantworteten 12 von 17 Betrieben die Frage mit ja. Drei Betriebe konnten sich nicht entscheiden und sagten „noch nicht“. Nur zwei Betriebe antworteten mit einem klaren nein (keine Angaben: 1 Betrieb). Im Bereich der Milchviehhaltung war die Situation am klarsten, denn hier sagten alle 16 Betriebe, dass die Veränderungen bereits zu positiven Ergebnissen geführt hätten. Doch muss dieser Wert vor dem Hintergrund der vorher durchgeführten Lahmheitsuntersuchung gesehen werden.

Zur Ergänzung des Themas Veränderungsbereitschaft wurde ebenfalls gefragt, ob es aus Sicht der Befragten Veränderungen gab, die sich der Betrieb für die „nächste

Zeit fest vorgenommen (hatte)“. Bei den Legehennenhaltern antworteten nur drei Betriebe mit einem Nein. Bei den Ferkelerzeugern waren es sechs Betriebe, und bei den Milchviehhaltern waren es vier Betriebe.

Schließlich ergab auch die Frage nach Veränderungen, welche sich die Betriebe auf lange Sicht vorgenommen hatten, dass nur wenige Betriebe dazu überhaupt keine Vorstellungen hatten. Bei den Legehennenhaltern sind es nur fünf Betriebe. Fünf Ferkelerzeuger äußerten sich ebenfalls in diesem Sinne sowie drei Milchviehhalter. Allerdings waren die Veränderungsvorstellungen in vielen Fällen sehr allgemein gehalten und nahmen auch nicht immer direkt auf das Thema Tiergesundheit Bezug. Dennoch fanden sich bei den Legehennenhaltern insgesamt zehn Betriebe, die eindeutig haltungsbezogene Veränderungsvorstellungen formulieren. Bei den Ferkelerzeugern waren es 13 Betriebe und bei den Milchviehhaltern zehn Betriebe.

Im Kontext der Veränderungsüberlegungen der Betriebe wurde schließlich auch die Frage gestellt, welche der angedachten Verbesserungen aus Sicht der Befragten derzeit noch an zu hohen Kosten scheitern würden. Interessant war hier, dass eine große Zahl von Betrieben aus allen Tierbereichen keine Veränderungen benannten, die an zu hohen Kosten scheitern würden. Neun Legehennenbetriebe äußerten sich in diese Richtung. Auch bei den Ferkelerzeugern waren es neun Betriebe, während es bei den Milchviehhaltern nur fünf Betriebe waren. Doch während die Legehennenhalter in der Mehrzahl einzelne Maßnahmen der Stallmodernisierung nannten (z. B. Fußbodenheizung, neue Kotgrube, Familiennester einrichten, neue Tränkesysteme installieren, elektronische Erfassung der Futtermengen einrichten) fanden sich bei den Milchviehbauern sowohl einige sehr große Bau- und Modernisierungsmaßnahmen (einen neuen Kuhstall nannten allein vier Betriebe) neben relativ kleinformativen Veränderungen wie die Installation einer elektrischen Kuhbürste oder die Installation einer verbesserten Vorrichtung zur Melkzeugzwischendesinfektion.

Unter dem Strich zeigten die Antworten dreierlei. Zum einen haben wir es mit Betrieben zu tun, die sich in der Mehrheit in der Vergangenheit bereits um Verbesserungen der Haltungssysteme bemüht hatten. Wie konsequent sie diese Ziele verfolgt hatten, ließ sich mit den vorgestellten Befragungsergebnissen nicht beurteilen. Doch wiesen die Befragungsergebnisse darauf hin, dass diese Fragen auf der Agenda der Betriebe gestanden hatten. Zweitens besaß eine große Mehrheit der Betriebe auch ein Veränderungsprogramm für die nähre Zukunft. Es bestanden relativ konkrete Vorstellungen davon, was in nächster Zeit „eigentlich“ gemacht werden müsste. Und schließlich hatten die meisten Befragten auch Ideen für ein langfristiges Veränderungskonzept.

Für die Arbeit mit Tiergesundheitsplänen bedeutet dies: Wer die Betriebe dafür gewinnen will, mehr Aktivitäten zu entfalten, stößt durchaus auf Veränderungsbereitschaft und auf konkrete Vorstellungen, was zu tun ist. Andererseits waren die Darstellungen von durchgeföhrten und geplanten Veränderungen so unterschiedlich, dass der Anspruch von Tiergesundheitsplänen, betriebsspezifisch entwickelt und strukturiert zu sein, auf Basis dieser Erfahrungen nur unterstrichen werden kann.

3.4 Ansprüche an Tiergesundheitspläne und Vorteilserwartungen

Es überrascht nicht, wenn Betriebsleiter und Betriebsleiterinnen, die sich zur Teilnahme am Tiergesundheitsprojekt entschlossen haben, der Idee des Tiergesundheitsplans grundsätzlich positiv gegenüberstehen. Doch was versprechen sie sich davon konkret?

Wir hatten dazu gefragt, welche Vorteile von den Akteuren gesehen werden, wenn sie sich für Tiergesundheitspläne interessieren und dazu eine Liste von sieben denkbaren Vorteilen vorgelegt. Die Befragten wurden aufgefordert, die Vorteile mit Hilfe von Schulnoten zu gewichten (1 = sehr wichtig, großer Vorteil). Auf diese Weise wurde abgeprüft, wie vorteilhaft der Einsatz von Tiergesundheitsplänen gesehen wird und zwar als:

- Qualitätsbescheinigung für die Außendarstellung,
- Instrument, den Marktzugang zu erleichtern,
- Instrument, eine Marktlücke zu besetzen,
- Weg zu einem besseren Betriebsergebnis,
- Möglichkeit, die Anerkennung im persönlichen Umfeld zu steigern (Imageeffekt),
- Möglichkeit, die Anerkennung im beruflichen Umfeld zu steigern,
- Weg, die eigene berufliche Zufriedenheit zu erhöhen (besseres Gefühl, weil man etwas für die Tiergesundheit tut).

Die Vorteilsrubriken waren dabei so gewählt, dass sie sowohl die wichtigsten denkbaren ökonomische Vorteile umfassten, aber auch auf soziale Vorteile und die berufliche Zufriedenheit ansprachen. Die Ergebnisse wiesen aus, dass ein wirtschaftliches Motiv (besseres Betriebsergebnis) und ein Motiv, das in den Bereich der Berufszufriedenheit fällt (besseres Gefühl bei der Ausübung des Berufs) deutlich vorn lagen (Tabelle 2).

Tabelle 2:

Vorteile des Einsatzes von Tiergesundheitsplänen aus Sicht der Betriebsleiter (durchschnittliche Bewertung nach Schulnoten)

	Qualitätsbescheinigung	Leichterer Marktzugang	Marktnische	Besseres Betriebsergebnis	Anerkennung im persönlichen Umfeld	Anerkennung im beruflichen Umfeld	Besseres Gefühl
Kuhbetriebe	3,0	3,0	3,5	1,7	3,0	2,9	1,7
Schweinebetriebe	2,8	3,3	3,3	1,5	2,7	3,1	1,6
Legehennenbetriebe	2,3	2,6	3,6	1,5	2,6	2,7	1,3

Quelle: eigene Untersuchung

Es zeigte sich, dass die Betriebe vor allem auf zwei Dinge großen Wert legten: Tiergesundheitspläne sollten leicht verständlich sein und sie sollten leicht umsetzbar sein. Auch die leichte Überprüfung der Erfolge war ein wichtiger Punkt.

3.5 Die Nutzungserfahrungen der Betriebe

Vor diesem Hintergrund kam der zweiten Interviewrunde eine zentrale Bedeutung zu. Hier wurde schwerpunkt-mäßig nach dem tatsächlichen Einsatz der Tiergesundheitspläne und den von den Akteuren dabei gemachten Erfahrungen gefragt.

Die 54 beteiligten Betriebe (sechs Betriebe fielen aus verschiedenen Gründen für die zweite Runde aus) gaben zur Nützlichkeit der Tiergesundheitspläne alles in allem ein positives Gesamurteil ab. Bei näherer Betrachtung zeigte sich jedoch, dass in den Antworten noch immer die Idee „als solche“ in die Bewertungen eingeflossen war. Es handelte sich also um ein Nutzungsurteil, dass sich nicht ausschließlich auf praktische Erfahrungen stützte. Dies ging bereits aus der Tatsache hervor, dass sich unter den Betrieben, die gute Nutzungsnoten vergaben, auch solche fanden, die wir als Teil- und Wenig-Nutzer eingestuft hatten (siehe unten).

Zur Aufnahme der Nutzungserfahrungen wurde zunächst eine Bewertungsfrage nach dem Schulnotensystem gestellt. Gefragt wurde war nach der Bedeutung des Tiergesundheitsplans für den Befragten. Die Note 1 sollte vergeben werden, wenn der Tiergesundheitsplan von dem Gesprächspartner als sehr nützlich und hilfreich eingestuft wurde. Mit der Note 5 sollte der andere Pol der Nützlichkeitsbewertung markiert werden. Auf die Note 6 wurde verzichtet.

Auf den ersten Blick fiel das Ergebnis freundlich aus. Im Durchschnitt der Betriebe wurde die Note 2,24 vergeben. 11 Betriebe kreuzten sogar Noten zwischen 1 und 1,5 an und 17 Betriebe Noten zwischen 2 und 2,5. Damit gaben mehr als 50 % der Befragten ein positives Nutzungsurteil ab. Auf der anderen Seite wurde nur in einem einzigen Fall die Note Fünf vergeben.

Doch was hat es bedeutet, wenn die Betriebe im Schnitt eine relativ gute Note gaben? Die veterinar-medizinischen Untersuchungen ergaben, dass dies nicht in allen Fällen bedeutete, dass damit eine intensive Nutzungspraxis vorlag und die Betriebe auf Basis eigener, positiver Erfahrungen zu einem positiven Nutzungsurteil gekommen waren.

In den Interviews der zweiten Runde hatten sich drei deutlich voneinander zu unterscheidende „Nutzungsgeschichten“ herauskristallisiert, die als Nutzungstypen gefasst worden sind. Die erste Nutzungsgeschichte stand im deutlichen Widerspruch zu den durchschnittlichen, guten Nutzungsnoten, die oben genannt worden sind. Bei der zweiten Nutzungsgeschichte ergaben sich Fragezeichen zwischen guten Nutzungsnoten und den von den Befragten beschriebenen Nutzungserfahrungen. Beide Seiten passten nicht vollständig zusammen. Nur die dritte Geschichte war mit den oben zitierten Nutzungsnoten voll kompatibel.

Die Nutzungsgeschichten ergaben sich durch die Auswertung mehrerer Fragen. Die Antworten wurden für die Typisierung interpretierend zusammengefasst. Neben der vorgestellten Benotungsfrage zur Nützlichkeit von Tiergesundheitsplänen gingen vor allem Angaben zum Nutzungsbeginn, zum Start der Arbeit mit Tiergesundheitsplänen, zum Umfang der Umsetzung und zu zusätzlichen Arbeitsbelastungen durch Umsetzung der Pläne in die Bewertung ein. Vor diesem Hintergrund ergab sich folgendes Bild.

- Von den 54 Betrieben präsentierte 11 Betriebe eine Geschichte dezidierter Nicht-Nutzung oder berichteten von einer nur sehr geringen und sporadischen Nutzung der Pläne. Die expliziten Nicht-Nutzer und die Gering-Nutzer wurden zu einer Gruppe zusammengefasst. Die Nicht-Nutzer hatten den Tiergesundheitsplan in die Schublade getan, und dort lag er noch als die zweite Interviewrunde durchgeführt wurde. Die Gering-Nutzer gaben an, dass sie sich nur mit ganz wenigen Maßnahmen beschäftigt hatten und dass sie diskontinuierlich gearbeitet hatten. Zur Einordnung in diese Gruppe war jedoch nicht nur die Zahl der umgesetzten Maßnahmen

entscheidend, sondern die von den Befragten dezidiert formulierte Randständigkeit des Tiergesundheitsplans im betrieblichen Geschehen. Allein sieben Betriebe dieser Gruppe fallen in den Legehennenbereich. In diesen Fällen war der Tiergesundheitsplan im betrieblichen Alltag nicht präsent. Die Ablenkung vom Tiergesundheitsplan durch andere Aufgaben oder Probleme war in allen Fällen der Hauptgrund für die sehr geringe Nutzungsintensität.

- Knapp 50 % der Betriebe stellten hingegen eine Nutzungsgeschichte vor, die auf eine Teilnutzung des Plans und eine tatsächliche, wenn auch begrenzte Integration der Arbeit mit dem Plan in die tägliche Betriebsorganisation hinauslief. Ferkelerzeuger und Milchviehbetriebe waren in dieser Gruppe eindeutig stärker vertreten als die Legehennenbetriebe. In allen genannten Fällen hatte der Plan im betrieblichen Alltag jedoch noch nicht intensiv Fuß gefasst. Es wurde mit dem Plan gearbeitet. Dennoch war der Plan (noch) nicht zu einem wichtigen Instrument für den Betrieb geworden. Die langfristige und kontinuierliche Nutzung der Pläne schien in einigen Fällen sogar gefährdet, z. B. wenn dem Betriebsleiter die Arbeit über den Kopf wuchs oder andere Probleme im Betrieb wichtiger geworden waren und zusätzlichen Handlungsdruck produziert hatten. Damit war aber auch klar, dass die Nutzung des Plans in der Zukunft nicht zwangsläufig intensiver werden würde. Eine Dynamik in Richtung auf zunehmende Nutzung war nicht erkennbar, obwohl die zeitlichen Belastungen der Nutzung des Plans nach Auskunft der Befragten gering waren. Dies und der Verweis auf die eigene Bequemlichkeit oder den Kopf, der für den Plan nicht „frei war“, sprachen für eine Interpretation, welche Einstellungsgrenzen in den Vordergrund stellen musste. Dabei gab es Beweggründe, die immer wieder auftauchten. In den meisten Fällen spielte der tägliche Arbeitsdruck eine zentrale Rolle. Ebenfalls häufig genannt wurden Belastungen durch neue Aufgaben (Hofladenbau oder andere Baumaßnahmen tauchten mehrfach auf). In einigen Fällen wurde darauf verwiesen, dass die Betreuung durch das Projektteam intensiver hätte sein müssen, dass es also regelmäßiger Anstöße bedurft hätte.
- Völlig anders sah es hingegen bei jenem guten Drittel der Betriebe aus, die den Plan fest in das Betriebsgeschehen eingebaut hatten und wo er zu einem wichtigen Element des betrieblichen Managements geworden war. Sie wurden in der Auswertung als Intensivnutzer gefasst. Dabei zeigte sich auch hier, dass die berufliche Einstellung die entscheidende Größe war. Mit wenigen Ausnahmen waren es Milchbetriebe und Ferkelerzeuger, die hier eingeordnet wurden. In diesen

Fällen wurde regelmäßig und mit Intensität mit dem Plan gearbeitet. Dabei ging es nicht um eine volle Nutzung vom ersten Tag an. Es gab auch Betriebe, die über einen zögerlichen Einstieg berichteten, mit der Zeit mit der Nutzung des Plans aber Ernst machten. Darunter gab es auch Beispiele bewusst selektiver Nutzung. Der Betriebsleiter hatte sich dafür entschieden, zunächst das aus seiner Sicht wichtigste Problem anzugehen und sich erst später mit anderen Defiziten zu beschäftigen. Wesentlich für die Einstufung war, dass in den Nutzungsbeschreibungen der Intensivnutzer eine Einstellung zum Umgang mit den Tiergesundheitsplänen deutlich wurde, die sich insgesamt gesehen als rational, professionell und zukunftsorientiert beschreiben lässt.

3.6 Wie gut passen die Pläne in den Betrieb?

Geht man zu der Frage über, wie gut die Tiergesundheitspläne in den Betrieb passen, dann zeigt sich, dass sich ein Teil der Nutzungsbedürfnisse aus der ersten Interviewrunde wiederholten, wobei die Furcht vor zuviel Kontrolle und Bürokratisierung zwar abgenommen hatte, aber nicht völlig verschwunden war.

Festzuhalten ist zunächst, dass rund 90 % der Befragten mit der Einführung der Tiergesundheitspläne durch die Fachteams der Projekte zufrieden waren. In einigen Gesprächen wurde hier sogar hohes Lob geäußert. Wenn überhaupt Kritik formuliert wurde, dann zielte sie auf kommunikative Pannen ab, die nicht verallgemeinerbar waren oder nahm sich des Themas Intensivierung der Kommunikation und Verstärkung der Beratungskontakte an.

Anders verhielt es sich mit der Furcht vor zu viel Bürokratie und Kontrolle. In der ersten Interviewrunde war dies ein starkes Merkmal der Einstellung gegenüber Tiergesundheitsplänen gewesen, das sich durch viele Gespräche hindurchgezogen hatte. Es stand zu befürchten, dass sich diese Einstellung auch weiterhin als handfestes Nutzungs- hemmnis erweisen würden.

Doch mit den praktischen Erfahrungen im Rücken, die sie mit den Plänen gemacht hatten, sahen die Befragten diese Thematik sehr viel entspannter. Dass dies weiterhin ein großes Problem sei, gaben noch acht Betriebe an. Für 30 Betriebe bestand das Problem jedoch nicht mehr. Weitere sieben Betriebe hielten die Bürokratie- und Kontrollfurcht nun für deutlich übertrieben, während der Rest der Betriebe das Thema nur noch unter der Rubik „kleines“ Problem verbuchte.

Interessant war in diesem Kontext auch, dass die Furcht vor Bürokratie zumeist in pauschaler Form geäußert wurde und sich nicht auf konkrete, negative Erfahrungen bezog. „Ja das ist immer ein Problem“, sagt z. B. S 07 und ergänzte: „Die Sorge ist immer da“. Doch gerade S 07 gehörte zu den Betrieben, die sehr intensiv den Plan genutzt hatten

und Erfolge zu verzeichnen hatten. Es handelte sich hier mithin nicht um konkret fundierte Ängste, sondern um ideologisch begründete Ängste, wie sie in der Landwirtschaft eine lange Tradition haben.

Ebenfalls anders als in der ersten Interviewrunde wurde von den Verfechtern der Position, dass das Problem zu intensiver Kontrollen bei Tiergesundheitsplänen nicht besteht, diese Meinung in der zweiten Runde sogar sehr offensiv vertreten. Darüber hinaus wurde postuliert, dass ein bestimmtes Maß an Kontrollen für die professionelle Ausübung des eigenen Berufs sogar selbstverständlich sein sollte. Die Erfahrungen mit den Tiergesundheitsplänen hatten in diesen Fällen sogar dazu geführt, Kontrolle und Professionalität stärker zusammen zu denken.

3.7 Der Bedarf an „Coaching“

Die Nutzungserfahrungen in einigen Gesprächen wiesen eine besondere Note auf. In einigen Fällen fanden sich in den Interviews sehr positive Urteile über die Arbeit der veterinär-medizinischen Projektgruppen¹. Am ausgeprägtesten war dies bei den Milchviehbetrieben der Fall. Das Besondere an dem „dicken Lob“ war die Begründung. Die Befragten präsentierten eine Argumentationsfigur, die sich auf die Tugend und die Notwendigkeit des „Coachens“ durch einen Betreuer bezog. Wenn die Projektteams in den Interviews explizit gelobt wurden, dann mit dem expliziten Verweis darauf, dass sie über die Kommunikation fachlicher Ratschläge hinaus generell als „Motivatoren“ agiert hatten. Sie wurden gelobt, weil die Betreuer die Betriebe über die Vermittlung des Sinns von Tiergesundheitsplänen und über die Begleitung des Umgangs mit den Plänen die Betriebe hinaus auch angetrieben, angefeuert, und ermutigt - also gecoacht hatten. In einigen Fällen war dies so intensiv passiert, dass man von einem informell strukturierten Betreuungsverhältnis sprechen konnte. Umgekehrt tauchten in den wenigen Kritiken zum Einsatz der Pläne auch Schilderungen auf, die auf einen Mangel an „Coaching“ abstellen. Dies bezog sich vor allem auf die Frage, wie häufig das Projektteam und der Betriebsleiter miteinander in Kontakt getreten waren².

Dabei bezog sich das eingeforderte „Nachfassen“ deziert nicht nur auf die intensivere Kommunikation der fachlichen Ratschläge. Auch die bereits erwähnte Rückkopplung positiver Erfahrungen aus anderen Betrieben

würde zu kurz greifen, um diese Ansprüche zu charakterisieren, denn in einigen Gesprächen wurde mehr über ein Motivationssystem gesprochen. Es ging beim Thema „Coaching“ deziert um die Ausweitung der Betreuungsinhalte in Richtung einer moralischen Unterstützung der Betriebe.

Insgesamt gesehen ergab sich der Eindruck, dass das Thema „Coaching“ für viele Betriebe ein wichtiger und konzeptionell bisher vernachlässigter Punkt war. In diese Richtung wurde auch ein Ergänzungsbedarf von Betrieben formuliert, die sich als regelmäßige und intensive Nutzer darstellten. Dennoch stellt sich diese Frage natürlich in erster Linie für die Teilnutzer, nicht nur weil sie den größten Block bilden, sondern vor allem, weil mit Blick auf diese Betriebe dringend geprüft werden muss, was getan werden kann, um aus ihrer prinzipiellen Bereitschaft der Arbeit mit den Plänen ein aktives Engagement werden zu lassen.

4 Schlussfolgerungen

Wie lassen sich die vorgestellten Befunde insgesamt interpretieren? Der Einsatz von Tiergesundheitsplänen war ein Experiment. Das Experiment wurde unternommen und durch die vorgestellten Befragungen begleitet, um abzuklären, ob Tiergesundheitspläne in Bio-Betrieben auf einen fruchtbaren Boden fallen und ob sie den Landwirten bei der Lösung ihrer „Hausaufgaben“ in Sachen Tiergesundheit helfen. Darüber hinaus war zu klären, ob dieses Instrument eine Lösung für den Sektor sein kann. Die durchgeführten Untersuchungen vermitteln zu diesen Fragen ein komplexes, vielschichtiges und keineswegs widerspruchsfreies Bild.

Die Untersuchung deutet auf zwei grundlegende Probleme hin, die erst deutlich geworden sind, als die Ebene der Pläne und Konzepte verlassen wurde und es um die Umsetzung ging. Es zeigte sich, dass es für die Bewertung eines Managementinstruments nicht ausreicht, sich auf die immanente Rationalität eines Instruments zu beziehen. Das erste Problem lag auf der Ebene der Betriebe. Hier sind die Bio-Landwirte als Akteure gefordert, aber auch Unterstützungsinstanzen. Das zweite Problem lag auf der Ebene der beruflichen Einstellung.

Auf der Ebene der Betriebe ist die Tiergesundheitssituation ausweislich der Fachberichte dieses Projekts im Schnitt problematisch, in einigen Fällen sogar schlecht. Grund, sich hinter die Verbesserung der Tiergesundheit zu klemmen, gibt es also genug – auch bei den untersuchten Betrieben. Dennoch lässt eine gespaltene Haltung zum Einsatz der Pläne feststellen, die mit dem objektiven Problemdruck schwer in Einklang zu bringen ist und die vor dem Hintergrund der idealistischen Ansprüche eines großen Teils der Akteure an den Beruf noch schwerer verständlich ist. Nur ein Teil der Betriebe hat die Gelegenheit

¹ Die Projektgruppen bestanden hier aus dem Wissenschaftler sowie dem bestandsbetreuenden Tierarzt bzw. Berater. (Die Interviewer für den soziologischen Teil haben davon unabhängig gearbeitet und wurden damit für die Tierhalter nicht als Teil der Projektgruppe verstanden).

² Die unterschiedliche Betreuungstiefe war zwischen den Tierarten aber nicht in einer Tierart vorhanden. Dieses lag an den unterschiedlichen vorgegebenen Projektstrukturen und -bedingungen.

beim Schopf ergriffen, mit Hilfe eines Programms, das von außen initiiert, organisiert und nicht zuletzt finanziert wurde, die Tiergesundheit im eigenen Betrieb systematisch zu verbessern. Klammert man die wenigen Fälle aus, wo die Gesprächspartner gesagt hatten, dass sie in punkto Wissen und in punkto Handlungsvorschläge „besser sind“ als die Tiergesundheitspläne und sie diese Pläne deshalb nicht brauchen, dann ist leicht erkennbar, dass die beschriebene Distanz zum Einsatz der Pläne bei deutlich über 50 % der Befragten an der Einstellung der Akteure liegt. Es ist eine Mischung aus Ignoranz, Trott, Bequemlichkeit und vermeintlich alles andere in den Hintergrund schiebender Alltagsbelastungen, die bei der Mehrzahl der Betriebe dazu geführt hat, dass sich für sehr viele Betriebe keine stabile Nutzungspraxis ergeben hat. Dies bildet nicht nur einen scharfen Kontrast zu den Problemen, die mit der Tiergesundheit vorhanden sind. Es steht auch im Widerspruch zur Akzeptanz der Idee durch die Mehrzahl der Akteure.

Die Befunde weisen darauf hin, dass dies eine Frage der beruflichen Einstellung ist, und deshalb ist die Diskussion über die Tauglichkeit dieses Instruments nicht ohne eine Diskussion über die Möglichkeit von Einstellungsveränderungen zu führen. Am deutlichsten zeigt sich dies an drei Punkten. Zum einen sind die Intensivnutzer, die eine starke Minderheit unter den Befragten stellen, der lebendige Beweis dafür, dass es anders geht. Es gibt keine Hinweise darauf, dass die Intensivnutzer nur in überdurchschnittlich gut strukturierten Betrieben, nur bei den am höchsten qualifizierten Bio-Bauern und bei Betrieben mit einer entspannteren Arbeitswirtschaft zu finden sind. Zum anderen sind die von den Teilmutzern und Wenig-Nutzern vorgetragenen Gründe schon in der Selbstdarstellung der Akteure mit Argumenten und Einwänden gesättigt, die unmittelbar einstellungsbedingt sind bzw. die nur vor dem Hintergrund von Einstellungen zu einer so hohen Klippe für den Einsatz von Tiergesundheitsplänen werden konnten.

Schließlich zeigt der angemeldete Coaching-Bedarf ganz direkt, dass viele Akteure die Probleme des Umgangs mit Tiergesundheitsplänen durchaus bei sich selber sehen und in dieser Hinsicht Hilfestellungen erwarten.

Eine differenzierte und differenzierende Bewertung der Ergebnisse lässt sich deshalb daraufhin zuspitzen, dass es kein pauschales Urteil über die Nützlichkeit von Tiergesundheitsplänen geben kann, sondern dass das Urteil unterscheiden muss:

- Zwischen Konstellationen wo Tiergesundheitspläne auf die Professionalität der Akteure bauen können und man für einen breiteren Einsatz dieses Instruments offensiv werben kann.
- Zwischen Konstellationen, wo der Einsatz des Instruments nur Sinn macht, wenn ein Konzept für die Lö-

sung der angesprochenen Coaching-Probleme gefunden wird.

- Und dass schließlich bei einer kleinen Minderheit Beratungsresistenz vorliegt³.

Wenn der Faktor der beruflichen Professionalität jedoch eine derart zentrale Rolle spielt, dann ist es unerlässlich, dass man sich künftig bei der Entwicklung und dem Einsatz von Instrumenten wie es Tiergesundheitspläne sind mit der ganzen Breite der möglichen Fragen und Themenstellungen, die als Bedingungen von Professionalisierungsprozessen gelten können, befassen muss (von A wie Ausbildungsgängen bis Z wie Zertifikate).

Eine zentrale Schlussfolgerung aus den Erfahrungen der Untersuchungen geht deshalb in die Richtung Veränderungskonzepte, die sich allgemein auf das Handling von Produktionskonzepten und Produktionsprozessen beziehen, stärker auf Anforderungen hin zu analysieren, die sich auf Berufseinstellungen und berufliche Verhaltensmöglichkeiten beziehen. Disziplinär gesprochen: berufssoziologische Fragen werden wichtiger, wenn Leistungsstandards verbessert werden sollen oder müssen, wobei die durchgeführte Untersuchung auch deutlich gemacht hat, dass auch Fragen der Psychologie stärker berücksichtigt werden müssen (Motivationstraining).

Dies zielt vor allem in Richtung auf die Möglichkeiten einer stärkeren Verbindung von Beratung und Betreuung im üblichen Sinne eines abgegrenzten Dienstleistungsge schäfts und Coaching im Sinne einer personengebundenen Dienstleistung, die ein größeres Maß an Intimität und persönlicher Verbundenheit erfordert und wo Fingerspitzengefühl eingefordert ist.

Das Problem auf der Ebene der Berufspolitik bezieht sich auf die Erfahrung, dass es noch kaum öffentliche Kommunikation über das Thema Tiergesundheitspläne gibt und sich auch die Berufsoffentlichkeit mit dieser Thematik wenig befasst hat. Die Befragungen haben gezeigt, dass die Landwirte dieses „heiße Eisen“ von selber nicht anpacken wollen, zumal für ein Gutteil der Akteure damit erheblichen Risiken verbunden sind. Auf der anderen Seite steht nicht zu erwarten, dass das Instrument der Tiergesundheitspläne sich ohne Mobilisierung einer breiteren beruflichen Öffentlichkeit in der Branche etablieren kann. Auch öffentlicher Druck ist mit Blick auf die Zögerlichkeit der Akteure sicher hilfreich. Doch dafür sind die Voraussetzungen nach den Erfahrungen des Projekts noch nicht gegeben.

³ Damit sind natürlich nicht die Betriebe angesprochen, die laut eigener Aussage sich nicht mit den Tiergesundheitsplänen befasst haben, weil sie glauben in ihrer betrieblichen Praxis schon weiter zu sein als die Pläne.

Schließlich darf nicht übersehen werden, dass Tiergesundheitspläne im Normalfall eine Beratungs- und Betreuungsleistung sein müssen, die sich der einzelne Landwirt am Markt einkauft. Doch dafür sind weder der Markt noch potentielle Anbieter gerüstet. Alle Fragen der Normierung und Finanzierung solcher Produkte sind noch völlig ungeklärt. Ohne eine vorgesetzte, zumindest berufsöffentliche Debatte ist ein solcher Klärungsprozess jedoch kaum möglich.

Literatur

- Berg C (2001) Health and welfare in organic poultry production. *Acta Vet Scand* 95:37-45
- Bergfeld U (2004) Evaluierung alternativer Haltungsformen für Legehennen : Abschlussbericht zum Gemeinschaftsprojekt der Landesanstalten für Landwirtschaft der Freistaaten Bayern, Sachsen und Thüringen. Freising : LfL, 209 p, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 2004/8
- Brinkmann J, Winckler C (2005) Status Quo der Tiergesundheit in der ökologischen Milchviehhaltung : Mastitis, Lahmheiten, Stoffwechselstörungen. In: Heß J, Rahmann G (eds) Ende der Nische : Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 1.-4. März 2005. pp 343-346
- Dietze K, Werner, C, Sundrum, A (2008) Umsetzung eines Tiergesundheitsplanes unter Berücksichtigung sozio-ökonomischer Gesichtspunkte auf ökologisch wirtschaftenden Ferkelerzeugerbetrieben [Implementation of animal health plans in organic sow herds]. Bericht des BÖL-Projektes 05OE019, Fachgebiet Tierernährung und Tiergesundheit, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Univ Kassel. Zu finden in <<http://orgprints.org>> publikation Nr. 13591
- Fiks-van Niekerk TGCM, Reuvekamp BFJ, Landman WJM (2002) Monitoring onderzoek op biologische bedrijven : vaker besmet dan batterijbedrijven. *Pluimveehouderij* 33(2):10-11
- Hoerster N (2004) Haben Tiere eine Würde? : Grundfragen der Tierethik. München : Beck, 107 p
- Hörning B, Trei G, Simantke C (2004) Ökologische Geflügelproduktion : Struktur, Entwicklung, Probleme, politischer Handlungsbedarf ; Abschlussbericht des Projektes 02 OE 343. Kassel : Univ, 203 p
- Holle R, Müller-Arnke I, Rahmann G, Oppermann R, Schumacher U (2008) Tiergesundheitspläne in der Ökologischen Legehennenhaltung. res. Landbauforsch vTI agric forestry Vol. 58(4)
- Hovi M, Sundrum A, Thamsborg SM (2003) Animal health and welfare in organic livestock production in Europe : current state and future challenges. *Livest Prod Sci* 80:41-53
- March S, Brinkmann J, Winckler C (2006) Dairy health in German organic farming - an invention study on lameness and the implementation of herd health plans. Zu finden in <<http://orgprints.org>> publikation Nr. 7539
- March S, Brinkmann J, Winckler C, Goeritz M, Oppermann R, Rahmann G (2007) Tiergesundheitspläne und Tiergesundheitsindikatoren aus Sicht ökologisch wirtschaftender MilchviehhalterInnen : erste Ergebnisse einer Pilotstudie in Deutschland. In: Zikeli S, Claupein W, Dabbert S (eds) Zwischen Tradition und Globalisierung : Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau ; Universität Hohenheim, 20.-23. März 2007 ; Bd. 2. Berlin : Köster, pp 597-600
- Nida-Rümelin J, von der Pfordten D (2005) Tierethik II: Zu den ethischen Grundlagen des deutschen Tierschutzgesetzes. In: Nida-Rümelin J (ed) Angewandte Ethik : die Bereichsethiken und ihre theoretische Fundierung, Stuttgart : Kröner, pp 540-567
- Plate P (2006) Mit Tiergesundheitsplänen vorbeugen. *Bioland* 01/2006: 16-17
- Rahmann G, Nieberg H, Drengemann S, Fenneker A, March S, Zurek C (2004) Bundesweite Erhebung und Analyse der verbreiteten Produktionsverfahren, der realisierten Vermarktungswege und der wirtschaftlichen sowie sozialen Lage ökologisch wirtschaftender Betriebe und Aufbau eines bundesweiten Praxis-Forschungs-Netzes. Braunschweig: FAL, 428 p, Landbauforsch Völkenrode SH 276
- Rahmann G, Koopmann R, Oppermann R (2005) Kann der Ökolandbau auch in Zukunft auf die Nutztierhaltung bauen? : Wie sieht es in der Praxis aus und wie soll/muss sie sich entwickeln? In: Heß J, Rahmann G (eds) Ende der Nische : Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 1.-4. März 2005. pp 657-660
- Rahmann G, Oppermann R (2008) Ansätze zur Einbeziehung der Tiergesundheit und der subjektiven Seite des Handelns in die Bewertung auf Betriebsebene. *KTBL-Schrift* 462:102-114
- Sundrum A, Ebke M (2005) Qualitätssicherung und Verbraucherschutz bei ökologisch erzeugtem Schweinefleisch. Bundesprogramm Ökologischer Landbau – Abschlussbericht. Kassel : Univ

Investigation on the influence of nematophagous fungi as feed additive on nematode infection risk of sheep and goats on pasture

Christian Epe*, Christine Holst*, Regine Koopmann**, Thomas Schnieder*, Michael Larsen*** and Georg von Samson-Himmelstjerna*

Abstract

Gastrointestinal nematodes in small ruminants cause high economic losses. Thus on most farms anthelmintic treatment is required. In response to increasing problems with anthelmintic resistance, biological control, for example the use of nematophagous fungi, has received significant attention. The aim of this study was to investigate the effect of *Duddingtonia flagrans* orally applied to small ruminants on natural infection with gastrointestinal nematodes in a field study in Northern Germany.

20 goats and 20 sheep were fed daily for 3 months with 5×10^5 spores of *D. flagrans* per kg bodyweight. Differences in body weight, faecal egg count and larval development in faeces and on pasture in comparison with same-sized control groups were analysed. After 3 months the control goats showed significantly higher mean faecal egg count than the fungus-fed group. No significant difference was found between the two sheep groups. The maximum in larval reduction in faeces was 81.3 % in the sheep groups and 67.9 % in the goat groups (not significant). At the end of the study the body weight gain in the fungus-treated groups was 1.7 kg higher in goats and 0.7 kg higher in sheep than in the control groups (not significant). Regarding the first-year-grazing goats only, the bodyweights revealed significant differences ($p < 0.05$). No statistically significant differences were observed in pasture larval counts.

In the study presented here, no clear effect of fungus could be observed. A modified feeding regimen, perhaps with permanent release boluses or feed blocks, may improve the efficacy. Furthermore, it seems that climatic conditions during the study period could have influenced the results and displayed how sensitive the fungus application may be on such parameters.

Keywords: biological control, *Duddingtonia flagrans*, sheep, goat, gastrointestinal nematodes

Zusammenfassung

Gastrointestinale Nematoden bei kleinen Wiederkäuern verursachen hohe wirtschaftliche Verluste, sodass eine Entwurmung auf den meisten Betrieben notwendig wird. Die zunehmende Verbreitung von Anthelminthikaresistenz lässt eine biologische Bekämpfung, wie z. B. mit nematophagen Mikropilzen, interessant werden. Dieser Feldversuch an kleinen Wiederkäuern in Norddeutschland befass- te sich mit dem Einfluss der Zufütterung von *Duddingtonia flagrans* Sporen auf Infektionen mit Magen-Darm-Nema- toden.

20 Ziegen und 20 Schafe wurden 3 Monate lang täg- lich mit 5×10^5 Sporen von *D. flagrans* pro kg Körperge- wicht zugefüttert. Die Unterschiede zu den gleichgroßen Kontrollgruppen bzgl. Körpergewicht, Eizahl pro Gramm Kot und Larven in Kot- und Weidegrasproben wurden er- mittelt. Nach 3 Monaten hatten die Ziegen der Kontroll- gruppe signifikant höhere mittlere Eiausscheidungszahlen als die der Versuchsgruppe. Bei den Schafen gab es keine signifikanten Unterschiede. Maximal wurde die Larvenan- zahl um 81,3 % bei den Schafen und um 67,9 % bei den Ziegen reduziert (nicht signifikant). Zum Ende war der Kör- pergewichtszuwachs bei den Versuchsziegen 1,7 kg und bei den Versuchsschafen 0,7 kg höher als in den Kontroll- gruppen (nicht signifikant). Nur die Untergruppe der erst- sömmrigen Ziegen erreichte signifikante Körpergewichts- unterschilde ($p < 0,05$). Keine signifikanten Unterschiede ergaben sich bei den Weidegraslarven. Witterungsbedin- gungen könnten die Resultate beeinflusst haben und da- mit gezeigt haben, wie empfindlich diese Methode gegen solche Parameter zu sein scheint.

Die vorliegende Studie zeigte keinen eindeutigen Ef- fekt einer Zufütterung mit *D. flagrans*. Ein modifiziertes Fütterungsregime, z. B. mit Boli oder Lecksteinen, könnte die Wirksamkeit verbessern.

Schlüsselworte: biologische Kontrolle, *Duddingtonia fla- grans*, Schafe, Ziegen, gastrointestinale Nematoden, Ma- gen-Darm-Strongyliden

* Institute for Parasitology, Department of Infectious Diseases, University of Veterinary Medicine Hannover, Buenteweg 17, D-30559 Hannover, Germany. Email: Christian.Epe@tiho-hannover.de

** Institute of Organic Farming of Johann Heinrich von Thünen-Institut, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries, Trenthorst 32, D-23847, Westerau, Germany

*** Sanos Bioscience A/S, Gleerupvej 2, DK-2610 Røedovre, Denmark

Introduction

Parasitism due to gastrointestinal (GI) nematodes is a major constraint to production of sheep and goats worldwide. The principal nematode species infecting both goats and sheep is *Haemonchus contortus*, a voracious blood-feeder that can cause reduced production at subclinical infection levels, and even death with severe infections (Rowe et al., 1988). The conventional method of gastrointestinal nematode control used by farmers is frequent administration of anthelmintics. Numerous cases of anthelmintic resistance have been documented in gastrointestinal nematodes of sheep and goats worldwide, in some areas already reaching alarming levels (Maingi et al., 1996; Borgsteede et al., 1997; Zajac and Gipson, 2000; Terrill et al., 2001; Mortensen et al., 2003; Schnyder et al., 2005). Alternative wormcontrol may be the challenge in the future.

Several species of microfungi are able to trap and kill the developing larval stages of parasitic nematodes in a faecal environment, but only one species, *Duddingtonia flagrans*, has been demonstrated to have a high degree of survival through the gastrointestinal tract (GIT) of ruminant animals (Larsen et al., 1992). After passing through the GIT, spores of this fungus germinate in faeces, forming specialized, three-dimensional networks that trap the parasite larvae (Larsen et al., 1997).

A good larval motility, sufficient humidity and temperature support good growth and trapping-efficacy in vitro and faecal pad studies on pasture proved the outdoor-efficiency (Larsen et al., 1994; Grønvold et al., 1999; Fernandez et al., 1999c; Fernandez et al., 1999d; Faedo et al., 2002; Paraud and Chartier, 2003; Waghorn et al., 2003).

Research on *D. flagrans* with cattle, (Grønvold et al., 1993; Fernández et al., 1999b; Sarkunas et al., 2000), horses (Larsen et al., 1996; Fernández et al., 1997; Baudena et al., 2000), pigs (Nansen et al., 1996), sheep (Githigia et al., 1997; Faedo et al., 1998; Peña et al., 2002; Chandrawathani et al., 2002) and goats (Chartier and Pors, 2003) has demonstrated the potential of this organism as a biological control agent against the free-living stages of parasitic nematodes in livestock, under both experimental and natural conditions. The number of recovered pasture larvae was reduced while spores were fed.

Paraud and Chartier (2003) showed that *D. flagrans* is able to significantly reduce the number of *Teladorsagia circumcincta*, but not *Muellerius capillaris* larvae, in faecal cultures of goats given 5×10^5 chlamydospores per kilogram body weight daily. All of this work has shown that biological control of parasitic nematodes in goats might be possible by daily dosing animals with spores of *D. flagrans*. However, the question of the optimal dosing level and dosing interval has not been adequately addressed so far.

Here, under a typical extensive pasture situation in North-

ern Germany, we investigated the efficacy of a 3-month feeding period with daily 5×10^5 spores of *D. flagrans* in sheep and goats.

Materials and Methods

Animals

Forty female goats of the breed „German Improved Fawn“, 14 second year grazing animals of 18 months age and 26 first year grazing animals of 6 months age, all naturally infected with GI nematodes, were used for the study. All animals were not kept on the study pasture before the study started and with turnout they were split into control and treatment groups equally (13 first and 7 second year grazers for each group, respectively).

In a second grouping forty female sheep of the breed „East Friesian Milksheep, var. black“ (n=37) and „Merino“ (n=3) were used. 26 second year grazing animals with approx. 18 months of age and 14 first-year grazing animals of 6 months of age, also naturally infected with GI nematodes, were distributed to the groups equally (13 second and 7 first year grazers for each group, respectively). These animals, too, were not kept on the study pasture before the study period started.

Experimental design

Between May and October in 2002, 40 goats and 40 sheep were kept on pastures of the Institute of Organic Farming in Trenthorst, Germany. For each species animals were allocated to control and treatment groups according to body weight (BW). The treatment group of each animal species received spores of *D. flagrans* at a dose rate of 5×10^5 spores/kg BW/day mixed with approximately 100 g of feed every morning from the day of turnout (May 07) for 3 months (until July 31). Chr. Hansen Ltd., Hørsholm, Denmark, provided the fungal spore product. The animals were observed to ensure that they consumed the fungus-feed mixture and then were given the remainder of their daily feed ration. The control group animals received placebo feeding only, in the same amount of feeding (100 g of oat-barley-grist per animal and day). In a 14-day interval the animals were weighted and coproscopically examined for the presence of helminth stages. Gastrointestinal larval pasture contamination was monitored by testing 2 grass samples per pasture in 2 week intervals. Four blood samples were collected from all animals for Packed Cell Volume (PCV) and pepsinogen examination. In the middle and at the end of the grazing season 2 tracer animals per pasture were implemented and after 3 weeks of grazing and another 3 weeks of in-house feeding necropsied for identification and differentiation of helminths. The trial ended

after 5 month grazing season end of October 2002.

Experimental procedures

Faecal egg counts (FEC) were performed on all animals using a modified McMaster technique with a sensitivity of 33 eggs per gram (Schmidt, 1971). Faeces were collected from each animal every 14 days throughout the pasture season to determine the number of eggs per gram (epg) and to establish faecal cultures for larval recoveries.

Faecal cultures were performed qualitatively according to the method of Roberts and O'Sullivan (1950) with pooled samples of 3-5 animals. Larvae were identified microscopically according to the key of Buerger and Stoye (1968) after reisolation with the Baermann technique (Wetzel, 1930) and adding lugol solution. Additionally, a quantitative culture was performed of individual animal samples according to Henriksen and Korsholm (1983) with 4 g of faeces. Infective third stage larvae (L3) were recovered by the Baermann technique and then counted and identified to the genus level. Numbers of larvae were expressed as L3 per gram (LPG) of cultured faeces. For each sampling date the reduction of larvae in samples of fungus-fed compared with control animals samples were calculated according to the formula used by Fernandez et al. (1999a) and Peña et al. (2002).

Clinical examinations were done at each visit and sampling date. Only non physiological observations have been documented.

On four selected dates (at turnout, and on days 56, 112 and 168 after turnout) blood samples were taken for the examination of serum pepsinogen according to (Berghren et al., 1987) and PCV using the micro method.

Grass samples were collected and examined according to the method of Sievers Prekehr (1973) and recorded as number of larvae per 100 g dry matter of grass as pasture mean, indicating the contamination of the pasture with L3 stages of GI nematodes.

Two previously worm-free (6-9 months) tracer lambs were allocated to each group at mid and towards end of the grazing season. These animals were of the same breed as the experimental sheep (milk sheep) and goats (German Improved Fawn). After a 3 week grazing period the tracer lambs were housed for 3 weeks prior to slaughter to allow the development of adult stages prior to necropsy. A total of 16 tracer animals were used during the course of this study. Parasite identification was performed according to the keys of Barth and Visser (1991).

Lungs were examined for adult lungworm stages using the perfusion method of Inderbitzin (1976).

Statistical analyses

Data were analysed using t-Test and Mann Whitney Rank Sum Test (SigmaStat 2.0 and SigmaPlot, Jandel Scientific).

Results

Body weight

At turnout the differences of mean body weight between the fungus-fed group and the control group was 0.1 kg in sheep and zero in goats. The development of body weight is presented in Table 1. At no time statistically significant differences between groups ($p>0.05$) were observed. However, for the subpopulation of first-year grazing goats, which followed the global development of the complete group as described above, single time points with statistically significant differences ($p<0.05$) in body weight could be observed, whereas the first-year grazing sheep did not show significant differences (Figure 1a and 1b).

Table1:
Body weight development

Group n = 20	Day of study			
	0	56	112	182
Control Sheep				
Mean (kg)	37.3	43.8	48.0	55.7
SD (kg)	12.8	11.7	11.7	11.6
Treatment Sheep				
Mean (kg)	37.4	43.8	47.2	56.4
SD (kg)	13.3	13.0	11.7	11.5
Control Goats				
Mean (kg)	26.0	29.4	29.9	37.9
SD (kg)	10.7	10.4	11.1	10.4
Treatment Goats				
Mean (kg)	25.9	29.4	31.8	39.6
SD (kg)	11.2	10.8	9.7	9.2

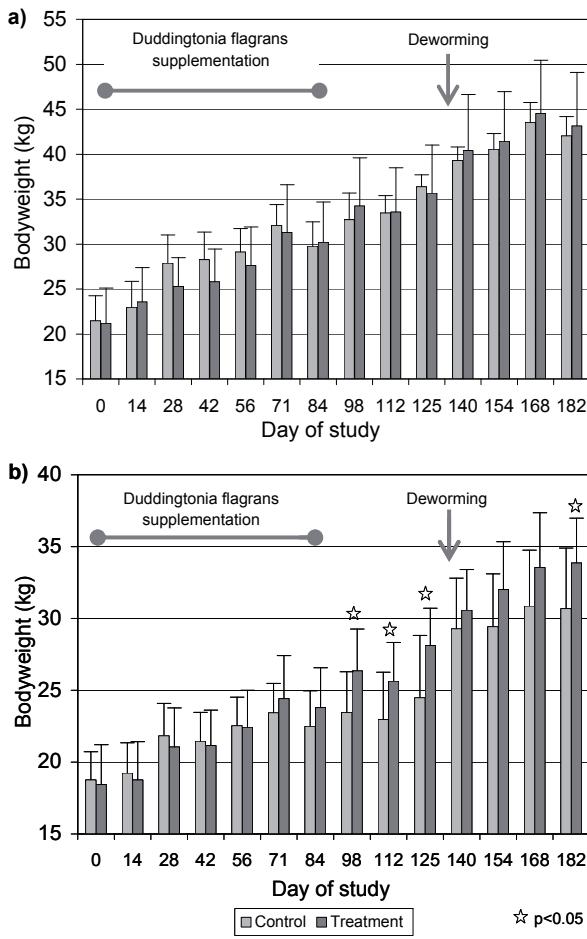


Figure 1:

Mean body weights of the subpopulation of first-year grazing sheep (1a) ($n=7$) and goats (1b) ($n=13$). Asterisks indicate statistically significant differences (t-test, $p<0.05$) between control and fungus-fed group. Error bars represent Standard Deviation.

Clinical examinations

Clinical symptoms as diarrhoea or pharyngeal oedema were observed mainly in the control group animals: 10 control goats vs. 3 fungus-fed goats and 6 control sheep vs. 4 fungus-fed sheep. Due to the course of clinical disease all animals had to be treated anthelmintically in September on study day 134.

GI Nematodes Egg Counts

Figure 2 shows the course of mean GI nematode egg counts throughout the pasture season for sheep (Figure 2a) and goats (Figure 2b). With the first increase of egg counts in sheep for the fungus-fed group and for the control group at day 28 after turnout the sheep groups did not show statistically significant differences between the epg courses throughout the study. The goat groups showed a similar pattern. After the end of the fungus feeding period

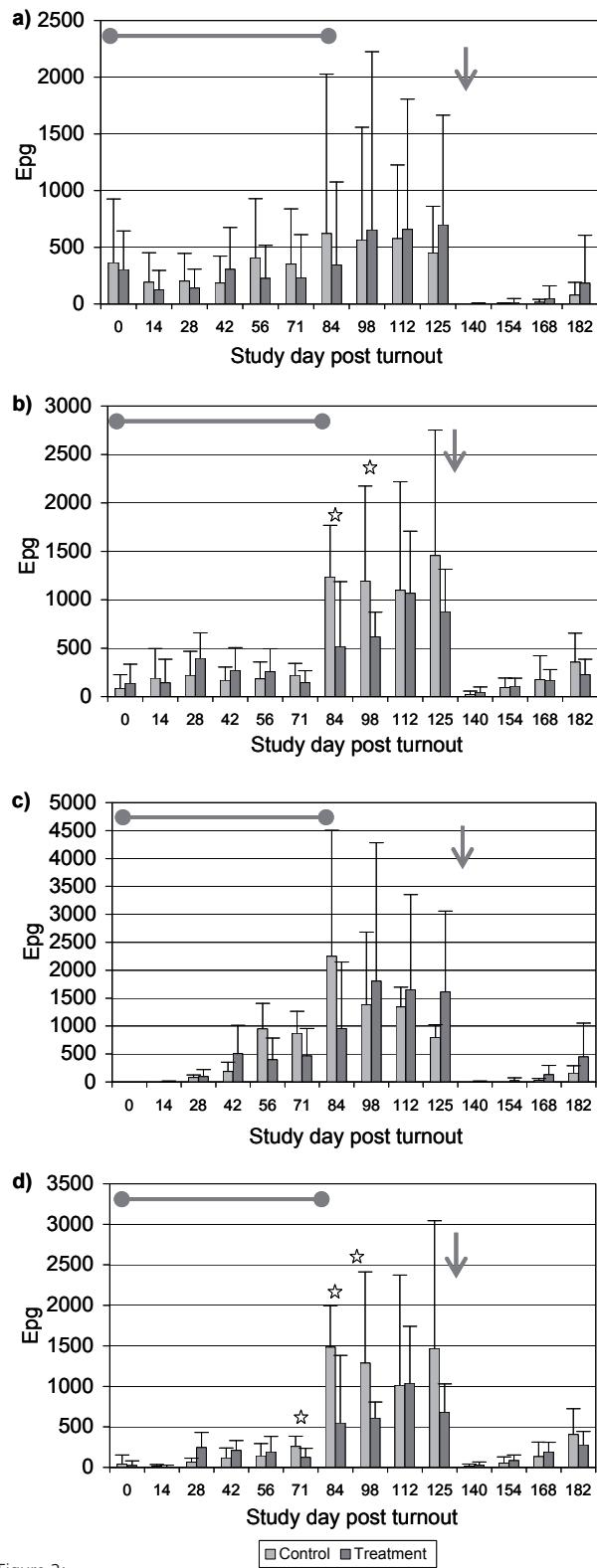


Figure 2:

Mean gastrointestinal nematode egg counts/g faeces of sheep (2a) and goats (2b) and first year grazing sheep (2c) and goats (2d), respectively. Anthelmintic treatment (arrow) was performed on study day 134 due to clinical diseases. The *Duddingtonia flagrans* feeding period is marked by a horizontal bar. Asterisks indicate statistically significant differences (Mann-Whitney, $p<0.05$)

the epg values peaked for both groups. Statistically significant differences could only be observed between the goat groups for two examination dates ($p<0.05$) on day 84 and 98 after turnout, respectively (Figure 2b) and for 3 sampling dates in the first-year grazer goat group (Figure 2d). Even in the treatment groups, the seasonal raise of FEC could not be prevented. A curative anthelmintic treatment became necessary in September after 134 days on pasture (arrow) due to severe clinical symptoms and to avoid further damage to the flock. Accordingly, a subsequent decrease was observed in all groups with again an increased shedding of eggs in the last weeks on pasture.

No lungworm stages were detected throughout the whole study period.

Faecal cultures - quantitative

The quantitative larval cultures were performed 42 and 71 days after turnout and then bi-weekly until the end of the study (Figure 3).

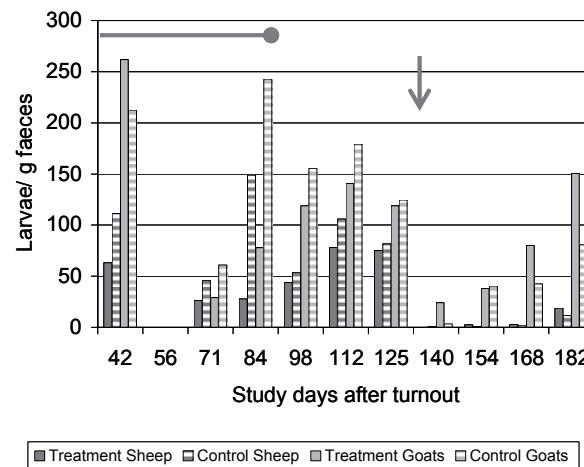


Figure 3:
 Mean larval counts in g/faeces of all groups. The *Duddingtonia flagrans* feeding period is marked by a horizontal bar

On day 42 the sheep control group mean larval counts were $110 (\pm 50)$ compared with $63 (\pm 17)$ for the fungus-fed group. Six weeks later the difference between these groups increased with $149 (\pm 193)$ and $28 (\pm 4)$ mean larval counts in the control and fungus-fed group, respectively, leading to a 81.4 % reduction in the latter group. In the course of the study the mean values of both groups converged. In the fungus-fed goat group the larval cultures showed a 23.6 % higher larval count at the first sampling date compared with the control group. However, at the end of the feeding period (study day 84) a reduction of 67.9 % (243 L3 (± 138) vs. $78 (\pm 34)$ /g faeces) compared with the control group was observed.

This difference decreased during the following sampling dates. All differences in larval counts were not statistically significant.

Faecal cultures - qualitative

All groups showed the presence of the following GI nematode genera: *Strongyloides*, *Haemonchus*, *Ostertagia*, *Trichostrongylus*, *Cooperia* and *Oesophagostomum* in sheep (Figure 4a) and goats (Figure 4b). A maximum of 10 % of the larvae could not be identified.

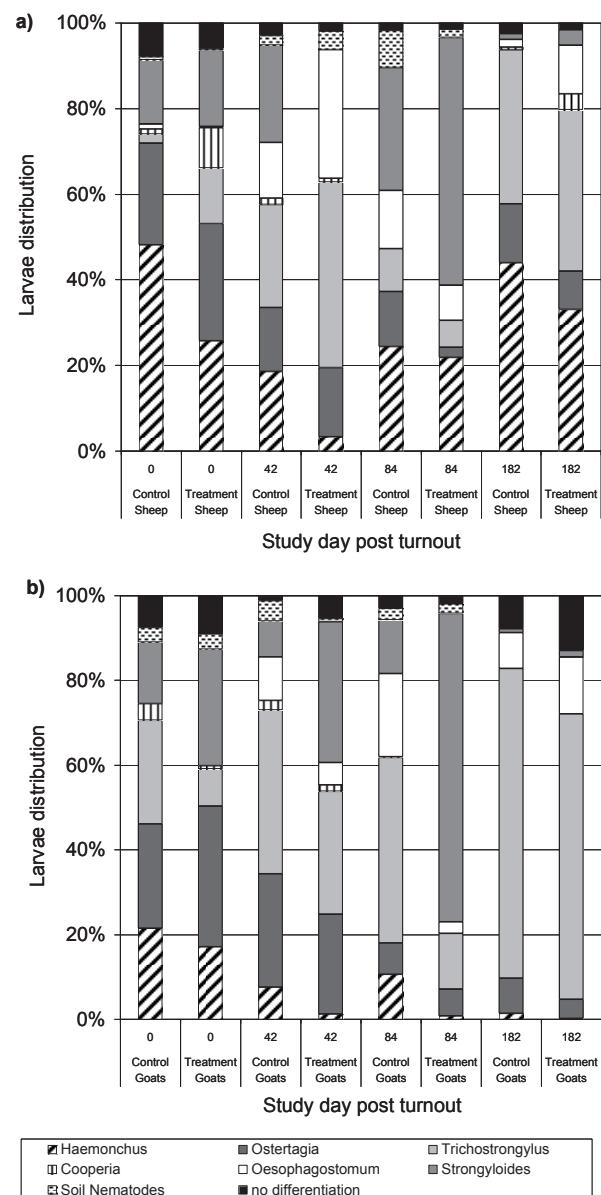


Figure 4:
 Relative nematode species composition found in faecal larval cultures. Results in sheep (4a) and goats (4b)

The sheep groups showed a decreasing percentage of *Haemonchus* spp. during the grazing season (47.5 % to 18.5 %) as well as for *Ostertagia* and *Trichostrongylus* in the control group. No statistically significant differences between control and treated groups were observed. The goat groups showed *Haemonchus*, *Trichostrongylus* and *Ostertagia* as dominating genus in the control group at turnout and additionally *Strongyloides* in the treated group. Towards the end of study the dominating genera were in both groups *Trichostrongylus*, *Oesophagostomum* and *Ostertagia* but with no statistically significant differences.

Grass samples

The sheep groups showed insignificant differences of nematode larval numbers in dry mass of grass (DM). On day 98 after turnout on average 9 infective larvae more were found in pasture-grass samples from the control group. But later on day 154 after turnout the treated group had 370 L₃/100g DM and control group only 135 L₃/100g DM. The goat groups showed similar larval counts per DM with an increasing difference between the groups with higher counts in the control group from day 70 on pasture onwards up to day 154 (77 Larvae in the treated group and 243 Larvae in the control group). But no statistical significances were detected throughout the study (Figure 5).

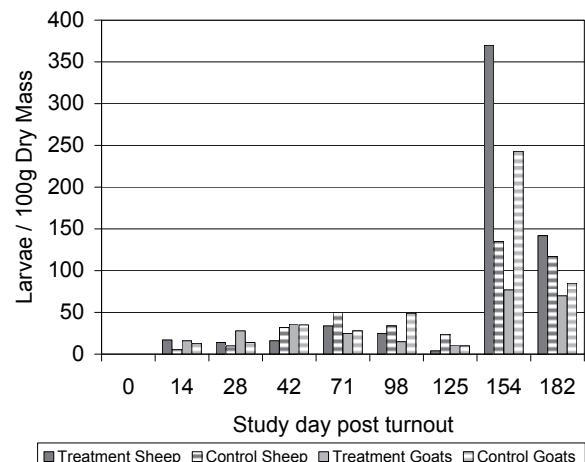


Figure 5:
Quantitative larval cultures from Grass Samples: Results in sheep and goats

PCV

Most PCV values remained in the physiological range of 28-40 % for sheep and goats during the course of the study, with no significant differences between the groups (data not shown).

Serum pepsinogen

Fungus-fed goats showed lower pepsinogen levels, sheep revealed no differences. Most results are not significant (data not shown).

Table 2:

Total worm burden and distribution of species in Tracer animals I. turnout at study day 86

Animal ID	Epg on day of nekropsy	Total worm burden	Percentage genus in %						
			<i>H. contortus</i>	<i>Tel. circum.</i>	<i>Tr. axei</i>	<i>Str. papill.</i>	<i>N. battus</i>	<i>Oes. venul.</i>	<i>Tr. ovis</i>
Treatment Sheep 01	2700	813	19.93	52.40	17.22	8.36	2.09	0.00	0.00
Treatment Sheep 02	3567	1083	4.89	23.92	9.79	60.39	1.02	0.00	0.00
Control Sheep 03	10933	1726	17.56	43.16	25.72	10.43	1.74	1.33	0.06
Control Sheep 04	13333	618	29.94	9.87	41.10	15.53	1.62	1.94	0.00
Treatment Goat 39	500	876	1.03	55.94	9.59	30.94	2.40	0.00	0.11
Treatment Goat 40	400	811	0.99	68.19	7.89	21.33	1.36	0.12	0.12
Control Goat 37	2533	870	4.14	49.66	27.59	12.99	3.22	2.41	0.00
Control Goat 38	1600	770	7.14	51.82	18.96	17.92	2.99	1.17	0.00

Tracer

Prior to turnout all tracers used were diagnosed as parasite-naïve according to faecal sample examination. The first set of tracers was turned out to pasture at day 86 at the end of the feeding period and after 3 week pasture period they turned in. The last examination showed clear differences between the sheep fungus-fed and the control faecal egg counts of 3133 and 12133 epg, respectively. Similarly, also in the samples of the goat tracer animals, kept on the fungus-fed group pasture, a mean of 450 epg was observed while the control tracers showed a mean epg of 2067. Table 2 shows the parasitological findings of the tracer pairs in the first set demonstrating the presence of the following species: *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta*, *Trichostrongylus axei*, *Nemato-dirus battus*, *Strongyloides papillosum*, *Oesophagostomum venulosum* and *Trichuris ovis*. The total mean worm burden of the tracer animals were 1172 and 948 in sheep, and 820 and 844 in goats, control and treatment groups, respectively (Table 2).

The second set of tracers was turned out to pasture on day 140, stayed on pasture for 3 weeks and was necropsied after a 3 week indoor period. These animals became positive 2-4 weeks after turnout confirming the uptake of nematodes. The expected differences of epg's between the tracers of the fungus-fed group and the control group of both species were not observed. The epg's, the necropsy results and the total worm burdens are shown in Table 3 revealing the following species: *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta*, *Trichostrongylus axei*, *Nemato-*

dirus battus, *Strongyloides papillosum* and *Oesophagostomum venulosum*.

Climatic Conditions

The nearest German Weather Service Station (Lübeck) provided the weather data for the trial site. Monthly mean rainfall is shown in Figure 6, compared to a 30 years-period mean (1961-1991). Particularly the rainfall in July and August (between days 70 and 112 after turnout) exceeded the long-term mean remarkably (Figure 6).

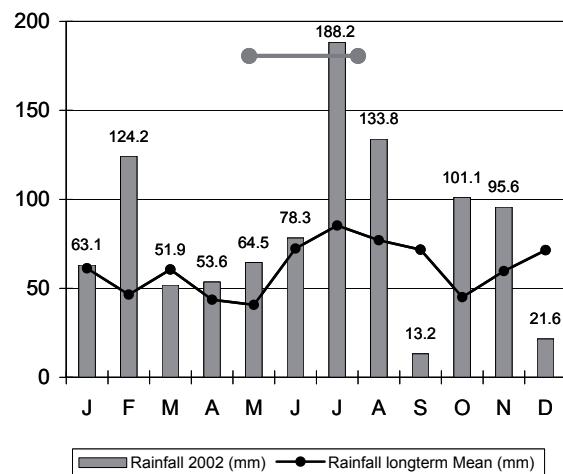


Figure 6:

Monthly Rainfall Documentation of the study pastures in 2002. Data from German Weather Service (DWD), Station Airport Lübeck-Blankensee, 13,5 km distance to the study location. The horizontal bar demonstrates the feeding period

Table 3:

Total worm burden and distribution of species in Tracer animals II. turnout at study day 140

Animal ID	Epg on day of necropsy	Total worm burden	Percentage genus in %					
			<i>H. contortus</i>	<i>Tel. circumcinc.</i>	<i>Tr. axei</i>	<i>Str. papill.</i>	<i>N. battus</i>	<i>Oes. venul.</i>
Treatment Sheep 05	3333	893	3.58	2.91	79.51	0.11	12.99	0.90
Treatment Sheep 21	1267	1788	0.17	1.06	86.07	1.90	10.79	0.00
Control Sheep 20	933	2013	0.05	0.00	94.59	1.14	4.22	0.00
Control Sheep 07	1700	3008	0.70	0.40	85.37	0.70	12.73	0.10
Treatment Goat 92	2333	2552	0.04	1.80	68.14	25.82	4.11	0.08
Treatment Goat 94	4900	3372	0.09	3.05	87.25	5.52	3.26	0.83
Control Goat 91	867	1613	0.06	4.84	77.31	11.22	6.45	0.12
Control Goat 93	1467	2509	0.04	3.43	66.96	23.48	5.06	1.04

Discussion

Helminth infection of small ruminants are of great importance worldwide, causing economical losses by direct and indirect effects such as reduced appetite, maldigestion and wool lesions (Hiepe and Zimmermann, 1966; Steel et al., 1982; McLeod, 1995). Therefore, an anthelmintic treatment with chemotherapeutics, often as strategic treatment, is necessary and justified. Reports of anthelmintic resistance in the last decades, particularly of trichostrongyle populations, against one or more classes of compounds are increasing in number (van Wyk et al., 1999; Bartley et al., 2004; Kaplan et al., 2004). In parallel, alternative control approaches have been developed, especially aiming at sustainable and ecological, so-called organic production systems to supplement the chemoprophylaxis (Larsen, 2000). Nematophagous fungi offer abilities to reduce pasture contamination and therefore the infection pressure of pasture animals. This study aimed to describe the effect of *D. flagrans* on helminth infection of small ruminants during a pasture season in an organic production system.

The fungus dose of 5×10^5 spores/kg BW/day used in this study was described to be effective using in vitro and in vivo trials in small ruminants (Faedo et al., 1998; Knox et al., 2001; Paraud and Chartier, 2003; Peña et al., 2002; Sanyal, 2001). However, no report was available on the titration of fungus concentration and duration of feeding prior to the present study. Due to the limited number of animals available on the research farm, the previously published dosage regime was applied here (Waghorn et al., 2003; Fontenot et al., 2003; Paraud et al., 2004; Paraud et al., 2005). Previously, in other studies, e.g. 1.000.000 spores/kg BW in a study with lambs for 3-5 months (Githigia et al., 1997) were used, or more recently with unsatisfying results 250,000 spores /kg BW (Chartier and Pors, 2003).

Generally, the course of GI nematode egg counts of sheep and goats observed in the present investigation reflects the expected epidemiological situation in Central Europe. Trichostrongyles were shown to be present on the pastures used for the study. Typically, first year grazers are infected by stages shed from older animals in previous season or in course of the same season (Gibbs, 1979; Armour, 1980). Towards the end of the fungus feeding the control group animals shed slightly more eggs than the fungus-fed group animals, but being statistically significant only between the two goat groups. Following the end of the feeding period both groups showed similar faecal egg counts. Clinical symptoms like diarrhoea or pharyngeal oedema were observed mainly in the control group animals. However, due to the course of clinical disease all animals had to be treated anthelmintically in September, which dimin-

ished the differences between epg courses of the respective groups even more, also resulting in a decrease of the mean epg values down to 400 in goats and 200 in sheep for both groups, respectively.

It is known that *D. flagrans* does not have any influence on egg output (Fernandez et al., 1999a; Larsen et al., 1995; Larsen et al., 1996; Paraud and Chartier, 2003; Sanyal, 2001) since nematode stages already present at the begin of the fungus application are not affected by the fungus (Dimander et al., 2003; Githigia et al., 1997; Sarkunas et al., 2000). The fungus only starts having an effect on the larvae when it was shed with the faeces, leading to reduced pasture contamination following close co-development with the motile nematode larvae (Nansen et al., 1988; Grønvold et al., 1996a and b; Faedo et al., 2002). In the present study this was only partly and indirectly observed by the goat group epg courses (Figure 2b) and the effect was transient. Possibly, a longer feeding period may lead to a stronger reduction of new pasture contamination with nematode stages (Dimander et al., 2003; Knox et al., 2001).

The larval counts per g faeces were seen as primary parameter to evaluate the fungus effect, since larvae are trapped by the fungus' chlamydospores. The larval counts in the quantitative coproculture results reflect the course of the epg values in coproscopic examination of the animals. Therefore, for the first weeks of the study period the number of larvae of the sheep control group was slightly higher than that of the fungus-fed group (Figure 3). Until the end of the feeding period both host species showed higher mean larvae in coproculture larval counts in control than in fungus-fed group, but this difference was diminished within 6 weeks after the end of the feeding period showing no long-term effect of the fungus feeding.

The calculated reduction in the quantitative larval culture results of the fungus-fed groups at the end of feeding period were 81.4 % for sheep and 67.9 % for goats which is in accordance with other observations of 82-99 % (Peña et al., 2002).

The qualitative faecal larval cultures revealed different genera (Figure 4), which are commonly seen in Central Europe as reported by various authors (e.g. Benesch, 1993; Rehbein et al., 1996), but no differences between the groups.

The sheep groups did not show any fungus effect in the field, since the larval counts on pastures at which the fungus-fed animals were kept were even higher at the end of the grazing season than those of the control animal pastures. The goats showed a lower number of larvae in the fungus-group pasture at that time (Figure 5).

At the beginning of the study period the larval counts from grass sample washings revealed low levels of larvae on all pastures. The counts increased in September, showing

largest differences between groups in October (Figure 5). It was shown previously, that the numbers of larvae depend on the stocking rate of animals (Armour, 1980; Thamsborg et al., 1996), and since the average liveweight/ha in this study was rather low with 625 kg/ha in sheep and 415 kg/ha in goats, respectively, a slower development of the nematode population on pasture is considered to have occurred. This could have contributed to an insufficient fungus trapping structure stimulus, which was found to be correlated positively with a high abundance of nematode larvae. But also climatic conditions influence the larval development, like sufficiently warm temperatures and humidity both stimulating development (Armour, 1980; Eckert and Buerger, 1979; Eysker et al., 1997; Goldenstein, 1978). In the study period the spring showed warm but dry weather. In contrast, the summer had more than average rainfall with flooding of pasture, which definitely will have had negative influence on the larval concentration within the faeces and the dung pad structure.

The larval counts of sheep are in contrast to several other reports of experimental contamination trials as well as of field trials which all described a clear reduction of larvae on pasture at which fungus-fed animals were kept (Fernandez et al., 1997; Faedo et al., 1998; Wolstrup et al., 1994; Nansen et al., 1995; Sarkunas et al., 2000). However, Dimander et al. (2003) could not find effects during the first year of grazing. They only found effects in the second grazing period during a long-term study. Finally, the use of different larval culture and counting methods in previously published studies makes the exact comparison of the present results with those of other investigations difficult.

A difference in the body weight development due to the benefits resulting from a *D. flagrans* effect on the nematode pasture burden, as reported previously (Dimander et al., 2003; Knox et al., 2001; Fernandez et al., 1997; Larsen et al., 1995), was not found in the present study apart from the sub-group of the first-year-grazing goats.

Tracer animals were used for the identification and differentiation of the nematode genera present in the flock. Due to the limited number of tracer animals, no statistical evaluation could be performed. First tracers in August showed higher epg values in control group animals than in fungus-fed group animals, the overall worm counts, however, did not show clear differences (Table 2). The second set of tracer animals showed a different picture with higher epg values in fungus-fed group animals than in control group animals (Table 3). Thus the results in tracer's wormburden support the assumption that the 3 month's feeding period was too short to have a long standing effect. The nematode species detected are in accordance with the reported spectrum in small ruminants in Germany (Benesch, 1993; Rehbein et al., 1996). These results reflect again the situation observed for

the faecal larval counts in the trial groups. Similarly, in a comparable sheep field trial Knox et al. (2001) also did not see differences in tracer animal worm counts.

The serum pepsinogen values correlate with the intensity of abomasal helminth infection (Berghen et al., 1993). Since the fungus-fed sheep showed higher values than the control, no fungus effect was observed concerning this parameter, which is in accordance with previous findings (Nansen et al., 1995). Others, however, described a positive correlation of fungus feeding and lower pepsinogen levels (Dimander et al., 2003; Larsen et al., 1995; Sarkunas et al., 2000; Wolstrup et al., 1994). The latter was reflected in goat pepsinogen courses, but not being statistically significant.

During this investigation an indication of a *D. flagrans* effect has only been observed in goats with respect to a transient reduction in mean GI-nematode epgs, but no effect was found in sheep. Reasons for this can be the low input and/or the insufficiently short period of feeding. Feeding was done manually in a trough with all animals at the same time. Therefore, a confirmation of sufficient intake for each animal was difficult. For any homogenous distribution on pasture this is crucial for the fungus (Bird et al., 1995; Peña et al., 2002; Waller et al., 2001a; Knox et al., 2001). In future, a longer feeding period or automated feeding could help to overcome this problem. A different and more convenient application such as a bolus could also be of advantage. First experiences in packing *D. flagrans* spores in bolus-like device are reported (Waller et al., 2001a, b). Here, the dosage used was 5×10^5 spores/kg BW/day, since it was previously reported to be effective in various in vitro and in vivo studies in small ruminants (Faedo et al., 1997; Knox et al., 2001; Paraud and Chartier, 2003; Peña et al., 2002; Sanyal 2001). However, in the present study the animal density was more extensive, which might have led to low nematode larvae dung pad infestations and thus a slower spreading and development of trapping structures in the fungus. Additionally, after a dry and warm spring a plus-average rainfall in summer needs to be considered as another factor of influence which complicated the monitoring of fungus effect. The rainfall peak occurred during the last month of fungus feeding and at the same time as increasing epg values were observed. Consecutively, the increase of larvae found in grass samples followed approximately three weeks later, indicating the favourable conditions. Accordingly, the climatic influence on larval development is reported repeatedly in the past (Dimander et al., 2003; Fernandez et al., 1997; Larsen et al., 1995).

Conclusions

Future studies should include a modified feeding regimen, perhaps with permanent release boluses or feed blocks, probably combined with different dosages; whereas environmental parameters like weather can always influence the presence of fungus on pasture. Perhaps an isolate, adapted to northern climatic options, could improve results in trapping parasitic larvae.

Therefore, currently this fascinating system of biological control might be regarded as a supplemental tool for parasite control rather than a realistic alternative to the classical chemoprophylactic control.

The study was performed at the experimental farm of the Institute of Organic Farming of the former Federal Agricultural Research Centre, Trenthorst, Germany.

We thank Chr. Hansen Ltd. for providing *Duddingtonia flagrans* chlamydospores.

References

- Armour J (1980) The epidemiology of helminth disease in farm animals. *Vet Parasitol* 6:7-46
- Barth D, Visser M (1991) Magen-Darmnematoden des Rindes. Stuttgart : Enke, 104 p
- Bartley DJ, Jackson F, Jackson E, Sargison N (2004) Characterisation of two triple resistant field isolates of Teladorsagia from Scottish lowland sheep farms. *Vet Parasitol* 123:189-99
- Baudena MA, Chapman MR, Larsen M, Klei TR (2000) Efficacy of the nematophagous fungus *Duddingtonia flagrans* in reducing equine cyathostome larvae on pasture in south Louisiana. *Vet Parasitol* 89:219-230
- Benesch C (1993) Parasiten des Magen-Darm-Traktes von Schafen in Hessen : eine Sektionsstudie. Gießen : Univ, 145 p
- Berghen P, Dorny P, Vercruyse J (1987) Evaluation of a simplified blood pepsinogen assay. *Am J Vet Res* 48:664-669
- Berghen P, Hilderson H, Vercruyse J, Dorny P (1993) Evaluation of pepsinogen, gastrin an antibody response in diagnosing ostertagiasis. *Vet Parasitol* 46:175-195
- Bird J, Herd RP (1995) In vitro assessment of two species of nematophagous fungi (*Arthrobotrys oligospora* and *Arthrobotrys flagrans*) to control the development of infective cyathostome larvae from naturally infected horses. *Vet Parasitol* 56:181-187
- Borgsteede FHM, Pekelder JJ, Dercksen DP, Sol J, Vellema P, Gaasenbeek CPH, Linden van der JN (1997) A survey of anthelmintic resistance in nematodes of sheep in the Netherlands. *Vet Q* 19:167-171
- Buerger HJ, Stoye M (1968) Parasitologische Diagnostik : Teil 2, Eizählung und Larvendifferenzierung. *Therapogen Praxisdienst* (3)1-22
- Chandrawathani P, Jamnah O, Waller PJ, Hoglund J, Larsen M, Zahari WM (2002) Nematophagous fungi as a biological control agent for nematode parasites of small ruminants in Malaysia : a special emphasis on *Duddingtonia flagrans*. *Vet Res* 33:685-696
- Chartier C, Pors I (2003) Effect of the nematophagous fungus, *Duddingtonia flagrans*, on the larval development of goat parasitic nematodes : a plot study. *Vet Res* 34:221-230
- Dimander SO, Hoglund J, Uggla A, Sprondly E, Waller PJ (2003) Evaluation of gastro-intestinal nematode parasite control strategies for first-season grazing cattle in Sweden. *Vet Parasitol* 111:193-209
- Eckert J, Buerger HJ (1979) Die parasitäre Gastroenteritis des Rindes. Berl Münch Tierärztl Wschr 92:449-464
- Eysker M (1997) Some aspects of inhibited development of trichostrongylids in ruminants. *Vet Parasitol* 72:265-283
- Faedo M, Barnes EH, Dobson RJ, Waller PJ (1998) The potential of nematophagous fungi to control the free-living stages of nematode parasites of sheep : pasture plot study with *Duddingtonia flagrans*. *Vet Parasitol* 76:129-135
- Faedo M, Larsen M, Groenvold J (2002) **Predacious activity of *Duddingtonia flagrans*** within the cattle faecal pat. *J Helminthol* 76:395-302
- Fernandez AS, Larsen M, Nansen P, Groenvold J, Henricksen SA, Wolstrup J (1997) **Effect of the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* on the free-living stages of horse parasitic nematodes: a plot study.** *Vet Parasitol* 73:257-266
- Fernandez AS, Henningsen E, Larsen M, Nansen P, Groenvold J, Sondergaard J (1999a) **A new isolate of the nematophagous fungus *Duddingtonia flagrans* as biological control agent against free-living larvae of horse strongyles.** *Equine Vet J* 31:488-491
- Fernandez AS, Larsen M, Nansen P, Groenvold J, Henricksen SA, Bjorn H, Wolstrup J (1999b) **The efficacy of two isolates of the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* against *Dictyocaulus viviparus* larvae in faeces.** *Vet Parasitol* 85:289-304
- Fernandez AS, Larsen M, Nansen P, Henningsen E, Gronvold J, Wolstrup J, Henricksen SA, Bjorn H (1999c) **The ability of the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* to reduce the transmission of infective *Ostertagia ostertagi* larvae from faeces to herbage.** *J Helminthol* 73:115-122
- Fernandez AS, Larsen M, Wolstrup J, Gronvold J, Nansen P, Bjorn H (1999d) **Growth rate and trapping efficacy of nematode-trapping fungi under constant and fluctuating temperatures.** *Parasitol Res* 85:661-668
- Fontenot ME, Miller JE, Peña MT, Larsen M, Gillespie A (2003) **Efficiency of feeding *Duddingtonia flagrans* chlamydospores to grazing ewes on reducing availability of parasitic nematode larvae on pasture.** *Vet Parasitol* 118:203-213
- Gibbs HC (1979) **Relative importance of winter survival of larval nematodes in pasture and infected carrier calves in a study of parasitic gastroenteritis in calves.** *Am J Vet Res* 40:227-231
- Gibson TE (1971) **Epidemiology of parasitic gastroenteritis in sheep.** *Vet Record* 2:151-152
- Githigia SM, Thamsborg SM, Larsen M, Kyvsgaard NC, Nansen P (1997) **The preventive effect of the fungus *Duddingtonia flagrans* on trichostrongyle infections of lambs on pasture.** *Int J Parasitol* 27:931-939
- Goldenstein N, Brunke V, Buerger HJ (1978) **Ökologische und epizootiologische Untersuchungen über Magen-Darm-Strongyliden beim Schaf.** Berl Münch Tierärztl Wschr 91:286-289
- Grønvold J, Wolstrup J, Nansen P, Henricksen SA, Larsen M, Bresciani J (1993) **Biological control of nematode parasites in cattle with nematode-trapping fungi : a survey of Danish studies.** *Vet Parasitol* 48:311-325
- Grønvold J, Henriksen SA, Larsen M, Nansen P, Wolstrup J (1996a) **Biological control : aspects of biological control-with special reference to arthropods, protozoans and helminths of domesticated animals.** *Vet Parasitol* 64:47-64
- Grønvold J, Nansen P, Henriksen SA, Larsen M, Wolstrup J, Bresciani J, Rawat H, Friberg L (1996b) **Induction of traps by *Ostertagia ostertagi* larvae, chlamydospore production and growth rate in the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans*.** *J Helminthol* 70:291-297
- Grønvold J, Wolstrup J, Nansen P, Larsen M, Henriksen SA, Bjorn H, Kirchheiner K, Lassen K, Rawat H, Kristiansen HL (1999) **Biotic and abiotic factors influencing growth rate and production of traps by the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* when induced by Cooperia oncophora larvae.** *J Helminthol* 73:129-136
- Henriksen SA, Korsholm H (1983) **A method for culture and recovery of gastrointestinal strongyle larvae.** *Nord Vet Med* 35:429-30
- Hiepe T, Zimmermann H (1966) **Beeinflussung der Wollqualität beim Merinofleischschaf durch experimentelle Trichstrongyliden-Infektionen.** *Monatsh Veterinärmed* 17:641-645
- Inderbitzin F (1976) **Experimentell erzeugte Entwicklungshemmung von *Dictyocaulus viviparus* des Rindes.** Zürich : Univ, 45 p
- Kaplan RM, Burke JM, Terrill TH, Miller JE, Getz WR, Mobini S, Valencia E, Williams MJ, Williamson LH, Larsen M, Vatta AF (2004) **Validation of the FA-MACHA eye color chart for detecting clinical anemia in sheep and goats on**

- farms in the southern United States. *Vet Parasitol* 123:105-120
- Knox MR, Faedo M (2001) Biological control of field infections of nematode parasites of young sheep with *Duddingtonia flagrans* and effects of spore intake on efficacy. *Vet Parasitol* 101:155-160
- Larsen M, Wolstrup J, Henriksen SA, Groenvold J, Nansen P (1992) *In vivo* passage through calves of nematophagous fungi selected for biocontrol of parasitic nematodes. *J Helminthol* 66:137-141
- Larsen M, Faedo M, Waller PJ (1994) The potential of nematophagous fungi to control the free-living stages of nematode parasites of sheep : survey for the presence of fungi in fresh feces of grazing livestock in Australia. *Vet Parasitol* 53:275-281
- Larsen M, Nansen P, Wolstrup J, Groenvold J, Henriksen SA, Zorn A (1995) Biological control of trichostrongyles in calves by the fungus *Duddingtonia flagrans* fed to animals under natural grazing conditions. *Vet Parasitol* 60:321-330
- Larsen M, Nansen P, Grondahl C, Thamsborg SM, Groenvold J, Wolstrup J, Henriksen SA, Monrad J (1996) The capacity of the fungus *Duddingtonia flagrans* to prevent strongyle infections in foals on pasture. *Parasitol* 113:1-6
- Larsen M, Nansen P, Groenvold J, Wolstrup J, Henriksen SA (1997) Biological control of gastro-intestinal nematodes – facts, future, or fiction? *Vet Parasitol* 72:479-485
- Larsen M (2000) Prospects for controlling animal parasitic nematodes by predacious microfungi. *Parasitol* 120(Suppl):121-131
- Maangi N, Bjorn H, Thamsborg SM, Bogh HO, Nansen P (1996) Anthelmintic resistance in nematode parasites of sheep in Denmark. *Small Ruminant Res* 23:171-181
- McLeod RS (1995) Costs of major parasites to the Australian livestock industries. *Int J Parasitol* 25:1363-1367
- Mortensen LL, Williamson LH, Terrill TH, Kircher RA, Larsen M, Kaplan RM (2003) Evaluation of prevalence and clinical implications of anthelmintic resistance in gastrointestinal nematodes in goats. *J Am Vet Med Assoc* 223:495-500
- Nansen P, Groenvold J, Henriksen SA, Wolstrup J (1988) Interactions between the predacious fungus *Arthrobotrys oligospora* and third-stage larvae of a series of animal-parasitic nematodes. *Vet Parasitol* 26:329-337
- Nansen P, Larsen M, Groenvold J, Wolstrup J, Zorn A, Henriksen SA (1995) Prevention of clinical trichostrongylosis in calves by strategic feeding with the predacious fungus *Duddingtonia flagrans*. *Parasitol Res* 91:371-374
- Nansen P, Larsen M, Groenvold J, Wolstrup J, Zorn A, Henriksen SA (1996) Control of *Oesophagostomum dentatum* and *Hyostrongylus rubidus* in outdoor-reared pigs by daily feeding with the microfungus *Duddingtonia flagrans*. *Parasitol Res* 82:580-584
- Paraud C, Chartier C (2003) Biological control of infective larvae of a gastrointestinal nematode (*Teladorsagia circumcincta*) and a small lungworm (*Muellerius capillaris*) by *Duddingtonia flagrans* in goat faeces. *Parasitol Res* 89:102-106
- Paraud C, Pors I, Chartier C (2004) Activity of *Duddingtonia flagrans* on *Trichostrongylus colubriformis* larvae in goat faeces and interaction with a benzimidazole treatment. *Small Ruminant Res* 55:199-207
- Paraud C, Hoste H, Lefrileux Y, Pommaret A, Paolini V, Pors I, Chartier C (2005) Administration of *Duddingtonia flagrans* chlamydospores to goats to control gastro-intestinal nematodes : dose trials. *Vet Res* 36:157-166
- Peña MT, Miller JE, Fontenot ME, Gillespie A, Larsen M (2002) Evaluation of *Duddingtonia flagrans* in reducing infective larvae of *Haemonchus contortus* in faeces of sheep. *Vet Parasitol* 103:259-265
- Rehbein S, Kollmannsberger M, Vosser M, Winter R (1996) Untersuchungen zum Helminthenbefall von Schlachtschafen in Oberbayern : 1. Mitt: Artenspektrum, Befallsextensität und Befallsintensität. *Berl Münch Tierärztl Wschr* 109:161-167
- Roberts FHS, O'Sullivan PJ (1950) Methods for egg counts an larval cultures for strongyles infesting the gastrointestinal tract of cattle. *Austr J Agric Res* 1:99-102
- Rowe JB, Nolan JV, De Chaneet G, Teleni E, Holmes PH (1988) The effect of haemonchosis and blood loss into the abomasum on digestion in sheep. *Brit J Nutr* 59:125-139
- Sanyal PK (2001) Biological control of *Haemonchus contortus* in sheep by nematophagous fungus, *Duddingtonia flagrans*. *Indian Vet J* 78:23-26
- Sarkunas M, Larsen M, Nansen P, Hansen JW (2000) Biological control of trichostrongylid infections in calves on pasture in Lithuania using *Duddingtonia flagrans* : a nematode-trapping fungus. *J Helminthol* 74:355-359
- Schmidt U (1971) Vergleichende Untersuchungen verschiedener Anreicherungsmethoden zum Nachweis von Wurmeiern. München : Univ, 85 p
- Schnyder M, Torgerson PR, Schonmann M, Kohler L, Hertzberg H (2005) Multiple anthelmintic resistance in *Haemonchus contortus* isolated from south African Boer goats in Switzerland. *Vet Parasitol* 128:285-290
- Sievers Prekehr GH (1973) Methode zur Gewinnung von 3. Strongylidenlarven aus dem Weidegras. Hannover : Tierärztl Hochsch, 58 p
- Steel JW, Jones WO, Symons LEA (1982) Effects of a concurrent infection of *Trichostrongylus colubriformis* on the productivity and physiological and metabolic responses of lambs infected with *Ostertagia circumcincta*. *Aust J Agric Res* 33:131-140
- Terrill TH, Kaplan RM, Larsen M, Samples OM, Miller JE, Gelaye S (2001) Anthelmintic resistance on goat farms in Georgia: efficacy of anthelmintics against gastrointestinal nematodes in two selected goat herds. *Vet Parasitol* 97:261-268
- Thamsborg SM, Joergensen RJ, Waller PJ, Nansen P (1996) The influence of stocking rate on gastrointestinal nematode infections of sheep over a 2-year grazing period. *Vet Parasitol* 67:207-224
- van Wyk JA, Stenson MO, Van der Merwe JS, Vorster RJ, Viljoen PG (1999) Anthelmintic resistance in South Africa : surveys indicate an extremely serious situation in sheep and goat farming. *Onderstepoort J Vet Res* 66:273-284
- Waghorn TS, Leathwick DM, Chen LY, Skipp RA (2003) Efficacy of the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* against three species of gastro-intestinal nematodes in laboratory faecal cultures from sheep and goats. *Vet Parasitol* 118:227-234
- Waller PJ, Faedo M, Ellis K (2001a) The potential of nematophagous fungi to control the free-living stages of nematode parasites of sheep : towards the development of a fungal controlled release device. *Vet Parasitol* 102:299-308
- Waller PJ, Knox MR, Faedo M (2001b) The potential of nematophagous fungi to control the free-living stages of nematode parasites of sheep : feeding and block studies with *Duddingtonia flagrans*. *Vet Parasitol* 102:321-330
- Wetzel R (1930) Zur Diagnose der Lungenwurminvasionen bei Rind und Schaf. *Dtsch tierärztl Wschr* 38:49-50
- Wolstrup J, Groenvold J, Henriksen SA, Nansen P, Larsen M, Bogh HO, Ilsoe UB (1994) An attempt to implement the nemtode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* in biological control of trichstrongyle infection of 1st year grazing calves. *J Helminthol* 68:175-180
- Zajac AM, Gipson TA (2000) Multiple anthelmintic resistance in a goat herd. *Vet Parasitol* 87:163-72

Influence of *Tropaeolum majus* supplements on growth and antimicrobial capacity of glucotropaeolin in piglets

Elke Bloem*, Andreas Berk**, Silvia Haneklaus*, Dirk Selmar*** and Ewald Schnug*

Abstract

Phytopharmaceuticals with a proven efficiency in humans may also offer a special prospect in animal nutrition. Nasturtium (*Tropaeolum majus* L.) is a herb with a proven antimicrobial activity, which is caused by benzyl-isothiocyanate the degradation product of glucotropaeolin. In an experiment with piglets, direct and graded supplementation of *T. majus* with the feed was performed over a period of five weeks. *T. majus* was supplemented at an upper dosage of 1 g/kg with the feed, equaling 48.7 mg/kg glucotropaeolin, which resulted in a benzyl-isothiocyanate concentration in the urine of up to 16 µmol/L, which ought to be high enough to control a broad range of bacteria. Up to 7.3 % of the glucotropaeolin taken up by the animals was excreted as bioactive benzyl-isothiocyanate. Supplementation with *T. majus* had no effect on growth performance of piglets.

Keywords: Feed supplementation, *Tropaeolum majus* L., pigs, glucotropaeolin

Zusammenfassung

Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus* L.) als Futterzusatzstoff in der Ferkelaufzucht – Einfluss auf Wachstum und antimikrobielles Potenzial des Glucotropaeolins

Heilpflanzen, deren Wirksamkeit bereits am Menschen untersucht und bestätigt wurde, stellen vielversprechende Kandidaten als Futterzusatzstoffe in der Tierernährung hinsichtlich ihres Potenzials, die Gesundheit der Tiere zu fördern und zu stabilisieren, dar. Dabei können Dosierungsempfehlungen für den Menschen zu Grunde gelegt und auf das Tier übertragen werden. Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus* L.) ist eine anerkannte Heilpflanze mit einem hohen antimikrobiellen Potenzial. Dieses ist auf das Abbauprodukt Benzylisothiocyanat zurückzuführen, welches beim enzymatischen Abbau des in hohen Konzentrationen vorhandenen Inhaltsstoffs Glucotropaeolin gebildet wird. In einem Experiment mit Ferkeln wurden über 35 Tage Kressesamen dem Futter zugesetzt, um das Potenzial von Kapuzinerkresse als Futterzusatzstoff zu untersuchen. Die höchste Dosierung entsprach dabei einem Futterzusatz von 1g Kressesamen/kg Futter, äquivalent zu 48,7 mg Glucotropaeolin/kg Futter, was mit einer maximalen Konzentration von 16 µmol Isothiocyanat pro Liter im Urin verbunden war. Diese Konzentration ist vermutlich hoch genug, um eine breite Palette von Bakterien zu kontrollieren. Von der verabreichten Menge an Glucotropaeolin wurde maximal 7.3 % in Form von Isothiocyanat im Urin wiedergefunden. Der Zusatz von Kapuzinerkresse zum Futter hatte keinen Einfluss auf die Futteraufnahme und die Gewichtszunahme der Ferkel.

Schlüsselwörter: Futterzusatzstoffe, *Tropaeolum majus* L., Schweine, Glucotropaeolin

* Institute for Crop and Soil Science, Federal Research Centre for Cultivated Plants (JKI), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig, Germany
Email: elke.bloem@jki.bund.de

** Institute of Animal Nutrition, Federal Research Institute for Animal Health (FLI), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig, Germany

*** Institute of Plant Biology, Technical University Carolo-Wilhelmina, Mendensohnstr. 4, 38106 Braunschweig, Germany

Introduction

Alternative strategies to stabilize health and performance of livestock animals gained in importance since the ban of antibiotics as feed additives in animal nutrition in the European Union in 2006. In growing piglets, weaning and the start of fattening are critical stages in the development of grower-finishers, which are characterized very often by stress-related health problems and gastro-intestinal diseases like diarrhea, enteritis or *Escherichia coli* enterotoxaemia (Lalles et al., 2004; Pluske et al., 1997). Different medical herbs such as oregano, clove, thyme, peppermint, fennel, caraway, lemon grass and many others have been tested with respect to their stabilizing or health promoting effects (Gollnisch et al., 2001; Schöne et al., 2004; Wald et al., 2001), but results proved to be inconsistent (Gollnisch, 2002). Additionally, the exact mode of action of these plant components is not fully understood and likewise procedures for the standardization of cultivation and processing of the plant material are not available (Gollnisch, 2002). *Tropaeolum majus* was chosen as an experimental crop in this study because the physiological mechanisms involved in the phytopharmaceutical effectiveness of *T. majus* are well-known (Anon, 1985) and guidelines for cultivation and conditioning of the harvested plant material have been elaborated (Bloem et al., 2007).

In 1978, the German government established the 'Commission E', which investigated and affirmed the safety and effectiveness of 363 herbal plants; these monographs are today the basis for the registration of new and old phytopharmaceuticals. *Nasturtium* (*T. majus*) is a herbal plant that meets 'Commission E' standards. *T. majus* has a very broad range of action. Fresh leaves of *T. majus* were traditionally used for the treatment of infected wounds and the gall bladder, as diuretic, aphrodisiac, and as medicine against chronic diseases such as obstructive pulmonary disease, cystitis, pyelitis and infections of kidneys and bladder (Madaus, 1976; Müller, 1979; Weiss, 1980; Winter, 1955). More recently it was shown that *T. majus* has also an anticarcinogenic potential (Fahey et al., 1997; Pintão et al., 1995).

The antimicrobial effects of *T. majus* are related to its glucotropaeolin (GTL) content and its breakdown product, benzyl-isothiocyanate (benzyl-ITC). GTL is an aromatic glucosinolate (GSL), which is produced in high concentrations by *T. majus*. The benzyl-ITC is released upon hydrolysis of GTL by the endogenous enzyme myrosinase. Plants that contain GSLs also hold myrosinase, and both seem to be located in different compartments in the intact living tissue (Lüthy and Matile, 1984). When the plant tissue is disrupted GSLs are hydrolyzed by myrosinase activity, and a range of breakdown products is released including the biologically active ITCs. It is predominantly the ITC, which yields an antimicrobial, antifungal and virostatic effect. For the

release of benzyl-ITC the pH value of the medium during the degradation of GSLs is important; only under neutral pH conditions benzyl-ITC is formed. Additionally, the maximum efficiency of benzyl-ITC against bacteria was found in the range of pH of 6 to 8 (Halbeisen, 1954). Under acid conditions nitriles and amines may be formed, both with yet unknown *in vivo* effects at low concentrations.

The therapeutic effect of low-dose amendments of the medical plant *T. majus* needs to be clearly distinguished from the antinutritional effects caused by high glucosinolate contents in food stuff like rapeseed meal. Antinutritional effects of GSLs are well-known and reviewed by Tripathi and Mishra (2007). Most studies were conducted with rapeseed meal which contained high concentrations of GSLs before the introduction of double low oilseed rape varieties in the 1980s. Rapeseed meal generally contains several different GSLs with progoitrin, gluconapin and glucoerucinapin as the dominant GSLs, which consequently deliver different degradation products. The degradation of GSLs yields thiocyanates, isothiocyanates, cyclic sulfur compounds and nitriles, which are goitrogenic. So-called cabbage goiter or struma inhibits the iodine uptake of the thyroid gland (Berdanier, 2002). In this respect, one of the most potent GSLs is progoitrin, which was identified as mainly responsible for the toxic effects of rapeseed meal on pigs (Griffith et al., 1998). *T. majus* only contains a single GSL the GTL and no adverse effects were reported in the few experiments which were conducted with *T. majus* as feedstuff (Tovar et al., 2005; Winter and Willeke, 1955).

Dose-effect relationships with GSLs have been determined for all groups of livestock animals with view to growth performance, quality and sensory features of meat products when GSL-containing feedstuff was administered (Tripathi and Mishra, 2007). For pigs no adverse effects were reported up to a total GSL content of 0.78 $\mu\text{mol/g}$ diet (Tripathi and Mishra, 2007). In the here presented experiment the maximum total GSL content accounted for 0.12 $\mu\text{mol/g}$ diet and thus is distinctly below the critical threshold.

Up to now no experimentation has been carried out in piglets to study the capacity of *T. majus* to promote health and growth performance. In a feeding experiment with weaned piglets, the influence of feed supplementation with *T. majus* on animal performance and excretion of the bio-active benzyl-ITC was investigated in relation to the dose rate of GTL during the first five weeks after weaning.

Materials and methods

A total of 80 piglets (40 females and 40 castrated males) of a commercial hybrid line ("BHZP", German Landrace/Large White x Piétrain) were used (Table 1). The piglets were weaned after 21 days with a mean live weight of 8.33 ± 1.16 kg. The pigs were divided equally into four

groups according to their individual weight and sex with 20 piglets in 5 pens per group. The experiment started 4 days after weaning and was carried out for 35 days.

Table 1:
 Experimental design

Feed supplementation with nasturtium [mg GTL/kg]	Treatment			
	1 control without GTL	2 29 mg GTL/kg	3 39 mg GTL/kg	4 49 mg GTL/kg
No. of boxes	5	5	5	5
No. of piglets	20	20	20	20
No. of females	10	10	10	10
No. of castrated males	10	10	10	10
No. of piglets in metabolic cages	1	1	1	1

The basic diet consisted of cereals and soybean protein, supplemented with minerals, vitamins, amino acids and phytase to meet the recommendations of the Society of Nutrition Physiology (GfE, 1987). The specific composition is shown in Table 2. Feed in meshed form and water were offered *ad libitum*.

Table 2:
 Composition of the diet

Ingredient	Quota (g/kg)
Barley	339.35
Wheat	300.00
Maize, extruded	100.00
Soybean meal	150.00
Soybean protein concentrate	50.00
Soy oil	30.00
Min./Trace E./Vit. ¹	19.00
Amino acids ¹	11.50
Phytase	0.15

¹Ingredients per kg complete diet: Ca 4.5 g, P 1.4 g, Na 0.9 g, Mg 0.08 g, Fe 75 mg, Cu 15 mg, Mn 40 mg, Zn 50 mg, I 1 mg, Se 0.2 mg, Co 0.4 mg, vitamin A 10,000 IU, vitamin D3 1,000 IU, vitamin E 50 mg, vitamin B1 1 mg, vitamin B2 3.1 mg, vitamin B6 2.5 mg, vitamin B12 20 µg, vitamin K3 2 mg, vitamin C 50 mg, nicotinic acid 12.5 mg, folic acid 0.5 mg, choline chloride 125 mg, biotin 50 µg, lysin-HCl 6 g, DL-methionine 3 g, L-threonine 1 g, L-tryptophane 0.5 g

Feed supplementation with *T. majus*

Seed material from *T. majus* was ground to the same particle size as the feed (1 mm), thoroughly homogenized and the GTL content was determined prior to supplementation in 10 samples according to the method described by Bloem et al. (2007). The mean GTL content of the ground dry seed material was 48.7 ± 2.3 mg/g.

The dosage of the feed supplementation was calculated on basis of the recommendations of Blumenthal et al. (1998). A daily dosage of 43.2 mg benzyl mustard oil (130 mg GTL) is recommended for a person with a body weight of 60 kg (Blumenthal et al., 1998) equivalent to 2.17 mg GTL per kg body weight. Four experimental groups were studied: one control group without feed supplementation, one group that received 25 % less than the recommended dosage, one which received the recommended dosage and one that received 25 % more. Considering the GTL content of the seeds, body weight of the piglets and feed intake a corresponding amount of 0, 0.6, 0.8 and 1.0 g ground seed material was added to 1 kg feed.

Body weight of the pigs in the pen ($n = 20$ per group) and feed consumption per pen ($n = 5$ per group) were recorded weekly. The average daily gain was calculated by dividing the weekly weight gain through the days.

Additionally one piglet per treatment was kept in a metabolic cage throughout the experiment to collect urine. The piglets were weaned after 21 days and the experiment started with the feed supplementation at an age of 25 days. From an age of 27 days on enough urine was excreted by the piglets to take samples for analyses. Two times during the experimental period, from 38 (equivalent to 14 days after start of the experiment) to 42 days of age and from 54 to 60 days of age feed intake, urine excretion and benzyl-ITC release were balanced for these piglets. Generally, the urine was collected over 24 h and sampled in the morning. During the first 16 days (27 to 42 days of age) and during the last week of experimentation (54 to 60 days of age) urine was sampled daily; in between sampling was carried out twice a week to monitor changes in the ITC concentration.

Chemical analyses

Dry matter, crude ash, crude protein ($N \times 6.25$), ether extract (HCl digestion), crude fiber, sugar (according to Luff-Schoorl) and starch were analyzed according to standard methods (Naumann and Bassler, 1993). The metabolizable energy content of the feed was calculated by the equation given by GfE (1987) using the nutrient values of the feed and the digestibility values from feed tables (DLG, 1991).

Prior to analysis the urine samples were filtered and the pH value was recorded. The total ITC content was determined according to Ye et al. (2002) and measured by HPLC with UV detection at 365 nm. ITCs were measured isocratically with an eluent consisting of 85 % methanol/15 % water using a Supelcosil LC-18 HPLC column (150 x 2.1 mm, 5 µm, Sigma-Aldrich, Nr. 57934) and a flow of 3 mL/min. For the quantification a calibration curve was established, which was prepared from propyl-ITC.

Statistical analyses

The experimental data were analyzed as a completely randomized design using the GLM procedures of SAS (9.1 for WINDOWS, 2002-2003). Tukey's multiple range test was applied to ascertain any significant differences between group means. Limits of significance for all critical ranges were set at $P<0.05$.

Results

Growth performance of piglets

No significant differences in the composition of the feed were found in relation to the supplementation with *T. majus* (Table 3). Values of on average 200 g protein and 15.9 MJ metabolizable energy (ME) per kg DM were determined.

Table 3:

Nutritional composition of feedstuff (g/kg DM) in relation to piglet test groups

	Treatment			
	1 control without GTL	2 29 mg GTL/kg	3 39 mg GTL/kg	4 49 mg GTL/kg
Dry matter	895	894	896	897
Crude ash	47	46	46	47
Crude protein	200	196	197	199
Ether extract	58	57	58	57
Crude fiber	42	43	40	43
Sugar	51	52	50	51
Starch	489	487	493	492
ME (MJ/kg DM)	15.9	15.8	15.9	15.8

Table 4:

Growth performance parameter of piglets fed with *T. majus* supplemented feed

	Treatment				<i>LSD</i> _{5%}
	1 control without GTL	2 29 mg GTL/kg	3 39 mg GTL/kg	4 49 mg GTL/kg	
Body weight (kg)					
Body weight (25 th day of age)	8.4	8.4	8.3	8.3	1.0
Body weight (60 th day of age)	20.8	20.0	20.2	20.3	2.6
Average daily gain (g/d)					
ADG after 1 week	193	194	163	164	58.4
ADG after 2 weeks	245	232	228	221	56.5
ADG after 3 weeks	277	261	260	251	56.9
ADG after 4 weeks	325	292	300	302	57.0
ADG after 5 weeks	354	334	341	342	59.4
Feed intake (g/animal d)					
After 1 week	275	268	261	268	67.2
After 2 weeks	311	302	296	295	95.0
After 3 weeks	412	407	408	404	118.8
After 4 weeks	468	443	440	448	119.1
After 5 weeks	574	568	561	561	144.5
ME efficiency (MJ/kg gain)					
ME:G ¹⁾ after 1 week	20.62	19.48	22.99	23.51	4.73
ME:G after 2 weeks	21.25	20.92	20.93	21.38	2.64
ME:G after 3 weeks	22.16	22.18	22.14	22.64	2.82
ME:G after 4 weeks	22.36	22.93	22.16	22.74	1.98
ME:G after 5 weeks	23.75	24.00	23.36	23.63	2.79

¹⁾ ME:G = Metabolizable energy:gain ratio

During the experiment 3 piglets died without any symptoms of disease or any visible relationship to the treatment. Average daily gain (ADG) over 35 days and for all piglets was 342 g/d. The mean values of the groups did not differ significantly (Table 4). Corresponding values for daily feed intake (FI) and the efficiency of the ME were on average 566 g and 23.68 MJ/kg weight gain, respectively. Differences between the means of the groups proved to be statistically not significant (Table 4). Therefore it can be concluded that feed supplementation with *T. majus* had no effect on growth performance of piglets.

Urine analyses

ITCs were found in the urine of all piglets that received *T. majus* feed supplementation (Table 5) while in the control no ITC was determined. ITCs were not accumulated in the urine over time and no interactions between time and dosage were observed. The highest ITC concentration was measured in the urine of the piglet that received a medium dosage of GTL but differences in the ITC concentration in relation to treatment proved to be not significant (Table 5). Feed supplementation with *T. majus* had no significant influence on the pH in the urine and the pH was between 5.3 and 6.9 where a conversion into ITCs can take place and a high antimicrobial potential can be unfolded because the degradation of GTL into benzyl-ITC is a pH dependent process and highest in the neutral pH range.

The balance of GTL uptake and ITC and urine excretion revealed that the amount of urine excretion varied significantly between individual piglets. This resulted in varying ITC concentrations in the urine. At an age of 38 to 42 days no significant differences in the ITC excretion in relation to dosage and amount of urine were observed, but at 54 to 60 days of age a dose and volume dependent excretion of ITC became obvious (Table 6). At that time the pig with the highest GTL dosage excreted significantly more urine than the piglet with the medium dosage causing a higher dilution and thus a lower ITC concentration in the urine. The cumulative excretion of ITCs with urine is shown in Figure 1, each for a 5 days interval at the start and end of the experiment. The results for the corresponding GTL/ITC balance are shown in Table 6. The results revealed that the total daily amount of ITC excretion increased with duration of the experiment (Figure 1) because the piglets took up a higher amount of food but this had no effect on the concentration of ITCs in the urine (Table 5). Individual feed uptake and drinking behavior had a stronger influence on ITC excretion and dominated over the impact of GTL dosage in the initial phase (Figure 1; Table 6). At the end of the experiment feed intake was higher and a distinct effect of GTL dosage on ITC excretion was determined.

At the start of the experiment about 3 to 7 % of the

GTL was excreted as ITC with urine, while at the end of the study all groups of animals showed a more uniform value of 4 to 5 % (Table 6).

Table 5:

Benzyl-isothiocyanate concentration and pH value in the urine of weaning piglets in relation to glucotropaeolin (GTL) supplementation

Supple- men- ta- tion	Time	n	LSD _{5%}	Treatment			
				1 control without GTL	2 29 mg GTL/kg	3 39 mg GTL/kg	4 49 mg GTL/kg
Isothiocyanate concentration [$\mu\text{mol/L}$ urine]							
1 st week ^a	6	8.8	0.0	1.0	16.0	14.3	
2 nd week	7	2.9	0.0	4.5	9.1	7.9	
3 rd week	4	11.9	0.0	5.2	16.4	8.6	
4 th week	2	10.7	0.0	3.8	12.7	9.0	
5 th week	7	3.1	0.0	4.6	9.5	6.9	
pH value of the urine							
1 st week ^a	6	ns	6.0	6.6	6.5	5.9	
2 nd week	7	ns	5.7	5.6	6.6	5.6	
3 rd week	4	ns	5.6	5.3	5.6	5.8	
4 th week	2	ns	5.5	6.9	6.3	5.8	
5 th week	7	ns	5.5	6.6	5.5	5.4	

^a in the first week only 6 measurements could be conducted because at the first day there was not enough urine for analysis

Table 6:

Balance of glucotropaeolin (GTL) uptake and isothiocyanate (ITC) excretion 14 to 18 days and 30 to 36 days after feed supplementation of piglets with nasturtium

Dosage of GTL supplementation	GTL uptake	ITC excretion	Urine excretion	Percentage of GTL which was excreted as ITC		
				$\mu\text{mol/d}$	g/d	%
38 to 42 days of age						
Control	(0.0 mg/kg)	0.0	0.0	406	0.0	
Low	(0.29 mg/kg)	29.0	2.1	332	7.3	
Optimum	(0.39 mg/kg)	42.1	2.0	223	4.8	
High	(0.49 mg/kg)	52.0	1.6	213	3.1	
<i>LSD_{5%}</i>	<i>a</i>	<i>1.12</i>	<i>190</i>	<i>2.52</i>		
54 to 60 days of age						
Control	(0.0 g/kg)	0.0	0.0	446	0.0	
Low	(0.6 g/kg)	55.3	3.0	727	5.4	
Optimum	(0.8 g/kg)	69.5	3.1	329	4.4	
High	(1.0 g/kg)	87.5	4.9	734	5.5	
<i>LSD_{5%}</i>	<i>a</i>	<i>2.25</i>	<i>273</i>	<i>2.76</i>		

^a Anova was not carried out for GTL uptake as this parameter was not directly determined but calculated via the intake of feed on a weekly basis

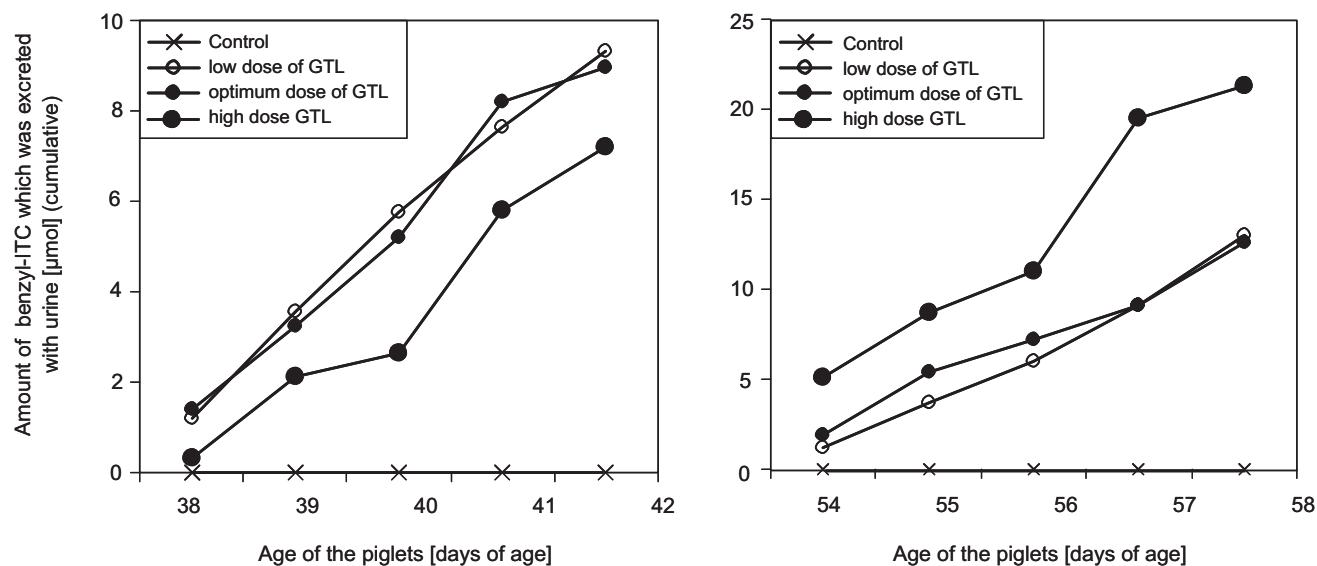


Figure 1:

Amount of benzyl-ITC, which was excreted with the urine of piglets during 5 days 14 and 30 days after start of the experiment in relation to GTL supplementation

Discussion

Feed supplementation with medical plants is a yet uncommon practice because scientific evidence for its effectiveness is regularly missing (Kijlstra and Eijck, 2006). Reasons for discrepancies include animal species, dosage and duration of the treatment, variability in the content of bioactive substances, and degradation of bioactive substances by inadequate processing techniques. For the medical plant *T. majus* both cultivation and processing guidelines have been elaborated (Bloem et al., 2007) and the medical efficacy of *T. majus* is well documented (Anon, 1985; Blumenthal et al., 1998).

The free bioactive form of benzyl-ITC can be found in lung, kidneys and in lower concentration in the spleen, while in liver and brain benzyl-ITC is bonded (Anon, 1985). After oral intake of benzyl-ITC, it is quickly resorbed in the stomach. *T. majus* preparations were usually administered in capsulated form so that degradation of GTL will take place in the small intestine and benzyl-ITC end up in kidneys and urine. In contrast, Shapiro et al. (2001) showed that differences in mastication can cause significant differences in GTL breakdown and excretion of breakdown products. The same authors found a 1.5-fold higher excretion of dithiocarbamates when the food was thoroughly chewed. These investigation reveal that for instance the bioavailability of GSLs and related compounds depends on several factors (Holst and Williamson, 2004) and this might explain why no dose-related differences were found at the start of the experiment (Table 6) when the piglets took up a lower amount of feed. Individual feed uptake

and drinking behavior had a strong influence on ITC concentration in the urine and it is necessary to record the absolute excretion of ITC when looking for dose effects.

The ITC concentration of the urine is an important criteria for the antimicrobial potential of the supplementation. Concentrations of 0.5 to 50 µg/mL benzyl-ITC are reported to control a broad range of bacteria and 0.3 to 12 µg/mL acted fungistatic (Anon, 1985). The results of the experiment revealed that the ITC concentration in the urine was in all treatments where the feed was supplemented with *T. majus* sufficiently high to yield an antimicrobial effect (Table 5). On average 5 % of GTL was converted to ITC, which is in the lower range of values reported by Shapiro et al. (1998), who determined a conversion rate of 10 ± 5 % for humans. Most likely the lower conversion in piglets is caused by the faster uptake combined with a less intensive chewing of the feed and the generally quick gastrointestinal passage of the feed.

The results obtained in this first experiment with piglets are promising as it was shown that feed supplementation with *T. majus* had no adverse effect on growth performance and, equally important proved to unfold an antimicrobial capacity that should be sufficiently high to combat infectious diseases. Faecal samples of the piglets of the here presented experiment were also investigated for the composition of the intestinal microbial community but no differences were observed in relation to feed supplementation with *T. majus* (Pieper et al., 2007). Their data also yielded no clear proof whether *T. majus* has a health promoting effect in animal nutrition. Therefore further experiments are required and experimentation with sows

suffering from the Mastitis-Metritis-Agalactia-syndrome are supposed to deliver explicit results for the following reasons: First, benzyl-ITC has a proven effect on urethral infections in humans; second, *T. majus* can be administered as capsules so that a higher rate of benzyl-ITC will be effective and third, vegetative plant material can be used, which supposedly is more efficient than seeds. The reason is simply that the leaf material contains other secondary compounds with bioactive components such as glutathione and chlorophyll (Haneklaus and Schnug, 2004). In the presented experiment the use of leaf material was not possible as an uniform intake could only be warranted by mixing feed and seeds with same particle size. The use of fine-textured leaf material would have favored selective intake and segregation of feed and supplement in the feeder. Another alternative, the production of composed pellets has been evaluated before start of the experiment with the results that GTL was completely degraded during the manufacturing process, which included the amendment of water and heat.

Conclusions

The presented feeding experiment showed that supplementation of piglets with *T. majus* had no adverse effects on growth performance and feed intake of piglets. Feed supplementation with *T. majus* yielded benzyl-ITC concentrations in the urine that ought to be sufficiently high to unfold antimicrobial activity. Adaptation of application rates from human studies proved to be adequate for adjusting the dosage of bio-active GTL in animal nutrition.

Acknowledgment

The authors wish to express their sincere thank to the Agency of Renewable Resources (FNR, Guelzow, Germany) for financial support.

References

- Anon (1985) *Tropaeolum maius* (majus) L. [online]. Zu finden in <<http://www.koop-phyto.org>>
- Berdanier CD (2002) Food constituents. In: Berdanier CD, Feldman EB, Flatt WP, Jeor ATSt (eds) Handbook of nutrition and food. Boca Raton : CRC Press, pp 3-98
- Bloem E, Haneklaus S, Schnug E (2007) Comparative effects of sulfur and nitrogen fertilization and post-harvest processing parameters on the glucotropaeolin content of *Tropaeolum majus* L. J Sci Food Agric 87(8):1576-1585
- Blumenthal M, Busse WR, Goldberg A, Gruenwald J, Hall T, Riggins CW, Rister RS (1998) The complete German commission E monographs – therapeutic guide to herbal medicines. Austin : Am Bot Council, 684 p
- DLG (1991) DLG-Futterwertabellen – Schweine. Frankfurt a M : DLG-Verl, 64 p
- Fahey JW, Zhang Y, Talalay P (1997) Broccoli sprouts : an exceptionally rich source of inducers of enzymes that protect against chemical carcinogens. Proc Natl Acad Sci 94:10366-10372
- GfE (Society of Nutrition Physiology) (1987) Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 4 Schweine. DLG-Verlags GmbH. Frankfurt/ Main, Germany
- Oslage HJ, Gädken D, Schulz E, Vemmer H (1987) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Schweine. Frankfurt a M : DLG-Verl, 153 p
- Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere 4 Gelb ersetzt rot, alphabetische Folge!
- Gollnisch K (2002) Nutzung von Pflanzen und Pflanzenextrakten zur Förderung der Mastleistung beim Schwein. Prakt Tierarz 83(12):1072-1077
- Gollnisch K, Wald C, Berk A (2001) Effect of various essential oils on the performance of piglets. Proc Soc Nutr Physiol 10:155
- Griffiths DW, Birch ANE, Hillman JR (1998) Antinutritional compounds in the Brassicaceae : analysis, biosynthesis, chemistry and dietary effects. J Hort Sci Biotechnol 73:1-18
- Halbeisen T (1954) Untersuchungen über die antibiotischen Wirkstoffe von *Tropaeolum majus* (Kapuzinerkresse). Naturwiss 41:378-379
- Haneklaus S, Schnug E (2004) Significance of secondary nitrogen metabolites for food quality. In: Amancio S, Stulen I (eds) Nitrogen acquisition and assimilation in higher plants. Dordrecht : Kluwer, pp 231-259
- Holst B, Williamson G (2004) A critical review of the bioavailability of glucosinolates and related compounds. Nat Prod Rep 21:425-447
- Kijlstra A, Eijck IAJM (2006) Animal health in organic livestock production systems : a review. J Life Sci 54:77-94
- Lalles JP, Boudry G, Favier C, Le Floc N, Luron I, Montagne L, Oswald IP, Pie S, Piel C, Seve B (2004) Gut function and dysfunction in young pigs : physiology. Anim Res 53:301-316
- Lüthy B, Matile P (1984) The mustard oil bomb : rectified analysis of the subcellular organization of the myrosinase system. Biochem Physiol Pflanzen 179:5-12
- Madaus G (1976) Lehrbuch der biologischen Heilmittel : Bd III. Hildesheim : Olms
- Müller L (1979) Heil- und Giftpflanzen : VI. *Tropaeolum majus* L., Kapuzinerkresse. Med Inform 10:260-265
- Naumann C, Bässler R (1993) Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Darmstadt : VDLUFA-Verl
- Pieper R, Haneklaus S, Berk A, Souffrant WB (2007) Effect of nasturtium (*Tropaeolum majus*) on feed intake, growth performance and intestinal microbiota in weaning piglets. Proc Soc Nutr Physiol 16:99
- Pintão AM, Pais SP, Coley H, Kelland LR, Judson IR (1995) In vitro and in vivo antitumor activity of benzylisothiocyanate : a natural product from *Tropaeolum majus*. Planta Med 61:233-236
- Pluske JR, Hampson DJ, Williams IH (1997) Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig : a review. Livest Prod Sci 51:215-236
- SAS (2002-2003) User's guide : statistics, Version 9.1 for Windows. Cary : SAS Inst
- Schöne F, Vetter A, Hartung H, Bergmann H, Bierbümpfel A, Richter G, Müller S, Breitschuh G (2006) Effects of essential oils from fennel (*Foeniculi aetheroleum*) and caraway (*Carvi aetheroleum*) in pigs. J Anim Physiol Anim Nutr 90:500-510
- Shapiro TA, Fahey JW, Wade KL, Stephenson KK, Talalay P (1998) Human metabolism and excretion of cancer chemoprotective glucosinolates and isothiocyanates of cruciferous vegetables. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev 7:1091-1100
- Shapiro TA, Fahey JW, Wade KL, Stephenson KK, Talalay P (2001) Chemoprotective glucosinolates and isothiocyanates of broccoli sprouts : metabolism and excretion in humans. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev 10:501-508
- Tovar TC, Moore D, Dierenfeld E (2005) Preferences among four species of local browse offered to *Colobus guereza kikuyuensis* at the Central Park Zoo. Zoo Biol 24:267-274
- Tripathi MK, Mishra AS (2007) Glucosinolates in animal nutrition : a review. Animal Feed Sci Technol 132:1-27
- Wald C, Kluth H, Rodehutscord M (2001) Effects of different essential oils on the growth performance of piglets. Proc Soc Nutr Physiol 10:156
- Weiss RF (1980) Lehrbuch der Phytotherapie. Stuttgart : Hippokrates Verl, 399 p
- Winter AG (1955) Antibiotische Therapie mit Arzneipflanzen. Planta Med 3:1-16
- Winter AG, Willeke L (1955) Untersuchungen über Antikiotika aus höheren

Pflanzen : Schweinemastversuche mit den antimikrobiischen Wirkstoffen der Kapuzinerkresse. Naturwiss 42:464

Ye L, Dinkova-Kostova AT, Wade KL, Zhang Y, Shapiro TA, Talalay P (2002) Quantitative determination of dithiocarbamates in human plasma, serum, erythrocytes and urine : pharmacokinetics of broccoli sprout isothiocyanates in humans. Clin Chim Acta 316:43-53

Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen

2. Grundfutterqualität und erzielbare Leistung

Klaus Walter*

Zusammenfassung

Die Steigerung der Milchleistung wird auch in Zukunft unverzichtbar sein, wenn es um Effizienzerhöhung und Sicherung der Einkommen geht. In den letzten 20 bis 25 Jahren wiesen die Milchvieh haltenden Betriebe einen konstanten und häufig sogar rückläufigen Kraftfuttereinsatz auf. Da die mittlere Milchleistung der Herden trotzdem um jährlich 50 bis 200 kg gestiegen ist, kann nur das Grundfutter diesen Zuwachs „erfüttert“ haben.

In diesem Beitrag wird die Verbesserung der Grundfutterqualität dargestellt und in die Zukunft fortgeschrieben. Die sich zurzeit in der Entwicklung befindliche „online“ Grundfutteranalytik mittels NIR ermöglicht eine präzise Produktionskontrolle und liefert damit die Voraussetzung zur Qualitätssteigerung der (Grund)Futtermittel. Mittels Simulation und Optimierung wird die Fütterung mit den zu erwartenden Nährstoffkonzentrationen kalkuliert. Dabei zeigt sich, dass weitgehend unabhängig von den unterschiedlichen Kennzahlen der Milchproduktion der Kraftfuttereinsatz abnimmt und in ein bzw. zwei Dekaden endet. Diese Entwicklung vollzieht sich in Verbindung mit einem verstärkten Anstieg der Milchleistung.

Daraus ergeben sich weitere grundlegende Veränderungen der Haltungs- und Fütterungsverfahren von Milchkühen, die noch zu erforschen sind. Sowohl die Futterproduktion incl. der Fütterung als auch die dafür notwendigen baulichen und technischen Voraussetzungen werden sich grundlegend ändern.

Schlüsselworte: Futteraufnahme der Hochleistungskuh, Langzeitanalyse der Grundfutterqualität, Bewertung und Optimierung der Milchviehfütterung, Prognose des Kraft- und Grundfuttereinsatzes

Summary

The feeding and husbandry of high performance cows

Part 2. Basic ration quality and feasible yields

An increase in milk yield will also be unavoidable in the future in terms of increasing efficiency and securing income. In the past 20 to 25 years, dairy farms showed a constant and frequently reduced use of concentrate feeds. Since the average milk yield of herds increased annually from between 50 and 200 kg, only basic forage rations can be responsible for the growth.

In this article, the improvement of basic forage rations will be presented and continued into the future. The current development of online basic ration analysis via near infrared (NIR) technology makes a precise monitoring of production possible and delivers the requirements for an increase in the quality of (basic) feeds. With simulations and optimization the feeding is calculated with the expected nutrient concentrations. Here it can be seen that, to large extent independent from the various statistics of milk production, the use of concentrates is reduced and ceases completely in one to two decades. This change develops in connection with a stronger increase in milk performance.

Here further basic changes in the husbandry and feeding processes of dairy cows that are still to be researched emerge. Both the feed production including feeding, as well as the required for constructions and technology will change fundamentally.

Keywords: Feed intake high yield cows, long term analysis of basis ration quality, evaluation and monitoring of dairy cow feeding, prognosis of concentrate and forage needs

* Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI), Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig; Email: klaus.walter@vti.bund.de

1 Einleitung und Fragestellung

Nationale und internationale Vergleiche der Effizienz der Milchproduktion führen stets zum gleichen Ergebnis, dass hohe Milchleistungen neben dem Milchpreis die Grundvoraussetzung für die Wirtschaftlichkeit darstellen (Isermeyer, 2002; IFCN, 2007).

Insbesondere die unvermeidbaren Nährstoffdefizite des ersten Laktationsdrittels sprechen für die Verbesserung der Futterqualität und der Nährstoffkonzentration (Drackley, 2005). Da diese beiden Positionen darüber hinaus einen positiven Einfluss auf die Futteraufnahme aufweisen (Gruber et al., 2006; NRC, 2001), entsteht ein zusätzlicher Impuls zur Erzeugung und Verwendung hochwertigerer Vorleistungen.

In diesem Beitrag wird die bisherige Entwicklung der Futterqualität als Ausgangskonstellation für die Analyse zukünftiger Futtergewinnung- und Fütterungskonzepte herangezogen. Dabei wird den sich im Erprobungsstadium befindlichen „online“ Analysetechniken mittels Nahinfrarotrefraktometrie (NIRS, 2004; NIR, 2007) besonderes Interesse gewidmet, denn erstmals gelingt es Grund- oder Raufuttermittel vor bzw. während der Ernte zu bewerten und gegebenenfalls mittels direkter Applikation von Zusatzstoffen die Konservierungsverluste zu minimieren (NIRS, 2004). Die Weiterentwicklung der Verfahren zur Futtergewinnung, -lagerung und -zuteilung kann unter Einbeziehung derartiger technischer Fortschritte sehr viel besser als bisher auf die Ansprüche der Hochleistungskühe abgestimmt werden.

2 Literatur, Modell, Daten und methodisches Vorgehen

Eine Vielzahl von Arbeiten und Untersuchungen (Drackley, 2005; Evans, 2003; Isermeyer, 2002; Pieper, 1998 bis 2006) nennen die Grund- und Kraftfutterqualität sowie eine entsprechende Nährstoffkonzentration als Voraussetzung für hohe Milchleistungen. Die enge Beziehung zwischen Energiekonzentration und Leistungsanstieg zeigt die Analyse der einzelbetrieblichen Zeitreihen für Milchleistung und Energiekonzentration in Gras- und Maissilage (Walter et al., 2003). Die Daten der Rinderspezialberatung der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (2003) bestätigen diese Ergebnisse, denn trotz steigender Herdenleistungen ist der Kraftfuttereinsatz je Kuh und Jahr nicht angestiegen, sondern kann als tendenziell rückläufig angesehen werden (Walter et al., 2005).

Anfang der 80er Jahre war eine Herdenleistung von 5.500 kg Milch ausreichend, um einen Deckungsbeitrag von 1.250 € zu erzielen. Inzwischen ist dieser Deckungsbeitrag nur noch mit einer Durchschnittsleistung von über 7.500 kg Milch zu erwirtschaften (Walter et al., 2005). Da sich diese Entwicklung fortsetzt und damit eine weitere

Steigerung der Milchleistung ein existentielles Anliegen der Milchviehhalter darstellt, wird in diesem Beitrag die durch technischen Fortschritt, z. B. „online Analytik“, erzielbare Verbesserung der Qualität und Nährstoffkonzentration der wirtschaftseigenen Futtermittel für die weitere Leistungsentwicklung analysiert.

2.1 Modell

Die Kalkulationen und Bewertungen werden mittels eines mehrstufigen Simulationsprogramms (SMP) durchgeführt. Im ersten Schritt berechnet das SMP ein optimales einzelbetriebliches Produktionsprogramm. Es ermittelt die benötigten Mengen inklusive der innerbetrieblichen (Verrechnungs-) Preise für Grundfutter und optimiert mit diesen Informationen im zweiten Schritt die Fütterung der Milchkühe für die einzelnen Futterperioden (Walter, 2007). Da die Differenz zwischen Einnahmen aus Milch abzüglich Futterkosten die Zielfunktion bildet, wird nicht nur die günstigste Fütterung bestimmt, sondern gleichzeitig die höchste erzielbare Milchleistung angestrebt. Dieser Teil des SMP ermittelt für Kühe unterschiedlichen Alters, Gewichts und Leistungsniveaus die während einer Zwischenkalbezeit (ZKZ) benötigten Grund- und Kraftfuttermengen. Bei der Optimierung der Rationen aller Fütterungsabschnitte kontrolliert das SMP die Energie- und Eiweißbilanz sowie die physiologischen Anforderungen. Die aufsummierten Futtermittelmengen und der gleichzeitig berechnete Harn- und Kotanfall werden mit dem optimalen Produktionsprogramm des Betriebsmodells verglichen. So bald diese neu errechneten Mengen von dem zuvor ermittelten Stabilitätsbereich des Betriebsoptimums abweichen, wird eine Reoptimierung des betrieblichen Produktionsprogramms erforderlich.

Entstehen bei hohen Tagesleistungen Energie- und Nährstoffdefizite, werden diese bilanziert und vom SMP zur Berechnung des aktuellen „body condition score“ (bcs) genutzt. Das SMP versucht die Energie- und Nährstoffbilanz innerhalb einer vorgegebenen Frist auszugleichen. Kommt ein Ausgleich nicht zu Stande und die Defizite bleiben bestehen, erfolgt im dritten Schritt eine alle Fütterungsabschnitte umfassende simultane Optimierung aller Rationen, um eine ausgeglichene Energie- und Nährstoffbilanz für die gesamte Zwischenkalbezeit zu erzielen. Dieser dritte Teil des SMP, die simultane Optimierung aller Fütterungsabschnitte der ZKZ, bilanziert für die gesamte Laktationsperiode die Nährstoffe und Energie, liefert zusätzlich die Minderwerte der einzelnen Futtermittel (Aktivitäten), die Grenzwerte der Bedingungen (Rechte Seiten) sowie die zugehörigen Stabilitätsbereiche¹.

¹ Zur Theorie siehe Danzig (1963) sowie Land (1973), zur praktischen Anwendung siehe Brandes (1969) und Meinhold (1976).

Die Optimierung des Milchvieh haltenden Betriebs und der einzelnen Rationen bzw. die simultane Optimierung aller Rationen einer ZKZ mittels der „Linearen Programmierung“ (Danzig, 1963) stellt ein ideales Werkzeug dar, um derart komplexe Probleme zu lösen. Die Erweiterungen des methodischen Optimierungsansatzes (Danzig, 1963) durch Sensitivanalyse, Parametrisierung sowie gemischt ganzzahlige, ganzzahlige und quadratische Optimierung (Land et al., 1973) ermöglichen weitergehende Ansätze, um die Milchproduktion zu analysieren sowie die Futtermittel und deren Qualitäten vergleichend zu bewerten.

Das SMP berücksichtigt alternativ die Fütterungsempfehlungen der DLG² und des National Research Council (NRC) des USDA. Letztere erweisen sich als sehr differenziert und bilden eine ideale Grundlage für die im SMP implementierten Kalkulationsansätze zur Deckung der Ansprüche von Hochleistungskühen, weil ein umfassendes Rationsberechnungskonzept vorliegt (NRC, 2001). Es enthält algorithmische Ansätze zur Bewertung des Geschehens beim Ab- und Aufbau von Körpersubstanz, benennt detailliertere Energie- und Nährstoffansprüche für Wachstum und

Bewegung³, quantifiziert den „energy discount“ und enthält Formeln zur genauen Bemessung des Energie und Nährstoffbedarfs für den Fötus u. a. m.

Das SMP errechnet für Leistungen von 10.000 bis 25.000 kg Milch je Kuh sowie für unterschiedliche ZKZ, Lebendgewichte, Altersklassen etc. die Laktationsfunktion. Es optimiert die Rationen, summiert die Futtermengen, bilanziert die Energie- sowie Nährstoffdefizite und kalkuliert deren Ausgleich. Für die in diesem Bericht gewählte Fragestellung werden die in Zukunft erzielbaren Futterqualitäten geschätzt, um deren Effekt für die Aufwands- und Ertragsrelationen sowohl für den Betrieb als auch für die Milchviehhaltung zu quantifizieren.

Das SMP bietet darüber hinaus die Grundlage für ein präzises Fütterungsverfahren, das den hochwertigeren, teureren Futtermitteln und den mit der Leistung steigenden Ansprüchen der Hochleistungskühe gerecht wird.

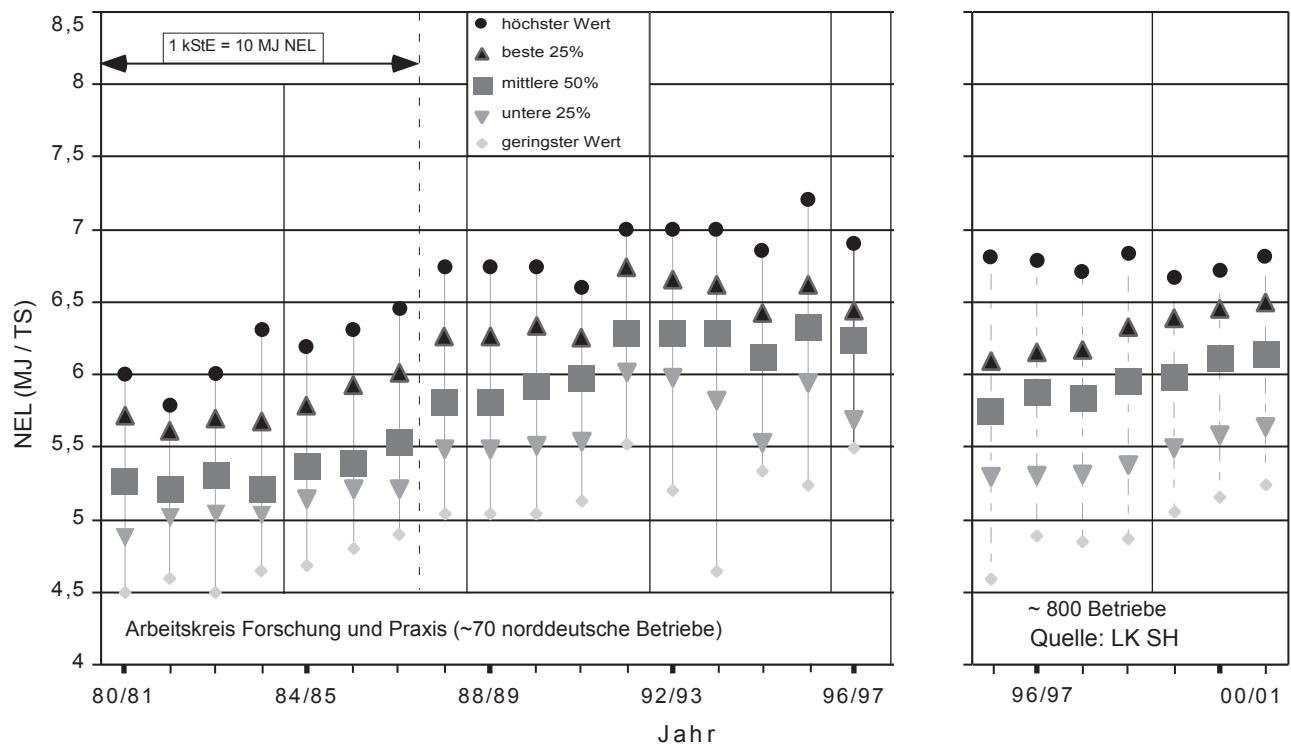


Abbildung 1:

Entwicklung des Energiegehaltes in der Grassilage (1. Schnitt, jeweils identische Betriebe des AKFP und der Rinderspezialberatung der Kammer Schleswig-Holstein)

² Die Bestimmung des Futteraufnahmevermögens erfolgt für das DLG – System nach Gruber (Gruber et al., 2005). Das Fütterungskonzept des NRC (2001) umfasst einen eigenen Ansatz zur Bestimmung der Futteraufnahme der Milchkühe.

³ Der Energiebedarf für die Märsche vom Stall zur Weide und zurück, inklusiv Zuschläge für hügelige Lagen werden beispielsweise quantitativ benannt.

2.2 Datengrundlage

Die Bedeutung der Qualität und der Nährstoffkonzentration in (Grund-) Futtermitteln für die Milchproduktion wird zunächst an Hand der bisherigen Entwicklung evaluiert. Anschließend erfolgt eine Schätzung der zukünftig erzielbaren Futterqualitäten, die wiederum in das SMP übernommen werden, um sie zu bewerten und um die zu erwartenden Verfahrenskonstellationen zu spezifizieren.

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Energiekonzentration in der Grassilage (1. Schnitt) im Zeitraum von 1980 bis 1997 in den Betrieben des „Arbeitskreis Forschung und Praxis“ (Walter, 2003) sowie in den Betrieben der Rinderspezialberatung der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (LK SH, 2003) zwischen 1995 bis 2001. Abbildung 2 stellt die Energiegehalte der Maissilage dar. Zunächst wurde mit dem Maßstab „Stärkeeinheiten“ gearbeitet, der Ende der 80er Jahre von dem noch heute gültigen System „Netto Energie Laktation“ (NEL) abgelöst worden ist. Neben diesem Wechsel des Energiebewertungssystems ist der Übergang von der „(Nass)Analyse nach Kellner“ zur Untersuchung mittels Nahinfrarot - Refraktometrie zu verzeichnen, die wiederum einer kontinuierlichen Verfei-

nerung und Präzisierung unterliegt. Da die Analysen nach dem jeweiligen Stand des Wissens durchgeführt wurden und die Milchviehhalter mit diesen Inhaltsangaben die Rationen berechneten, implizieren die dargestellten Entwicklungen diese Veränderungen.

Die Abbildungen 1 und 2 weisen eine deutliche Differenzierung der von den Betrieben erzeugten Qualitäten aus, so liegen die Energiekonzentrationen bei den Maissilagen der Betriebsgruppe „beste 25 %“ um rund 0,5 und bei den Grassilagen um 0,75 MJ NEL über denen der „untere 25 %“. Der höchste Wert übertrifft bei den Grassilagen den Geringsten um 2 bis 3 NEL, bei den Maissilagen um 1 bis 1,5 MJ NEL. Da die Grassilagewerbung wegen der Vorwolkphase stärker von den Wetterbedingungen abhängig ist, erklärt das die Unterschiede zwischen den Jahren. Sollen keine Qualitätseinbußen in Kauf genommen werden, so muss die Grassilagewerbung in einem eng begrenzten Zeitraum erfolgen. Für das Häckseln des Silomais steht dagegen ein längerer Erntezeitraum zur Verfügung, in dem vergleichsweise kleinere Veränderungen der Energie- und Nährstoffkonzentrationen zu erwarten sind. Dieser Sachverhalt führt zu den geringeren jährlichen und betrieblichen Unterschieden der Energiegehalte im Silomais.

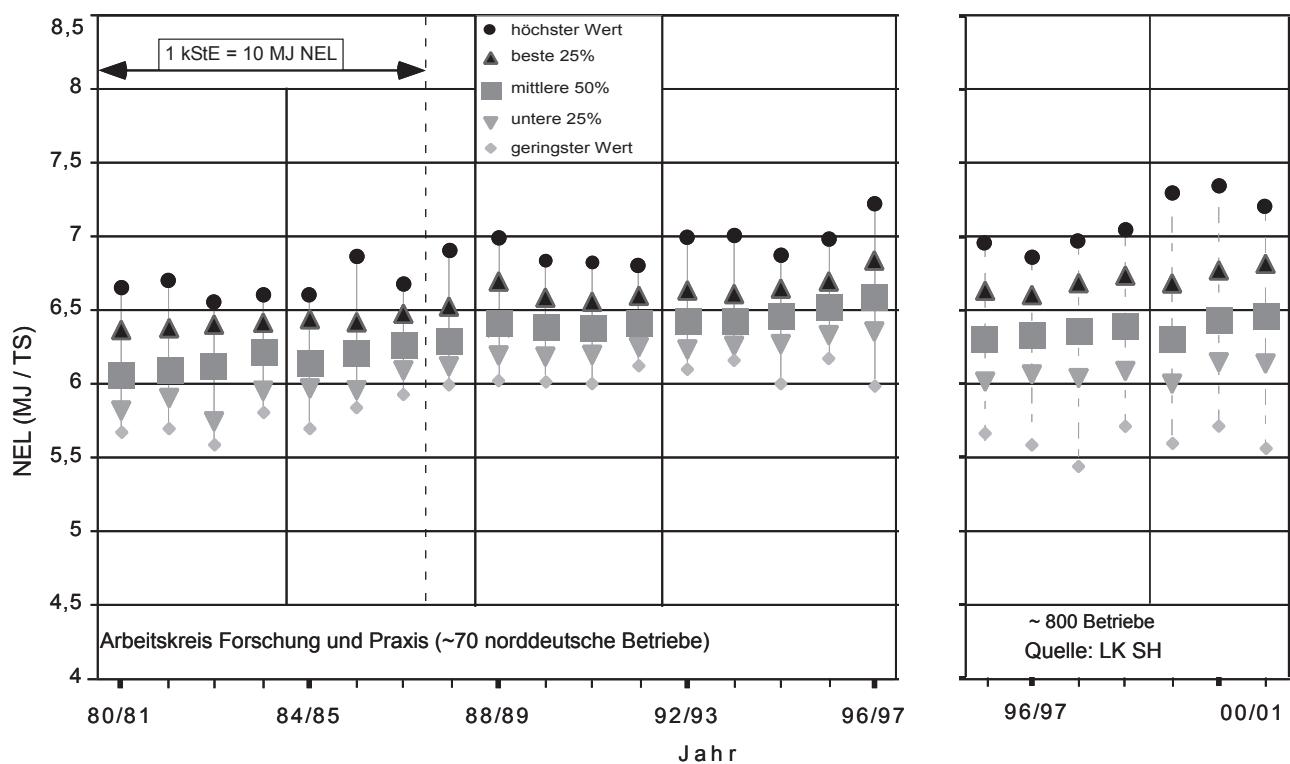


Abbildung 2:

Entwicklung des Energiegehaltes in der Maissilage (jeweils identische Betriebe des AKFP und der Rinderspezialberatung der Kammer Schleswig-Holstein)

Für die in Abbildung 2 dargestellte Entwicklung der Energiekonzentration in der Maissilage gelten im Vergleich zur Grassilage (Abbildung 1) weitere wichtige Sachverhalte:

- Die Energiekonzentration in der Maissilage lag in den 80er Jahren um eine Einheit höher.
- Der Zuwachs des Energiegehalts fällt bei der Grassilage deutlich höher aus. Sie⁴ „holt“ deutlich auf und liegt inzwischen weniger als 0,5 MJ NEL unter dem jeweiligen Mittelwert der Maissilage.
- Die Unterschiede zwischen den geringsten und höchsten Konzentrationen, zwischen den Betriebsgruppen „untere 25 %“ und „beste 25 %“ fallen bei der Maissilage wesentlich geringer aus als bei der Grassilage, weil sich der optimale Erntezeitpunkt einfacher bestimmen lässt und keine Vorwellphase erforderlich ist.
- Ab Mitte der 90er Jahre unterscheiden sich die höchsten Energiegehalte der Gras- und Maissilage dagegen nur wenig.

Diese Differenzierung erschwert eine auf mathematischen Ansätzen basierte Prognose der zukünftigen Energie- und Nährstoffgehalte der Grundfuttermittel. Gegen eine lineare Fortschreibung der erkennbaren Trends (Abbildungen 1 und 2) sprechen mehrere Gründe:

- Die Pflanzenzüchtung hat die Forschung zur Verbesserung der Futterpflanzen deutlich intensiviert (BLE, 2007).
- Die in den letzten Dekaden entwickelte Nahinfrarot – Refraktometrie macht deutlich Fortschritte und steht vor der „online“ Anwendung (NIRS, 2004; NIR, 2007). Diese Technologie führt nicht nur zu bedeutenden Fortschritten bei der Applikation von Silierhilfsmitteln, sondern ebnet mittelfristig den Weg zu einer präzisen Bestandsführung im Futterbau⁵.
- Der Strukturwandel in der Milchproduktion wird mit der angestrebten Abkehr vom Milchquotensystem zu einem scharfen Verdrängungswettbewerb führen, in dem nur die Milchviehhälter mit hohen Leistungen und geringen Produktionskosten bestehen können. Da sich die entwicklungsfähigen Betriebe vorrangig aus der Gruppe der „beste 25 %“ rekrutieren (Walter et al., 2003), bilden deren überdurchschnittlichen Futterqualitäten die Grundlage für die Vorschätzung.
- Den Wert der Futtermittel macht nicht nur die Energiekonzentration allein aus, sondern auch der Eiweiß-, der Rohfasergehalt, bzw. die N - freien Extraktstoffe, Vita-

⁴ Mit dem Übergang von Stärkeeinheiten zur Netto Energie Laktation ist eine Höherbewertung von Grassilage verbunden, die in Abbildung 1 deutlich wird.

⁵ Diese Methode kann den Marktfruchtbau in gleicher Weise unterstützen.

mine, Mineralstoffe etc., so dass für deren Konzentrationen ebenfalls Vorhersagen zu treffen sind.

Es wird auf eine Zeitreihenanalyse mit Prognose verzichtet und stattdessen eine einfache Trendextrapolation⁶ der Daten aus Spitzenbetrieben vorgenommen (u. a. NEL in Abbildungen 1 und 2). Die unterstellte zukünftige Entwicklung der wichtigsten Inhaltsstoffe zeigen die Abbildungen 3 und 4. Die im Zeitraum von 1980 bis 2001 aus den Grundfutteranalysen der Betriebe erkennbaren Differenzen und Unterschiede bei den Inhaltsstoffen werden in die Zukunft fortgeschrieben. Die Optimierungen beschränken sich nicht auf Einzel- oder Mittelwerte, sondern werden um Kalkulationen mit Bandbreiten erweitert, die sich gut durch die so genannten Ranges, die Parametrisierung und die Sensitivitätsanalyse der „Linearen Programmierung“ (Land et al., 1973) abbilden lassen.

Im Einzelnen werden die Korrelationen zwischen dem Energiegehalt und dem Rohfaser- sowie dem Rohprotein-gehalt der Gras- und Maissilagen für die einzelnen Jahre und für die Jahresdurchschnitte ermittelt und als zusätzliche Information für die in den Abbildungen 3 und 4 extrapolierten Entwicklungen sowie Bandbreiten genutzt. Für die Grassilage lassen sich positive Korrelationen zwischen den Energie- und Rohprotein-gehalten errechnen. Die Korrelationen zwischen Energiekonzentration und Rohfaseranteilen fallen jedoch negativ aus, sie werden mit zunehmenden Energiegehalten schwächer. Bei der Maissilage ist für die Beziehung zwischen Energie und Rohfaser eine ähnliche Tendenz zu verzeichnen. Die Korrelation zwischen Energie- und Rohprotein-gehalten erweist sich durchweg als schwach negativ. Die in den Abbildungen 3 und 4 für den Zeitraum 2010 bis 2030 unterstellten Gehalte basieren auf der Extrapolation dieser Beziehungen.

In Abbildung 3 werden die Energie-, Rohprotein- und Rohfasergehalte der Grassilagen (1. Schnitt) dargestellt, die auf den Daten der Spitzenbetriebe („beste 25 %“, Abbildung 1) beruhen und entsprechend den o. g. Korrelationen in die Zukunft extrapoliert werden. Die Streuung der Analysenwerte veranschaulichen die breiten Graphen.

Für die nachfolgenden Untersuchungen wird unterstellt, dass die Energiekonzentration in der Grassilage auf 7,5 MJ NEL je kg TS ansteigt und eine Bandbreite von 7 bis 8 MJ aufweist (Abbildung 3), die Maissilage 7,75 MJ NEL erreicht mit einer Bandbreite von 7,5 bis 8,2 MJ je kg TS (Abbildung 4).

⁶ Die Literatur bietet keine Hinweise auf die zukünftig zu erwartenden Inhaltsstoffkonzentrationen für einzelne Futtermittel. In den verschiedenen Ländern gibt es deutliche Unterschiede bei den Bewertungsmassstäben für Energie und Eiweiß, die auf erheblichen Forschungsbedarf schließen lassen. Beides spricht für Bandbreiten und weit gefächerte Prognosewerte.

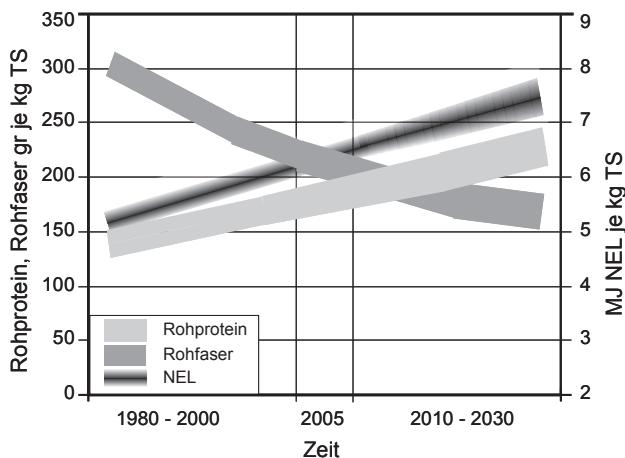


Abbildung 3:
Bisher von Spitzenbetrieben erzielte und für die Zukunft unterstellte Energie-, Rohprotein- und Rohfasergehalte in der Grassilage (1. Schnitt)

Die Energie- und Nährstoffgehalte des Milchviehmischfutters, des Sojaschrots und der Futtergerste entsprechen dem heutigen Standard (DLG, 1991ff; DLG, 2005). Die Kraftfutterpreise errechnen sich als Mittel der Jahre 2005 und 2006 (Stat. JB., 2006). Die Grundfutterpreise basieren auf einzelbetrieblichen Erhebungen von Helmers (2005). Alternativ werden Preissteigerungen von 1 % je Jahr formuliert, um einerseits den zusätzlichen Kosten für die Erzeugung höherer Qualitäten gerecht zu werden und andererseits die Konkurrenzfähigkeit der Qualitätssteigerung untersuchen zu können.

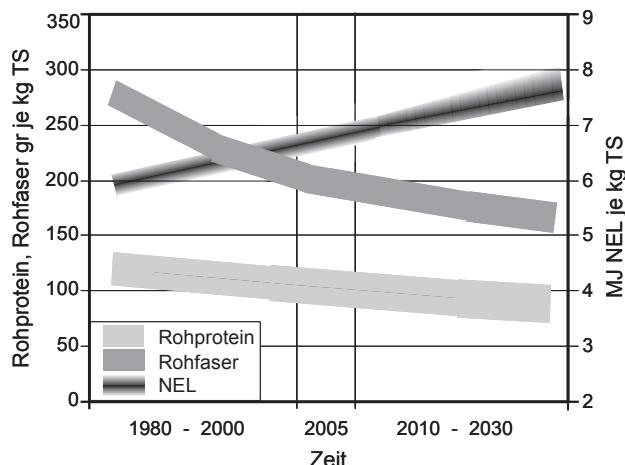


Abbildung 4:
Bisher von Spitzenbetrieben erzielte und für die Zukunft unterstellte Energie-, Rohprotein- und Rohfasergehalte in der Maissilage

Lüpping (2007) kommt zu dem Schluss, dass die Rationsgestaltung mit den Parametern ADF oder NDF keine besseren Ergebnisse bringen als bei Verwendung der herkömmlichen Ansätze mit der Kennzahl Rohfaser. Daher wird der Maßstab Rohfaser für die Rationsgestaltung

herangezogen, für den Daten und Erfahrungen seit 1980 vorliegen. Die Rationen müssen einen Mindestgehalt von 17,5 % Rohfaser aufweisen, um dem Verdauungssystem eines Wiederkäuers gerecht zu werden. Die erforderliche Vitamin- und Mineralstoffergänzung wird an Hand der Versorgung und des Bedarfes bemessen.

2.3 Methodisches Vorgehen

Das SMP „Milchproduktion der Zukunft“ (Walter, 2007) wird zunächst mit den Daten der Betriebe des „AKFP“ validiert, d. h. die tatsächlichen Energie- und Nährstoffgehalte werden für die Rationsoptimierungen genutzt, um die maximal erzielbaren Milchleistungen zu ermitteln, und um sie mit den Betrieblichen zu vergleichen. Dabei zeigt sich, dass die mittels des SMP kalkulierten Höchstleistungen gut mit den von den Betrieben erreichten Kontrollergebnissen übereinstimmen. Die in den Abbildungen 3 und 4 dargestellten Prognosewerte werden daher in die Kalkulationen übernommen, um die Bedeutung der zukünftigen Gras- und Maissilagequalitäten für die Fütterung zu evaluieren.

Für die gesamtbetriebliche Optimierung und die Rationsoptimierung wird vereinfachend unterstellt, dass sich Qualitätsverbesserungen im optimistischen Fall ohne zusätzliche Kosten erreichen lassen. Um die Bedeutung des Qualitätsanstiegs allein zu bewerten, wird zunächst mit konstanten Preisen für den gesamten Zeitraum kalkuliert. Die Alternative unterstellt, dass die zwischenzeitlichen Untersuchungen zur Bestandsführung und die Bestimmung des optimalen Erntezeitpunktes als Leistung⁷ eingekauft werden. Der Kostenanstieg wird mit 1 % je Jahr angesetzt, so dass Gras- und Maissilage am Ende des Beobachtungszeitraumes, also nach 50 Jahren, um rd. 70 % teurer geworden sind und bezogen auf die Energiekonzentration um rund 20 % bzw. 30 % höher ausfallen als für Futtergerste bzw. Milchviehmischfutter.

Dieser Preisanstieg reflektiert die derzeitig noch sehr unscharfen Vorstellungen eines Einsatzkonzeptes für die „online“ Qualitätsbestimmung (NIRS, 2004; NIR, 2007). Da bisher ausschließlich Wissenschaftler und speziell ausgebildete Experten dieses Verfahren einsetzen, wird vorerst unterstellt, dass die Landwirte diese Leistung zukaufen. Wie sich der Einsatz des NIR - Verfahrens langfristig entwickelt, bleibt offen. Weitergehende Ansätze führen möglicherweise zu grundsätzlich neuen, derzeit noch nicht vorhersagbaren Organisationsformen und Verfahrenskonzepten.

⁷ Diese Dienstleistung kann durch die allgemeine Betriebsberatung oder durch Spezialisten erbracht werden. Bei vier Grassilageschnitten ergeben sich dann Analysekosten von 250 € je ha Grünland, was in etwa einen Kostenanstieg von 20 % entspricht.

Für einen Anstieg der Erzeugungskosten von Grassilage spricht weiterhin, dass der Schnittzeitpunkt noch weiter vorrückt und ein geringerer Mengenertrag erzielt wird. Dagegen bleibt der Aufwand für Schneiden und Silieren nahezu gleich, so dass die Kosten je Mengeneinheit Erntegut (Basis Trockensubstanz) dementsprechend ansteigen. Diese Schnitte werden geringere Mengenerträge, aber dafür höhere Qualitäten bringen. Die kürzeren Aufwuchszeiten lassen jedoch häufigere Grasernten zu. Mit dem Einsatz des NIR – Verfahrens verbinden sich nicht nur die Bestimmung des bestmöglichen Erntezeitpunktes, sondern auch die Auswahl der optimalen Silierhilfsmittel. Deren Einsatz⁸ sichert die Qualität, führt aber auch zu weiteren Kosten.

Die derzeitigen Silierverfahren basieren auf der „Feldhäckslerschiene“, die nicht auf kürzeres, blattreicheres Siliergut ausgerichtet ist. Die zukünftigen Silierverfahren müssen kürzeres blattreicheres Erntegut bewältigen und gleichzeitig die „online“ Bewertung des Erntegutes und die zugehörige Zumischung von Silierhilfsmitteln unterstützen.

Die Milchvieh haltenden Betriebe greifen auf ein breit gefächertes Spektrum an Futtermitteln zurück (Walter et al., 1998). Hier konzentriert sich die Untersuchung ausschließlich auf Grassilage und Silomais, weil nur für diese Grundfuttermittel eine ausreichende Datenbasis vorliegt, um eine Prognose der Qualitätsentwicklung vornehmen zu können. Weidegang, Gras- und Maissilage bilden im norddeutschen Raum die dominierende Grundfutterbasis, so dass ihnen eine Leitfunktion zukommt. Die anderen Futtermittel sind nur dann konkurrenzfähig, wenn sie ähnliche Kosten und Qualitäten aufweisen.

Die in den Abbildungen 3 und 4 dargestellte Entwicklung der Energie- und Inhaltsstoffkonzentrationen wird in die Rationsmatrizen übertragen und durch eine speziell für diese Zeitreihenanalyse entwickelte Routine des SMP optimiert. Im Einzelnen werden für jeweils aufeinander folgende 5 - Jahresperioden die höchstmögliche Jahresleistung und der erforderliche Futterbedarf ermittelt.

Für die Kalkulationen gelten u. a. folgende Bedingungen, die vom SMP einzuhalten sind:

- Die Energie- und Nährstoffdefizite im ersten, defizitären Abschnitt der Laktation dürfen nicht so groß ausfallen, dass der bcs⁹ unter den kritischen Wert 1 fällt.
- Die Energie- und Nährstoffdefizite müssen beim Trockenstellen weitgehend ausgeglichen sein, so dass der bcs den Wert 2 nicht unterschreitet.

- Die Laktation währt einheitlich 300 und die Trockenstehphase 60 Tage.
- Der Zeitraum von 1980 bis 2030 wird durch zehn 5 - Jahresperioden abgebildet.

Der Übersichtlichkeit halber werden nur Gras- und Maisilage eingesetzt, Weidegang und Frischgrasverfütterung bleiben zunächst ausgeschlossen. Zusätzlich können bis zu 2 kg Gerstenschrot mit 8,2 NEL sowie Milchviehmischfutter mit 7 MJ NEL und 17,5 % Rohprotein als Leistungsfutter die Ration bilden. Sojaschrot kann eingesetzt werden, um eventuell entstehende Engpässe in der Eiweißversorgung zu vermeiden.

TMR (total mixed rations) sind ausgeschlossen, weil damit keine präzise an die individuelle Leistung und den tier spezifischen Erhaltungsbedarf angepasste Rationsbemessung zu erreichen ist, vielmehr wird eine am Mittelwert der Gruppe orientierte Futterzuteilung vorgenommen. Das Fütterungsverfahren TMR führt dementsprechend zu einer ungenauerer Rationsbemessung sowie zu höheren Futterkosten (DLG, 2007; Rinderspezialberatung der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 2003) und stellt hier keine konkurrenzfähige Alternative dar.

Die Rationsberechnung im SMP erfolgt täglich und wird für die jeweilige Leistung und den erforderlichen Erhaltungsbedarf unter der Zielvorstellung: „Maximierung der Differenz zwischen Einnahmen für Milch minus Futterkosten“ mittels „Linearer Programmierung“ optimiert. Das SMP

- gleicht die Energie- und Nährstoffdefizite des ersten Laktationsdrittels bis zum Ende der Laktation aus,
- sieht für den Abbau sowie den späteren Wiederaufbau der Reserven und der Körpersubstanz eine Verlustquote in Höhe von 20 % des Energiebedarfs vor (NRC, 2001; Walter, 2007),
- berechnet den Energie- und Nährstoffbedarf für die Trächtigkeit sowie den Fötus mit einem Geburtsgewicht von 42 kg (NRC, 2001; Walter, 2007) und
- berücksichtigt die geringere Milchinhaltstoffkonzentration bei höheren Tagesleistungen nach dem Grenzwertprinzip (Thünen, J. H. von, 1842; Walter, 2007).

Da sich die nationalen Energiebewertungssysteme deutlich voneinander unterscheiden, werden die Empfehlungen der DLG (2007) und des NRC (2001) zu Grunde gelegt. Daneben stellt die Futteraufnahme der Milchkühe eine wichtige Kennzahl dar. Ansätze zur Schätzung der täglichen Futteraufnahme offerieren das NRC (2001), Robinson (2006), Gruber (2006) und Meinhold (1997). Prinzipiell erlaubt das SMP die Kombination eines der beiden Energiebewertungssysteme mit einer der vier Aufnahmefunktionen. Die Alternativen verknüpfen die Fütterungs-

⁸ Die Analyse des frischen Futters mittels NIR kann zu der Empfehlung führen, entdeckte Defizite durch entsprechend ausgelegte Silierhilfsmittel zu ergänzen, um die höchstmögliche Qualität zu erreichen.

⁹ bcs = „body condition score“, vom SMP an Hand der täglichen Energiebilanz entsprechend den Funktionen des NRC (2001) kalkuliert.

empfehlung der DLG mit dem Ansatz von Gruber (2006) und die amerikanischen Ansätze zur Energiebemessung mit der zugehörigen Schätzung der Aufnahmekapazität.

Die Berechnungsansätze zur Bestimmung der täglichen Futteraufnahme nach Gruber et al. (2006) und Robinson (2006) basieren auf Lebendgewicht und Laktationsstadium sowie auf der Futterqualität, also auf der Konzentration Wert bestimmender Inhaltsstoffe. Der von Gruber et al. (2006) entwickelte Ansatz bewertet auch die Kraftfuttermenge, bzw. bei TMR den Kraftfutteranteil. Daher ist eine mit dem Anstieg der Grundfutterqualität einhergehende Veränderung der Futteraufnahmekapazität zu erwarten, die neben den angestrebten Effekten bei der Rationsgestaltung über die Veränderung der Futteraufnahme zu einer zusätzlichen Bewertung dieser Qualitätsverbesserung führen soll.

Wird, wie in diesem Fall, eine derart weite Spanne von Inhaltsstoffkonzentrationen analysiert, dann offenbaren die mit diesen Schätzfunktionen der Futteraufnahme gewonnenen Ergebnisse erhebliche Schwächen. Daher wird auf einen Schätzungsalgorithmus von Meinhold et al. (1976) zurückgegriffen, der am Laktationsbeginn die tägliche Futteraufnahme an Hand des Körpermengenwerts bestimmt, nachfolgend die Vortageswerte fortschreibt und mit einem zeitlich verzögerten Leistungszuschlag ergänzt.

Das SMP optimiert die Differenz zwischen Einnahmen aus Milch abzüglich der Futterkosten (die Zielfunktion des Optimierungsproblems) unter den Nebenbedingungen begrenzte Futteraufnahmekapazität, Sicherung des Nährstoffbedarfs und Berücksichtigung der physiologischen Ansprüche der Wiederkäuer. Das SMP ermittelt die maximal erzielbare Laktationsleistung, den Grund- und Kraftfutterverbrauch und eine Vielzahl weiterer Kennzahlen, die die Grundlage der vergleichenden Analyse darstellen.

2.4 Zukünftiges Umfeld der Betriebe

Mit der Verbesserung der Energiekonzentration im Grundfutter gelang den Betrieben ein Anstieg der Milchleistung (Walter et al., 2003). Diese zusätzlich erzielte Leistung wurde nicht durch Kraftfutter erzeugt, denn die Einsatzmengen blieben konstant (Rinder-Report, 1979 bis 2001) bzw. fielen rückläufig aus (Walter et al., 1998; Walter et al., 2005). Die Frage nach den Effekten einer weiteren Qualitätsanhebung steht im Zentrum der nachfolgenden Kalkulationen. Die Ergebnisse dienen der langfristig unabdingbaren Neukonzeption der Verfahren von Futterbau und Rindviehhaltung. Bei einer Nutzungsdauer für Maschinen von 10 und Gebäuden von mindestens 20 Jahren ist der Planungshorizont auf 20 bis 25 Jahren auszudehnen.

Durch Bewertung langfristiger Zeitreihen zur Nahrungsmittelerzeugung und Versorgung der Weltbevölkerung

kommt Lomborg (2002) zu dem Schluss, dass die Nahrungsmittelpreise bisher, von den üblichen Preisschwankungen abgesehen, gefallen sind und auch bei weit zunehmender Weltbevölkerung wegen der nahezu unbegrenzten Reserven¹⁰ langfristig nicht anwachsen werden. Daraus lässt sich ableiten, dass auch die Futtermittelpreise nicht steigen, da beide direkt von einander abhängen. Das derzeitige Preishoch für Getreide und nachwachsende Rohstoffe ist durch unterdurchschnittliche Erträge und extrem hohe Subventionierung der Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen zu erklären. Dieser kurzfristige Preisanstieg steht nicht im Widerspruch zu dem von Lomborg (2002) abgeleiteten auf langen Zeitreihen basierten Trend.

3 Ergebnisse: Bedeutung der Qualitätsverbesserung beim Grundfutter

Im ersten Schritt werden für die in den Abbildungen 3 und 4 dargestellten Energie- und Inhaltsstoffkonzentrationen alternativ nach DLG und NRC Empfehlungen die erzielbare Milchleistung, die zugehörigen Differenzen zwischen Erlösen für Milch minus Futterkosten sowie die Futteraufnahmen durch das SMP ermittelt. Es wird nur konserviertes Grundfutter kalkuliert, dagegen werden die wichtigsten Produktionsparameter, wie Zahl der Laktationen, Lebendmasse und Verlauf der Laktation variiert, um die Ergebnisse umfassend abzusichern. Im zweiten Schritt werden die Grundfuttermittel mit den zusätzlichen Kosten belastet, die ein präzise kontrolliertes Futtererzeugungsverfahren nach heutigen Schätzungen verteuern könnten.

3.1 Qualitätsverbesserung bei unterschiedlichen Futterungsempfehlungen

Die in den Abbildungen 3 und 4 ausgewiesenen Rohprotein-, Rohfaser- und Energiekonzentrationen für Gras- und Maissilage werden in die Matrizen zur Rationsoptimierung übernommen. Das SMP beginnt 1980, analysiert die folgenden zehn 5 - Jahresabschnitte und beendet die Simulation im Jahr 2030. Zunächst wird für eine Kuh in der 2. Laktation mit 675 kg Lebendgewicht die höchstmögliche Leistung ermittelt, wobei der bcs den kritischen Wert von 1 nicht unterschreiten darf und am Ende der Laktation mindestens 2 betragen muss. Die Milchleistung erreicht

¹⁰ Lomborg führt aus, dass die führenden Getreideproduzenten ihre geringen Erträge leicht anheben könnten. Es gäbe riesige Areale, die in landwirtschaftliche Bewirtschaftung genommen werden könnten, wenn sich die politischen Verhältnisse in diesen Ländern stabilisierten. Viele unzureichend ausgestattete Länder würden Verluste von bis zu 50 % der Ernten durch Schädlinge und Verderb in Kauf nehmen, die mit vergleichsweise geringem Aufwand vermeidbar wären.

nahezu 9.500 kg Milch je Kuh und Jahr (Abbildung 5). Für diese Leistung incl. Erhaltung und Reproduktion benötigt diese Kuh knapp 40 dt TS Grundfutter plus 24,5 dt TS (~27 dt FM) Kraftfutter. Die Differenz zwischen Erlös aus Milch minus Futterkosten (DEmFk) beträgt 2.400 € je Kuh und Jahr.

Für die beiden nachfolgenden 5 - Jahresabschnitte erkennt das SMP steigende Leistungen, zunehmende Grundfutteraufnahmen und höhere DEmFk bei konstantem Kraftfutterverbrauch. Bei weiter zunehmender Nährstoffkonzentration in Gras- und Maissilage ändert sich diese Entwicklung jedoch, denn der Kraftfuttereinsatz geht deutlich zurück, und die Milchleistung verharrt auf dem Niveau von rund 11.000 kg Milch. Der Einsatz von Grundfutter nimmt weiter zu, während der Gesamtfutterverzehr rückläufig ausfällt. Diese Abnahme des Kraftfuttereinsatzes und der Gesamtfutteraufnahme setzt sich bis etwa 2015 fort, danach, so zeigen die Berechnungen, wird kein Kraftfutter mehr eingesetzt. Trotzdem steigt die Milchleistung auf ca. 12.000 kg je Kuh und Jahr, der Grundfutterverzehr auf knapp 60 dt TM und die DEmFk auf 3.000 €.

Im Zeitabschnitt mit sinkendem Kraftfuttereinsatz, also von 1980 bis rd. 2015, nimmt auch der Gesamtfutterverzehr ab (Abbildung 5). Die Ursache für diese mit dem betrieblichen Geschehen unvereinbare Entwicklung ist in dem von Gruber et al. (2006) entwickelten Ansatz zur Schätzung der Futteraufnahme zu sehen. Die hier zu Grunde gelegte Konstellation (Gruber et al., 2006: Standard 1, hohes Management, HF-Blutlinie, getrennte Vorlage, Deutschland) enthält den Term „Kraftfuttermenge“, der einen bedeutenden Beitrag zum Niveau der Futteraufnahme leistet. Bei den zukünftig deutlich verbesserten Grundfutterqualitäten nimmt der Kraftfuttereinsatz ab, daher wird der dem Term „Kraftfuttermenge“ zuzuordnende Effekt auf die Futteraufnahme immer geringer und entfällt schließlich. Dieser Sachverhalt führt rechnerisch zu einer insgesamt geringeren Futteraufnahmekapazität. Das Ausmaß dieses Abfalls der Futteraufnahme mit steigender Grundfutterqualität erweist sich als unrealistisch, da im Zeitraum von 1980 bis 2000 in den Betrieben trotz sinkender Kraftfuttergaben und steigender Leistungen keine Abnahme der Futteraufnahme zu verzeichnen war (Walter et al., 1998; Walter et al., 2003). Daraus folgt, dass sich der Ansatz zur Schätzung der Futteraufnahme von Gruber et al. (2006) für diese Langfristanalyse als ungeeignet erweist. Die Resultate führen zu der These, dass ein derart konzipierter Schätzalgorithmus den ökologisch wirtschaftenden Betrieben nicht empfohlen werden kann. Konventionell wirtschaftende Betriebe laufen Gefahr, eine einseitige Bevorzugung Kraftfutter basierter Fütterungskonzepte hinnehmen zu müssen. Abbildung 5 zeigt dagegen eine Abkehr vom Kraftfuttereinsatz bei zunehmender Grundfutterqualität und damit eine den ökologisch wirt-

schaftenden Betrieben vergleichbare Fütterung, so dass dieser Schätzer der Futteraufnahme zur Fehleinschätzung bei der Bewertung höherer Grundfutterqualitäten führt.

Neben den Fütterungsempfehlungen der DLG und dem Ansatz zur Berechnung der Futteraufnahme von Gruber et al. (2006) kommen für die Hochleistungskühe im HF - Typ die amerikanischen Vorgaben für die Versorgung und die Bemessung der Futteraufnahme in Verbindung mit dem von Robinson (2007) entwickelten Konzept zur Schätzung der Futteraufnahme und Nährstoffversorgung in Frage.

Bei Anwendung der DLG – Norm und der Futteraufnahmefunktion von Gruber erreicht die Kuh ca. 11.000 kg Milch (Abbildung 5) am Ende des Beobachtungszeitraumes, werden dagegen die von Robinson (2007) vorgelegten Versorgungs- und Aufnahmebeziehungen zu Grunde gelegt, steigt die erzielbare Milchleistung von einem vergleichbaren Ausgangsniveau auf 19.000 kg (Abbildung 6). Der Kraftfuttereinsatz sinkt mit zunehmender

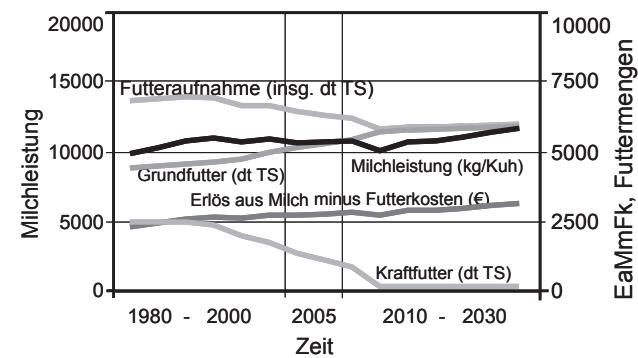


Abbildung 5:

Milchleistung, Futteraufnahme und Differenz aus Erlös für Milch minus Futterkosten bei steigender Grundfutterqualität – Rationsgestaltung nach DLG und Futteraufnahme nach Gruber et al. (2006)

Grundfutterqualität, beträgt am Ende des Betrachtungszeitraumes nur noch rd. 2 dt und tendiert eindeutig gegen Null. Die Differenz zwischen Erlös aus Milch und Futterkosten entwickelt sich stets positiv und kommt auf nahezu 5.000 €, weil die erzielbare Milchleistung am Ende des Beobachtungszeitraumes fast 19.000 kg je Kuh und Jahr beträgt. Die tägliche Futteraufnahme und auch die auf die gesamte Laktation bezogene Gesamtfuttermenge sind im Vergleich zu den in den Betrieben ermittelten Größenordnungen deutlich überhöht, so dass auch die von Robinson entwickelten Ansätze nicht weiter verfolgt werden.

Obwohl das von Robinson vorgelegte Konzept im Gegensatz zu der linearen EAR der DLG – Empfehlungen einen „energy discount“ enthält, also einen abnehmenden Ertragszuwachs je zusätzlicher Aufwandseinheit in Ansatz bringt, zeigen die zunehmenden DEmFk, dass auch unter diesen Konditionen weitere Leistungssteigerungen durchaus wirtschaftlich sind (Abbildung 6).

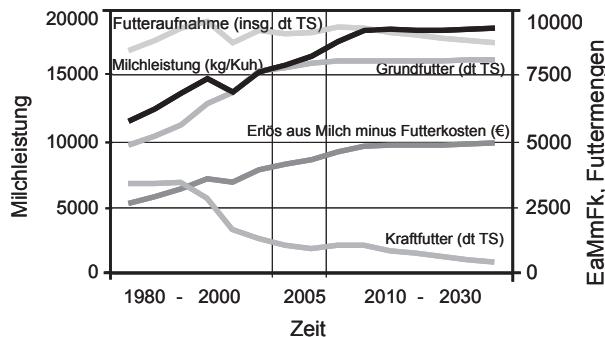


Abbildung 6:

Milchleistung, Futteraufnahme und Differenz aus Erlös für Milch minus Futterkosten je Kuh und Jahr bei steigender Grundfutterqualität – Energiebemessung und Futteraufnahme nach Robinson (2007)

Das NRC (2001) offeriert ein umfassendes und fein strukturiertes Versorgungskonzept (Walter, 2007). Abbildung 7 zeigt die mit dem NRC – Konzept errechneten Ergebnisse. Die Umrechnung der Energie- und Nährstoffgehalte aus deutschen Futtermittelanalysen in das unterschiedlich konzipierte amerikanische Nährstoffbewertungskonzept kann als Ursache für die uneinheitliche Entwicklung der Futteraufnahme gelten. Im Folgenden wird mit einem Algorithmus gerechnet, der nur vom Körpergewicht sowie dem Tag der Laktation und der Tagesleistung ausgeht (NRC, 2001, Chapter 1) und die Futterinhaltsstoffe und den Kraftfuttereinsatz unberücksichtigt lässt. Die maximal erzielbare Milchleistung betrug im ersten 5 - Jahresabschnitt ca. 10.000 kg Milch je Kuh und Jahr und stieg kontinuierlich auf 15.000 kg im Zeitraum um 2005. Dieses Ergebnis steht jedoch im Widerspruch zu den tatsächlichen Konstellationen in den Spitzenbetrieben¹¹ (Walter et al., 2003; Walter et al., 2005). Am Ende des Betrachtungszeitraumes werden knapp 21.000 kg Jahresleistung je Kuh ermittelt. Da die Futteraufnahme Größenordnungen erreicht, die mit über 30 kg TS je Tier und Tag als unrealistisch einzustufen sind, wird die vom NRC (2001) empfohlene Schätzfunktion für die Futteraufnahme nicht weiter genutzt.

Im Zeitraum von 1980 bis 1990 waren Kraftfuttergaben von über 25 bis 30 dt je Kuh und Jahr (~ 24 dt TS) keine Seltenheit (Rinder – Report 1979 bis 2001). Dieser enorme Kraftfuttereinsatz führte zu physiologischen und gesund-

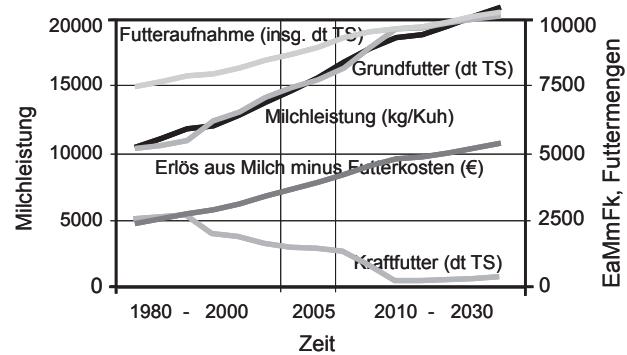


Abbildung 7:

Milchleistung, Futteraufnahme und Differenz aus Erlös für Milch minus Futterkosten je Kuh und Jahr bei steigender Grundfutterqualität – Milchkuh in 2. Laktation, Energiebemessung und Futteraufnahme nach NRC (2001)

heitlichen Problemen und ließ sich durch die ständige Verbesserung der Grundfutterqualität reduzieren. Obwohl der Kraftfuttereinsatz zurückgefahren wurde, konnte die Herdenleistung¹² stetig gesteigert werden. Die Futteraufnahme der Einzeltiere nahm jedoch im Zeitraum von 1980 bis heute nur wenig zu, denn die Betriebe weisen einen weitgehend konstanten Flächenbedarf je Kuh für die Futterproduktion aus. Der Düngeraufwand für Grünland und Silomais konnte ebenfalls zurückgefahren werden, ohne dass die Erträge abnahmen. Die Aufwands- und Ertragsrelationen von Futterbau und Milchviehhaltung wurden stetig effizienter. Die Kalkulationen mit den zukünftig zu erwartenden Daten zeigen eine auf den ersten Blick überraschende Entwicklung, denn der Kraftfuttereinsatz nimmt nicht kontinuierlich ab, sondern geht von 8 bis 10 dt je Kuh und Jahr beim Übergang zur nächsten 5 - Jahresperiode auf Null zurück. Diese ausschließlich auf Grundfutter basierten Rationen führen den Modellkalkulationen entsprechend zu einem leichten Rückgang der Futteraufnahme. Das ist in Betrieben zu beobachten, die zur ökologischen Wirtschaftsweise wechseln und dabei auf den Einsatz von Kraftfutter bzw. wirtschaftseigenem Getreide verzichten (Walter et al., 1998; Walter et al., 2003).

Die Ergebnisse der in den Abbildungen 5, 6 und 7 dargestellten Simulationen offenbaren erhebliche Probleme, die auf die Algorithmen zur Bestimmung der Futteraufnahme von Gruber (2006), des NRC (2001) und von Robinson (2006) zurück zu führen sind. Die mittleren täglichen Futteraufnahmen überschreiten die Grenze von 5 % des Lebendgewichts und zeigen weiterhin deutliche Abweichungen von dem bisher beobachteten betrieblichen Geschehen. Daher wird nachfolgend nicht mit diesen Emp-

¹¹ Die leistungsstärksten Kühe der Betriebe des AKFP (Walter et al., 2003) übertrafen im Zeitraum um 1990 die Leistungsgrenze von 10.000 kg. Eine ähnliche Entwicklung vollzog sich in den Spitzenbetrieben der Kontrollverbände in Norddeutschland.

Zudem geht das SMP bei diesen Kalkulationen von idealisierten Bedingungen aus, es werden keine den Erfolg mindernden Krankheiten, externen Einflüsse (Klima etc.), längere Zwischenkalzeiten etc. angerechnet. Da nur Kühe in zweiter Laktation kalkuliert werden, fällt das Leistungsniveau höher aus, als wenn Erstkalbinnen, ältere u. leistungsschwächere Tiere und abgehende Kühe einbezogen würden.

¹² Der Leistungszuwachs brachte höhere Verkaufsmengen, die jedoch nicht zu verbesserten Erlösen führten, weil der Milchpreis sank und gleichzeitig Kosten für Kauf bzw. Pacht von zusätzlichen Lieferrechten entstanden sind.

fehlungen weiter gerechnet, sondern der von Meinhold (1976) entwickelte Ansatz zur Schätzung der Futteraufnahme¹³ genutzt.

3.2 Bedeutung der Norm und des Grundfutterpreises

Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse der Simulation mit dem von Meinhold et al. (1976) entwickelten Schätzer der Futteraufnahme, der vorrangig in enger Relation zum Lebendgewicht steht und einen im Vergleich zu den zuvor dargestellten Schätzfunktionen geringen leistungsorientierten Zuschlag enthält. Die vier zum Vergleich anstehenden Alternativen weisen einen geringfügigen Anstieg der Futteraufnahme auf, der beim Übergang zur kraftfutterfreien Fütterung gegen Null tendiert.

Alle vier Alternativen verzeichnen einen kontinuierlichen Anstieg der DEmFk von ca. 1.500 auf über 2.200 €, der auf die steigende Leistung zurückgeht. Der Zuwachs der

Grundfutterqualität führt im analysierten Zeitraum zu einem deutlichen Anstieg der Milchleistung von rd. 6.500 bzw. 7.000 kg auf knapp 13.000 bzw. gut 14.000 kg je Kuh und Jahr. Die Unterschiede im Niveau und beim Anstieg der Kennzahlen beruhen auf einer Energiebemessung nach Vorgaben der DLG (linearer NEL - Bedarf je kg Milch, oberen Teilgrafiken) und nach NRC (progressiv steigender Energiebedarf je kg Milch, unteren Teilgrafiken). Der vom NRC (2001) und von Robinson (2007) vorgesehene "energy discount" führt bei den hier untersuchten Szenarien für gegebene Futteraufnahmen zu geringerer (Tages- und Jahres-) Leistung, weil die Progression des Energiebedarfs mit dem Leistungsniveau zunimmt.

Abbildung 8 beinhaltet zusätzlich die Bewertung der Kosten des Grundfutters. Werden die Kosten des Grundfutters trotz steigender Qualität konstant gehalten, dann nimmt der Kraftfuttereinsatz zunächst geringfügig ab, wie es in den Betrieben zu beobachten war (Walter et al., 2005). Mit

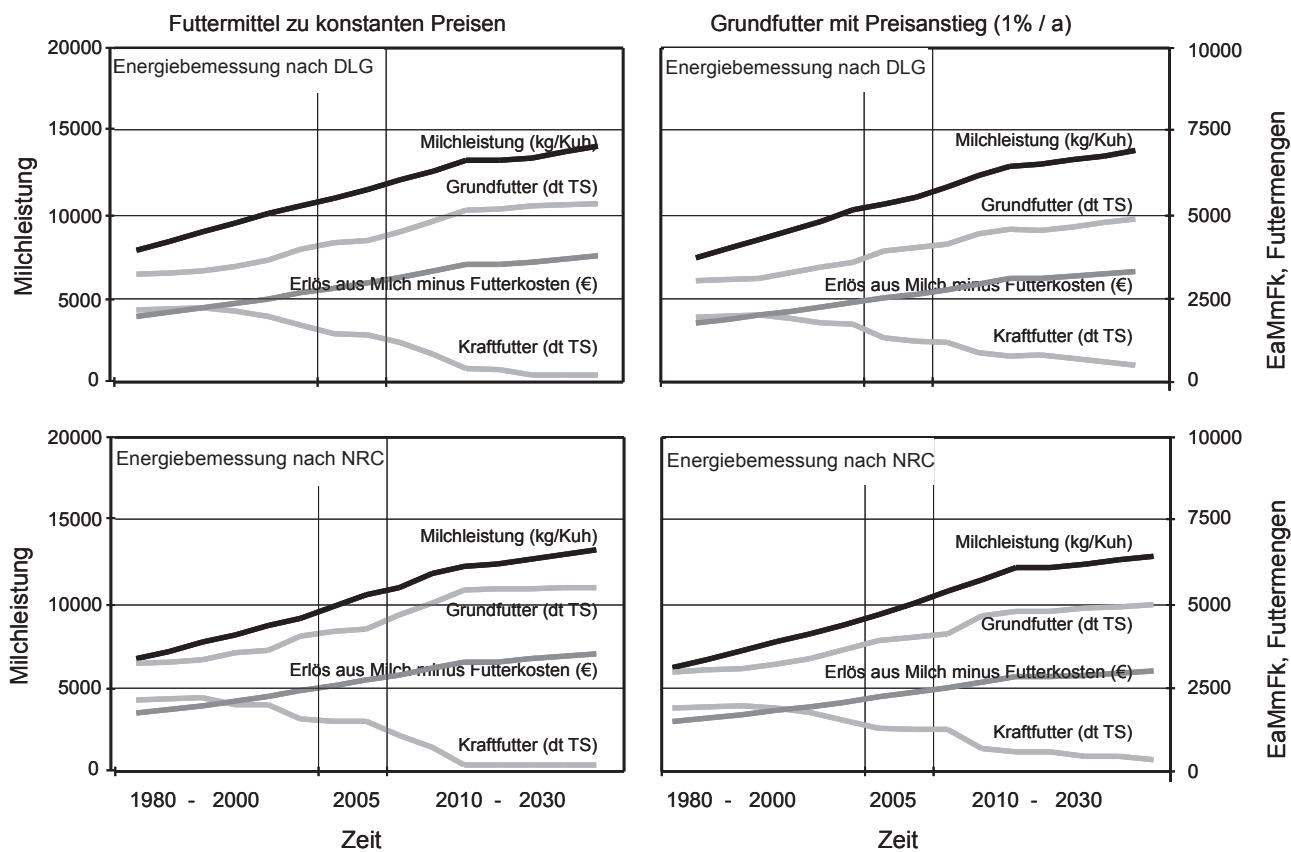


Abbildung 8:

Milchleistung, Futteraufnahme und Differenz aus Erlös für Milch minus Futterkosten je Kuh und Jahr, Milchkuh in 2. Laktation, Energiebemessung nach DLG bzw. NRC und Futteraufnahme nach Meinhold et al. (1976) jeweils bei konstanten und mit der Grundfutterqualität steigenden Grundfutterpreisen

¹³ Eine detaillierte Beschreibung der Ansätze zur Bestimmung der Futteraufnahme findet sich in der Programmbeschreibung (Walter, 2007).

dem hier unterstellten weitergehenden Qualitätszuwachs lässt sich der optimale Kraftfuttereinsatz in naher Zukunft halbieren und schließlich auf Null reduzieren (Abbildung 8, linke Teilgrafiken), wenn die Preise der Futtermittel gleich bleiben. Diese Entwicklung zeichnet sich sowohl für die Empfehlung zur Energie- und Nährstoffversorgung der DLG als auch des NRC ab. Die in den Abbildungen 3 und 4 dargestellte Entwicklung der Energiekonzentration begründet sich auf die eingesetzten "online" Kontrollen sowie Silierhilfsmittel und auf genetische Fortschritte bei den Futterpflanzen. Diese Positionen sprechen für steigende

Kosten, die in Abbildung 8 (rechte Teilgrafiken) kalkuliert werden. Im Einzelnen wird unterstellt, dass die Kosten der Gras- und Maissilage proportional zur Energiekonzentration mitwachsen. Erneut zeigt sich, dass unabhängig vom Energiebewertungs- und -bemessungssystem der Kraftfuttereinsatz im analysierten Zeitraum deutlich zurückgeht. Der geringe Vorteil für das wirtschaftseigene Futtergetreide geht bei einer Fortschreibung der Entwicklung jedoch schnell verloren. Diese Aussage kann aus den Stabilitätsbereichen der optimalen Rationen abgeleitet werden.

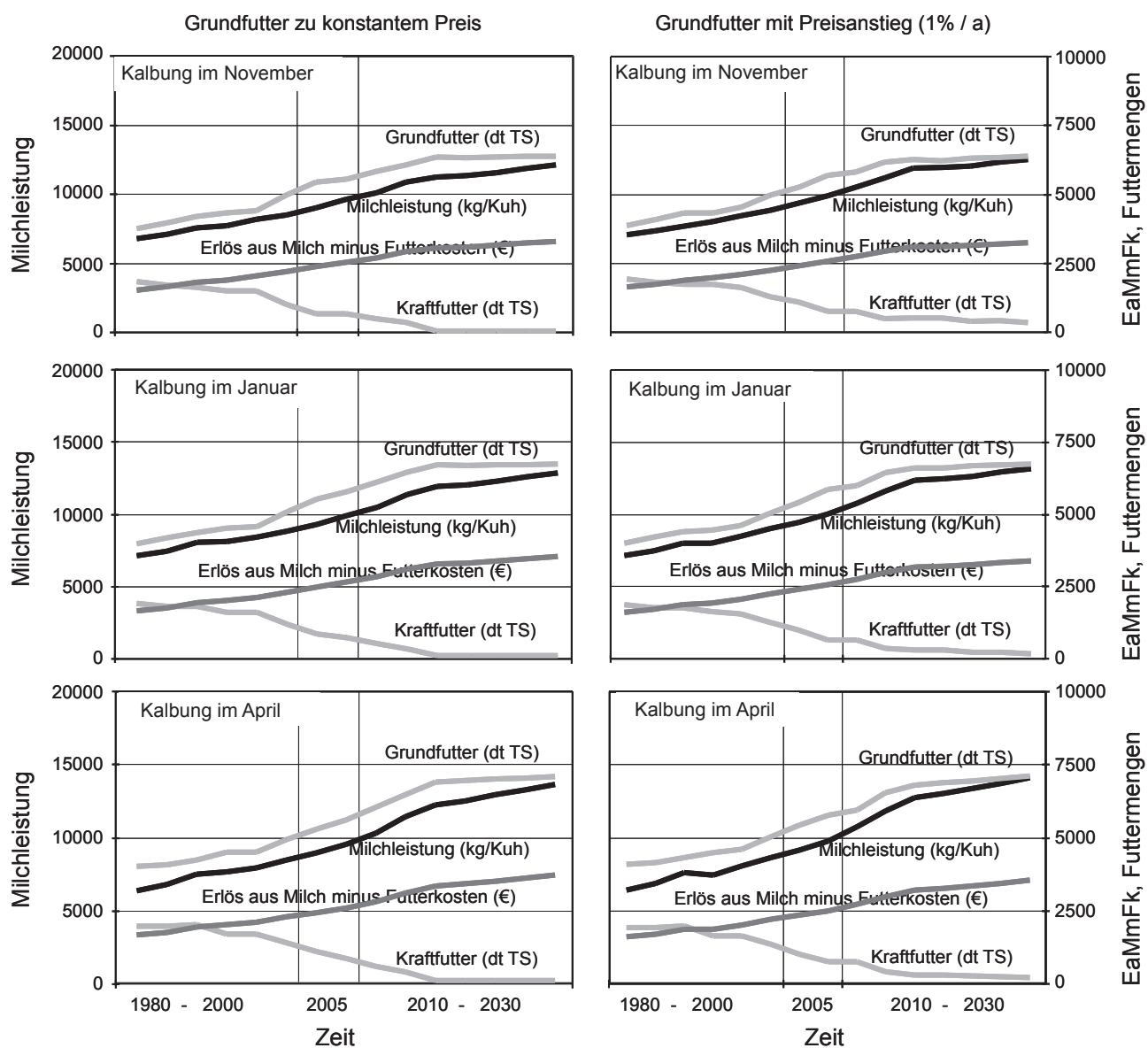


Abbildung 9:

Milchleistung, Futteraufnahme und Differenz aus Erlös für Milch minus Futterkosten je Kuh und Jahr bei steigender Grundfutterqualität für Milchkühe und Frischgrasverfütterung, Rationsberechnung nach NRC (2001) und Futteraufnahme nach Meinhold (1976)

3.3 Frischfutter

Da sich Weidegang bzw. die Verfütterung von frischem Gras im Vergleich zur Verfütterung von Grassilage als kostengünstiger erweisen kann, soll die Bedeutung steigender Qualitäten auch für diese Variante geprüft werden. Zimmer (1969) und Pahlow (2007) weisen nach, dass das Ausgangsprodukt Gras eine um 3 bis 5 % höhere Energie- und Nährstoffkonzentration aufweist als die Konserven, wenn der Gärprozess optimal verläuft. Daher wird auch für die Kalkulationen unterstellt, dass die Qualität von Frischgras die von Grassilage um 5 % übertrifft. Weiterhin wird die Zufütterung von Maissilage bis zu 25 % der gesamten Tro-

ckensubstanzaufnahme zugelassen, weil das schon heute in den norddeutschen Betrieben gängige Praxis ist und die duale Lösung der optimalen Rationen hohe Grenzwerte für ein Plus an Maissilage ausweisen.

Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse der Kalkulationen mit unterschiedlichen Preisen für Grundfutter und variierenden Kalbterminen.

3.4 Bedeutung der Zahl der Laktationen

Da sich eine Herde aus Kühen unterschiedlichen Alters zusammensetzt, ist speziell das Geschehen um die besonders sensiblen Erstkalbinnen von grundlegendem Interesse.

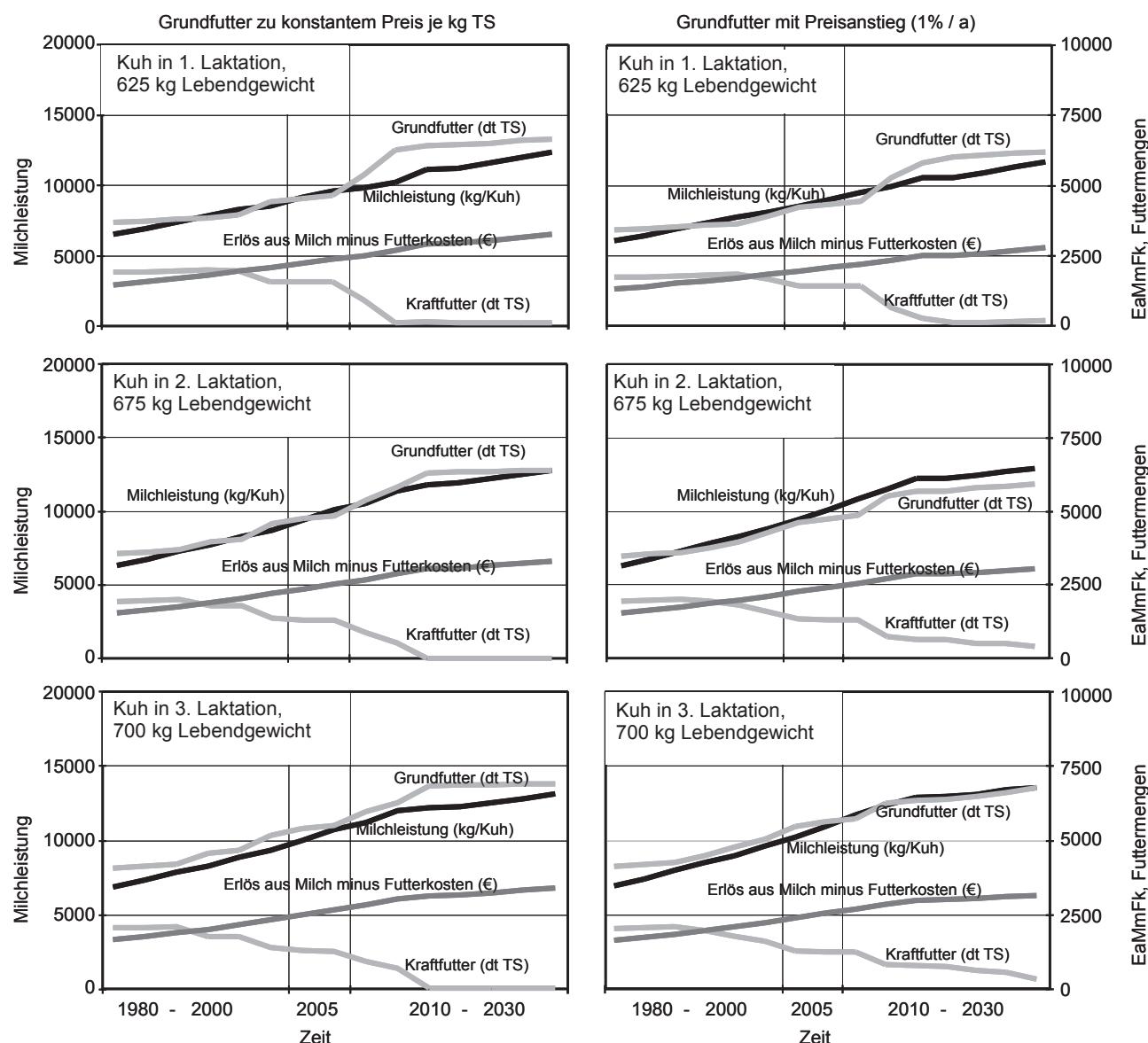


Abbildung 10:

Milchleistung, Futteraufnahme und Differenz aus Erlös für Milch minus Futterkosten je Kuh und Jahr bei steigender Grundfutterqualität für Milchkühe in 1., 2. und 3. Laktation, Rationsberechnung nach NRC (2001) und Futteraufnahme nach Meinhold (1976)

In Abbildung 9 wird die Entwicklung der wichtigsten Erfolgskennzahlen dargestellt. Die Bemessung des Energie- und Nährstoffbedarfs basiert im Folgenden ausschließlich auf den Empfehlungen des NRC (2001).

Die Milchleistung der Färsen steigt im Betrachtungszeitraum von 6.500 auf 12.000 bis 12.500 kg Milch bei konstanten (Abbildung 10, linke obere Teilgrafik) bzw. wachsenden Preisen (Abbildung 10, rechte obere Teilgrafik). In den Spitzengrößen und in der Simulation betrug der Kraftfuttereinsatz Anfang der 80er Jahre rd. 24 dt (22 dt TS). Dann nimmt Kraftfuttereinsatz ab, das zeigt sich sowohl in den Betrieben als auch in den Modellkalkulationen. Für die hier unterstellten weiter steigenden Futterqualitäten errechnen sich in naher Zukunft deutlich sinkende optimale Kraftfuttermengen, so dass der Kraftfuttereinsatz in den zukünftig folgenden 5 - Jahressperioden weiter abnehmen und schließlich enden wird. Dies geschieht unabhängig von der Preisentwicklung für Grundfutter (Abbildung 10, oberen beiden Teilgrafiken). Die maximal erzielbare Milchleistung der Färsen erreicht bei ansteigenden Grundfutterpreisen nur rd. 13.000 statt 13.500 kg. Die Futteraufnahme insgesamt wächst nur moderat, und es ist ein leichter Abfall in der Phase des Überganges zur Kraftfutterfreien Ration festzustellen. Diese im Vergleich zu den älteren Kühen ungünstigen Kennzahlen ergeben sich vorrangig aus dem geringeren Futteraufnahmevermögen und dem Energie- und Nährstoffbedarf für das Wachstum.

Die Kühe in 2. Laktation erreichen höhere Leistungen, Futteraufnahmen und DEmFk (Abbildung 10, mittleren beiden Teilgrafiken), die wiederum noch von den Älteren übertroffen werden. Die optimalen Rationen dieser Altersklassen sehen am Ende des Beobachtungszeitraumes in der Variante konstante Preise für Grundfutter kein Kraftfutter mehr vor, wohingegen bei steigenden Grundfutterpreisen noch rd. 5 dt Futtergetreide eingesetzt werden. Erneut zeigen die Stabilitätsbereiche, dass eine schwächere Preisprogression beim Grundfutter oder ein geringfügiger Preisanstieg des eingesetzten Futtergetreides zu reinen Grundfutterrationen führen würden.

Milchkühe mit drei und mehr Laktationen weisen die günstigsten Kennzahlen auf (Abbildung 10, unteren beiden Teilgrafiken), die Milchleistung erreicht nahezu 14.000 kg, die DEmFk übertrifft 3.000 € und der Einsatz von Kraftfutter reduziert sich früher. Damit zeigen diese Simulationen, dass ein höherer Anteil von Kühen mit drei und mehr Laktationen sich günstig auf die Erfolgskennzahlen der Herde auswirkt. Für Kühe mit mehr als 5 bis 6 Laktationen nennt Brade (2005) geringere Leistungen und Robinson (2007) abnehmende Futteraufnahmen, so dass die Aufwands- und Ertragsrelationen mit höherem Alter wieder ungünstiger ausfallen.

3.5 Bedeutung des Lebendgewichts

Das Lebendgewicht der Kuh steht in engem Zusammenhang mit der Futteraufnahmekapazität. Es entsteht die Frage, ob der zusätzliche Bedarf für Erhaltung diese höhere Futteraufnahme für sich in Anspruch nimmt oder ob ein Leistungszuwachs „erfüllt“ werden kann. Mittels Simulation lassen sich erste Antworten geben.

Die Diskussion der Ansätze zur Bestimmung der Futteraufnahme ergibt, dass die von Gruber (2006), Robinson (2006) und vom NRC (2001) entwickelten Schätzgleichungen nicht geeignet erscheinen, um dieses Problem zu lösen. Die Bestimmung der Futteraufnahme nach Meinhold (1976) geht gleichfalls vom metabolischen Körpergewicht aus und reagiert auf die Tagesleistung sowie die Grundfutterqualität mit wesentlich stärkerer Dämpfung. Dagegen wird dem Stand der Laktation unter Beachtung von Trächtigkeit und Dauer der Laktation größeres Gewicht beigemessen. Die in Abbildung 10 dargestellten Ergebnisse der Simulation basieren daher nur auf diesem Ansatz zur Bestimmung der Futteraufnahme.

In Abbildung 11 wird das Lebendgewicht¹⁴ für eine Kuh in 2. Laktation alternativ mit 575, 675, 775 und 875 kg festgelegt und mittels Simulation die Bedeutung steigender Grundfutterqualität analysiert. Im Einzelnen werden für konstante Futtermittelpreise und alternativ für steigende Grundfutterpreise die maximal erzielbare Milchleistung, die Erlös-Futterkostendifferenz sowie die Grund- und Kraftfutteraufnahme ausgewiesen.

Abbildung 11 zeigt eine mit dem Körpergewicht steigende maximal erzielbare Leistung, sowohl für die unterschiedlichen Preiskonstellationen als auch für die mit der Zeit ansteigende Grundfutterqualität. Am Beginn des Beobachtungszeitraumes weist das Simulationsprogramm eine um 500 bis 700 kg höhere Leistung je 100 kg zusätzlichem Körpergewicht aus. Zum Ende des Zeitraumes, also bei Einsatz der höchsten Grundfutterqualität, erreicht dieser gewichtsabhängige Leistungsunterschied gut 1.000 kg. Das führt zu folgenden Überlegungen:

- Wird es wegen der mit dem Gewicht steigenden Leistungen einen Trend zu größeren Kühen geben?
- Welche Kosten entstehen für größere Gebäude und Technik?
- Ist mit weniger aber größeren Kühen, die eine höhere Leistung bringen, die gleiche Quote mit geringeren fixen und variablen Kosten zu erfüllen?

¹⁴ Für jede Gewichtsklasse wird ein bcs von 3, also eine optimale Kondition, zu Beginn der Laktation unterstellt.

Größere Kühe erbringen höhere Leistungen und die Quote kann mit weniger Tieren ausgenutzt werden. Mit der Körpergröße verteuerzt sich die Aufzucht, erhöht sich der Erhaltungsbedarf und wächst der tierspezifische Platzbedarf. Die Wirtschaftlichkeit dieser Alternative der

Leistungssteigerung lässt sich nur mittels eines umfassenden Ansatzes lösen. Dafür sind u. a. die unterschiedlichen Baukosten der Ställe zu ermitteln, die für das jeweilige Lebendgewicht und die dazu gehörige Tierzahl zu konzipieren sind.

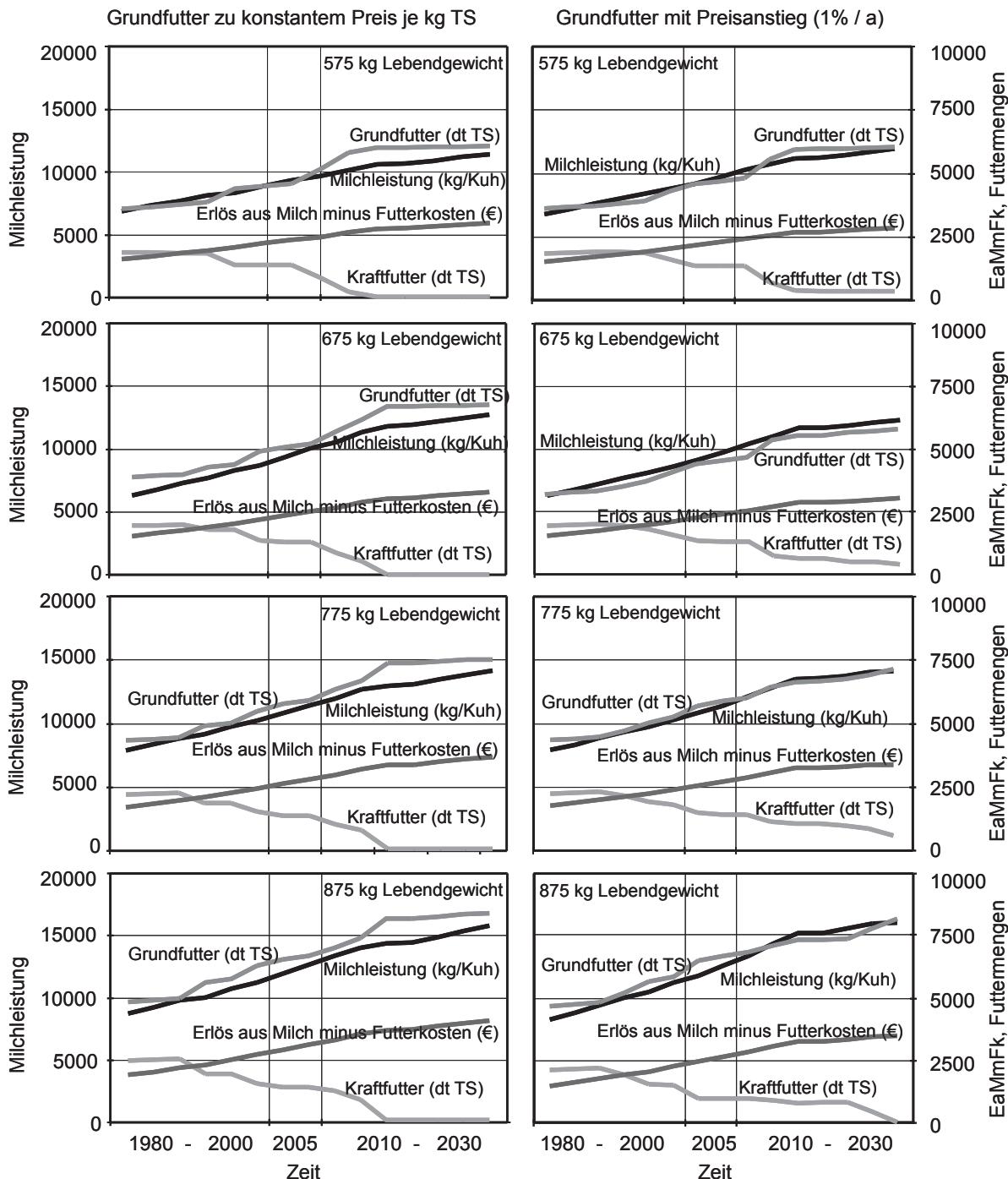


Abbildung 11:

Milchleistung, Futteraufnahme und Differenz aus Erlös für Milch minus Futterkosten je Kuh und Jahr bei steigender Grundfutterqualität für Milchkühe in 2. Laktation und unterschiedlichem Lebendgewicht

3.6 Bewertung der Trockensubstanzaufnahme, der Inhaltsstoffe und Milchleistung

Die Optimierung der Fütterung mittels „Linearer Programmierung“ (Danzig, 1963; Land et al., 1973) liefert nicht nur die bestmögliche Ration, sondern bewertet die Restriktionen, also die „Rechten Seiten“. Die Grenzwerte für Energie, Rohprotein, Trockensubstanzaufnahme, Mindestrohfasergehalt, Milchleistung etc. geben Aufschluss über die Knappheitsverhältnisse und bieten interessante Informationen für die Bewertung der hier anstehenden Fragen. Die Interpretation der in Abbildung 12 dargestellten Graphen orientiert sich am Marginalprinzip, siehe dazu Brandes (1969), Land (1973) oder auch Danzig (1963). Jeder Punkt des oberen Graphen stellt den Grenzwert¹⁵ der Trockensubstanzaufnahme in der optimalen Ration dar. Stark vereinfacht bedeutet der dem ersten Tag der Laktation zuzuordnende Wert von 59 Cent, dass eine Erhöhung der Trockensubstanzaufnahme von 1 kg den Zielfunktionswert um genau diese 59 Cent verbesserte. Da die optimale Lösung für diese Ration nur in engen Grenzen stabil ist, gilt diese Relation nur für den Stabilitätsbereich zwischen 16,21 bis 16,35 kg TS je Kuh und Tag.

Die Bewertung der Tagesleistung (zweitunterster Graph, Abbildung 12) erscheint auf den ersten Blick unlogisch, denn ein Plus bei der Tagesleistung führt nicht zu einem Zuwachs bei der Zielfunktion, der Differenz zwischen Erlös aus Milch abzüglich Futterkosten. Da sich die Kuh jedoch bis zum 165. Tag der Laktation im Nährstoffdefizit befindet, ließe eine höhere Leistung dieses Defizit anwachsen und den body condition score unter das Minimum¹⁶ sinken. Das Optimierungsmodell lässt daher nicht zu, dass einer höheren Tagesleistung ein positiver Beitrag zur Zielfunktion zugemessen wird. Nach dem 165. Tag brächte dagegen eine Erhöhung der Tagesleistung einen Zuwachs von 12 Cent je kg Mehrleistung, jedoch ist in diesem Stadium der Laktation eine Leistungserhöhung nicht mehr möglich.

An diesem 165. Tag der Laktation verringert sich auch der Grenzwert für die Futteraufnahme, denn ein Plus an Futter führt nicht zu einer Leistungssteigerung, sondern zu Luxuskonsum und damit zu geringeren Erlös - Kosten-differenzen. Zeitgleich sinkt der rationsinterne Wert für Energie, weil ein geringerer positiver Effekt¹⁷ auf die Zielfunktion ausgeübt werden kann. Gegen Ende der Laktation steigen die Grenzwerte für die Futteraufnahme und Energiekonzentration wieder geringfügig an, weil mit zu-

nehmender Trächtigkeit die Aufnahmekapazität abnimmt und somit die Rationsgestaltung erschwert.

In den bisher kalkulierten Konstellationen ist der Silomaisanteil auf 45 % und der Grassilageanteil aus dem 1. und 2. Schnitt auf 65 % der täglichen Trockenmasseaufnahme begrenzt. Die Grenzwerte zeigen, dass für Rohprotein kein Versorgungsgangpass errechnet wird, da Überschüsse auftreten. Der Grenzwert für Rohprotein beträgt daher Null. Das Rationsberechnungskonzept des NRC (2001) sieht jedoch für den Abbau von Eiweißüberschüssen einen geringen, aber spürbaren Energiebedarf vor, so dass die Optimierung einen negativen Grenzwert für Rohprotein errechnet (Abbildung 12).

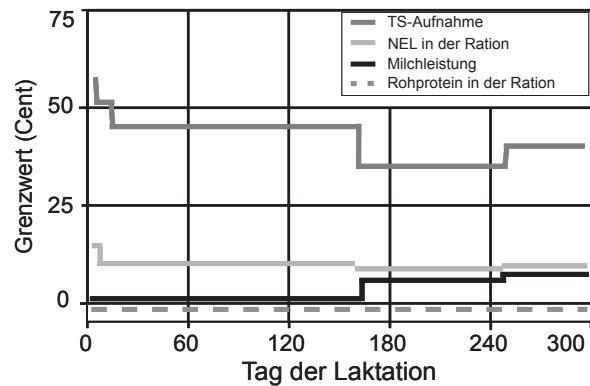


Abbildung 12:

Grenzwerte für Trockensubstanzaufnahme, Milchleistung, Energie und Eiweiß - Milchkuh mit 675 kg Lebendgewicht, 2. Laktation, Rationsberechnung nach NRC (2001) und Futteraufnahme nach Meinhold (1976)

3.7 Milchleistung und unterschiedliche Mais- und Grassilageanteile

Die Abbildungen 1 und 2, sowie 3 im Vergleich zu 4 zeigen die Energie- und Nährstoffkonzentration der Gras- und Maissilage. Da die Maissilage eine höhere Energiekonzentration aufweist als die Grassilage und diese wiederum das Niveau der maximal erzielbaren Milchleistung bestimmt, wird in Abbildung 13 der Maisanteil variiert, um dessen Bedeutung für das maximal erzielbare Leistungsniveau zu kalkulieren. Bei einem Maisanteil von unter 5 % wurde im Zeitraum 1980 bis 85 eine Höchstleistung von rd. 7.000 bis 7.500 kg Milch erzielt, „heute“ (Abbildung 13) liegt die maximale Leistung bei 9.000 bis 10.000 kg und wird am Ende des Beobachtungszeitraumes etwa 12.000 kg Milch erreichen. Wird der Maisanteil um 10 % erhöht, dann lässt sich die Maximalleistung um weitere 600 kg anheben. Steigt der Maisanteil über 75 %, nutzt die Rationsoptimierung diese Möglichkeit nicht, weil eine Ergänzung mit eiweißreichen (Kraft)Futtermitteln erforderlich wird.

¹⁵ Es handelt sich dabei um den Wert der Gleichung in der dualen Lösung.

¹⁶ Der minimal zulässige body condition score beträgt hier 1.

¹⁷ Die Tagesleistung nimmt wegen der Trächtigkeit ab und kann nicht angehoben werden.

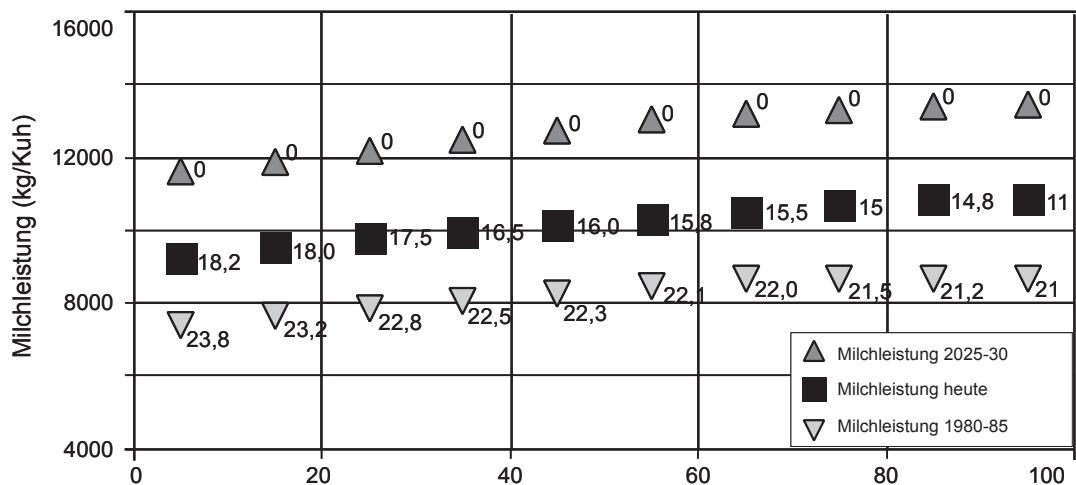


Abbildung 13:

Maximal erzielbare Milchleistung bei unterschiedlichem Maisanteil sowie Kraftfuttermenge (dt TS je Jahr), Milchkuh mit 675 kg Lebendgewicht, in 2. Laktation, Rationsberechnung nach NRC (2001) und Futteraufnahme nach Meinhold (1976)

In Abbildung 13 werden neben den auf den Zeitraum bezogenen Höchstleistungen die mittels Rationsoptimierung kalkulierten Kraftfuttermengen (dt TS je Jahr) ausgewiesen, wenn auf der Basis konstanter Preise für alle Futtermittel kalkuliert wird. Für die Alternative „um 1 % steigende Grundfutterpreise“ errechnen sich für den Zeitraum „heute“ um 2 bis 3 dt höhere Kraftfuttermengen, für das Ende des Betrachtungszeitraums, also für die 5 - Jahresperiode 2025 bis 2030, Futtergetreidemengen von 4 bis 6 dt je Kuh und Jahr.

Damit stellt sich die Frage nach den (Grund)Futtermitteln, die nicht in diese Analyse einbezogen worden sind. Die Milchvieh haltenden Betriebe in Norddeutschland (Walter, 1996) verfüttern zwar hauptsächlich Gras, Grassilagen und Silomais, setzen daneben Zwischenfrüchte, Kleegras, aber auch Nebenprodukte der Lebensmittelindustrie wie Treber, Trester, Pressschnitzel, Nachprodukte der Ölherstellung etc. ein. Für die aufgeführten Futtermittel gilt, dass sie nur dann konkurrenzfähig bleiben, wenn ihre Qualität eine ähnliche Entwicklung nimmt wie Gras- und Maissilage. Ergänzende Kalkulationen zeigen, dass diese Nebenprodukte der Lebensmittelindustrie einen Qualitätsvergleich mit Gras- und Maissilage Stand halten müssen, um in optimierte Rationen zu gelangen. Gelingt das nicht, so könnten selbst deutliche Preisabschläge dieses Manko nicht wettmachen.

3.8 Variation der Grundfutterpreise

Die Energiekonzentration und die Preise erweisen sich als wichtige Kriterien für die Konkurrenzkraft eines Futtermittels, das zeigen die Grenzwerte (Abbildung 12). Daher sind die Kosten je Energieeinheit (MJ NEL) vergleichend zu

bewerten. Bei konstanten Preisen werden Milchviehmischfutter und Futtergerste stets mit 24,5 bzw. 22 Cent je 10 MJ NEL, Gras- und Maissilage mit 23 und 24,5 Cent je 10 MJ NEL in Ansatz gebracht. Abbildung 14 zeigt die zur Alternative „Grundfutterpreise wachsen proportional zur Energiekonzentration¹⁸“ gehörenden Preise.

Die hier unterstellte Entwicklung der Grundfutterpreise von 1980 bis heute entspricht nur bedingt den tatsächlichen betrieblichen Preis- und Kostenkonstellationen, weil mit der Reform der Agrarpreise Anfang der 90er Jahre ein rapider Verfall der Getreide- und damit auch der Milchviehmischfutterpreise verbunden war. Dieser Preisverfall kann zwar problemlos vom SMP bewertet werden, er führt jedoch zu deutlichen Modifikationen, die die Ergebnisse zusätzlich zum Einfluss der Qualitätsentwicklung prägen. Daher wird dem linearen Trend der Vorzug gegeben.

Um die Konstellationen um Preis und Qualität transparenter zu gestalten, werden für den Beginn, für die 5 – Jahresperiode 2005 und für das Ende des Beobachtungszeitraumes die Preisrelationen variiert. Daraus lassen sich zusätzliche Informationen für die beiden Bestimmungsgrößen und die Stabilität der bisher diskutierten Ergebnisse ableiten.

¹⁸ Die Preise steigen um rd. 1 % je Jahr. Dabei ist die 5 – Jahresperiode um 2005 der Zeitraum mit ausgeglichenem Preisniveau (Abbildung 14). Helmers (2005) und die dort zitierten Kostenerhebungen der Beratungsringe und Kammern gelangen stets zu vergleichbaren variablen und fixen Kosten der Futterproduktion.

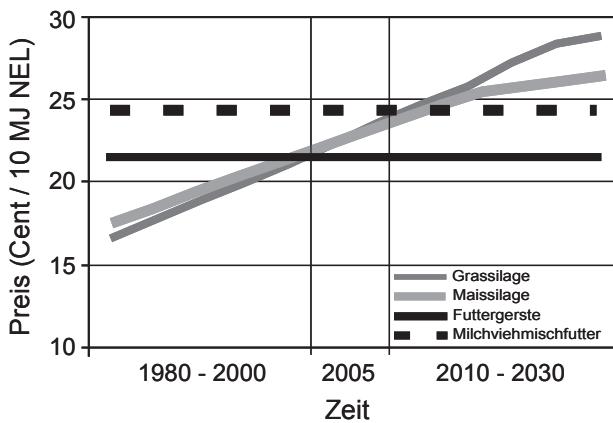


Abbildung 14:

Entwicklung der Futtermittelpreise (Cent je 10 MJ NEL) in der Variante „mit der Qualität steigende Preise“

Die obere Teilgrafik in Abbildung 15 zeigt, dass für die 5 – Jahresperiode um 1980 eine Veränderung der Preisrelationen von Grund- zu Kraftfutter keine Modifikation der eingesetzten Futtermengen zur Folge hat, wenn die Höchstleistung angestrebt wird. Die geringe Nährstoffkonzentration im Grundfutter macht aus physiologischer Sicht den gerade noch akzeptablen höchstmöglichen Kraftfuttereinsatz notwendig, um die Höchstleistungen zu erzielen. Das entspricht den betrieblichen Bedingungen dieser Zeit, als die Energiekonzentration in Heu bzw. Grassilage nur etwa 60 bis 70 % der Werte im Kraftfutter erreichten. Da die Milchpreise im Vergleich zu den Futterkosten hoch ausfielen, war die Gewinnmaximierung einer Leistungsausschöpfung gleich zu setzen, die weitgehend unabhängig von den Preisrelationen der Futtermittel mit einer einheitlichen Aufwandsstruktur erreicht wurde.

Derzeit weisen Grund- und Kraftfutter etwa gleiche Preise je Energieeinheit auf. Da sich die Energiekonzentration im Grundfutter bis auf 20 bis 10 Prozentpunkte an die des Kraftfutters annäherte, führt die Variation der Preisrelation zu Veränderungen der optimalen Einsatzmengen von Grund- und Kraftfutter, wenn die Höchstleistung erzielt werden soll. Solange Grundfutter preiswerter ist, sind geringe Kraftfuttermengen günstig, wird aber die Energieeinheit im Grundfutter teurer als im Kraftfutter, beginnt die Abkehr vom Ziel des maximalen Grundfuttereinsatzes. Erst wenn die Energie im Grundfutter um mehr als 50 % teurer ausfällt, wird nach der alten Regel aus den 80er Jahren gefüttert, allerdings mit dem Nebeneffekt einer abnehmenden Maximalleistung.

Werden dagegen die für das Ende des Beobachtungszeitraumes prognostizierten höchsten Futterqualitäten unterstellt, dann führt die Preisvariation zu deutlich veränderten Strukturen bei den optimalen Futtermengen. Weil die Energiekonzentrationen von Grund- und Kraftfutter in

etwa gleich hoch sind, gewinnen die Preise an Bedeutung und die Relation der Futtermittelpreise entscheidet stärker als zuvor über das optimale Einsatzniveau einzelner Komponenten in der Fütterung.

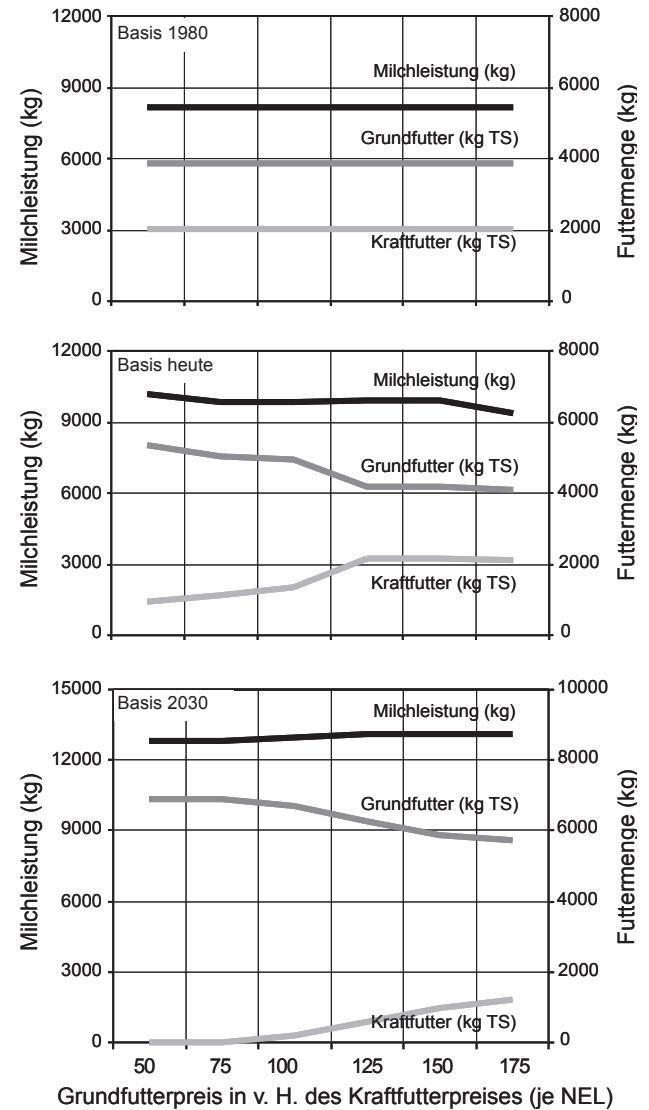


Abbildung 15:

Die Bedeutung unterschiedlicher Preisrelationen von Grund- zu Kraftfutter für die Milchleistung und die eingesetzten Futtermengen für die erste, mittlere und letzte 5 – Jahresperiode

Abbildung 15 (untere Teilgrafik) weist für Preisrelationen unter 100 % keinen Kraftfuttereinsatz aus. Erst wenn der Grundfutterpreis den von Kraftfutter um 50 bis 75 % übertrifft, enthalten die optimierten Rationen insgesamt 10 bis 12 dt Kraftfutter je Zwischenkalbezeit. Die DEMFk nimmt mit den steigenden Grundfutterkosten ab, auch wenn ein geringfügiger Leistungsanstieg zu verzeichnen ist.

4 Bewertung

Spitzenbetriebe erreichen im Vergleich zu Herden der Forschung gut 3.000 kg höhere Herdenleistungen. Daher erweist sich die Simulation als die einzige Alternative, um für diese Betriebsgruppe und die Politik Hinweise für die zukünftige Fütterung und Haltung von Milchvieh geben zu können. Zwar kann damit die Zukunft nicht treffsicher vorhergesagt werden, aber die wichtigsten Tendenzen lassen sich auf der Basis von den als gesichert anzusehenden, grundsätzlichen Beziehungen ableiten.

Die Fortschreibung der bisherigen Entwicklung der Grundfutterqualität inklusive eines durch „online“ Messanalytik erzielbaren zusätzlichen technischen Fortschritts führt in Kombination mit einem für Hochleistungskühe ausgelegten ganzheitlichen Fütterungskonzept zu einem neuen Milchviehhaltungsverfahren.

In diesem Beitrag wird die von norddeutschen Betrieben in den letzten 20 Jahren erzielte Verbesserung der Grundfutterqualität dargestellt und in die Zukunft fortgeschrieben. Die zurzeit in der Entwicklung befindliche „online“ Grundfutteranalytik mittels NIR ermöglicht eine genaue Kontrolle und damit eine verbesserte Futterproduktion. Am Ende der Entwicklung steht den Milchvieh haltenden Betrieben ein echtes System des „precision farming and husbandry“ zur Verfügung.

Alle Vorschätzungen führen zu der Erwartung, dass in den nächsten Dekaden Durchschnittsleistungen von 12.500 und 15.000 kg Milch je Kuh und Jahr erreicht werden, das wäre ein Anstieg von 50 % bis 75 %. Das hat zur Folge, dass die Zahl der Milchkühe und der aufzuziehenden Jungtiere zurückgeht. Das reduziert den Futterverbrauch und damit auch den Futterflächenbedarf. Da in der Zukunft Milchviehmischfutter kaum noch konkurrenzfähig sein und gleichzeitig auch der Einsatz von wirtschaftseigenem Futtergetreide zurückgehen wird, sinkt der Bedarf an Futtergetreide. Die frei werdenden Flächen bieten sich für den Anbau von Brotgetreide oder Energiepflanzen an. Für das Grünland zeichnet sich eine zweigleisige Entwicklung ab, denn nur die Flächen bleiben in Bewirtschaftung, auf denen sich die erforderlichen Qualitäten erzeugen lassen. Das minderwertige Grünland verliert für die Milchproduktion an Bedeutung.

Kraftfutter bzw. Milchviehmischfutter wird bei den zu erwartenden weiter steigenden Energie- und Nährstoffkonzentrationen im Grundfutter zunehmend an Bedeutung verlieren und schließlich aus der Rationsgestaltung verdrängt. Das führt zu Ställen ohne Kraftfutterlager und -dosiertechnik. Dagegen muss der Lagerraum für Grundfutter entsprechend größer bemessen werden und unterliegt zusätzlichen Anforderungen. Die Verfahren zur Entnahme und Vorlage von Grundfutter sind zu überdenken und neu zu konzipieren.

Die in diesem Beitrag als gegeben vorausgesetzte Versorgung mit Vitaminen und Mineralstoffen ist entsprechend den Gehalten im (Grund)Futter und den Anforderungen der Kuh zu sichern. Dabei bieten die vom NRC (2001) entwickelten Versorgungsempfehlungen eine gute Grundlage für die Berechnung der erforderlichen Mengen bzw. Anteile.

Als weitere Konsequenz ergibt sich eine Betriebsform, die weniger Vorleistungen kaufen muss und daher einem geschlossenen Stoffkreislauf näher kommt. Mit Kraftfutter freien Rationen werden weniger „fremde“¹⁹ Stoffe in den Betrieb geschleust, so dass Energie- und Nährstoffbilanzen wesentlich günstiger ausfallen. Damit rücken die konventionelle und ökologische Milchproduktion nah aneinander und sind unter diesem Aspekt kaum noch zu unterscheiden.

Für den Futterbau und die Milchviehhaltung bieten sich neue Möglichkeiten. Zu der online Bewertung des Futters gehört eine entsprechend genaue Futterapplikation, als wichtigem Baustein eines neu zu konzipierenden Milchviehhaltungssystems.

Die sich abzeichnenden Veränderungen bedeuten:

- Die Absatzchancen der Mischfutterindustrie sinken.
- Die Nachfrage nach Nebenprodukten der Nahrungsmittelindustrie geht zurück.
- Der Rindviehbestand nimmt deutlich ab und damit reduzieren sich auch die den Rindern angelasteten Umweltschädigungen.
- Der innerbetriebliche Wert von leistungsfähigem Grünland steigt deutlich, der von schwachen Flächen sinkt.
- Der Bedarf an Futterflächen sinkt.

Die Ergebnisse zeigen, dass steigende Qualitäten des Grundfutters trotz höherer Kosten wirtschaftlich sind. Das hat vorrangig zwei Gründe: Kraftfutter wird aus der Ration verdrängt und bessere Futterqualitäten erschließen neue Leistungsbereiche, die sich wiederum positiv auf die Aufwands- und Ertragsrelationen auswirken.

Literatur

- BLE (2007) [online]. Zu finden in <http://www.ble.de/data/000ED77307_E815A6872D6521C0A8D816.0.pdf>
 Brade W (2005) Rinderhaltung und Milcherzeugung. Landbauforsch Völkerode SH 289:1-13
 Brandes W, Woermann E (1969) Landwirtschaftliche Betriebslehre : Bd. 1, allgemeiner Teil ; Theorie und Planung des landwirtschaftlichen Betriebes. Hamburg : Parey, 234 p
 Danzig GB (1963) Linear programming and extensions. Princeton : Princeton Univ Pr, 625 p

¹⁹ Bei einer Fütterung ohne Kraftfutter wäre BSE nicht zum Problem geworden.

- DLG (2007) Fachtagung "Neue Herausforderungen in der Nutztierfütterung" Feed - Food - Fuel - Fiber : öffentliche Fachtagung im Forum der FAL, Braunschweig, 26. 06. 07
- DLG (2006) DLG-Qualitätstest 2005 : Ergebnisse für Mischfutter : Kraft- und Mineraffutter : akkreditiert nach DIN EN 45.011. Groß-Umstadt : DLG
- DLG (1991 ff) Futterwerttabellen der DLG : Wiederkäuer. Frankfurt a M : DLG Verl
- Drackley JK (2005) Fütterung und Management der Milchkuh im peripartalen Zeitraum [online]. Zu finden in <<http://www.dr-pieper.com/file/89.pdf>> [zitiert am 11.06.2008]
- Evans E (2003) Auswirkungen von Stoffwechselstörungen auf die Fruchtbarkeit [online]. Zu finden in <<http://www.dr-pieper.com/file/66.pdf>> [zitiert am 11.06.2008]
- Helmers M (2005) Optimierungsstrategien zur ökonomischen Bewertung von Grundfutter. Osnabrück : Fachhochschule
- IFCN (2007) [online] Zu finden in <<http://www.ifcnetwork.org>> [zitiert am 10.06.2008]
- Isermeyer F (ed) (2002) Milchproduktion 2025 : Vortragstagung im Forum der FAL am 5. März 2002, gemeinsam veranstaltet von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) und der Gesellschaft der Freunde der FAL. Braunschweig : FAL, 103 p, Landbauforsch Völkenrode SH 242
- LKV Weser-Ems (2006) Jahresbericht 2005 [online]. Zu finden in <<http://www.lkv-we.de>>
- LKV Weser-Ems (2007) Jahresabschluss 2007 : Zusammenstellung nach Landeskontrollverbänden [online]. Zu finden in <http://www.lkv-we.de/Leistungen_2007.html> [zitiert am 11.06.2008]
- LKV Schleswig - Holstein (2006) Die Leistungsergebnisse des Prüfjahres 2006 [online]. Zu finden in <<http://www.lkv-sh.de/uploads/media/Jahresbericht2006.pdf>> [zitiert am 10.06.2008]
- Lüpping W (2007) Futterrationen und Fütterungsstrategien der Zukunft - Rinderhaltung. DLG Fachtagung "Neue Herausforderungen in der Nutztierfütterung" Feed - Food - Fuel - Fiber : öffentliche Fachtagung im Forum der FAL, Braunschweig, 26.06.07
- Land AH, Powell S (1973) Fortran codes for mathematical programming : linear, quadratic and discrete. London : Wiley, 249 p
- Lomborg B (2002) Apocalypse no! : Wie sich die menschlichen Lebensgrundlagen wirklich entwickeln. Lüneburg : zu Klampen, 556 p
- Meinholt K, Rosegger S, Schlüßen D, Walter K (1976) Die Futterkosten bei unterschiedlichen Methoden der Rationsermittlung und -bemessung für Milchkuhe. Landbauforsch Völkenrode SH 35:131-190
- NIR (2007) NIR Spectroscopy in Agricultural Environments : Conferenc at FAL, Braunschweig 12/13 June 2007
- NIRS (2004) Workshop : NIRS-Harvest-Line-Konzept, FAL Braunschweig, 12.01.04
- NRC (2001) Nutrition requirements of dairy cattle. Washington, DC : National Academy Pr
- Durbal V (2001) NRC dairy cattle program computations. In: Nutrition requirements of dairy cattle. Washington, DC : National Academy Pr
- Pahlow G (2007) Biologische und chemische Siliermittel. Persönliche Mitteilung vom 29.10.2007
- Pieper B (ed) Tagungsbericht 1998 bis 2006 : 1. bis 10. Symposium zu „Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen“
- Rinder-Report 1979 bis 2001, Betriebswirtschaftliche Mitteilungen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
- Rinderspezialberatung der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (2003) Einzelbetriebliche Daten aus ca. 1600 Betrieben der Jahre 1995 bis 2001. Mit freundlicher Genehmigung der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein vom 30. 06. 2003
- Robinson PH (2006) Excel Spreadsheets : PredDMI.xls, NRGREQ.xls [online]. Zu finden in <<http://animalscience.ucdavis.edu/faculty/robinson/Excel/default.htm>> [zitiert am 10.06.2008]
- Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, mehrere Jahrgänge. Münster-Hiltrup : Landwirtschaftsverl
- Thünen JH von (1842) Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie : Neudruck nach der Ausgabe letzter Hand (vierte, unveränderte Auflage). Stuttgart : Fischer
- Walter K (1976) Zur Frage einer periodisch begrenzten Über- und Unterversorgung von Milchkühen und ihrer Auswirkung auf die Futterkosten. Landbauforsch Völkenrode SH 35:64-88
- Walter K, Heinrich I, Böckmann U (1998) Entwicklung des Einsatzes und der Preise von Grund- und Kraftfutter in der Rinderhaltung : 20 Jahre „Arbeitskreis Forschung und Praxis“ in der FAL. Ber Landwirtsch 76(1):87–104
- Walter K, Heinrich I (2003) Die Entwicklung der Milchleistung, ihre einzelbetrieblichen Voraussetzungen und Antriebskräfte : ermittelt aus Daten norddeutscher Betriebe mit intensiver Milchviehhaltung. Ber Landwirtsch 81(3):346-373
- Walter K (2004) Analyse der Beziehung zwischen den Kosten für Tierarzt und Medikamente in der Milchviehhaltung und der Produktionstechnik, dem Futterbau, der Arbeitswirtschaft sowie der Faktorausstattung ausgewählter norddeutscher Betriebe. Braunschweig : FAL, 180 p, Landbauforsch Völkenrode SH 270
- Walter K, Bockisch F-J, Ohrtmann J, Thomsen J (2005) Entwicklung der Milchleistung, des Kraftfuttereinsatzes und der Grundfutterqualität. Landbauforsch Völkenrode 55(2):119-126
- Walter K (2007) Das Simulationsprogramm „Milchproduktion der Zukunft“ – methodischer Ansatz und Realisierung : Version 1. Braunschweig : FAL, 64 p, Ber Inst Betriebstech Bauforsch 390
- Zimmer E (1969) Biochemische Grundlagen der Einsäuerung. In: Crop conservation and grassland : proceedings of the 3rd General Meeting of the European Grassland Federation. Frankfurt a M : DLG, pp 113-125

Solubility of uranium in fertilizers

Mohammad Heshmati Rafsanjani*, **, Sylvia Kratz**, Jürgen Fleckenstein** and Ewald Schnug**

Abstract

Several extractants listed by the European fertilizer ordinance for assessing P solubility were tested in this study for their suitability to assess U solubility in P containing fertilizers, including aqua regia (AR), 2 % formic acid (FA), 2 % citric acid (CA), neutral ammonium citrate (NAC), alkaline ammonium citrate (AAC), and water. The sample set consisted of 35 samples, including straight P fertilizers, compound fertilizers, organo-mineral fertilizers, and phosphate rocks. A significant correlation was found for each two extractants for uranium solubility, except for aqua regia with water and alkaline ammonium citrate (at the 0.01 level). The highest mean solubility of uranium, (both total and relative), after aqua regia, was found in 2 % citric acid, except for straight P fertilizers, where AAC was the strongest extractant. The lowest soluble uranium fraction in all groups was also in water, its mean varying from 2.6 % of total uranium in phosphate rocks to 16.8 % in straight P fertilizers. The relative solubilities (i.e. referred to AR) in CA, AR, and water were significantly different from each other as well as from relative solubility in NAC, FA, and AAC (at the 0.05 level). However, there were no significant differences between the relative solubilities in NAC, FA, and AAC. The results of this study showed that uranium solubility in P containing fertilizers changes according to kind of extractant and type of P containing fertilizer. It was concluded that the tested extractants may be suitable to assess the maximum potential amount of U that will be released from the various fertilizers. In order to evaluate the suitability of the various extraction methods for estimating the amount of potentially plant available uranium, future studies should investigate the relationship between the solubility of fertilizer derived U in a chemical extractant and its plant uptake (bio response).

Keywords: Fertilizer, phosphate, solubility, uranium

Zusammenfassung

Löslichkeit von Uran aus Düngemitteln

In der EU-Düngemittelverordnung zur Beschreibung der P-Löslichkeit gelistete chemische Extraktionsmethoden wurden auf ihre Brauchbarkeit zur Einschätzung der Löslichkeit von Uran aus P-haltigen Düngemitteln untersucht, darunter Mineralsäure (Königswasser, AR), 2 %ige Ameisensäure (FA), 2 %ige Zitronensäure (CA), neutrales (NAC) und alkalisches (AAC) Ammoniumcitrat sowie Wasser. Analysiert wurden 35 verschiedene Düngemitteltypen (Rohphosphate, reine P-, Mehrnährstoff- und organisch-mineralische Dünger). Zwischen den mit unterschiedlichen Extraktionsmitteln löslichen Uranfraktionen bestanden signifikante paarweise Korrelationen ($p<0.01$), eine Ausnahme bildeten lediglich die Paare AR / Wasser und AR / AAC. Im Mittel fand sich die höchste (relative und absolute) Uranlöslichkeit in 2 %iger CA (nach AR), nur bei reinen P-Düngern erwies sich AAC als stärkstes Extraktionsmittel. Wasser extrahierte in allen Düngern den niedrigsten Urananteil, mit mittleren relativen Löslichkeiten von 2.6 % (Rohphosphate) bis zu 16.8 % (reine P-Dünger). Die relativen Löslichkeiten (Bezug: AR) in CA, AR und Wasser unterschieden sich sowohl voneinander als auch von denen in NAC und AAC sowie in FA signifikant ($p<0.05$). Zwischen den 3 letztgenannten Extraktionsmitteln bestanden keine signifikanten Unterschiede. Die Ergebnisse zeigen, dass die Löslichkeit von Uran aus P-haltigen Düngern in Abhängigkeit von Düngemitteltyp und Extraktionsmittel variiert. Die getesteten Extraktionsmittel sind offenbar geeignet, den löslichen Urananteil aus verschiedenen P-haltigen Düngern einzuschätzen. Um darüber hinaus auch Schlüsse auf den potentiell pflanzenverfügbaren Urangehalt ziehen zu können, sollten künftige Untersuchungen sich auf die Beziehung zwischen chemischer Löslichkeit düngemittelbürigen Urans und dessen tatsächlicher Aufnahme durch die Pflanze ("bio response") konzentrieren.

Schlüsselwörter: Düngemittel, Extraktionsmittel, Löslichkeit, Phosphat, Uran

* Soil Science Department, Agricultural Faculty, Vali-e-Asr University, 7713936417 Rafsanjan, Iran

** Institute of Crop and Soil Science, Federal Research Center for Cultivated Plants, Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig, Germany, Email: pb@jki.bund.de

Introduction

Uranium is the heaviest naturally occurring radionuclide in the environment, which is known for both its radio-toxicity and chemical toxicity. For most radionuclides of the U-series, radiological dose is more important than chemical dose for human health, but for uranium itself, chemical toxicity supersedes radiological dose (Sheppard *et al.*, 2005). Knowledge about distribution and transfer of uranium in the soil-water-plant system, especially in agricultural and plant production, is necessary to decrease its effect on public health (Takeda *et al.*, 2006).

Uranium can be loaded onto agricultural soils by applying phosphorous sources. Phosphate fertilizers or phosphate rocks are used in all types of farming fields to supply phosphorus for the growing plants. Phosphate rocks, as a direct application or original source for producing the phosphate fertilizers, may contain considerable amounts of uranium (Romero Guzman *et al.*, 1995; Kratz and Schnug, 2006; Rothbaum *et al.*, 1979; Makweba and Holm, 1993; Takeda *et al.*, 2006). Uranium contents vary according to geographical origin from less than 10 up to more than 200 mg kg⁻¹ (Kratz *et al.*, 2008). In general, the U content in sedimentary phosphate rocks is higher than in igneous phosphate rocks. The uranium content in mineral phosphate fertilizers is also considerable, and it is related to phosphate content and origin of phosphate rock as initial P source. The uranium contents of the Minjingu ground phosphate rock, triple super phosphate, and simple super phosphate are as high as 377, 571, and 315 mg/kg respectively (Makweba and Holm, 1993). Based on a world wide literature survey, Kratz and Schnug (2006) reported mean uranium concentrations of 6 to 146 mg kg⁻¹ in different types of phosphate containing mineral fertilizers and less than 2.2 mg kg⁻¹ in mineral fertilizers without phosphorus.

An increase of uranium concentration in topsoil of fields with long applied fertilizers has been reported by several authors (Takeda *et al.*, 2006; Makweba and Holm, 1993), while others found no changes in uranium concentration in the field soil over 82 years with applied rock phosphate and P fertilizers (Jones, 1992). It may be assumed that the fertilizer-derived uranium was either leached from the soil or taken up by plants. It has been repeatedly reported that uranium uptake is positively affected by uranium concentration in contaminated soils or nutrient solution (Lamas, 2005; Rivas, 2005; Vandenhove, 2002; Environment Canada, 2002; Meyer *et al.*, 2004; Gulati *et al.*, 1980; Eapen *et al.*, 2003). Laroche *et al.* (2005) also reported a linear relationship between total uranium concentration in the hydroponics solution and total uranium in the roots of *Phaseolus vulgaris*. Uranium concentrations in harvested products are usually found to be very low or non detectable. However,

any increase in soil uranium content may cause higher uranium content in crops and then enter the human food chain in the long run. On the other hand, plant uptake of uranium depends on several factors, including factors related to the plants themselves as well as those related to the solubility and plant availability of uranium in the soil and in the fertilizers put onto the soil. In order to investigate the latter, a study was undertaken to find a chemical extraction method which is suited to describe the solubility of fertilizer-derived uranium.

Material and methods

Different types of phosphorus containing fertilizers including straight P fertilizers (SPF), compound fertilizers (CF), organo-mineral fertilizers (OMF) and phosphate rocks (PR) were selected and extracted with commonly used extractants to assess P solubility of fertilizers according to the German and European Fertilizer Ordinances: 2 % formic acid (2 % FA), 2 % citric acid (2 % CA), neutral ammonium citrate (NAC), alkaline ammonium citrate (AAC), and the water (in equilibrium with air CO₂, and at ambient temperature). Samples were oven-dried 24 h at 40°C for 24 h, and then ground with a vibrating disc mill (Retsch RS100) with a zirconia grinding set. In all extraction and dilution steps, twofold deionized water was used. Inductively Coupled Plasma-Quadrupole Mass Spectroscopy (ICP-QMS) was used for the uranium determination in all extractions (VG Elemental PlasmaQuad 3, Thermo Elemental, United Kingdom). Phosphorus was measured with a spectrophotometer at 882 nm (John, 1970). Statistical analysis of data was performed using SPSS. Correlations between uranium soluble in various extractants were calculated and differences between means of extractable uranium were tested by Duncan's test following a one-way ANOVA.

Results and discussion

The solubility of U and P differed strongly between extractants, with the solubility of U in water being significantly lower than that of P in water in all types of fertilizers analyzed. For all fertilizer types, the solubility of U and P in 2 % CA was quite similar, however, there were also differences when looking at each group of fertilizers separately. While U showed a somewhat lower solubility in NAC than P, it was more soluble in AAC than P (Table 1). Soluble U fractions extracted by different methods had significant correlation coefficients from 0.54 between water and 2 % CA to 0.86 between 2 % FA and 2 % CA at the 0.01 level (Table 2). The highest mean solubility of uranium, after aqua regia, was found in 2 % citric acid and the lowest in water (in both expressions as concentration and percentage). The relative solubility (i.e. referred to AR) of

U, calculated over all types of fertilizers analyzed here, in 2 % CA, AR, and water were significantly different from each other as well as from relative solubility in NAC, 2 % FA, and AAC (Table 3). However, there were no significant differences between the relative solubility in NAC, 2 % FA, and AAC. Also, average percentages of soluble uranium in these extractants were approximately equal (about 42 %), while average soluble uranium fractions in water and 2 % citric acid were 10 % and 61 % of total uranium, respectively (Table 3).

Table 1:
 Soluble uranium and phosphorus in different fertilizers

Extractant	Type of fertilizer	N	Mean concentration		Mean relative solubility (% of aqua regia content)	
			U (mg kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	U %	P %
Aqua regia	SPF	3	81.3	191.9	100	100
	CF	12	37.2	47.5	100	100
	OMF	5	18.7	26.2	100	100
	PR	15	136.8	143.5	100	100
Formic acid (2 %)	SPF	3	26.1	215.1	30	112
	CF	12	22.9	41.8	72	91
	OMF	5	8.59	21.3	50	83
	PR	15	22.2	53.0	17	39
Citric acid (2 %)	SPF	3	58.6	215.8	62	112
	CF	12	31.8	42.1	107	93
	OMF	5	9.59	17.2	55	68
	PR	15	27.7	34.3	25	25
Neutral ammonium citrate	SPF	3	55.8	205.6	71	107
	CF	12	13.7	36.3	64	84
	OMF	5	4.94	11.7	34	49
	PR	15	23.7	8.7	20	7
Alkaline ammonium citrate	SPF	3	71.2	208.8	84	109
	CF	12	28.0	24.9	79	55
	OMF	5	3.78	8.4	22	32
	PR	15	11.3	1.4	10	1
Water	SPF	3	13.8	186.9	17	97
	CF	12	3.92	28.4	17	71
	OMF	5	2.23	9.6	14	40
	PR	15	2.71	7.8	3	5

Different types of P containing fertilizers showed significant differences in their U solubility in various extractants (Table 4). In CF, OMF, and PR types, the highest U solubility was found in 2 % citric acid, while for straight P fertilizers, the strongest extractant was AAC. The lowest U solubility

was found in water varying from 2.6 % in PRs to 16.8 % in SPF (related to total U content measured in aqua regia digests; Table 4).

Table 2:

Correlation coefficients between soluble uranium percentage (related to U in AR) in different extractants (Pearson correlation, N = 35)

Extractant	2 % Formic acid	2 % Citric acid	Neutral ammonium citrate	Alkaline ammonium citrate
2 % Citric acid	0.862**	1		
Neutral ammonium citrate	0.685**	0.661**	1	
Alkaline ammonium citrate	0.806**	0.848**	0.701**	1
Water	0.551**	0.541**	0.560**	0.559**

** Correlation is significant at 0.01 level (2-tailed).

Table 3:

Differences between extractants with regard to mean U concentration and relative U solubility, calculated over all types of fertilizers analyzed by one-way ANOVA. Different letters show significant differences at P < 0.05

Extractant	N	Mean U concentration (mg kg ⁻¹)	Mean relative U solubility (% of U _{AR})
Water	35	4.0a	10.2a
Neutral ammonium citrate	35	20.4ab	41.3b
2 % formic acid	35	20.8ab	41.3b
Alkaline ammonium citrate	35	21.1ab	41.7b
2 % citric acid	35	29.2b	60.6c
Aqua regia	35	81.0c	100d

There was no significant difference between the U solubility in water between the 4 types of P-containing fertilizers (Table 5). However, for the U solubility in 2 % FA, 2 % CA, NAC, and AAC some significant differences were found between the groups. PRs and OMFs were similar with regard to their U solubility in NAC, AAC, and 2 % CA. Also, there were no significant differences between U solubility of CFs and SPF in NAC and AAC. The strongest extracting power of water, NAC, and AAC was observed in straight P fertilizers, while the strongest extracting power of 2 % FA and 2 % CA was found in compound fertilizers. The lowest extracting power of all 5 extractants tested was found for phosphate rocks (Table 5).

Table 4:

Differences between relative U solubility in different extractants, calculated separately for each group of P containing fertilizers and analyzed by one-way ANOVA. Different letters show significant differences at $P < 0.05$

Extractants	Mean relative U solubility (in % of U_{AR})			
	Straight P fertilizers (n = 3)	Compound fertilizers (n = 12)	Organomineral fertilizers (n = 5)	Phosphate rocks (n = 15)
Water	16.8a	16.6a	13.8a	2.6a
2 % Formic acid	29.5a	71.5b	49.6ab	16.8bc
Neutral ammonium citrate	71.1b	64.1b	33.8ab	19.6cd
Alkaline ammonium citrate	83.5bc	79.4bc	22.2ab	9.5ab
2 % Citric acid	61.5b	107.3cd	54.9b	24.9d
Aqua regia	100c	100cd	100c	100e

Table 5:

Differences between U solubility of various types of P containing fertilizers, tested for 5 different extractants and analyzed by one-way ANOVA. Different letters show significant differences at $P < 0.05$

Type of fertilizers	U solubility (% of U_{AR})				
	Water	2 % FA	NAC	AAC	2 % CA
Phosphate rocks (n = 15)	2.6a	16.8a	19.6a	9.5a	24.9a
Organomineral fertilizers (n = 5)	13.8a	49.6bc	33.8ab	22.2a	54.9a
Compound fertilizers (n = 12)	16.6a	71.5c	64.1bc	79.4b	107.3b
Straight P fertilizers n = 3)	16.8a	29.5ab	71.1c	83.5b	61.5a

Conclusions

It is evident that the uranium solubility in P containing fertilizers is dependent both on the extractant and on type of P containing fertilizer. The solubility of U differed from that of P in the tested extractants. However, in order to draw further conclusions about the suitability of the various extraction methods for estimating the amount of potentially plant available uranium, future studies should investigate the relationship between the solubility of fertilizer derived U in a chemical extractant and uranium plant uptake (bio response).

References

- Eapen S, Suseelan KN, Tivarekar S, Kotwal SA, Mitra R (2003) Potential for rhizofiltration of uranium using hairy root cultures of *Brassica juncea* and *Chenopodium amaranticolor*. *Environ Res* 91:127-133
- Environment Canada (2002) Canadian soil quality guidelines for uranium : environmental and human health [online]. Zu finden in <http://www.ccme.ca/assets/pdf/uranium_ssds_soil_1.0_e.pdf> [zitiert am 07.07.2008]
- Gulati KL, Oswal MC, Nagpaul KK (1980) Assimilation of uranium by wheat and tomato plants. *Plant Soil* 55:55-59
- John MK (1970) Colorimetric determination of phosphorous in soil and plant materials with ascorbic acid. *Soil Sci* 109:214-220
- Jones RL (1992) Uranium and phosphorus contents in Morrow plot soils over 82 years. *Commun Soil Sci Plant Anal* 23:67-73
- Kratz S, Schnug E (2006) Rock phosphates and P fertilizers as sources of U contamination in agricultural soils. In: Merkel BJ, Hasche-Berger A (eds) *Uranium in the environment : mining impact and consequences*. Berlin : Springer, pp 57-68
- Kratz S, Knappe F, Schnug E (2008) Uranium balances in agroecosystems. In: Kok LJ De, Schnug E (2007) Loads and fate of fertilizer-derived uranium. Leiden : Backhuys (in press)
- Lamas M (2005) Factors affecting the availability of uranium in soils. Braunschweig : FAL, 152 p, Landbauforsch Völkenrode SH 278
- Laroche L, Henner P, Camilleri V, Morello M, Garnier-Laplace J (2005) Root uptake of uranium by a higher plant model (*Phaseolus vulgaris*) – bioavailability from soil solution. *Radioprotect Supply* 40:33-39
- Makweba MM, Holm E (1993) The natural radioactivity of the rock phosphate, phosphatic products and their environmental implications. *Sci Total Environ* 133:99-110
- Meyer MC, Schnug E, Fleckenstein J, McLendon T, Price D (2004) Uptake of munitions-derived depleted uranium by three grass species. *J Plant Nutr* 27(8):1415-1429
- Rivas M (2005) Interactions between soil uranium contamination and fertilization with N, P and S on the uranium content and uptake of corn, sunflower and beans, and soil microbiological parameters. Braunschweig : FAL, XI, 108 p, Landbauforsch Völkenrode SH 287
- Romero Guzman ET, Solache Rios M, Iturbe Garcia JL, Ordonez Regil E (1995) Uranium in phosphate rock and derivates. *J Radioanal Nucl Chem* 189:301-306
- Rothbaum HP, McGaveston DA, Wall T, Johnston AE, Mattingly GEG (1979) Uranium accumulation in soils from long-continued application of superphosphate. *J Soil Sci* 30:147-153
- Sheppard SC, Sheppard MI, Gallerand MO, Sanipelli B (2005) Derivation of ecotoxicity thresholds for uranium. *J Environ Radioact* 79:55-83
- Takeda A, Tsukada H, Takaku Y, Hisamatsu S, Nanzo M (2006) Accumulation of uranium derived from long-term fertilizer application in a cultivated Andisol. *Sci Total Environ* 367:924-931
- Vandenbroucke H (2002) Uranium in the soil-plant environment. *Sci Report / Belgian Nuclear Res Centre* 78-79

Depotstabilität von lokal injiziertem Ammonium und Einfluss auf den Metabolismus von Sommerweizen

Ute Menge-Hartmann und Siegfried Schittenhelm*

Zusammenfassung

Für eine erfolgreicher Umsetzung des CULTAN-Verfahrens (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) zur Stickstoffdüngung von Ackerkulturen, bei dem zur Verminderung von N-Verlusten Ammoniuminjektionsdepots angelegt werden, sind sowohl Überprüfungen der Stabilität dieser Depots als auch der Auswirkungen möglicher N-Transformationen auf den Metabolismus der Pflanzen erforderlich. Hierzu wurde Sommerweizen (*Triticum aestivum* L.) in zweijährigen Gefäßversuchen mit lokal injizierter Diammoniumphosphatlösung ($\text{NH}_4\text{-N}$) angebaut im Vergleich zu konventionell oberflächlich appliziertem Calciumnitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) und einer Kontrolle ohne N-Düngung (-N). Zu drei Ernteterminen wurden N-Status und pH-Werte von Bodenzonen bestimmt und in den Pflanzen Konzentrationen von anorganischen Kationen, Gesamtstickstoff, löslichem Protein, sowie von Metaboliten und Aktivitäten von Leitenzymen des N-Metabolismus gemessen.

Zu Beginn des Streckungswachstums wurde infolge von Nitrifikation in den peripheren Zonen der Ammoniumdepots Nitrat akkumuliert, welches bei den beiden späteren Ernteterminen nicht mehr nachweisbar war. Weiterhin erfolgte eine nach Depotzonen differenzierte Absenkung des Boden-pHs. Aufnahme und Assimilation des gebildeten Nitrats trug möglicherweise zur Abmilderung von unter Ammoniumernährung häufig beobachteten Toxizitäts-symptomen bei. Nur einige der für Ammoniumernährung typischen Effekte wie z. B. niedrigere Konzentrationen von anorganischen Kationen und organischen Anionen, sowie höhere Amidkonzentrationen, waren zu Beginn der Stängelstreckung zu beobachten, während in späteren Stadien keine Unterschiede zu den $\text{NO}_3\text{-N}$ -Pflanzen bestanden. Es ist davon auszugehen, dass das unter CULTAN-Düngung durch Nitrifikation gebildete Nitrat kontinuierlich von den ammoniumgedüngten Pflanzen aufgenommen wird und so das Risiko von N-Verlusten durch Nitratauswaschung reduziert.

Schlüsselwörter: Weizen, CULTAN, Ammoniuminjektions-düngung, Depotstabilität, N-Metabolismus, Nitratreduktase, Glutaminsynthetase, Ertrag, Ertragskomponenten

Abstract

Depot stability of locally injected ammonium and effect on the metabolism of spring wheat

In order to successfully implement the CULTAN (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) fertilization technique, in which ammonium injection depots are created to reduce N losses, a monitoring of both the stability of these depots as well as of the effects of possible N transformations on the metabolism of plants is required. Spring wheat (*Triticum aestivum* L.) was planted in two-year pot experiments with locally injected di-ammonium-phosphate solution ($\text{NH}_4\text{-N}$) compared with conventional surface applied calcium nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$) and a control without N fertilisation (-N). On all three harvest dates, the N status and pH values of soil zones were determined, and the concentrations of inorganic cations, total nitrogen, soluble protein and metabolites, as well as the activity of marker enzymes for N-metabolism were measured in the plants.

At the beginning of stem elongation, nitrate due to nitrification accumulated in the periphery zones of the ammonium depot, but this was no longer discernible in the two later harvest dates. Furthermore, a differing reduction of the soil pH value was found depending on depot zone. The uptake and assimilation of the nitrate by the ammonium-fertilized plants possibly contributed to a lessening of the commonly observed toxicity symptoms under ammonium nutrition. Only some of the effects typical for the ammonium nutrition, such as low concentrations of inorganic cations and organic anions, as well as higher amide concentrations could be observed at the beginning of the stem growth, while in later stages, there were no differences to the $\text{NO}_3\text{-N}$ plants. It can be assumed that nitrate developed through nitrification under CULTAN fertilization is continuously taken up by ammonium fertilized plants and thus reduces the risk of N losses through nitrate leaching.

Keywords: Wheat, CULTAN, ammonium injection fertilization, depot stability, N metabolism, nitrate reductase, glutamine synthetase, yield, yield components

* Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig/Deutschland; Email: ute.menge@ki.bund.de

1 Einleitung

Die Notwendigkeit N-Verluste durch Nitratauswaschung und Denitrifikation sowie durch Ammoniumverluste an die Atmosphäre zu reduzieren und die Nutzung der derzeit mit weltweit geschätzten 100 Mio. t N eingesetzten Dünger durch Nahrungs- und Energiepflanzen zu verbessern, erfordert die ständige Suche nach effizienteren Dünungskonzepten (Lea und Azevedo, 2006). Eine solche N-Managementstrategie basiert auf der Verwendung von Ammonium- anstelle von Nitrat-dominierten N-Düngern. Bekannt sind diese Konzepte unter Bezeichnungen wie Enhanced Ammonium Supply (EAS) bzw. Enhanced Ammonium Nutrition (EAN). Eine ausführliche Beschreibung zu EAS und EAN findet sich in Camberato und Bock (1990) sowie Bock et al. (1991). Zum Zwecke einer effizienteren N-Düngung in granulärer oder flüssiger Form praktizieren Landwirte weltweit eine platzierte Düngung als Bandablage auf die Bodenoberfläche bzw. mittels Messerscharen in den Boden oder als Punktinjektion mit Hilfe von Injektionsrädern in den Boden (Page, 1975; Roberts et al., 1992; Sharratt und Cochran, 1992; Stecker et al., 1993; Baker und Timmons, 1994; Sowers et al., 1994; Petersen et al., 2004). In Deutschland wurde ein als Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition (CULTAN) bezeichnetes Düngeverfahren durch Sommer (2000) eingeführt. Bei der CULTAN-Düngung wird der gesamte N-Dünger als hochkonzentrierte Lösung von Ammonium und/oder Harnstoff lokal in den Wurzelraum injiziert. In Landwirtschaft und Gartenbau werden solche Lösungen u.a. mit Injektionsrädern einmalig zu Vegetationsbeginn appliziert und dadurch weitere Überfahrten eingespart. Sommer (2000) geht davon aus, dass N-Verluste durch Nitratauswaschung aufgrund der Stabilität der Ammoniumdepots gegenüber Nitrifikation reduziert werden und mithin die Effizienz der N-Düngung zunimmt.

Im Gegensatz zu dem im Boden leicht beweglichen Nitrat ist Ammonium wegen der Adsorption an Bodenpartikel ein N-Dünger mit langsamer Mobilisierung. Als primär anorganische, von mineralisierter organischer Materie freigesetzte Stickstoffkomponente, spielt Ammonium neben seinem Nitrifikationsprodukt Nitrat eine Schlüsselrolle in der Stickstoffernährung von Pflanzen und Mikroorganismen (Loqué und von Wirén, 2004). Diese Rolle wird unterstrichen durch eine, insbesondere bei niedriger N-Düngermenge, im Vergleich zu Nitrat bevorzugte Aufnahme durch viele Pflanzenarten (Gazzarini et al., 1999). Hohe und ausschließliche $\text{NH}_4\text{-N}$ -Düngung kann dagegen zum sogenannten Ammoniumsyndrom führen (Wiesler, 1998), d. h. das Pflanzenwachstum hemmen (Walch-Liu et al., 2001), den Gehalt an mineralischen Kationen und organischen Anionen absenken und Zellen das osmotische Gleichgewicht entziehen (Salsac et al., 1987) oder einen

allgemeinen Stress für den pflanzlichen Stoffwechsel erzeugen (Britto und Kronzucker, 2002). Als Stressursache wird u.a. das energieintensive sinnlose Ein- und Ausschleusen von Ammoniumionen durch die Plasmamembranen der Wurzelzellen diskutiert (Britto und Kronzucker, 2006). Die Reaktion der Pflanzen auf ausschließliche Ammoniumversorgung ist ähnlich wie bei Vorliegen von Salz- und Wasserstress (Brück und Guo, 2006). Sommer (2000) nimmt an, dass die genannten Effekte einer starken oder ausschließlichen Ammoniumernährung nicht auf die CULTAN-Düngung übertragbar sind, da die meisten dieser Beobachtungen aus Experimenten mit ungepufferten Nährlösungen oder Sandkulturen abgeleitet wurden. In den Böden der landwirtschaftlichen Praxis sind dagegen die Nährstoffe nicht gleichmäßig verfügbar, Wurzelexsudate bleiben in der Rhizosphäre erhalten und es bestehen Wechselwirkungen von Bodenmikroflora bzw. -fauna (Miller und Cramer, 2004).

Um die im vorangegangenen Absatz genannten Hypothesen von Sommer (2000) zu prüfen und wegen widersprüchlicher Befunde aus anderen CULTAN-Experimenten (Wiesler, 1998; Kücke, 2003; Hermann et al., 2006) sind weitere vergleichende Feld- und Gefäßversuche zur Ammoniuminjektionsdüngung erforderlich. So wurden am ehemaligen Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der FAL durch Einsatz von Sickerwassersammlern und Lysimetern umfangreiche CULTAN-Feldversuche zur Prüfung der These einer verminderten Nitratauswaschung durchgeführt (Kücke, et al., 2006). Des Weiteren erfolgten Gefäßversuche zur Frage der Qualität und Quantität der mit den Ammoniumdepots assoziierten Bodenmikroorganismen (Matoka et al., 2007). In einem Gefäßversuch mit Sommergerste wurden physiologische Aspekte der oberirdischen Pflanzenteile unter konventioneller $\text{NO}_3\text{-N}$ -Düngung mit $\text{NH}_4\text{-N}$ -Injektionsdüngung verglichen (Schittenhelm und Menge-Hartmann, 2006). Durch die vorliegende Arbeit mit Sommerweizen sollte die Untersuchung nicht nur auf eine weitere Kulturart ausgedehnt sondern neben der Pflanze auch der Boden analysiert werden. Darüber hinaus sollten im Hinblick auf eine erfolgreiche Umsetzung der CULTAN-Düngung in die Praxis das Ausmaß und mögliche Auswirkungen von Umsetzungsprozessen in den Depots auf Pflanzenwachstum, Ionenantagonismus, repräsentative Markermetaboliten und Enzymaktivitäten der primären N-Assimilation geklärt werden.

2 Material und Methoden

2.1 Kulturbedingungen

Der Versuch wurde in den Jahren 2003 und 2004 in 80-Liter Gefäßen in der Vegetationshalle des Instituts für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der Bundesfor-

schungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig durchgeführt. Die Aussaat der Sommerweizensorte Vinjett erfolgte am 26. März 2003 sowie am 29. März 2004 im 5 x 5 cm Quadratverband (400 Pflanzen m⁻²). Der Versuch war als zweifaktorielle randomisierte Blockanlage mit drei Wiederholungen angelegt. Die Versuchsfaktoren bestanden aus drei N-Düngungsvarianten und vier über die Vegetationsperiode verteilte Erntetermine. Folgende N-Varianten wurden untersucht: 4 g NO₃-N als Calciumnitrat, 4 g NH₄-N als Diammoniumphosphat (DAP; 10 %ig, nahe Sättigung, pH 7,8) und eine Kontrolle ohne N-Düngung (-N). Der NO₃-N wurde zur Aussaat auf der Bodenoberfläche verteilt. Um die Injektion mit einem praxisüblichen Injektionsrad (Kücke, 2003) zu simulieren wurde die DAP-Lösung jeweils am Tag nach der Aussaat an fünf Stellen pro Gefäß in einer Tiefe von 7 cm mit einer Pipette injiziert. Zum Ausgleich für das über die DAP-Lösung applizierte Phosphat erhielten die NO₃-N- und die -N-Variante eine P-Kompensation als CaH₂PO₄·H₂O. Details zum Bodensubstrat, den zugesetzten Makro- und Mikronährstoffen und der Bewässerungsmodalitäten sind in Schittenhelm und Menge-Hartmann (2006) dargestellt.

2.2 Bodenbeprobung, Bestimmung von Nitrat, Ammonium und pH-Wert

Im Jahr 2004 wurde zur Analyse der in definierten Depotdiffusionszonen vorliegenden Nitrat- bzw. Ammoniumkonzentration unmittelbar nach Anlage der Depots, in zwei, und zu den Ernteterminen, in drei Wiederholungen, durch Abtragen einer 7 cm starken Bodenschicht eine horizontal das Depotzentrum schneidende Querschnittsfläche freigelegt. Danach wurden Bodenproben aus dem Depotzentrum (Zone Z1; Ø 2 cm) und aus den sich konzentrisch anschließenden Diffusionszonen Z2 (Ø 3 cm), Z3 (Ø 2 cm) und Z4 (Ø 2 cm) in einer Tiefe von bis zu 2 cm entnommen. Der Gesamtdurchmesser der beprobten Zonen betrug 16 cm. In den NO₃-N und -N-Varianten wurden entsprechend 7 cm unter der Bodenoberfläche Proben entnommen. Alle drei N-Varianten wurden darüber hinaus vertikal in 25 cm Bodentiefe beprobt. Die Bodenproben wurden manuell von Wurzeln bereinigt und bis zur Analyse bei -20 °C gelagert. Das Vordringen der Wurzeln in die Depotzonen wurde zu den verschiedenen Ernteterminen visuell begutachtet. In den Proben der Depotbodenzenen wurde die NO₃-N- und die NH₄-N-Konzentration durch einstündige Extraktion der feuchten, homogenisierten und gesiebten Böden (5 mm-Sieb) mit einer 0,0125 M CaCl₂-Lösung (VDLUFA, 1991) im Verhältnis 1:4 (Boden : Lösung) und anschließender Messung der Filtrate mit einem SKALAR-Autoanalyser (SKALAR-Analytik GmbH, Erkelenz) ermittelt. Die pH-Werte wurden nach einstündigem Aufschämmen von 10 g lufttrockenem, gesiebtem Boden

(2 mm Sieb) in 25 ml einer 0,01 M CaCl₂-Lösung bestimmt (VDLUFA, 1991).

2.3 Bestimmung von Ertrag und Ertragskomponenten, Chlorophyll, Kationen, Metaboliten und Enzymaktivitäten

Bei der Endernte wurden 40 Pflanzen unmittelbar über dem Boden abgeschnitten und die Erträge und Ertragskomponenten ermittelt wie in Schittenhelm und Menge-Hartmann (2006) beschrieben. Außerdem wurden jeweils 15 Haupttriebe pro Gefäß zu Beginn (41 Tage nach Aussaat, TnA), bzw. auf halbem Weg der Stängelstreckung (55 TnA) sowie zum Ährenschieben (69 TnA) unmittelbar über dem Boden abgeschnitten. Die jeweils oberen und unteren Blätter wurden unmittelbar in flüssigem Stickstoff eingefroren, in einem Mörser pulverisiert und bis zur Analyse bei -80 °C gelagert. Angaben zur Bestimmung von Blattpigmenten, Nitrat und Gesamt-N finden sich in Schittenhelm und Menge-Hartmann (2006). Die Bestimmung der in vitro-Aktivität der Nitratreduktase erfolgte entsprechend nach Basra et al. (2002). Die Enzyme wurden aus 0,2 g gemörserter Blattprobe mit 1 ml Extraktionspuffer extrahiert, der 0,05 M Tris-HCl (pH 8,5), 1 mM Dithiothreitol, 10 µM FAD, 1 µM Na₂MoO₄, 1 mM EDTA und 10 µM Leupeptin enthielt. 100 µl des Überstandes des zentrifugierten Homogenats wurden der Testlösung hinzugefügt, die 50 µmol Kalium-Puffer (pH 7,5) und 20 µmol KNO₃ in einem finalen Volumen von 2,0 ml enthielt. Die Reaktion wurde durch Hinzufügen von 0,1 ml NADH (5,64 mM) gestartet und die Mischung für 10 Min. bei 30 °C inkubiert. Das gebildete Nitrit wurde nach Farbentwicklung für 30 Min. mit einer 1:1-Mischung von 1 % (w : v) Sulphanilamid in 1,5 M HCl und 0,02 % (w : v) N-Naphthylethylen-diamin-Dihydrochlorid durch Messen der Absorption bei 540 nm bestimmt.

Die Aktivität der Glutaminsynthetase wurde entsprechend nach Sohn (1986) ermittelt. Hierzu wurde HEPES-NaOH-Puffer (pH 7,0), der 50 mM HEPES, 10 mM Cystein und 5 % (w : v) Polyvinylpyrrolidon enthielt, den gefrorenen Proben hinzugefügt. Achthundert-Mikroliter-Aliquots des Überstands der zentrifugierten Homogenate (20900 g, 30 Min., 4 °C) wurden für den Enzymtest eingesetzt. Die Testmischung enthielt 600 µl HEPES-Puffer, 200 µl MgSO₄ (40 mM), 800 µl L-Glutamat (320 mM), 200 µl Hydroxylamin (NH₂OH x HCl, 23,3 mM) und 400 µl ATP (8 mM). Die Reaktion wurde nach 30 Min. bei 40 °C beendet durch Hinzufügen von 800 µl einer Lösung, die gleiche Volumina von 10 % FeCl₃ x H₂O in 0,2 M HCl, 25 % TCA in H₂O und halbkonzentrierte HCl enthielt. Das Präzipitat wurde zentrifugiert (20 900 g, 10 Min.) und das gebildete -Glutamylhydroxamat spektralphotometrisch bei 540 nm quantifiziert.

Ammonium wurde mit dem SKALAR-System nach dem Phenolhypochloridtest (Berthelot-Reaktion) bestimmt, der bei niedrigen Konzentrationen für vergleichende Untersuchungen verlässliche Werte liefert (Hirel et al., 2005). Nach Aufschluss durch Nassveraschung von getrocknetem und gemahlenem Pflanzenmaterial (VDLUFA, 1991) wurden die Konzentrationen an Phosphor spektralphotometrisch nach der Ammoniummolybdatmethode (Blaufärbung, Methodenblatt Braun-Melsungen Apparatebau, Melsungen) an einem Zeiss-Braun-Analysensystem B 2000 gemessen. Die Konzentrationen an Kalium und Calcium wurden mit einem Atomabsorptionsspektrometer (Perkin-Elmer 430, Waltham, USA) bestimmt. Organische Säuren wurden aus zermörsernen gefrorenen Blattproben (0,2 g Frischmasse) zweimal in jeweils 1 ml kochendem destilliertem Wasser für jeweils 30 Minuten extrahiert (Callaway et al., 1996) und nach Zentrifugation (10 Min., 20 900 g) die kombinierten Überstände mit einem HPLC (Kontron Instruments) mit Rezex ROH-Organic Acid H⁺-Säule (Phenomenex Ltd., Torrance, USA) analysiert [30 °C, 0,005 M H₂SO₄, Flussrate von 0,5 ml Min.⁻¹, Refraktionsindexdetektor Shodex RI-71 (Showna Denko K.K., Tokio, Japan)]. Freie Aminosäuren wurden aus gefrorenen gemörsernen Blattproben (0,2 g FM) mit 1,5 ml kalter Extraktionslösung [(Ethanol abs.: 0,25 M HCl (80:20, v:v)] für 1 Std. bei 4 °C extrahiert, 10 Min. bei 15 300 g zentrifugiert und der Überstand bei 34 °C unter N₂-Strom eingeengt. Die Aminosäuren wurden nach Probenvorbereitung und Derivatisierung mit einem kommerziellen Kit (EZ:faast; Phenomenex Ltd., Torrance, USA) gaschromatographisch analysiert (Hewlett-Packard, HP 6890, FID-Temperatur 250 °C, Split-Verhältnis 1:15, Trägergas N₂, Ofentemperaturanstieg von 110 °C auf 320 °C in 7 Min.). Zur Quantifizierung wurde Norvalin als interner Standard eingesetzt.

2.4 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS (Statistical Analysis System) Version 9.1. Der Mittelwertvergleich wurde mit dem multiplen t-Test (LSD-Test; $P < 0,05$) durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Ertrag und Ertragskomponenten

Die drei N-Varianten hatten im Jahr 2004 höhere Korn-, Stroh- und Biomasseerträge als im Jahr 2003 (Tabelle 1). Besonders ausgeprägt war der Jahreseffekt bei der -N-Variante, deren Ertrag sich im zweiten Versuchsjahr mehr als verdoppelte. Im Jahr 2003 erbrachten die NH₄-N-Pflanzen gegenüber den NO₃-N-Pflanzen einen um 23 % höheren Kornvertrag. Dieser Mehrertrag war auf eine deutlich höhere Ährendichte (+14 %) und eine leicht höhere Tausendkornmasse (+ 7 %) zurückzuführen. Ähnliche Ergebnisse lieferte auch das Versuchsjahr 2004. Dort erbrachten die NH₄-N-Pflanzen im Vergleich zu den NO₃-N-Pflanzen einen um 19 % höheren Kornvertrag, die Ährendichte war um 17 % und die Tausendkornmasse um 2 % erhöht. Allerdings waren die Unterschiede für Kornvertrag und Ertragskomponenten im Gegensatz zu denen im Jahr 2003 statistisch nicht signifikant. In beiden Versuchsjahren und für sämtliche Merkmale wies die -N-Variante signifikant niedrigere Werte auf als die NO₃-N- bzw. NH₄-N-Variante.

3.2 Depotstabilität

Drei Tage nach Depotinjektion betrug die Konzentration an NH₄-N im trockenen Boden im Depotzentrum (Z1) 3934 mg kg⁻¹ (± 813 ; $n = 2$), in der Diffusionszone Z2 (äu-

Tabelle 1:

Einfluss der N-Düngungsvarianten auf Ertrag und Ertragsstruktur der Sommerweizensorte Vinjett in den Jahren 2003 und 2004. Mittelwerte innerhalb einer Zeile und eines Jahres mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ($P < 0,05$)

Parameter	2003			2004		
	-N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	-N	NO ₃ -N	NH ₄ -N
<u>Ertrag</u>						
Korn (g pro Pflanze)	0,42 a	1,97 b	2,43 c	0,95 a	2,82 b	3,36 b
Stroh (g pro Pflanze)	0,47 a	1,96 b	2,14 b	1,14 a	3,06 b	3,04 b
Biomasse (g pro Pflanze)	0,89 a	3,93 b	4,56 c	2,09 a	5,89 b	6,41 b
Ernteindex (%)	47,44 a	50,16 a	53,12 b	45,46 a	48,01 b	52,43 c
<u>Ertragsstruktur</u>						
Ähren (Anzahl pro Pflanze)	1,00 a	1,90 b	2,16 b	1,01 a	2,21 b	2,58 b
Körner (Anzahl pro Ähre)	15,44 a	30,41 b	30,96 b	29,06 a	33,21 b	33,20 b
1000-Kornmasse (g)	27,25 a	34,05 b	36,32 c	32,38 a	38,61 b	39,46 b

Berer Durchmesser 8 cm) 1809 mg kg⁻¹ (\pm 977; n = 2), in Z3 92 mg kg⁻¹ (\pm 49; n = 2), in Z4 nur noch 5 mg kg⁻¹ und im Ausgangsboden ohne Depot lediglich 1 mg kg⁻¹ TM. Die NO₃-N-Konzentration rangierte in allen Zonen zwischen 2,1 und 4,1 mg kg⁻¹ Bodentrockenmasse und war damit niedriger als im Ausgangsboden ohne Depot (7,6 mg kg⁻¹). Der pH-Wert lag in den Depotzonen sowie im Ausgangsboden zwischen 7,3 und 7,6.

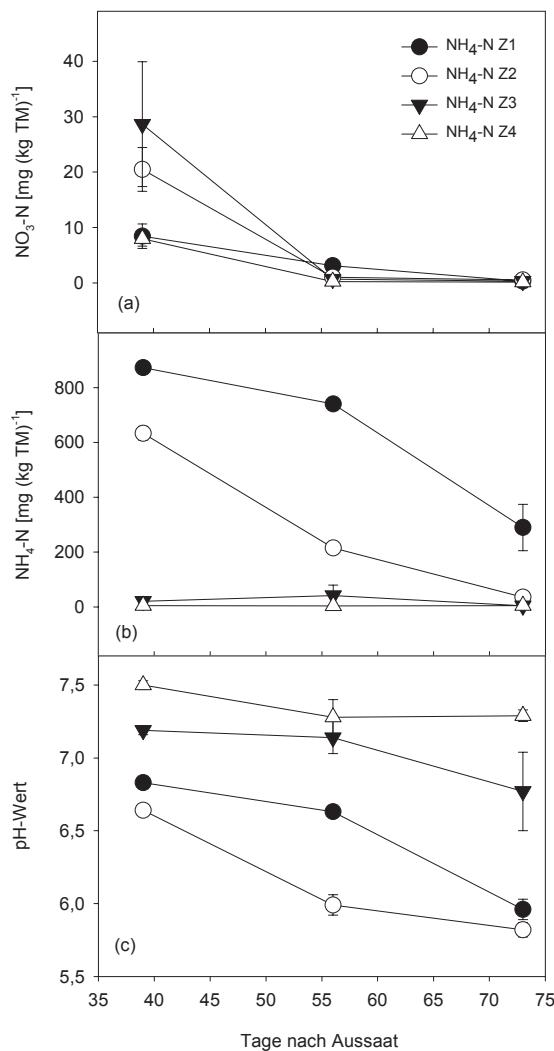


Abbildung 1:

NO₃-N- (a), NH₄-N-Konzentrationen (b) und pH-Werte (c) von Ammoniumdepot-Diffusionszonen (Z1 bis Z4) in einem Gefäßversuch mit der Sommerweizensorte Vinjett als Funktion der Tage nach Aussaat (TnA) des Jahres 2004. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler der Mittelwerte der einzelnen Merkmale

Bei der ersten Zeiternte (41 TnA) hatte die NH₄-N-Konzentration in den Zonen Z1, Z2 und Z3 um 78, 65 bzw. 78 % abgenommen während Z4 unverändert blieb (Abbildung 1b). Die NO₃-N-Konzentration war in Z3 auf 29, in Z2 auf 21 und in Z1 und Z4 auf 8 mg kg⁻¹ Bodentrockenmasse angestiegen (Abbildung 1a). Mit dem Anstieg der NO₃-N-

Konzentration war eine Absenkung des pH-Wertes, besonders in Z2 verbunden (Abbildung 1c).

Im weiteren Verlauf nahm die NH₄-N-Konzentration in den Zonen Z1 und Z2 kontinuierlich ab. Die NO₃-N-Konzentration lag ab 55 TnA in allen Diffusionszonen unter 3,1 mg kg⁻¹ Bodentrockenmasse. Der pH-Wert nahm in Z1 und Z2 bis 69 TnA kontinuierlich bis auf pH 5,8 ab. Unterhalb der Depots (ca. 5 cm über Gefäßboden) wurden zu allen Untersuchungsterminen keine erhöhten NH₄-N- oder NO₃-N-Konzentrationen beobachtet. Die Wurzeln wuchsen 41 TnA bis in Z3 hinein. In dieser Zone war die Konzentration für NO₃-N annähernd gleich hoch wie die für NH₄-N (29 bzw. 21 mg kg⁻¹ Bodentrockenmasse) bei schwach alkalischem pH-Wert. Fünfundfünzig Tage nach Aussaat drangen die Wurzeln in Z2 und 69 TnA bis in das Depotzentrum (Z1) vor. In diesen Zonen lag die NH₄-N-Konzentration zu beiden Ernteterminen noch relativ hoch und der pH-Wert war deutlich abgesenkt.

3.3 Ionen, Gesamtstickstoff, lösliches Protein und N-Metaboliten

Wegen weitgehender Übereinstimmung der Ergebnisse für die oberen und unteren Blätter werden im Folgenden hauptsächlich die Ergebnisse für die unteren Blätter dargestellt. Die Ernährung der Weizenpflanzen durch Nitrat und Ammonium zeigte entweder keinen oder einen nach Entwicklungsstadien differenzierten Einfluss auf die Untersuchungsparameter. So bildeten die Haupttriebe der NO₃-N- und NH₄-N-Pflanzen zu den drei Untersuchungsterminen vergleichbare Trockenmassen (Abbildung 2).

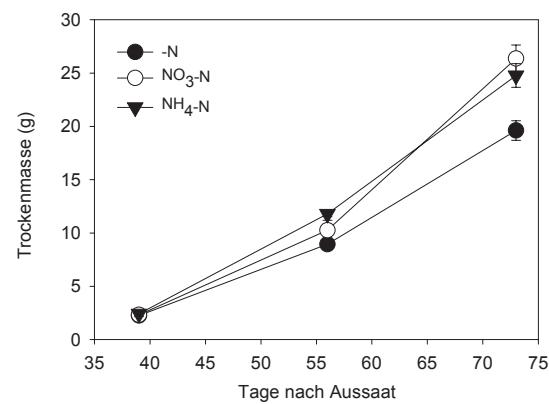


Abbildung 2:

Trockenmasse von 15 Haupttrieben der Sommerweizensorte Vinjett eines Gefäßversuchs mit verschiedenen N-Düngungsvarianten als Funktion der Tage nach Aussaat (TnA). Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler der Mittelwerte der einzelnen Merkmale

Auch die Konzentrationen an Chlorophyll, Gesamt-N und löslichem Protein in den Blättern der NO₃-N- und der NH₄-N-Pflanzen unterschieden sich innerhalb der einzel-

nen Ernten und Jahre meist nicht signifikant (Tabelle 2), während die -N-Pflanzen jeweils deutlich niedrigere Werte aufwiesen. Entsprechendes wurde auch für die Konzentrationen an Saccharose, Glucose und Fructose gefunden (nicht dargestellt).

Die Form der N-Düngung hatte einen Einfluss auf die Aminosäurekonzentrationen in den Blättern. Als Hauptaminosäuren wurden Alanin und Serin, gefolgt von Glutaminsäure (Glu) und Asparaginsäure (Asp) identifiziert (nicht dargestellt). Für die Stickstoffernährung sind Glu und Asp sowie die Amide Glutamin (Gln) und Asparagin (Asn) besonders wichtig. Im Mittel der Jahre enthielten die Blätter der -N-Pflanzen zum Zeitpunkt 41 TnA die niedrigste Glu-Konzentration (2,3 mg g⁻¹ TM). In den NO₃-N-Pflanzen war sie um etwa 30 % höher als in den NH₄-N-Pflanzen (5,3 bzw. 3,7 mg g⁻¹ TM) und die Konzentration an Asp entsprechend um etwa 33 % höher (2,4 bzw. 1,6 mg g⁻¹ TM). Diese Relation zwischen den gedüngten Varianten bestand auch 55 TnA für Glu während sich die Asp-Konzentrationen nicht mehr unterschieden (nicht dargestellt). Die Konzentration der Amide war 41 TnA im Mittel der Jahre bei den NH₄-N-Pflanzen etwa doppelt so hoch wie bei den NO₃-N-Pflanzen (Tabelle 2). Fünfundfünfzig Tage nach Aussaat bestand kein signifikanter Unterschied mehr zwischen den gedüngten Varianten. Die -N-Pflanzen wiesen in der Regel die niedrigsten Amidkonzentrationen auf (Tabelle 2).

Die Applikation der beiden unterschiedlichen N-Formen beeinflusste auch die Konzentration der Makronährstoffe Kalium, Calcium und Phosphor. In den Blättern der NO₃-N-Pflanzen lag die K-Konzentration 55 TnA und die Ca-Konzentration 41 TnA über derjenigen für die NH₄-N-Pflanzen (Abbildung 3a, 3b, Jahr 2004). Bei den anderen Ernteterminen bestanden nur geringfügige Unterschiede in den Konzentrationen dieser beiden Kationen. Die P-Konzentrationen zeigten 55 und 69 TnA ein leicht erhöhtes Niveau in den NH₄-N- gegenüber den NO₃-N-Pflanzen (Abbildung 3c). Die Analyse der organischen Anionen ergab in den Blättern der NO₃-N-Pflanzen eine höhere Malatkonzentration als in denen der NH₄-N-Pflanzen (Tabelle 2). Eine zusätzliche Bestimmung von Citrat und Succinat im Jahr 2004 zeigte, dass 41 TnA die Summe aus Malat, Citrat und Succinat in den NO₃-N-Blättern um etwa 70 % höher war als in den NH₄-N-Blättern (entsprechend 20 bzw. 6 mg g⁻¹ TM) und dass sich 55 TnA die entsprechenden Werte der NO₃-N und der NH₄-N-Pflanzen stärker angeglichen hatten (15 bzw. 13 mg g⁻¹ TM).

Tabelle 2:

Einfluss der N-Düngungsvarianten auf die Konzentrationen von Chlorophyll, Gesamtstickstoff, löslichem Protein und von Metaboliten in Blättern des Haupttriebs der Sommerweizensorte Vinjett zum Zeitpunkt 41 und 55 Tage nach Aussaat (TnA) in den Jahren 2003 und 2004. Mittelwerte innerhalb einer Zeile und eines Jahres mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ($P < 0,05$)

TnA/Parameter	2003			2004		
	Ohne N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ohne N	NO ₃ -N	NH ₄ -N
41 TnA						
Chlorophyll [mg (g TM) ⁻¹]	9,31 a	15,68 b	13,12 b	11,77 a	11,12 a	13,65 a
Gesamt-N [mg (g TM) ⁻¹]	32,10 a	65,40 c	56,60 b	49,25 a	61,25 b	62,97 b
Protein [mg (g TM) ⁻¹]	43,71 a	78,96 b	65,96 b	74,60 a	73,60 a	89,30 a
Amide [mg (g TM) ⁻¹]*	0,00 a	3,25 b	7,06 c	0,85 a	1,29 a	2,14 b
Malat [mg (g TM) ⁻¹]*	4,28 a	10,90 b	6,47 a	9,95 a	9,30 a	3,49 a
NO ₃ -N [mg (g TM) ⁻¹]	0,00 a	6,07 b	1,60 a	0,36 a	7,09 c	4,43 b
55 TnA						
Chlorophyll [mg (g TM) ⁻¹]	4,89 a	12,44 b	12,84 b	4,80 a	9,95 c	9,25 b
Gesamt-N [mg (g TM) ⁻¹]	22,20 a	52,60 b	48,70 b	19,12 a	44,23 b	42,11 b
Protein [mg (g TM) ⁻¹]	29,43 a	65,35 b	59,52 b	42,10 a	91,10 b	80,80 b
Amide [mg (g TM) ⁻¹]*	0,04 a	2,21 b	1,50 b	0,00 a	1,01 b	0,78 b
Malat [mg (g TM) ⁻¹]*	2,54 a	3,87 b	3,36 ab	8,32 a	13,94 b	10,95 a
NO ₃ -N [mg (g TM) ⁻¹]	0,00 a	0,74 b	0,00 a	0,00 a	1,78 b	0,00 a

* Aus mittleren Blättern

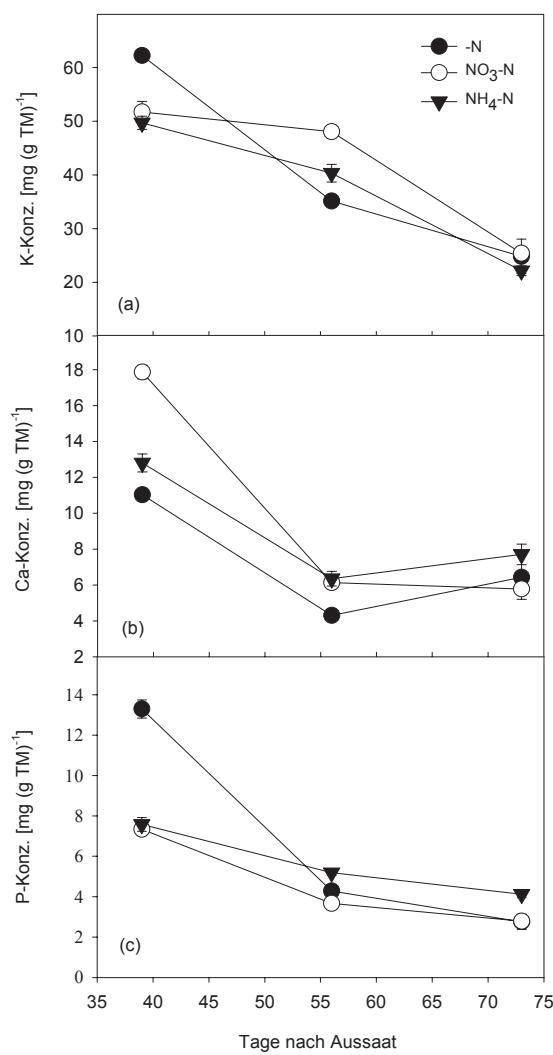


Abbildung 3:

Konzentrationen an Kalium (a), Calcium (b) und an Phosphor (c) in Blättern der Sommerweizensorte Vinjett eines Gefäßversuchs mit verschiedenen N-Düngungsvarianten als Funktion der Tage nach Aussaat (TnA). Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler der Mittelwerte der einzelnen Merkmale

Die NO₃-N-Pflanzen hatten zum Zeitpunkt 41 TnA in beiden Jahren sowohl in den Blättern als auch in ihren Pseudostängeln signifikant mehr Nitrat akkumuliert als die anderen Varianten (Tabelle 2, Abbildung 4a). Insbesondere im Jahr 2004 war in den Blättern der NH₄-N-Pflanzen die NO₃-N-Akkumulation mit 7 % der Gesamtstickstoffkonzentration gegenüber 12 % bei der NO₃-N-Variante relativ hoch (Tabelle 2) und in den Pseudostängeln mit etwa 39 % (2003) bzw. 60 % (2004) der NO₃-N-Konzentration der NO₃-N-Varianten beträchtlich (Abbildung 4a). Generell enthielten die Pseudostängel pro TM-Einheit etwa doppelt so viel NO₃-N wie die Blattspreiten. In den -N-Pflanzen waren nur geringe Mengen NO₃-N nachweisbar. Zum Zeitpunkt 55 TnA hatte die NO₃-N-Konzentration in den Stängeln der NO₃-N-Variante um 75 % (2003, nicht dargestellt) und um 84 % (2004, s. Abbildung 4a) abgenommen und war in den anderen Varianten entweder nur noch in Spuren oder nicht mehr nachweisbar. Neunundsechzig Tage nach Aussaat war in keiner Variante eine NO₃-N-Akkumulation zu beobachten. In den Pseudostängeln der NH₄-N-Pflanzen war die NH₄-N-Konzentration 41 TnA um etwa 22 % höher als in den NO₃-N-Pflanzen (Abbildung 4b, nur 2004 dargestellt), sank zum folgenden Erntetermin unter den Wert der NO₃-N-Pflanzen ab, während sich die Werte zum dritten Erntetermin nicht mehr unterschieden. Die -N-Pflanzen hatten zu allen drei Ernteterminen niedrigere Konzentrationen als die gedüngten Pflanzen.

geln der NO₃-N-Variante um 75 % (2003, nicht dargestellt) und um 84 % (2004, s. Abbildung 4a) abgenommen und war in den anderen Varianten entweder nur noch in Spuren oder nicht mehr nachweisbar. Neunundsechzig Tage nach Aussaat war in keiner Variante eine NO₃-N-Akkumulation zu beobachten. In den Pseudostängeln der NH₄-N-Pflanzen war die NH₄-N-Konzentration 41 TnA um etwa 22 % höher als in den NO₃-N-Pflanzen (Abbildung 4b, nur 2004 dargestellt), sank zum folgenden Erntetermin unter den Wert der NO₃-N-Pflanzen ab, während sich die Werte zum dritten Erntetermin nicht mehr unterschieden. Die -N-Pflanzen hatten zu allen drei Ernteterminen niedrigere Konzentrationen als die gedüngten Pflanzen.

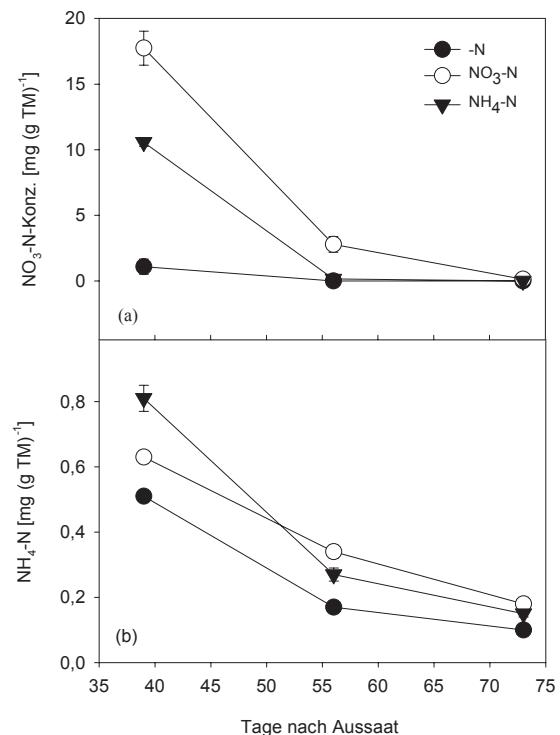


Abbildung 4:

Konzentration an NO₃-N (a) und an NH₄-N (b) in Haupttrieb-Stängeln der Sommerweizensorte Vinjett eines Gefäßversuchs mit verschiedenen N-Düngungsvarianten als Funktion der Tage nach Aussaat (TnA) des Jahres 2004. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler der Mittelwerte der einzelnen Merkmale

3.4 Enzymaktivitäten

Die Aktivitätsniveaus der für den N-Metabolismus maßgeblichen Enzyme Nitratreduktase (NR) und Glutaminsynthetase (GS) zeigten keine eindeutige Tendenz. Zum Zeitpunkt 41 TnA besaßen die oberen Blätter der NO₃-N- und NH₄-N-Pflanzen in beiden Jahren eine vergleichbare Nitratreduktaseaktivität (NRA, nicht dargestellt), während die unteren Blätter der NO₃-N-Pflanzen eine höhere NRA als die NH₄-N-Pflanzen hatten und die -N-Pflanzen generell

die niedrigsten Werte aufwiesen (Tabelle 3). Diese Unterschiede waren allerdings nicht signifikant. Innerhalb eines Jahres ging jeweils mit einer höheren NRA eine relativ höhere NO_3 -N-Akkumulation einher. Zum Zeitpunkt 55 TnA war die Aktivität in den beiden Jahren uneinheitlich. Im Jahr 2003 zeigten die NO_3 -N-Pflanzen eine signifikant höhere NRA als die NH_4 -N-Pflanzen, 2004 unterschieden sich die beiden N-Varianten dagegen nicht, obwohl in den NH_4 -N- im Gegensatz zu den NO_3 -N-Pflanzen kein NO_3 -N mehr nachgewiesen werden konnte. Die Glutaminsynthetaseaktivität der einzelnen Varianten war hingegen relativ konstant. Die Aktivität der -N-Variante war niedriger als die der beiden mit Stickstoff gedüngten Varianten, die sich ihrerseits nicht signifikant voneinander unterschieden.

(Robbins und Voss, 1989; Parr, 1969). In Untersuchungen zur Nitrifikationskinetik stiegen die Nitrifikationsraten unter zunehmendem mineralischem NH_4 -N an und konnten dem Wachstum von Nitrifizierern zugeschrieben werden, wenn das applizierte NH_4 -N über 50 mg N kg^{-1} Boden lag (Nishio und Fujimoto, 1990). Ashworth (1973) konnte zeigen, dass die Populationsdichte von Nitrifikanten fünf Wochen nach der N-Düngung im Bereich der Depots um den Faktor 90 höher lag als im übrigen Boden. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die zum Zeitpunkt 41 TnA in den NH_4 -Diffusionszonen Z2 und Z3 nachgewiesene höhere NO_3 -Konzentration auf die Nitrifikation des injizierten Ammoniums zurückzuführen ist. Aufgrund der vorliegenden höheren NH_4 -Konzentrationen in den Diffu-

Tabelle 3:

Einfluss der N-Düngungsvarianten auf die Aktivität von Nitratreduktase (NR) und Glutaminsynthetase (GS) in Blättern des Haupttriebs der Sommerweizensorte Vinjett zum Zeitpunkt 41 und 55 Tage nach Aussaat (TnA) in den Jahren 2003 und 2004. Mittelwerte innerhalb einer Zeile und eines Jahres mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ($P < 0,05$)

TnA/Parameter	2003			2004		
	ohne N	NO_3 -N	NH_4 -N	ohne N	NO_3 -N	NH_4 -N
41 TnA						
NR [$\mu\text{mol (g FM)}^{-1} \text{min}^{-1}$]	0,47 a	5,64 b	3,10 ab	1,71 a	2,61 a	1,10 a
GS [$\mu\text{mol (g FM)}^{-1} \text{min}^{-1}$]	4,53 a	6,54 b	6,13 b	4,14 a	5,51 ab	6,18 b
55 TnA						
NR [$\mu\text{mol (g FM)}^{-1} \text{min}^{-1}$]	0,49 a	11,29 b	2,05 a	0,46 a	5,33 b	5,72 b
GS [$\mu\text{mol (g FM)}^{-1} \text{min}^{-1}$]	5,12 a	7,69 b	8,26 b	5,42 a	6,93 a	7,57ab

4 Diskussion

4.1 Abläufe im Boden

Bei punktförmiger Injektion hochkonzentrierter Ammoniumsalzlösungen entstehen durch Bindung von Ammonium an die Sorptionskomplexe des Bodens hochkonzentrierte N-Depots (Kranz, 1993). Die NH_4 -N-Konzentration ist nahe am Injektionspunkt am höchsten. Um den Kernbereich der Depots herum bilden sich Diffusionszonen mit abnehmender NH_4 -N-Konzentration (Page, 1975). Zum Zeitpunkt der Anlage der Depots betrug die Ammoniumkonzentration im Kernbereich >2500 ppm. Eine derart hohe Konzentration ist für Bodenmikroorganismen toxisch. Sie führt zu einer Sterilisation des Bodens und mithin zur Hemmung von Nitrifikationsvorgängen (Parr, 1969). In den äußeren Diffusionszonen lag die Ammoniumkonzentration bereits bei der Depotanlage unter diesem kritischen Wert. Nitrifikationsvorgänge hätten daher mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung von den Randbereichen der Ammoniumdepots her einsetzen können

sionszonen wäre im weiteren Verlauf ein starker Anstieg der Nitrifikation zu erwarten gewesen. Indessen war die NO_3 -Konzentration zum Zeitpunkt 41 TnA im Vergleich zum Gesamtstickstoff niedrig. Möglicherweise lagen vor diesem Untersuchungstermin in den äußeren Diffusionszonen auch höhere Nitratgehalte vor.

Die Abnahme der NH_4 -N-Konzentration in den Diffusionszonen Z1 und Z2 um etwa 70 % gegenüber der Ausgangskonzentration zum Zeitpunkt 41 TnA scheint nicht mit der unmittelbaren Aufnahme durch die Pflanzen in Zusammenhang zu stehen, da die Wurzeln zu diesem Zeitpunkt lediglich bis Z3 vorgedrungen waren. Möglicherweise wurde das Ammonium nach der DAP-Injektion in andere Stickstoffformen umgewandelt, die dann durch Vaporisation, Auswaschung oder Fixierung im Rahmen chemischer oder mikrobiologischer Prozesse verloren gegangen sind (Zhang und Rengel, 2002). Denkbar ist auch, dass Ammonium aus dem Kernbereich der Depots in äußere Bereiche von den Wurzeln ausgebeutete und somit N-verarmte Zonen diffundiert ist und dort in einer von den Pflanzen verträglichen Konzentration als NH_4 -N und/oder

NO_3 -N aufgenommen wurde. Diese Vermutung wird gestützt durch einen entsprechenden Gefäßversuch mit Sommergerste bei dem sowohl bei den NO_3 -N- als auch den NH_4 -N-Pflanzen in einem vergleichbar frühen Stadium bereits etwa 70 % des Gesamt-N aufgenommen wurden (Schittenhelm und Menge-Hartmann, 2006).

In den Depotzonen war 55 TnA kaum noch Nitrat nachweisbar. In der nun von den Wurzeln erschlossenen Zone Z2 sank der pH-Wert ab. Als Erklärung für die pH-Absenkung kommt sowohl die H^+ -Produktion bei der Nitrifikation als auch die H^+ -Abgabe bei einer NH_4 -Aufnahme durch die Wurzeln in Frage (Haynes und Goh, 1987; Mengel, 1984; Claussen und Lenz, 1995). Nach Wiesler (1998) ist eine von den Wurzeln ausgehende Erniedrigung des pH-Wertes in der Rhizosphäre effektiver als eine durch Nitrifikation verursachte Versauerung des Bodens.

Die zahlreichen stark verzweigten Wurzeln des für eine CULTAN-Düngung typischen Wurzelkranzes (Sommer, 2000) befanden sich zur dritten Zeiternte in einer Diffusionsregion mit abgesenktem pH-Wert von etwa 8 cm Durchmesser. Auch Robbins und Voss (1989) sowie Kreusel (1996) beobachteten ein Absinken des pH-Werts im Depotzentrum. Die im vorliegenden Versuch ermittelte Abnahme betrug bis zu 2 pH-Einheiten (pH 7,6 bis 5,8) und lag damit höher als bei Kreusel und bei Robbins und Voss (-0,9 pH-Einheiten). Die Ergebnisse der genannten Autoren und die eigenen Befunde stehen in Widerspruch zu der These von Sommer et al. (1987), wonach eine CULTAN-Düngung keine Bodenversauerung zur Folge hat. Untersuchungen der Depots zu späteren (hier nicht dargestellten) Zeitpunkten zeigten, dass die pH-Absenkung reversibel war und sich die Böden im Injektionsbereich wieder „normalisierten“.

4.2 Physiologische Prozesse in der Pflanze

Die Annahme, dass es sich bei der CULTAN-Düngung eher um eine gemischte N-Ernährung als um eine reine Ammoniumernährung handelt, gründete sich in einem vorausgegangenen Experiment mit Sommergerste allein auf der Analyse oberirdischer Pflanzenteile (Schittenhelm und Menge-Hartmann, 2006). Die vorliegende, den Boden einbeziehende Untersuchung bestätigt das Vorhandensein unterschiedlicher N-Formen in den für die Wurzeln zugänglichen Depotzonen.

Die Akkumulation von NO_3 -N war in Relation zum bereitgestellten Gesamt-N, zu den untersuchten Zeiten und in den spezifischen Depotzonen niedrig. Nach Schortemeyer et al. (1997) können aber bereits geringe Nitratkonzentrationen ausreichen, um Ammoniumtoxizitäts-symptome an Pflanzen abzumildern. Kritisch ist auch weniger die Konzentration an NH_4 , als das Verhältnis von NO_3 zu NH_4 , wobei sich die optimale Relation im Verlauf

des Pflanzenwachstums ändern kann (Chaillou und Lamaze, 2001). Durch die für eine CULTAN-Düngung typische hohe Wurzeldichte im Depotbereich kann von einer hohen Ausnutzung des durch NH_4 -Nitrifikation gebildeten NO_3 ausgegangen werden. Offensichtlich stand für die NH_4 -N-Pflanzen mehr Nitrat bereit, als in den Wurzeln assimiliert werden konnte, da es zur Speicherung und späteren Assimilation in den Spross transportiert wurde (Marschner, 1995; Justes et al., 1997). Im Spross war die Aktivität der Nitratreduktase in den NH_4 -N-Pflanzen teilweise ähnlich hoch wie in den NO_3 -N-Pflanzen und nicht generell gehemmt, wie es bei NH_4 -N-dominanter Ernährung in der Literatur diskutiert wird (Marschner, 1995; Kranz, 1993). Da die Höhe der NR-Aktivität nicht immer mit der Höhe der Nitratkonzentration im selben Gewebe verbunden war, besteht offensichtlich eine räumliche Trennung des in den Vakuolen gespeicherten Nitrats von der stoffwechselaktiven Nitratfraktion. Die Induktion der NR wird eher bestimmt von der metabolisch aktiven cytosolischen Nitratfraktion und damit von der Menge frisch importierten Nitrats aus dem Transpirationsstrom (Justes, et al., 1997; Cookson et al., 2005) das offensichtlich aus den nitrifizierten Depots kontinuierlich nachgeliefert werden konnte.

Die CULTAN-Düngung führte vermutlich aufgrund des verfügbaren Nitrats zu keinem ausgeprägten Ammoniumsyndrom, zeigte jedoch insbesondere zu Beginn des Schossens (41 TnA) einige für eine höhere kationische NH_4 -N-Ernährung typischen Effekte auf Ionenkonzentrationen und Metabolitenpool. Hierzu zählen die dem Ionenantagonismus zuzuschreibenden teilweise niedrigeren Konzentrationen an mineralischen Kationen (Ca und K) sowie organischen Anionen (Citrat, Succinat und Malat) der NH_4 -N- gegenüber den NO_3 -N-Pflanzen. Bei der Assimilation von Ammonium führt der Bedarf an Kohlenstoffgerüsten direkt zur Verarmung an organischen Säuren, während die Reduktion von NO_3 -N zum cytoplasmatischen Ausgleich des pH-Wertes mit der Synthese organischer Säuren verbunden ist (Wiesler, 1998; Stitt et al., 2002).

Als weitere typische Indikatoren für Ammoniumernährung können die im Vergleich zu den NO_3 -N-Pflanzen in den Pseudostängeln der NH_4 -N-Pflanzen erhöhten Gehalte an Ammonium und Aminoverbindungen gewertet werden. Deren Akkumulation wird als Pendant zu dem in den NO_3 -N-ernährten Pflanzen gespeicherten NO_3 -N für spätere Entwicklungsstadien gesehen (Millard, 1988). Auch die zu ersten Ernte in den Blättern der NH_4 -N-Pflanzen erhöhte Amidkonzentration gegenüber den NO_3 -N-Pflanzen ist ein für Ammoniumernährung bekannter Effekt (Finnemann und Schjoerring, 1998). Die dargestellten Unterschiede von für die jeweiligen N-Ernährungsformen repräsentativen ionischen und metabolischen Markern waren insbesondere zu Beginn der Stängelstreckung deutlich ausgeprägt.

Wie Wiesler (1998) in einer Literaturübersicht zeigen konnte, bringt Weizen unter kontrollierten Bedingungen (Nährösungsversuche und Gefäßversuche in Erde) unter gemischter Ammonium- und Nitraternährung immer höhere Körnerträge als unter vorherrschender oder ausschließlicher Nitraternährung. Die Ertragsüberlegenheit der Pflanzen mit gemischter N-Versorgung war einer höheren Anzahl Ähren pro Pflanze zuzuschreiben und ist somit vergleichbar mit den Ergebnissen des vorliegenden Versuchs und mit denen eines entsprechenden Gefäßversuchs mit Sommergerste (Schittenhelm und Menge-Hartmann, 2006). Es konnte gezeigt werden, dass nicht nur die Pflanzen Vorteile aus einer Mischung von NO_3^- und NH_4^+ -N-Ernährung zogen, sondern darüber hinaus möglicherweise auch die Böden. Das durch partielle Nitrifikation der NH_4^+ -N-Depots gebildete Nitrat wurde offensichtlich kontinuierlich durch die Pflanzen aufgenommen und assimiliert. Das Risiko einer Nitratauswaschung ist somit deutlich reduziert.

Danksagung

Die Autoren danken Sabine Peickert, Claudia Lüders und Claudia Wilkes für die ausgezeichnete technische Assistenz.

5 Literatur

- Ashworth J (1973) On measuring nitrification and recovery of aqueous ammonia applied to grassland. *J Agric Sci* 81:145-150
- Baker JL, Timmons DR (1994) Fertilizer management effects on leaching of labelled nitrogen for no-till corn in-field lysimeters. *J Environ Qual* 23:305-310
- Basra AS, Dhawan AK, Goyal SS (2002) DCMU inhibits in vivo nitrate reduction in illuminated barley (C_3) leaves but not in maize (C_4) : a new mechanism for the role of light? *Planta* 215:855-861
- Bock BR, Camberato JJ, Below FE, Pan WL, Koenig RT (1991) Wheat responses to enhanced ammonium nutrition. In: Huffmann JR (ed) Effects of enhanced ammonium diets on growth and yield of wheat and corn : proceedings of a symposium, Denver, Colorado, October 30, 1991. Atlanta, pp 93-106
- Britto DT, Kronzucker HJ (2002) NH_4^+ toxicity in higher plants : a critical review. *J Plant Physiol* 159:567-584
- Britto DT, Kronzucker HJ (2006) Futile cycling at the plasma membrane : a hallmark of low-affinity nutrient transport. *Trends Plant Sci* 11(11):529-534
- Brück B, Guo S (2006) Influence of N form on growth and photosynthesis of *Phaseolus vulgaris* L. plants. *J Plant Nutr Soil Sci* 169:849-856
- Callaway TR, Martin SA, Wampler JL, Hill NS, Hill GM (1996) Malate content of forages. *Ann Rep / Anim Dairy Sci / Univ Georgia*, pp 161-167
- Camberato JJ, Bock BR (1990) Spring wheat response to enhanced ammonium supply : I. Dry matter and nitrogen content. *Agron J* 82:463-467
- Chaillou S, Lamaze T (2001) Ammoniacal nutrition of plants. In: Morot-Gaudry J-F (ed) Nitrogen assimilation by plants : physiological, biochemical and molecular aspects. Enfield : Science Publ, pp 53-69
- Claussen W, Lenz F (1995) Effect of ammonium and nitrate on net photosynthesis, flower formation, growth and yield of eggplants (*Solanum melongena* L.). *Plant Soil* 171:267-274
- Cookson SJ, Wiliams LE, Miller AJ (2005) Light-dark changes in cytosolic nitrate pools depend on nitrate reductase activity in *Arabidopsis* leaf cells. *Plant Physiol* 138:1097-1105
- Finnemann J, Schjoerring JK (1998) Ammonium and soluble amide-bound nitrogen in leaves of *Brassica napus* as related to glutamine synthetase activity and external N supply. *Plant Physiol Biochem* 36:339-346
- Gazzarini S, Lejay L, Gojon A, Ninnemann O, Frommer WB, von Wirén N (1999) Three functional transporters for constitutive, diurnally regulated, and starvation-induced uptake of ammonium into *Arabidopsis* roots. *Plant Cell* 11:937-947
- Haynes RJ, Goh KM (1987) Effects of nitrogen and potassium applications on strawberry growth, yield and quality. *Commun Soil Sci Plant Anal* 18:457-471
- Hermann W, Weber A, Graeff S, Claupein W (2006) Neue Wege in der Stickstoffdüngung bei Weizen? *GetreideMagazin* 11:56-59
- Hirel B, Martin A, Trecé-Laforgue T, Gonzalez-Moro MB, Estavillo JM (2005) Physiology of maize I : a comprehensive and integrated view of nitrogen metabolism in a C_4 plant. *Physiol Plant* 24:167-177
- Justes E, Meynard JM, Mary B, Plenét D (1997) Diagnosis using stem base extract : JUBIL method. In: Lemaire G (ed) Diagnosis of the nitrogen status in crops. Berlin : Springer, pp 163-187
- Kranz P (1993) Verminderung der NO_3^- -Belastung von Gemüse und Grundwasser durch Einsatz der Ammonium-Depotdüngung unter Praxisbedingungen. 139 p, Bonn, Univ, Landwirtschaftliche Fakultät, Diss
- Kreusel U (1996) Senkung von Nitratauswaschungen mit Hilfe der NH_4^+ -Depotdüngung und ihr Einfluß auf die Entwicklung von Erdbeeren. Göttingen : Cuvillier, 160 p
- Kücke M (ed) (2003) Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) : Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Beiträge des Workshops am 29. November 2001 in Braunschweig. Braunschweig : FAL, 149 p, Landbauforschung Völkenrode SH 245
- Kücke M, Bramm A, Höppner F, Laws W (2006) Aufbau und Zielsetzung der neuen Lysimeteranlage des Instituts für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der FAL (Braunschweig). In: Deutsch-türkische Agrarforschung : 8. Symposium vom 04.-08. Oktober 2005 an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig, Göttingen : Cuvillier, pp 379-386
- Lea PJ, Azevedo RA (2006) Nitrogen use efficiency. 1. Uptake of nitrogen from the soil. *Ann Appl Biol* 149:243-247
- Loqué D, von Wirén N (2004) Regulatory levels for the transport of ammonium in plant roots. *J Exp Bot* 55:1293-1305
- Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants. London : Academic Press, 889 p
- Matoka CM, Menge-Hartmann U, Schittenhelm S, Schubert S, Schnell S, Grefe JM, Tebbe CC (2007) Characterisation of bacterial communities associated with soil injected liquid ammonium nutrition for spring barley (*Hordeum vulgare* L.) production. 10th International symposium on Frontiers in Wetland Biogeochemistry, April 1-7, 2007, Annapolis, Maryland, USA
- Mengel K (1984) Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Stuttgart : Fischer, 431 p
- Millard P (1988) The accumulation and storage of nitrogen by herbaceous plants. *Plant Cell Environ* 11:1-8
- Miller AJ, Cramer MD (2004) Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant Soil* 274:1-36
- Nishio T, Fujimoto T (1990) Kinetics of nitrification of various amounts of ammonium added to soils. *Soil Biol Biochem* 22:51-55
- Page ER (1975) The location and persistence of ammonia (aqueous, anhydrous and anhydrous + 'N-serve') injected into a sandy loam soil, as shown by changes in concentrations of ammonium and nitrate ions. *J Agric Sci* 85:65-74
- Parr JF (1969) Retention of anhydrous ammonia by soil : 4. Recovery of microbiological activity and effect of organic amendments. *Soil Sci* 107:94-104
- Petersen J, Hansen B, Sorensen P (2004) Nitrification of N-15-ammonium sulphate and crop recovery of N-15-labelled ammonium nitrates injected in bands. *Eur J Agron* 21:81-92
- Robbins SG, Voss RD (1989) Acidic zones from ammonia application in conservation tillage systems. *Soil Sci Soc Am J* 53:1256-1263
- Roberts T, Janzen HH, Lindwall CW (1992) Nitrogen fertilization of spring wheat by point-injection. *J Prod Agric* 5:586-590
- Salsac L, Chaillou S, Morot-Gaudry JF, Lesaint C, Jolivet E (1987) Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiol Biochem* 25:805-812

- Schittenhelm S, Menge-Hartmann U (2006) Yield formation and plant metabolism of spring barley in response to locally injected ammonium. *J Agron Crop Sci* 192:434-444
- Schortemeyer M, Stamp P, Feil B (1997) Ammonium tolerance and carbohydrate status in maize cultivars. *Ann Bot* 79:25-30
- Sharratt BS, Cochran VL (1992) Skip-row and equidistant-row barley with nitrogen placement : yield, nitrogen uptake, and root density. *Agron J* 85:246-250
- Sohn SM (1986) Über die Aktivität der Glutaminsynthetase in den Blättern von Weizen im Vegetationsverlauf und in Abhängigkeit von der N-Ernährung. 146 p, Göttingen, Univ, Fachber Agrarwissenschaften, Diss
- Sommer K (2000) "CULTAN" cropping system : fundamentals, state of development and perspectives. In: Martins-Loução MA (ed) Nitrogen in a sustainable ecosystem : from the cell to the plant. Leiden : Backhuys, pp 361-375
- Sommer K, Titz R, Wendt T (1987) Ammonium-Depotdüngung – eine Möglichkeit zur umweltverträglichen Stickstoffdüngung im Feldgemüsebau. *Forsch Berat B* 36:18-41
- Sowers KE, Pan WL, Miller BC, Smith JL (1994) Nitrogen use efficiency of split nitrogen applications in soft white winter wheat. *Agron J* 86:942-948
- Stecker JA, Buchholz DD, Hanson RG, Wollenhaupt NC, McVay KA (1993) Application placement and timing of nitrogen solution for no-till corn. *Agron J* 85:645-650
- Stitt M, Müller C, Matt P, Gibon Y, Carillo P, Morcuende R, Scheible WR, Krapp A (2002) Steps towards an integrated view of nitrogen metabolism. *J Exp Bot* 53:959-970
- VDLUFA (1991) Methodenbuch : die Untersuchung von Böden. Darmstadt : VDLUFA-Verl, VDLUFA-Methodenbuch 1
- Wiesler F (1998) Agronomische und physiologische Aspekte der Ertragsbildung von Mais (*Zea mays* L.), Weizen (*Triticum aestivum* L.) und Lein (*Linum usitatissimum* L.) bei einem in Zeit und Form variierten Stickstoffangebot. Stuttgart : Grauer, 330 p
- Walch-Liu P, Neumann G, Engels C (2001) Response of shoot and root growth to supply of different nitrogen forms is not related to carbohydrate and nitrogen status of tobacco plants. *J Plant Nutr Soil Sci* 164:97-103
- Zhang XK, Rengel Z (2002) Temporal dynamics of gradients of phosphorus, ammonium, pH, and electrical conductivity between di-ammonium phosphate band and wheat roots. *Aust J Agric Res* 53:985-992

Lieferbare Sonderhefte / Special issues available

287	Maria del Carmen Rivas (2005) Interactions between soil uranium contamination and fertilization with N, P and S on the uranium content and uptake of corn, sunflower and beans, and soil microbiological parameters	8,00 €
288	Alexandra Izosimova (2005) Modelling the interaction between Calcium and Nickel in the soil-plant system	8,00 €
290	Gerold Rahmann (Hrsg.) (2005) Ressortforschung für den Ökologischen Landbau 2005	9,00 €
292	Franz-Josef Bockisch und Elisabeth Leicht-Eckardt (Hrsg.) (2006) Nachhaltige Herstellung und Vermarktung landwirtschaftlicher Erzeugnisse	15,00 €
293	Judith Zucker (2006) Analyse der Leistungsfähigkeit und des Nutzens von Evaluationen der Politik zur Entwicklung ländlicher Räume in Deutschland und Großbritannien am Beispiel der einzelbetrieblichen Investitionsförderung	12,00 €
294	Gerhard Flachowsky (Hrsg.) (2006) Möglichkeiten der Dekontamination von "Unerwünschten Stoffen nach Anlage 5 der Futtermittelverordnung (2006)"	15,00 €
295	Hiltrud Nieberg und Heike Kuhnert (2006) Förderung des ökologischen Landbaus in Deutschland – Stand, Entwicklung und internationale Perspektive	14,00 €
296	Wilfried Brade und Gerhard Flachowsky (Hrsg.) (2006) Schweinezucht und Schweinefleischerzeugung – Empfehlungen für die Praxis	12,00 €
297	Hazem Abdelhabby (2006) Investigations on possibilities to improve the antiphytopathogenic potential of soils against the cyst nematode <i>Heterodera schachtii</i> and the citrus nematode <i>Tylenchulus semipenetrans</i>	8,00 €
298	Gerold Rahmann (Hrsg.) (2006) Ressortforschung für den Ökologischen Landbau 2006	9,00 €
299	Franz-Josef Bockisch und Klaus-Dieter Vorlop (Hrsg.) (2006) Aktuelles zur Milcherzeugung	8,00 €
300	Analyse politischer Handlungsoptionen für den Milchmarkt (2006)	12,00 €
301	Hartmut Ramm (2006) Einfluß bodenchemischer Standortfaktoren auf Wachstum und pharmazeutische Qualität von Eichenmisteln (<i>Viscum album</i> auf <i>Quercus robur</i> und <i>petraea</i>)	11,00 €
302	Ute Knierim, Lars Schrader und Andreas Steiger (Hrsg.) (2006) Alternative Legehennenhaltung in der Praxis: Erfahrungen, Probleme, Lösungsansätze	12,00 €
303	Claus Mayer, Tanja Thio, Heike Schulze Westerath, Pete Ossent, Lorenz Gygax, Beat Wechsler und Katharina Friedli (2007) Vergleich von Betonspaltenböden, gummimodifizierten Spaltenböden und Buchten mit Einstreu in der Bullenmast unter dem Gesichtspunkt der Tiergerechtigkeit	8,00 €
304	Ulrich Dämmgen (Hrsg.) (2007) Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR) 2007 for 2005	16,00 €
[304]	Introduction, Methods and Data (GAS-EM)	
[304A]	Tables	
	Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft – Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2007 für 2005	
[304]	Einführung, Methoden und Daten (GAS-EM)	
[304A]	Tabellen	

305	Joachim Brunotte (2007) Konservierende Bodenbearbeitung als Beitrag zur Minderung von Bodenschadverdichtungen, Bodenerosion, Run off und Mykotoxinbildung im Getreide	14,00 €
306	Uwe Petersen, Sabine Kruse, Sven Dänicke und Gerhard Flachowsky (Hrsg.) (2007) Meilensteine für die Futtermittelsicherheit	10,00 €
307	Bernhard Osterburg und Tania Runge (Hrsg.) (2007) Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie	15,00 €
308	Torsten Hinz and Karin Tamoschat-Depolt (eds.) (2007) Particulate Matter in and from Agriculture	12,00 €
309	Hans Marten Paulsen und Martin Schochow (Hrsg.) (2007) Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten	9,00 €
310	Hans-Joachim Weigel und Stefan Schrader (Hrsg.) (2007) Forschungsarbeiten zum Thema Biodiversität aus den Forschungseinrichtungen des BMELV	13,00 €
311	Mamdooh Sattouf (2007) Identifying the Origin of Rock Phosphates and Phosphorus Fertilisers Using Isotope Ratio Techniques and Heavy Metal Patterns	12,00 €
312	Fahmia Aljmlli (2007) Classification of oilseed rape visiting insects in relation to the sulphur supply	15,00 €
313	Wilfried Brade und Gerhard Flachowsky (Hrsg.) (2007) Rinderzucht und Rindfleischerzeugung – Empfehlungen für die Praxis	10,00 €
314	Gerold Rahmann (Hrsg.) (2007) Ressortforschung für den Ökologischen Landbau, Schwerpunkt: Pflanze	12,00 €
315	Andreas Tietz (Hrsg.) (2007) Ländliche Entwicklungsprogramme 2007 bis 2013 in Deutschland im Vergleich – Finanzen, Schwerpunkte, Maßnahmen	12,00 €
316	Michaela Schaller und Hans-Joachim Weigel (2007) Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung	16,00 €
317	Jan-Gerd Krentler (2008) Vermeidung von Boden- und Grundwasserbelastungen beim Bau von Güllelagern Prevention of soil and groundwater contamination from animal waste storage facilities	12,00 €
318	Yelto Zimmer, Stefan Berenz, Helmut Döhler, Folkhard Isermeyer, Ludwig Leible, Norbert Schmitz, Jörg Schweinle, Thore Toews, Ulrich Tuch, Armin Vetter, Thomas de Witte (2008) Klima- und energiepolitische Analyse ausgewählter Bioenergie-Linien	14,00 €
319	Ludger Grünhage and Hans-Dieter Haenel (2008) Detailed documentation of the PLATIN (PLant-ATmosphere Interaction) model	10,00 €
320	Gerold Rahmann und Ulrich Schumacher (Hrsg.) (2008) Praxis trifft Forschung — Neues aus der Ökologischen Tierhaltung 2008	14,00 €

Gutachtergremium *Editorial Board*



Dr. Jürgen Bender, Institut für Agrarrelevante Klimaforschung, vTI
Dr. Jutta Berk, Institut für Tierschutz und Tierhaltung, FLI
Prof. Dr. Franz-Josef Bockisch, Institut für Anwendungstechnik, JKI
Dr. Herwart Böhm, Institut für Ökologischen Landbau, vTI
Prof. Dr. Andreas Bolte, Institut für Waldökologie und Waldinventuren, vTI
PD Dr. Martina Brockmeier, Institut für Marktanalyse und Agrarhandelspolitik, vTI
Dr. Ulrich Dämmgen, Institut für Agrarrelevante Klimaforschung, vTI
PD Dr. Sven Dänicke, Institut für Tierernährung, FLI
Dr. habil. Bernd Degen, Institut für Forstgenetik, vTI
Dr. Matthias Dieter, Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, vTI
PD Dr. habil. Bettina Eichler-Löbermann, Universität Rostock
Dr. Peter Elsasser, Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, vTI
Prof. Dr. Andreas Fangmeier, Universität Hohenheim
PD Dr. Matthias Fladung, Institut für Forstgenetik, vTI
Prof. Dr. Ulrike Grabski-Kieron, Universität Münster
PD Dr. Jörg-Michael Greef, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, JKI
Prof. Dr. Konrad Hagedorn, Humboldt-Universität Berlin
PD Dr. Ingrid Halle, Institut für Tierernährung, FLI
Dr. Silvia Haneklaus, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, JKI
Prof. Dr. Eberhard Hartung, Universität Kiel
Prof. Dr. Roland Herrmann, Universität Gießen
Prof. Dr. habil. Pierre Ibsch, FH Eberswalde
Prof. Dr. Folkhard Isermeyer, Institut für Betriebswirtschaft, vTI
Dipl. Ing.-Agr. Robert Kaufmann, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Schweiz
Dr. Jörg Kleinschmit, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Prof. Dr. Luit de Kok, Universität Groningen, Niederlande
Prof. Dr. Uwe Latacz-Lohmann, Universität Kiel
Dr. Oliver von Ledebur, Institut für Marktanalyse und Agrarhandelspolitik, vTI
Prof. Dr. Bernd Linke, Institut für Agrartechnik Bornim e.V.
Dipl. Met. Franz-Josef Lüpmeier, Agrarmeteorologische Forschung des Deutschen Wetterdienstes
Prof. Dr. Udo Mantau, Universität Hamburg
Prof. Dr. Axel Munack, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, vTI
Dr. Hiltrud Nieberg, Institut für Betriebswirtschaft, vTI
Dr. Rainer Oppermann, Institut für Ökologischen Landbau, vTI
Dr. Jürgen Puls, Institut für Holztechnologie und Holzbiologie, vTI
Prof. Dr. Gerold Rahmann, Institut für Ökologischen Landbau, vTI
Prof. Dr. Detlef Rath, Institut für Nutztiergenetik, FLI
Dr. Thomas Schneider, Institut für Weltforstwirtschaft, vTI
Prof. Dr. Dr. Ewald Schnug, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, JKI
Dr. Lars Schrader, Institut für Tierschutz und Tierhaltung, FLI
Prof. Dr. Andreas Susenbeth, Universität Kiel
Prof. Dr. Friedhelm Taube, Universität Kiel
Prof. Dr. Klaus-Dieter Vorlop, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, vTI
Prof. Dr. Dr. habil. Drs. h.c. Gerd Wegener, TU München
Prof. Dr. Hans-Joachim Weigel, Institut für Biodiversität, vTI
Prof. Dr. Peter Weingarten, Institut für Ländliche Räume, vTI
Dr. Nicole Wellbrock, Institut für Waldökologie und Waldinventuren, vTI