

Vol.60 No. 4 12.2010

Landbauforschung *vTI Agriculture and Forestry Research*

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. Die Sprache der Beiträge ist deutsch und englisch. 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 Forstwissenschaften einschließt und besonderes Augenmerk auf deren interdisziplinäre Verknüpfung legt.

Engelsprachige 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.

Indexiert in:
CAB International, Science Citation Index Expanded, Current Contents - Agriculture, Biology & Environmental Sciences

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 a 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. The articles appear in either German or English. Special issues are published as required.

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 research results from 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.

Indexed in:
CAB International, Science Citation Index Expanded, Current Contents - Agriculture, Biology & Environmental Sciences

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.

Petra Salamon, Myrna van Leeuwen, Andrzej Tabeau, Ali Koç, Gülden Bölük and Thomas Fellmann

Potential impacts of a Turkish EU-membership on agri-food markets

193 Potentielle Auswirkungen eines türkischen EU-Beitritts auf die Märkte für Agrarprodukte und Nahrungsmittel

Frank Schuchardt und Klaus-Dieter Vorlop

Abschätzung des Aufkommens an Kohlenstoff in Biomasse-Reststoffen in Deutschland für eine Verwertung über Hydrothermale Carbonisierung (HTC) und Einbringung von HTC-Kohle in den Boden

205 Estimation of the carbon amount in biomass residues in Germany for hydrothermal carbonisation (HTC) and disposal of HTC-coal to the soil

Jörg Burgstaler, Jenny Blumenthal, Denny Wiedow, Frauke Godlinski und Norbert Kanswohl

Möglichkeit zur pH-Wertregulation versäuerter Biogasfermenter und die Auswirkungen auf die Biogasausbeute

213 Options to regulate the pH in acidified biogasdigesters and effects on the biogas production

Axel Munack, Jürgen Krahel, Michael Petchatnikov, Lasse Schmidt und Michael Meier

Verfahren zur Modifikation von Fettsäuremethylestern – Überblick über neuere Entwicklungen

221 Processes to modify fatty acid methyl esters – survey on recent developments

Sylvia Kratz, Silvia Haneklaus and Ewald Schnug

Chemical solubility and agricultural performance of P-containing recycling fertilizers

227 Löslichkeit und agronomische Qualität von P-haltigen Recyclingdüngern

Ulrich Dämmgen, Hans-Dieter Haenel, Claus Rösemann, Brigitte Eurich-Menden and Helmut Döhler

Derivation of TAN related ammonia emission factors in pig production

241 Ableitung von TAN-bezogenen Emissionsfaktoren für Ammoniak im Stofffluss-Modell zur Abbildung der Schweineproduktion

Klaus Walter

Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen 6. Variation tier- und futterspezifischer Parameter

249 The Feeding and husbandry of high performance cows Part 6. Variation of the animal- and feed-specific parameters

Elena Ilişiu, Stelian Dărbăban, Marilena Gabi-Neacşu, Vasile-Călin Ilişiu and Gerold Rahmann

Improvement of lamb production in Romania by crossbreeding of local Tsigai breed with high performance breeds

259 Verbesserung der Fleisch- und Schlachtkörperqualität von Lämmern der rumänischen Schafrasse Tsigai durch die Einkreuzung von Hochleistungsrassen

Tanja Stühr and Karen Aulrich

Intramammary infections in dairy goats: recent knowledge and indicators for detection of subclinical mastitis

267 Euterinfektionen bei Milchziegen: Stand des Wissens und Indikatoren zum Nachweis subklinischer Mastitis

Thomas Olthoff, Norbert Voigt, Werner Piper, Vilmut Brock und Gerold Rahmann

Populationsentwicklung von Laufkäfern (*Carabidae*) und epigäisch lebenden Spinnen (*Arachnidae*) fünf Jahre nach der Umstellung auf den Ökologischen Landbau in Norddeutschland

281 Population development of ground beetles (*Carabidae*) and epigeal spiders (*Arachnidae*) five years after conversion towards organic farming in Northern Germany

Potential impacts of a Turkish EU-membership on agri-food markets¹

Petra Salamon*, Myrna van Leeuwen**, Andrzej Tabeau**, Ali Koç***, Gülden Bölük*** and Thomas Fellmann****

Abstract

This paper examines possible impacts of a Turkish accession to the EU on the agricultural markets in Turkey and the EU. AGMEMOD, an econometric, dynamic, multi-market, partial equilibrium economic model for EU agriculture at Member State level, has been extended with a model for the Turkish agricultural sector and afterwards applied to gain quantitative insights into Turkish accession effects.

To establish a model for Turkey, the implementation of the model equations required parameter estimates, or the specification of synthetic model parameters. A database with time series on Turkish agricultural production, market balances and prices, macroeconomic variables and policy variables was developed in order to estimate such model parameters and to build an operational Turkish agriculture sector model.

Most results show that the dominant impact of the Turkish accession on Turkish agriculture is a reduction of domestic producer prices, which induces further market effects. The – mostly decoupled – CAP support payments will induce smaller incentives to increase production than those which Turkish farmers receive prior to the EU accession. In Turkey effects of accession to the EU will be mostly negative for crop producers (except for tobacco), whereas the consumers are expected to gain from lower market prices. In contrast, producers of sheep meat, broiler and dairy milk could gain from an accession due to lower feed costs.

Keywords: EU, Turkey, Agri-food markets, enlargement, CAP, PE-model

Zusammenfassung

Potentielle Auswirkungen eines türkischen EU-Beitritts auf die Märkte für Agrarprodukte und Nahrungsmittel

Das Papier untersucht mögliche Auswirkungen eines EU-Beitritts der Türkei auf die Märkte für Agrarprodukte und Nahrungsmittel. Hierfür wird AGMEMOD, ein ökonomisch geschätztes, dynamisches Multi-Produkt-Multi-Markt-Gleichgewichtsmodell der EU-Landwirtschaft um ein türkisches Modell erweitert und damit anschließend die Auswirkung der Erweiterung quantifiziert.

Um das Modell für die Türkei zu etablieren, müssen Modellgleichungen geschätzt oder synthetische Parameter abgeleitet und kalibriert werden. Dies bedarf einer entsprechenden Datenbasis für die Türkei, die Zeitreihen über die Produktion, Marktbilanzen und Preise für Agrarprodukte sowie makroökonomische und politische Variablen enthält. Diese Daten bilden die Grundlage für die Schätzung der Modellparameter, die dann anschließend in ein Modellsystem für die Türkei integriert und so für Simulationen operationalisiert werden.

Ergebnisse einer Beitrittssimulation mit Hilfe dieses Modells zeigen, dass der dominierende Effekt in einem Preisrückgang auf vielen türkischen Agrarmärkten besteht, der dann weitere Anpassungsprozesse induziert. Die entkoppelten Zahlungen der EU-Agrarpolitik sind oftmals geringer als viele gekoppelte Zahlungen in der Türkei. Preissenkungen sowie vergleichsweise niedrigere Direktzahlungen wirken sich negativ auf die Landwirte in der pflanzlichen Produktion ausgenommen Tabak aus. Dagegen profitieren die Verbraucher durch niedrigere Marktpreise. Im Gegensatz zur pflanzlichen Produktion dämpfen niedrigere Futtermittelpreise die Effekte in der tierischen Produktion.

Schlüsselworte: EU, Türkei, Land- und Ernährungswirtschaft, Erweiterung, GAP, PE-Modelle

¹ This article is based on the study „Extension of the AGMEMOD model towards Turkey“ that was carried out by the AGMEMOD Consortium, in cooperation with the European Commission's Joint Research Centre - Institute for Prospective Technological Studies (JRC-IPTS, Spain

* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Braunschweig, Institute of Market Analysis and Agricultural Trade Policy, Germany

** Agricultural Economics Research Institute (LEI), The Hague, The Netherlands

*** Akdeniz University - Faculty of Economics and Administrative Sciences Department of Economics, Turkey

**** European Commission's Joint Research Centre - Institute for Prospective Technological Studies (JRC-IPTS), Sevilla, Spain. The views expressed are purely those of the writer and may not in any circumstances be regarded as stating an official position of the European Commission.

Introduction

Regional enlargements have been an ongoing and important policy issue for the European Union (EU). The EU saw its biggest enlargement in 2004 when ten new Member States acceded, while Romania and Bulgaria became the most recent members in January 2007. The enlargement process took a further step forward in October 2005, when formal accession negotiations were opened with Croatia and Turkey.

In the process of becoming an EU accession state, and possibly at some future date a full EU member, the relationship between Turkey and the EU has developed in phases. Endeavours between the EU and Turkey began as early as 1963 with the Ankara Agreement. Turkey subsequently applied for membership of the European Community (EC) in 1987, and on 1 January 1996 the EC-Turkey Customs Union agreement was implemented. The agreement aimed to eliminate trade barriers between Turkey and the EU in industrial goods and some processed agricultural products. However, the agricultural sector which is of key importance to Turkey, both in economic and social terms, was not included within the terms of the Customs Union agreement.

As in previous accession processes, Turkey will be required to change a considerable part of its national legislation to achieve conformity with the EU law. Such conformity implies rather fundamental changes for Turkish society, and will affect almost all areas, from the environment to the judiciary, from transport to agriculture, and will go across all sections of the population. Besides other measures, on the day of accession, Turkey would have to fully adopt the *acquis communautaire* of the EU, including the Common Agricultural Policy (CAP), border protection and processing standards, as these will stand at that time.

A possible Turkish accession to the EU is expected to have impacts on most sectors and factor markets, but on the agricultural sector in particular. Consequences arise from the large numbers of people employed in Turkish agriculture, who are often engaged in semi-subsistence farming generating low value added. If Turkey would join the EU today, the number of people working in agriculture within the EU would more than double. Impacts of such an accession on Turkish and EU agricultural production would differ for at least two reasons. Firstly, the level of protection afforded to Turkish farmers and the agricultural policy instruments used in Turkey are different from those applied in the EU under the CAP. Secondly, the balance of policy supports across Turkey's agricultural sectors diverges from that in the EU. Thus, there is a need to analyse the impact of Turkey's accession to the EU on the agricultural sectors of both Turkey and the EU27. Taking into account the importance of its agricultural sector and its intensive

domestic agricultural support system, it is expected that a Turkish accession to the EU – and its consequential adoption of the CAP – will influence the then enlarged EU agricultural commodity markets.

This paper aims to provide a quantitative analysis of the implications of a possible accession of Turkey to the EU on agricultural markets in Turkey and the EU27. The AGMEMOD (AGricultural Member States MODelling) tool capturing the diversity of European agriculture (via its multi-commodity approach), has been used to quantify the impact of a Turkish accession to the EU. Section two of this paper gives a short overview of the Turkish agriculture and its main policy instruments in so far as they differ from the agricultural sector and the CAP in the EU. Section three deals with AGMEMOD, the simulation tool used, and describes its extension with a Turkish country module. Section four presents the scenario narratives and section five provides the main simulation results for both Turkey and the EU. The main conclusions and qualifications are drawn in section six.

Turkish food and agriculture sector and its policy¹

A Turkish accession would add about 41 million hectares to the agricultural area of the EU, and Turkey would account for one fifth of the agricultural area of a future EU28. In 2008, more than one quarter of the Turkish workforce was employed in agriculture, while the sector accounted only for 9.2 % of Turkish GDP (see Table 1). Vegetables and fruits together, with tomatoes ranked first, account for the majority of Turkish crops' output value (see Table 2). Cow milk is the most important product and amounts to 36 % of the livestock product output value.

Although Turkey is self-sufficient in most food items, its agricultural sector is relatively poorly structured and inefficient when compared with the EU average. The Turkish farm structure shows similarities with those of some of the Member States that acceded to the EU from May 2004 onwards. Most farms are family farms and only employ family labour. Turkish farm holdings are on average smaller than in the EU, with the size of the average holding in Turkey 6.5 ha, which is considerably smaller than the EU average of 15.8 ha. Small scale farming, partly via semi-subsistence and unspecialized production systems, is an important characteristic of Turkish agriculture, e.g. 60 % of Turkish dairy farms have less than four animals. Turkish agriculture also suffers from land erosion problems, water shortages and droughts, inadequate farm

¹ Detailed descriptions of Turkish agriculture in comparison to the EU can be found in Burrell and Oskam, 2005; Burrell and Kurzweil, 2007; and Pelikan et al., 2009

management and technology, and an inefficient rural credit system, high costs and diverse quality standards in Turkish food processing.

Table 1:
Agricultural indicators for Turkey and the EU27, 2008

	Turkey	EU27	Turkey compared to EU27 (%)
Agricultural land (1,000 ha)	41,207	183,156	22
- arable land (1,000 ha)	23,868	109,980	22
- permanent grassland (1,000 ha)	14,617	59,755	24
Share of agricultural land in total area (%)	52.6	43.9	120
Farms (million)	3	14.5	21
Average farm size (ha)	6.5	15.8	41
Agricultural trade volume (billion €)	14	139	10
Agricultural production value (billion €)	59	279	21
Share of agricultural labour in total labour (%)	27	5	540
Share of agricultural GDP in total GDP (%)	9.2	1.6	575
Sources: Turkish Statistical Institute, Eurostat			

Table 2:
Agriculture production statistics for Turkey and the EU27, 2008

	Turkey	EU27	Turkey compared to EU27 (%)
<i>Crops (1,000 tonnes)</i>			
Cereals (including rice)	28,533	313,982	9
Sugar beets	15,448	110,409	14
Oilseeds	1,176	23,312	5
Fruits and vegetables	37,286	61,764	60
<i>Livestock (1,000 head)</i>			
Total cattle	10,069	88,837	11
- dairy cattle	38 %	27 %	141
Sheep and goats	31,811	104,406	30
- sheep	81 %	87 %	93
Pigs	4	153,067	0
Sources: Turkish Statistical Institute, Eurostat			

Varied climatic and geographical conditions of Turkey permit a wide range of farming activities and almost all temperate and Mediterranean crops can be cultivated. Due to the country's close location to Europe, the Middle East, Russian Federation, Caucasian Countries, and North Africa it has easy access to large and growing markets. Due to high rates of population and income growth, Turkey's

vast basic agricultural resources, namely fertile soil, access to sufficient water and varied climate, offer a considerable potential for expansion and development (Atakan, 2008). These conditions are reflected in Turkey's status as a major world producer of cereals, nuts, cotton, tobacco, fruits and vegetables. Productivity growth, government support (including tariff and non-tariff protection), irrigation projects and an increasing export demand are main drivers for a growing Turkish agricultural production. For a number of years the agricultural sector has been undergoing a modernisation process, with irrigation schemes supporting improvements in the productivity of agricultural land, with agricultural labour being replaced by capital (such as tractors) and other infrastructure improvements.

In the 1980s and 1990s, Turkish agricultural producer support measures were entirely based on commodity output and variable input subsidies. The Agricultural Reform and Implementation Project (ARIP) was launched in 2001 and aimed to implement reforms to Turkish agricultural programmes. The envisaged reforms should bring Turkish agricultural policy more in line with that of the EU and with Turkey's commitments as a member of the World Trade Organization (WTO). Price supports and subsidies were to be removed with farmers compensated by the provision of direct income supports. However, although the commodity output and variable input based subsidies have been reduced since 2001, the income impact of those reductions has been almost entirely offset by the direct income support payments to farmers and the newly introduced compensatory premium payments for production of cereals, oilseeds and industrial crops, pulses, milk and meat (see Table 3). Moreover, the most recent reform of Turkish agricultural policy, as set out in the Agricultural Strategy Paper 2006 to 2010 (MARA, 2005), does not correspond to developments in the EU CAP. Turkey is moving from decoupled direct support back to more coupled direct support and price support, while the EU is moving in the opposite direction. Significant premium payments are still coupled to production for a large number of arable crops and livestock production systems, and are stimulating Turkish agricultural production and contributing to increasing Turkish self-sufficiency levels. With the exception of direct income support payments, which were abolished in 2009, all other agricultural support types in Turkey will likely continue over the next ten years. Indications of such a policy intention can be found in the Agriculture Strategy Document, prepared by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs and published by the Higher Planning Council in 2005.

Border measures (tariffs, tariff rate quotas, as well as other non-tariff barriers) are another significant source of protection for Turkish agriculture. On the one hand, import tariffs provide support for the country's domestic pro-

duction, while Turkey maintains a ban on imports of most live animals and animal products on the other hand. Given these high import barriers, a liberalisation of bilateral agricultural and food trade between Turkey and the EU would be highly asymmetrical.

These econometrically estimated, country specific, economic models of agricultural commodity markets provide a sound basis for analysing impacts of a future accession of current candidate countries. Commodity prices adjust so as to clear all the markets considered, while supply, use

Table 3:

Overview on border and domestic measures of Turkish agricultural policy

Measure	Commodity
Import tariffs (% rate)	zero for cotton; relatively high for cereals, sunflower seeds, vegetable oil, dairy products, poultry and meat, live animals
Tariff rate quota (tonnes)	cattle, beef meat, sheep meat (zero and low rate for TRQ)
Export subsidies (USD/ton)	fruits (frozen), vegetables (excluding potatoes), olive oil, poultry meat, eggs (per 1,000)
Export subsidies (% of exported quantity eligible)	fruits (frozen), vegetables (excluding potatoes), olive oil, poultry meat, eggs
Export taxes (% rate)	hazel nuts, animal hides
Premium payments (TL/tonne)	wheat, maize, barley, rye, oats, paddy rice, sunflower seed, soybean, canola, cotton, olive oil, pulses (bean, chickpea, lentils), tea, milk, beef, broiler meat
Compensation payments (TL/ha)	potatoes, citrus sap, apple sap
Direct, decoupled, income support payments (TL/ha, maximum area 50 ha) – abolished in 2009	cereals, oilseeds, potatoes, cotton, tobacco, fodder crops, pulses, tuber crops, vegetable and fruits, ornamental, private pasture-meadow, private forest areas
Diesel payments (TL/ha, maximum area 50 ha)*	cereals, oilseeds, potatoes, cotton, tobacco, fodder crops, pulses, tuber crops, vegetable and fruits, ornamental, private pasture-meadow, private forest areas
Fertiliser payments (TL/ha, maximum area 50 ha)*	cereals, oilseeds, potatoes, cotton, tobacco, fodder crops, pulses, tuber crops, vegetable and fruits, ornamental, private pasture-meadow, private forest areas
Production quota (tonnes)	sugar beets
*Not applied in 2006	
Source: Turkish Official Gazette and Ministry of Agriculture and Rural Affairs, General Directorate for Production and Development Website.	

AGMEMOD and Turkish country model

Given the importance of Turkey's agricultural sector and its intensive domestic agricultural support system, a Turkish accession to the EU and the concomitant adoption of the CAP by Turkey, is expected to affect both the Turkish and EU agricultural commodity markets. The AGMEMOD tool has been used to quantify the possible implications of the Turkish accession for these markets.

Specification of the AGMEMOD

AGMEMOD is a dynamic, partial, multi-country, multi-market equilibrium modelling system, which can provide significant detail on the main agricultural sectors in each EU Member State. The system has largely been econometrically estimated at the individual Member State level but it produces aggregated EU results as well. In the cases where estimations were neither feasible nor meaningful, the model parameters have been calibrated. The individual country models contain behavioural responses of economic agents on the agricultural markets due to changes in prices, policy instruments and other exogenous variables.

and prices of commodities are projected and simulated to a 10 years time horizon.

To solve the modelling system in prices, all commodity supply and utilisation balances at both the EU and Member State levels must hold and take into account the international trade and other commitments of the EU. The current model version regards the Rest of the World (non-EU region) in a stylized form as its imports and exports are represented by exogenous world market prices, import tariffs and export subsidies.

Projections are validated by standard econometric methods and through consultation with experts who are familiar with the agricultural markets in the regions under study. Both review types may result in a revision of model structures, parameter estimates and underlying policy assumptions.

Research based on AGMEMOD has been drawn on the expertise of an extensive network of economists working together across the EU. This growing network has been established over a number of years and has brought together a level of pan-national expertise that would otherwise be difficult to assemble. Their activities are supplemented by the assistance of national agricultural market experts

from the individual countries, who frequently review the model projections (Salamon et al., 2008).

AGMEMOD uses a bottom-up approach. Country level models have been developed based on a common country model template, reflecting the specific situation of the agricultural sectors in the individual countries. These country level models are then integrated into a composite EU model. This approach allows to capture the inherent heterogeneity of agricultural systems existing within the EU, while simultaneously maintaining analytical consistency across the estimated country models. The Turkish country model has been established along the same procedures and introduced in the overall AGMEMOD system. Besides Turkey and the EU Member States, the AGMEMOD model also captures the candidate countries Croatia and the Former Yugoslav Republic of Macedonia.²

Specification of the Turkish AGMEMOD sub-model

In our study, a detailed dataset and modelling structure for the main agricultural commodities in Turkey were integrated into the overall AGMEMOD modelling framework.

Further, a detailed set of Turkish agricultural policy instruments such as direct payments, support prices and import tariffs was developed. In developing and estimating the Turkish AGMEMOD model the maintenance of analytical consistency was achieved via the adherence to the agreed common templates. The Turkish model consists of different supply and demand sub-models for the main agricultural commodities in Turkey. In general, cereal and oilseeds with their derived products (oils and cakes), industrial crops (sugar beet, cotton and tobacco), potatoes, livestock (cattle, beef, poultry, sheep and goats), dairy (raw milk, on farm consumption of whole milk, drinking milk, other fresh products, butter, milk powder and cheese), tomatoes, olives, olive oil, oranges and apples were modelled. For each of these commodities, production as well as supply, demand, trade, stocks and domestic prices have been derived by econometrically estimated or calibrated equations (Figure 1).

To complete the Turkish AGMEMOD commodity sub-models, it was necessary to add an equation describing the equilibrium for each commodity market. This condition implies that production plus beginning stocks plus imports

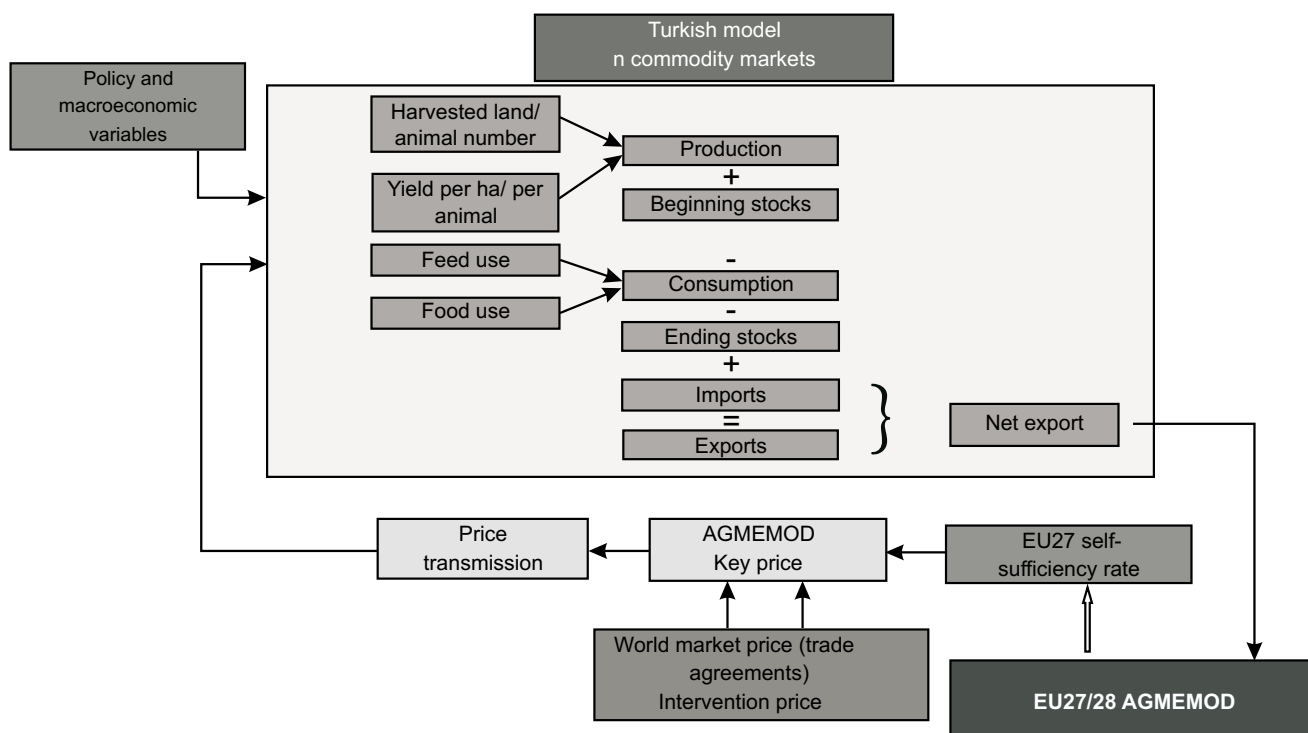


Figure 1:
 AGMEMOD structure for Turkey

² The AGMEMOD 3.0 version includes also models of the cereal and oilseeds markets of Russia and the Ukraine, although these are not EU candidate countries. Both country models run as separate models.

must equal domestic use plus ending stocks plus exports. In a closed economy model (with no imports and exports), such a supply and use equilibrium condition is sufficient to endogenously determine the equilibrium country market prices. Given that Turkey does not represent a closed economy, the Rest of the World has an important impact on the market modelled. To account for such impacts price linkage equations are used to represent the inter-relationship between markets in Turkey, the EU and the Rest of the World. The price linkage equations in the model are written as:

$$p_{i,t} = \alpha_t [f(Wp_{i,t}, ssr_{i,t}, V)] + (1 - \alpha_t) [f(Kp_{i,t}, ssr_{i,t}, Kssr_{i,t})]$$

Where $p_{i,t}$ is the price of the Turkish commodity i in year t , $Wp_{i,t}$ is the world market price of commodity i in year t , $Kp_{i,t}$ is the AGMEMOD EU key price of commodity i in year t , $ssr_{i,t}$ is the Turkish self sufficiency rate (production divided by domestic use) for commodity i , $Kssr_{i,t}$ is the self sufficiency rate for the same commodity and year in the EU market and V is a vector of exogenous variables which could have an additional impact on the Turkish national price, such as the Turkish support prices and Turkish border protection measures.

For years including 2015 and thereafter, under the Accession scenario the dummy variable α_t is equal to zero. Under the baseline and under the Accession scenario before 2015 the Turkish price for commodity i is determined by Turkish supply and use balance, the world price of the commodity concerned and Turkish tariff rates and other exogenous variables that will affect the relationship between Turkish and external markets. However, from the moment Turkey enters the EU market (as a Member State), the dummy variable α_t is set equal to zero and the Turkish price is determined by the EU key price for the commodity concerned and the self sufficiency rates in Turkey and in the EU.

Baseline and Accession Scenarios

In order to examine the impact of a possible future accession of Turkey to the EU on Turkish and EU agriculture, AGMEMOD is used to generate projections under two sets of contrasting assumptions regarding the accession of Turkey to the EU. In the pre-accession projection period the current agricultural and trade policy structures in the EU27 and in Turkey remain different and in place. In modelling the impact of Turkish EU accession, the CAP is assumed to replace the Turkish agricultural policy during the accession period starting in 2015. This accession date is not regarded as a likely date, but was chosen for technical reasons with regard to the model's ability to adjust to changes in the

political environment. In the post accession period, 2015 and onwards, the agricultural policies of Turkey are based on the agricultural policies in force in the EU and these are implemented within the AGMEMOD modelling framework following the policy harmonization approach that was developed and implemented under the FP6 study AGMEMOD 2020 (project number SSPE-CT-2005-021543). The baseline and accession scenario are described in more detail below.

The *EU27 baseline* situation assumes the following:

- the provisions of the CAP Health Check agreement of November 2008 remain in place for the projection period to 2020, including the abolition of milk quotas, the zero set aside rate from 2009, decoupled direct support (SPS and SAPS) and remaining coupled direct payments, and modulation rates that reach 14 % by 2012;
- EU agricultural trade policy measures will continue to be governed by the Uruguay Round Agreement on Agriculture (URAA);
- the macroeconomic projections per Member State, updated to capture financial crisis effects prevail;
- the US dollar weakens against the Euro over the next ten years (FAPRI, 2010);
- world prices develop as in FAPRI projections (FAPRI, 2010);
- the EU 10 % biofuels directive would be achieved in full by 2020.

The *Turkey baseline* situation assumes the following:

- the macroeconomic projections for Turkey, according to current knowledge, prevail over the projection period to 2020;
- specific Turkish agricultural policy instruments: input subsidies, premium payments, hectare payments and production quota continue over the projection period to 2020, however, as the Turkish government regularly adjusts policy measures to compensate for inflation rates or changes in market balances, the monetary values of the measures were fixed in Euro and then recalculated in Turkish Lira³;
- direct income support is abolished from 2009;
- current trade policy that protects Turkish agriculture, i.e. import tariffs, import bans on most live animals and livestock products and export subsidies, is continued over the projection period to 2020.

³ Same approach as for the non-Euro zone EU Member States.

In the accession scenario it is assumed that Turkey accedes to the EU on 1 January 2015. The *EU28 accession* scenario is based on the following:

- EU is enlarged to 28 members with the accession of Turkey from 1 January 2015;
- agricultural policy in the EU28 from 1 January 2015 onwards is that which prevails in the EU27 under the baseline (Health Check);
- the same trade assumptions apply to the EU28 as applied to the EU27 under the baseline scenario;
- the macroeconomic and world price projections used in the accession scenario are the same as in baseline scenario;
- EU budget allocated to support Turkey's agriculture from 2015 onwards, coupled and decoupled supports by commodity;
- the assumed implementation of the EU biofuels directive under the baseline scenario also occurs under the accession scenario, however such a directive was not built in for Turkey.

Commodity balance items such as production, domestic use, stocks, exports, imports as well as the associated prices are projected and simulated from year 2007 to 2020. Baseline projections and accession simulation results cover:

- the individual EU Member States and Turkey;
- EU27 as a whole (27 Member States from January 2007), respectively EU28 as a whole (EU27 and Turkey) from 2015 onwards.

Model results

Baseline outlook

The Turkish baseline results for cereals and oilseeds indicate that these markets will continue to be highly protected allowing projected cereal and oilseed prices to remain significantly above the EU and the world prices. At the same time yield growth per hectare is expected to be relatively low for wheat and barley due to limited irrigation possibilities. However, a higher yield growth is projected for maize due to the use of higher yielding seed varieties. A gradual growth in the area of cereals and oilseeds harvested is projected under the baseline.

Under the baseline in general, Turkish prices for other crops like root crops, tobacco and cotton are simulated to remain significantly above the EU prices. Price projections for Turkish oranges and apples see these continuing at levels in excess of those projected to prevail on EU markets, while Turkish prices for tomatoes and olive oil are projected to remain below EU market prices (Table 4).

Turkish yields per hectare for tobacco are projected to be stable under the baseline, with baseline yields of cotton projected to grow more over time. In contrast, the growth in yields for apples and tomatoes are assumed to be small due to poor access to financial services to modernize production systems combined with high interest rates for agricultural credit and the very limited farm sizes. Due to higher direct payment and subsidy support under the baseline, land use will switch from tobacco to cotton. Driven by support premiums, tomato and apple areas are also projected to grow.

In the animal sectors, the Turkish beef, sheep meat and eggs prices will remain significantly above EU prices, supported by the continuation of current tariff and non-tariff protection, while the Turkish broiler price is simulated to remain below the EU price level. The characteristics of highly dispersed production, low yields and semi-subsistence farming will limit market growth in the beef sector and lead to high Turkish beef and lamb prices under the baseline conditions. Large vertically integrated firms, with labour and land cost advantages, are stimulating Turkish broiler meat production and also consumption with low prices compared to other meat products. Therefore, broiler exports are expected to increase.

Due to continued tariff protection, the baseline projection indicates that Turkish prices for milk and dairy products will remain significantly above EU price level. However, in the course of the projection period Turkish prices are projected to decline due to increasing self-sufficiency rates and declining production costs. Currently, Turkish dairy farms are characterised by small average sizes and relatively low productivity combined with a relatively low share of deliveries to dairies. Those structural deficits are partly preserved by tariffs and coupled premiums; hence, productivity growth will lead to a moderate increase in production. Turkish dairy product markets are determined by domestic market forces, as they are largely isolated from world markets by high import tariffs. However, due to growing Turkish real per capita incomes and population, the dairy product consumption is simulated to rise under the baseline.

EU27 baseline projections indicate that wheat and oilseed prices will remain at relatively high levels, while the barley price won't reach the general cereals price level. Especially the additional demand for biofuels, based on the EU targets, is driving this development, while in contrast the reduced intervention and the limited demand increase for feed will affect prices of coarse grains. Total cereal area harvested in the EU27 is projected to slightly decline under the baseline compared to total oilseeds area harvested which remains constant or even increases. In the EU27 production levels of both cereals and oilseeds are projected to expand due to productivity gains. Thus, the

Table 4:
Selected baseline results for Turkey and EU27

	Baseline 2020			% change p.a. 2020 vs 2005		
	Production 1000 t	Domestic use 1000 t	Price €/100 kg	Production	Domestic use	Price
Turkey						
Plant production						
Soft wheat	17192	23366	21.9	0.1	2.1	0.2
Maize	4712	7133	20.7	0.8	2.8	-0.4
Rapeseed	290	410	33.7	44.2	13.0	1.6
Potatoes	4962	4510	13.1	1.3	0.7	-3.5
Sugarbeets	15257	15272	8.9	0.0	0.0	1.9
Tobacco	89	58	222.0	-2.8	-4.8	-1.1
Cotton	1206	1623	122.5	2.3	0.5	0.7
Tomatoes	14338	13689	23.5	2.4	2.3	-0.6
Oranges	2118	1579	23.6	2.6	1.2	-2.1
Apples	2966	2888	38.4	1.0	0.8	-1.6
Animal products						
Beef and veal	584	574	473.5	4.1	3.9	-0.2
Lamb meat	137	112	372.0	4.2	2.8	-2.2
Butter	233	247	306.3	2.6	0.7	-2.4
Cheese	637	648	470.0	2.7	1.9	-1.4
Other fresh products	2938	3090	117.7	1.8	2.2	0.0
EU27						
Plant production						
Soft wheat	144087	136785	12.6	0.8	1.3	1.8
Maize	77240	81509	12.9	1.3	2.0	0.6
Rapeseed	20032	23599	32.5	1.9	2.0	3.6
Potatoes	63593	61886	13.3	0.5	0.1	-0.3
Sugarbeets	131340	130034	27.9	-0.2	-0.2	-0.5
Tobacco	393	355	173.7	0.0	-0.5	-0.7
Cotton	781	173	46.3	0.7	2.2	0.4
Tomatoes	20013	18582	56.3	0.8	0.4	1.2
Oranges	6277	17596	23.5	0.1	0.3	0.0
Apples	11675	12502	28.6	0.7	0.6	-0.1
Animal products						
Beef and veal	7927	8942	324.3	-0.4	0.1	0.8
Pig meat	22477	22570	126.5	0.1	0.7	0.3
Broiler	6002	6134	166.3	1.2	0.9	2.9
Butter	2189	2097	254.7	0.1	-0.2	-0.8
Cheese	9914	9543	395.6	0.8	0.9	-0.6
Source: AGMEMOD, 2010						

Source: AGMEMOD, 2010

EU27 cereal production is projected to grow only due to increasing productivity per hectare in the Member States. In filling the mandatory blending rate requirements of the EU Renewable Energy Directive, the EU is projected to become more dependent on imports of rape oil and maize

under the baseline.

The EU sugar price is projected to decline due to the 2005 EU sugar reform, and EU sugar prices are moving towards the world price over the baseline projection period. Thus, EU27 areas harvested for root crops will

decline. Furthermore land use for cotton and tobacco is projected to decline, while area cultivated with fruits and vegetables is projected to stabilize over the baseline projection period. The EU will remain a net importer of apples under the baseline.

In the livestock and meat markets, the main trends for the EU27 are projected: beef markets are driven by declining dairy cow herds will be characterized by declines in the dairy cow herds, which will result in a lower beef production while at the same time the demand will remain stable. As a consequence, the EU net imports for beef are expected to exist over the whole projection period. The overall effect will be stable beef prices. In the pig meat and poultry sector the baseline projections depict production and consumption increases leading to slight declines in net exports while prices remain quite stable.

With regard to the dairy sector, the projections indicate that the milk quota abolition will lead to a slight increase in milk production. Due to the phasing-in of the quota abolition in 2015 additional quotas will become available; hence not in all Member States the quota will remain binding, thus expansions in production are less than the quota increases granted. Milk prices are projected to remain relatively stable at 27 ct/kg. According to the baseline projections, cheese market prices are to remain firm over the period, as demand growth is higher than the projected production growth. Thus net trade is slowly declining. Under the baseline, the EU butter market price is expected to decrease slightly. EU skim milk powder market prices are expected to grow slightly over the baseline due to a projected small production decrease and a stable demand. The reallocation of milk fat and protein towards higher value products is to continue, e.g. production of cheese and fresh products production is projected to grow.

Accession impacts

Under the baseline, Turkish agricultural commodity prices are mainly driven by world market prices, import tariff rates and import bans, while under the accession scenario, prices converge towards the EU key prices over the course of time. Impacts of the Turkish EU accession on Turkish on the Turkish agri-food markets are presented relative to the outcome under the baseline (see Table 5).

The market effects of accession to the EU are projected to be mostly negative for the Turkish crop sectors because market prices are projected to decline under the accession scenario. With the lower prices and quantities produced, producers' income is reduced for almost all commodities. However, producers of tobacco (more support compared to baseline scenario), sheep meat, broiler and dairy milk (lower feed costs for livestock sectors relative to the baseline) could gain from an EU accession.

Table 5:

Impact of an EU accession on main Turkish agricultural markets, relative to the baseline in 2020, in percent

	Price	Production	Domestic use	Self-sufficiency rate
Soft wheat	-39.4	-11.2	4.7	-15.1
Barley	-40.5	-4.3	10.8	-13.6
Maize	-35.7	-21.5	10.0	-28.6
Rice	-15.7	-24.6	4.1	-27.6
Sunflower	-29.2	0.7	3.7	-2.9
Potatoes	-28.9	-53.1	-0.1	-53.0
Sugar	-55.2	-27.3	14.8	-36.7
Tobacco	-56.2	7.9	0.7	-36.6
Cotton	-38.0	19.6	3.5	15.5
Tomatoes	-6.0	7.7	0.2	7.5
Oranges	-19.5	0.3	4.5	-4.0
Apples	-18.7	0.9	1.2	-0.3
Beef	-31.6	0.04	20.5	-17.0
Poultry	30.8	9.6	-8.0	19.1
Sheep meat	-8.1	29.5	45.7	-11.1
Milk	-14.8	3.1		
Butter	-11.2	2.7	0.3	2.5
Cheese	-16.1	4.8	0.0	4.8
Other fresh products	-10.9	3.5	1.2	2.3
Source: AGMEMOD, 2010				

The demand levels of most commodities would increase due to lower prices, thus Turkish consumers are expected to gain from an accession to the EU.

At the same time, the accession scenario also has impacts on EU agricultural commodity markets (see Table 6). In 2020, the EU now includes 28 Member States as Turkey is assumed to have entered in 2015. Percentage changes in the self-sufficiency rates of the commodities represented are calculated between rates of the EU27 under the baseline and EU28 under the accession scenario. When 27 and EU28 results are compared production of wheat, rice, tobacco, cotton, tomatoes, oranges, apples, poultry and sheep meat are projected to increase significantly in the event of Turkey joining the EU.

While under the baseline, EU prices were mainly driven by world market prices, EU trade measures and the self-sufficiency rates for the EU27, under the accession scenario, however, Turkey influences the self-sufficiency rates at the EU28 level and this influence leads to projected changes in the level of EU key prices. Those changed prices levels induce adjustments in commodity supply and use at the Member States level. Table 6 shows that, relative to the baseline, in particular the lower self-sufficiency rates for barley, maize, rice and cotton are projected to lead to

higher EU prices, while projected higher EU28 self-sufficiency rates for tomatoes, oranges, apples, and poultry are expected to generate lower EU prices.

Table 6:

Impact of the Turkish accession on EU agricultural markets, relative to the baseline in 2020, in percent

	Price	Self-sufficiency rate
Soft wheat	0.9	-6.2
Barley	2.1	-7.0
Maize	1.2	-4.1
Rice	17.4	-10.1
Sunflower	0.0	-10.6
Potatoes	-1.0	-3.5
Sugar beets	0.0	-4.4
Tobacco	-0.8	6.6
Cotton	6.6	-73.4
Olive oil	0.0	0.7
Tomatoes	-4.5	1.7
Oranges	-2.8	22.3
Apples	-0.5	1.8
Beef	0.0	0
Pig	-0.3	0.1
Poultry	-3.1	2.1
Milk	0.1	
Butter	0.2	-0.7
Cheese	0.1	0

Source: AGMEMOD, 2010

Qualification and conclusions

As with all policy simulations, the results described in this study are based on several explicit and implicit assumptions. Therefore the following points should explicitly be mentioned:

- Although the latest available projections concerning the macroeconomic variables have been used, considerable uncertainties concerning their future development remain. Major impacts can be ascertained by variations in exchange rates; hence, effects could be derived by simulating different sets of macroeconomic variables.
- Weather conditions are assumed to be normal, if weather deviates significantly from the average, e.g. during a drought, then prices are expected to increase above the projected level and vice versa. EU Bioenergy Mandates have been considered in AGMEMOD's baseline and scenario simulations. However it remains uncertain to which extent they will be fulfilled and by

what approach they will be implemented in the different Member States. Furthermore, the use of second generation biofuels and an extra positive shock of biofuels demand arising from Turkey's accession have not been considered.

- Specific challenges are incurred in the projections for the milk market sector as the abolishment of the quota regime, which restricted milk quantities in the EU for 30 years, constitutes a structural break which is difficult to model and the level of quota rents imputed in the models has a significant impact on results.
- Turkish animal data is currently under revision with the aim to provide more harmonised information. When more consistent and harmonised data are made available from the Turkish Statistical Institute this should allow for an improved presentation of the Turkish animal sectors.
- Another issue relates to the assumption of commodity homogeneity. In reality many of the price spreads observed between Member States are due to quality differences between commodities. In AGMEMOD, there is only one price per commodity that is used as the key price, although the product in question can be very heterogeneous across countries.
- A further restriction of the model is the fact that the feedback between the EU and the world market has not yet been captured.
- Equilibrium models are not explicitly taking into account short-term fluctuations of, e.g., world market prices. As the baseline scenario involves cuts in intervention prices, world market price fluctuations will be transmitted to domestic EU prices to a larger extent than occurred in the past.

Despite and partly in view of the mentioned limitations, the simulation results of this study as well as the process of data compilation and parameter estimation still allows for several conclusions:

- Turkey is characterised by a differentiated agriculture that covers nearly all sectors of the EU agriculture with a strong focus on plant production in general and on the production of fruits and vegetables in particular.
- In Turkey, the system of data collection and dissemination is currently under revision. Considerable knowledge is required to compile data of requisite quality, while long time series are needed to conduct parameter estimates. Consequently, estimates are hampered by the presence of 'structural' and/or technical breaks in the long-term data series. In this study the collection of data and development of coherent data sets on the Turkish animal sectors proved to be one of the biggest challenges. Thus additional efforts in the statistical har-

monisation are required to improve the basis for sound policy advice.

- To simulate the potential impacts of a possible Turkish accession to the EU, a detailed agricultural policy inventory was carried out revealing that, as with the EU CAP system, the Turkish agricultural market policy has been subject to regular policy reforms. However, Turkish policy reforms can be distinguished from the EU's by the frequencies of policy adjustments and its ad-hoc nature in order to counteract unwanted market developments.
- The currently applied support prices in Turkey are often buying-in prices set by state enterprises or cooperatives. Although such prices are not support prices from a formal point of view, they are expected to generate similar market impacts and thus have been modelled as such.
- In 2001, a policy reform was launched with the objective to liberalise Turkish agricultural markets, and to move to non-distorting policy instruments (decoupled payments). However, despite the reduction of commodity output and input based subsidies, Turkey is now moving from a system of decoupled direct income support back to more coupled direct income and market price support regime.
- Most Turkish prices for crop, meat and dairy products are significantly above the EU and world price level under the baseline. This high price level also implies relatively high feed costs for Turkish meat and dairy producers. Under the baseline the Turkish production of cotton, fruits and vegetables increases over the projection period due to the relatively high policy support levels. Vertically integrated large firms with low labour and land costs are projected to stimulate broiler production in Turkey and domestic consumption levels.
- The Turkish agricultural policy program aims to achieve self-sufficiency. Due to this objective the relationship between supply and demand on the Turkish markets does not change fundamentally under the baseline. Both supply and demand are projected to grow in most cases. While nominal markets prices, expressed in Turkish currency, are expected to increase over the baseline projection period, the production growth for some commodities leads to declines in domestic prices towards EU price levels when these prices are expressed in Euros.
- By the end of the baseline projection period, projected price gaps between the higher Turkish prices and EU prices are generally reduced, however in some cases still remain at a considerable level.
- Previous EU accessions indicate that when prices in acceding countries were markedly above the EU prices prior to accession (e.g., Finland, Sweden, Austria) the-

se prices quickly dropped to EU levels after accession. In contrast, in acceding countries where domestic prices were lower than EU prices at the time of accession (as in most of the EU12 Member States that acceded in 2004 and 2007), it takes more time until these prices converge. The converging process does not categorically provide a single EU price, but in deficit regions mostly results in somewhat higher prices, e.g. like the milk producer price in Italy. Besides the deficit versus surplus argument, the commodity mix is another explanation for the differences in prices. The principle impact of the Turkish accession on Turkish agriculture is the projected reduction of domestic producer prices. Dairy prices are projected to decline by about 15 % while crop prices are projected to drop by 20 % to 50 % as a result of the accession to the EU. Additionally the CAP support payments (which are mostly decoupled) give smaller incentives to increase production than those payments under the baseline. The results of the accession scenario analysis indicate that even though a reduction in production support will occur, this will not lead to dramatic reductions in production levels when compared to the baseline. An effect of the accession on livestock production in Turkey is positive as the price decline for cereals in Turkey leads to lower feeding costs. Furthermore, decrease in market prices is the associated with positive impacts on the level of Turkish consumption.

- In general, with the adoption of the CAP by Turkey the level of support to Turkish agriculture is projected to decrease for almost all commodities. In particular, the support provided to producers of maize, rice and potatoes will be less under the accession scenario than under the baseline. The analysis in this study suggests that the supply of these commodities in Turkey will decline by between 20 % and 40 %. On the other hand, their demand levels would increase.
- Tobacco, sheep meat and cotton are exceptions. Direct payments to these sectors are assumed to remain partly coupled in the event that Turkey would accede to the EU. This is projected to result in production growths for these commodities.
- Impacts of a Turkish accession to the EU are limited in most cases except in those where the share of the Turkish market is considerable, e.g. rice, cotton, tomatoes, oranges, sheep meat. In contrast, accession effects on the Turkish agri-food markets are mostly negative because market prices and produced quantities are both projected to decline under the accession scenario when compared with the baseline of non-accession. With the lower prices and quantities produced producers' income is reduced for almost all commodities. However, producers of tobacco due to higher support

compared with baseline scenario, as well as of sheep meat, broiler and milk induced by lower feed cost compared to baseline could gain from an accession.

References

- Atakan T (2008) Sector report agriculture : Turkey [online]. To be found at <<http://www.google.de/search?q=atakan+sector+agriculture+turkey&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:de:official&client=firefox-a>> [quoted 11.11.2010]
- Burrell A, Oskam A (2005) Turkey in the European Union : implications for agriculture, food and structural policy. Wallingford : CABI, 302 p
- Burrell AM, Kurzweil M (2007) Distortions to incentives in Turkey. Washington : World Bank, Agricultural Distortions Working Paper 10
- Chantreuil F, Le Barbenchon M-D (2007) AGMEMOD database documentation : AGMEMOD Deliverable 3 ; project no. SSPE-CT-2005-021543
- Esposti R, Camaioni B (2007) Technical report on the modelling structure : document number AGMEMOD WP2 D2 ; project no. SSPE-CT-2005-021543
- Eurostat (2010) Statistics Database [online]. To be found at <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/agriculture/data/database>> [quoted 03.11.2010]
- FAPRI (2010) FAPRI 2010 US and world agricultural outlook [online]. To be found at <<http://www.fapri.iastate.edu/outlook/2010/>> [quoted 03.11.2010]
- Leeuwen M van, Tabeau A, Dol W, Bouma F (2008) Technical report on the combined model : AGMEMOD Deliverable 8 ; Project no. SSPE-CT-2005-021543
- MARA (2005) Agricultural strategy paper 2006-2010. Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Ankara [online]. To be found at <<http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jas/2006/3052-3059.pdf>> [quoted 23.11.2010]
- Pelikan J, Brockmeier M, Kleinhanß W, Tietz A, Weingarten P, Bayaner A (2009) Auswirkungen eines EU-Beitritts der Türkei. Braunschweig : vTI, 112 p, Landbauforsch SH 329
- Salamon P, Chantreuil F, Donnellan T, Erjavec E, Esposti R, Hanrahan K, Leeuwen M van, Bouma F, Dol W, Salputra G (2008) How to deal with the challenges of linking a large number of individual national models: the case of the AGMEMOD partnership. *Agrarwirtschaft* 57(8):373-378
- Turkish Statistical Institute (2004) Agricultural structure : production, price and value. Ankara : Turkish Statistical Inst

Abschätzung des Aufkommens an Kohlenstoff in Biomasse-Reststoffen in Deutschland für eine Verwertung über Hydrothermale Carbonisierung (HTC) und Einbringung von HTC-Kohle in den Boden

Frank Schuchardt und Klaus-Dieter Vorlop*

Zusammenfassung

Pflanzliche Rest- und Abfallstoffe aus der Land- und Forstwirtschaft, der Lebensmittelindustrie, der Biotop- und Landschaftspflege und den Kommunen werden als Rohstoffe zur energetischen und stofflichen Verwertung herangezogen. Sie enthalten Nährstoffe und Spurenelemente und können zur Bodenfruchtbarkeit beitragen. Da in Deutschland bereits sämtliche anfallenden Biomasse-Reststoffe verwertet werden, besteht auf dem Markt teilweise eine Nutzungskonkurrenz zwischen diesen Stoffen. Die jährlich in Deutschland anfallende Gesamtmasse pflanzlicher Rest- und Abfallstoffe ist nicht bekannt, da diese statistisch nicht erfasst wird, so dass sie zu einem großen Teil nur auf der Grundlage von Annahmen und Faustzahlen errechnet werden kann. In der vorliegenden Arbeit wird der Versuch unternommen, basierend auf dieser Datengrundlage des Biomasseanfalls in Deutschland, das für eine Hydrothermale Carbonisierung (HTC) mit anschließender Einbringung der HTC-Kohle in den Boden zur Verfügung stehende Kohlenstoffpotenzial abzuschätzen. Weiterhin wird eine Definition des HTC-Potenzials vorgeschlagen. Nach Abzug der durch ökologische und technische Restriktionen nicht verwertbaren Biomasse-Reststoffe verbleibt ein technisch-ökologisches Kohlenstoffpotenzial von etwa 29 Mio. t jährlich. Das entspricht 61 % des theoretischen Potenzials von 47 Mio. t. Da jedoch das technisch-ökologische Potenzial an Biomasse-Reststoffen bereits anderweitig genutzt wird, stehen von den 29 Mio. t lediglich 1,77 Mio. t oder etwa 6,1 % als Kohlenstoff als Verwertungspotenzial für die Hydrothermale Carbonisierung zur Verfügung. Das in der vorliegenden Arbeit geschätzte HTC-Potenzial ist noch unsicher, da wesentliche Fragen, die das mögliche HTC-Potenzial mitbestimmen könnten, wie z. B. Gesamt-Energiebilanzen, die Wirkung der HTC-Kohle im Boden und eine Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) bisher unbeantwortet sind.

Schlüsselworte: Biomasse-Reststoff, Hydrothermale Carbonisierung, HTC, Kohlenstoff, Bilanz

Summary

Estimation of the carbon amount in biomass residues in Germany for hydrothermal carbonisation (HTC) and disposal of HTC-coal to the soil

Crop waste and residues from agriculture, forestry, food industry, biotope and landscape management and municipalities are raw materials for energy and material recycling. They contain nutrients and trace elements and can maintain soil fertility. Partially there is a competition for its use at the market, because no unused and free waste is available. The total amount of crop waste and residues in Germany is unknown, because no statistical data are available. Widely it can be calculated on assumptions and standard values only. Because all biomass residues in Germany are used, a utilization competition occurs at the market. In the present paper we tried to estimate the carbon potential for hydrothermal carbonisation (HTC) and following land application, based on the data for biomass residues in Germany. Furthermore a definition for the HTC potential is recommended. After subtraction of unusable biomass residues by ecological and technical restrictions the technical-ecological carbon potential is about 29 million tonnes annually. Because the technical-ecological potential of biomass residues is used otherwise already, from the 29 million tonnes only 1.56 million tonnes or 5.4 % of the carbon are available for hydrothermal carbonisation. The estimated HTC-potential is uncertain because substantial questions influencing the HTC-potential are unanswered until now: The total energy balance, the effect of HTC-coal in the soil and a life cycle assessment (LCA).

Keywords: Biomass residues, hydrothermal carbonisation, HTC, carbon, balance

* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, frank.schuchardt@vti.bund.de

1 Einleitung

Die in der Land- und Forstwirtschaft, der Nahrungs- und Genussmittelindustrie, der Biotop- und Landschaftspflege und den Kommunen anfallenden pflanzlichen Rest- und Abfallstoffe (Biomasse-Reststoffe) sind Rohstoffe zur energetischen und stofflichen Verwertung. Durch ihre Gehalte an organischer Substanz, Nährstoffen und Spurenelementen können sie beitragen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und zur Pflanzen- und Tierernährung. Auch eine Verwertung z. B. als Baumaterial oder Fermentationssubstrat ist möglich. Dabei besteht auf dem Markt teilweise eine Nutzungskonkurrenz zwischen diesen Stoffen, da es keine ungenutzten, frei verfügbaren Biomasse-Reststoffe gibt. Eine Ausnahme könnte im Wald verbleibendes Rest- und Schwachholz sein (UBA, 2007).

Im Bereich Landwirtschaft werden die organischen Stoffe in den Produktionskreislauf verbracht, teilweise nach einer Zwischennutzung in Biogasanlagen. In den übrigen Bereichen sind auf der Grundlage des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG, 1994) seit langem feste Verwertungswege etabliert (z. B. energetisch in Kraftwerken, stofflich als Tierfutter, Kompost, Mulch oder Pflanzendünger). Eine alternative Verwertung dieser Stoffe ist nur dann anzunehmen, wenn sich dadurch ökonomische Vorteile für den Abfallverursacher ergeben. Die jährlich in Deutschland anfallende Gesamtmasse organischer Rest- und Abfallstoffe ist nicht bekannt, da nicht statistisch erfasst, und kann zu einem großen Teil nur auf der Grundlage von Annahmen, Abschätzungen und Faustzahlen errechnet werden. Die Kenntnis der tatsächlich für bestimmte Zwecke zur Verfügung stehenden Biomassen

hat einen Einfluss auf ökonomische, politische und technische Entscheidungen und Entwicklungen.

Verstärktes Interesse hat in den vergangenen Jahren die Aufbereitung von Reststoff-Biomasse über das Verfahren der Hydrothermalen Carbonisierung (HTC) gefunden und die Verwertung der dabei entstehenden „Biokohle“ zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit bzw. zur Sequestrierung von Kohlenstoff vor dem Hintergrund des Klimawandels (FNR, 2010; Kammann et al., 2010; Wallmann et al., 2010). Durch höhere Ernteerträge bei verbesserter Bodenfruchtbarkeit und CO₂-Gutschriften soll das Einbringen von HTC-Kohle in den Boden auch ökonomische Vorteile bieten. Alternative Möglichkeiten zur Anwendung von HTC-Kohle als CO₂-neutrales Substitut für fossile Kohle, z. B. als Energieträger in Kraftwerken oder zur Herstellung von Synthesegas, werden diskutiert.

Auf der Grundlage des Anfalls von Reststoff-Biomasse in Deutschland und deren Verwertungsalternativen wird der Versuch unternommen, das für das HTC-Verfahren zur Verfügung stehende Biomasse- und Kohlenstoffpotenzial abzuschätzen. Zoomasseabfälle werden im Rahmen dieser Veröffentlichung nicht betrachtet.

2 Biomasse-Reststoffe in Deutschland und die Verwertungspotenziale

2.1 Landwirtschaft und Nahrungs- und Genussmittelindustrie

Der Ursprung der Biomasse-Reststoffe der Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie ist die Pflanzenproduktion auf Ackerflächen und Grünland (Abb. 1). Die dabei direkt entstehenden Reststoffe werden stofflich verwertet.

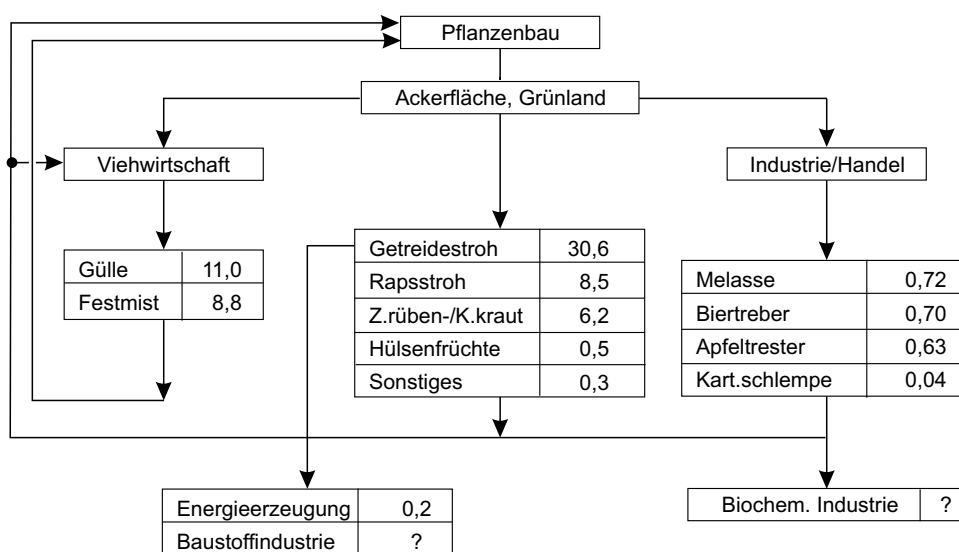


Abbildung 1:

Massenströme (in Mio. t Trockenmasse) im Bereich Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie

Sie verbleiben zum Humusausgleich auf dem Feld oder werden als Einstreu oder Futter in der Tierhaltung geborgen und gelangen auf diesem Umweg wiederum auf das Feld bzw. Grünland. Von den in Deutschland jährlich anfallenden 36 Mio. t Stroh gelangen auf diesem Wege etwa 8,5 Mio. t als Einstreu in die Ställe. Die Strohmenngen, die zur Energieerzeugung genutzt werden, sind vergleichsweise gering. Die Mengen der in der Baustoffindustrie verwendeten Strohmenngen sind nicht bekannt, werden aber als unbedeutend angesehen. Wegen der hohen Kosten werden Reststoffe häufig nicht vom Acker geborgen.

Für die in der Nahrungs- und Genussmittelindustrie anfallenden Reststoffe gibt es keine genauen Daten, häufig werden sie geheim gehalten. Der bedeutendste Weg der Verwertung von Rückständen der Nahrungs- und Genussmittelindustrie ist der als Viehfutter. Reststoffe der Stärkeproduktion und der Pflanzenölverarbeitung spielen dabei eine wichtige Rolle. Daneben sind pflanzliche Rückstände für die chemische Industrie von Interesse zur

- Gewinnung von Inhaltsstoffen (z. B. Vitamine, Weinsäure, Antioxidantien, Coffein, Tannine, Pektin, Lecithin, Farb- und Duftstoffe aus der Verarbeitung von Obst und Gemüse sowie aus der Wein-, Kaffee- und Kakaoproduktion),
- Verwendung bei biotechnischen Fermentationsprozessen (insbesondere zuckerhaltige Reststoffe) und
- Gewinnung von Plattformchemikalien.

Auch über eine direkte (aktuelle oder potentielle) Nutzung von Prozessrückständen wird berichtet, wie z. B. die Verwendung von Trester und Treber als Supplement in der Ziegelherstellung, als Isoliermaterial und als Adsorbentien in der Wasseraufbereitung (Mahro, 2010).

Da bereits alle Biomasse-Reststoffe aus Landwirtschaft und Nahrungs- und Genussmittelindustrie einer Verwertung zugeführt werden, ist in diesem Sektor kein nennens-

wertes HTC-Potenzial zu erwarten, es sei denn es kommt zu einem Verdrängungswettbewerb.

2.2 Forstwirtschaft

Die in der Forst-, Holz- und Papierwirtschaft anfallenden Rest- und Abfallstoffe werden nahezu vollständig stofflich oder energetisch verwertet, teilweise in einer Kaskadennutzung (Abb. 2). Ungenutzte Potenziale zur energetischen Verwertung werden in der Nutzung von bisher nicht genutztem Waldholz gesehen (UBA, 2007).

2.3 Biotop- und Landschaftspflege

Die in der Biotop- und Landschaftspflege (z. B. erhaltenswerte Biotopie wie Heideflächen, Feuchtbiotopie, Streuobstwiesen) anfallende Biomasse, einschließlich der von kommunalen Gärten, Parks, Sportplätzen und Friedhöfen sowie Randstreifen von Verkehrswegen, besteht im Wesentlichen aus gras- und krautartigem Material und zu einem geringeren Teil aus Holz (Abb. 3). Da diese Biomasse in der Regel nicht von der Fläche entfernt und zu keiner öffentlichen Anlage transportiert wird, kann deren Masse nur geschätzt werden. Ein Nachteil für die Verwertung der Biomasse aus der Biotop- und Landschaftspflege ist deren je nach Jahreszeit unterschiedliche Zusammensetzung und der Anfall zu verschiedenen Zeitpunkten auf weit gestreuten Flächen (z. B. Straßenbegleitgrün). Dadurch ist deren Nutzung, auch aus wirtschaftlichen Gründen, erschwert. Gleichwohl ist aus Sicht des Naturschutzes eine Bergung des Grasschnitts erwünscht, um eine wünschenswerte „Aushagerung“ zu erreichen bzw. ein Verfilzen der Grassoden zu verhindern (UBA, 2007). Die geborgenen Biomassen werden derzeit stofflich genutzt zur Herstellung von Kompost, so dass hier alternativ ein HTC-Potenzial möglich ist.

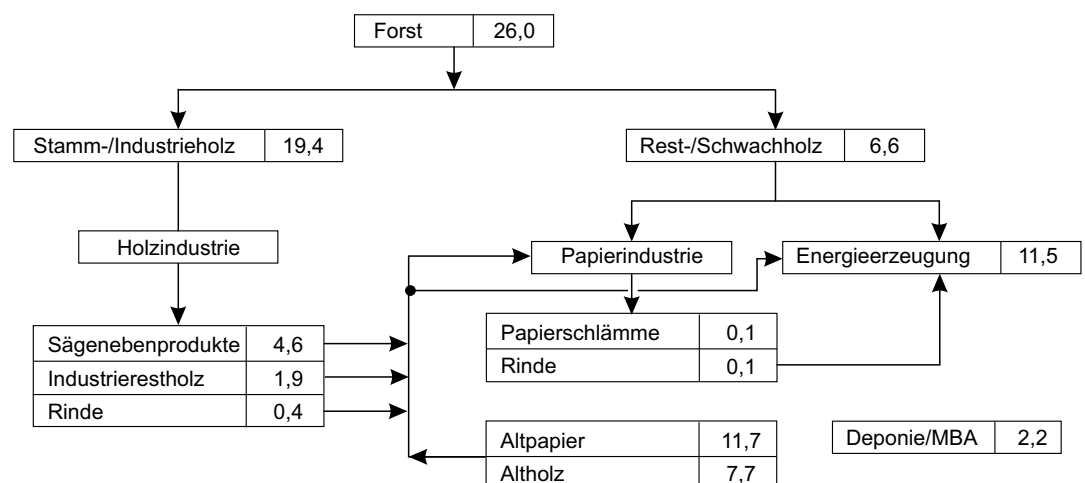


Abbildung 2:

Massenströme (in Mio. t Trockenmasse) im Bereich Forst und Holz- und Papierindustrie

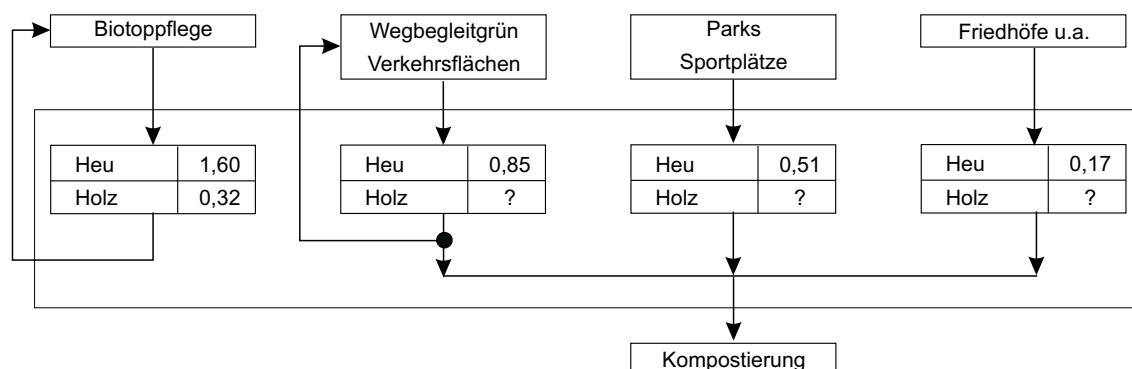


Abbildung 3:

Massenströme (in Mio. t Trockenmasse) aus der Biotop- und Landschaftspflege einschließlich Parks, Sportplätzen und Friedhöfen

2.4 Kommunen

Die in den Kommunen anfallenden Biomasse-Reststoffe sind vor allem Bio- und Grünabfall und Klärschlamm (Abb. 4). Die Biomasse im Hausmüll steht als solche nicht zur HTC-Verwertung zur Verfügung, da sie mit dem Restmüll vermengt ist, welcher nicht abgetrennt wird. Bio- und Grünabfall werden Kompostierungs- und Biogasanlagen zugeführt und hauptsächlich in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau verwertet. Etwa 10 % des Anlageninputs in Kompostierungsanlagen von Bio- und Grünabfall sind holziges Material, die als Strukturmaterial eingesetzt oder in Kraftwerken energetisch verwertet werden (Wallmann et al., 2009). Etwa 44 % der Klärschlämme werden in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau verwertet. Der übrige Teil wird verbrannt, vermutlich wegen Schadstoffbelastung bzw. wegen fehlender Ackerflächen und fehlender Bereitschaft der Landwirte zur Verbringung des Schlammes auf eigenen Flächen. Dieser Anteil wird daher auch nicht als HTC-Potenzial angesehen.

3 Biomasse-Reststoffe als HTC-Potenzial

Bei der Berechnung der anfallenden bzw. zur Verfügung stehenden Biomasse-Reststoffe wird unterschieden zwischen dem theoretischen und dem technisch-ökologischen Potenzial (UBA, 2007).

Theoretisches Potenzial

Die nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten grundsätzlich angebotene Biomasse, unabhängig von den technischen oder organisatorischen Hemmnissen. Das theoretische Potenzial gibt die maximal verfügbare Biomasse an.

Technisch-ökologisches Potenzial

Diejenige Teilmenge des theoretischen Potenzials, das unter ökologischen und technischen Restriktionen tatsächlich nutzbar ist. Die Restriktionen berücksichtigen die Mobilisierbarkeit der Biomasse, technische Nutzungsoptionen und ökologische Restriktionen wie beispielsweise

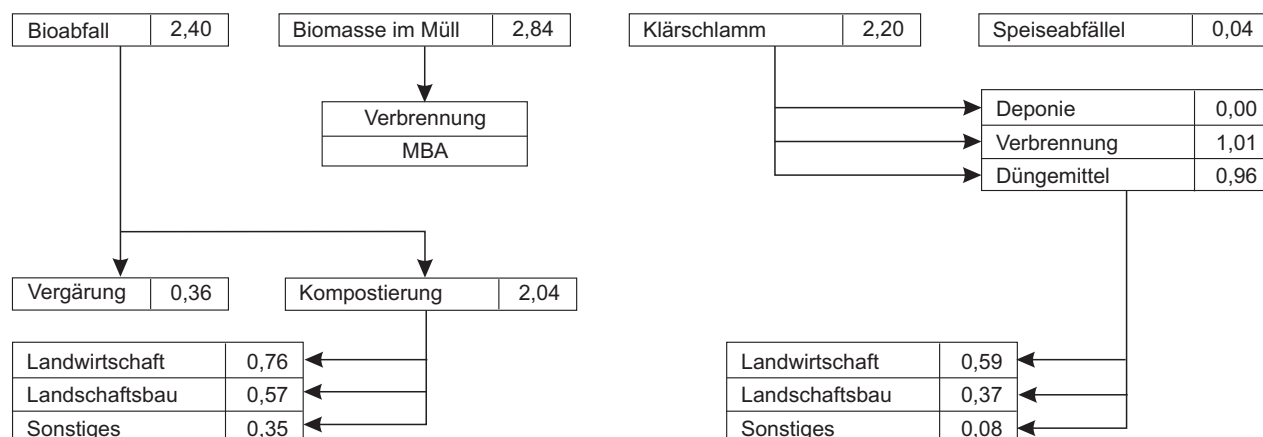


Abbildung 4:

Massenströme (in Mio. t Trockenmasse) aus den Kommunen

Tabelle 1:

Biomasse-Reststoffe in Deutschland; nach (UBA, 2007; SRU, 2007; Mahro, 2010), eigene Berechnungen

Bereich	Theoretisches Potenzial					techn./ökol. Potenzial		HTC-Potenzial	Verwertung
	FM Mio. t/a	TM %	TM Mio. t/a	C in TM %	C Mio. t/a	%	Mio t C	Mio t C	
Landwirtschaft									
Getreidestroh ¹⁾	27,56	86	23,70	48	11,38	12	1,37	0	Humusersatz, Energieerzeugung
Rüben-/Kartoffelkraut	24,94	25	6,24	48	2,99	42	1,26	0	Humus- und Nährstoffersatz
Rapsstroh	9,86	86	8,48	48	4,07	42	1,71	0	Humusersatz, Energieerzeugung
Hülsenfrüchte	1,05	50	0,53	50	0,26	42	0,11	0	Humus- und Nährstoffersatz
Gemüsereste	0,37	16	0,06	50	0,03	42	0,01	0	Humus- und Nährstoffersatz
Sonnenblumenstroh	0,31	86	0,27	50	0,13	42	0,06	0	Humusersatz, Energieerzeugung
Gülle	150,52	7,3	10,99	45	4,94	91	4,50	0	Humus- und Nährstoffersatz
Festmist	32,11	27	8,77	47	4,12	91	3,75	0	Humus- und Nährstoffersatz
Summe	246,72		59,02		27,93		12,76	0	
Forstwirtschaft									
Sägenebenprodukte	5,76	80	4,61	49	2,26	100	2,26	0	Energieerzeugung
Rinde	0,65	80	0,52	49	0,25	94	0,24	0	Humus- und Nährstoffersatz
Alt-/Industrieholz	9,68	80	7,74	49	3,79	100	3,79	0	Energieerzeugung
Altpapier (Endverbraucher)	12,33	95	11,71	49	5,74	82	4,71	0	Wiederverwertung
Papierschlämme	0,58	15	0,09	49	0,04	100	0,04	0	Energieerzeugung, stoffl. Vw
Rest-/Schwachholz	8,30	80	6,64	49	3,25	75	2,44	0	Energieerzeugung
Summe	37,30		31,31		15,34		13,48	0	
Lebensmittelindustrie									
Biertreber	2,80	25	0,70	50	0,35	100	0,35	0	Viehfutter
Melasse	0,90	80	0,72	50	0,36	100	0,36	0	Viehfutter, Industrie
Kartoffelschlempe	0,78	6	0,04	50	0,02	100	0,02	0	Viehfutter, Industrie
Apfeltrester	0,25	25	0,06	50	0,03	100	0,03	0	Viehfutter, Industrie
Summe	4,73		1,53		0,76		0,76	0	
nach Mahro (2010)									
Herstellung von Weißwein	0,10	k.A.	-	-	-	-	-	-	Humus- und Nährstoffersatz
Herstellung von Rotwein	0,30	k.A.	-	-	-	-	-	-	Humus- und Nährstoffersatz
Frucht- und Gemüsesaftproduktion	2,16	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter, Industrie
Frucht- und Gemüseverarbeitung	0,49	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter, Industrie
Pflanzenölproduktion	4,17	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter
Herstellung von Maisstärke	0,15	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter
Herstellung von Kartoffelstärke	1,78	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter
Herstellung von Weizenstärke	0,28	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter
Zuckerrübenverarbeitung	26,50	k.A.	-	-	-	-	-	-	Viehfutter, Industrie
Biotop- und Landschaftspflege ²⁾									
Heu	3,68	85	3,13	48	1,50	50	0,75	0,75	Humus- und Nährstoffersatz
Holz	0,42	50	0,21	49	0,10	50	0,05	0	Energieerzeugung
Summe	4,10		3,34		1,60		0,80	0,75	
Kommunen									
Bioabfall	6,00	40	2,40	25	0,60	100	0,60	0,60	Humus- und Nährstoffersatz
Klärschlamm	39,29	6	2,20	43	0,95	100	0,95	0,42	Humus- und Nährstoffersatz
Summe	45,29		4,60		1,55		1,55	1,02	
Summe total	338,13		99,80		47,19		29,35	1,77	

¹⁾ um eine Doppelzählung mit dem Stroh im Festmist zu vermeiden, wurden 8,45 Mio t FM abgezogen; Ges. 36,0 Mio t²⁾ Summe aus Wegränder, Parks, Sportplätze, Friedhöfe, Biotoppflege (soweit Daten vorliegen) 2003

k.A. keine Angaben

die Wahrung der Bodenfruchtbarkeit und geschlossener Nährstoffkreisläufe, den Schutz von Lebensräumen und die Nachwuchsrate.

Zur Definition eines *HTC-Potenzials* für die Verwendung als Bodenhilfsstoff und zur C-Sequestrierung schlagen die Autoren vor:

Teilmenge des technisch-ökologischen Potenzials abzüglich

- trockener Biomasse ($H_i > 11$ MJ/kg, entsprechend KrW-/AbfG §6, 2) (KrW-/AbfG, 1994) zur Energieerzeugung anstelle von fossilen Energieträgern,
- Biomasse, die stofflich als Viehfutter und industriell verwertet wird,
- Biomasse, die aufgrund ihrer Schadstoffgehalte entsprechend den gegenwärtigen gesetzlichen Regelungen des Bodenschutzes (BBodSchG, 1998; BioAbfV, 1998; AbfKlärV, 1992) nicht in den Boden verbracht werden darf sowie Biomasse die aufgrund der hohen Kosten für Bergung, Sammlung, Transport, Lagerung und Aufbereitung nicht zur Verfügung steht.

Das HTC-Potenzial könnte sich aufgrund negativer oder positiver Ökobilanzen (Life Cycle Assessment, LCA) verringern oder erhöhen. Diese Bilanzen sind bisher nicht durchgeführt worden.

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die in Deutschland jährlich anfallenden Biomasse-Reststoffe und deren Zuordnung als theoretisches, technisch-ökologisches und HTC-Potenzial zur Verwendung als Bodenhilfsstoff und zur C-Sequestrierung. Wegen fehlender statistischer Daten beziehen sich die Zahlenangaben teilweise auf unterschiedliche Jahre zwischen 2002 und 2008. Insgesamt fallen in Deutschland jährlich etwa 338 Mio. t Biomasse-Reststoffe mit etwa 47 Mio. t Kohlenstoff aus den genannten Bereichen an. Entsprechend den oben genannten Definitionen beträgt das technisch-ökologische Potenzial etwa 29 Mio. t Kohlenstoff und das HTC-Potenzial etwa 1,8 Mio. t.

Holz (lufttrocken), Stroh und Heu entsprechen mit einem H_i von >11 MJ/kg den Vorgaben zur energetischen Verwertung entsprechend KrW-/AbfG §6, 2 (KrW-/AbfG, 1994). In der Tabelle 1 wurde das Holz aus der Biotop- und Landschaftspflege ebenfalls als Energieträger zur Verbrennung angesehen, da der H_i von Landschaftspflegeholz mit 9,2 MJ/kg nahe am geforderten H_i von 11 MJ/kg liegt (Tabelle 2). Sofern das „Heu“ aus der Biotop- und Landschaftspflege lufttrocken gesammelt werden kann, was vielfach aber nicht möglich ist, könnte es ebenfalls zur Energieerzeugung verwendet werden.

Tabelle 2:

Heizwerte (H_i) von Biomasse

	MJ/kg
Heizöl	43
Steinkohle	30
Braunkohle	18
Holz (lutro)	15
Stroh, Heu	14
Landschaftspflegeholz	9,2
Klärschlamm TS 40 %	3
Bioabfall TS 40 %	3
Festmist TS 27 %	1,5
Klärschlamm TS 20 %	0
Gülle TS 7 %	-1,7

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Entsprechend den Definitionen beträgt das technisch-ökologische Kohlenstoffpotenzial aus pflanzlichen Reststoffen in Deutschland etwa 29 Mio. t jährlich. Das entspricht 61 % des theoretischen Potenzials von 47 Mio. t. Von diesen 29 Mio. t Kohlenstoff sind lediglich 1,77 Mio. t oder etwa 6,1 % als Kohlenstoff als Verwertungspotenzial für die Hydrothermale Carbonisierung zu bezeichnen. Nicht berücksichtigt ist dabei die Nutzungskonkurrenz der Rest- und Abfallstoffe, zum Beispiel für die Energiegewinnung, die Produktion chemischer Rohstoffe (Bioraffinerie) oder die Produktion von Pflanzsubstraten. Zudem müsste die Verwertung der organischen Stoffe über eine Hydrothermale Carbonisierung für den Abfallverursacher ökonomische Vorteile bieten.

Das HTC-Potenzial könnte sich verringern, da die gesamte Masse des technisch-ökologischen Potenzials an Bioabfall und Klärschlamm als schadstoffarm entsprechend den Grenzwerten der BioAbfV und KlärAbfV angenommen wurde. Während das für den Bioabfall zutrifft, werden vom Klärschlamm derzeit nur 44 % über den Boden verwertet (Abb. 4). Der übrige Anteil ist vermutlich aus Gründen der Schadstoffbelastung bzw. fehlender Alternativen der landwirtschaftlichen Verwertung auch für eine HTC-Verwertung auszuschließen. Ein Aufbringen von größeren Mengen oder stärker belasteten organischen Abfällen (Klärschlamm, Kompost) auf Flächen mit dem Anbau von nachwachsenden Rohstoffen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit sollte aus Gründen des langfristigen Bodenschutzes unterbleiben. Auch auf belasteten Brachflächen, auf denen keine Erzeugung von Lebens- oder Futtermitteln, wohl aber der Anbau nachwachsender Rohstoffen möglich ist, darf nach Ansicht der Bodenschutzkommission beim Umweltbundesamt die Belastung

mit Schadstoffen nicht zunehmen, um die Funktionalität des Bodens nicht noch weiter einzuschränken (UBA/KBU, 2008).

Eine nachhaltige Landwirtschaft hat eine ihrer wesentlichen Aufgaben darin, die Ertragsfähigkeit des Bodens zu sichern und zu erweitern. Dazu gehört auch ein ausgeglichener Humussaldo (Breitschuh and Eckert, 2006). Daher ist anzustreben, die Reststoffe des Ackerbaus als humusmehrnde organische Substanz in den Boden zurück zu führen. Das trifft insbesondere zu für die „humuszehrenden“ Fruchtarten (Hackfrüchte, Getreide), wie sie vor allem auch beim Anbau nachwachsender Rohstoffe vorkommen. Zunehmende Bodenabträge sind ein Hinweis auf ungünstige Bodenstrukturen aufgrund unzureichender Humusversorgung (Hege and Brenner, 2004). Daher ist ein Entzug organischer Reststoffe aus der Landwirtschaft zur Aufbereitung über eine Hydrothermale Carbonisierung, aber auch zu einer anderen Verwertung (z. B. Bioraffinerie) vor dem Hintergrund einer nicht ausgeglichenen Humusbilanz der Böden kritisch zu betrachten. Das bedeutet aber nicht, dass regional keine organischen Reststoffe in größerer Menge für eine Hydrothermale Carbonisierung zur Verfügung stehen können.

Das HTC-Potenzial könnte sich erhöhen, wenn Reststoffe der Lebensmittel- und Genussindustrie aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr industriell oder als Viehfutter verwertet werden. Die große Unsicherheit bei der Erfassung und Berechnung bzw. zwangsläufigen Abschätzung der Reststoffe der Lebensmittel- und Genussindustrie lassen allerdings einen weiteren Spielraum des HTC-Potenzials zu.

Wesentliche Fragen, die das HTC-Potenzial mitbestimmen könnten, sind bisher unbeantwortet. Es sind dies die Gesamt-Energiebilanzen, die Wirkung der HTC-Kohle im Boden und eine Lebenszyklusbewertung (LCA) (Vorlop et al., 2009).

Literatur

- AbfKlärV (1992) Klärschlammverordnung vom 15. April 1992 (BGBl. I S. 912), die zuletzt durch Artikel 19 des Gesetzes vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542) geändert worden ist
- BBodSchG (1998) Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 9. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3214) geändert worden ist
- BioAbfV (1998) Bioabfallverordnung vom 21. September 1998 (BGBl. I S. 2955), die zuletzt durch Artikel 5 der Verordnung vom 20. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2298) geändert worden ist
- Breitschuh G, Eckert H (2006) Kriteriensystem Nachhaltige Landwirtschaft : Analyse und Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Unternehmen. Schriftenr Thüringer Landesanst Landwirtsch 2006/08:10-27
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2010) Hydrothermale Carbonisierung. Gülzow : Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 135 p; Gülzower Fachgespr 33
- Hege U, Brenner M (2004) Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL). Freising : LfL, 49 p, Schriftenr Bayerischen Landesanst Landwirtsch 2009/9
- Kammann C, Grünhage L, Busch D, Müller C, Dörger G, Hanewald K, Schmid T (2010) Biokohle : ein Weg zur dauerhaften Kohlenstoff-Sequestrierung? [online]. Zu finden in <http://klimawandel.hlug.de/fileadmin/dokumente/klima/inklim_a/infoblatt_biokohle.pdf> [zitiert am 15.10.2010]
- KrW-/AbfG (1994) Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 11. August 2009 (BGBl. I S. 2723) geändert worden ist
- Mahro B (2010) Biogene Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie. Müll Abfall 42:56-62
- SRU (2007) Klimaschutz durch Biomasse : Sondergutachten ; Juli 2007. Berlin : Schmidt, 124 p
- UBA (2007) Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle [online]. Zu finden in <<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/3135.html>> [zitiert am 18.10.2010]
- UBA/KBU (2008) Bodenschutz beim Anbau nachwachsender Rohstoffe - Empfehlungen der „Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt“. Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt, 81 p
- Vorlop KD, Schuchardt F, Prüße U (2009) Hydrothermale Carbonisierung - Analyse und Ausblick. Gülzower Fachgespr 33:64-73
- Wallmann R, Fritz T, Fricke K (2009) Energie aus Abfall - Potenziale und Nutzungsmöglichkeiten. Müll Abfall:42(5):250-258
- Wallmann R, Loewen A, Höbel W (2010) Hydrothermale Karbonisierung zur weitergehenden Klärschlammbehandlung als Baustein einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft. MüllAbfall 42(7):316-318

Möglichkeit zur pH-Wertregulation versäuerter Biogasfermenter und die Auswirkungen auf die Biogasausbeute

Jörg Burgstaler*, Jenny Blumenthal**, Denny Wiedow*, Frauke Godlinski*** und Norbert Kanswohl*

Zusammenfassung

Biogasanlagen haben zunehmend Probleme mit der Prozessstabilität, besonders die Versäuerung des Fermenters verursacht erhebliche wirtschaftliche Schäden. Ziel dieser Arbeit ist es daher eine Möglichkeit aufzuzeigen, die diese Prozessstörung vermeidet oder sie beim Auftreten kostengünstig behebt.

Dazu wurden kontinuierliche Laborversuche nach VDI-4630 (2006) mit drei Fermentern durchgeführt, von denen zwei mit Propionsäure versäuert wurden und einer als Kontrolle diente. Der Versuch dauerte 133 Tage und gliederte sich in eine Ausgasungs-, Hochfahr-, Versäuerungs- und Puffer- sowie eine abschließende Rekonvaleszenzphase.

Die Ausgasungsphase und die sich anschließende Hochfahrphase hatten das Ziel, eine vergleichbare Ausgangsbasis in den Fermentern zu schaffen. Der eigentliche Versuch begann mit der Versäuerungs- und Pufferphase, in der die Prüfschubstanz in den experimentell versäuerten Fermentern getestet wurde. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass sich der puffernde Elektrolyt Natriumhydrogencarbonat zur pH-Wertregulation von versäuerten Biogasfermenter-inhalten sehr gut eignet. Innerhalb von drei Tagen stellte sich nach Zugabe der puffernden Substanz ein pH-Wert wie im Kontrollfermenter ein. Weiterhin näherten sich die entscheidenden Prozessparameter der Versuchsfermenter während der Rekonvaleszenzphase dem Kontrollfermenter an. Zudem wurden für einstufige kontinuierliche Durchflussverfahren untypisch hohe Methangehalte von über 80 Vol. % erfasst.

Somit könnte Natriumhydrogencarbonat als Prozesshilfsstoff in landwirtschaftlichen Biogasanlagen für ein kontrolliertes Anheben des pH-Wertes und zur Stabilisierung der Prozessbiologie bei Versäuerungserscheinungen eingesetzt werden.

Schlüsselworte: *Biogasanlagen, Prozessstabilität, Versäuerung, kontinuierliche Laborversuche, Natriumhydrogencarbonat, Prozesshilfsstoff*

Abstract

Options to regulate the pH in acidified biogas digesters and effects on the biogas production

Biogas digesters are increasingly experiencing difficulties with the process stability where acidification of the digester reduces efficiency, resulting in economic losses. This study evaluated the effectiveness of a treatment to reverse or prevent acidification in the biogas digester.

Continuous laboratory tests according to VDI-4630 with 3 digesters were performed, one as control, the other two acidified with propionic acid. Lasting 133 days, the experiment was divided into a degassing, stabilization, acidification and buffering, and final recovery phase.

In the degassing and stabilization phase identical operating conditions were created in the digesters in terms of the digestion medium, gas quality and gas yield. In the acidification and buffer phase, 99.5 % propionic acid was added gradually by pumps until the test conditions of a pH < 6.5 and decreasing biogas quality and yield were reached. At this stage sodium bicarbonate was added. The results showed that sodium bicarbonate stabilized the pH in the digesters. Within 3 days of application of the buffering substance, the pH in the test digesters was similar to that in the control. Furthermore, all critical process parameters in the recovery phase reached those in the control digester. Also, for the single stage mesophile anaerobic test digesters unusually high methane concentrations of 80 Vol. % were recorded.

Therefore, the buffering substance sodium bicarbonate could be recommended as a simple and cost-effective treatment to prevent the economic costs of loss of efficiency caused by acidification.

Keywords: *biogas digesters, process stability, acidification, continuous laboratory tests, sodium bicarbonate, process additive*

* Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Institut für Nutztierwissenschaften und Technologie, Justus-von-Liebig-Weg 8, 18059 Rostock, joerg.burgstaler@uni-rostock.de; denny.wiedow@uni-rostock.de; norbert.kanswohl@uni-rostock.de

** Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, DLZ Agrarmagazin, Lothstraße 29, 80797 München, j. blumenthal@arcor.de

*** Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, frauke.godlinski@jki.bund.de

corresponding author: Jörg Burgstaler

1 Einleitung

In den letzten Jahren ist die Anzahl der Biogasanlagen in Deutschland stetig von 850 im Jahr 1999 auf 4780 im Jahr 2009 angestiegen (Schüsseler, 2009). Biogas stellt derzeit die wichtigste und auch vielseitigste Form der Bioenergie aus der Landwirtschaft dar. Durch den heutigen Stand der Technik bietet der Ausbau von Biogas als eine Schlüsseltechnologie der erneuerbaren Energien für die Landwirtschaft und den ländlichen Raum viele positive Potenziale. Heute ist die Biomasse die vielfältigste Quelle des regenerativen Energieangebots. Die Bioenergie hat den Vorteil, grundsätzlich für alle energetischen Verwendungen nutzbar zu sein, für Strom, für Wärme und für Mobilität. Biogas hat eine sehr breite Rohstoffpalette, ist hinsichtlich der Anlagengröße außerordentlich flexibel, erhält nachhaltig Nährstoffkreisläufe, macht alternative Produktlinien in der Landwirtschaft bei guten Erträgen möglich und generiert erhebliche Wertschöpfungen und Arbeitsplätze im ländlichen Raum (Sander, 2009).

Biogas besteht zu 50 bis 75 % aus Methan und zu 24 bis 50 % aus Kohlendioxid. Darüber hinaus sind verschiedene Spurengase enthalten (Leschber und Loll, 1996; Schultz, 2001; Weiland, 2003). Trotz der positiven Entwicklung der Biogaserzeugung und dem zunehmenden Wissen um die Gestaltung von Verfahren der Biogasproduktion, gibt es immer häufiger Probleme mit der Prozessbiologie in Biogasanlagen. Jede zweite Biogasanlage hat z. B. Schwierigkeiten mit der Prozessstabilität. Besonders die Versäuerung des Fermenterinhalt beeinflusst die Effizienz der gesamten Anlage und kann somit erhebliche wirtschaftliche Schäden verursachen. Bei der Versäuerung entsteht weniger Biogas und letztendlich bricht der Prozess vollständig zusammen, so dass der Fermenter entleert und neu angefahren werden muss. Dies reduziert den Erlös des Energiewirtes erheblich durch eine verringerte Biogausausbeute mit verminderter Methanqualität. Um diese wirtschaftlichen Verluste zu vermeiden wird nach kostengünstigen Möglichkeiten einer pH-Wertregulierung gesucht.

Erste Ideen dazu kamen aus dem Bereich der Tierernährung, da zwischen den mikrobiellen Vorgängen im Pansen von Rindern und im Biogasfermenter viele Parallelen existieren. Hier dient Natriumhydrogencarbonat (Natriumbicarbonat, NaHCO_3) zur Prophylaxe und Behandlung der Pansenazidose des Rindes. Somit könnte Natriumhydrogencarbonat nicht nur einen sauren Panseninhalt, sondern auch die versäuerte Fermentermasse effizient abpuffern. Der Einsatz von Natriumhydrogencarbonat wäre somit eventuell eine Variante um Prozessstörung zu vermeiden und sie kostengünstig zu beheben.

Bisher gibt es jedoch wenige Studien über die Neutralisierung von versäuerten Fermentersubstraten. Ziel der Arbeit ist es daher Möglichkeiten zu finden, die Biogas-

ausbeute und die Stabilität des Biogasprozesses langfristig und kostengünstig zu optimieren. Dazu wurde erstmalig Natriumhydrogencarbonat eingesetzt und dessen Pufferwirkung zur pH-Wertregulation von versäuerten Fermenterinhalt untersucht. Zweitens wurde der Effekt von Natriumhydrogencarbonat auf die Biogausausbeute analysiert.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsanlage

Die Versuche zum Einsatz von Natriumhydrogencarbonat (Bicar® Z 0/50) zur pH-Wertregulation in Fermentern wurden im Labor der Universität Rostock durchgeführt. Es wurde ein quasi-kontinuierliches Durchflussverfahren gewählt, mit drei separaten, einstufigen, mesophil betriebenen Fermentern.

Die Fermenter sind aus durchsichtigem, doppelwandigem Acrylglas und haben ein Volumen von 10,5 l. Im unteren Bereich befindet sich ein Ankerührer, während im oberen Bereich Schrägblattrührer integriert sind. Beide Rührwerke werden computergesteuert. Über ein Thermostat wird eine Fermentertemperatur von 37 °C sichergestellt. Im Fermenterdeckel befindet sich die Sensor- und Messtechnik, die durch Steuerungssoftware kontinuierlich Daten erfassen.

Im gewählten quasi-kontinuierlichen Durchflussverfahren erfolgte die Fütterung der Fermenter aufgrund von arbeitswirtschaftlichen Gründen nur einmal täglich, während im kontinuierlichen Durchflussverfahren die Fermenter mehrfach am Tag mit dem zu vergärenden Substrat beschickt werden (Burgstaler, 2007).

Versuchsstand



Abbildung 1:
Quasi-kontinuierlicher Biogasversuchsstand

Die Substratzugabe und der Gasaustritt erfolgt über Öffnungen im Deckel. Das im Versuch von jedem Fermenter gebildete Biogas wird über Trommelgaszähler in 100 Liter Gassäcke aufgefangen und mittels eines Gasanalysegerätes (GA 45, Fa. Ansyco) täglich auf Methan, Kohlendioxid, Sauerstoff und Schwefelwasserstoff untersucht.

2.2 Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde über einen Zeitraum von 133 Tagen durchgeführt und gliederte sich in vier Phasen:

- (1) Ausgasungsphase (0. bis 40. Versuchstag)
- (2) Hochfahrphase (40. bis 75. Versuchstag)
- (3) Versuchsphase mit Versäuerung und Pufferung (75. bis 108. Versuchstag)
- (4) Rekonvaleszenzphase (108. bis 133. Versuchstag)

(1) Ausgasungsphase

Die Aufgabe der Ausgasung ist es, die Fermenter auf ein einheitliches Niveau zu bringen. Dazu benötigen die Mikroorganismen Zeit für die Anpassung an die Umweltbedingungen im Fermenter, um vergleichbare Gasmengen und -qualitäten im Versuch zu erzielen.

Für den Versuch wurde für die wöchentliche Analytik 300 g Gärsubstrat je Fermenter benötigt. Dazu ist eine tägliche Substratzufuhr von 60 g je Tag über fünf Tage (folglich 300 g) notwendig. Diese tägliche Menge soll eine maximale Raumbelastung von $1,0 \text{ g oS} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ bezogen auf ein Gesamtvolumen von 10,5 Liter je Fermenter in sieben Tagen erzeugen.

Als Inputsubstrat wurde ein Gemisch aus Rinder- und Schweinegülle (Verhältnis 1:3) und Maissilage im Verhältnis 3:4 (Feuchtmasse) verwendet. Die gemischte Rinder- und Schweinegülle bzw. Maissilage hatte dabei folgende Ausgangswerte: pH-Wert 6,9 bzw. 5,0, Trockensubstanz (TS_{105}) 5,6 bzw. 43,0 %, organische Säuren (Sr) 7,5 bzw. $7,7 \text{ g kg}^{-1} \text{ FM}$ und organische Substanz (oS) 51,1 bzw. $392,6 \text{ g kg}^{-1} \text{ FM}$.

Während der Ausgasungsphase wurde der Fermenterinhalt dreimal, bei der Befüllung sowie nach 20 und 40 Tagen, auf Parameter des Biogasprozesses als auch auf chemische Parameter analysiert (Tabelle 1). Alle chemischen Analysen wurden dreifach wiederholt und nach den geltenden DIN-Vorschriften in der VDI-4630 (2006) durchgeführt. Die Probenentnahme erfolgt über einen Kugelhahn im Bodenbereich des Reaktors.

Tabelle. 1:

Untersuchte Prozessparameter und chemische Analysengrößen

Parameter	Einheit	Rhythmus
Raumbelastung	$\text{g oS} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	täglich
Biogasrate	$\text{IN} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	täglich
Biogasausbeute	$\text{IN} \cdot \text{kg}^{-1}$	täglich
Biogasqualität	Vol. %, ppm	täglich
Analysegrößen	Einheit	Rhythmus
pH-Wert	-	täglich
Leitfähigkeit (EC)	$\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$	täglich
Trockensubstanzgehalt (TS)	%	wöchentlich
organischer Trockensubstanzgehalt (oTS)	% TS, % FM	wöchentlich
organischer Trockensubstanzgehalt (oS)	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$	wöchentlich
organische Säuren (Sr)	$\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$	wöchentlich
Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$)	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$	wöchentlich
Gesamtstickstoff (N_{Kjel})	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$	wöchentlich
organische Substanz ($\text{oS} = \text{oTS} + \text{Sr}$)	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FM}$	wöchentlich
organische Substanz (oS)	% FM	wöchentlich
flüchtige organische Säuren/ totalen anorganischen Carbonat (FOS/TAC)	-	wöchentlich

(2) Hochfahrphase

In der Hochfahrphase wurden die Fermenter auf eine einheitliche Raumbelastung von $1,0 \text{ g oS} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ für den Hauptversuch nach VDI-4630 (2006) eingestellt. Für den Hauptversuch wurden zwei Fermenter ausgewählt die sich in ihrer Gasmenge und Methanqualität sowie der chemischen Parameter ähnlich waren (Fermenter 2 und 3). Fermenter 1 diente im späteren Versuch als Kontrolle. Er wurde über den gesamten Versuchszeitraum mit Inputsubstrat gefüttert.

Die Hochfahrphase wurde mit einer zweiwöchigen Raumbelastung von $0,5 \text{ g oS} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ begonnen. Danach wurde die Raumbelastung über drei Wochen auf $1 \text{ g oS} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ gesteigert. Die Zugabe mit Inputsubstrat erfolgte an fünf Tagen in der Woche, wobei sich die zugeführte Menge an organischer Substanz auf die gesamte Woche bezog.

Während der Hochfahrphase wurden kontinuierlich stündlich der pH-Wert und die Temperatur aufgezeichnet. Beprobte wurde der Fermenter wöchentlich und das Material auf sämtliche Parameter der Tabelle 1 analysiert.

(3) Versuchsphase mit Versäuerung und Pufferung

In dieser Phase wurden die Fermenter punktgenau versäuert und anschließend mit Natriumhydrogencarbonat abgepuffert. Die Versäuerung wurde mit 99,5 % Propionsäure ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$) durchgeführt. Über Pumpen wurde diese kontinuierlich in definierten Zeitabständen und Mengen

nach dem Applikationsplan (Tabelle 2) in die Fermenter gegeben und somit in fünf Wochen eine Versäuerung herbeigeführt.

Tabelle 2:

Applikationsplan der Propionsäure (PS)

Woche	Einzel-applikation (ml·min ⁻¹ ·d ⁻¹)	Wieder-holungen am Tag	Σ PS-Menge (g·d ⁻¹)	PS-Zugabe-menge (g·l ⁻¹ ·d ⁻¹)
1	0,9	4	3,6	0,3429
2	2,0	4	8,0	0,7619
3	3,9	4	15,6	1,4857
4	5,2	6	31,2	2,9714
5	5,1	12	61,2	5,8286

Die Versäuerung wurde zu Beginn mit kleinen Propionsäuremengen eingeleitet. Dadurch konnten sich die Mikroorganismen an die Fettsäurefütterung anpassen. Besonders die Methanbildner hatten so genügend Zeit sich entsprechend den veränderten Milieubedingungen zu adaptieren.

Aus folgenden Gründen wurde für die Versäuerung Propionsäure gewählt.

- Stoffwechselprodukt der Biogasbildung
- geringe Mengen wirken versäuernd und prozesshemmend
- einfach zu applizieren
- geringe Einsatzmengen notwendig
- gleich bleibende Qualität
- aktive Steuerung der Versäuerung
- Titrationsversuche mit Propionsäure möglich.

Die Abbruchkriterien der Versäuerung waren ein pH-Wert von $\leq 6,5$, eine Methanqualität ≤ 40 Vol.% und eine fallende Biogasausbeute. Ab diesem Punkt erfolgte die Abpufferung mit einer definierten Menge Natriumhydrogencarbonat (Bicar® Z 0/50) in die Versuchsfermenter 2 und 3. Dabei wurde die Gesamtmenge in Teilmengen verabreicht, um den pH-Wert langsam anzuheben. Gleichzeitig liefen die Rührwerke, um das Natriumhydrogencarbonat im Fermenter zu lösen. Der Vergärungsprozess wurde mit den bereits erwähnten Parametern (Tabelle 1) überwacht.

(4) Rekonvaleszenzphase

Ziel dieser Phase war es, nach der chemischen Pufferung der Versuchsfermenter 2 und 3, diese erneut auf das Niveau der Prozessparameter und Analysegrößen des Kontrollfermenters 1 zu bringen. Dies ist erreicht, wenn die Gasmenge und -qualität, die chemischen Prozesspa-

rameter und die Raumbelastung dem Kontrollfermenter 1 entsprechen.

Berechnungsgrundlagen

Die Berechnung der Prozessparameter erfolgte nach VDI-4630 (2006). Dabei wurde Fermenter 1 als Kontrolle behandelt, während Fermenter 2 und 3 für die Versuche genutzt wurden. Die Fermenter 2 und 3 verhielten sich in den zu untersuchenden Prozessparametern sehr ähnlich, so dass in der Auswertung immer der Mittelwert dargestellt wird. Die Berechnungen wurden mit Microsoft Excel durchgeführt.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Versäuerung der Fermenter

Wie methodisch geplant wurde das Ziel einer Versäuerung mit pH-Werten von $\leq 6,4$ über einen Zeitraum von 24 Stunden in beiden Versuchsfermentern nach fünf Wochen erreicht. Erwartungsgemäß fiel mit steigender Säurezufuhr der pH-Wert ab (Spendlin, 1991).

Das Sinken des pH-Wertes resultiert aus der Erhöhung der organischen Fettsäurekonzentration beziehungsweise aus der Abnahme der HCO_3^- -Pufferkapazität (McCarty, 1964). Der pH-Wert wird durch Protonen beeinflusst, die zum einen aus dem mikrobiellen Abbau der organischen Substanz des zu vergärendes Futtersubstrats und zum anderen aus dem Kohlendioxid, das mit Wasser Kohlensäure bildet, entstammen (Engelhardt und Breves, 2000). Der pH-Wert ist ein Indikator für Stoffwechselvorgänge die bereits im Fermenter abgelaufen sind (Gerardi, 2003) und wird als unzureichend für die Überwachung/ Kontrolle der Prozessstabilität gewertet (Lahav und Morgan, 2004; Switzenbaum et al., 1990).

Mit der Abnahme der pH-Werte ab dem 99. Versuchstag (VT) reduzierten sich ebenfalls die ermittelten Methanqualität und die Biogasausbeute. Die Gasqualitäten und die Tagesgasmengen in der Versäuerungs- und Pufferungsphase sind in Abbildung 2 dargestellt.

Der Verlauf der Biogasausbeute spiegelt die bereits beschriebene Fütterungsstrategie mit Propionsäure wieder. Aufgrund der Anpassungszeit die die Mikroben an die Propionsäure benötigen, wurde in der ersten Woche der Prozess mit einer geringeren Raumbelastung gefahren als in der Hochfahrphase. Daraus resultiert eine geringe Biogasausbeute je Tag für die erste Versäuerungswoche, da von der Fütterung mit Inputsubstrat auf Propionssäure gewechselt wurde (Abbildung 2).

Mit Anstieg der Raumbelastung durch Propionsäure, stieg die Biogasausbeute an, was an dem treppenartigen Verlauf des Graphen zu erkennen ist. Am 98. VT wurde die höchste

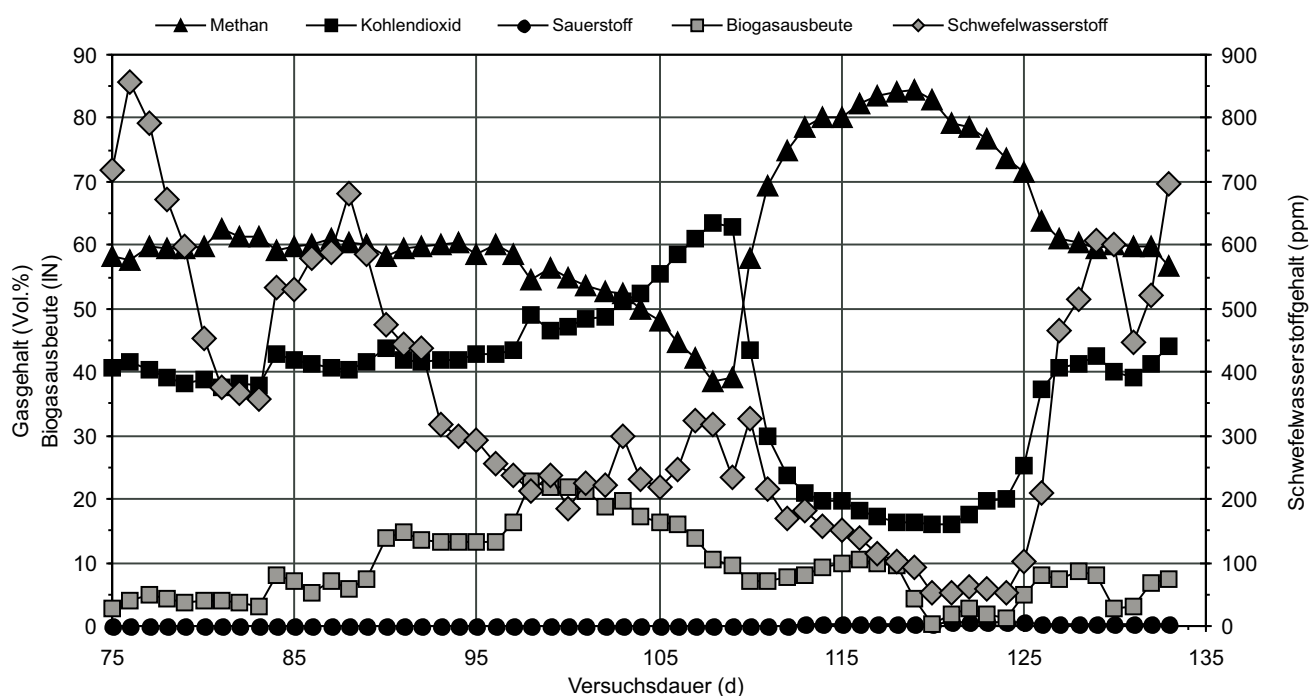


Abbildung 2:

Mittlere Gasmenge und -qualität der Fermenter während der Versäuerungsphase bis zum Versuchsende

Biogasausbeute gemessen, die dann bis zum 110. VT wieder abnahm. Dies ist durch die kontinuierliche Zugabe von Propionsäure zu erklären, da die Überlastung mit Propionsäure zu einer zunehmenden Prozesshemmung führte und damit zu einer verringerten Biogasausbeute (Böhnke et.al., 1993; Burgstaler, 2007; Mähnert, 2007; Ohly, 2006).

Unter ungünstigen Gärungsbedingungen, hervorgerufen durch die Akkumulation der Propionsäure, können vermehrt Valerian-, Capron-, Butter- und Oenanthsäure entstehen. Sie kennzeichnen eine beginnende Prozesshemmung (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007). Ein niedriger H_2 -Partialdruck erhöht den Anteil der Essigsäure, ein hoher H_2 -Partialdruck den Anteil an Propion- und Buttersäure (Graf, 1999). Nebenabbauwege der Methanbildung sind die Propion- (CH_3CH_2COOH) und Buttersäuregärung ($CH_3CH_2CH_2COOH$). Die Verstoffwechslung der beiden Säuren zu Methan (unmittelbare Vorstufen für ca. 70 % der Essigsäure) beruht hier auf zwei externen Abbauschritten durch u.a. Syntrophobacter wolii. Diese Stoffwechselreaktionen können nur bei geringen Konzentrationen an Ameisensäure und niedrigem H_2 -Partialdruck stattfinden. Nach Hill et al. (1987) und Gerardi (2003) sind Anreicherungen von Propion- und Buttersäure somit ein sicheres Indiz für eine Prozessinstabilität im Fermenter. Das höchste toxische Potential besitzt die Propionsäure (Gerardi, 2003). Hill et al. (1987) nennt erhöhte Essigsäuregehalte und ein Propion-/ Essigsäureverhältnis von $> 1,4$ als ein sicheres Indiz für eine bevorstehende Pro-

zessstörung. Sowohl Switzenbaum et al. (1990) als auch McCarty (1964) sind der Meinung, dass die Konzentration der organischen Fettsäuren somit ein geeigneter Analyseparameter für die Überwachung und Steuerung der Prozessstabilität des Biogasprozesses ist. Die dadurch hervorgerufene pH-Wertabsenkung wirkt sich negativ auf den Gärprozess aus (Hill, 1982).

Am Tag der Pufferung (108. VT) wurde die Zufuhr der Propionsäure beendet, woraufhin ein kontinuierlich steigender pH-Wert gemessen wurde. Folglich ging die Biogasausbeute weiter zurück, da sich die Methanbildner an den höheren pH-Wert anpassen mussten.

Die Kohlendioxidgehalte stiegen jeweils bei der wöchentlichen Erhöhung der Propionsäure an, was in Abbildung 2 für den 84., 90. und 98. VT zu sehen ist. Grund ist die wöchentliche Steigerung der Säurezufuhr, da die Neutralisation der Propionsäure durch den Hydrogencarbonat/ Kohlendioxidpuffer das Kohlendioxid gasförmig austrieb. Wie erwartet, war das Biogas frei von Sauerstoff.

Der Schwefelwasserstoffgehalt fällt in der ersten Versäuerungswoche ab, da Propionsäure eine schwefelfreie Säure ist. Aufgrund dessen muss der Schwefelwasserstoffgehalt im Laufe der Versäuerungsphase immer geringer werden. Der gebildete Schwefelwasserstoff stammt aus dem Abbau der gespeicherten organischen Substanz schwefelhaltiger Aminosäuren, die beim Einsatz besonders stark proteinhaltiger Futtersubstrate in den Fermenter gelangen. Dadurch kann es zu einem plötzlichen Anstieg

des Schwefelwasserstoffgehaltes (H_2S) im Biogas kommen (Schattauer und Weiland, 2004; Köttner, 2000; Gerardi, 2003). Besonders der undissoziierte Teil des Schwefelwasserstoffes in der Flüssigphase wirkt als Zellgift (Hilton und Oleszkiewicz, 1988; Isa et al. 1988; McCartney und Oleszkiewicz, 1991).

Vom 83. bis 88. VT steigt der Schwefelwasserstoffgehalt wieder an.

Die steigende Schwefelwasserstoffkonzentration im gebildeten Biogas kann dabei ein Indikator für eine beginnende Versäuerung sein, da mit fallenden pH-Wert mehr Schwefelwasserstoff aus dem Substrat austritt (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007; Böhnke et al., 1993; Hilton und Oleszkiewicz, 1988; Gerardi, 2003).

Es ist zu vermuten, dass in diesem Zeitraum die fehlende Parallelschaltung der Rührwerke mit den Pumpen diesen Anstieg verursachte. Die in den Fermenter gepumpte Propionsäure verbleibt dadurch an der Fütterungsöffnung und löst dort punktuell eine starke Reduzierung des pH-Wertes aus. Mit fallenden pH-Wert verlagert sich das Dissoziationsgleichgewicht in Richtung Schwefelwasserstoff. Nachdem die Rührwerke zur Applikation der Propionsäure eingeschaltet waren, wurde sie sofort mit dem Fermenterinhalt vermischt und durch deren Pufferkapazität schneller neutralisiert. Zum einen entstand aufgrund dessen weniger Schwefelwasserstoff und zum anderen nahm gleichzeitig die Schwefelwasserstoffquelle mit fortschreitender Versuchszeit ab. Die Schwankungen des Schwefelwasserstoffes vom 103. VT bis 110. VT, stammen vermutlich aus schwerlöslichen Schwefelverbindungen, die mit fallendem pH-Wert eine Schwefelwasserstoffquelle darstellten (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007; Böhnke et al., 1993; Mähnert, 2007; Ohly, 2006).

Bis zum 97. VT bewegen sich die Methan- und Kohlendioxidgehalte in einem für Biogasversuche optimalen Bereich (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007; Leschber und Loll, 1996; Mähnert, 2007; Ohly, 2006; Spendlin, 1991). Ab dem 98. VT verschlechtert sich die Gasqualität bis zum 108. VT, d.h. der Methangehalt sank bis auf 39,5 Vol.% und der Kohlendioxidgehalt stieg auf 62,8 Vol.% an. Bei Hemmung der methanogenen Aktivität, bedingt durch Fütterungsfehler (stark schwankender Substratqualität, zeitweisen zu hohen Raumbelastungen, Substratwechsel), Schwefelwasserstoff- beziehungsweise Ammoniakhemmung oder auch bei Spurenelementunterversorgung, werden die in den vorgelagerten Prozessen entstehenden Fettsäuren nicht weiter zu Methan abgebaut. Es kommt zu einer Akkumulation der organischen Fettsäuren, ein Indikator dafür, dass sich der Biogasprozess aufgrund eines Ungleichgewichts zwischen Fettsäureproduzenten und Fettsäurekonsumenten im Stresszustand befindet (Oechsner und Lemmer, 2007; McCarty, 1964; Boone et al., 1980; Pullammanappallil et al., 2001; Lahav

und Morgan, 2004; Switzenbaum, 1990). Die Gründe der sinkenden Methanqualität und ansteigenden Kohlendioxidgehalte sind die beginnende und immer stärker werdende Prozesshemmung sowie die Reduzierung der Pufferkapazität, die besonders den Kohlendioxidgehalt erhöht (Schäfer, 1998). Am Tag der Pufferung wurden die Abbruchkriterien Methan < 40 Vol.%, pH-Wert < 6,5 sowie abnehmende Gasmengen erreicht.

3.2 Pufferung der Fermenter

In den durchgeführten Untersuchungen wurde davon ausgegangen, dass in landwirtschaftlich betriebenen Biogasanlagen der vorherrschende pH-Wertbereich im Mittel von 7,5 und das Hydrogencarbonatpuffersystem zwischen 72 bis 97 % in Form von Hydrogencarbonat vorliegt (Moosburger et al. 1992; Rozzi und Labellarte, 1984; Rozzi et al., 1985). Deshalb wurde zur Pufferung der Fermenter eine definierte Menge an Natriumhydrogencarbonat zugegeben. Die Gesamtmenge wurde in Teilmengen verabreicht, um den pH-Wert langsam anzuheben.

Nach der Zugabe von Natriumhydrogencarbonat stieg der pH-Wert in beiden Fermentern innerhalb 24 Stunden von 6,4 auf 6,9 an. Ab dem 110. VT wurde der Ziel-pH-Wert von 7,4 erreicht und stieg bis zum 119. VT weiter an (Abbildung 3). Ursache dafür ist, dass die Methanbildner die akkumulierte Propionsäure zu Methan verstoffwechselten und so der Einfluss der schwach dissoziierenden Propionsäure immer geringer wurde (Spendlin, 1991). Ab dem 120. VT wurde mit der Fütterung von Inputsubstrat begonnen. Infolgedessen fiel der pH-Wert durch die Säurewirkung des Inputsubstrates auf einen normalen pH-Wert um 7,5 ab. Am 122. und 123. VT stagnierte der pH-Wert bei 7,7, da die schnell verstoffwechselbaren Säuren aus dem Inputsubstrat während der Fütterungspause am Wochenende abgebaut wurden. Mit erneuter Zufuhr von Inputsubstrat zum Wochenbeginn fielen die pH-Werte des Fermenters 2 und 3 auf 7,5 und glichen sich so dem Kontrollfermenter an (Abbildung 3).

Ein sprunghafter Anstieg des pH-Wertes wurde durch das langsame Lösungsverhalten von Natriumhydrogencarbonat vermieden (Autorensgemeinschaft, 1995; Hollemann und Wiberg, 2007). Den Mikroorganismen verbleibt so ausreichend Zeit, um sich an den geänderten pH-Wert anzupassen (Mähnert, 2007; Ohly, 2006; Spendlin, 1991). Zu niedrige als auch zu hohe pH-Werte können sich negativ auf die Stabilität der anaeroben mikrobiellen Verstoffwechselung auswirken (Gerardi, 2003). Dieser Sachverhalt sollte in der landwirtschaftlichen Praxis beachtet werden.

Mit dem Einsatz von Natriumhydrogencarbonat konnte der pH-Wert in den Fermentern angehoben werden. Natriumhydrogencarbonat zerfällt in Lösungen in Natrium- und Hydrogencarbonationen. Erst durch diese Ionisierung war

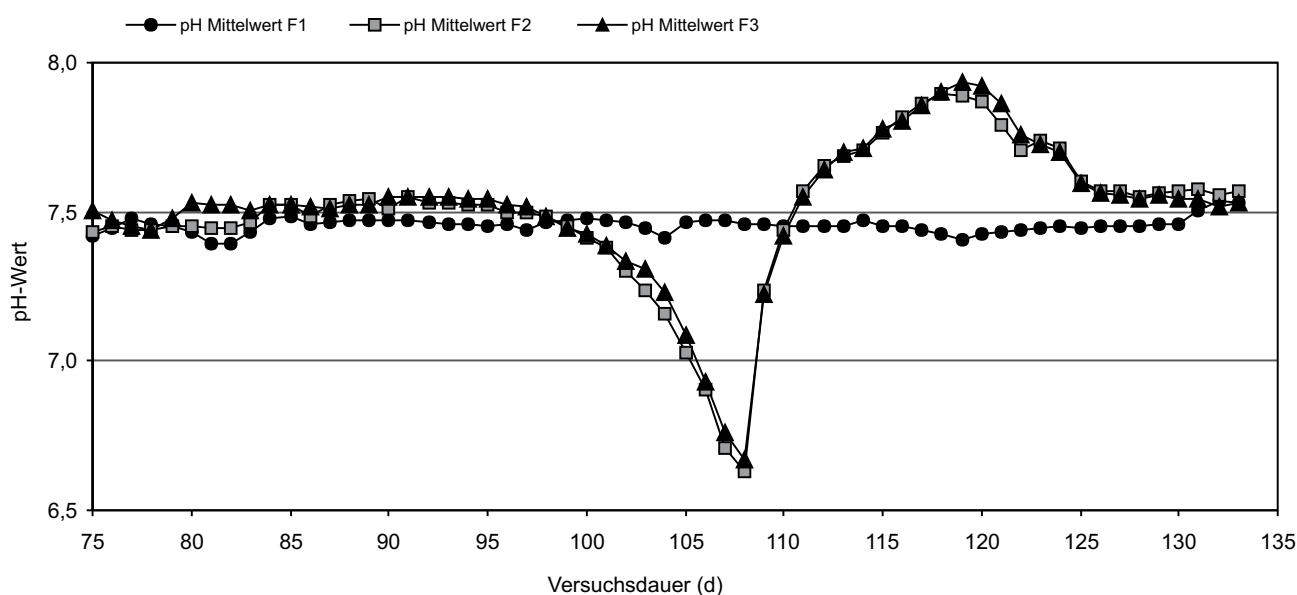


Abbildung 3:
 pH-Werte (Mittelwert über 24 Stunden) in den Fermentern während der Versäuerungsphase bis zum Versuchsende

die Pufferreaktion möglich. Das Anion Hydrogencarbonat hob den pH-Wert an und das Natriumkation die Leitfähigkeit der gesamten Lösung (Zeeck, 1997). Trotz aller Unterschiede zwischen den Prozess- und Biogasparametern des Fermenters 2 und 3 erreichten beide Gärreaktoren zum gleichen Zeitpunkt die Abbruchkriterien der Versäuerungsphase. In der sich anschließenden Pufferungsphase konnte die Wirksamkeit des Natriumhydrogencarbonats nachgewiesen werden.

3.3 Rekonvaleszenzphase der Fermenter

Nachdem sich die Methanbildner durch die Pufferung an den höheren pH-Wert angepasst hatten, stieg die Biogasausbeute (Abbildung 2) wieder an. Danach verschob sich der pH-Wert in den optimalen, leicht basischen Bereich. Dadurch konnte die akkumulierte Propionsäure sofort mikrobiell zu Methan verstoffwechselt werden. Die Verstoffwechselung endete abrupt mit dem Aufbrauchen der Propionsäure am 120. VT.

Zu diesem Zeitpunkt begann die Zufuhr mit Inputsubstrat. Die Raumbelastung betrug zuerst $0,5 \text{ g oS} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ wodurch die Biogasausbeute hätte ansteigen müssen. Jedoch hat die Propionsäurefütterung der Versuchsfermenter 2 und 3 vermutlich die Hydrolyse gehemmt. Deshalb wurde das zugeführte Inputsubstrat nicht sofort zu Biogas umgesetzt, sondern erst ab dem 124. VT. Die Ursache dafür lag in der Anpassungszeit der hydrolytisch wirkenden Bakterien an das Inputsubstrat (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007; Burgstaler, 2007). Vom 124. bis 133. VT wurde die Raumbelastung auf $1,0 \text{ g oS} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$

gesteigert, um auf das Niveau des Kontrollansatzes Fermenter 1 zu kommen.

Zum Ende der Rekonvaleszenzphase erreichte die Biogasausbeute nahezu das Niveau des Kontrollfermenters 1. Ebenso waren die Methan- und Kohlendioxidgehalte der Versuchsfermenter 2 und 3 mit denen des Kontrollfermenters 1 identisch.

Besonders hervorzuheben ist, dass am 119. VT beide Fermenter einen Methangehalt um 84 Vol.% und einen Kohlendioxidgehalt um 16 Vol.% erreichten. Dafür gibt es folgende Gründe: (1) optimaler pH-Wert durch Pufferung, (2) reduzierte Hydrolyse, (3) idealer Temperaturbereich und (4) effiziente Umwandlung von Propionsäure zu Methan.

Aus diesen Ergebnissen resultiert die Annahme, dass die Phasentrennung des Biogasprozesses effizienter ist. So könnten die hydrolytischen und acidogen wirkenden Bakterien in ihrem optimalen pH-Wertbereich von 4,5 bis 6,3 Substrat besser zu Carbonsäuren abbauen (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007; Burgstaler, 2007). In der zweiten Phase wandeln die methanogen wirkenden Mikroben diese im optimalen pH-Bereich von 7,0 bis 7,8 effizienter zu Methan um (Mähnert, 2007; Spendlin, 1991). Es wird vermutet, dass die Methanbildner im optimalen pH-Wertbereich höhere Methanqualitäten erzielen können.

4 Schlußfolgerungen

Die Versäuerung des Fermenters in Biogasanlagen verringert die Prozessstabilität und verursacht erhebliche wirtschaftliche Schäden. Zur pH-Wertregulierung von ver-

säuerten Biogasfermenterinhalt wurde daher erstmalig Natriumhydrogencarbonat eingesetzt. Natriumhydrogencarbonat eignet sich zur Stabilisierung des pH-Wertes und führt infolge einer Stabilisierung der Prozessbiologie in diesem Versuch zu untypisch hohen Methangehalten von über 80 Vol. %.

Mit der positiven Pufferwirkung von Natriumhydrogencarbonat kann sich ein neues Einsatz- und Absatzgebiet eröffnen, nachdem Natriumhydrogencarbonat bereits in der Tierernährung erfolgreich eingesetzt wird.

Jedoch wurde in diesem Versuch nur die Wirkung von Natriumhydrogencarbonat als akute Behandlungsmaßnahme nachgewiesen. Inwieweit sich Natriumhydrogencarbonat als Präventionsmittel vor pH-Wertabsenkungen oder als Leistungsförderer für höhere Gasqualitäten und Gasmengen in einstufigen und mehrstufigen Biogasverfahren eignet, auch im Hinblick auf die erhöhten Methan-gehalte, muss in fortführenden Laboruntersuchungen überprüft werden.

Literaturverzeichnis

- Autorengemeinschaft (1995) Schülerduden Die Chemie. Mannheim : Bibliograph Inst, 444 p
- Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007) Sicherung der Prozessstabilität in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Freising-Weihenstephan : LfL, 14 p, LfL-Information 2007/Juli
- Böhnke B (1993) Anaerobtechnik. Berlin : Springer, 837 p
- Boone D-R, Chynoweth D-P, Mah R-A, Smith P-H, Wilkie A-C (1980) Terminal reactions in the anaerobic digestion of animal waste. *Appl Environ Microbiol* 43:57-64
- Burgstaler J (2007) Beschreibung der Versuchsbiogasanlage und wichtiger Prozessparameter : Bericht zum agrarökologischen Komplexseminar an der Universität Rostock 2007
- Engelhardt W, Breves G (2000) Physiologie der Haustiere. Stuttgart : Enke, 650 p
- Gerardi MH (2003) The microbiology of anaerobic digesters. Hoboken, NJ : Wiley-Interscience, 177 p
- Graf W (1999) Kraftwerk Wiese, Strom und Wärme aus Gras, Books on Demand, 156 p
- Hill D-T (1982) A comprehensive dynamic model for animal waste methanogenesis *Transactions ASAE* 25:1374-1380
- Hill D-T, Cobb S-A, Bolte J-P (1987) Using volatile fatty acid relationships to predict anaerobic digester failure. *Transactions ASAE* 30:496-501
- Hilton B-L, Oleszkiewicz J-A (1988) Sulfide-induced inhibition of anaerobic digestion. *J Environ Eng* 114:1377-1391
- Holleman AF, Wiberg E, Wiberg N (2007) Lehrbuch der anorganischen Chemie. Berlin : de Gruyter, 2149 p
- Isa Z, Grusenmeyer S, Verstraete W (1988) Sulphate reduction relative to methane production in high-rate anaerobic digestion : technical aspects. *Appl Environ Microbiol* 51:572-579
- Köttner M (2000) Wenn die Biogasanlage plötzlich streikt. *top agrar : extra* 64-66
- Lahav O, Morgan B-E (2004) Titration methodologies for monitoring of anaerobic digestion in developing countries : a review. *J Chem Technol Biotechnol* 79:1331-1341
- Leschber R, Loll U (1996) Klärschlamm. Berlin : Ernst, 729 p, ATV-Handbuch
- Mähnert P (2007) Kinetik der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen und Gülle. Berlin : Humboldt-Univ, 167 p
- McCarty P-L (1964) Anaerobic waste treatment fundamentals. *Public Works* 95:91-126
- McCartney D-M, Oleszkiewicz J-A (1991) Sulfide inhibition of anaerobic degradation of lactate and acetate. *Water Res* 25:203-209
- Moosbrugger R-E, Wentzel M-C, Ekama G-A, Marais G-v-R (1993) Weak acid/bases and pH control in anaerobic systems : a review. *Water SA* 19:1-10
- Oechsner H, Lemmer A (2007) Biogas : Vorlesungsunterlagen M 41 252, SS 2007. Agrartechnik / Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen, Univ Hohenheim
- Ohly N (2006) Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Optimierung der Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen. Freiberg : Univ, 166 p
- Pullammanappallil P-C, Chynoweth D-P, Lyberatos G, Svoronos S (2001) Stable performance of anaerobic digestion in the presence of a high concentration of propionic acid. *Biores Technol* 78:165-169
- Rozzi A-G, Labellarte G (1984) Direct bicarbonate determination in anaerobic digester liquors by measurement of the pressure of carbon dioxide. *Process Biochem* 19:201-203
- Rozzi A-G, Dilallo R-A, Brunetti A (1985) Anaerobic process control by bicarbonate monitoring. *Environ Technol Lett* 6:594-601
- Sander HH (2009) Die Bedeutung der „Erneuerbare Energien in Norddeutschland“ [online]. Zu finden in <http://www.umwelt.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=2180&article_id=9051&psmand=10> [zitiert am 20.10.2010]
- Schäfer J (1998) Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Vergärung von Biomüll und Klärschlamm. Stuttgart : Fraunhofer-IRB-Verl, 132 p, Ber Forsch Entwickl 12
- Schattauer A, Weiland P (2004) Grundlagen der anaeroben Fermentation. In: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Gülzow : FNR, pp 25-35
- Schultz H, Eder B (2001) Biogas-Praxis : Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele. Stauden bei Freiburg : ökobuch, 165 p
- Schüsseler P (2009) Stand der Förderarbeit der FNR zum Thema Gärrückstände – offene Fragen. *Gülzower Fachgespr* 30:7-14
- Spendlin H-H (1991) Untersuchung zur frühzeitigen Initiierung der Methanbildung bei festen Abfallstoffen. Bonn : Economica, 192 p, Hamburger Ber 4
- Switzenbaum M-S, Gomez E-G, Hickey R-F (1990) Monitoring of the anaerobic methane fermentation process. *Enzyme Microb Technol* 12:722-730
- VDI-Richtlinie 4630 (2006) Vergärung organischer Stoffe : Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Düsseldorf : VDI
- Weiland P (2003) Notwendigkeit der Biogasaufbereitung, Ansprüche einzelner Nutzungsrouten und Stand der Technik. *Gülzower Fachgespr* 21:7-23
- Zeeck A (1997) Chemie für Mediziner. München : Urban & Schwarzenberg, 361 p

Verfahren zur Modifikation von Fettsäuremethylestern – Überblick über neuere Entwicklungen

Axel Munack*, Jürgen Krah**, Michael Petchatnikov*, Lasse Schmidt* und Michael Meier***

Zusammenfassung

Es werden Möglichkeiten diskutiert, wie Biokraftstoffe für Dieselmotoren so weiter entwickelt werden können, dass sie auch in modernen bzw. zukünftigen Motorgenerationen eingesetzt werden können. Dazu werden zunächst einmal die aktuellen Probleme mit Biokraftstoffen erörtert. Beim Reinkraftstoff ist es vor allem die zu hohe Siedelinie, die einer Verwendung in heutigen PKW-Motoren mit Partikelfilter entgegensteht. Bei Mischkraftstoffen treten Probleme bei biogenen Anteilen von 10 % bis 20 % auf, wenn der Biokraftstoff gealtert und damit oxidiert ist: es bilden sich dann Oligomere, die als Sedimente ausfallen und sowohl zu Filterverstopfungen als auch zu unerwünschten Nebenprodukten bei der dieselmotorischen Verbrennung führen können. Hier muss man versuchen, mit polaren Lösungsmitteln, also z. B. Alkoholen, die Sedimente wieder in Lösung zu bringen bzw. deren Ausfall von vornherein zu unterbinden. Im Falle des Reinkraftstoffs untersuchen wir zurzeit ein katalytisches Verfahren zur Verkürzung der Fettsäureketten, die Metathese, so dass sich Kraftstoffe mit besserem Siedeverhalten ergeben.

Schlüsselworte: Biodiesel, Mischkraftstoff, Siedeverhalten, Metathese

Abstract

Processes to modify fatty acid methyl esters – survey on recent developments

Opportunities for further developments in biofuels for diesel engines are discussed with the aim to use them also in modern and even future diesel engine generations. For this purpose, the actual problems with biofuels are discussed. For the neat fuel, the high boiling curve is the main obstacle to use this fuel in modern passenger cars with particle filter. With blends, problems are encountered when the biogenic share is in the range of 10 to 20 % and the fuel is aged, which means oxidized. Then oligomers are formed that precipitate as sediments and can lead to filter blocking or undesirable combustion products in the exhaust gas. In this case one can try, by means of polar solvents, like alcohols, to resolve the sediments or to prevent the oligomers from sedimentation. In case of the neat fuel, we are actually carrying out a research project in which a catalytic shortening of the fatty acids by a so-called metathesis reaction is applied. This should lead to fuels with improved boiling behavior.

Keywords: Biodiesel, blends, boiling behavior, metathesis

* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, axel.munack@vti.bund.de

** Hochschule Coburg, Friedrich-Streib-Str. 2, 96450 Coburg, krah@hs-coburg.de

*** Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Organische Chemie, Fritz-Haber-Weg 6, 76131 Karlsruhe, m.a.r.meier@kit.edu

1 Einleitung

Sowohl im PKW- als auch im Nutzfahrzeugbereich haben sich die Anforderungen an die einzuhaltenden Abgasgrenzwerte in den vergangenen Jahren ständig verschärft. Insbesondere die Einführung des Dieselpartikelfilters hat dabei dazu geführt, dass im PKW-Bereich für Neufahrzeuge keine Freigaben zum Einsatz von Biodiesel (meist RME, B100) mehr erteilt wurden. Es muss jedoch das Bestreben sein, einen hohen Biogenitätsanteil an den eingesetzten Kraftstoffen zu erhalten, um der Landwirtschaft weitere Einkommensmöglichkeiten offen zu halten und fossile Kraftstoffe zu substituieren und somit die endlichen Ressourcen zu schonen bzw. zur Reduktion der Emission klimarelevanter Gase beizutragen.

In diesem Beitrag werden Möglichkeiten vorgestellt, wie Biokraftstoffe so weiter entwickelt werden können, dass vorhandene unerwünschte Eigenschaften verbessert werden können. Dafür ist es erforderlich, die derzeitigen Probleme mit Biokraftstoffen zunächst zu sammeln und anschließend, aufgeteilt in Blends und Reinkraftstoff, Verbesserungspotenziale aufzuzeigen. Dies erfolgt in den folgenden Kapiteln.

2 Probleme mit FAME Biokraftstoffen

2.1 Reinkraftstoff

Abbildung 1 zeigt die Siedelinien einiger Kraftstoffe für Dieselmotoren. Ein Vergleich der Siedeverläufe für fossilen Dieseldieselkraftstoff (DK) und Rapsölmethylester (RME) zeigt deutliche Unterschiede: Während DK von ca. 165 °C ausgehend relativ kontinuierlich bei Erhöhung der Temperatur verdampft, also aus sehr vielen unterschiedlich siedenden Komponenten besteht, beginnt die Siedelinie für RME bei ca. 300 °C und ca. 95 % des Kraftstoffs verdampft im Bereich von 335 °C bis 350 °C. Neben der Beobachtung, dass hier erhebliche Unterschiede zwischen DK und RME existieren, kann man feststellen, dass die hohe Siedelinie letztlich zur Rücknahme der Freigaben für Biodiesel im Falle von Diesel-PKW geführt hat – der im Zuge des Regenerationszyklus für den Dieselpartikelfilter einmal ins Motoröl eingetragener RME verbleibt auch bei höheren Motoröltemperaturen darin und führt zur Verschlechterung der Schmierwirkung oder auch zur Polymerisation. Der in Abbildung 1 als relativ gut geeignet erscheinende FAME (Fatty Acid Methyl Ester) Kokosnussölmethylester ist für den Motorbetrieb unter nordeuropäischen Bedingungen ungeeignet, da sein Schmelzpunkt zu hoch liegt und Kokosnussöl als Kraftstoff (zumindest derzeit) auch viel zu teuer ist. Detaillierte Angaben zu Fettsäuremustern von verschiedenen Pflanzenölen und deren Eigenschaften sind der Literatur, z. B. Knothe et al., 2010, oder Mittelbach und Remschmidt, 2004, zu entnehmen.

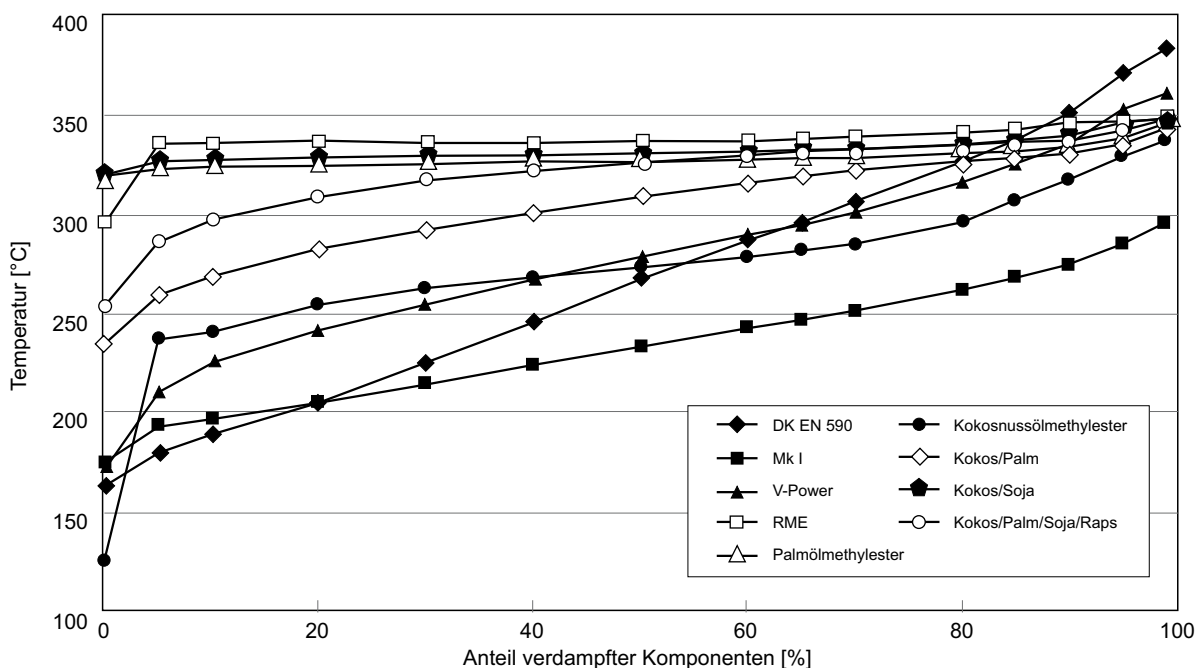


Abbildung 1:
Siedelinien verschiedener FAME im Vergleich zu Dieseldieselkraftstoff (Fischer, 2007)

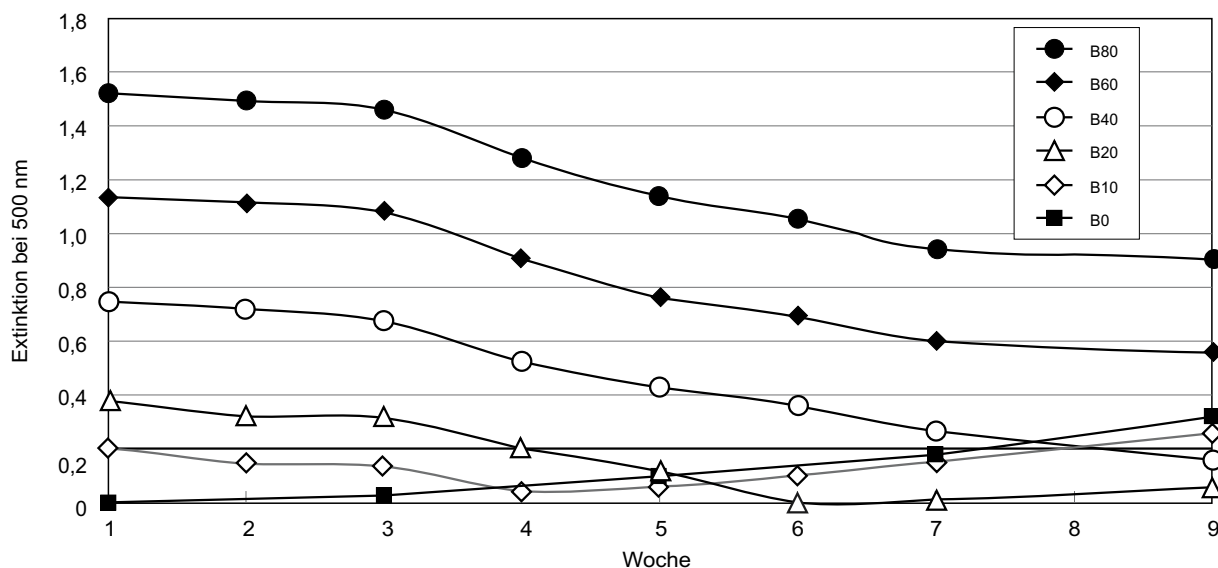


Abbildung 2:
Alterung von unterschiedlichen Biodiesel-Blends

2.2 Blends

In eigenen Versuchsreihen, vgl. Munack et al. (2009), zeigten Blends zwischen B0 und B100 eine deutliche Verfärbung, wenn sie mehrere Wochen dem Sonnenlicht ausgesetzt waren. Die Alterung verläuft, wie die in Abbildung 2 dargestellten Extinktionen bei 500 nm zeigen, als Reaktion 0. Ordnung. Es werden ganz offensichtlich einige Stoffe, die in Biodiesel enthalten sind, im Sonnenlicht entsprechend der Anzahl an eingestrahlt Photonen abgebaut (paralleler Abfall aller Kurven in den ersten Wochen). Danach beginnt die Bildung anderer Stoffe (Anstieg der Extinktionen nach Erreichen des Minimums).

Die Alterung lässt sich beschleunigen. Wir haben Versuche mit Thermoxydation bei 110 °C und Luftzufuhr und mit UV-induzierter Oxidation, ebenfalls mit Einleitung von gefilterter Luft, vorgenommen. Dabei erkennt man recht gut in Abbildung 3 den Abbau von Substanzen wie vermutlich Carotinoiden und Tocopherolen (Wellenlängen 425, 450, 476 nm); dies sind Substanzen, die bekanntermaßen antioxidative Wirkung haben.

Die sich nach dem Verbrauch der Antioxidantien bildenden Stoffe sedimentieren (zumindest teilweise). Trübungen sind bei der Mischung von oxidiertem RME mit DK deutlich mit bloßem Auge zu erkennen. Die Sedimentbildung in Abhängigkeit von der Blendkonzentration

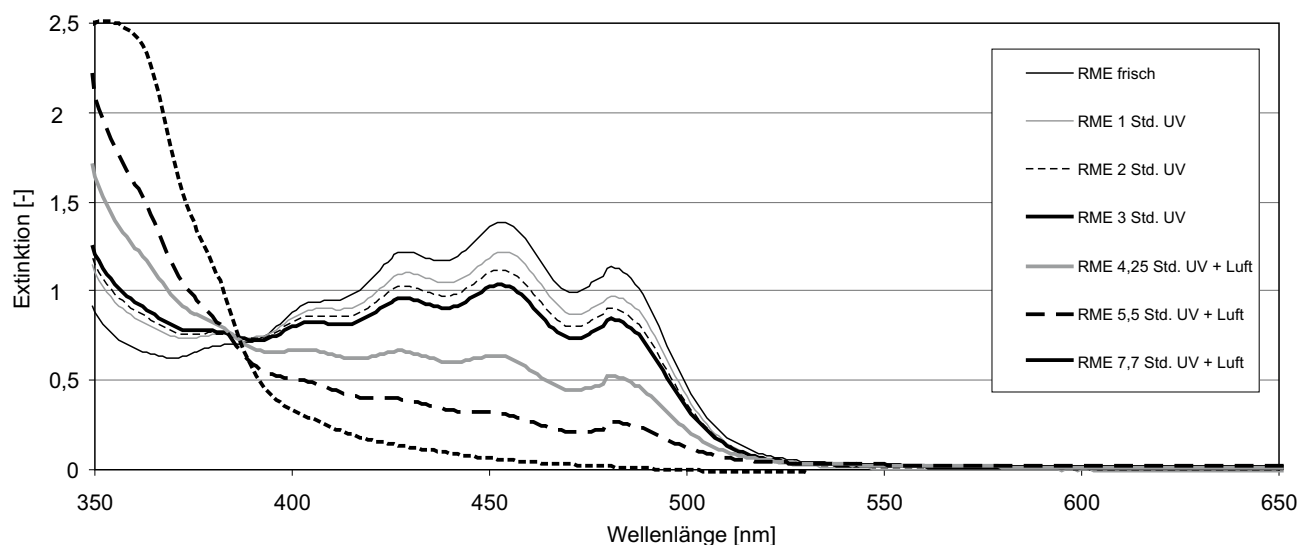
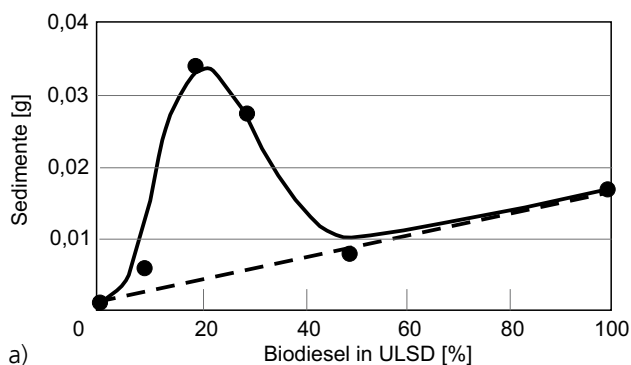
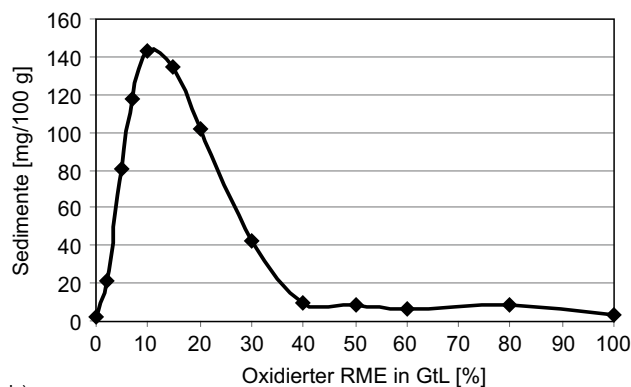


Abbildung 3:
Abbau von Carotinoiden bei künstlicher Alterung von Biodiesel mit UV-Strahlung

zeigt Abbildung 4a/b. Dabei ist ein Ergebnis von Fang und McCormick (2006) oben (Abbildung 4a) zu sehen. Die Autoren haben Sojaölmethylester mit Ultra Low Sulfur Diesel Fuel (ULSD) gemischt und die sich bildenden Sedimente ermittelt. Unsere Ergebnisse zeigt Abbildung 4b (unten). Dabei wurde oxidiertes RME mit GTL gemischt. Neben dem Paper von Fang und McCormick und unseren Ergebnissen haben wir bisher lediglich eine weitere Publikation zur Sedimentbildung mit FAME-DK-Blends finden können. Peyton, McGinnis und Bureman (2008) berichten ebenfalls über Sedimente bei Blends. Während Fang und McCormick die Bildung von Polymeren, speziell Dimeren und Trimeren für die Präzipitate herleiten, haben Peyton et al. (2008) Azelainsäuremethylester und Hexansäuremethylester als Oxidationsprodukte in gemischten FAME und in Sojaölmethylester gefunden. Interessant dabei ist, dass diese Oxidationsprodukte in B100 ebenfalls nachweisbar waren, aber nicht sedimentierten. Die Autoren führen dies auf genügend viele polare Moleküle in B100 zurück, die in der Lage sind, diese Stoffe in Lösung zu halten.



a)



b)

Abbildung 4a/b:

Sedimentbildung bei unterschiedlichen Blends; a) Ergebnisse von Fang und McCormick (oben); b) eigene Ergebnisse (unten)

Insofern bilden Mischkraftstoffe im Bereich von B10 bis B20 tatsächlich besondere Fälle, die ein außergewöhnliches Verbrennungsverhalten dieser Blends gegenüber den Reinkomponenten möglich erscheinen lassen. Ob die

von uns beobachtete Erhöhung der Mutagenität für diese Blends ebenfalls durch Oxidationsprodukte bzw. Polymere erklärt werden kann, muss zunächst offen bleiben. Abbildung 5 zeigt jedenfalls einen Verlauf der mit dem Ames-Test ermittelten Abgas-Mutationsraten, der den Sedimentationsverläufen sehr ähnlich ist. Es könnte durchaus sein, dass die gebildeten hochmolekularen Substanzen keinen echten Siedepunkt aufweisen, sondern unter Zersetzung verbrennen und dabei mutagene Abgasprodukte entstehen. Dieser Vermutung müsste in weiteren Untersuchungen nachgegangen werden.

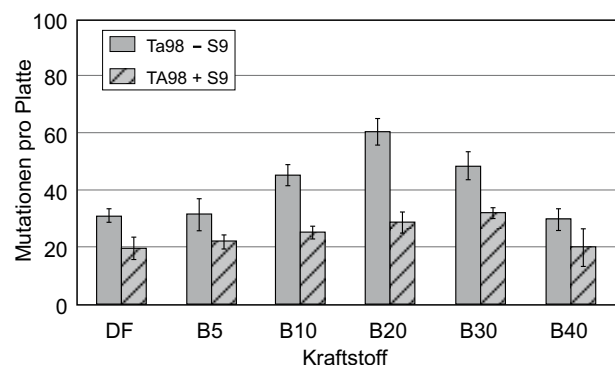


Abbildung 5:

Ergebnisse von AMES-Tests mit unterschiedlichen Biodiesel-Blends

3 Problemlösungsmöglichkeiten

3.1 Blends

In unseren Experimenten haben wir unterschiedliche Möglichkeiten gefunden, die Sedimente wieder in Lösung zu bringen. Eine naheliegende Methode besteht darin, weiteren – frischen – RME zuzugeben. Wie Abbildung 6a am Beispiel von B10 mit GTL zeigt, führt dies zur Auflösung der Präzipitate und die Antioxidantien sind im Spektrum wieder deutlich erkennbar. Allerdings wird mit insgesamt ca. 30 % eine Gesamt-RME-Konzentration erreicht, die weit über den gemäß EN 590 zulässigen Grenzen für eine Zumischung von biogenen Komponenten liegt. Dieses Vorgehen wäre damit nur in Sonderfällen im Rahmen des Betriebs von Kraftfahrzeug-Flotten möglich.

Eine weitere in unseren Untersuchungen gebundene Möglichkeit zur Auflösung der Präzipitate besteht in der Zugabe von Alkoholen. Abbildung 6b zeigt, wie durch Zugabe von relativ geringen Mengen von Butanol eine Auflösung gelingt. In weiteren, hier nicht gezeigten Experimenten konnten wir nachweisen, dass auch durch Ethanol-Zugabe eine ähnlich gute Lösung erreicht werden kann. Damit ist nachgewiesen, dass durch die Hinzufügung weiterer biogener Komponenten zu B10-Blends eine Sedimentierung von Oxidationsprodukten oder Polymeren zuverlässig verhindert werden kann. Allerdings

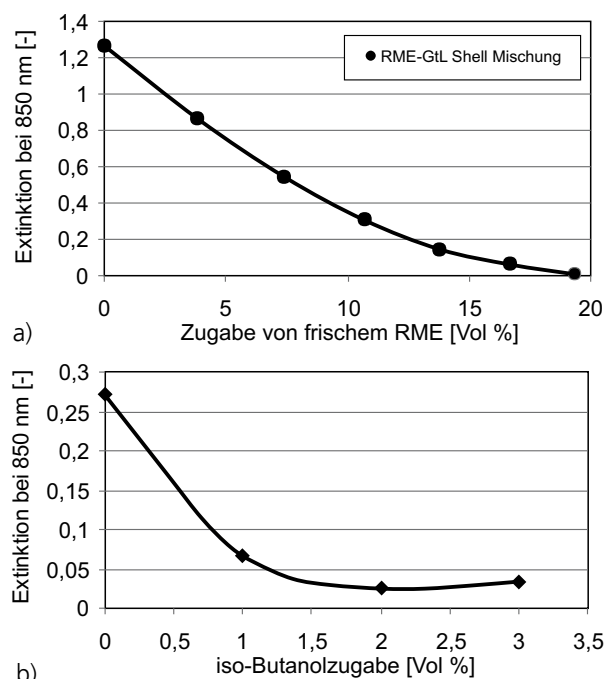


Abbildung 6a/b:

Auflösung von Präzipitaten: a) durch Zugabe von frischem RME (oben); b) durch Zugabe von Alkoholen (unten)

senken kurzkettige Alkohole den Flammpunkt des Kraftstoffgemisches erheblich unter den zulässigen Grenzwert ab. Auch die Frage, wie stabil ein DK-RME-Alkohol-Blend ist, muss in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Ein weiteres positives Ergebnis lässt sich jedoch schon einmal anführen: Die NO_x -Emission der Blends (gekennzeichnet mit E2) erreichen etwa nur die Höhe von fossilem Dieselmotorkraftstoff, vgl. Abbildung 7.

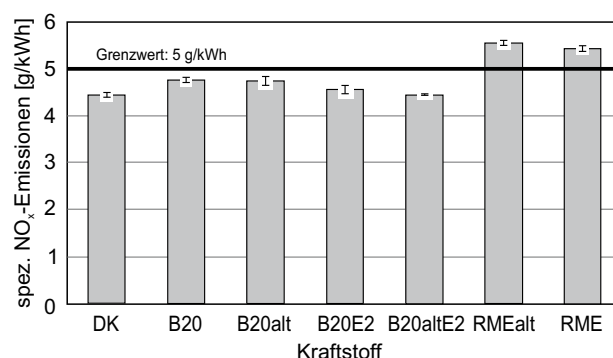


Abbildung 7:

Vergleich der NO_x -Emissionen unterschiedlicher Blendkraftstoffe und ihrer reinen Komponenten

3.2 Reinkraftstoff

Anforderungen an den Reinkraftstoff RME wurden im Jahre 2007 auf dem GCIRC-Kongress in Wuhan diskutiert und in Krah et al. (2007) eingehend dargestellt. Demnach sind Kettenlängen der Pflanzenöle von 12 bis 16 C-Atomen anzustreben, um die Siedelinie näher an diejenige von DK heranzubringen. Hinsichtlich eines genügend tiefen Schmelzpunkts sind keine gesättigten Verbindungen gewünscht, sondern ungesättigte. Andererseits soll die Polymerisation auch nicht zu sehr begünstigt werden, so dass Moleküle mit mehr als zwei Doppelbindungen als ungünstig anzusehen sind. Damit ist das gewünschte Pflanzenölspektrum auf C12:1 bis C16:2 festgelegt. Dies ist eine technische Anforderung an den zukünftigen Einsatz von FAME als Kraftstoff; ob diese Forderung durch kon-

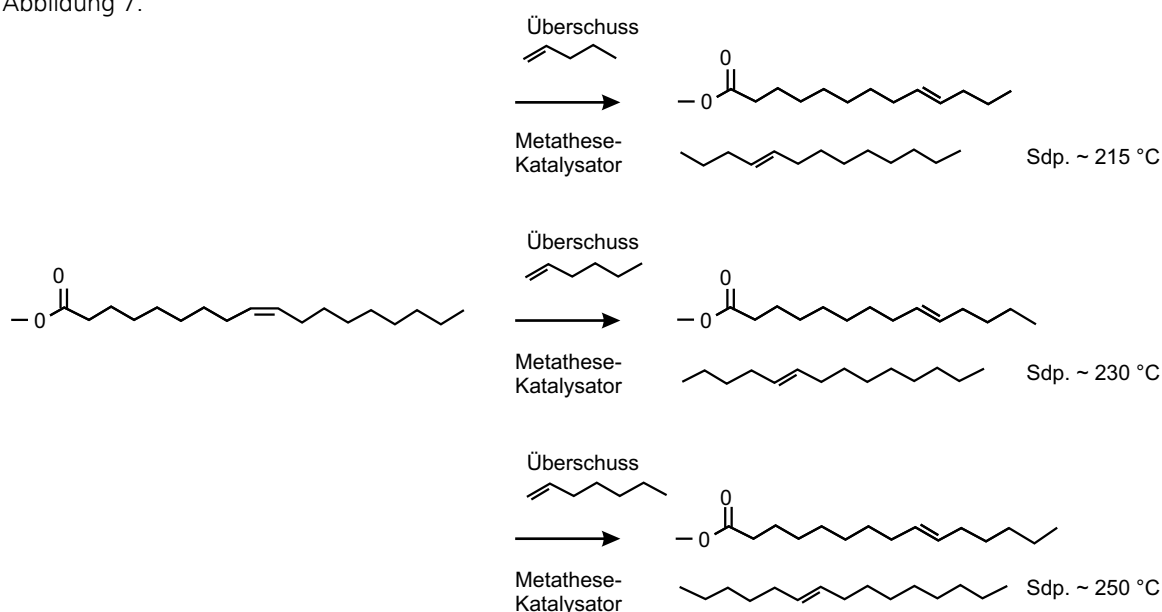


Abbildung 8:

Schematischer Weg von Kreuzmetathese-Reaktionen von Methyloleat, einer Biodieselkomponente

ventionelle Pflanzenzüchtung oder genetisch veränderte Sorten jemals erfüllbar sein wird, wollen wir hier nicht diskutieren.

Eine weitere Möglichkeit, kürzere Kettenlängen zu erzeugen, bildet die Olefin-Metathese, eine chemische Reaktion, die auch in der Oleochemie (Chemie mit Fettsäurederivaten aus Pflanzenölen) bekannt ist (Rybak et al., 2008). Ob dieser Reaktionsmechanismus auch im Falle von FAME-Kraftstoff einsetzbar ist, sollen Untersuchungen in einem aktuellen Forschungsprojekt zeigen. Der prinzipiell vorliegende Weg ist in Abbildung 8 schematisch dargestellt. Das hier erstmals für einen Kraftstoff angewandte Vorgehen beruht auf der Kreuzmetathese von Biodiesel mit kurzkettigen Alkenen, wie z. B. 1-Hexen. Dies verursacht eine Reduzierung der Kettenlänge des Biodiesels, wie in der Abbildung dargestellt ist.

Danksagung

Die Autoren danken dem Verband der Deutschen Bio-kraftstoffindustrie e.V. (VDB) sowie der Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP) für die Förderung entsprechender Forschungsprojekte.

Literatur

- Fang HL, McCormick RL (2006) Spectroscopic study of biodiesel degradation pathways. SAE Tech Pap 2006-01-3300
- Fischer J (2007) Persönliche Mitteilung
- Knothe G, Krahl J, Van Gerpen J (eds) (2010) The biodiesel handbook. Urbana IL : AOCS Press, 501 p
- Krahl J, Munack A, Bockey D (2007) Property demands on future biodiesel. Landbauforsch Völkenrode 57(4):415-418
- Mittelbach M, Remschmidt C (2004) Biodiesel : the comprehensive handbook. Graz : Selbstverl, 332 p
- Munack A, Petchatnikov M, Schmidt L, Krahl J (2009) Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Spektroskopische Untersuchungen zur Ergründung der Wechselwirkungen zwischen Biodiesel und Dieselmotorkraftstoff bei Blends“ : Projektnummer 7-TA-VDB. Braunschweig, 56 p
- Peyton K, McGinnis T, Bureman P (2008) Preventing sediment formation In stored biodiesel fuel blends. Biodiesel Mag 2008/Dec
- Rybak A, Fokou PA, Meier MAR (2008) Metathesis as a versatile tool in oleochemistry. Eur J Lipid Sci Technol 110:797-804

Chemical solubility and agricultural performance of P-containing recycling fertilizers

Sylvia Kratz*, Silvia Haneklaus* and Ewald Schnug*

Abstract

158 P-containing fertilizers, standard mineral and recycling products, were analyzed for their chemical solubility using 10 different methods. Correlations between methods were highly significant, indicating that a reduction of official methods is viable. A modified *Neubauer* pot trial was carried out with different P-recycling products to investigate which method was best suited to describe their plant availability. The best correlation between short-term plant P uptake and chemical solubility was found for water extraction, while mid to long-term P availability is better described by extractions with ammonium citrate. For reasons of practicability it is recommended to use the EU method of neutral ammonium citrate extraction to evaluate the nutritive value of P-recycling fertilizers. The tradable (so-called total) P content of a fertilizer can be described by the EU mineral acid extraction with $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3$ or *aqua regia* digestion.

Keywords: *Recycling fertilizers, P solubility, chemical extraction methods, P plant availability, Neubauer pot trial*

Zusammenfassung

Löslichkeit und agronomische Qualität von P-haltigen Recyclingdüngern

158 phosphorhaltige Düngemittel, darunter Standard-mineraldünger und Recyclingprodukte, wurden mit 10 verschiedenen Methoden auf ihre chemische Löslichkeit untersucht. Hoch signifikante Korrelationen zwischen den Methoden legten nahe, dass es möglich ist, die Vielzahl der offiziellen Methoden zur Beschreibung der P-Löslichkeit zu reduzieren. Mithilfe eines modifizierten *Neubauer*-Keimpflanzenversuches wurde unter Einsatz verschiedener P-Recyclingprodukte untersucht, welche Methode am besten zur Beschreibung der Pflanzenverfügbarkeit dieser Produkte geeignet ist. Die beste Korrelation zwischen kurzfristiger Pflanzenaufnahme und chemischer Löslichkeit wurde für die Wasserextraktion gefunden, während sich die mittel- bis langfristige P-Verfügbarkeit besser mittels Extraktionen mit Ammoniumcitrat beschreiben ließ. Aus Praktikabilitätsgründen ist die EU-Methode zur Extraktion mit neutralem Ammoniumcitrat zu empfehlen, um das Düngepotential von P-Recyclingdüngern zu bewerten. Der marktfähige ("so genannte totale") P-Gehalt eines Düngers kann mittels Mineralsäureextraktion nach EU-Vorschrift ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3$) oder Königswasseraufschluss beschrieben werden.

Schlüsselwörter: *Recyclingdünger, P-Löslichkeit, chemische Extraktionsmethoden, P-Pflanzenverfügbarkeit, Neubauer-Keimpflanzenversuch*

* Julius Kühn-Institut, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Crop and Soil Science, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Germany
corresponding author: sylvia.kratz@jki.bund.de

1 Introduction

The German Fertilization Ordinance (Düngeverordnung – DüV) holds an obligation for farmers to fertilize their crops according to Good Agricultural Practice, i.e. according to crop nutrient demands. In § 5 DüV, the balance surplus for phosphate is limited to 20 kg P_2O_5 /ha*yr. Prerequisite for this is an efficient P fertilization with minimized P losses. In order to realize this, a precise estimate of the plant available (“efficient”) share of fertilizer P is needed. The extraction with chemical solvents gives a first orientation about the efficiency of fertilizers. The German Fertilizer Ordinance (Düngemittelverordnung – DüMV, Annex 2, Table 4) offers 11 options to describe phosphate solubility, most of them identical to the methods given by the EU regulation 2003/2003 on fertilizers. The large number of different methods has historical roots. It is imperative that methods are comparable in order to calculate reliable fertilizer rates. For this reason, the German Federal Ministry for Nutrition, Agriculture and Consumer Protection (BMELV) initiated a research project on the “Standardization of phosphate analysis and characterization of fertilizers”, which was carried out by the Julius Kühn-Institute in the years 2008 and 2009.

The project had three main aims:

- to reduce the multitude of chemical extraction methods for characterizing phosphate solubility,
- to find a clear and simple definition of methods with regard to their explanatory content about the solubility of the fertilizer, i.e.
 - Water: immediately available (initial effect)
 - Weak acid: available within the first vegetation period
 - Strong acid (mineral acid): maximum amount of P which may potentially become available / tradable total content,
- to examine the correlation between chemically extractable P content and agronomical efficiency using a representative selection of P containing fertilizers which are currently marketed including organic fertilizers (farmyard manure, sewage sludge, compost, animal residues) and „new” products (such as fertilizers based on sewage sludge ash).

2 Material and methods

2.1 Laboratory screening of fertilizers

P-containing fertilizers were mainly supplied by branches of the governmental fertilizer control (Düngemittelverkehrskontrolle). Further samples of „new” products such as those from waste water treatment or animal waste pro-

ducts were provided by Berliner Wasserbetriebe (BWB), a waste water treatment plant in Gifhorn, the Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM) Berlin, Ash-Dec Umwelt AG, ReFood GmbH and the Association for Technology and Structures in Agriculture (KTBL) Darmstadt as well as from the collections of JKI. Table 1 gives an overview of the samples analyzed in this project.

Table 1:

Overview of the analyzed fertilizer samples (N = 158)

Group	Type description	No. of samples
Mineral fertilizers		77
Straight P fertilizers	Single (SSP) and Triple Superphosphate (TSP)	2+6
	(Soft) ground rock phosphate	4
	Partially acidulated rock phosphate	7
Compound fertilizers	NPK fertilizer	30
	NP fertilizer	15
	PK fertilizer	11
	Lime with P	2
Organic and organo-mineral fertilizers and products based on them		81
Sewage sludge	Organic NP fertilizer	11
Organic P and NP (MAP) from waste water precipitation		1+1
Sewage sludge ash		6
P, PK and NPK from thermo-chemically treated sewage sludge ash		22+5+2
Biowaste compost	Organic NPK/PK fertilizer	5
Fermentation residues	Organic NPK fertilizer	4
Slurry (cattle and pig)	Organic NPK fertilizer	16
Meat and bone meal (+ash)	Organic NP (+mineral P) fertilizer	6+1
Vegetable residues (vinasse/melasse)	Organic NPK fertilizer	1
Total:		158

Sample preparation: In the case of mineral fertilizers and mineral products from sewage sludge ash /meat and bone meal ash, the original substance, conditioned at 40 °C and fine-ground to a particle size of < 60 µm in a Retsch RS 1 vibrating disc mill with zirconium oxide grinding equipment, was used for all extractions and digests. Fermentation residues and slurries delivered as liquid samples (except for one solid sample) were dried in a ventilated oven at 60 °C and fine-ground to a particle size of < 60 µm in a tungsten carbide mortar or vibratory disc mill with zirconium oxide garniture before extraction.

The following methods were used to describe the solubility of the fertilizer samples (Table 2). For the slurries, only a selection of the above listed methods was applied (W, CAL, CA, AR).

Table 2:

Chemical extraction methods used for the description of P solubility

Code	Method
MinA _{LUFA}	Mineral acid digest according to VDLUFA II 4.1.1.2 (HNO ₃ +H ₂ SO ₄ +CuSO ₄)
MinA _{EU}	Mineral acid digest according to EU-method 3.1.1 (HNO ₃ +H ₂ SO ₄)
AR	<i>Aqua regia</i> digest according to DIN EN 13346/2001-04
FA	Extraction with 2 % formic acid (VDLUFA II 4.1.2)
CA	Extraction with 2 % citric acid (VDLUFA II 4.1.3)
NAC _{EU}	Extraction with neutral ammonium citrate according to EU-method 3.1.4
W+NAC _{FN}	Extraction with water and neutral AC according to Fresenius-Neubauer (VDLUFA II 4.1.4)
AAC	Extraction with alkaline ammonium citrate according to Petermann at 20 °C (VDLUFA II 4.1.5)
W	Extraction with water (VDLUFA II 4.1.7)
CAL	Extraction with calcium acetate lactate according to Schüller (1969) / BGKeV book of methods

P determination was done colorimetrically (Molybdenum-Blue) according to Murphy & Riley (1962) with (NH₄)₆Mo₇O₂₄ × 4H₂O.

The LUFA- and the EU-method for mineral acid digestion yielded comparable results ($R^2 = 0.999$, $p < 0.01$), therefore the EU-method was used exclusively for the complete sample set. Highly correlating results were also obtained for AR and MinA_{EU} digestion ($P\text{-AR (mg/kg)} = 0.986 \cdot P\text{-MinA (mg/kg)} + 1595$ (with $p < 0.0005$; $R^2 = 0.993$)). Thus existing data for AR digestion of sewage sludge ash products could be used for calculating the MinA_{EU} content.

2.2 Modified Neubauer trial

The aim of the *Neubauer* trial was to examine the correlation between chemical P solubility of P recycling fertilizers and P uptake and effects on yield, respectively. The question to be answered was which chemical extraction method is best suited to assess the bioavailability of P in recycling fertilizers. To answer this question, a modified short-term *Neubauer* trial was set up:

Principle of the *Neubauer* method is to use plant roots as "reagents" to determine the amount of "root soluble" and thus plant available nutrients. A large number of plants (100 rye seeds) on a small amount of (fertilized) substrate makes sure that root soluble nutrients are used up within a short period of time (14 to 18 days), given

that abiotic factors are optimum (Neubauer and Schneider, 1923; Neubauer, 1931).

450 g of fertilized substrate were filled into transparent polystyrol vessels (diameter 12 cm, height 6 cm) and seeded with 100 rye seeds. The experiment was designed as an "exhaustion trial", meaning that after a first cut of shoots after 16 days (at BBCH 12/13) (Strauß et al., 1994) plants were further cultivated until visible symptoms of nutrient deficiency were observed, accompanied by retarded growth. A second and a third cut were carried out after 29 (BBCH 12) and 43 days (BBCH 11/12), together with a recovery of roots.

As test plant, the summer rye cultivar *Arantes* (thousand grain weight: 41.3 g, germinability: 89 %), was used undressed. The test substrate was P-free quartz sand [grading: "fine" sand: 0.1 to 0.4 mm, coarse sand 0.7 to 1.2 mm]. Quartz sand was filled into the vessels in three layers: The bottom layer consisted of 50 g coarse and 100 g fine sand, which was mixed with the ground test fertilizers. This layer was also sprinkled with the supplemental fertilizer solutions. On top of this, a layer of 150 g fine sand was placed. Rye seeds were evenly spread on top of the second layer and covered with a third layer of 150 g fine sand.

Seeding date was May 20, 2009. The first cut was harvested 16 days later at BBCH 12/13 (Strauß et al., 1994) on June 5, 2009. The second cut was performed 29 days after sowing at BBCH 12 on June 18, 2009 and the third cut after 43 days at BBCH 11/12 on July 2, 2009.

All pots were brought to approximately 65 % of field capacity with de-ionized water. During the trial, water was supplied individually according to pot weight.

Fertilization strategy:

- Defined amounts of P coming from different P recycling fertilizers see Table 3 + 4 (calculation based on total P soluble in MinA_{EU})
- P levels (severe P deficiency – optimum – P surplus): 20 – 40 – 60 mg P (determination of optimum rate was calculated based on P uptake of shoot dry matter in a pilot trial at an assumed P utilization of 20 %)
- Supplementation of liquid N for all treatments up to the N amount supplied by an N-containing test fertilizer (without consideration of fertilizer no. 7) (Table 5). Additionally, N was applied at a rate of 10 and 5 mg/pot N, respectively, after each cut.
- Uniform supplementation of K, Ca, Mg and S in liquid form (calculation based on dry matter yield from the pilot experiment and average nutrient content, considering nutrient input by test fertilizers) (Table 5)
- No micronutrients (as indicated by the pilot experiment)
- Control treatments with several standard mineral fertilizers (single super phosphate, fully soluble NP, partly

digested rock phosphate), analytical grade mono calcium phosphate (MCP) and a zero P treatment, supplied with all other macronutrients in liquid form like the test fertilizers

Table 3:

Test fertilizers used in the *Neubauer* trial

Tr. ¹	Sample name	Description
		Zero P
1	Org NP _{BM}	Org NP from bone meal (Beckhorn bone meal steamed)
2	Org NP _{MBM}	Org NP from meat and bone meal cat. 3 (Anton Knoll company)
3	MBMA	Ash from meat and bone meal cat. 1 (Rethmann / ReFood)
4	Org NP _{SS}	Org NP from sewage sludge (precipitation, WWTP Gifhorn)
5	Struvite	MAP (struvite) from waste water precipitation (Berliner Wasserbetriebe)
6	P-SSA _{TC}	Straight P from thermochemically treated sewage sludge ash (MgCl ₂ -type, BAM)
7	NPK-SSA _{TC}	NPK from thermochemically treated sewage sludge ash (MgCl ₂ -type, AshDec)
<i>Controls:</i>		
8	MCP	Mono calcium phosphate analytical grade (p.a.)
9	SSP	Single super phosphate
10	DAP	Diammonium phosphate
11	paRP	Partly acidulated rock phosphate

¹Tr. = treatment

Table 4:

P content and relative solubility (in % of MinA-P₂O₅) of the fertilizers used in the *Neubauer* trial

Tr.	Type	MinA-P ₂ O ₅ (%)	Relative solubility (in % of MinA-P ₂ O ₅) in ...					
			FA	CA	NAC _{EU}	W+NAC _{FN}	AAC	W
1	Org NP _{BM}	15.0	76	34	27	33	8.5	0.93
2	Org NP _{MBM}	17.4	91	74	48	65	16	0.99
3	MBMA	25.9	48	50	15	15	7.0	0.01
4	Org NP _{SS}	8.9	57	84	88	86	80	0.40
5	Struvite	27.6	97	100	92	51	6.3	0.73
6	P-SSA _{TC}	21.4	75	65	21	21	4.8	0.13
7	NPK-SSA _{TC}	7.4	101	103	92	92	70	73
8	MCP	57.4	97	98	97	98	95	96
9	SSP	20.9	101	88	84	87	83	76
10	DAP	45.8	115	101	102	103	107	87
11	pa RP	41.6	76	69	65	71	66	53

FA - formic acid; CA – citric acid; NAC_{EU} - neutral ammonium citrate; W+ NAC_{FN} - water and neutral AC; AAC - alkaline ammonium citrate; W – water (Tr. = treatment)

Table 5:

Fertilizer solutions and nutrient dosage applied per pot in the *Neubauer* trial

Nutrient	Compound used	Dosage (mg pure nutrient per pot)
N	NH ₄ NO ₃ , KNO ₃ , Ca(NO ₃) ₂	89.5
K	KNO ₃ , K ₂ SO ₄	60
Ca	Ca(NO ₃) ₂	20
Mg	MgSO ₄	4
S	MgSO ₄ , K ₂ SO ₄	5.3

For the determination of P, the plant material was dried in a ventilated oven at 60 °C until constancy of weight. Then the material was fine-ground to a particle size of < 0.12 mm employing an ultra-centrifugal mill (Retsch ZM1) with titanium grinding equipment. 0.5 g plant material was digested with 4ml HNO₃ + 1ml H₂O₂ in a microwave (CEM/Mars) at 600 Watt for 27 minutes, raising the temperature up to 200 °C. After cooling down the digest was filled up to 50 ml with deionized water. P concentration was determined by ICP-OES (Spectro M 120 S).

3 Results and discussion

3.1 Laboratory investigations

Figure 1 shows median, quartiles and ranges of P₂O₅ contents of the different fertilizer types determined in mineral acid (MinA_{EU}) and *aqua regia* (AR). P contents in these extractants are generally termed “so-called total”,

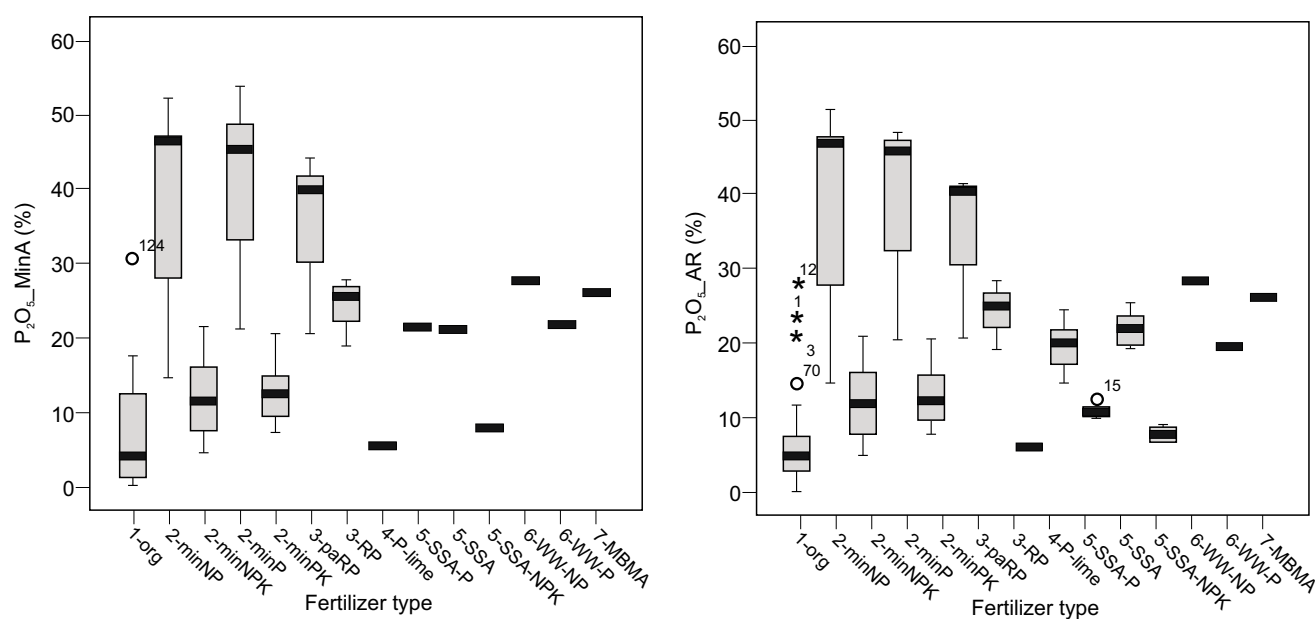


Figure 1:

Mineral acid (MinA) and *aqua regia* (AR) soluble P_2O_5 contents of the analyzed fertilizers (% of original substance) – median, quartiles and ranges (1 = organic fertilizers, 2 = soluble mineral fertilizers, 3 = rock phosphates (RP), 4 = P fertilizers with lime, 5 = products from sewage sludge ash (SSA), 6 = products from waste water (WW) treatment, 7 = meat and bone meal ash) ○ = outlier, * = extreme value, numbers refer to BMELV-sample number and thus are only descriptive

because only non-destructive methods such as XRF determine the real total content (Haneklaus et al., 1994). Expectedly (see above) both methods yielded similar results.

Similarly, there was a strong relationship between the German and EU-method for extraction with neutral ammonium citrate (Table 6).

Table 6:

Pearson correlation coefficients for the relationship between German and EU-method for the determination of P solubility in neutral ammonium citrate ($W+NAC_{FN}$ and NAC_{EU})

Group of samples	n	r	p
All samples	143	0.993	0.01
Mineral fertilizers only	75	0.999	0.01
Organic fertilizers only	27	0.983	0.01
Sewage sludge ash (products) only	35	0.676	0.01

While there was a very strong and highly significant correlation between the German and the EU-method for mineral as well as for organic fertilizers, it was distinctly weaker for sewage sludge ashes and their products.

As can be seen from the correlation matrices (Table 7 to 10), there were close relationships between all examined extraction methods when all fertilizers were viewed as one group. However, when the different types of fertilizers were grouped separately, there were obvious differences: While common mineral fertilizers showed very strong and highly significant ($p < 0.01$) correlations in all cases, sew-

age sludge ashes and their products showed a heterogeneous picture, with only occasionally significant correlations between different extracts. It is speculated that this might be due to the heterogeneity in the products. In contrast to the ash products, the group of organic fertilizers showed for most extractions – except water – medium to very strong, significant to highly significant correlations. The reason for the unpredictable results for the water extraction is probably the fact that the dried organic samples had hydrophobic surfaces and were therefore difficult to moisten in water.

Figure 2 gives an overview of relative P solubilities of fertilizer types in different extractants. Since the large group of ash-based fertilizers was not digested in mineral acid, relative solubilities are referred to *aqua regia* here. Relative solubility in the group of organic fertilizers (1-org) showed a high variability. A comparable behavior was also found in other extracts tested in this study (figures not shown here). This was not only because this group was composed of different subtypes (farmyard manure, biowaste compost, sewage sludge, meat and bone meal, fermentation residues and vegetable residues) but also due to the internal heterogeneity of each of these subgroups, which did not allow a precise evaluation of their quality.

The products from sewage sludge ash also showed a highly variable solubility (type 5: SSA, SSA-P, SSA-PK, SSA-NPK), in particular the group of P fertilizers from unprocessed thermochemically treated ash. This group comprised 22 samples (SSA-P). Obviously, this material was still

Table 7:

Pearson correlation coefficients for the relationship between different extraction methods, calculated for all fertilizers (see Table 1)

	MinA _{EU}	AR	FA	CA	W+NAC _{FN}	NAC _{EU}	AAC	W
MinA _{EU}	1							
AR	0.992**	1						
FA	0.967**	0.942**	1					
CA	0.958**	0.942**	0.981**	1				
W+NAC _{FN}	0.944**	0.877**	0.961**	0.956**	1			
NAC _{EU}	0.941**	0.890**	0.960**	0.962**	0.993**	1		
AAC	0.902**	0.838**	0.911**	0.918**	0.969**	0.966**	1	
W	0.889**	0.827**	0.923**	0.923**	0.964**	0.959**	0.966**	1
CAL	0.920**	0.926**	0.961**	0.966**	0.974**	0.976**	0.957**	0.973**

MinA_{LFA} - Mineral acid digest; MinA_{EU} - Mineral acid digest; AR - *Aqua regia*; FA - 2 % formic acid; CA - 2 % citric acid; NAC_{EU} - neutral ammonium citrate; W+NAC_{FN} - water and neutral AC; AAC - alkaline ammonium citrate; W - water; CAL - calcium acetate lactate; Significances: ** = p < 0.01, * = p < 0.05, n.s. = not significant

Table 8:

Pearson correlation coefficients for the relationship between different extraction methods, calculated for mineral fertilizers (see Table 1)

	MinA _{EU}	AR	FA	CA	W+NAC _{FN}	NAC _{EU}	AAC	W
MinA _{EU}	1							
AR	0.997**	1						
FA	0.974**	0.978**	1					
CA	0.959**	0.962**	0.987**	1				
W+NAC _{FN}	0.954**	0.958**	0.984**	0.994**	1			
NAC _{EU}	0.948**	0.953**	0.983**	0.994**	0.999**	1		
AAC	0.922**	0.924**	0.948**	0.967**	0.970**	0.972**	1	
W	0.924**	0.926**	0.957**	0.977**	0.979**	0.981**	0.968**	1
CAL	0.912**	0.918**	0.949**	0.958**	0.969**	0.971**	0.947**	0.967**

MinA_{LFA} - Mineral acid digest; MinA_{EU} - Mineral acid digest; AR - *Aqua regia*; FA - 2 % formic acid; CA - 2 % citric acid; NAC_{EU} - neutral ammonium citrate; W+NAC_{FN} - water and neutral AC; AAC - alkaline ammonium citrate; W - water; CAL - calcium acetate lactate; Significances: ** = p < 0.01, * = p < 0.05, n.s. = not significant

Table 9:

Pearson correlation coefficients for the relationship between different extraction methods, calculated for products from sewage sludge ash (see Table 1)

	MinA _{EU}	AR	FA	CA	W+NAC _{FN}	NAC _{EU}	AAC	W
MinA _{EU}	1							
AR	n.c.	1						
FA	n.c.	n.s.	1					
CA	n.c.	0.341*	0.820**	1				
W+NAC _{FN}	n.c.	n.s.	0.550**	0.467**	1			
NAC _{EU}	n.c.	0.378*	n.s.	n.s.	0.676**	1		
AAC	n.c.	n.s.	-0.472**	-0.414*	n.s.	0.515**	1	
W	n.c.	-0.503**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.416*	1
CAL	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.

MinA_{LFA} - Mineral acid digest; MinA_{EU} - Mineral acid digest; AR - *Aqua regia*; FA - 2 % formic acid; CA - 2 % citric acid; NAC_{EU} - neutral ammonium citrate; W+NAC_{FN} - water and neutral AC; AAC - alkaline ammonium citrate; W - water; CAL - calcium acetate lactate; Significances: ** = p < 0.01, * = p < 0.05, n.s. = not significant, n.c. = not calculated

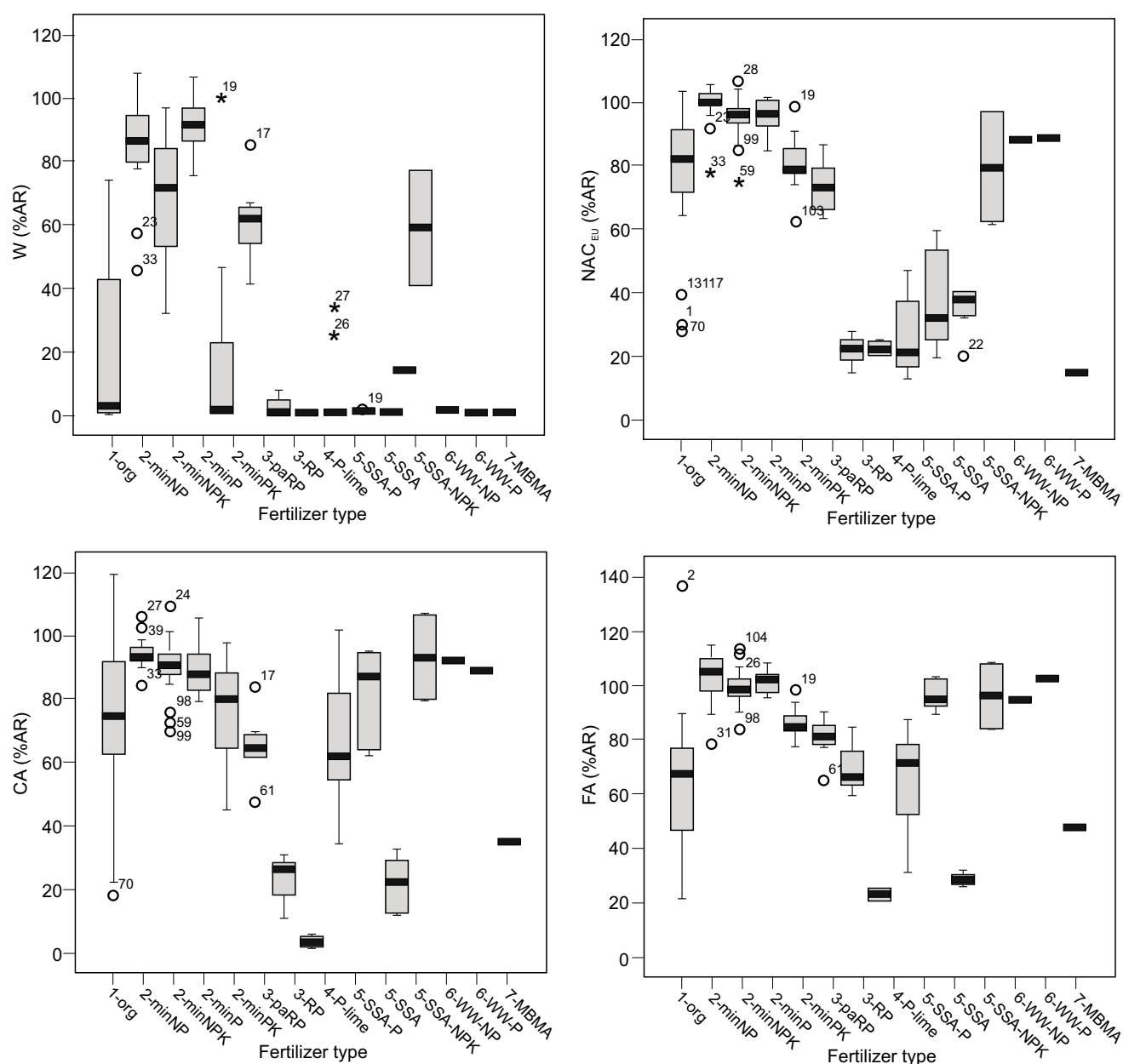


Figure 2:

Relative solubility (referred to *aqua regia* (AR)) of different fertilizer types in water (W), neutral ammonium citrate (NAC_{EU}), citric acid (CA) and formic acid (FA) – median, quartiles and ranges

(1 = organic fertilizers, 2 = soluble mineral fertilizers, 3 = rock phosphates (RP), 4 = P fertilizers with lime, 5 = products from sewage sludge ash (SSA), 6 = products from waste water (WW) treatment, 7 = meat and bone meal ash) = ○ outlier, * = extreme value, numbers refer to BMELV-sample number

rather heterogeneous in its speciation despite the treatment and milling.

The standard mineral fertilizers (types 2, 3 and 4) stood out with their in most cases comparably low variation in different extractants.

For mineral fertilizers and sewage sludge ash products, the water extract did not follow the trend described here: While the ash products showed mostly a uniformly low

water solubility, the standard mineral fertilizers displayed varying water solubility depending on their different degree of acidulation.

Due to the observed variation in solubility both within and between groups it was not possible to derive reliable statistical parameters such as confidence intervals or mean solubility factors from this sample set. This will require a larger set of samples.

Table 10:

Pearson correlation coefficients for the relationship between different extraction methods, calculated for organic fertilizers (see Table 1)

	MinA _{EU}	AR	FA	CA	W+NAC _{FN}	NAC _{EU}	AAC	W
MinA _{EU}	1							
AR	0.984**	1						
FA	0.951**	0.952**	1					
CA	0.933**	0.900**	0.834**	1				
W+NAC _{FN}	0.945**	0.899**	0.844**	0.977**	1			
NAC _{EU}	0.897**	0.825**	0.744**	0.958**	0.983**	1		
AAC	0.755**	0.631**	0.505*	0.875**	0.866**	0.934**	1	
W	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	1
CAL	0.777**	0.584**	0.878**	0.821**	0.741**	0.692**	n.s.	0.902**

MinA_{LFA} - Mineral acid digest; MinA_{EU} - Mineral acid digest; AR - *Aqua regia*; FA - 2 % formic acid; CA - 2 % citric acid; NAC_{EU} - neutral ammonium citrate; W+NAC_{FN} - water and neutral AC; AAC - alkaline ammonium citrate; W - water; CAL - calcium acetate lactate; Significances: ** = p < 0.01, * = p < 0.05, n.s. = not significant

3.2 Modified *Neubauer* trial

3.2.1 Dry matter yield

The total yield of all three cuts including roots differed significantly between zero control and all other treatments (Table 11). In general, differences between P forms proved to be not significant. A clear differentiation between conventional and recycling fertilizers was not possible. Treatment 7 (NPK-SSA_{TC}) displayed lower yields at cut 2 and 3, which might be due to the excessive N supply forced by the particular composition of this fertilizer (unsuitable N:P-ratio)¹. In addition, supplementation of potassium by use of KCl might have weakened the plants in this treatment, since there was no buffering in the sand substrate (salt effect). Surprisingly, treatment 8 (MCP) produced lower yields than all other treatments although its P content was completely water-soluble. Treatment 10 (diammonium phosphate) showed significantly higher yields than some of the other treatments.

Table 11:

Mean dry matter yields (g DM/pot) of the different fertilizer treatments in the *Neubauer* trial, cuts 1 to 3 (shoots) + roots (dry matter yield zero P: 1.78 g/pot) (Tr. = treatment)

P level 20		P level 40		P level 60	
Tr.	DM (g/pot)	Tr.	DM (g/pot)	Tr.	DM (g/pot)
6	3.53 a	7	2.80 a	7	3.01 a
11	3.61 ab	8	2.83 a	6	3.30 ab
3	3.74 abc	9	2.93 ab	8	3.68 ab
5	3.82 abc	4	3.73 bc	9	3.72 b
9	3.98 abc	11	3.74 bc	11	3.81 b
2	3.99 abc	6	3.87 c	4	3.82 b
4	4.00 abc	1	3.91 c	5	3.82 b
7	4.06 abc	5	3.95 c	10	3.88 b
8	4.11 abc	10	4.00 c	2	3.89 b
1	4.25 bc	2	4.11 c	3	3.90 b
10	4.42 c	3	4.11 c	1	3.93 b

different letters indicate significant differences between treatments (Tukey, p < 0.05)

3.2.2 P content of plants

Increasing P levels from 20 to 60 mg per pot were displayed in an increasing P content of shoots (Table 12). This effect was not clear in treatment 3: cuts 1 to 3, treatment 4: cut 3, treatment 6: cut 1 and treatment 9: cut 2.

In the treatments supplied with recycling fertilizers (tr. 1 to 7), P contents of shoots increased consistently from cut 1 to cut 3. In comparison to this finding, the P content in the treatments fertilized with standard mineral fertilizers (fully water-soluble products as well as rock phosphate based products, tr. 8 to 11) remained constant or decreased.

¹ Treatment 7 was a multnutrient (NPK) fertilizer based on sewage sludge ash. In order to test the quality of the P component, it was decided to supply P solely from that fertilizer despite the fact that this meant an excessive N supply at the same time (P level 20: 126 mg N, P level 60: 378 mg N per pot). While plants were able to tolerate this up to the first cut, there was a clear yield depression at P levels 40 and 60 at cut 2, followed by a total collapse of the plants before cut 3.

Table 12:

Mean P content of shoots in the different P fertilizer treatments of the *Neubauer* trial

P level 20		P level 40		P level 60	
Tr.	P (mg/kg)	Tr.	P (mg/kg)	Tr.	P (mg/kg)
Cut 1 (Content of zero P treatment: 4019 mg/kg P)					
1	3182 a	1	3181 a	1	3072 a
5	3253 a	3	3603 a	3	3650 ab
2	3523 ab	2	3853 a	2	3856 ab
3	3570 ab	5	3859 a	5	4194 bc
4	4079 bc	4	4654 b	6	5010 cd
6	4649 c	6	4983 b	4	5248 d
7	6025 d	9	7916 c	11	9040 e
8	6101 d	7	8090 c	9	9432 e
11	6201 d	11	8457 cd	7	10562 fg
9	6466 d	8	8527 cd	10	10649 g
10	6475 d	10	9319 e	8	11061 g
Cut 2 (Content of zero P treatment: 5229 mg/kg P)					
1	3682 a	1	4102 a	3	4216 a
3	4340 ab	3	4190 ab	1	4410 a
2	4512 bc	2	5256 bc	6	5750 b
7	4591 bcd	6	5515 cd	2	6043 b
4	4658 bcd	4	5712 cd	4	6083 b
10	4720 bcde	5	6240 cde	5	6753 bc
5	4921 bcde	7	6632 def	9	7881 d
9	5038 bcde	11	6956 efg	11	7887 d
6	5146 cde	10	7227 efg	7	8254 de
8	5301 de	9	7678 fg	8	9105 e
11	5455 e	8	7871 g	10	9359 e
Cut 3 (no more biomass production from zero P treatment)					
1	4226	3	4408	3	4450
3	4666	1	4590	1	4691
7	4729	6	5732	6	5913
2	4858	2	6498	4	6493
10	5032	11	6617	2	7430
9	5086	4	6619	9	7442
6	5134	10	6948	11	7779
4	5291	9	7027	5	8755
8	5408	8	7294	8	8793
11	5489	5	7578	10	9311
5	6557				

different letters indicate significant differences between treatments (Tukey, $p < 0.05$) (for cut 3, no analysis of variance was possible, because due to scarce plant biomass repetitions were joined into a mixed sample for chemical analysis)

Dry matter yields of all 11 treatments decreased from cut 1 to cut 3 (Table 11). Thus, the observed differences in P content between recycling and mineral fertilizers cannot be explained by a dilution effect due to increasing biomass

production. Rather, a different quality or P availability of the fertilizer can be assumed as the main reason. The standard mineral fertilizers were instantly available and therefore taken up to a larger extent before the first cut, while P in recycling fertilizers was more slowly available, yet released and taken up continuously by the plants throughout the entire experiment of 43 days.

3.2.3 Plant P uptake

Tables 13 to 15 give an overview of the net plant P uptake (roots, shoots and total produced biomass). Net P uptake was calculated by subtracting the P uptake of the zero P treatment (representing P reserves in seeds) from that of the fertilized treatments. The P utilization rate was calculated for cut 1 and total yield (including roots).

Plants supplied with mineral P fertilizers clearly show a higher total P uptake than those which received recycling fertilizers (Table 13). Graded rates of standard mineral P fertilizers were reflected in increasing P uptake. In comparison, P was taken up at low rates from recycling fertilizers and responses to the dose were marginal at best. This indicates the limited P potential of the recycling fertilizers.

In the group of mineral fertilizers, diammonium phosphate (tr. 10) showed the highest P uptake, while in the group of recycling fertilizers, struvite (tr. 5) was the one with the highest P uptake. However, the difference between treatment 5 and treatments 4 (org NP_{SS}), 2 (org NP_{MBM}) and 6 (P-SSA_{TC}) proved to be not significant (see Table 13). Bone meal (tr. 1) and meat and bone meal ash (tr. 3) displayed the lowest P uptake of all tested products. One exception to the general difference between mineral and recycling fertilizers was NPK-SSA_{TC} (tr. 7), a highly soluble product, which contained TSP to adjust its P content. This product yielded a similar P effect as standard mineral P fertilizers at the first cut. Its unsuitable N:P ratio, however, increasingly impaired its performance with graded P levels (see footnote 1).

With reference to the total produced biomass (roots and shoots), utilization rates were extraordinarily high with up to 92 % of the P supply. This is more than 4 times higher than the average value of 20 % given in the literature (Finck, 1992). This difference can be explained by the particular set-up of the *Neubauer* test with its large number of seeds on a small amount of substrate, which is explicitly designed to achieve complete utilization of P or an estimate of the total potentially available P. The results of this experiment suggest that the potential of the tested fertilizers should preferably be evaluated and compared based on the results for P level 20 as high utilization rates were already realized at that level.

Looking individually at the different cuts (Table 14), the first harvest reflected differences between treatments in

Table 13:

Mean net P uptake and utilization rate (UR, in % of P supply) of total dry matter yield (cut 1 to 3 including roots) in the different P fertilizer treatments (Tr. = treatment)

P level 20			P level 40			P level 60		
Tr.	P uptake (mg)	UR (%)	Tr.	P uptake (mg)	UR (%)	Tr.	P uptake (mg)	UR (%)
1	7.9 a	40						
3	8.1 a	40	1	8.0 a	20	1	8.3 a	14
2	9.4 a	47	3	9.4 ab	23	3	9.1 ab	15
6	9.5 ab	47	6	11.5 ab	29	6	10.9 abc	18
5	10.0 ab	50	4	11.8 ab	30	2	12.5 abc	21
4	10.3 ab	51	2	12.1 b	30	4	13.9 bc	23
11	13.0 bc	65	5	12.7 b	32	5	15.1 c	25
7	14.9 cd	74	9	17.8 c	44	11	24.0 d	40
9	15.7 cd	78	8	18.4 c	46	9	24.7 d	41
8	16.0 cd	80	11	21.5 cd	54	8	25.5 d	42
10	18.3 d	92	10	24.2 d	61	10	29.3 d	49

different letters indicate significant differences between treatments (Tukey, $p < 0.05$)

the same way as the sum of all cuts. This mirrors the advantage of the water-soluble P fertilizers during the initial growth stage. In cut 1, the plants fertilized with NPK-SSA_{TC} (tr. 7) were still performing extraordinarily well. This was the only recycling fertilizer reaching the same level of P uptake as the mineral fertilizers. Following treatment 7, the second highest P uptake of recycling fertilizers was observed for P-SSA_{TC} (tr. 6) and org NP_{SS} (tr. 4), respectively. Bone meal (tr. 1) displayed the lowest P uptake. With 15 to 52 % at P level 20 and 5 to 23 % of P supply at P level 60, P utilization rates at cut 1 were rather high.

At the second harvest (cut 2, after 29 days) differences between standard mineral and recycling fertilizers were considerably smaller. The reason might be that by then, the non-water soluble portion of the recycling fertilizers had become available. Apparently, the initial advantage of the water-soluble P was over time compensated at least partially by non water-soluble P forms (particularly those soluble in neutral ammonium citrate). However, P uptake in the recycling fertilizer treatments was still below that in the standard mineral fertilizers treatments, though these differences were not significant in all cases (Table 14). This time, the recycling fertilizer with the highest P uptake was struvite (tr. 5), followed by meat and bone meal (tr. 2). In treatment 7 (NPK-SSA_{TC}), P uptake at P level 40 and 60 was clearly reduced due to the yield depression, which, as discussed above, had been caused presumably by the unsuitable N:P ratio resulting in an excessive N supply.

At the third harvest, the difference in P uptake² between standard mineral and recycling fertilizers was in most cases no longer significant, or not observed at all. Obviously, the initial advantage of the mineral fertilizers by their water-soluble P was almost leveled out by the slowly available P portion of the recycling fertilizers by then (Table 14). However, compared to cut 1 with P uptakes up to 15 mg per pot, P uptake at cut 3 was comparably low in all treatments. This indicates that plant available P reserves were more or less used up at that time. This assumption was strengthened by the observation of signs of root decay (brown color) of different extent from pot to pot, and by a massively reduced biomass production compared to cut 1. The P content in the substrate determined by CAL-P, however, delivered no additional evidence (see Figure 2).

Recycling treatment 7 did not produce any biomass after cut 2. The best recycling treatment was again struvite (tr. 5) followed by org NP_{MBM} (tr. 2). Bone meal (tr. 1), meat and bone meal ash (tr. 3) and P-SSA_{TC} (tr. 6) all displayed a very low P uptake.

Like changes in root morphology, P uptake of roots varied considerably between the different fertilizer treatments (Table 15). There existed a clear difference between standard mineral and recycling fertilizers with regard to P uptake in relationship to the P level: Except for treatment 7 (NPK-SSA_{TC}), only the standard mineral fertilizers showed an increase in P uptake with increasing P level.

² Since the zero P treatment did not produce any more biomass after cut 2, net P uptake of shoots at cut 3 is identical with gross P uptake.

Table 14:

Mean net P uptake and utilization rate (UR, in % of P supply, only for cut 1) of dry matter yield in the different P fertilizer treatments for the individual cuts

P level 20			P level 40			P level 60		
Tr.	P uptake (mg)	UR (%)	Tr.	P uptake (mg)	UR (%)	Tr.	P uptake (mg)	UR (%)
Cut 1								
1	2.92 a	15	1	2.82 a	7	1	2.95 a	5
5	2.95 a	15	3	3.99 a	10	3	3.81 a	6
3	3.63 a	18	5	4.07 a	10	2	4.87 a	8
2	3.64 a	18	2	4.58 a	11	5	5.1 a	8
4	4.37 a	22	4	4.83 a	12	6	5.3 a	9
6	5.00 ab	25	6	5.3 a	13	4	6.4 a	11
11	7.2 bc	36	9	10.1 b	25	9	12.3 b	21
8	8.2 cd	41	7	10.7 b	27	11	12.3 b	21
9	8.7 cd	43	8	10.9 b	27	8	13.0 b	22
7	8.7 cd	44	11	11.9 bc	30	7	13.1 b	22
10	10.4 d	52	10	14.2 c	36	10	14.1 b	23
Cut 2								
3	1.59 a		7	1.01 a		7	1.22 a	
6	1.60 a		1	1.92 ab		3	1.86 ab	
1	1.67 ab		3	1.95 ab		1	1.94 ab	
4	1.88 ab		6	1.96 ab		6	2.17 abc	
7	2.02 abc		4	2.05 b		4	2.49 abcd	
2	2.09 abc		2	2.63 bc		2	2.67 bcde	
9	2.12 abc		5	2.83 bcd		5	3.50 cde	
11	2.14 abc		8	3.32 cd		9	3.65 def	
5	2.23 abc		9	3.46 cd		11	3.87 def	
8	2.49 bc		10	3.58 cd		8	3.97 ef	
10	2.77 c		11	3.74 d		10	4.94 f	
Cut 3								
6	1.98 a		7	0		7	0	
3	2.11 a		6	2.44 a		3	2.37 a	
1	2.36 ab		3	2.48 ab		1	2.46 a	
7	2.49 ab		1	2.57 ab		6	2.63 a	
9	2.53 ab		4	2.81 ab		4	3.07 a	
11	2.54 ab		12	3.37 ab		9	3.80 ab	
4	2.57 ab		8	3.43 ab		2	3.81 ab	
2	2.68 ab		9	3.51 ab		12	4.02 ab	
12	2.76 ab		2	3.74 ab		11	4.22 ab	
8	2.95 ab		10	3.82 ab		8	4.25 ab	
10	3.38 b		5	3.94 ab		5	5.1 b	
5	3.48 b		11	3.97 b		10	5.3 b	

different letters indicate significant differences between treatments (Tukey, $p < 0.05$)

Since the test substrate did not contain any P, P-CAL contents at the end of the experiment should give an indication if and to which extent the plant available amounts

of P supplied by fertilization were in fact exhausted by the plants (see above). The net P-CAL content was calculated by subtracting the P-CAL content of the zero P treatment.

Figure 3 demonstrates that P was more or less completely taken up by plants only at P level 20. A direct comparison shows that, as expected, standard mineral fertilizers delivered higher amounts of CAL-soluble P than recycling fertilizers. The only exception was NPK-SSA_{TC} (tr. 7), which showed very high CAL contents. As explained above, this sewage sludge ash based fertilizer was enriched with triple super phosphate to maintain a predefined P content, in addition the product contained KCl, which explains its higher solubility. The withering of the plants after cut 1 in this treatment caused the high excess substrate-P at the end of the trial. Apart from this treatment, the highest amount of plant-available P among the recycling fertilizers was supplied by Org NP_{MBM}, Org NP_{SS} and struvite, while the lowest amounts of plant-available P came from P-SSA_{TC}, MBMA and org NP_{BM}.

Table 15:

Mean net P uptake of roots in the different fertilizer treatments

P level 20		P level 40		P level 60	
Tr.	P uptake (mg)	Tr.	P uptake (mg)	Tr.	P uptake (mg)
3	0.72 a	8	0.21 a	6	0.83 a
6	0.89 a	1	0.67 ab	1	0.90 a
2	0.94 a	9	0.70 ab	3	1.08 a
1	0.99 a	3	0.97 abc	2	1.11 a
11	1.19 ab	2	1.19 abc	5	1.48 a
5	1.38 ab	7	1.45 abcd	4	2.03 a
4	1.44 ab	6	1.78 bcd	11	3.55 b
7	1.67 ab	5	1.82 bcd	7	3.81 b
10	1.73 ab	11	1.97 bcd	8	4.23 b
9	2.35 b	4	2.11 cd	10	4.94 b
8	2.37 b	10	2.60 d	9	4.98 b

different letters indicate significant differences between treatments (Tukey, $p < 0.05$)

3.2.4 Relationship between chemical solubility and P uptake in the Neubauer trial

The highest P uptakes were realized by those recycling fertilizers which displayed the highest solubility in neutral ammonium citrate (and citric acid). A correlation analysis was performed to investigate the statistical relationship

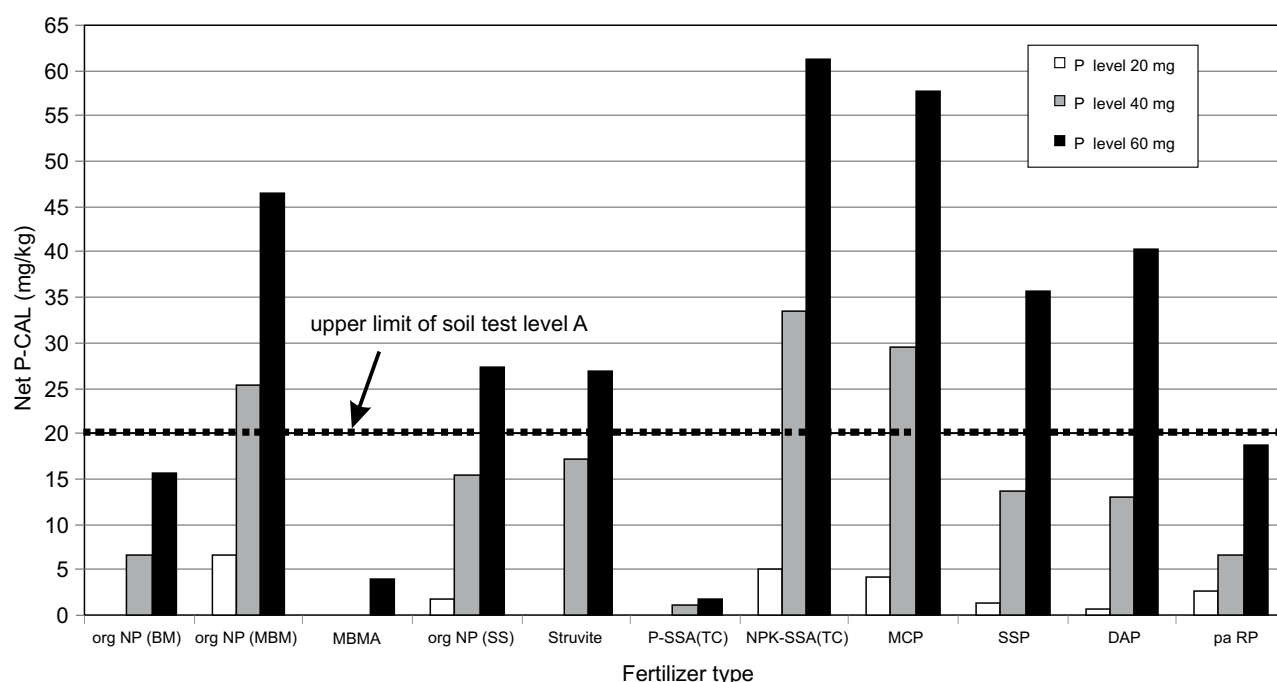


Figure 3:

Plant-available net P content (P-CAL) in the substrate of different fertilizer treatments after the final harvest (soil test level A = low; fertilizer description see Table 3)

between chemical solubility of the fertilizers and P uptake in the *Neubauer* trial. Table 16 shows that – looking at the mean of all 11 tested treatments – the strongest correlation was found between water-soluble P and P uptake. Also, a strong correlation was found between P solubility in alkaline ammonium citrate (AAC) and P uptake, followed by solubility in water+neutral ammonium citrate (W+NAC). This was true for total P uptake (all cuts) and P uptake at cut 1. In contrast to this, at cut 2 the strongest correlation with P uptake was found for P solubility in mineral acid, followed by water and ammonium citrate, while at cut 3, extraction with NAC_{EU} showed the best correlation, followed by the stronger extractants formic (FA) and citric acid (CA). This result mirrors the stronger initial effect of water-soluble fertilizers and the slow release of non-water soluble P forms.

Looking separately at standard mineral or recycling fertilizers, the extracts with ammonium citrate correlated best with P uptake in the case of mineral fertilizers. Significant correlations were found, however, they were only weak (Table 17).

For the recycling fertilizers, the strongest correlations with net P uptake (shoots and roots) were observed for extractions with citric acid (CA), followed by neutral ammonium citrate (NAC_{EU} or W+NAC_{FN}). However, there were also clear differences between the first and the final yield: While the positive initial effect of water-soluble fertilizers was seen at cut 1, at cut 3 there were stronger relationships between P uptake and the more powerful extractants citric acid (CA), NAC_{EU} and formic acid (FA) (Table 18), confirming again that the prompt advantage of water-soluble P forms can be at least partly compensated by slowly available P forms with time.

Table 16:

Pearson correlation coefficients (r) for the relationship between absolute (MinA) / relative P solubility in different chemical extracts and P uptake in the pot trial, calculated for all 11 test fertilizers in common

	Shoots cut 1	Shoots cut 2	Shoots cut 3	Roots	Shoots cut 1 to 3 + roots
n	142	139	134	141	133
MinA-P (%)	0.494**	0.565**	0.368**	0.292**	0.619**
FA (% MinA)	0.541**	0.435**	0.472**	0.362**	0.552**
CA (% MinA)	0.489**	0.352**	0.458**	0.392**	0.503**
NAC _{EU} (% MinA)	0.590**	0.453**	0.488**	0.473**	0.615**
W+NAC _{FN} (% MinA)	0.704**	0.450**	0.402**	0.501**	0.684**
AAC (% MinA)	0.773**	0.451**	0.285**	0.531**	0.724**
W (% MinA)	0.849**	0.469**	0.310**	0.520**	0.777**

Significances: ** = p < 0.01, * = p < 0.05

Table 17:

Pearson correlation coefficients (r) for the relationship between absolute (MinA) / relative P solubility in different chemical extracts and P uptake in the pot trial, calculated for mineral fertilizers (Types 9 to 11)

	Shoots cut 1	Shoots cut 2	Shoots cut 3	Roots	Shoots cut 1 to 3 + roots
n	48	48	48	48	48
MinA-P (%)	0.289*	0.193	0.257	0.025	0.239
FA (% MinA)	0.228	0.197	0.215	0.195	0.250
CA (% MinA)	0.180	0.217	0.239	0.181	0.230
NAC _{EU} (% MinA)	0.293*	0.218	0.243	0.202	0.295*
W+NAC _{FN} (% MinA)	0.295*	0.221	0.248	0.202	0.297*
AAC (% MinA)	0.278	0.247	0.281	0.195	0.297*
W (% MinA)	0.227	0.186	0.201	0.196	0.245

Significances: ** = p < 0.01, * = p < 0.05

Table 18:

Pearson correlation coefficients (r) for the relationship between absolute (MinA) / relative P solubility in different chemical extracts and P uptake in the pot trial, calculated for recycling fertilizers (Types 1 to 7)

	Shoots cut 1	Shoots cut 2	Shoots cut 3	Roots	Shoots cut 1 to 3 + roots
n	84	81	76	84	76
MinA-P (%)	-0.550**	0.303**	0.222	-0.365**	-0.150
FA (% MinA)	0.414**	0.241*	0.469**	0.249*	0.395**
CA (% MinA)	0.590**	0.277*	0.488**	0.530**	0.722**
NAC _{EU} (% MinA)	0.479**	0.271*	0.480**	0.540**	0.625**
W+NAC _{FN} (% MinA)	0.588**	0.086	0.283*	0.518**	0.550**
AAC (% MinA)	0.611**	-0.170	-0.060	0.516**	0.385**
W (% MinA)	0.865**	-0.323**	-0.093	0.461**	0.387**

Significances: ** = $p < 0.01$, * = $p < 0.05$

4 Conclusions

It can be concluded from the close correlations between various chemical extraction methods found for mineral as well as organic fertilizers that it is easily possible to reduce the number of standard methods to three or four. This will be much more difficult for products from sewage sludge ash. However, with regard to the heterogeneity of these materials it is questionable whether their quality can as yet be defined with sufficient accuracy to make them a tradable fertilizer, i.e. more development and research on the production engineering side (stability and ability to control the thermochemical process) is necessary. This should include the question to which extent new constituents unpredictably developing during the thermochemical process impair the determination of P solubility with conventional chemical extraction methods.

The statistical calculations on correlations between chemical solubility and agricultural performance in the *Neubauer* pot trial confirmed a relationship between water solubility of a fertilizer and its initial effect, while the mid-term effect of non-water soluble fertilizers was best described by an extraction with ammonium citrate. Since it is easier to handle in the laboratory, the EU method of neutral ammonium citrate extraction without a preceding water extraction is recommended. In order to estimate the tradable total P content of a fertilizer, it is suggested to maintain the mineral acid extraction already practiced on EU level. However, since this method shows close correlation with the *aqua regia* extraction, it is also possible to choose the latter one for so-called total P. An advantage of the *aqua regia* extract is the fact that this is at the same time the standard method to quantify total heavy metal contents in fertilizers and soils.

References

- Bundesgütegemeinschaft Kompost (1998) Methodenbuch zur Analyse von Kompost. Stuttgart : Verl Abfall Now, 154 p
- DIN EN 13346:2001-4 Charakterisierung von Schlämmen – Bestimmung von Spurenelementen und Phosphor - Extraktionsverfahren mit Königswasser. Berlin : Beuth
- Finck A (1992) Dünger und Düngung : Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen. Weinheim : VCH, 488 p
- Schnug E, Haneklaus S, Vogel W (1994) Determination of environmental elements in contaminated soil by aqua regia extraction and X-ray fluorescence spectroscopy (X-RF). In: Etchevers BJD (ed) 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico, July 10-16, 1994 : transactions ; vol. 3a, Commission II: symposia. Mexico : Intern Soc Soil Science, pp 509-516
- Murphy J, Riley JP (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal Chim Acta 27:31-36
- Neubauer H, Schneider W (1923) Die Nährstoffaufnahme der Keimpflanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung des Nährstoffgehalts der Böden. Z Pflanzenern Düngung A Wiss Teil 2:329-362
- Neubauer H (1931) Die Keimpflanzenmethode nach Neubauer und Schneider. In: Honcamp F (ed) Düngemittel und Düngung. Berlin : Springer, pp 882-902, Handbuch der Pflanzenernährung und Düngerlehre 2
- Schüller H (1969) Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphats im Boden. Z Pflanzenern Bodenkd 123:48-63
- Strauß R, Bleiholder H, Bomm T van den, Buhr L, Hack H, Heß M, Klose R, Meier U, Weber E (1994) Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen : erweiterte BBCH-Skala: Allgemein, Kulturen. Basel : Ciba-Geigy
- VDLUFA (2007) Die Untersuchung von Düngemitteln. Darmstadt : VDLUFA-Verl, VDLUFA-Methodenbuch Band II

Legal norms

- Düngemittelverordnung (DüMV) vom 16.12.2008, BGBl I(60):2524-2581, geändert am 03.11.2004, Bundesgesetzblatt : Teil 1 / Bundesminister der Justiz I:2767
- Düngeverordnung (DüV) – Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen und Kultursubstraten nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 27.02.2007, Bundesgesetzblatt : Teil 1 / Bundesminister der Justiz, p 221
- EU-Verordnung über Düngemittel VO (EG) 2003/2003 v. 13.10.2003, EU-Amtsblatt L 304, mit Änderungsverordnungen VO (EG) Nr. 2076/2004, EU-Amtsblatt L 359, S. 25ff. und VO (EG) Nr. 162/2007, Amtsblatt der Europäischen Union 2007/L 51:7

Derivation of TAN related ammonia emission factors in pig production

Ulrich Dämmgen*, Hans-Dieter Haenel**, Claus Rösemann**, Brigitte Eurich-Menden*** and Helmut Döhler***

Abstract

Hitherto, the emission factors for ammonia in pig production used in the German agricultural emission inventory were based on expert judgement. They were derived from absolute amounts of ammonia emitted, later related to absolute nitrogen excretion rates. However, the N flow model used in emission calculations presupposes proportional emission factors related to the amount of ammonium nitrogen (TAN) available.

Recently, the original performance and feeding data upon which these data were based was communicated. Hence, a recalculation of TAN related emission factors became possible. This turned out to work without problems for animal housing systems. The results were approved of by the working group responsible. For emissions from storage, the results were contradictory. Therefore a consistent set of emission factors had to be derived for all storage systems frequently used in Germany.

It became obvious that the data quality definitely needs to be improved. The necessity to measure emissions adequately is addressed.

Keywords: Emission, emission factor, ammonia, pigs

Zusammenfassung

Ableitung von TAN-bezogenen Emissionsfaktoren für Ammoniak im Stofffluss-Modell zur Abbildung der Schweineproduktion

Die Emissionsfaktoren für Ammoniak aus der Schweinehaltung für das deutsche landwirtschaftliche Emissionsinventar basierten bisher auf Expertenschätzungen von absoluten Emissionen und von dazugehörigen Stickstoff-Ausscheidungen. Das Stoffflussmodell zur Berechnung von Emissionen benötigt relative Emissionsfaktoren, die auf vorhandenen Ammonium-Stickstoff (TAN) bezogen sind.

Die nunmehr mögliche Einsicht in die verwendeten Hintergrunddaten zur Ermittlung der Stickstoff-Ausscheidungen (Leistung und Fütterung) ermöglichte eine Neuberechnung solcher TAN-bezogenen relativen Emissionsfaktoren. Für die Emissionsfaktoren für Ställe war dies unproblematisch; die Ergebnisse wurden vom zuständigen Gremium gebilligt. Dagegen erwiesen sich die für das Lager ergebenden Faktoren als widersprüchlich. Sie wurden durch einen in sich konsistenten Satz von Emissionsfaktoren für alle in Deutschland üblichen Lagerverfahren ersetzt.

Auf die Notwendigkeit geeigneter Messungen zur Verbesserung der Qualität der Emissionsfaktoren wird hingewiesen.

Schlüsselwörter: Emission, Emissionsfaktor, Ammoniak, Schweine

* University of Veterinary Medicine Hannover, Institute for Animal Breeding and Genetics, Buenteweg 17p, 30559 Hannover, Germany

** Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institute for Agricultural Climate Research, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Germany

*** Association for Technology and Structures in Agriculture (KTBL e.V.), Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt, Germany

Correspondence should be sent to: dieter.haenel@vti.bund.de

1 Introduction

The German agricultural emission inventory describes emissions of nitrogen (N) species in animal husbandry with a mass flow approach (Dämmgen and Hutchings, 2008; Haenel et al., 2010a). The emission factors used for ammonia are related to the total ammoniacal nitrogen (TAN) available at the site from which emissions occur. However, the basic review of experimental data as documented in Döhler et al. (2002) produced absolute emission factors for standard sows and standard fattening pigs without a relation to the amount of N excreted.

Data had to be transformed into relative and TAN based emission factors to serve the needs of the mass flow approach.

This paper relates N and TAN excretion rates to the properties of standard sows and pigs as provided by LWK-WE (1997) in their standard values for fertilizer application ("Düngemittelverordnung"). In a second step, the absolute emission factors given in Döhler et al. (2002) are transformed into TAN related emission factors.

2 Assessment of N excretion rates for standard animals – applicability of the mass flow modules

2.1 Materials and methods

2.1.1 The basic data set

Döhler et al. (2002) agreed on absolute ammonia (NH_3) emission factors for fattening pigs for all relevant housing systems. This data set refers to pigs excreting $13 \text{ kg place}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$.

Due to insufficient experimental data, just one emission factor was proposed for sows in any housing system. No N excretion rate was mentioned in Döhler et al. (2002).

Weaners were not dealt with at all.

Emissions from storage were described using emission factors related to total N (N_{tot}) available at the respective site as shown in Table 3 (central column).

When a first attempt was made to relate emission factors to variable excretion rates, i.e. the amounts of N or TAN available, the standard N excretion rates as published in LWK-WE (1997) were used in combination with feed digestibilities estimated by expert judgement.

2.1.2 The data set used for the assessment of standard values for fertilizer application

In 2009, the background information for animal excretion rates in LWK-WE (1997) were communicated by their authors (BLAG, 1996). This allowed for a recalculation of the N and TAN excretion rates as well as emission factors for sows and fattening pigs in a consistent way.

LWK-WE (1997) describes "standard excretion rates" to be used for the assessment of fertilizer amounts. Hence, the absolute emission factors related to them (Döhler et al., 2002) should provide an instrument to derive relative emission factors representative for the German situation.

2.2 General approach

The basic assumption is that emission factors relative to TAN are more appropriate to describe emissions than absolute values, as the emissions of NH_3 are considered to be proportional to the TAN pool available. This approach is recommended in both guidance documents for the assessment of agricultural emission inventories (IPCC, 2006; EMEP/EEA, 2009).

TAN is excreted almost entirely with urine. Hence it can be derived from the amount and composition of the respective animal feed once the digestibility of N in feed and the amount of N retained are known (for details see Chapter 3).

The German agricultural emission model GAS-EM (see Haenel et al., 2010a) calculates energy and feed requirements as a function of animal performance and feed properties. In a first step, these requirements are quantified and compared to those provided by BLAG (1996).

The GAS-EM modules used are PSO for sows, PWE for weaners and PFP for fattening pigs. These modules are based on data and functions provided by Flachowsky et al. (2006) and are described in detail in Haenel et al. (2010a).

2.3 Standard sow

2.3.1 Information provided by BLAG (1996)

The BLAG (1996) standard sow raises 18 piglets a^{-1} with a final weight of $25 \text{ kg animal}^{-1}$. A weight gain of the sow of $40 \text{ kg animal}^{-1} \text{ a}^{-1}$ is taken into account. No mean weight is provided.

The diet for the sow has a mean ME content of 13 MJ kg^{-1} . For the sucking pigs and the weaners 14 MJ kg^{-1} are given. Crude protein (XP) contents of 185 g kg^{-1} , 220 g kg^{-1} and 200 g kg^{-1} are given for the sows, sucking pigs and weaners, respectively.

The amount of feed required for the sow is $1.05 \text{ Mg place}^{-1} \text{ a}^{-1}$, for the sucking pigs 0.05 and for the weaners $0.54 \text{ Mg place}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

2.3.2 ME requirements of a standard sow with piglets of 8.5 kg final weight and weaners of 25 kg as calculated with the GAS-EM module PSO

Due to lack of adequate data, PSO does not include energy requirements for mean weight gains of the sow. It

relates energy requirements to the number of piglets only and considers sucking pigs to a weight of 8.5 kg animal⁻¹. Hence, the comparison with BLAG (1996) data has to consider weaners separately.

For a sow raising 18 piglets per year, ME requirements of approx. 14400 MJ place⁻¹ a⁻¹ are calculated in PSO.

PWE assumes a time span of 32 days between weaning and the begin of fattening (lifespan), which results in a mean weight gain of 415 g animal⁻¹ d⁻¹. This is good practice according to Eurich-Menden and Schrader (2006a), pg. 538. These weaners have ME requirements of about 400 MJ animal⁻¹ each, adding up to 7200 MJ per sow and year.

The total ME requirements for the standard sow including her litters is about 21600 MJ place⁻¹ a⁻¹. The corresponding ME requirements used for the LWK-WE standard sow are 20400 MJ place⁻¹ a⁻¹.

This agreement is taken to be satisfactory, and we assume that PSO can be used to calculate the feed requirements of a standard sow and her litters adequately.

2.3.3 Feed intake and nitrogen excretion

According to PSO, a total amount of 1.20 Mg place⁻¹ a⁻¹ feed has to be provided, if one uses the ME contents listed in the assumptions used for LWK-WE (1997). BLAG (1996) report 1.10 Mg place⁻¹ a⁻¹ for the sow alone.

With the XP contents provided by BLAG (1996), PSO calculates an N excretion of 23 kg place⁻¹ a⁻¹ N for a sow and 18 piglets with a final weight of 8.5 kg animal⁻¹. BLAG (1996) give a range from 21 to 27 kg place⁻¹ a⁻¹ N for a sow and 18 piglets of 8.0 kg animal⁻¹.

Hence we assume that PSO can also be used to provide information on N dynamics.

2.4 Standard fattening pig

2.4.1 Information provided by BLAG (1996)

BLAG (1996) describe a standard fattening pig with a weight gain of 85 kg animal⁻¹ and an assumed N excretion rate of 13 kg place⁻¹ a⁻¹ (Döhler et al., 2002, pg. 47).

The BLAG (1996) background information on feed provides a ME content of the feed of 13 MJ kg⁻¹ and an XP content of 185 g kg⁻¹ XP, equivalent to 0.0296 kg kg⁻¹ N.

2.4.2 Daily weight gain

The BLAG (1996) data set can be supplemented by deducing the daily weight gain from the weight gain per place and year (200 kg place⁻¹ a⁻¹) and the weights at the beginning and the end of the fattening period (25 and 110 kg animal⁻¹), i.e. the number of animal rounds and the service times:

$$n_{\text{round}} = \frac{\Delta m_{\text{pl, a}}}{w_{\text{fin}} - w_{\text{start}}} \quad (1)$$

where

n_{round} number of animal rounds per year (in round a⁻¹)
 $\Delta m_{\text{pl, a}}$ annual weight gain per place (in kg place⁻¹)
 ($\Delta m_{\text{pl, a}} = 200 \text{ kg place}^{-1} \text{ a}^{-1}$)
 w_{fin} final animal weight ($w_{\text{fin}} = 110 \text{ kg animal}^{-1}$)
 w_{start} animal weight at the beginning of the fattening period ($w_{\text{start}} = 25 \text{ kg animal}^{-1}$)

The number of animal rounds is 2.35 round a⁻¹, the respective duration of a round is 155 d round⁻¹. With a service time of 5 d round⁻¹ (Eurich-Menden and Schrader, 2006a, pg. 502), the animal lifespan can be deduced:

$$\tau_{\text{lifespan}} = \tau_{\text{round}} - \tau_{\text{service}} \quad (2)$$

where

τ_{lifespan} animal lifespan (in d round⁻¹)
 τ_{round} duration of animal round ($\tau_{\text{round}} = 155 \text{ d round}^{-1}$)
 τ_{service} service time ($\tau_{\text{service}} = 5 \text{ d round}^{-1}$)

Hence, calculations are to be based on a mean daily weight gain of 567 g animal⁻¹ d⁻¹. The metabolizable energy required is given by BLAG (1996) as 3400 MJ animal⁻¹, which agrees satisfactorily with the value calculated in PFP (3440 MJ animal⁻¹).

3 Assessment of N and TAN excretion rates for standard animals

The calculation of emission factors relative to TAN presupposes the assessment of the amount of N excreted and the TAN content of excreta. The latter can be obtained from the N intake and the digestibility of N in feed using the nitrogen balance:

$$m_{\text{excr}} = m_{\text{feed}} - m_{\text{g}} - m_{\text{p}} \quad (3)$$

where

m_{excr} amount of nitrogen in excreta (in kg place⁻¹ a⁻¹ N)
 m_{feed} amount of nitrogen in feed (in kg place⁻¹ a⁻¹ N)
 m_{g} amount of nitrogen retained in the animal (in kg place⁻¹ a⁻¹ N)
 m_{p} amount of nitrogen in offspring produced (in kg place⁻¹ a⁻¹ N)

and

$$\begin{aligned}
 x_{\text{TAN}} &= \frac{m_{\text{excr}} - m_{\text{faeces}}}{m_{\text{excr}}} \\
 &= \frac{m_{\text{excr}} - (m_{\text{feed}} - m_{\text{feed, digest}})}{m_{\text{excr}}} \\
 &= \frac{m_{\text{excr}} - m_{\text{feed}} \cdot (1 - x_{\text{digest, N}})}{m_{\text{excr}}}
 \end{aligned} \quad (4)$$

where

x_{TAN}	TAN content in excreta (in kg kg ⁻¹)
m_{excr}	overall N excretion (in kg place ⁻¹ a ⁻¹ N)
m_{faeces}	N excreted with faeces (in kg place ⁻¹ a ⁻¹ N)
m_{feed}	N taken in with feed (in kg place ⁻¹ a ⁻¹ N)
$m_{\text{feed, digest}}$	digestible N taken in with feed (in kg place ⁻¹ a ⁻¹ N)
$x_{\text{digest, N}}$	digestibility of XP and hence N in feed (in kg kg ⁻¹ N)

Undigested N is considered equal to the N excreted with faeces.

3.1 Standard sow

With the data provided by BLAG (1996) and an assumed feed composition with an ME content of 13 MJ kg⁻¹ and a digestibility of 0.80 kg kg⁻¹ N (for details see Haenel et al., 2010a, Table 5.12 “sows A”), PSO calculates a N excretion rate of 23 kg place⁻¹ a⁻¹ N. BLAG (1996) give rates from 21 to 27 kg place⁻¹ a⁻¹ N for different feeds. The amount of TAN is 17.7 kg place⁻¹ a⁻¹ N, the TAN content of excreta for a sow with piglets is 0.77 kg kg⁻¹ N.

3.2 Standard fattening pig

In addition to the data given by BLAG (1996), it is further assumed that the share of digestible XP is 0.83 kg kg⁻¹ N (see Haenel et al., 2010a, Table 5.30 “fatteners B”). This can be used to calculate the amount of N excreted with faeces and subsequently the TAN content of excreta (see equation (4)).

The calculated amount of TAN excreted m_{TAN} is 10.1 kg place⁻¹ a⁻¹ N, the TAN content of excreta x_{TAN} then is 0.76 kg kg⁻¹.

This value is high compared to other European TAN contents discussed within the EAGER group^A, (ranging from 0.63 to 0.75) but almost identical with the Swiss value of 0.75 that is obtained in a similar manner (Reidy et al., 2008).

^A EAGER - European Agricultural Gaseous Emissions Inventory Researchers Network. <http://www.eager.ch/index.htm>

4 Conversion of absolute emission factors for housing to emission factors relative to TAN available

4.1 Calculation procedure

The emission factor relative to TAN can be obtained from absolute emissions for a housing type *i* as follows:

$$EF_{\text{house, TAN, } i} = \frac{E_{\text{NH}_3\text{-N, } i}}{m_{\text{excr}} \cdot x_{\text{TAN}}} \quad (5)$$

where

$EF_{\text{house, TAN, } i}$	ammonia emission factor relative to TAN for the animal house (in kg kg ⁻¹ N)
$E_{\text{NH}_3\text{-N, } i}$	absolute emission rate of ammonia N for housing type <i>i</i> (in kg place ⁻¹ a ⁻¹ N)
m_{excr}	amount of N excreted in the house (in kg place ⁻¹ a ⁻¹ N)
x_{TAN}	TAN content of excreta (in kg kg ⁻¹ N)

4.2 Standard sow

Due to lack of experimental data, Döhler et al. (2002), pg. 56, list just one absolute emission factor for all housing systems. This is applied to both slurry and FYM based systems. The data and the results are compiled in Table 1.

Table 1:

Derivation of relative emission factors for housing of a standard sow

		kg place ⁻¹ a ⁻¹ N	
TAN input into house		17.7	
		absolute emission rates	relative emission factor
		$E_{\text{NH}_3\text{-N, } i}$	$EF_{\text{house, TAN, } i}$
German housing type		kg place ⁻¹ a ⁻¹ N	kg kg ⁻¹ N
alle Typen, flüssig	all types, slurry	6	0.34
alle Typen, fest	all types, FYM	6	0.34

4.3 Standard fattening pig

Döhler et al. (2002), pg 55, provide estimated absolute emission factors for six common housing types. Reflecting current German practice, this list was completed with one more type (litter based, FYM, closed insulated housing). The emissions from the FYM system are considered to be equivalent to both deep litter systems (4 kg place⁻¹ a⁻¹ N).

The resulting data set and the relative emission factors are shown in Table 2.

The value for slurry based houses with fully and partly slatted floors agrees well with the assumption made by EAGER of 0.312 kg kg⁻¹ N (Reidy et al., 2008).

Table 2:

Derivation of relative emission factors for housing of fattening pigs (nBR refers to the description and evaluation for animal housing systems in Germany [Nationaler Bewertungsrahmen Tierhaltungsverfahren], Eurich-Menden and Schrader, 2006b)

TAN input into house		10.1	
German housing type		absolute emission rates	relative emission factor
		kg place ⁻¹ a ⁻¹ N	kg kg ⁻¹ N
		$E_{\text{NH}_3\text{-N}, i}$	$EF_{\text{house, TAN}, i}$
wärme gedämmter Stall, Vollspaltenboden, einstreulos, nBR: MS 0002	fully slatted floor, slurry, closed insulated housing, nBR: MS 0002	3	0.3
wärme gedämmter Stall, Teilspaltenboden, einstreulos, nBR: MS 0003	partially slatted floor, slurry, closed insulated housing, nBR: MS 0003	3	0.3
wärme gedämmter Stall, Zweiflächenbucht eingestreut, plan befestigt, nBR: MS 0007 (hier ohne Auslauf)	litter based, FYM, closed insulated housing, nBR: MS 0007 (yet without exercise yard)	4	0.4
wärme gedämmter Stall Tiefstreu, nicht im nBR	deep litter, FYM, closed insulated housing, not listed in nBR	4	0.4
Außenklimastall, getrennte Klimabereiche, einstreulos, nBR: MS 0004	kennel housing, slurry based, free ventilated housing, nBR: MS 0004	2	0.2
Außenklimastall, getrennte Klimabereiche, eingestreut, nicht im nBR	kennel housing FYM, free ventilated housing, not listed in nBR	2	0.2
Außenklima, Tiefstrestall, nBR: MS 0006	deep litter, FYM, free ventilated housing, nBR: MS 0006	3.5 ¹⁾	0.35

¹⁾ Original information provided in Döhler et al. (2002), pg. 55, was 4 kg place⁻¹ a⁻¹ with the tendency to 3 kg place⁻¹ a⁻¹. KTBL working group „Emission factors for animal husbandry“ agreed to use the arithmetic mean.

No direct comparison was possible with the additional experimental data compiled in Eurich-Menden et al. (2005). Only one team (Kaiser and Van den Weghe, 1999) reported emission rates combined with N excretion rates for a ventilated house and a daily weight gain of about 840 g animal⁻¹ d⁻¹, i.e. well above the standard pig. The mean emission factor here is in the order of 0.05 kg kg⁻¹ N (related to TAN). It differs considerably. Webb et al. (2010) propose to use an emission rate of about 2.6 kg place⁻¹ a⁻¹ N, indicating that the experimental basis of this estimate is poor.

5 Conversion of absolute emission factors for storage to emission factors relative to TAN available

5.1 Rationale

Döhler et al. (2002), pg. 62, provide NH₃ emission factors for storage related to the amount of N available before storage for each common storage type and assumed to be **valid for all pig subcategories**. These can be converted to emission factors based on amounts of TAN available using equation (6):

$$EF_{\text{NH}_3\text{-N, storage, TAN}} = \frac{m_{\text{house, N}} \cdot EF_{\text{NH}_3\text{-N, storage, N}}}{m_{\text{house, TAN}}} \quad (6)$$

where

$EF_{\text{NH}_3\text{-N, storage, TAN}}$ ammonia emission factor **relative to TAN** for storage (in kg kg⁻¹ N)
 $m_{\text{house, N}}$ amount of N transferred from the house to storage (in kg place⁻¹ a⁻¹ N)
 $EF_{\text{NH}_3\text{-N, storage, N}}$ ammonia emission factor **relative to N** for storage (in kg kg⁻¹ N)
 $m_{\text{house, TAN}}$ amount of TAN released from the house (in kg place⁻¹ a⁻¹ N)

In principle, the amounts of $m_{\text{N, house}}$ and $m_{\text{TAN, house}}$ vary with the animal subcategory and the type of the animal house. However, with the data situation for sows being insufficient, this procedure relates to fattening pigs only.

5.2 TAN inputs into storage

For **slurry based systems** both with fully slatted and partly slatted floors, the amounts of $m_{\text{N, house}}$ left calculated with PFP are 10.3 kg place⁻¹ a⁻¹ N, and of $m_{\text{TAN, house}}$ 6.7 kg place⁻¹ a⁻¹ TAN. Kennel houses are not considered.

For **straw based systems**, the deep litter system serves as reference. Here, $m_{N, \text{house}}$ amounts to 10.9 kg place⁻¹ a⁻¹ N. Due to immobilisation of TAN in straw (40 % of the TAN are assumed to be immobilized in the straw mattress), $m_{\text{TAN}, \text{house}}$ comes to 2.6 kg place⁻¹ a⁻¹ TAN.

In straw based systems (except deep litter), leachate ("Jauche") is formed. The amount of TAN to be found in leachate is calculated in PFP to be 2.3 kg place⁻¹ a⁻¹ N. In deep litter systems the formation of leachate is negligible.

5.3 Emission factors for storage systems

Döhler et al. (2002), pg. 62, give an estimate of emission factors for two liquid (tank and lagoon) and one FYM storage system (heap). However, no experimental basis was available at the time.

Using the information provided by Döhler et al. (2002), relative emission factors are calculated for these systems (Table 3). In comparison with factors used in other inventories in Northwest Europe, these factors were regarded inadequate and thus rejected.

Hence, for **slurry** and open tanks, the value agreed upon in Reidy et al. (2008) is used in the German inventories: $EF_{\text{NH}_3\text{-N, storage, TAN}} = 0.15 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$. The emission factor for open lagoons is provisionally fixed at $0.25 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$.

It should be kept in mind that the emission factor for open tanks is a reference value that may be reduced by covering the slurry surface.

In addition to these factors, storage inside the house underneath a slatted floor was added and an emission factor provided by expert judgment (see explanation in Table 3).

For **solid systems**, the application of the conversion equation for solid systems leads to inconsistent results: calculated NH_3 emissions from farmyard manure exceed the amount of TAN available. This is a consequence of the fact that immobilisation was not considered in the original expert judgement. Hence, keeping in mind that the N based emission factor is an assumption without experimental background, the relative emission factor for cattle of 0.60 kg kg⁻¹ N of the TAN remaining after immobilisation (Kirchmann and Witter, 1989; Dämmgen et al., 2010a) is used as a temporary measure. As shown in Reidy et al. (2009), the application of this value results in emissions comparable to those obtained without direct consideration of immobilisation in Northwest European countries.

Leachate is traditionally stored separately in pits with solid covers. Thus, the calculated emission factor considers an 80 % reduction of the factor given in UNECE (1999), pg. 106. If the N based factor is related to TAN using a mean TAN content of $0.9 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$, a value of $0.03 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$ results.

Eurich-Menden et al. (2005) and Webb et al. (2010) do not report any measurements for pig excreta storage systems.

Table 3:

Derivation of relative emission factors for slurry and FYM storage

		excreta released from house		EF relative to N transferred from house ¹⁾	EF relative to TAN transferred from house	
		$m_{\text{house, N}}$	$m_{\text{house, TAN}}$	$EF_{\text{NH}_3\text{-N, storage, N}}$	$EF_{\text{NH}_3\text{-N, storage, TAN}}$	
		kg place ⁻¹ a ⁻¹ N	kg place ⁻¹ a ⁻¹ TAN	%	calculated ²⁾	proposed
					kg kg ⁻¹ NH ₃ -N	kg kg ⁻¹ NH ₃ -N
Slurry storage						
Gülle-Rund-/Hochbehälter	open circular tank	10.3	6.7	15	0.23	0.15 ³⁾
Lagune offen	open lagoon	10.3	6.7	25	0.38	0.25 ⁴⁾
Gülle Keller unter Spaltenboden	underneath slatted floor					0.105 ⁵⁾
Farm yard manure storage						
Misthaufen	heap	10.9	2.6	25	1.05	0.60 ⁶⁾
Leachate						
Behälter mit fester Abdeckung	pit with solid cover	2.7	2.3	20	0.022	0.03 ⁷⁾

¹⁾ estimated emission factor according to Döhler et al. (2002)

²⁾ calculated by relating the amount emitted to TAN released from house

³⁾ Reidy et al. (2008)

⁴⁾ same proportion as the N related emission factors

⁵⁾ estimated using a reduction of 30 % in comparison to emissions from open circular tanks due to restricted aeration similar to the formation of a natural crust (Döhler et al., 2002, pg. 63)

⁶⁾ no experimental basis; to be on the safe side, twice of the Swiss emission factor is used (Eidgenössische Forschungsanstalt, 1997), see also Kirchmann and Witter (1989)

⁷⁾ the emission factor for leachate as given in Döhler et al. (2002) is used with a TAN content of $0.9 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$ and a reduction efficiency due to solid cover of 80 % (UNECE, 1999, pg. 105)

6 Emission factors for application of slurry and farm-yard manures

At present, the German inventory uses emission factors related to the amount of TAN present before spreading in accordance with Döhler et al. (2002). Hence, a recalculation is unnecessary.

The emission factors applied to the reference spreading techniques in Europe (broadcast spreading) scatter considerably (Reidy et al., 2008, 2009). However, consensus (or lack of data) results in little divergence with the valuation of emission reduction techniques used for pig slurry (Webb et al, 2009).

7 Emission factors for weaners and boars (mature males)

The emission factors derived for fattening pigs are also used to describe weaners, those for sows are also used for boars (mature males).

8 Conclusions

The German data base for the derivation of emission factors for pig production is extremely insufficient (to say the least). Hence, the results of the calculations reported here form a data set which is just consistent. The few comparison data indicate that the order of magnitude is likely to be correct or does not contradict the data used in Northwest Europe (Reidy et al., 2008, 2009, Webb et al., 2010).

At present, an international group between Denmark, Germany and The Netherlands establishes a set of joint measurement protocols that are likely to overcome the situation where many experimental studies were performed that are of no value for the derivation of emission factors (see description of the data base in Döhler et al., 2002, and Eurich-Menden et al., 2005).

Dämmgen et al. (2010b) try to establish a data set describing the digestibility of N and hence improved TAN contents.

Until more reliable data are available, the data set described in this paper will have to serve as a temporary solution for the assessment of nitrogen flows and emissions in the German agricultural emission inventory.

9 Official approval

The contents of this paper dealing with emissions from housing systems were checked and approved of by "KTBL Working Group on Emission Factors in Animal Husbandry".

References

- BLAG – Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft zur Erarbeitung einer Muster-Verwaltungsvorschrift für die Durchführung der Düngeverordnung (1996) Letter by Dr. Weiß, Hessisches Landesamt für Regionalentwicklung und Landwirtschaft, Kassel, to Dr. Hüther, Hessisches Ministerium des Innern und für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz, Wiesbaden, 1.7.1996
- Dämmgen U, Hutchings NJ (2008) Emissions of gaseous nitrogen species from manure management : a new approach. *Environ Poll* 154(9):488-497
- Dämmgen U, Haenel H-D, Rösemann C, Brade W, Müller-Lindenlauf M, Eurich-Menden B, Döhler H, Hutchings NJ (2010a) An improved data base for the description of dairy cows in the German agricultural emission model GAS-EM. *Landbauforsch* 60(2):87-100
- Dämmgen U, Brade W, Schulz J, Haenel HD, Rösemann C (2010b) Einfluss von Fütterungsverfahren auf die Emissionen aus der Schweinehaltung in Niedersachsen. *Züchtungskunde* (in preparation)
- Döhler H, Eurich-Menden B, Dämmgen U, Osterburg B, Lüttich M, Bergschmidt A, Berg W, Brunsch R (2002) BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahr 2010. Berlin : Umweltbundesamt, 307 p, Texte / Umweltbundesamt 02/05
- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook — 2009 (2009) Part B. 4.B. Animal husbandry and manure management [online]. To be found at <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009/part-b-sectoral-guidance-chapters/4-agriculture/4-b>> [quoted 17.11.2010]
- Eurich-Menden B, Dämmgen U, Döhler H (2005) A collection and analysis of current ammonia research data available in German. In: *Final report to DE-FRA : project AM0123*, 35 p
- Eurich-Menden B, Schrader L [Projektleitung] (2006b) Nationaler Bewertungsrahmen Tierhaltungsverfahren : Methode zur Bewertung von Tierhaltungsanlagen hinsichtlich Umweltwirkungen und Tiergerechtigkeit. Darmstadt : KTBL, 778 p, KTBL-Schrift 446
- Flachowsky G, Pallauf J, Pfeffer E, Rodehutsord M, Schenkel H, Staudacher W, Susenbeth A (2006) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen 2006. Frankfurt a M : DLG-Verl, 247 p, Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere 10
- Haenel H-D (2010a) Calculations of emissions from German agriculture - national emission inventory report (NIR) : 2010 for 2008. Braunschweig : vTI, 436 p, *Landbauforsch* SH 334
- Haenel H-D, Rösemann C, Laubach P, Dämmgen U (2010b) Update of the calculation of metabolizable energy requirements for pigs in the German agricultural emission inventory. *Landbauforsch* (in preparation)
- IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories : vol. 4 Agriculture, forestry and other land use [online]. To be found at <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>> [quoted 17.11.2010]
- Kaiser S, Van den Weghe HFA (1999) Ammoniak- und Lachgasemissionen eines Zweiraumkompost- und eines Vollspaltenbodenstalles für Mastschweine. In: 4. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 09./10. März, Freising/Weihenstephan. Freising : Landtechnik Weihenstephan, pp 447-450
- Kirchmann H, Witter E (1989) Ammonia volatilization during aerobic and anaerobic manure decomposition. *Plant Soil* 115:35-41
- KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2006a) Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/07 : Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. Darmstadt : KTBL, 670 p
- Landwirtschaftskammer Weser-Ems (1997) Nährstoffvergleich auf Feld-Stall-Basis : § 5 der Düngeverordnung. Hannover : LWK
- Menzi H, Frick R, Kaufmann R (1997) Ammoniak-Emissionen in der Schweiz : Ausmass und technische Beurteilung des Reduktionspotentials. Zürich-Reckenholz : FAL, 120 p, Schriftenreihe FAL 26
- Reidy B, Dämmgen U, Döhler H, Eurich-Menden B, Ewert FK van, Hutchings NJ, Luesink HH, Menzi H, Misselbrook TH, Monteny G-J, Webb J (2008) Comparison of models used for national agricultural ammonia inventories in Europe: liquid manure systems. *Atmos Environ* 42(14):3452-3464

- Reidy B, Webb J, Misselbrook TH, Menzi H, Luesink HH, Hutchings NJ, Eurich-Menden B, Döhler H, Dämmgen U (2009) Comparison of models used for national agricultural ammonia emission inventories in Europe : litter based manure systems. *Atmos Environ* 43(9):1632-1640
- UNECE (1999) Draft guidance documents on control techniques and economic instruments to the protocol to abate acidification, eutrophication and ground-level ozone : EB.AIR/1999/2 [online]. To be found at <<http://www.unece.org/env/documents/1999/eb/eb.air.1999.2.e.pdf>> [quoted 17.11.2010]
- Webb J, Eurich-Menden B, Dämmgen U, Agostini F (2009) Review of published studies estimating the abatement efficacy of reduced-emission slurry spreading techniques. In: Sutton MA, Reis S, Baker S (eds) *Atmospheric ammonia : detecting emission changes and environmental impacts ; results of an Expert Workshop under the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution*. Dordrecht : Springer, pp 195-202
- Webb J, Sommer SG, Kupper Th, Groenestein K, Hutchings NJ, Eurich-Menden B, Rodhe L, Misselbrook TH, Amon B (2010) Gaseous emissions during the management of solid manures : a review. *Sustainable Agriculture Reviews* (in preparation)

Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen

6. Variation tier- und futterspezifischer Parameter

Klaus Walter*,

Zusammenfassung

Mittels Simulation werden der Einfluss der Streuung der täglichen Milchleistung, Futteraufnahme und Energiekonzentration im Grundfutter auf den body condition score (bcs) und die Einnahmen aus Milch minus der Futterkosten (EaM-FuKo) analysiert.

Ausgangspunkt und Referenz ist ein tierspezifisches System mit vollkommener Information ohne Streuung. Die tägliche Milchleistung, Futteraufnahme und Energiekonzentration im Grundfutter werden einzeln und in Kombination einer Varianz von 5, 10 und 20 Prozent unterworfen und jeweils der geringste bcs sowie die EaM-FuKo einer 700 kg Kuh in 3. Laktation mit 12.000 kg Milch verglichen.

Der niedrigste bcs sinkt geringfügig mit zunehmender Varianz der täglichen Milchleistung, der Futteraufnahme und der Energiekonzentration, wohingegen die Spanne des ermittelten niedrigsten bcs aus 100 Wiederholungen sich ausweitet. Bei kombinierter Variation der Ausgangsgrößen fällt der bcs nur unwesentlich weiter ab und die Spanne nimmt kaum noch zu.

Die EaM-FuKo sinken geringfügig mit zunehmender Varianz der täglichen Milchleistung, ihre Spanne steigt bis auf ± 25 bis 40 Euro an. Wird dagegen die tägliche Futteraufnahme variiert, fallen die Unterschiede ungleich schwächer aus. Die Variation der Energiekonzentration im Grundfutter führt ebenfalls zu geringeren Margen, jedoch in Verbindung mit abnehmenden EaM-FuKo.

Die streuenden Tageswerte bei der Milchleistung beinhalten zudem die Frage nach dem Einfluss der Länge der Fütterungsperiode. Die Kalkulationen zeigen, dass mit zunehmender Varianz der Bereich der errechneten EaM-FuKo größer wird. Allerdings zeigt sich auch hier ein ausgleichender Effekt, wenn mehrere Kennzahlen gleichzeitig variiert werden.

Grundsätzlich variieren der bcs und die EaM-FuKo in deutlich geringerem Umfang als die der Variation unterworfenen Ausgangsdaten.

Schlüsselworte: Varianz der Milchleistung und Futteraufnahme, Länge der Futterperiode, Energiekonzentration im Grundfutter, Entwicklung des body condition score, Einnahmen aus Milch minus der Futterkosten

Abstract

The Feeding and husbandry of high performance cows

Part 6. Variation of the animal- and feed-specific parameters

The influence of the daily variation of the milk yield, feed intake and energy concentration in roughage on the body condition score (bcs) and the income from milk minus the feed costs (EaM-FuKo) is analyzed by simulation.

The reference is an animal specific system with complete information without scattering of daily data. For a cow, with a live weight of 700 kg, in third lactation, with 12,000 kg milk and a period between calving (ZKZ) of 360 days, the daily milk yield, feed intake and energy concentration in roughage is subjected individually and in combination to a variance of 5, 10 and 20 percent. In each case the lowest bcs as well as the EaM-FuKo of the ZKZ is the reference of the comparison.

The lowest bcs of the ZKZ sinks slightly with the increasing variance of daily milk yield, feed intake and energy concentration, where in contrast the range of the calculated lowest bcs extends up. With combined variations of daily milk yield, feed intake and energy concentration, the bcs drops insignificantly and the range increases slightly.

With increasing variance of the daily milk yield the EaM-FuKo minimally sinks. Its range increases up to ± 25 to 40 Euros. If the daily feed intake scatters, the differences are lower, but not evenly. The variations of the energy concentrations in roughage also lead to minimal margins, but the EaM-FuKo are decreasing.

The scattered daily values in milk yield raise the question on the influence of the length of the feeding period. The calculations show that with increasing variance, the range of the calculated EaM-FuKo increases. However, an equalizing effect can be seen if several figures are varying at the same time.

Basically the bcs and the EaM-FuKo vary at a significantly lower extent as the start data itself do.

Keywords: Variance of milk yield and feed intake; Length of feeding period, energy concentrations in roughage, development of the body conditions score, income from milk minus feed costs.

* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, klaus.walter@vti.bund.de

1 Einleitung und Fragestellung

Zur Vermittlung von Ergebnissen aus Versuchen mit Milchkühen werden in der Regel Mittelwerte, Relationen und Funktionen berechnet, um die Beziehung zwischen den untersuchten Variablen und den Leistungsdaten übersichtlich und leicht interpretierbar darzustellen. Weitergehende Informationen liefern die zusätzlich genannten statistischen Kennzahlen wie Varianz, Vertrauensintervall, statistische Absicherung etc.

Gemeinhin werden diese Resultate angewandt, ohne den Einfluss der Streuung bzw. des unerklärten Restes von statistischen Beziehungen bei nichtlinearen Aufwands- und Ertragsrelationen in Ansatz zu bringen. In diesem Beitrag wird die Bedeutung der täglichen Streuung der täglichen Milchleistung, der Futteraufnahme und des Energiegehaltes im Grundfutter analysiert und bewertet.

2 Ausgangssituation

Steht den Betrieben keine Milchmengenerfassung im Melkstand zur Verfügung, wird die tierspezifische Milchleistung durch die monatlich erfolgende Milchleistungskontrolle ermittelt. Die Futteraufnahme wird in den seltensten Fällen tierspezifisch erfasst, sondern aus den täglich verfütterten Mengen und der Tierzahl geschätzt. Für die Grundfuttermittel wird i. d. R. nur eine Probe analysiert, die als repräsentativ angesehen wird. Ergänzend wird unterstellt, dass die Normen (GfE, 2001; NRC, 2001) der Physiologie der im folgenden unterstellten „virtuellen“ Kuh genau entsprechen. Weiterhin wird angenommen, dass das Haltungsverfahren keine Ungenauigkeiten aufweist, die Milchmengenerfassung, die Kraftfutterzuteilung etc. präzise arbeiten.

Dieser Ausgangssituation stehen die großen tierspezifischen Unterschiede sowie die Streuung der Tageswerte für Milchleistung, Futteraufnahme etc., aber auch die Komplexität des Verfahrens Futterbau und Milcherzeugung gegenüber. Es genügt nicht, die einzelnen Beziehungen einzuplanen, vielmehr sind auch deren statistischen Kennzahlen sowie alle Interaktionen mit den übrigen Einflussgrößen zu berücksichtigen. Derart umfassende Fragestellungen sind nur schwer durch Experimente zu klären, denn der Aufwand übersteigt schnell den vertretbaren Rahmen. Vergleichsweise einfach lassen sich dagegen die wichtigsten Kennzahlen, inklusive deren Varianz und Interaktion, mittels Simulation analysieren.

In dieser Arbeit werden die Milchleistung und Futteraufnahme, also nur zwei von vielen wichtigen tierspezifischen Daten sowie die Energiekonzentration des Grundfutters in der täglich vorgelegten Ration und ihre Varianz kalkuliert. Die Unterschiede zwischen den Tieren einer Herde bzw. innerhalb einer Rasse treten zusätzlich auf und bedürfen weiterer Analysen.

3 Lösungsansatz

Mittels Simulation werden die Milchleistung und Futteraufnahme für eine Kuh vorgegeben, die tägliche Ration inklusive Energie- sowie Nährstoffbilanz bestimmt, das aktuelle Gewicht und der zugehörige „body condition score“ (bcs) berechnet, die Einnahmen aus Milch sowie Futterkosten kalkuliert und das Resultat für die Zwischenkalbezeit (ZKZ) aufsummiert. Das Simulationssystem (Walter, 2008b) erzeugt normalverteilte Zufallszahlen, deren Mittelwert und Varianz definiert werden kann, siehe dazu Press et al. (1993). Damit eröffnet sich die Möglichkeit, die tägliche Leistung, Futteraufnahme und Energiekonzentration im Grundfutter einer vorgegebenen Varianz¹ zu unterwerfen, um deren Bedeutung zu analysieren.

Ausgangspunkt und Referenz für die nachfolgenden Kalkulationen ist eine Milchviehhaltung mit „vollkommener Information“, d. h. die im Folgenden analysierten Kennzahlen Milchleistung entwickeln sich genau gemäß der von Oltenacu et al. (1980) abgeleiteten Funktionen und die Futteraufnahme präzise entsprechend den vom NRC (2001) bzw. den von Gruber et al. (2004 und 2006) vorgelegten Beziehungen. Die Nährstoff- und Energiegehalte der Grund- und Kraftfutter sind korrekt ermittelt.

Im Zuge der Kalkulationen werden nacheinander die Tagesleistung, die Futteraufnahme und die Energiekonzentration einzeln und dann auch gemeinsam variiert. Die Varianz wird hier alternativ mit 5, 10 und 20 Prozent des Mittelwertes vorgegeben. Die Kennzahlen folgen nun nicht mehr den vorgegebenen Funktionen, sondern streuen um den jeweiligen Funktionswert und werden dementsprechend berücksichtigt. Neben einer täglichen Kalkulation der Ration werden auch Futterabschnitte mit unterschiedlicher Länge kalkuliert, um Vorstellungen über die aus der Erfassungsdichte der Kennzahlen resultierenden Konsequenzen zu gewinnen.

4 Bedeutung der Streuung² tierspezifischer Kennzahlen

Eine erfolgreiche Milchproduktion basiert auf Daten und „know how“. In einigen Betrieben wird daher die Tagesleistung erfasst, um Aufwand und Ertrag bestmöglich abzustimmen und somit einen Schritt in Richtung „precision agriculture“ zu gehen. Es gilt zu prüfen, welcher Erfolg damit erreicht werden kann. Dazu werden für eine Holstein-Frisian Kuh mit 700 kg Lebendgewicht in 3. Laktation, einer Zwischenkalbezeit (ZKZ) von 360 Tagen, einer Lak-

¹ Das Simulationsprogramm kontrolliert und korrigiert alle variierten Daten, um z. B. negative Gewichte, Gehalte zu vermeiden.

² Der Begriff Streuung bezeichnet hier die täglichen Unterschiede bei den Messwerten.

tationsleistung von 12.000 kg Milch und eine auf Gras-plus Maissilage basierenden Fütterung die Aufwands- und Ertragsrelationen bestimmt.

Die Grundfutterkosten und -qualitäten basieren auf den Erhebungen von Helmers (2005), der Milchpreis beträgt 30 Cent je Liter Milch mit einem Fettgehalt von 4,20 Prozent und 3,25 Prozent Milcheiweiß. Milchviehmischfutter und betriebseigene Gerste ergänzen die Rationen.

Zunächst werden die Milchleistung, die Futteraufnahme und der Energiegehalt des Grundfutters einzeln variiert, die Varianz alternativ auf 5, 10 und 20 Prozent festgesetzt und anschließend in Kombination variiert. Alle übrigen Bestimmungsfaktoren bleiben konstant, bzw. entwickeln sich wie in der Referenzsimulation ohne Streuung der Tageswerte. Klimaeinfluss, Krankheiten, Engpässe bei der Ver- und Entsorgung bleiben außen vor.

Die Milchleistung ist, gefolgt von der Futteraufnahme, der wichtigste naturale Bestimmungsfaktor für den Gewinn. Daneben hat sich der Energiegehalt im Grundfutter als weiterer wichtiger Bestimmungsgrund für den Erfolg herausgestellt (Walter und Heinrich, 2003; Walter, 2008a). Daher werden diese drei Kennzahlen variiert, auch wenn eine Vielzahl weiterer Erfolgsbestimmender Faktoren die Produktion beeinflussen und somit zu variieren wären. Das Simulationsprogramm berechnet alle Produktions- und Erfolgskennzahlen, von denen als naturales Erfolgskriterium der body condition score (bcs) sowie als monetärer Maßstab die Einnahmen aus Milch minus Futterkosten (EaM-FuKo) gewählt und in den folgenden Abbildungen ausgewiesen werden.

4.1 Bedeutung der Streuung für den body condition score

Träte keine Streuung auf, ergäbe sich im Ablauf der Laktation ein minimaler bcs von 1,24, der ein Maß für die maximale physiologische Belastung der Kuh darstellt. Werden die Tageswerte der Milchleistung (obere linke Teilgrafik in Abbildung 1), der Futteraufnahme (mittlere linke Teilgrafik) und die des Energiegehaltes im Grundfutter (untere linke Teilgrafik) jeweils allein variiert. Die Varianz beträgt alternativ 5, 10 und 20 Prozent. In den rechten Teilgrafiken werden die Kennzahlen in Kombination variiert. Rechts neben dem auf vollkommener Information beruhenden Ausgangspunkt (bcs = 1,24) werden aus 100 Wiederholungen der Mittel-, der Minimal- und der Maximalwert, sowie der Mittelwert der oberen und unteren 10 Prozent des niedrigsten bcs der gesamten ZKZ ausgewiesen, wenn die Varianz 5, 10 und 20 Prozent beträgt.

Der niedrigste bcs der ZKZ wird gewählt, um die physiologische Belastung der Kuh darzustellen. Der bcs fällt umso geringer aus, je mehr Energie und Nährstoffe aus Körpersubstanz mobilisiert werden muss, weil die Versorgung über die Futteraufnahme nicht ausreicht. Hier wird

unterstellt, dass die Kuh mit einem bcs von 3 in die Laktation startet. Bei einer Varianz von 0 Prozent, also ohne Streuung der Milchleistung (Abbildung 1, linke obere Teilgrafik), sinkt der bcs auf 1,24. Um das Ergebnis von 12.000 kg Milch zu erreichen, ist die Umwidmung von ca. 98 kg Körpersubstanz in Leistung erforderlich. Wird die Varianz der Tagesleistung mit 5 Prozent bemessen, sinkt der aus 100 Wiederholungen gemittelte bcs auf 1,21. Dabei beträgt der ungünstigste bcs 1,19 und der günstigste 1,31. Wird eine Varianz der täglichen Milchleistung von 20 Prozent vorgegeben, sinkt der mittlere bcs auf 1,18, der minimale auf fast 1, der maximale erreicht dagegen 1,45. Diese Differenz von 0,45 bcs-Punkten entspricht etwa 25 kg Körpersubstanz bei einem Ausgangsgewicht von 700 kg.

Die linke mittlere Teilgrafik zeigt die Ergebnisse der Kalkulationen, wenn allein die tägliche Futteraufnahme variiert wird. Die Resultate fallen ähnlich aus.

Die untere linke Teilgrafik zeigt, dass die Variation des Energiegehaltes im Grundfutter zwar ein vergleichbares Absinken des mittleren bcs zur Folge hat, dass aber der minimale bcs nicht so stark absinkt und damit die Hochleistungskuh weniger belastet wird.

Die drei rechten Teilgrafiken der Abbildung 1 zeigen die Entwicklung des bcs, wenn der Energiegehalt im Grundfutter³ um 5 Prozent variiert und zwar in Kombination mit

- der Milchleistung (obere rechte Teilgrafik),
- der Futteraufnahme (mittlere rechte Teilgrafik),
- der Milchleistung und auch der Futteraufnahme (untere rechte Teilgrafik).

Der Vergleich der oberen und mittleren Teilgrafiken zeigt, dass die jeweils Rechten nur unwesentlich akzentuierter ausfallen, obwohl die NEL-Konzentration im Grundfutter zusätzlich einer Streuung unterworfen wird.

Die Teilgrafik unten rechts weist zwar die deutlichste Spreizung des bcs und auch den größten Abfall des mittleren bcs auf, jedoch sind die Zuwächse vergleichsweise gering, obwohl alle Kennzahlen gleichzeitig variiert werden.

Tabelle 1 nennt die zu jeder Teilgrafik (Abbildung 1) ermittelte Varianz des bcs in v. H. des gemittelten bcs der 100 Wiederholungen. Die Varianz des bcs fällt in allen Fällen deutlich geringer aus als diejenige der „Eingangsgroßen“. Die erste Erklärung liegt in der Fähigkeit der Kuh, die Schwankungen der Tageswerte abzuf puffern, die zweite Ursache ergibt sich aus der Statistik. Zufällig streuende

³ Hier wird nur mit konserviertem Grundfutter kalkuliert, das in Flachsilo schichtweise eingelagert, dann quer zu den Schichten entnommen und im Futterwagen durchgemischt wird, sodass die Kühe ein vergleichsweise einheitliches Futter bekommen. Eine wesentlich höhere Varianz könnte dagegen bei Frischgrasverfütterung auftreten.

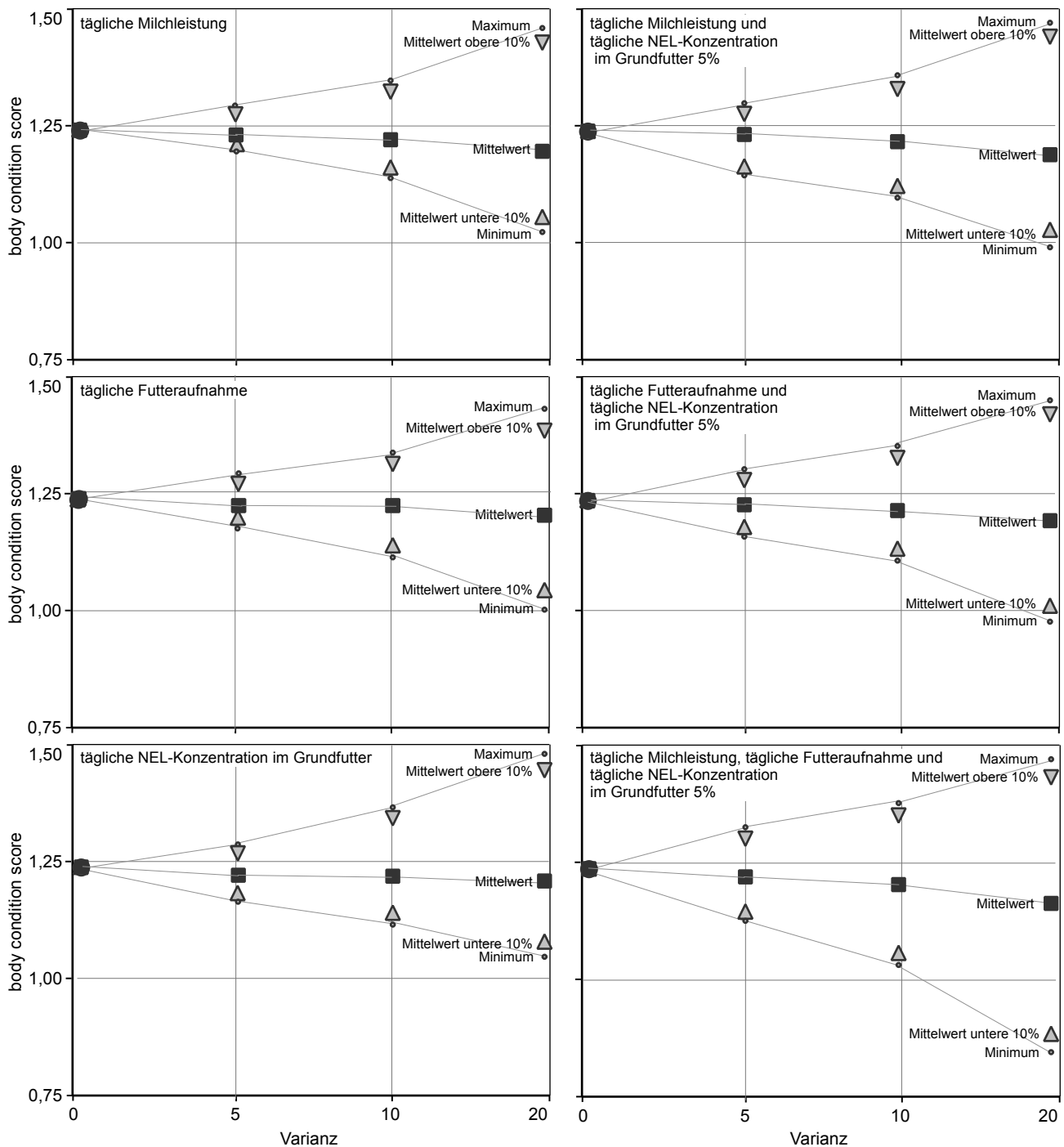


Abbildung 1:

Bedeutung der Streuung von Milchleistung, Futteraufnahme und Energiekonzentration im Grundfutter für den body condition score

Datenreihen weichen nicht gleichzeitig in die gleiche Richtung ab, sondern aus Normalverteilungen entsteht erneut eine Normalverteilung, die jedoch flacher ausfällt.

Die hier untersuchten Variablen bestimmen den gesamten Prozess der Milcherzeugung keineswegs allein, sondern reihen sich ein in eine Vielzahl von Bestimmungsfaktoren, die ebenfalls einer Streuung unterliegen und hier gleich-

falls zu berücksichtigen wären. Abbildung 1 macht jedoch deutlich, dass bereits die zweite und dritte Variable abnehmende Zuwächse bei den Extrema und der Minderung des Mittels nach sich ziehen. Eine vierte und auch jede weitere Kennzahl entfalten dementsprechend nur noch wenig zusätzliche Wirkung. Würden weitere Fehler bei der Kraftfutterzuteilung, der Milchmengenerfassung, aber

auch bei Bestimmung der Inhaltsstoffe auftreten, wäre nur eine minimal ungünstigere Konstellation zu erwarten.

Tabelle 1:

Varianz des bcs bei Variation der Parameter Milchleistung, Futteraufnahme und Energiekonzentration im Grundfutter

Zugehörige Teilgrafik der Abbildung 1	Varianz der Parameter (in v. H. des Mittelwertes)		
	5	10	20
	Varianz des bcs (in v. H. des mittleren bcs)		
linke obere Teilgrafik	0,03	0,15	0,65
linke mittlere Teilgrafik	0,03	0,14	0,61
linke untere Teilgrafik	0,03	0,13	0,46
rechte obere Teilgrafik	0,07	0,18	0,66
rechte mittlere Teilgrafik	0,07	0,17	0,63
rechte untere Teilgrafik	0,11	0,34	1,43

4.2 Bedeutung der Streuung für die Einnahmen aus Milch minus Futterkosten

Der Mittelwert, das Minimum und das Maximum, sowie der Mittelwert der oberen und unteren 10 Prozent der EaM-FuKo werden in Abbildung 2 dargestellt. Diese Ergebnisse basieren auf den gleichen Kalkulationen wie Abbildung 1. Die Variation der Milchleistung führt beim bcs und den EaM-FuKo zu ähnlichen Ergebnissen (Abbildung 2, obere Teilgrafiken), die bei der Futteraufnahme und des Energiegehaltes beim Grundfutter (jeweils allein und auch in Kombination) zu stark abweichenden Ergebnisstrukturen führt. Die Variation der Grundfutteraufnahme (Abbildung 2, mittlere Teilgrafiken) bedeutet „nur“ eine tägliche Schwankung, nicht aber eine Veränderung⁴ der gesamten Futteraufnahme. Bei der hier unterstellten Leistung von 12.000 kg Milch sind die ersten 50 bis 80 Tage nach dem Kalben von einer Umwidmung von Körpersubstanz in Milchleistung und einem etwa gleich langen Zeitraum für den Wiederaufbau gekennzeichnet. Das bedeutet aber auch, dass die Unterschiede bei der täglichen Futteraufnahme keinen direkten Einfluss erlangen, sondern nur ein stark gepuffertes System bedienen.

Die Ergebnisse der Variation des Energiegehaltes beim Grundfutter (Abbildung 2, untere linke Teilgrafik) basieren prinzipiell auch auf dem Pufferungskonzept. Allerdings sinken Mittel, Maximum und Minimum der EaM-FuKo mit zunehmender Variation. Dieser Abfall erklärt sich durch ei-

nen höheren Einsatz von Kraftfutter bei unterdurchschnittlicher Energiekonzentration, das bedeutet einen leichten Anstieg der Futterkosten und damit geringere EaM-FuKo. Ein Teil dieses Effektes ist der im Simulationssystem implementierten vollkommenen Information und der dem Optimierungsansatz eigenen Ausreizung der jeweiligen Konstellation zuzuordnen. Eine Bestimmung des Energiegehaltes jeder einzelnen tierbezogenen Grundfuttergabe und eine darauf aufbauende Optimierung der Tagesration wären extrem aufwändig. Trotzdem wird die überragende Bedeutung der Energiekonzentration hier erneut deutlich (Walter und Heinrich, 2003; Walter, 2008b).

Die Teilgrafik rechts unten in Abbildung 2, zeigt wie auch aus Abbildung 1 hervorgeht, dass die Varianz der EaM-FuKo deutlich geringer ausfällt als die der Ausgangsvariablen.

Die Varianzen der hier genutzten Kennzahlen addieren sich nicht, sondern es ist eine deutliche Tendenz zum Ausgleich festzustellen. Das ausgeprägte Pufferungsvermögen der Milchkuh mildert alle Ausschläge und glättet die Resultierende, sodass die tagesspezifischen Abweichungen der Ausgangsdaten sich nicht direkt in Erfolgskennzahlen niederschlagen.

Tabelle 2 nennt die Varianz der EaM-FuKo für die in Abbildung 2 dargestellten Konstellationen der Variation der Parameter Milchleistung, Futteraufnahme und Energiekonzentration im Grundfutter. Wie beim bcs (Tabelle 1) zeigt sich, dass die Varianz der EaM-FuKo deutlich geringer ausfällt als die der variierten Eingangsparameter.

Tabelle 2:

Varianz der EaM-FuKo bei Variation der Parameter Milchleistung, Futteraufnahme und Energiekonzentration im Grundfutter

Zugehörige Teilgrafik der Abbildung 2	Varianz der Parameter (in v. H. des Mittelwertes)		
	5	10	20
	Varianz der EaM-FuKo (in v. H. der EaM-FuKo)		
linke obere Teilgrafik	0,59	2,43	9,63
linke mittlere Teilgrafik	0,01	0,03	0,07
linke untere Teilgrafik	0,04	0,23	1,29
rechte obere Teilgrafik	0,61	2,37	9,42
rechte mittlere Teilgrafik	0,05	0,07	0,12
rechte untere Teilgrafik	0,64	2,49	9,82

5 Streuung tierspezifischer Kennzahlen und Länge der Futterperiode

Wenn die Betriebe nicht über einen Melkstand mit Milchmengenerfassung verfügen, liefert die Milchleistungskontrolle monatliche Leistungsdaten. Die Grundfutterqualität wird in der Regel nur durch eine Probe je Silo und Jahr be-

⁴ Für einen Stichprobenumfang von 100 erzeugt das Simulationsprogramm Zufallszahlen deren Mittelwert Null und die vorgegebene Varianz bis auf mehrere Stellen nach dem Komma annähert.

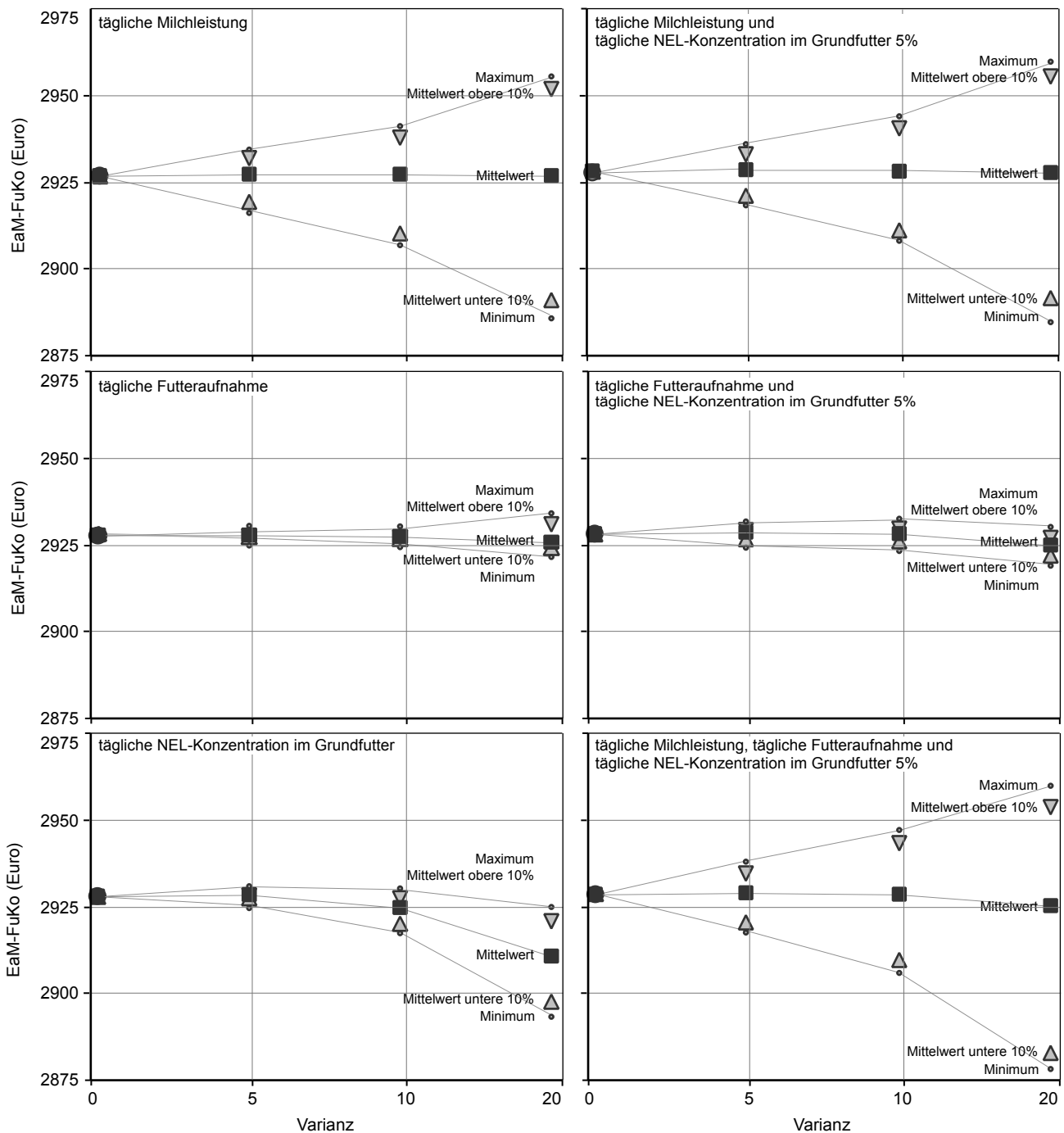


Abbildung 2:
Bedeutung der Streuung von Milchleistung, Futteraufnahme und Energiekonzentration im Grundfutter für die EaM-FuKo

stimmt. Die tierspezifische tägliche Futteraufnahme wird bisher nur in wissenschaftlich geleiteten Ställen erfasst, in den landwirtschaftlichen Betrieben kann nur die mittlere Tagesmenge aus der insgesamt eingesetzten Futtermenge und der Tierzahl berechnet werden. Daher entstehen auch Fragen nach den Konsequenzen, die sich aus

- der Häufigkeit der Erfassung der Daten,
- der mit der Länge der Futterperiode verbundenen unvermeidbaren Ungenauigkeiten und
- der Streuung der täglichen Daten ergeben.

Ausgehend von der vollkommenen Information mit Optimierung, also der täglichen Erfassung der Milchleistung, Futteraufnahme und Energiekonzentration im Grund-

futter, wird eine Länge der Futterperiode von jeweils 3, 5 ... 35 Tagen kalkuliert. Es wird unterstellt, dass jeweils der mittlere Tag der Periode den „wahren“ Wert der Periode repräsentiert. Weil der Beginn der Laktation nur selten mit dem Beginn der Futterperiode übereinstimmt, wird auch diese Position systematisch verändert. Jeder Tag der Futterperiode kann der Beginn der Laktation sein. Um den Rechenaufwand in Grenzen zu halten wird nur jeder zweite Tag als Einstiegstag in den Fütterungsabschnitt kalkuliert. Im Einzelnen wird bei einer fünf Tage währenden Futterperiode der 1. und 3. Tag als Startpunkt gewählt, bei einer 7-tägigen Periode der 1., 3. und 5. Tag. In den Abbildungen 3 bis 6 werden für jede Periodendauer (X-Achse) alle Einstiegspunkte kalkuliert und deren Mittel sowie Minimum und Maximum dargestellt.

Aus den für die Abbildungen 1 und 2 durchgerechneten 100 Laktationen wurde jeweils die 25. gewählt, die EaM-FuKo für unterschiedliche Längen der Futterperioden und differenzierte Eintrittszeitpunkte in den Futterabschnitt kalkuliert.

5.1 Streuung der Tagesleistung

Abbildung 3 zeigt die EaM-FuKo, wenn allein die Milchleistung eine Varianz von 5, 10 und 20 Prozent aufweist, die Futterperiode alternativ 1, 3, 5 ... 35 Tage währt. Da der Kalbetermin nur selten mit dem Beginn der Futterperiode übereinstimmt, wird zusätzlich ein unterschiedlicher Eintritt in die Futterperiode kalkuliert. Der zugehörige Mittelwert wird in den Teilgrafiken durch den Graphen mit größerer Strichstärke dargestellt, während die maximalen und minimalen EaM-FuKo durch dünnere Linien ausgewiesen werden. Diese Spanne ergibt sich allein durch die beiden Vorgaben:

- die Tagesleistung variiert mit 5, 10 bzw. 20 Prozent und
- statt täglicher Milchmengenerfassung und zugehöriger Rationsbemessung repräsentiert eine Tagesleistung eine 3- bis 35-tägige Periode.

Bemisst der Milchviehhalter die Fütterung allein nach der monatlichen Milchleistungskontrolle, so entspricht das den in Abbildung 3 (untere Teilgrafik) dargestellten Situationen für Futterperioden von 29 bis 33 Tagen. Der Mittelwert kommt der Konstellation bei täglicher Erfassung und Rationsabstimmung sehr nahe, allerdings sind tierspezifische Abweichungen von bis zu ± 25 Euro möglich.

Die Varianz der Tagesleistung überschreitet in Betrieben und Versuchen nicht selten die 20 Prozent Grenze. Selbst wenn diese bei nur 5 oder 10 Prozent läge, wären bereits Abweichungen der EaM-FuKo von 10 bis 20 Euro zu erwarten (Abbildung 3).

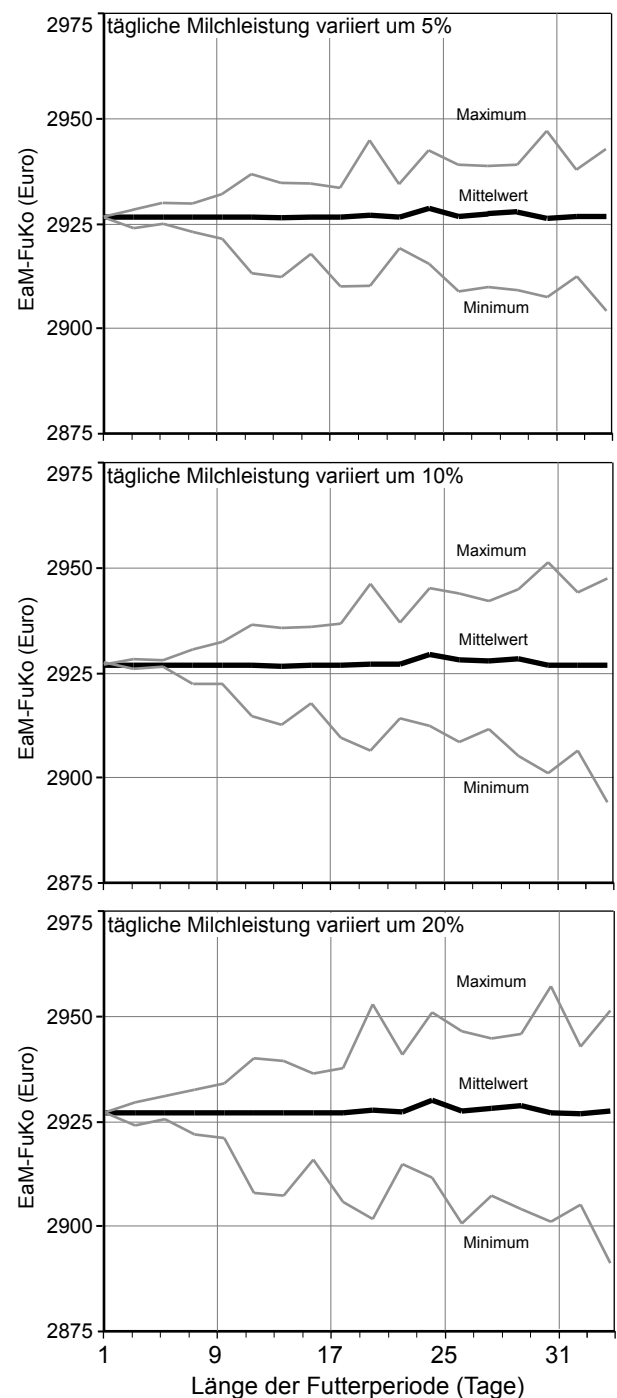


Abbildung 3:

Variation der Tagesleistung und ihre Bedeutung für die EaM-FuKo bei unterschiedlicher Länge der Futterperiode und differenziertem Eintrittszeitpunkt

5.2 Streuung der täglichen Futteraufnahme

Abbildung 4 zeigt die EaM-FuKo, wenn allein die tägliche Futteraufnahme variiert, alle anderen Kennzahlen täglich korrekt erfasst und bei der Rations- und Erfolgsberechnung

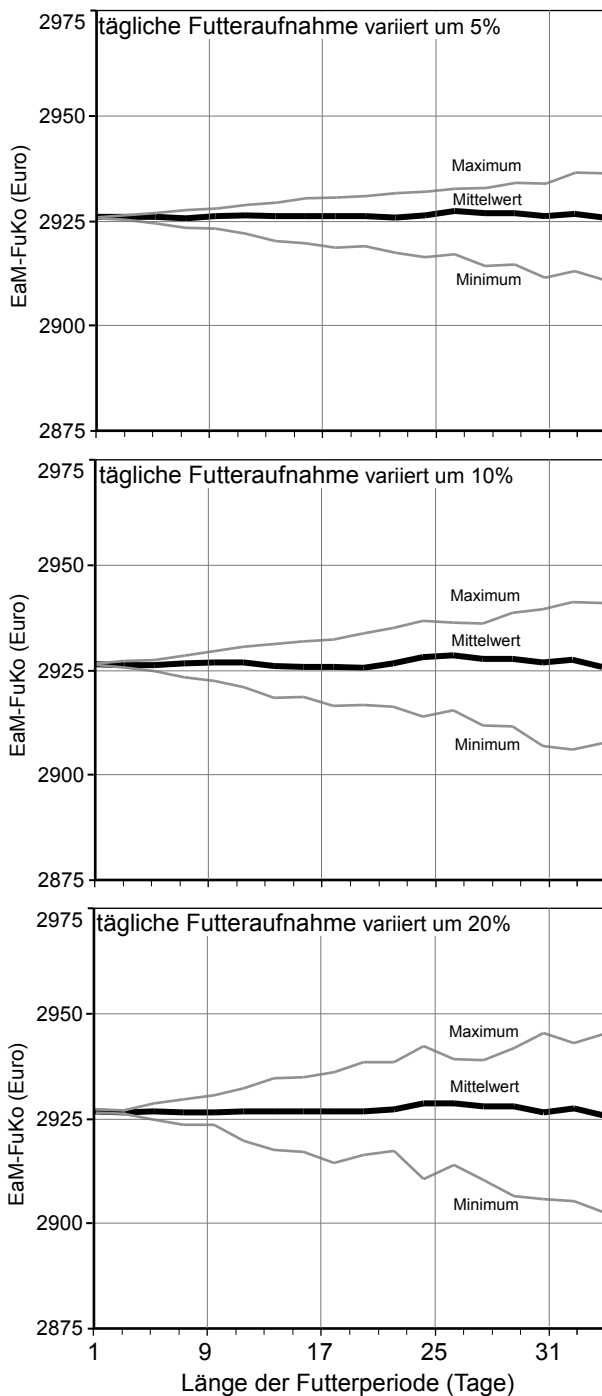


Abbildung 4:

Variation der täglichen Futteraufnahme und ihre Bedeutung für die EaM-FuKo bei unterschiedlicher Länge der Futterperiode und differenziertem Einstiegszeitpunkt

nung präzise berücksichtigt werden. Die Abweichungen fallen geringer aus als bei der Variation der Milchleistung. Die Fähigkeit, Körpersubstanz in Leistung umzuwandeln und der Puffer „Pansen“ dämpfen die direkte Abhängigkeit der EaM-FuKo von den täglichen Schwankungen der Futteraufnahme.

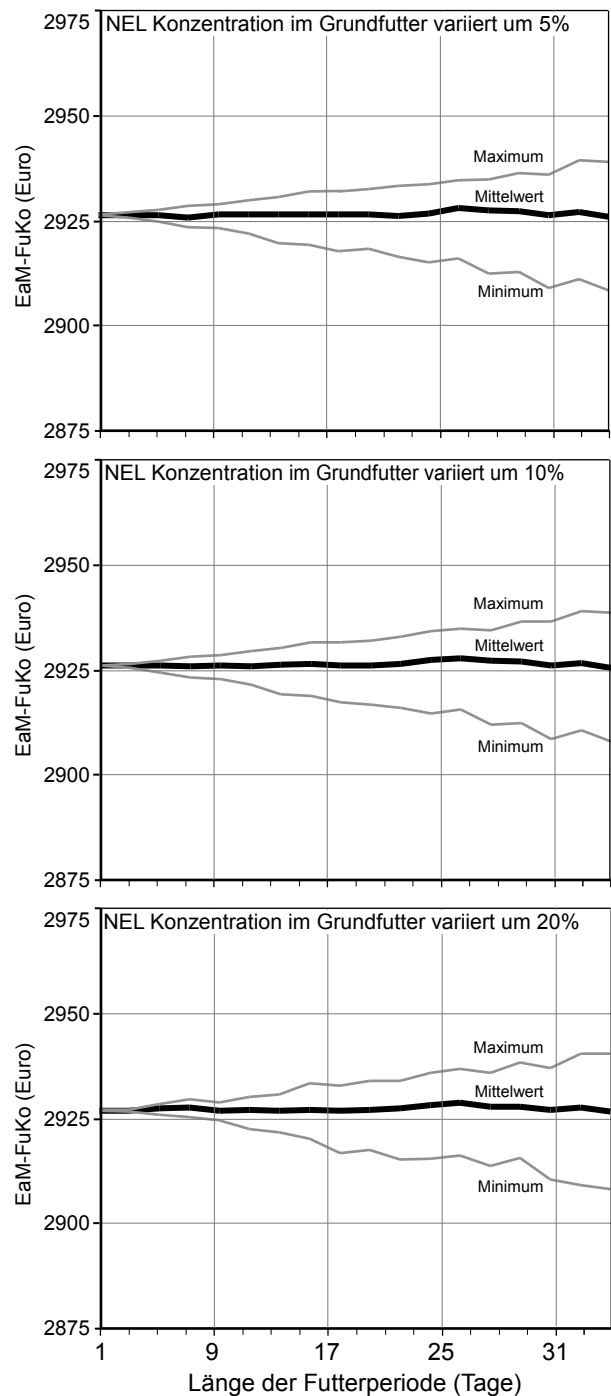


Abbildung 5:

Variation der täglichen Energiegehalte im Grundfutter und ihre Bedeutung für die EaM-FuKo bei unterschiedlicher Länge der Futterperiode und differenziertem Einstiegszeitpunkt

5.3 Streuung des Energiegehaltes im Grundfutter

Abbildung 5 präsentiert die EaM-FuKo, wenn allein der Energiegehalt der täglichen Grundfutterzuteilung variiert, alle anderen Kennzahlen täglich korrekt erfasst und bei der Rationsberechnung sowie Erfolgsberechnung berück-

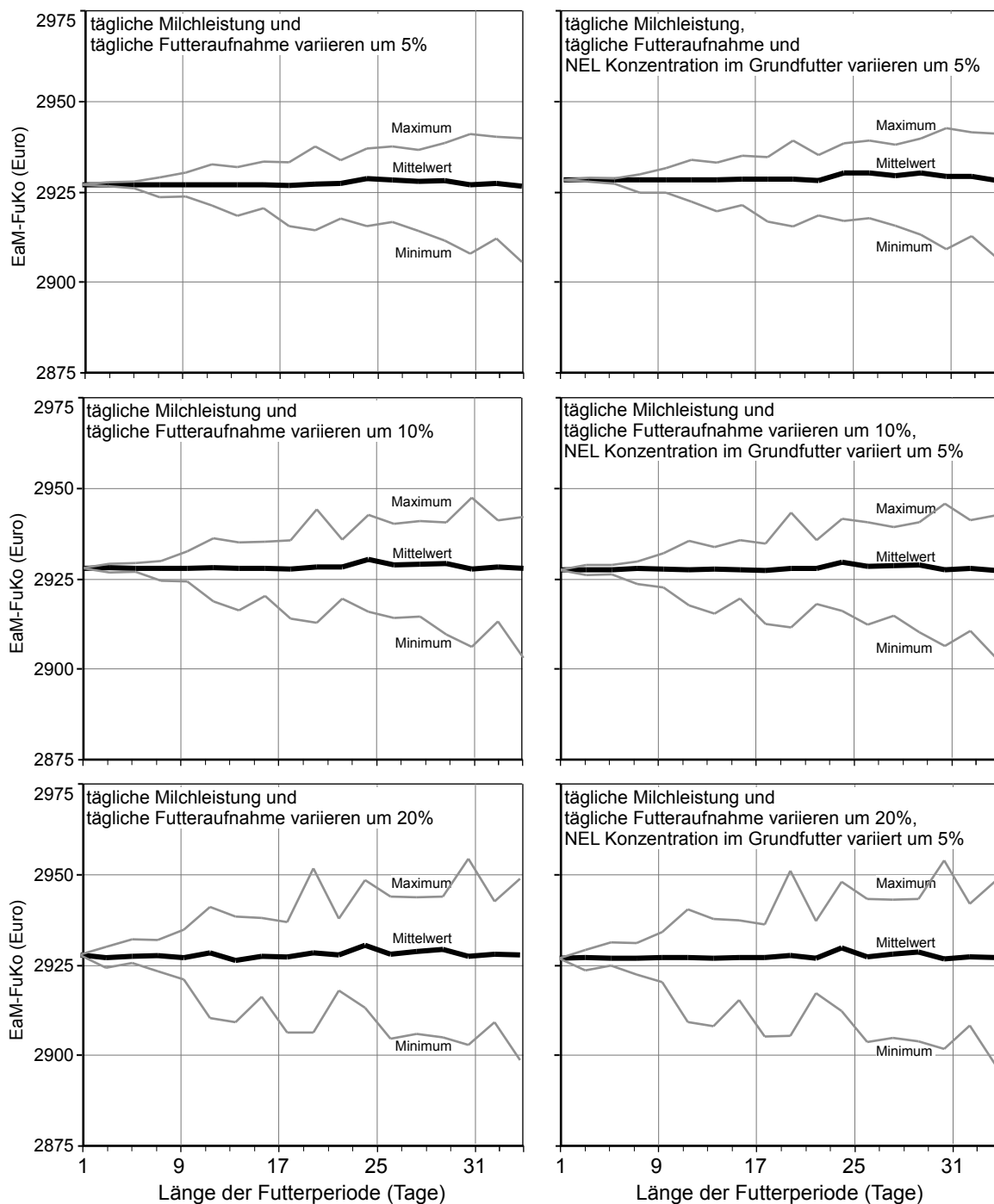


Abbildung 6:

Gemeinsame Variation von Tagesleistung, täglicher Futteraufnahme sowie täglicher Energiekonzentration im Grundfutter und ihre Bedeutung für die EAM-FuKo bei unterschiedlicher Länge der Futterperiode und differenziertem Einstiegszeitpunkt

sichtigt werden. Die Abweichungen ähneln denen aus Abbildung 4. Da der tägliche Energiekonsum von der Konzentration aber auch von der täglichen Futteraufnahme abhängt, dämpft diese auch hier die direkte Abhängigkeit der EAM-FuKo von der Futteraufnahme.

5.4 Streuung der Tagesleistung, Futteraufnahme und des Energiegehaltes im Grundfutter

Abbildung 6 zeigt die EAM-FuKo für die Konstellation, in denen Milchleistung und Futteraufnahme gemeinsam streuen (linke Teilgrafiken). Die rechten Teilgrafiken zeigen

die Ergebnisse, bei denen zusätzlich die Energiekonzentration im Grundfutter eine Varianz von 5 Prozent aufweist. Die Mittel der EaM-FuKo werden auch hier kaum beeinflusst. Mit zunehmender Länge der Futterperiode und Varianz wird die Spanne größer, ohne die der Abbildungen 3 bis 5 deutlich zu übertreffen.

Die tägliche Milchleistung weist im Vergleich zu den übrigen Kennzahlen die größten systematischen Veränderungen während einer ZKZ auf und führt dementsprechend zu den größten Abweichungen, wenn streuende Tageswerte einen Zeitraum repräsentieren. Dieser Effekt wird umso größer, je länger die Periode gewählt wird.

Mit der Streuung der täglich anfallenden Kennzahlen und der in den Betrieben praktizierten periodisierten Abstimmung von Ration auf Leistung plus Erhaltungsbedarf werden zwar im Mittel die tatsächlichen Aufwands- und Ertragszahlen erreicht, es kommt aber zu bedeutenden tierspezifischen Abweichungen und Fehleinschätzungen der EaM-FuKo.

6 Bewertung und Ausblick

Aus allen Kalkulationen geht hervor, dass sich die Streuungen in erheblichem Umfang egalisieren. Das bedeutet zudem, jede weitere streuende Kennzahl würde die Varianz der Resultierenden nur noch geringfügig vergrößern. Umgekehrt muss postuliert werden, dass bei den heutigen Verfahren der Milchproduktion die Genauigkeit nur dann entscheidend erhöht werden kann, wenn alle Daten täglich erfasst und einbezogen werden. So lange eine der Variablen, wie Milchleistung, Futteraufnahme, Energiegehalt im Futter etc., nicht täglich gemessen wird, sind Abweichungen bei den Erfolgskennzahlen unausweichlich.

Die hier vorgelegten tierspezifischen Kalkulationen offenbaren erhebliche Ungenauigkeiten und Fehleinschätzungen der tatsächlichen EaM-FuKo. Daraus lassen sich jedoch nur dann Aussagen für die Betriebe ableiten, wenn diese auch tatsächlich eine auf das Einzeltier bezogene Bemessung der Aufwands- und Ertragrelationen vornehmen. Vor allem in größeren Milchvieh haltenden Betrieben wird Gruppenhaltung praktiziert. Die Gruppen erhalten eine am gruppenspezifischen Leistungsbereich orientierte Grund- und Kraftfuttermischung zur freien Verfügung, dazu eine auf die tierspezifische Milchleistung abgestimmte Kraftfüttergabe. Damit wird eine zusätzliche Distanz zur tierspezifischen Bemessung der Aufwands- und Ertragrelationen deutlich, denn die Niveauunterschiede der individuellen Futteraufnahmekapazität, des Erhaltungsbedarfs etc. werden übergangen und bleiben unberücksichtigt. Die damit verbundenen Konsequenzen deuten sich hier nur an, eine umfassende Analyse ist dringend geboten.

Die Ergebnisse der hier vorgelegten Kalkulationen legen nahe, dass die heutigen Haltungs- und Fütterungs-

konzepte den tierindividuellen Ansprüchen nicht gerecht werden können und dass der Weg zum Ziel „precision farming“ noch weit ist.

Die Simulation mit streuenden Ausgangsdaten führt zu erheblichen Abweichungen bei den naturalen und monetären Bewertungskriterien und Erfolgskennzahlen. Daraus ergeben sich weitere Hinweise für die Ursachen der produktionstechnischen Schwierigkeiten, wie z. B. kurze Nutzungsdauer, große Belastungen und gesundheitliche Probleme etc.

Die Milchproduktion ist geprägt von in einander greifenden Puffersystemen,

- ein Magen- und Darmsystem, das ein Mehrfaches der Tagesration fasst,
- einer ausgeprägten Fähigkeit, Körpersubstanz in Leistung umzusetzen und
- einem extrem belastbaren Organismus.

Ein derartiges System kann jedoch nicht durch einfach gekoppelte, direkt und linear wirkende Mechanismen beschrieben werden. Die Unterschiede der Fütterungsnormen (NRC, 2001; GfE, 2001) erklären sich u. a. daraus.

Literatur

- GfE (2001) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder 2001. Frankfurt a M : DLG-Verl, 136 p, Energie Nährstoffbedarf Landwirtsch Nutztiere 8
- Gruber L, Pries M, Schwarz F, Spiekers H, Staudacher W (2006) Schätzung der Futteraufnahme bei der Milchkuh. DLG-Information 1/2006
- Gruber L, Schwarz F J, Erdin D, Fischer B, Spiekers H, Steingäß H, Meyer U, Chassot A, Jilg T, Obermaier A, Guggenberger T (2004) Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. In: „Qualitätssicherung in landwirtschaftlichen Produktionssystemen“ : 116. VDLUFA Kongress, 13.-17. Sept. 2004, Rostock. Darmstadt : VDLUFA, pp 484-504
- Helmers M (2005) Optimierungsstrategien zur ökonomischen Bewertung von Grundfutter. Osnabrück : Fachhochschule, 139 p
- NRC (2001) Nutrition requirements of dairy cattle. Washington, DC : National Academy Pr
- Olteneacu PA, Rounsaville TR, Milligan RA, Hintz RL (1980) Relationship between days open and cumulative milk yield at various intervals from parturition for high and low producing cows. J Dairy Sci 63:1317-1327
- Press WH, Teukolsky SA, Vetterling WT, Flannery BP (1992) Numerical recipes in C : the art of scientific computing. Cambridge : Cambridge Univ Press, 994 p
- Walter K, Heinrich I (2003) Die Entwicklung der Milchleistung, ihre einzelbetrieblichen Voraussetzungen und ihre Antriebskräfte : ermittelt aus Daten norddeutscher Betriebe mit intensiver Milchviehhaltung. Ber Landwirtsch 81(3):346-373
- Walter K (2008a) Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen : 2. Grundfutterqualität und erzielbare Leistung. Landbauforsch 58(3):211-230
- Walter K (2008b) Das Simulationsprogramm „Milchproduktion der Zukunft“ – methodischer Ansatz und Realisierung: Version 1.2. Braunschweig : FAL, 95 p, Ber Inst Agrartechnol Biosystemtechnik 398

Improvement of lamb production in Romania by crossbreeding of local Tsigai breed with high performance breeds

Elena Ilişiu*, Stelian Dărăban**, Marilena Gabi-Neacşu***, Vasile-Călin Ilişiu**** and Gerold Rahmann *****

Abstract

The Tsigai breed comprises 18 % of the entire Romanian sheep population, taking second place after the Turcana breed (69.9 %). These breeds are kept in mountain and submountain regions with large areas of pastures (24 % of the total pastures of Romania are located in these areas), which could be used for grazing with crossbreed lambs. For this reason, we preferred to use the Tsigai breed as the local breed for crossbreeding with specialized breeds for meat production in this experiment. The F1-heterosis-effect is used for this production improvement.

The results of a 100-day fattening experiment with young male Suffolk x Tsigai sheep, German Blackface x Tsigai young sheep and Tsigai young sheep are presented in this paper. The resulting crossbreed lambs and Tsigai pure breed young sheep were maintained under the same conditions, received the same food, and benefited from the same microclimate factors during entire fattening period. At the end of fattening, the crossbreed groups recorded higher mean of total gain than the control group (23.83 ± 0.67 kg to Suffolk x Tsigai, 22.62 ± 0.49 kg to German Blackface x Tsigai vs. 20.11 ± 0.56 kg to Tsigai, respectively $p < 0.001$, $p < 0.01$).

The lambs of crosses have a greater slaughter yield, with 2.50 percentage points to Suffolk x Tsigai ($p < 0.001$) and with 2.00 percentage points ($p < 0.001$) to German Blackface x Tsigai, comparatively to the Tsigai breed.

The carcasses of crossbreed lambs (5 from each genotype) have more meat of first quality. Statistically significant differences were recorded regarding the gigot (6.65 ± 0.09 kg, $p < 0.001$ to Suffolk x Tsigai, 6.29 ± 0.22 kg, $p < 0.01$ to German Blackface x Tsigai vs. 5.16 ± 0.25 kg to Tsigai breed). Also, higher values ($p < 0.01$) were recorded to cross lambs regarding the cutlet (3.26 ± 0.06 kg to Suffolk x Tsigai, 3.08 ± 0.03 kg to German Blackface x Tsigai) compared to the mother breed (2.72 ± 0.09 kg).

Keywords: Tsigai sheep, Romania, average daily gain, carcass qualities

Zusammenfassung

Verbesserung der Fleisch- und Schlachtkörperqualität von Lämmern der rumänischen Schafrasse Tsigai durch die Einkreuzung von Hochleistungsrassen

Tsigai-Schafe sind mit 18 % die zweitwichtigste Schafrasse in Rumänien. Diese robuste Rasse wird traditionell in extensiver Form in den gebirgigen Regionen des Landes gehalten, in der 24 % aller Weidegebiete Rumäniens zu finden sind. Die Leistungen dieser Rasse sind nur begrenzt konkurrenzfähig mit Hochleistungsrassen. Gebrauchskreuzungstiere sind eine Möglichkeit, die Rasse zu erhalten und trotzdem produktiv zu wirtschaften. Der F1-Heterosis-Effekt wird dabei ausgenutzt.

In einem 100-Tage-Fütterungsversuch wurden Kreuzungslämmer Suffolkschaf x Tsigai-Schaf, Deutsches Schwarzkopfschaf x Tsigai-Schaf und reinrassige Tsigai-Schafe in ihren Tageszunahmen und Schlachtkörperqualitäten miteinander verglichen. Die Lämmer wurden unter gleichen Bedingungen gehalten, erhielten das gleiche Futter während der gesamten Versuchszeit. Zum Mastende hatten die Kreuzungstiere signifikant höhere Lebendgewichte (Suffolk x Tsigai: $23,83 \pm 0,67$ kg ($p < 0,001$), Deutsches Schwarzkopf x Tsigai ($p < 0,01$): $22,62 \pm 0,49$ kg als reinrassige Tsigailämmer: $20,11 \pm 0,56$ kg). Auch das Ausschlachtgewicht war mit 2,5 % ($p < 0,001$) bzw. 2 % ($p < 0,001$) höher.

Jeweils fünf Schlachtkörper wurden auf Schlachtkörper- und Fleischqualitäten hin untersucht. Auch hier hatten die Kreuzungslämmer mehr Fleischanteil. So waren die Keulen von Suffolk x Tsigai mit $6,65 \pm 0,09$ kg ($p < 0,001$) schwerer als die von Deutschen Schwarzkopf x Tsigai ($p < 0,001$) und reinrassigen Tsigailämmern ($5,16 \pm 0,25$ kg). Ähnliche Unterschiede gab es beim Rückenmuskel ($3,26 \pm 0,06$ kg ($p < 0,01$); $3,08 \pm 0,03$ kg ($p < 0,01$); $2,72 \pm 0,09$ kg) und dem gesamten Anteil wertvoller Körperteile.

Schlüsselwörter: Tsigai Schafe, Rumänien, Tageszunahmen, Schlachtkörperqualitäten

* Research and Development Station for Sheep and Goat Reghin, 545300 Reghin, 11 Dedradului Street, Mureş County, Romania, statiuneareghinmures@yahoo.co.uk

** University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj – Napoca, Faculty of Animal Science and Biotechnology, 3 - 5 Mănăştur St., 400372 Cluj – Napoca, Romania, ovineusamv@yahoo.com

*** Research and Development Institute for Sheep and Goat Palas-Constanţa, 248 I.C.Brătianu Street, Constanţa County, Romania; icdoc@canals.ro

**** County Association of Sheep and Goat Breeding Sâncraiana, Sâncraiu de Mureş, 66 Principală Street, Romania, ajcocs_mures@yahoo.com

***** Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institute of Organic Farming, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Germany, gerold.rahmann@vti.bund.de

Introduction

Romania has 8,469,000 heads of ewes, currently holding 4th place in Europe after Great Britain, Spain and Greece (FAO 2010), the sheep numbers increased by 10.30 % compared to 2007. The Turcan race holds the highest share in the breed structure, followed by the Tsigai breed, both being rustic breeds, which are kept on large areas of pastures in mountain and submountain regions (24 % of the total pastures of Romania are located in these areas).

The local sheep breeds are optimally adapted to the environmental conditions. The Tsigai breed is a rustic breed, with a distinct degree of mobility, with high resistance to disease and weather, and is not very susceptible to technological environment conditions.

After 1990, the orientation of sheep rearing in Romania was changed to meat and/or milk production, and this tendency is expected to be continued in the future years (Pădeanu, 2008; Dărăban, 2008).

The main way to rapidly improve the growing speed, meat quality and milk production is the crossbreeding of the local sheep breeds (Turcana, Tsigai and Merino) with specialized sheep breeds for milk or meat production (Dărăban, 2008; Dragomirescu, 2007; Pădeanu et. al., 2008). For this purpose the professional associations of sheep breeders from Romania, as well as the specialized universities and research centres, imported female and male sheep specialized in milk and meat productions from different European countries for reproductive purposes during the last 10 years. We can mention the import of the meat breeds as: Charolais in the Arad – Timi areas; Hampshire in Cluj; Texel in Dobrogea area; and Bluefaced in Timi, Reghin and Bacău.

For milk production we note the import of Sard males and females in the Banat area and milk Belgian rams brought for experimental purposes by the University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj – Napoca.

These imports show the reorientation of the sheep breeders from mixed production towards the unidirectional productions in a first stage, followed by their specialization within a short time according to European and world orientation (Dărăban, 2008).

Besides their importance for nature conservation, agreed to at the Rio Convention (1992), signed by Romania, the races have historical and cultural importance. Using the crossbreeding between local Tsigai breed with specialized breeds for meat production presents a double advantage. The economic advantage resulting from this crossing is doubled by the advantage of maintaining animal genetic resources, because of the need to maintain parts of sheep flocks with pure breeds.

Material and method

The intensive fattening experiment developed over a 100-day time period was performed on young Tsigai male sheep (lot 1), Suffolk x Tsigai (lot 2), and German Blackface (noted GCCN) x Tsigai (lot 3) male young sheep, obtained at the Reghin Research and Development Station for Sheep and Goats in Mures County in 2007. The age of the Tsigai young sheep at the beginning of the fattening phase was 59 days, and 61 days at Suffolk x Tsigai and GCCN x Tsigai, respectively. The experimental groups were formed with 12 heads each. The fattening period comprised three phases: adaptation phase of 15 days, breeding-fattening phase of 65 days and finishing phase of 20 days. The animals groups were fed *ad libitum* with unique feed in three daily meals at 7:00, 13:00 and 19:00 for all groups. Water and salt were at discretion. The unique fodder was formed of combined fodder and lucerne hay in the case of adaptation phase; combined fodder, lucerne hay and hill hay in the case of breeding-fattening phase; combined fodder, corn flour and hill hay in the finishing phase. The combined fodder was purchased from SC ABOMIX Company. Its chemical composition is presented in Table 1.

Table 1:

Chemical composition of combined fodder used in preparation of unique fodder

Characteristic	Composition
Dry matter - %	89.74
Crude protein- %	15.08
EM Mcal /kg	3.1
Crude fat - %	1.58
Crude cellulose - %	7.18
Lysine - %	0.66
Methionine - %	0.33
Methionine + cystine - %	0.30
Calcium - %	1.09
Phosphorus - %	0.37
Sodium - %	0.29
Vitamin A - UI	6 700
Vitamin D3 - UI	1 340
Vitamin E - mg/kg	14

Structure of single fodder used during the fattening period is presented in Table 2. For the calculation of dry matter, crude protein and metabolizable energy of alfalfa, hill hay and corn flour were used standard tables of feed nutrient value.

At the end of the fattening phase, 5 heads of each group were slaughtered, and carcass traits were recorded.

During the fattening period, the following parameters were determined in the three groups: body weight at the beginning and in the end of each fattening phase, total body weight gain and average daily weight gain, dry matter intake and specific consumption. To determine dry matter intake (DMI) and specific consumption, the daily offers and leftovers were quantified during all experimental periods.

Table 2:

Structure of single fodder used in fattening experiment with lambs of three genotypes

Item	Fattening phase		
	Adaptation	Breeding-fattening	Finishing
Combined fodder (%)	75.0	70.0	55
Lucerne hay (%)	25.0	30.0	-
Hill hay (%)	-	10.0	10
Corn flour (%)	-	-	35
Dry matter/kg single fooder	86.0	87.0	87.0
Crude protein g/kg dry matter	174.0	149.0	138.0
ME Mcal/kg dry matter	3.1	3.1	3.7

The following parameters were recorded in slaughtered young sheep: live weight before slaughter, cold carcass weight, warm carcass weight, hot, cold and commercial slaughter yield, the weight of the main carcass parts (gigot, cutlet, shoulder + arm, carcasses rest) and conformational traits of the carcass (lengths, widths, depths).

The statistical analysis carried through with aid of the Winstatistical program, and statistical interpretation data was done based on Student test.

Results

The average daily weight gain and the fodder specific consumption are the most important growing parameters which influence the biological and economical growing efficiency in fattening young sheep.

In Table 3 the dynamics of the body weight are presented, as are total weight gain and average daily weight gain of the male young sheep during the fattening period of 100 days (01.05.2007 – 08.08.2007).

The average weight in the beginning of the fattening phase was of 16.61 kg in Tsigai, 17.31 kg in Suffolk x Tsigai and 17.26 kg in GCCN x Tsigai. The difference of 0.70 kg in advantage of the Suffolk x Tsigai and 0.65 kg in advantage of the GCCN x Tsigai is statistically not significant ($p > 0.05$).

During the three fattening phases, there were significant differences ($p < 0.05$) between Tsigai breed and groups of crossbreds in the adaptation phase, and in growing-fattening phase significant differences ($p < 0.01$) were recorded between Groups 1 and 2, and between Groups 1 and 3, respectively ($p < 0.05$).

At the end of the fattening phase, Suffolk x Tsigai recorded an average weight of 41.14 kg, GCCN x Tsigai 39.88 kg, and Tsigai young rams 36.78 kg. The difference of 4.42 kg between Groups 1 and 2 is statistically significant ($p < 0.001$). Also, the difference of 3.16 kg between Groups 1 and 3, is significant ($p < 0.01$).

Average daily gain recorded in fattening phases and the total fattening period is presented in the Table 4. The data table reveals that the crossbred groups have a greater potential for meat production.

Obtaining relatively low average daily gains during the accommodation phase can be attributed to the weaning crisis, reduced duration of phase (only 15 days), and accommodation of fattening technology. The three lots included in the experiment are recorded statistically significant differences ($p < 0.001$) between Groups 1 and 3, and between Group 1 and Group 2 respectively ($p < 0.01$).

In the growth-fattening phase there were no significant differences ($p > 0.05$) between groups of animals about average daily gain.

Appreciable difference, but not spectacular of 25.1 g/day between Groups 1 and 2, and 12.60 g/day between Groups 1 and 3 show the same similarity confirmed by other authors, and say that a protein level around 15 % crude protein is recommendable the lambs of Tsigai breed

Table 3:

The dynamics of the body weight in male young sheep during fattening (mean $\pm$ SEM)

Breed/Crossbreed (n=12)	Weight in the beginning of fattening (kg)	End of adaptation phase (kg)	End of the growth - fattening phase (kg)	Weight in the end of finishing (kg)	Total gain (kg)
Tsigai	16.61 $\pm$ 0.38	18.78 $\pm$ 0.50	33.22 $\pm$ 0.97	36.72 $\pm$ 0.78	20.11 $\pm$ 0.56
Suffolk x Tsigai	17.31 $\pm$ 0.38NS	20.62 $\pm$ 0.43*	36.69 $\pm$ 0.52**	41.14 $\pm$ 0.50***	23.83 $\pm$ 0.67***
GCCN x Tsigai	17.26 $\pm$ 0.37 NS	20.50 $\pm$ 0.49*	35.76 $\pm$ 0.52*	39.88 $\pm$ 0.64**	22.62 $\pm$ 0.49**

Note: Student test: NS = not significant ($p > 0.05$); * = significant ($p < 0.05$); ** = distinctly significant ($p < 0.01$); *** = very significant ($p < 0.001$).

(Călătoiu et al., 1977), while the lambs obtained from specialized breeds for meat production or crossbreed, need a higher protein level, situated at around 17 % (Călătoiu A., 1986).

In the finishing phase, the difference (d) of 47.5 g between Groups 1 and 2 is statistically significant ($p < 0.01$). Between Groups 1 and 3, although the absolute difference recorded is 31 g/day, due to high variability, the difference is insignificant ($p > 0.05$). It appears that during finishing phase, with increasing age of lambs, decrease the average daily gain comparative to growing-fattening period, with 47 g of the Tsigai breed, 25 g at Suffolk x Tsigai and 29 g at GCCN x Tsigai.

(source: National Meteorological Administration - Ministry of Environment and Sustainable Development). The values observed are within the range recommended for the NRC (1985), for this animal category, which varies from 1,0 to 1,3 kg/day (for the first two fattening periods, where the live weight of animals varies from 18,78 to 36,69 kg). For the last fattening period (20 day), voluntary dry matter intake is under norms for the NRC (1985).

Recovery feed capacity depends on a number of hereditary and environmental factors. Among hereditary factors, the race, sex, age, individuality play an important role, and of the environmental factors, the energy-protein level of the food, feed structure (single fodder) and mode of ad-

Table 4:

The dynamics of the average daily gain (ADG) in male young sheep during fattening (mean $\pm$ SEM)

Breed/ Crossbreed (n=12)	Adaptation (15 days)	Growth-fattening (65 days)	Finishing (20 days)	Average daily gain of total fattening (100 days)
Tsigai	144.60 $\pm$ 11.36	222.30 $\pm$ 12.62	175.00 $\pm$ 11.29	201.10 $\pm$ 6.83
Suffolk x Tsigai	220.60 $\pm$ 17.88**	247.40 $\pm$ 8.29 NS	222.50 $\pm$ 7.88**	238.30 $\pm$ 2.35***
GCCN x Tsigai	215.90 $\pm$ 13.19***	234.90 $\pm$ 4.46 NS	206.00 $\pm$ 13.83 NS	226.20 $\pm$ 4.70**

Note: Student test: NS = not significant ($p > 0.05$); ** = distinctly significant ($p < 0.01$); *** = very significant ($p < 0.001$).

Table 5:

Daily dry matter intake (DMI), ME (metabolizable energy) and CP (crude protein) during fattening period

Fattening phases	Genotypes								
	Tsigai			Suffolk x Tsigai			GCCN x Tsigai		
	DMI kg/ animal	Mcal ME/ kg animal	Crude protein g/animal	DMI kg/ animal	ME MJ/ animal	Crude protein g/animal	DMI kg/ animal	ME MJ/ animal	Crude protein g/animal
Adaptation	0.91	2.8	158.9	1.08	3.4	187.56	1.07	3.4	187.42
Breeding-fattening	1.20	3.7	179.87	1.21	3.7	180.61	1.21	3.7	180.13
Finishing	0.95	3.5	131.53	1.02	3.7	140.05	0.97	3.6	133.28

Concerning average daily weight gain, the differences between the average values of lambs from the crossbreeding and those of Tsigai breed are statistically significant ($p < 0.001$) between Group 1 and Group 2, and between Group 1 and Group 3 ($p < 0.01$).

The values obtained regarding daily dry matter intake, metabolizable energy and crude protein are given in Table 5. The data table shows that in the growth-fattening phase the highest dry matter intake was recorded, with values very close between the three groups. Lower dry matter intake recorded in the finishing phase can be explained by the fact that this experience was made in 2007 (finishing phase ranged last decade of July and first decade of August), a year characterized by very high temperature, being the warmest year in the last 107 years

ministration influence the results of young sheep submitted to intensive fattening.

The evolution of specific consumption (SC) of feed throughout the fattening period has a major importance in the sense that the economic efficiency of fattening is dependent on this indicator.

The evolution of specific consumption (SC) of feed at all stages of fattening and total fattening period are shown in Table 6.

Compared to the fattening phases, it is noticed that in the adaptation phase the highest protein consumption was recorded in all groups and in finishing stage, the highest energy consumption. High values of specific consumption in finishing phases can be explained by the fact that summer 2007 was very dry, with high maximum temperatures, which led to reduction in the feed recovery.

Table 6:
Evolution of specific consumption (SC) on fattening phases

Item	Specific consumption					
	Genotypes					
	Tsigai		Suffolk x Tsigai		GCCN x Tsigai	
	ME Mcal/kg gain	Crude protein g/gain	ME Mcal/kg gain	Crude protein g/gain	ME Mcal/kg gain	Crude protein g/gain
Accommodation	19.6	1098.38	15.2	850.0	15.5	867.70
Breeding-fattening	16.5	809.67	14.9	750.53	15.7	767.27
Finishing	19.8	751.63	16.6	629.46	17.4	647.01
Total fattening	17.4	830.72	15.3	728.25	15.9	759.75

The highest potential for meat production, with the lowest specific consumption (SC) it holds of Suffolk x Tsigai group, followed very closely by GCCN x Tsigai crossbreed. In less improved breeds from Romania (Tsigai, Turcana), the conversion degree of fibrous feed in meat production is greater than in improved breeds that have higher nutrient requirements, are early, and are more demanding with the food quality meaning they require higher proportions of concentrates in the ration (Călătoiu A., 1986).

Degree of food balancing in nutrients is the substrate material of growth, development and fattening, directly influencing the growth rate and default, index of feed conversion and finished product quality.

Single feed used in the experiment was well balanced and assured animal nutrient requirements, compared to known international standards for the growing and fattening of young lambs (NRC, 1985).

The average values and differences concerning body weight before slaughter, hot and cold carcass weight, hot, cold and commercial slaughter yield are presented in Table 7.

Thus, Suffolk x Tsigai has realized an average slaughter weight of 40.83 kg, and GCCN x Tsigai 39.68 kg, while Tsigai young sheep achieve 36.80 kg. The differences recorded are significant between Lots 1 and 2 ($p < 0.001$) and between Lots 1 and 3 ($p < 0.01$).

The warm carcass weight in crossbreed and Tsigai breed recorded average values of 19.80 kg at Suffolk x Tsigai, 19.04 kg at GCCN x Tsigai and 16.95 kg at Tsigai breed, with significant difference (+2.85 kg, $p < 0.001$) to the advantage of the Suffolk x Tsigai and GCCN x Tsigai (+2.09 kg, $p < 0.01$). Also, significant differences ($p < 0.01$) between a group of Suffolk x Tsigai (+2.92 kg) and GCCN x Tsigai (+2.10 kg) were recorded regarding the cold carcass weights compared with the Tsigai breed. The differences were in favour of crossbreed lots.

Regarding the hot, cold and commercial slaughter yield, significant differences ($p < 0.001$) were recorded between crossbreed lots and the Tsigai breed, the differences being to the advantage of crossbreed lambs.

Concerning the gigot, cutlet, shoulder + arm and carcass rest, the result are presented in Table 8.

The crossbreed lots recorded greater average values compared to the Tsigai pure breed, with differences of 1.49 kg, 0.54 kg, 0.61 kg and 0.28 kg, respectively to Suffolk x Tsigai, with significant differences regarding the gigot ($p < 0.001$), cutlet ($p < 0.01$) and shoulder + arm ($p < 0.01$). The differences were to the crossbreed advantage. The values obtained for the GCCN x Tsigai were also higher compared to the Tsigai breed, the differences recorded were significant for gigot (1.13 kg, $p < 0.01$),

Table 7:
The mean values of the carcass weight and slaughtering yield

Breed/ Crossbreed (n=5)	Trait					
	WBS (kg)	HCW (kg)	CCW (kg)	HSY (%)	CSY (%)	CY (%)
Tsigai	36.80	16.95	16.56	46.06	45.00	49.27
Suffolk x Tsigai	40.83***	19.80***	19.48**	48.49 ***	47.71***	51.92 ***
GCCN x Tsigai	39.68 **	19.04**	18.66**	47.98***	47.03***	51.23 ***

Note: WBS-Weight before slaughtering; HCW-Hot carcass weight; CCW-Cold carcass weight; HSY – Hot slaughter yield; CSY – Cold slaughter yield; CY – Commercial yield;
Student test: ** = distinctly significant ($p < 0.01$); *** = very significant ($p < 0.001$).

Table 8:

The main cut sections of carcass from young rams submitted to intensive fattening (mean $\pm$ SEM)

Genotypes (n=5)	Trait				
	Cold carcass weight (kg)	Gigot (kg)	Cutlet (kg)	Shoulder + arm (kg)	Carcass rest (kg)
Tsigai	16.56 $\pm$ 0.44	5.16 $\pm$ 0.25	2.72 $\pm$ 0.09	2.94 $\pm$ 0.13	5.74 $\pm$ 0.15
Suffolk x Tsigai	19.48 $\pm$ 0.27**	6.65 $\pm$ 0.09***	3.26 $\pm$ 0.06**	3.55 $\pm$ 0.04**	6.02 $\pm$ 0.06 NS
GCCN x Tsigai	18.66 $\pm$ 0.38**	6.29 $\pm$ 0.22**	3.08 $\pm$ 0.03**	3.43 $\pm$ 0.12*	5.86 $\pm$ 0.08 NS

Note: Student test: NS=not significant ($p > 0.05$); *=significant ($p < 0.05$); ** = distinctly significant ($p < 0.01$); ***= very significant ($p < 0.001$).

Table 9:

Carcass conformation traits in slaughtered young rams (mean $\pm$ SEM)

Trait	Genotypes		
	Tsigai (n=5)	Suffolk x Tsigai (n=5)	GCCN x Tsigai (n=5)
Big length of the carcass (cm)	71.22 $\pm$ 0.11	72.43 $\pm$ 0.48*	74.12 $\pm$ 0.67**
Small length of the carcass (cm)	61.53 $\pm$ 0.09	62.31 $\pm$ 0.26***	63.36 $\pm$ 0.28***
Width at shoulders (cm)	18.62 $\pm$ 0.19	20.30 $\pm$ 0.18***	20.21 $\pm$ 0.16***
Width at thorax (cm)	25.65 $\pm$ 0.24	27.16 $\pm$ 0.26**	26.72 $\pm$ 0.27*
Width at gigot (cm)	19.81 $\pm$ 0.19	21.33 $\pm$ 0.27**	21.54 $\pm$ 0.49*
Deep of the thorax (cm)	26.69 $\pm$ 0.48	29.80 $\pm$ 0.52**	28.55 $\pm$ 0.46*
Thorax perimeter (cm)	71.63 $\pm$ 0.59	74.56 $\pm$ 0.24**	74.82 $\pm$ 0.16***
Gigot perimeter (cm)	42.20 $\pm$ 0.64	48.78 $\pm$ 0.58***	46.92 $\pm$ 0.49***
Gigot length (cm)	23.82 $\pm$ 0.49	23.96 $\pm$ 0.38 NS	25.33 $\pm$ 0.33*

Note: Student test: NS = not significant ($p > 0.05$); * = significant ($p < 0.05$); ** = distinctly significant ($p < 0.01$); *** = very significant ($p < 0.001$).

cutlet (0.36 kg, $p < 0.01$), and shoulder + arm weight (0.49 kg, $p < 0.05$).

Presented in Table 9 are the average values and variability estimates for the carcass conformational traits of the slaughtered young male sheep.

In all analyzed traits, the crossbreed groups recorded greater average values compared to the Tsigai breed. Statistically significant differences ($p < 0.001$) between Suffolk x Tsigai, GCCN x Tsigai lots and Tsigai breed were recorded in small length of the carcass (62.31 $\pm$ 0.26 cm to Group 2, 63.36 $\pm$ 0.28 cm to Group 3 vs. 61.53 $\pm$ 0.09 cm to Group 1), width at shoulders (20.30 $\pm$ 0.18 cm to Suffolk x Tsigai, 20.21 $\pm$ 0.16 cm to GCCN x Tsigai vs. 18.62 $\pm$ 0.19 cm to Tsigai breed) and gigot perimeter (48.78 $\pm$ 0.58 cm to Group 2, 46.92 $\pm$ 0.49 cm to Group 3 vs. 42.20 $\pm$ 0.64 cm to Group 1). Also, significant differences were recorded between GCCN x Tsigai and Tsigai breed regarding the thorax perimeter (74.82 $\pm$ 0.16 cm vs. 71.63 $\pm$ 0.59 cm, $p < 0.001$).

Significant differences ($p < 0.01$) were recorded between Suffolk x Tsigai crossbreed and Tsigai breed in width at thorax (+1.51 cm), width at gigot (+1.52 cm), deep of the thorax (+3.11 cm) and thorax perimeter (+2.93 cm),

and between GCCN x Tsigai and Tsigai breed in big length of the carcass (+2.90 cm). The differences are in favour of crossbreed lots.

Significant differences ($p < 0.05$) between GCCN x Tsigai and Tsigai breed were recorded in width at thorax (+1.07 cm), width at gigot (+1.73 cm), deep of the thorax (+1.73 cm) and gigot length (+1.51 cm). Between Suffolk x Tsigai and Tsigai breed significant differences were recorded in big length of the carcass (+1.21 cm).

Conclusions

1. The growth and development dynamics of young sheep from the three types of breeds subjected to intensive fattening highlights a higher potential of meat production in Suffolk x Tsigai and GCCN x Tsigai cross breeds, compared with the Tsigai breed.
2. For conformational carcass traits, the crossbreeds Suffolk x Tsigai and GCCN x Tsigai show longer and larger carcasses compared with Tsigai breed, which approaches the carcass format of meat breeds.
3. Because the F1 crossing effect will not remain on a national level, the Tsigai breed may be added in a plan

to create a local type, characterised by high indices of meat production, by crossings with specialised breeds in this direction.

4. The Tsigai breed was improved towards meat production in pure breed growth. A national programme (EU funded) could help to preserve local breeds through crossbreeding.

References

- Calătoiu A (1986) Alimentația ovinelor pe baza nutrețurilor de volum. București Ș: Ceres, 241 p
- Calătoiu A, Vicovan A, Enescu S (1977) Influența nivelului de proteină și energie asupra procesului de îngrășare a mieilor. *Lucrările Științifice ale stațiunii centrale de cercetari pentru creșterea ovinelor, Palas–Constanța* 3:371-379
- Dărăban S (2008) Study concerning some carcass traits in young sheep fattened in different systems [online]. To be found at <http://journals.usamvcj.ro/zootehnie/article/view/779/786> [quoted 28.10.2010]
- Dragomirescu M (2007) Carnea de oaie, posibilă oportunitate. *Revista AgriPlus* 14:46–48
- National Research Council (1985) Nutrient requirement of sheep. Washington : National Academy Press, 99 p
- Pădeanu I, Voia S, Dărăban S, Sauer M, Hrinca G, Groza M (2008) Research regarding the growing speed of crossbreed suckling lambs Charollaise x Merinos de Transilvania, in Banat area. *Lucrări tiințifice Zootehnie i Biotehnologii* 41(2):768–722

Intramammary infections in dairy goats: recent knowledge and indicators for detection of subclinical mastitis

Tanja Stuhr* and Karen Aulrich*

Abstract

Intramammary infections (IMI) in goats constitute an enormous animal health problem, alter milk composition, lower the hygienic value of milk, impair the processing properties of milk and cause high economical losses in dairy farming today. A great part of IMI in dairy goats can be assigned to the group of subclinical mastitis (SCM) with no outward clinical symptoms. Staphylococci are certainly the most common type of pathogens in goat milk, but the frequency of occurrence of this pathogenic group varies greatly. This review tries to summarise the most recent knowledge about IMI in dairy goats and possible parameters for detecting this disease with the main focus on SCM.

The gold standard for mastitis detection is the determination of bacteriological status, but analysis is time-consuming, costly and not relevant for practical use. Suggestions have been made to use parameters like somatic cell count (SCC), the California-Mastitis-Test (CMT), electrical conductivity (EC), milk composition (fat, protein, lactose), N-acetyl- β -D-glucosaminidase (NAGase), lactoferrin (Lf), β -Glucuronidase and lactate dehydrogenase (LDH) alternatively. SCC, the most established parameter for the diagnosis of the udder health status in cows, seems to be no reliable parameter for the detection of SCM at the proposed static level of $1 \cdot 10^6$ cells ml^{-1} , which has been proposed by many authors. SCC in goats shows great variations (e.g., during lactation) and often higher numbers of $> 1 \cdot 10^6$ cells ml^{-1} without incidence of SCM were measured. SCC can increase solely due to physiological factors (like breed, parity, stage of lactation, estrus), hygienic standards and milking equipment. The impact of IMI on the parameters mentioned above, as well as the efficiency of diagnostic tools is discussed in this review.

Keywords: goats, mastitis, detection, staphylococci

Zusammenfassung

Euterinfektionen bei Milchziegen: Stand des Wissens und Indikatoren zum Nachweis subklinischer Mastitis

Euterinfektionen, eins der vordringlichen Gesundheitsprobleme bei Milchziegen, führen zu Veränderungen der Milchezusammensetzung, zur Minderung der hygienischen Wertigkeit, zu Beeinträchtigungen der Käseerzeugung und verursachen hohe wirtschaftliche Verluste in der Milchviehhaltung. Ein großer Anteil intramammärer Infektionen (IMI) tritt in der subklinischen Form, also ohne Anzeichen klinischer Symptome, auf. Staphylokokken stellen bei Milchziegen die häufigste Erregergruppe innerhalb subklinischer Mastitiden dar, wobei die Häufigkeit des Auftretens stark variiert. Die vorliegende Studie versucht einen Überblick über Erkenntnisse zu Euterinfektionen bei Milchziegen zu geben und mögliche Parameter zur Diagnose subklinischer Mastitiden aufzuzeigen. Die bakteriologische Untersuchung stellt den Goldstandard für die Erkennung von Mastitiden dar, diese Form der Analyse ist jedoch zeitaufwändig, teuer und wenig praxisgeeignet. Die Eignung von Zellzahl (SZZ), California-Mastitis-Test, elektrischer Leitfähigkeit, Milchinhaltsstoffen (Fett, Protein, Laktose), N-Acetyl- β -D-Glucosaminidase, Lactoferrin, β -Glucuronidase oder Lactat-Dehydrogenase zur Erkennung von Euterinfektionen bei Milchziegen werden in dieser Studie untersucht. SZZ, der am besten etablierte Parameter zur Einschätzung der Eutergesundheit bei Kühen, scheint wenig geeignet für den Nachweis subklinischer Mastitiden bei Milchziegen zu sein. Die SZZ zeigt bei Ziegen große Schwankungsbreiten (z. B. im Verlauf der Laktation) und oft werden Werte $> 1 \cdot 10^6$ Zellen ml^{-1} ohne Anzeichen einer Euterinfektion gemessen. Die SZZ kann allein aufgrund physiologischer Faktoren (Rasse, Laktationsstadium, -nummer, Brunst), des Hygienestands oder der Melktechnik ansteigen. Die Auswirkungen IMI auf die oben genannten Parameter, sowie die Eignung der untersuchten Parameter als diagnostische Methode soll in diesem Beitrag diskutiert werden.

Schlüsselwörter: Milchziegen, Mastitis, Bestimmung, Staphylokokken

* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institute of Organic Farming, Trenthorst 32, D-23847 Westerau, Germany
corresponding author: karen.aulrich@vti.bund.de

1 Introduction

Intramammary infections (IMI) cause changes in the milk composition, lowers the hygienic value of milk and impairs the suitability for cheese dairy. Obviously subclinical mastitis (SCM) is one of the most important infectious diseases in small ruminants. Furthermore, SCM represents a constant risk of infection for the whole stock. As there is a need for higher milk yields and more stringent requirements on milk quality in dairy goat herds, udder infections must be prevented or detected at an early stage not only to protect the farmer but rather the consumer. Indirect tests suitable for setting limit values indicating SCM are yet to be found.

Udder infections in goats play a similarly important role as in dairy cows. Common parameters used in practice for the diagnosis of mastitis in dairy cows are the electrical conductivity (EC) and the somatic cell count (SCC). The assessment of udder health in goats, however, seems to be more difficult. Most studies have examined the suitability of SCC and California-Mastitis-Test (CMT) for detecting SCM in goat's milk. Suggested threshold values for SCC range between $750 \cdot 10^3$ and $1 \cdot 10^6$ cells ml^{-1} , but lack practicability as SCC shows greater ranges depending on parity, breed, lactation stage and variety of pathogens (Hammann, 1999; Bergonier et al., 2003). Despite the unique characteristics of goat milk, limit values for the SCC already exist in some countries (Pirisi et al., 2007).

Leading authors investigating the function of lysosomal enzymes as anti-inflammatory agents proposed β -Glucuronidase and N-acetyl- β -D-glucosaminidase (NAGase) as possible early indicators for SCM. The enzyme lactate dehydrogenase (LDH) is already in use for quality assurance of cow milk and was also investigated as a possible parameter for infection diseases in goats indicating differences in status of infection. As even light infections of the udder lead to a change in milk composition, ingredients like lactose or lactoferrin (Lf) are also mentioned in studies regarding SCM in goats. Lf has bacteriostatic properties which could indicate an udder infection at an early stage. The paper reviews the recent knowledge about IMI in goats and tried to reflect the published investigations on possible indicators of SCM in goats.

2 Intramammary infections in dairy goats: recent knowledge

Intramammary infections constitute an enormous animal health problem and causes high economical losses in dairy farming today. Mastitis is defined as an infectious disease of the mammary gland and leads in its clinical form to pathological changes of the udder accompanied by changes in milk composition. SCM reveals no outward

symptoms of inflammation, with the exceptions of an increased number of cells and the detection of pathogens in the milk. Investigations from Boscós et al. (1996) demonstrated that the prevalence of bacteria in examined udder halves differed between herds with percentages from 19.0 to 35.7 %. In addition, Contreras et al. (1995) found ranges from 7 % to 34 % in infected glands. Bergonier et al. (2003) reviewed the literature data until 2002 and described the prevalence of SCM in goats ranging from 20 to 50 % related to means of SCC in bulk milk. More recent studies found prevalence in the upper and lower range of these data. Moroni et al. (2005) found an average prevalence in individual samples of two goat herds of 49.8 %. Contreras et al. (2007) summarized the results from various research groups and noticed a prevalence of SCM in goats of 5 to 30 %. Other studies from Manser (1986) and Kalogridou-Vassiliadou et al. (1992) found significantly higher percentages of bacteriologically positive milk samples (up to 79.0 % and 81.4 %, respectively). Only recently, Vasíu et al. (2008) diagnosed a prevalence of 70.21 % of SCM in individual goat milk samples taken from flocks with somatic cell counts $> 1 \cdot 10^6$ cells ml^{-1} .

IMI can be caused by several different groups of pathogens. Depending on the risk of infection udder infections are classified into contagious or environmental associated mastitis (Hogan & Smith, 1987). Besides this discrimination it can be distinguished between minor and major pathogenic bacteria (Schalm et al., 1971). While minor pathogens (coagulase negative staphylococci, *Corynebacterium* spp.) usually lead to mild forms of disease in the glandular tissue, the patterns of infections with major pathogens (*Escherichia coli*, *Staphylococcus (S) aureus*, *Streptococcus (Sc) dysgalactiae*, *Streptococcus uberis*) are much more obvious and lead to increased cell numbers (Lerondelle & Poutrel, 1984; Harmon, 1994).

Coagulase negative staphylococci (CNS) are capable of persisting in the udder and lead to subclinical cases but could also cause clinical mastitis (Deinhofer & Pernthaler, 1995; Paape et al., 2001). Thus, CNS are viewed as the most prevalent organisms indicating SCM (Contreras et al., 2007; Leitner et al., 2007) and were detected in more than 50 % of SCM cases (Vihan, 1989; Contreras et al., 2003). Bergonier et al. (2003) found in their review of several studies a prevalence of CNS-induced SCM ranging from 25 to 93 % in different flocks. The more recent bacteriological studies of goat milk show a significant increase in CNS infections. The percentage of CNS out of mastitis pathogens isolated in the years 1998 to 2003 in goats rose from 50 % to 68.8 % (Winter, 2009). Moroni et al. (2005) found a prevalence of 80.7 % of CNS in cases of SCM. The level of CNS might also change during lactation. SCM often lasts over 3 to 4 months caused by only one pathogen and is frequently followed by other infections

and normally not eliminated during lactation (Bergonier et al., 2003). Studies from Aulrich & Barth (2008), investigating one dairy goat herd, showed a decreasing level of CNS during the lactation period. Prevalence sank over time of lactation starting from 33 % in the first days and finally to 15 % after 263 days.

Important pathogens of the group of CNS are *S.caprae*, *S.chromogenes*, *S.epidermidis*, *S.haemolyticus*, *S.warneri* and *S.xyloso* (Valle et al., 1991). Staphylococcal species isolated from goat milk samples by Deinhofer & Pernthaner (1993) were *S.epidermidis*, *S.caprae*, *S.lentus*, *S.simulans*, *S.capitis*, *S.lugdunensis*, *S.xyloso*, *S.chromogenes*, *S.hominis*, *S.arlettae*, *S.warneri*, *S.sciuri* and *S.saprophyticus*. Some CNS in goat might even be attributed to the group of major pathogens. Especially *S.simulans* and *S.hycus* can cause persistent and stable infections in cows (Aarestrup et al., 1999) and are correlated with the occurrence of clinical symptoms of mastitis (Myllys, 1995). CNS can be divided into more than 30 different species and subspecies (Aarestrup et al., 1999), but it is still unclear what role CNS, either considered as non-pathogenic or of low pathogenicity, play in clinical or subclinical infections of the mammary gland of dairy goats.

Bergonier et al. (2003) described *S.caprae* as the most important pathogen in goats and furthermore *S.epidermidis*, *S.xyloso*, *S.chromogenes* as well as *S.simulans*. Several studies (Moroni et al., 2004; Moroni et al., 2005) have shown that *S.epidermidis* is also one of the most prevalent species. Moroni et al. (2005) found *S.epidermidis* in 48.1 % of all bacteria isolates in one herd with total absence of *S.caprae*, while *S.caprae* was the dominant isolate with 43.5 % in the other herd with total absence of *S.epidermidis*. This study shows that varying prevalence of different CNS pathogens can be found in different goat herds. An overview supporting this statement can be found in studies summarized by Raynal-Ljutovac et al. (2007).

Coagulase-positive staphylococci (CPS) are a staphylococcal species with high pathogenic potency. An important species of CPS is *S.aureus*, which is one of the most common pathogens in dairy cows and is predominantly found in the affected mammary gland. *S.aureus*, mainly transmitted via the milking equipment, is characterized by pathogen specific virulence factors that can damage the immune defense of the udder. Therefore, *S.aureus* is a highly contagious germ with poor treatment success. As *S.aureus* has the ability to produce toxins it can cause food poisoning after consumption of contaminated dairy products. It is expected that the prevalence of udder infections particularly caused by other staphylococci and *S.aureus* is 20 % to 50 % higher in goats than in cows (Maurer et al., 2004).

Although the role of *S.aureus* in clinical mastitis in the goat has clearly been identified (Maisi & Riipinen, 1991) a statement on *S.aureus* influencing SCM is difficult.

Incidence of clinical mastitis in small ruminants tends to be lower than 5 % (Bergonier et al., 2003). In the study of Moroni et al. (2005), *S.aureus* was found in 3.6 % of infected samples. Vasii et al. (2008) found *S.aureus* in 7.4 % of 94 individual milk samples taken at the end of lactation, which is equivalent to 10.6 % *S.aureus* findings with regard to all infected samples. One of the most recent studies analysing milk samples from seven goat herds showed a prevalence of *S.aureus* in 6.2 % of bacteriologically positive samples (Mork et al., 2010). But as with CNS, the prevalence of *S.aureus* might clearly be higher. Boscós et al. (1996) found a prevalence of *S.aureus* in 18.5 % of bacteriologically positive milk samples. According to studies of Winter (2009) for the years 1998 to 2003, *S.aureus* can be detected in between 20.8 % and 46.6 % as a pathogen of SCM. The study of Ravnal-Ljutovac et al. (2007) found *S.aureus* in from 0 % and up to 36.9 % of infection cases.

Streptococci are among the classic animal associated pathogens, the different species of streptococci differ significantly in their occurrence and pathogenicity. *Sc.agalactiae* is one of the highly contagious pathogens, leading to massive losses in dairy farming (Wolter et al., 2004). In cases of IML, *Sc.dysgalactiae* occurs sporadically and leads only to mild forms of disease and is generally easy to cure. *Sc.uberis* and *E.coli* are pathogens associated with the environment and as such widespread. They often occur in the context of other factors that promote mastitis. Streptococcal intramammary infections can occur in both subclinical and clinical cases. *Corynebacteria*, in particular *Corynebacterium bovis*, are common colonizers of the teat canal flora. These animal associated agents may be mainly responsible for a large part of subclinical forms of mastitis in the goat. *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Mannheimia haemolytica*, *Corynebacteria* and fungi occur less frequently in cases of IML in goats (Contreras et al., 2007).

3 Detection of SCM in dairy goats

The determination of bacteriological status (BS) of milk samples is regarded as a "Gold Standard" for the determination of the udder health status. The BS gives the number of aerobic microorganisms developing at a temperature of 30°C and is expressed as a number of colony forming units (CFU) per ml. According to the International Dairy Federation (Kästli, 1967) the DVG (1994) defined cell count threshold values for categorisation of udder health in cows. Values above 100 10³ cfu ml⁻¹ when associated with evidence of udder pathogens are referred to as mas-

titis and result in a reduction of processing properties and lead to large losses in milk production (Hamann, 2002). In Regulation (EC) N° 853/ 2004 thresholds as geometric mean for maximum CFU are set within the EU for raw cow milk at this level of $100 \cdot 10^3$ cfu ml⁻¹, for raw goat milk used for the manufacture of products with heat treatment at $1.5 \cdot 10^6$ cfu ml⁻¹ and for products without any heat treatment at $500 \cdot 10^3$ cfu ml⁻¹. Zangerl & Kupfner (2009) suggested a limit value for total bacterial count of $< 100 \cdot 10^3$ cfu ml⁻¹ for a goat milk payment system in Austria. The reason for having BS as one criteria within a payment system is explained by the need for bacteriological screening since SCC was not highly correlated to the infection status (Min et al., 2007) and the other indirect methods used in evaluating the quality of cows milk are not applicable for evaluating the bacteriological quality of goat milk. Unfortunately, the analyses needed for the determination of CFU are too costly and time-consuming. Thus, methods for the indirect detection of udder health status and bacterial infection are urgently being searched for.

3.1 Somatic Cell Count (SCC)

The use of the somatic cell count is one of the most established methods for the diagnosis of udder health in cows (Brade, 2001; Paape et al., 2007). Unfortunately, SCC could yet not be established as a proven marker for SCM in goats. Factors like parity, stage of lactation, estrus and breed contribute to significant changes of SCC in milk of dairy goats. SCC is also affected by the nature of infection with minor or major pathogens. Furthermore, mycoplasmal infections can lead to highly increased SCC in goat milk (Corrales et al., 2004). In contrast, lentiviral infections by Caprine Arthritis Encephalitis Virus (CAE) may also lead to higher SCC, but seem to be a minor contributor to SCC in cases of persistent SCM (Bergonier et al., 2003). Thus, so far no reliable thresholds values could yet be defined for SCC in goat milk. Some authors even state that SCC can be viewed as not suitable for the monitoring of caprine mastitis (Vihan, 1989).

Depending on the individual study, goat milk has a significantly higher cell count than milk from cows (Maurer et al., 2004; Winter, 2009) and higher variability in SCC (Kloppert et al., 2000). While the health of udder quarters of cows are confirmed by SCC up to $100 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹ (DVG, 2002), the maximum SCC for goats range from of $200 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹ up to a few million cells ml⁻¹ (Raynal-Ljutovac et al., 2007).

In a summarising study conducted by Bergonier et al. (2003), SCC from annual bulk milk samples from Spain, France and Italy for the years 1995 to 2000 geometric means lay at 1.2, 1.2 and $1.6 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹, respectively. In this study, arithmetic means between $520 \cdot 10^3$ and $1.1 \cdot 10^6$

cells ml⁻¹ and geometric means between $223 \cdot 10^3$ and $396 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹ for SCC of healthy udders were mentioned.

Souza et al. (2009) examined bulk milk samples of 1,400 dairy goats resulting in an average SCC of $779 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹. Jendretzke (2009) found an average of $990 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹ in goat milk samples ($n = 863$) whereat 25 % of all samples had a SCC of over $2 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹. According to Wilson et al. (1995), SCC can even sometimes exceed numbers of 10 million cells ml⁻¹.

In the EU the SCC threshold for raw cow milk was set at $400 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹ (EC, 2004), but so far no limit values for goat milk exist (Paape et al., 2007). Nevertheless, some national thresholds do exist for SCC in bulk milk ranging from $750 \cdot 10^3$ to 1 million cells ml⁻¹ (Pirisi et al., 2007). In the United States SCC is not allowed to exceed 1 million cells ml⁻¹ (US/Public Health Service, 2003). This limit value was already proposed by many authors (Poutrel & Leron-delle, 1983; Kalogridou-Vassiliadou et al., 1992; Perrin et al., 1997). Contreras et al. (1996) suggested a SCC threshold of $500 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹ for the differentiation between subclinical mastitis and healthy udders, but the proposed value classified only 62.3 % of samples correctly linked to a possibility of 28 % to deliver positive results and to a possibility of 90 % to deliver negative results.

Vasiu et al. (2008) also recommended using a maximum level of SCC of $5 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹ (based on geometric mean) to differentiate between udders free of infection and udders with SCM. Below this threshold they expect to classify 75 % of healthy udders correctly. Of the remaining udders, 6 to 11 % might be infected with minor, 2 % with major and the rest with undetermined status. Nevertheless, these limit values can be exceeded without seeing signs or bacteriological proof of infection (White & Hinckley, 1999).

In a study of 155 French goat herds, the geometric means of SCC thresholds of $750 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹, $1.0 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹ and $1.5 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹ corresponded to a theoretical infection rate of 30 % (± 12 %), 39 % (± 8 %) and 51 % (± 8 %), respectively (de Cremoux, 2000; 2001). De Cremoux (2003) estimates that using a geometric annual mean between 1.0 to $1.2 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹ 52 % (± 6.3 %) of goats should be non-infected, 34.5 % (± 6.6 %) are possibly infected with minor and 8.1 % (± 1.9 %) possibly with major pathogens.

Vasiu et al. (2008) found an average SCC of $1.345 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹ (geometric mean) and $1.403 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹ (arithmetic mean) from 642 bulk goat milk samples. Within this study 5.6 % were identified with $> 2.0 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹, 17 % between 1.5 and $2.0 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹, 32.4 % between 1.0 and $1.5 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹, 28.6 % between 0.5 and $1.0 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹ and the remaining 16.4 % with SCC $< 500 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹. Later bacteriological examinations were carried out from samples of late lactation with SCC $> 1.0 \cdot 10^6$

cells ml^{-1} ($n = 94$) from which only 29.76 % were classified free of germs after bacteriological examination. From the samples with $> 2.0 \cdot 10^6$ cells ml^{-1} , they expect to classify more than 50 % correctly with IMI connected to minor and 15 % connected to major pathogens.

Thus, a universal definition of a cell number threshold to distinguish between healthy and infected udder halves does not exist yet. Both physiological and pathological factors influence SCC in goat milk. However, as for other parameters, the comparison of the two udder halves leads to more reliable results (Poutrel & Lerondelle, 1983).

Thus, SCC of udder halves in the same animal has to be compared with reference to parity and stage of lactation in order to be able to define standards for SCC in goat milk (Haenlein, 2002). Using a linear regression model recognizing lactation stage the study proposed threshold values between $556 \cdot 10^3$ cells ml^{-1} and $1.2 \cdot 10^6$ cells ml^{-1} , according to 90 and 305 days in milk (DIM), to distinguish between infected and non-infected milk.

In a study from Aulrich & Barth (2008) no statistical correlation could be found between parity and the level of SCC. These results contradict the findings of Paape et al. (2007), but correlate with the results of Zeng & Escobar (1995) which also stated that parity does not affect the SCC. Jendretzke (2009) found the highest average SCC in goat milk samples from animals during first lactation, in tendency SCC decreased until the age of six and then stayed more or less constant, also depending on the stage of lactation (early vs. late).

SCC is generally influenced by the stage of lactation. It is well known that SCC tends to increase during and towards the end of lactation period, without necessarily seeing an increased incidence of IMI during this period (Wilson et al., 1995; Zeng & Escobar, 1995; Luengo et al., 2004; Min et al., 2005; Moroni et al., 2005; Paape et al., 2007; Aulrich & Barth, 2008). At the end of lactation SCC can increase to such an extent that it can not be distinguished between infected and non-infected udders. e.g., Moroni et al. (2005) could not find significant differences in SCC between healthy and infected animals at the end of the lactation period.

Increasing levels of SCC may be linked to a decreasing amount of milk produced by goats during late lactation, leading to a higher concentration of pathogens in the milk (Zeng & Escobar, 1995).

The SCC increases every year in autumn by an estrus synchronization (McDougall & Voermans, 2002). Significantly higher values of SCC during the first days of estrus and lower values of SCC during the following two days were found compared to the control group. Aulrich & Barth (2008) also investigated the relationship between estrus and daily variations of SCC in goats. They observed the highest variation of SCC in October during the breed-

ing period. SCC increased significantly during estrus starting from $800 \cdot 10^3$ to over 1 Million cells ml^{-1} (Christodoulou et al., 2008).

According to literature, the status of infection represents the most important factor influencing milk SCC (DVG, 2002; Luengo et al., 2004). In contrast Kyozaire et al. (2005) investigated 270 udder samples of goat milk from 3 different dairy goat farms regarding SCC and infection status and no significant correlation was found.

Recently published data (Aulrich & Barth, 2008) shows also, that infected udder halves had significantly higher SCC than non-infected udder halves. SCC levels in CNS induced IMI increased to $> 10^6$ cells ml^{-1} (Leitner et al., 2004a). CNS infections with *S.epidermidis* seem to show the highest values of the SCC (Deinhofer & Pernthaner, 1995; Contreras et al., 1996). In contrast to these findings, Moroni et al. (2005) observed that SCC of infected udder halves was greater with *S.caprae* than with *S.epidermidis* and other CNS. In the study from Aulrich & Barth (2008) infections with *S.epidermidis* and *S.xylosus* showed a tendency to increase the SCC in infected udder halves when compared to non-infected halves. Nevertheless, it was also found that there was no independent reaction of udder halves of one animal. If one udder half was infected with CNS, the other udder half tended to show higher SCC. Other authors showed that the differences between infected and non-infected udder halves are not significant as non-infected udder halves can also have high cell counts (Schaeren & Maurer, 2006). SCC in goat milk samples also differs significantly before, during and after milking and hand milking might cause higher SCC than machine milking (Haenlein, 2002). Souza et al. (2009) found an average of $848 \cdot 10^3$ cells ml^{-1} in machine and $1.1 \cdot 10^6$ cells ml^{-1} in hand milked samples of goat bulk milk. These findings, but also all the other factors mentioned above that might influence SCC in goat milk, must be taken into consideration when it comes to setting SCC criteria for assessing the quality of goat milk. Leitner et al. (2008) made a proposal to differentiate between high-, medium- and low quality milk from goat herds with reference to bulk milk samples considering SCC and infection rate: high-quality milk $\text{SCC} < 800 \cdot 10^3$ cells ml^{-1} , associated with infection of about 25 %, medium quality milk $< 1.5 \cdot 10^6$ cells ml^{-1} , associated with infection rate between 25 and 50 %, and low-quality milk $> 1.5 \cdot 10^6$ cells ml^{-1} , associated with infection rate above 50 %, respectively. Goat milk with SCC values of $> 3.5 \cdot 10^6$ cells ml^{-1} should not be accepted for human consumption. The usefulness of this proposal should be verified under the different production conditions existing in the several goat milk producing countries.

3.2 California Mastitis Test (CMT)

The California Mastitis Test (CMT) is based on a reagent destroying the membranes of the somatic cells in milk and binding to the cellular DNA. This process results in an increase of the milk viscosity depending on the amount of cells. Thus, CMT allows to roughly estimate the number of cells of the immune system and epithelial cells in a given milk sample (Schaeren & Maurer, 2006). CMT is influenced by factors causing variations in SCC as well. Therefore CMT levels correlate well with SCC levels found in caprine milk (Pettersen, 1981; Poutrel & Lerondelle, 1983; Maurer & Schaeren, 2007), but the comparison between studies is hindered by the different scores used by the various authors. Furthermore, classification in CMT tests is solely based on individual assessment of visual changes of the sample. CMT can be classified from 1 to 5 according to Klastrup and Schmidt-Madsen (1974). Recently the scores range on a scale of 0 (negative), 1, 2 or 3 (Höhn, 2006), but usually authors use a scale of 0 (negative), trace, 1, 2 or 3 (Upadhyaya & Rao, 1993; Boscos et al., 1996; Escobar, 1999; Schaeren & Maurer, 2006; Maurer & Schaeren, 2007; McDougall et al., 2010). Some authors decided to combine 0 and trace to one CMT score for a more informative value (Poutrel & Lerondelle, 1983; Contreras et al., 1996).

The relationship between SCC, CMT and infection status was reviewed within many studies (Kalogridou-Vassiliadou et al., 1991; Contreras et al., 1996; Schaeren & Maurer, 2006; Jendretzke, 2009). It was proposed that low levels of CMT indicate an absence of mammary gland infection (Maisi, 1990b). Within this study, using scores from 1 to 5, CMT scores of udder half samples lay at 1 or 2 throughout the lactation with the exception of the colostral period. Infected halves gave higher scores ranging from 3 to 5. Maisi (1990b) suggested the use of a threshold score of 4 for CMT as an indication of infection, but scores of 3 may already give a hint of an infection. In a summarising study, Haenlein (2002) concluded that CMT might be able to identify infected udder halves. By Contreras et al. (1996) specificity lay at 79 % and sensitivity at moderate 47 %. Thus, a CMT score of 0 + 1 together as threshold value detects non-infected glands the best (specificity of 73 %). This correlates with results from studies in France, where CMT scores of 0 + 1 and 2 + 3 were combined (Perrin et al., 1997). McDougall et al. (2010) concluded from the distribution of CMT scores in 211 goat milk samples that a cut point greater than trace would result in a specificity and sensitivity of 74 % each.

The comparison between udder halves of one animal showed one point higher scores of CMT for subclinical infected halves when compared with the adjoining uninfected half. Using this method Maisi (1990b) showed that

the CMT predicted only 18 % of the present IMI wrongly as not infected.

Kalogridou-Vassiliadou et al. (1992) found a significant correlation between CMT and SCC in three goat herds. In this case the groups differed in level of infection with minor or major pathogens. In 81 % of infected cases with major pathogens, a CMT of 2 or 3 was found, in contrast to 65 % in udders infected with minor pathogens.

Boscos et al. (1996) found *S.aureus* in 89 % of all samples with CMT scores higher than 2, therefore CMT is a suitable parameter indicating the presence of major pathogens. Maurer et al. (2004) found that over 20 % of the infected udder halves with CNS were assessed as negative by CMT. Earlier Upadhyaya & Rao (1993) already concluded that CMT can not be used as direct proof of CNS in SCM without accompanying analytical tests on leukocytes or lactose content. Their samples were classified in those of non-mastitic and mastitic goats, the latter were classified according to a CMT score of ≥ 1 and at least two violations of the three threshold values: leukocyte count (> 0.63 millions/ml), lactose (≤ 4.33 %) and chloride contents (> 0.109 %). Of the mastitis samples 78.8 % were positive for bacteria comprising *S.aureus* (26.5 %), *E.coli* (14.6 %), *Streptococcus* sp. (9.8 %) and occasionally other pathogens.

A study conducted by Boscos et al. (1996) showed fluctuations in CMT scores connected to breed, parity and stage of lactation. CMT scores increased, for example, with DIM, which was also observed for SCC. Due to the mentioned physiological factors, CMT scores can be correlated to a higher presence of epithelial particles (Schaeren & Maurer, 2006), than to infection. Thus, absolute values of CMT of goat milk sample do not seem to be a sufficient method for predicting CNS and hence SCM in goats. Overall, the presented data confirm that the presence of bacteria in milk increases CMT scores while the level of increase depends on the individual type of microorganism isolated. Oppositely, high levels of CMT do not necessarily indicate an infection (Avila et al., 1982). Nevertheless, CMT can be used for classification of samples in order to avoid unnecessary bacteriological examinations and might be suitable for the detection of major pathogens in cases of IMI.

3.3 Electrical Conductivity (EC)

Due to a change of the permeability of the udder tissue, the concentrations of Na^+ and Cl^- in milk increase during an intramammary infection not only in cows (Krömker, 2007) but also in goats. This change is detectable by measurement of the electrical conductivity (EC). Although EC measurement is well established to monitor the udder health in dairy cows, it is not very common to use this indicator in small ruminants (Barth, 2009). Besides the lack-

ing knowledge of the factors influencing the EC in dairy goats, the wide range of EC readings might be another reason that this parameter is usually not used. Schüppel & Schwöpe (1999) found a mean EC of $6.6 \pm 0.5 \text{ mS cm}^{-1}$, which was confirmed by Boulaaba (2009), who measured $6.33 \pm 0.76 \text{ mS cm}^{-1}$. However, a reliable absolute threshold to differentiate between infected and non-infected udder glands was not found, yet (Barth, 2009; Tangorra et al., 2010). Significant correlation between EC and SCC as known as in dairy cows seems not to exist in dairy goats (Park, 1991). However, Tangorra et al. (2010) measured EC during milking of 8 Saanen goats over a whole lactation, and they revealed a relationship between the 20 highest EC readings during milking in early and mid lactation and the infection status of the udder halves. Nevertheless, the potential of EC to monitor mastitis in goats seems to be weak.

3.4 Milk composition (fat, protein, lactose)

The milk as the mammary gland secretion contains organic and inorganic ingredients. Milk fat, milk protein and lactose are the quantitatively predominant organic ingredients. Furthermore, various trace elements, vitamins and low molecular weight organic compounds can be found in the milk. In general, milk composition of goat's milk is similar to cow's milk, although the milk of goats showed lower levels of fat, protein and lactose, when compared to cow's milk (Maurer et al., 2004). The composition of the milk is determined by the regulation of the blood-udder barrier between the blood and the parenchyma. The integrity of the blood-udder barrier largely influences the health status of the udder. Mastitis results in a damage of the blood-udder barrier by the action of microbial toxins and metabolic products (Wagner et al., 2009). The milk fat concentration and its composition will be determined by the type and quantity of feed, breed, the stage of lactation, the lactation number, seasonal changes and other factors. In a study conducted by Souza et al. (2009), all milk components in 913 bulk goat milk samples from seven herds were significantly affected by season and herd. The mean content of fat within this study was 3.44 % with minimum values of 3.15 % and maximum values of 3.87 %. Leitner et al. (2004a) analysed the fat content in 25 crossbreed goats and found no differences between infected halves ($3.88 \% \pm 0.12$) and uninfected halves ($3.89 \% \pm 0.11$). In samples from 10 different herds (50 goats each) Leitner et al. (2004b) again found no significant influence regarding fat content in infected (3.75 %) and uninfected halves (4.2 %). These results were confirmed by investigations with 35 mixed-age Alpine goats (Min et al., 2007). No significant interaction between infection status and milk fat was found. Experi-

ments from Ying et al. (2002) showed significant, positive correlations of infection status, expressed as logarithm of standard plate count (SPC), with fat content in early lactation, but not in late lactation milk samples.

The milk protein is primarily composed of caseins and milk serum proteins. In addition there are various enzymes and proteins, such as lactoferrin. Protein represents a relatively autonomous parameter that is essentially affected mainly by the feeding. For goats the physiological range of reference for the total milk protein is between 2.9 and 5.0 % (Haenlein, 2006). Souza et al. (2009) found an average of 2.95 % with ranges from 2.85 % to 3.00 %. Leitner et al. (2004a) found higher protein concentrations in infected than in uninfected glands ($3.50 \pm 0.05 \%$ vs. $3.42 \pm 0.05 \%$), but without significance. Another investigation from Leitner et al. (2004b) shows significant higher protein concentrations in infected than in uninfected udders (3.99 vs. 3.91 %). Min et al. (2007) could not measure a significant effect of IMI on protein concentration. Investigations from Ying et al. (2002) showed different results regarding the influence of bacteriological status on protein content: in early lactation they found a significant correlation of standard plate count with protein content, in late lactation this correlation was not found.

The milk sugar, lactose, represents the most osmotically active component in milk (Rook, 1979). The healthy mammary gland is impermeable for lactose. Lactose is synthesized from glucose and galactose in the gland cells of the udder. During infections these functions are partly disabled leading to a lower percentage of lactose in the milk. The content of lactose in goat milk depends on many factors such as breed, feeding, lactation number and age, and can range on average from 3.8 to 4.6 % in goat milk (Jendretzke, 2009). The influence of breed could be seen from data published by Jenness (1980) with lactose concentration ranging from 4.01 % in Improved Fawn up to 6.30 % in African Dwarf goats. Souza et al. (2009) analysed 913 bulk milk samples from about 1400 European breed goats (Saanen, Toggenburg and Alpine) and found an average lactose content of 4.45 % with values ranging from 4.31 to 4.56 %. Upadhyaya & Rao (1993) analysed leukocyte counts, lactose and chloride contents in comparison to CMT of 204 milk samples collected 4 to 8 weeks postpartum (indigenous Ganjam breed in 2nd to 4th lactation). A total of 144 samples were analysed, the mean lactose values ranged from $3.98 \pm 0.086 \%$ (CMT 3+) to $4.73 \pm 0.35 \%$ (CMT 0) and showed a significant negative correlation with CMT scores ($r = -0.72$). The threshold value for predicting mastitis was set at $\leq 4.33 \%$ by Upadhyaya & Rao (1993), allowing the best prediction of negative samples among the analysed parameters.

Leitner et al. (2004a) found significantly higher levels of lactose in bacteriological negative ($4.70 \pm 0.10 \%$)

than in bacteriologically positive goat milk samples (4.17 ± 0.13 %). These results were found in weekly samples taken 40 to 120 days after parturition from 25 cross-breed goats over three weeks. The classification in negative and positive samples was linked to findings of CNS. In another study by Leitner et al. (2004b), again significantly higher lactose concentrations were found in uninfected than in infected udders (4.96 vs. 4.72 %).

Ying et al. (2002) observed negative correlations between logarithms of SPC and lactose content in early lactation, but not in late lactation milk samples. Experiments from Min et al. (2007) confirmed these findings: they found tendentially lower lactose concentrations in milk from infected halves in early and mid lactation. In late lactation the lactose concentration decreased independent of the infection status.

Bernacka (2006) investigated SCC and fat, protein and lactose among 30 goats (colour improved breed in 2nd and 3rd lactation) over a period of 288 days. The average monthly lactose concentration ranged from 4.23 ± 0.19 % to 4.7 ± 0.23 % with an overall average of 4.43 ± 0.30 %. Again, higher levels of SCC were followed by proportionally lower content of lactose. SCC values of all samples were divided in four groups A to D (A: $< 200 \cdot 10^3$ cells ml^{-1} ; B: $202 \cdot 10^3$ to $600 \cdot 10^3$ cells ml^{-1} ; C: $601 \cdot 10^3$ to $1 \cdot 10^6$ cells ml^{-1} ; D: $> 1 \cdot 10^6$ cells ml^{-1}) resulting in corresponding concentrations of lactose of 4.51 %, 4.40 %, 4.42 % and 4.36 %, respectively. Overall the levels of lactose from group A differed significantly from the levels of lactose from group D.

Jendretzke (2009) compared CMT scores with lactose concentration in goat milk from early ($n = 485$) and late lactation ($n = 186$) and found a significant average decrease of 0.82 % of lactose in milk from late lactation (average of 4.26 %) compared to early lactation milk (average of 5.08 %) with an overall average of 4.65 % among different breeds. Furthermore, a slight decrease in lactose was only observed in milk with CMT scores of 3+, which represented only a small fraction of samples ($n = 3$). The lactose content with regard to breed and age was also investigated. The average lactose content varied among 6 different breeds in a maximum range of 0.4 % and varied from 5.02 % to 5.43 % in early lactation and from 4.20 to 4.46 % in late lactation among the different breeds. Only slight differences of a maximum of 0.2 % were found in 5 different groups referring to age. These results indicate that lactose is not a suitable parameter for detecting SCM.

Estrus seems to have no significant influence on goat milk's lactose content (Moroni et al., 2007, Christodoulou-poulos et al., 2008).

Overall, the presented data showed that none of the milk composition parameters could be a suitable indicator of IMI in dairy goats.

3.5 *N-acetyl-Beta-D-Glucosaminidase*

Both in clinical and subclinical mastitis the increase of polymorphonuclear leukocytes (PMN) and macrophages indicates the body defense against the inflammatory process (Perdigon et al., 1986). Within this process hydrolytic enzymes that are either lysosomal such as N-acetyl- β -D-glucosaminidase (NAGase) and β -glucuronidase or non-lysosomal (lactate dehydrogenase) are released in order to degrade damaged tissue.

Increased activities of NAGase in dairy cows are related to the immune defense during udder infections (Chagunda et al., 2006). NAGase activity would be the best way to diagnose bovine mastitis (Kitchen et al., 1981). Investigations from Maisi & Riipinen (1988) and Vihan (1989) view NAGase as a suitable parameter for the diagnosis of SCM in dairy goats although the level of NAGase activity in goat milk is nearly 4-fold lower as compared to bovine milk (Sharma et al., 2009).

Timms & Schultz (1985) determined NAGase activity with a marginal sampling (9 goats for 12 days over 3 weeks) however the study showed significant results regarding NAGase and SCC. Over 12 days of examination 3 of 18 udder halves were infected with CNS. NAGase activity increased significantly due to minor pathogen infections with CNS. The geometric means of NAGase activities for non-infected and infected halves were 1.51 and 2.58 $\text{nmol min}^{-1} \text{ml}^{-1}$, respectively.

Vihan (1989) examined two goat herds and found significant differences in NAGase activity in both flocks between infected and non-infected halves regardless of the type of infection. SCC and the NAGase activity were significantly higher with CNS and *Mycoplasma agalactiae* compared to uninfected goats. The author supposed a correlation of the higher NAGase levels within CNS infected halves with increased secretion of epithelial cytoplasmic particles. Vihan (1989) concluded from his own studies and the literature that NAGase activity seems to be a sensitive method for detecting SCM in goats.

Maisi (1990a) analysed milk samples from 39 goats over a whole lactation and found that infected udder halves showed higher values for NAGase along with higher CMT values as compared to healthy udder halves during the whole period of lactation, with the exception of the colostrum period. In healthy udder halves average values for NAGase of 0.9 ± 1.5 units were measured in contrast to infected halves with 10.3 ± 6.3 units. Additionally the author (Maisi, 1990b) observed higher NAGase values not only in the infected udder halves but also in the adjoining non-infected halves. Investigations with 22 healthy goats showed a mean value for NAGase at 0.93 ± 20.0 units for days 8 to 330 and confirm the results mentioned above. NAGase activity increased during the first week of

lactation and in late lactation after 270 days. Both studies (Maisi, 1990a; 1990b) showed the dependency of NAGase values from the stage of lactation and the lactation number. The analysis of the NAGase levels of the different age groups showed significant differences between the different age groups. The lowest levels of NAGase were found in goats having their first lactation. Nevertheless, NAGase tests gave a total of 31 % false negatives or false positives results regarding IMI (Maisi, 1990a).

Leitner et al. (2004b) examined NAGase in 10 different herds (50 goats each) and found a significant influence of the bacteriological status on the NAGase activity. Correlation between NAGase activity and SCC was low in this study, NAGase activity of uninfected udders with a mean of 15.6 ± 0.8 units differed significantly from udders with infection that showed mean activities of 59.2 ± 5.3 units. Within this study the flock also had significant influence on NAGase activity. Although correlation between NAGase and DIM as well as NAGase and parity was not significant, Leitner et al. (2004b) suggested using levels of NAGase (and SCC) not shortly after kidding and only up to 130 days after parturition in order to be able to detect SCM, which would avoid the effects from these factors.

A recent study by Barth et al. (2010) found a significant effect of infection status on NAGase activity in udder half milk samples taken from 58 goats in mid to late lactation (175 to 211 DIM) over three consecutive weeks. High correlation was found between SCC, Lf and NAGase. The study also stated a slight, but not significant difference of NAGase activity of complete healthy udders (both halves uninfected) and uninfected halves with adjoining infected halves. To evaluate this dependency, the authors suggest further investigations.

3.6 Beta-Glucuronidase

Beta-glucuronidase as a lysosomal enzyme released during the inflammatory process represents the most significant selectivity enzyme in these process (Schnyder & Baggiolini, 1978).

Despite these findings only few studies exist that prove the applicability of this parameter for the early detection of SCM in dairies. In early investigations with dairy cows β -glucuronidase was not used because of the non sensitive and very time consuming method (Kitchen, 1976). Afterwards Perdigon et al. (1986) described the reaction of β -glucuronidase as very sensitive as well as a very effective diagnostic tool for detection of bovine SCM. Within the study, 220 randomly taken samples of cow milk were examined regarding SCC and β -glucuronidase along with microscopic evaluation on potentially pathogenic bacteria (detection of *S. agalactiae*, *E. coli*, *Klebsiella*, *Paeruginosa*, *S. aureus*, *S. epidermidis* and *S. saprophyticus*). Positive cor-

relations between β -glucuronidase, high SCC and the presence of pathogens were found. A total of 17 % of milk samples were considered normal milk with $SCC < 500 \cdot 10^3$ cells ml^{-1} and showed all negative results on bacteriological cultures and in β -glucuronidase testing. Out of the remaining 83 % of samples with $> 500,000$ cells ml^{-1} , 76 % gave positive results regarding β -glucuronidase and 74 % showed potentially pathogenic bacteria (with predominant pathogen *Sc. agalactiae* 43 %). The samples with positive enzyme reaction predominantly contained macrophages and PMN. In 6 % of samples with $SCC > 500 \cdot 10^3$ cells ml^{-1} pathogen bacteria were detected, but no positive reaction to β -glucuronidase was observed. Those samples contained mainly lymphocytes. The results permit the supposition that a significant release of β -glucuronidase is only measurable if the process of phagocytosis is fully activated. This assumption was confirmed by studies from Nagahata et al. (1987) who monitored changes in β -glucuronidase activities during the progress of clinical mastitis in cows. In contrast to normal milk secretion, elevated β -glucuronidase activity has been found in mastitic milk.

It should be taken into account that the data cited above were from bovine studies, investigations in goats are rare.

Oliszewski et al. (2002) verified the β -glucuronidase test in comparison with the SCC method and the CMT in goats but no bacteriological examination was included. Mixed samples (124) of udder halves were analysed. 79 of 124 samples showed a SCC lower than $1.3 \cdot 10^3$ cells ml^{-1} , and 93 % of these samples showed low β -glucuronidase activity (< 15 U ml^{-1}). Goat samples with higher SCC ($> 1.3 \cdot 10^3$ cells ml^{-1}) showed in 88 % low values in β -glucuronidase activity (< 15 U ml^{-1}). CMT has shown similar results. The study confirms only the reliability of β -glucuronidase as a tool to support SCC or CMT results. Conclusions to the udder health status could not be made from the published data because of the failure of pathogen detection. The applicability of β -glucuronidase as indicator of SCM in dairy goats should be evaluated in future investigations.

3.7 Lactate Dehydrogenase (LDH)

LDH is released as an immune response and during changes in the cell membrane (Chagunda et al., 2006). After injury of the blood-milk barrier by a massive infusion of mastitis pathogens, a passage of LDH from the blood into the milk might take place, which can be measured and used for the diagnosis of SCM in dairy cows (Hiss et al., 2007). Injury of udder tissue from mastitis changes the enzyme activity in the mammary secretions (Grün et al., 1992).

Ying et al. (2002) examined individual animals and bulk milk samples over short periods and concluded that LDH is not a suitable parameter for the assessment of udder

health status in dairy goats. No research was carried out regarding infection status, lactation number and lactation stage during these studies. According to Batavani et al. (2003; 2007) LDH is probably also liberated from udder cells and from disintegrated leucocytes in sheep and cows, resulting in higher LDH activities in the milk of subclinical infected udders compared to milk from normal udders. Goat's milk was not included in his investigations.

Khodke et al. (2009) conducted a study on SCC, pH, LDH and alanine aminotransferase (ALT) in goat milk of 123 goats in dependence on different status of udder health (differentiation by udder examination and CMT reaction into normal, subclinical (grade 1⁺, 2⁺, 3⁺, 12 udder half samples in each group) and into clinical groups but irrespective of age, breed, stage and number of lactation. The mean LDH found in the different groups rose from 263.97 ± 13.74 U ml⁻¹ in normal milk to 1724.02 ± 59.91 U ml⁻¹ in the clinical milk and thus showed a significant increase. The subclinical samples gave LDH activities of 389.86 ± 15.24 U ml⁻¹ (grade 1⁺), 601.79 ± 23.93 U ml⁻¹ (grade 2⁺) and 846.53 ± 34.70 U ml⁻¹ (grade 3⁺). The accompanying SCC values increased accordingly from normal over grade 1⁺, 2⁺, 3⁺ to clinical milk: $6.84 \pm 0.9 \cdot 10^5$ cells ml⁻¹, $16.45 \pm 0.5 \cdot 10^5$ cells ml⁻¹, $26.34 \pm 1.2 \cdot 10^5$ cells ml⁻¹, $41.8 \pm 1.7 \cdot 10^5$ cells ml⁻¹ and $48.68 \pm 1.5 \cdot 10^5$ cells ml⁻¹.

Katsoulos et al. (2010) investigated 162 samples of goat milk from equal udder halves (only one half of each udder) divided in a no-infection (total of 108 samples) and a subclinical infection group (differentiation by bacteriological and udder examination resulting in 97 samples) regarding the enzymes LDH, alkaline phosphatase (ALP) and aspartate aminotransferase (AST). LDH activity was found to be significantly higher in the subclinical infection group (354.07 ± 13.33 U/l) than in the no-infection group (103.79 ± 3.75 U/l). According to Katsoulos et al. (2010) LDH activity was identified as the most reliable indicator for SCM among the analysed enzymes LDH, ALP and AST leading to diagnostic sensitivities and specificities of over 92 %.

Several studies have been carried out regarding LDH and the infection status of cow udders (Chagunda et al., 2006). Compared to the investigations in dairy cows there is as yet very little data on LDH as a marker enzyme in IMI for dairy goats. At this stage no conclusive statement about LDH as reliable marker enzyme of SCM can be made.

3.8 Lactoferrin (Lf)

Lactoferrin is synthesized in the mammary glands as part of the non-specific immune response and has antibacterial properties (Nagasako et al., 1993; Conneely, 2001). Oram & Reiter (1968) as well as Masson & Heremans (1971) already examined Lf in milk from different species such as goat's milk and showed its antibacterial traits in inhibiting

the growth of bacteria. Lactoferrin acts both as an antibacterial and anti inflammatory agent in the mammary glands and prevents binding of lipopolysaccharide endotoxin to inflammatory cells, but also inhibits inflammatory cytokine production through interaction with epithelial cells at local sites of inflammation (Conneely, 2001). Lf can also regulate the iron absorption and promote the growth of lymphocytes, which might lead to an alteration in milk Lf levels postpartum and during physiological changes at the end of lactation (Hiss et al., 2008).

Recent studies from Chen et al. (2004) investigated the relationship between the variation of Lf in bulk milk from 70 goats and IMI. The quality of milk was measured by the reaction time in the methylene blue reduction test (MBRT), a common test to set the milk price in Taiwan and indirect expression of the bacteriological quality of milk, and then categorized. The mean values of Lf corresponding to the reaction time of MBRT of more than 8 hours (high quality milk), 5 to 8 hours (normal quality milk) or below 5 hours (not acceptable for sale) were 167, 218 or 304 mg ml⁻¹, respectively. Moreover, the mean Lf concentration found in mastitic milk originating from 10 infected goats (SCM persisted more than 20 days) was at 587 µg ml⁻¹ (Chen et al., 2004). In addition, Chen et al. (2004) inoculated one udder half of three goats with *S. aureus* causing a significant increase of the Lf content in the milk from the inoculated halves. Thus, the Lf in clinical and subclinical mastitic milk was observed to be significantly higher than that in normal milk, suggesting that Lf may be a good indicator for SCM in goats.

Hiss et al. (2008) analysed Lf in milk from 19 goats over an entire lactation period in order to evaluate the correlation between Lf and lactation stage, lactation number and SCC, unfortunately the bacteriological status was not included in the study. They found significantly higher levels of Lf in goats with SCC medians higher than $430 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹. In addition, sampling week and parity significantly affected the Lf concentration. Lf content only increased during the colostrum phase and at the end of lactation. Colostrum milk samples showed Lf values of 387 ± 69 µg ml⁻¹ (SCC $1.1 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹ $\pm 643 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹), in the 1st week 62 ± 25 µg ml⁻¹ and then between 10 to 28 µg ml⁻¹ until week 32 (5th week: SCC $487 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹ $\pm 111 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹). Whereas the SCC already increased during week 31 ($1.0 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹ $\pm 187 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹), the Lf began to increase close to the end of lactation during week 33 to a maximum value of 107 ± 19 µg ml⁻¹ in week 44 (SCC $4.3 \cdot 10^6$ cells ml⁻¹ $\pm 954 \cdot 10^3$ cells ml⁻¹ in week 43). Sampling week and lactation number significantly influenced the Lf concentration. Because of the failure of bacteriological examinations no statements on the usefulness of the parameter Lf for diagnosis of SCM could be made from that study.

Barth et al. (2010) analysed the influence of an intramammary infection on the SCC, the content of Lf and the activity of NAGase by examining foremilk samples of 58 dairy goats (German Improved Fawn). Parameters were determined weekly over a period of three weeks including the accompanying detection of infection status. Clear correlation between SCC, NAGase and Lf was found. Lf values of non-infected udder halves were significantly lower than those of infected halves. Lf showed the best differentiation between infected and non-infected halves even of the same udder when compared to SCC or NAGase. The investigations show that primiparous goats had significantly lower Lf contents in milk than multiparous goats and furthermore Lf was influenced by the day of sampling (Barth et al., 2010).

Undecided whether SCC or Lf is the better indicator for IMI, both indicators increase during late lactation (Hiss et al., 2008). As a consequence it is necessary to involve influencing factors like sampling day, stage of lactation and lactation number if Lf should be used as indicator for SCM.

4 Conclusion

From the previously published data for dairy goats, no definite conclusions can be drawn for the applicability of one single parameter or a combination of several parameters for the evaluation of udder health status in goats. No comprehensive study including all of the mentioned possible indicators, collecting results over a longer period of time and comprising a sufficient set of data has been carried out so far. The data base is also not sufficient to make recommendations for the use in practice. The main reason for the dissatisfying situation in evaluation of the applicability of a parameter or a combination of parameters for detecting SCM is the lack of consistent bacteriological investigations in various studies published so far. The bacteriological analysis as gold standard is still the only method to make a clear statement on the infection status in dairy goats. The most common indirect methods used for detecting udder infections in dairy cows, namely SCC and CMT, are of limited value for goats because of the multitude of physiological influencing factors independent from the infection status. One promising approach for the early detection of SCM might be the combination of the parameters SCC, Lf and NAGase considering factors like stage of lactation and parity. Since IMI, caused by CNS mainly in its subclinical form represents the most common disease complex in dairy goats, resulting also in reduced milk production and affecting the processing properties of milk, it seems very necessary for maintaining animal health, for the preventive consumer protection and for securing the income of goat farmers to establish criteria that are appropriate to monitor udder health of goats easily

and safely. In order to find needed thresholds for practice, further studies comprising all possible parameters are yet to be carried out.

References

- Aarestrup FM, Larsen HD, Jensen NE (1999) Characterization of staphylococcus simulans strains isolated from cases of bovine mastitis. *Vet Microbiol* 66:165-170
- Aulrich K, Barth K (2008) Intramammary infections caused by coagulase-negative staphylococci and the effect on somatic cell counts in dairy goats. *Landbauforsch* 58(1-2):59-64
- Avila TS, Romero ML, Aguerrebere JA, Amezcua MA, Hurley PD (1982) California mastitis test and somatic cell number in relation to the infection of the mammary gland in goats at the end of lactation. In: *Proceedings of the III International Conference of Goat Production and Disease*. Tucson, Arizona : Dairy Goat Journal Publ, p 564
- Barth K (2009) Eutergesundheitsüberwachung bei Milchschaafen und Milchziegen - welche Methoden sind geeignet? *Landbauforsch* SH 332:89-95
- Barth K, Aulrich K, Müller U, Knapstein K (2010) Somatic cell count, Lactoferrin and NAGase activity in milk of infected and non-infected udder halves of dairy goats. *Small Rumin Res* 94:161-166
- Batavani RA, Asri S, Naebzadeh H (2007) The effect of subclinical mastitis on milk composition in dairy cows. *Iran J Veterinary Res* 8:205-211
- Batavani RA, Mortaz E, Falahian K, Dawoodi MA (2003) Study on frequency, etiology and some enzymatic activities of subclinical ovine mastitis in Urmia, Iran. *Small Rumin Res* 50:45-50
- Bergonier D, De Cremoux R, Rupp R, Lagriffoul G, Berthelot X (2003) Mastitis of dairy small ruminants. *Vet Res* 34:689-716
- Bernacka H (2006) Cytological quality of goat milk on the basis of the somatic cell count. *J Central Europ Agric* 7:773-778
- Boscos C, Stefanakis A, Alexopoulos C, Samartzis F (1996) Prevalence of subclinical mastitis and influence of breed, parity, stage of lactation and mammary bacteriological status on Coulter Counter Counts and California Mastitis Test in the milk of Saanen and autochthonous Greek goats. *Small Rumin Res* 21:139-147
- Boulaaba A (2009) Untersuchungen zur Eutergesundheit von Ziegen sowie durchflusszytometrische Differenzierung capriner Milchzellen. *Gießen : DVG-Service*, 285 p
- Brade W (2001) Eutergesundheit, somatischer Zellgehalt und Milchqualität. *Tierärztl Umsch* 56(9):470-476
- Chagunda MG, Friggens NC, Rasmussen MD, Larsen T (2006) A model for detection of individual cow mastitis based on an indicator measured in milk. *J Dairy Sci* 89:2980-2998
- Chagunda MG, Larsen T, Bjerring M, Ingvarsen KL (2006) L-lactate dehydrogenase and N-acetyl-beta-D-glucosaminidase activities in bovine milk as indicators of non-specific mastitis. *J Dairy Res* 73:431-440
- Chen PW, Chen WC, Mao FC (2004) Increase of lactoferrin concentration in mastitic goat milk. *J Vet Med Sci* 66:345-350
- Christodoulouopoulos G, Solomakos N, Katsoulos PD, Minas A, Kritas SK (2008) Influence of oestrus on the heat stability and other characteristics of milk from dairy goats. *J Dairy Res* 75:64-68
- Conneely OM (2001) Antiinflammatory activities of lactoferrin. *J Am Coll Nutr* 20:389-395
- Contreras A, Corrales JC, Sierra D, Marco J (1995) Prevalence and etiology of nonclinical intramammary infection in Murciano-Granadina goats. *Small Rumin Res* 17:71-78
- Contreras A, Luengo C, Sanchez A, Corrales JC (2003) The role of intramammary pathogens in dairy goats. *Livest Prod Sci* 79:273-283
- Contreras A, Sierra D, Corrales JC, Sanchez A, Marco J (1996) Physiological threshold of somatic cell count and California Mastitis Test for diagnosis of caprine subclinical mastitis. *Small Rumin Res* 21:259-264
- Contreras A, Sierra D, Sanchez A, Corrales JC, Marco JC, Paape MJ, Gonzalo C (2007) Mastitis in small ruminants. *Small Rumin Res* 68:145-153

- Corrales JC, Sanchez A, Luengo C, Poveda JB, Contreras A (2004) Effect of clinical contagious agalactia on the bulk tank milk somatic cell count in Murciano-Granadina goat herds. *J Dairy Sci* 87:3165-3171
- De Crémoux R (2003) Définition de règles d'interprétation optimales des comptages de cellules somatiques de troupeaux chez la chèvre. Etude du Département Techniques d'Elevage et Qualité (DTEQ), Réf. 130231022(23) - RM473, 58 p
- De Crémoux R, Heuchel V, Berny F (2000) Interprétation des numérations cellulaires de lait de troupeau en élevage caprin : résultats préliminaires. In: Proceedings of the 7th International Conference on goats, Tours. 764 p
- De Crémoux R, Heuchel V, Berny F (2001) Description et interprétation des comptages de cellules somatiques des laits de troupeaux en élevage caprin. In: 8es rencontres autour des recherches sur les ruminants, Paris, 5-6 décembre 2001. Paris : Institut de l'élevage, 163 p
- Deinhofer M, Pernthaner A (1993) Differentiation of staphylococci from ewe and goat milk samples. *Dt Tierärztl Wochenschr* 100:234-236
- Deinhofer M, Pernthaner A (1995) Staphylococcus spp. as mastitis-related pathogens in goat milk. *Vet Microbiol* 43:161-166
- DVG (1994) Leitlinien zur Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Bestandsproblem. Gießen : Deutsche Veterinärmed Ges, 78 p
- DVG (2002) Leitlinien zur Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Bestandsproblem. Gießen : Deutsche Veterinärmed Ges, 126 p
- EC (2004) Verordnung (EG) Nr. 853/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 mit spezifischen Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs. Amtsblatt der Europäischen Union L 226/22 vom 25.6.2004
- Escobar EN (1999) Somatic cells in goat milk [online]. To be found at <<http://www.luresex.edu/goats/library/field/escobar99a.pdf>> [quoted 02.11.2010]
- Grün E, Füll B, Eichel V (1992) Vergleichende Untersuchungen diagnostisch bedeutsamer Enzyme in Blutplasma, Euterlymphe und Milch von gesunden und euterkranken Kühen. *J Vet Med Series A* 39:669-686
- Haenlein GFW (2002) Relationship of somatic cell counts in goat milk to mastitis and productivity. *Small Rumin Res* 45:163-178
- Haenlein GFW (2006) Production of goat milk. In: Park YW, Haenlein FW (eds) Handbook of milk of non-bovine mammals. Ames : Blackwell Publ, pp 11-33
- Hamann J (1999) Elektrische Leitfähigkeit als Mastitisindikator. In: Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (ed) Thema: Trends in der Milchproduktion – Wandel in der Mastitisbekämpfung, 27.-28.5.1999. Hannover, Tagung des Arbeitskreises „Eutergesundheit“. Gießen : DVG, pp 67-75
- Hamann J (2002) Relationships between somatic cell counts and milk composition. *Bull IDF* 372:56-59
- Harmon RJ (1994) Symposium mastitis and genetic evaluation for somatic-cell count - physiology of mastitis and factors affecting somatic-cell counts. *J Dairy Sci* 77:2103-2112
- Hiss S, Meyer T, Sauerwein H (2008) Lactoferrin concentrations in goat milk throughout lactation. *Small Rumin Res* 80:87-90
- Hiss S, Mueller U, Neu-Zahren A, Sauerwein H (2007) Haptoglobin and lactate dehydrogenase measurements in milk for the identification of subclinically diseased udder quarters. *Vet Med (Praha)* 52(6):245-252
- Hogan JS, Smith KL (1987) A practical look at environmental mastitis. *Comp Cont Educ Pract* 9:341-346
- Höhn SH (2006) Untersuchungen zur zytobakteriologischen Qualität von Ziegenmilch in bayrischen Bio-Betrieben. München : Univ, 83 p
- Jendretzke K (2009) Untersuchungen zu Laktosegehalt, somatischer Zellzahl und bakteriologischer Beschaffenheit von Ziegenmilch aus hessischen Beständen. Gießen : WB Lauferweiler, 120 p
- Jenness R (1980) Composition and characteristics of goat milk : review 1968-1979. *J Dairy Sci* 63:1605-1630
- Kalogridou-Vassiliadou D, Manolkidis K, Tsigoida A (1992) Somatic cell counts in relation to infection status of the goat udder. *J Dairy Res* 59:21-28
- Kalogridou-Vassiliadou D, Manolkidis K, Hatziminaoglou J (1991) Changes in mastitis pathogens in goat milk throughout lactation. *Small Rumin Res* 4:197-201
- Katsoulos PD, Christodoulouopoulos G, Minas A, Karatzia MA, Pourliotis K, Kriatas SK (2010) The role of lactate dehydrogenase, alkaline phosphatase and aspartate aminotransferase in the diagnosis of subclinical intramammary infections in dairy sheep and goats. *J Dairy Res* 77:107-111
- Kästli P (1967) Definition of mastitis. *Bull IDF* 34(3):1-5
- Khodke MV, Bonde S, Ambade RB (2009) Enzymatic changes in goat milk and udder health status. *Indian J Field Vet* 4:17-19
- Kitchen BJ (1976) Enzymic methods for estimation of the somatic cell count in bovine milk. : 1. Development of assay techniques and a study of their usefulness in evaluating the somatic cell content of milk. *J Dairy Res* 43:251-258
- Klastrup O, Madsen PS (1974) Scandinavian recommendations regarding mastitis investigations of gland samples. *Nord Vet Med* 26:197-204
- Kloppert B, Ehrenberg A, Wolter W, Zschök M (2000) Konzept zur Überwachung und Eigenkontrolle in Schaf- und Ziegenmilcherzeugerbetrieben im Sinne der Milchverordnung. In: Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (ed) 41. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes „Lebensmittelhygiene“, 25.-28.9.2000. Garmisch-Partenkirchen. Gießen : DVG, pp 213-219
- Krömker V (2007) Kurzes Lehrbuch Milchkunde und Milchhygiene. Stuttgart : Parey, 232 p
- Kyozaire JK, Veary CM, Petzer IM, Donkin EF (2005) Microbiological quality of goat's milk obtained under different production systems. *J S Afr Vet Assoc* 76:69-73
- Leitner G, Merin U, Lavi Y, Egber A, Silanikove N (2007) Aetiology of intramammary infection and its effect on milk composition in goat flocks. *J Dairy Res* 74:186-193
- Leitner G, Merin U, Silanikove N (2004a) Changes in milk composition as affected by subclinical mastitis in goats. *J Dairy Sci* 87:1719-1726
- Leitner G, Merin U, Silanikove N, Ezra E, Chaffer M, Gollop N, Winkler M, Glickman A, Saran A (2004b) Effect of subclinical intramammary infection on somatic cell counts, NAGase activity and gross composition of goats' milk. *J Dairy Res* 71:311-315
- Leitner G, Silanikove N, Merin U (2008) Estimate of milk and curd yield loss of sheep and goats with intramammary infection and its relation to somatic cell count. *Small Rumin Res* 74:221-225
- Lerondelle C, Poutrel B (1984) Characteristics of non-clinical mammary infections of goats. *Ann Recherches Veterinaires* 15:105-112
- Luengo C, Sanchez A, Corrales JC, Fernandez C, Contreras A (2004) Influence of intramammary infection and non-infection factors on somatic cell counts in dairy goats. *J Dairy Res* 71:169-174
- Maisi P (1990a) Milk Nagase, Cmt and Antitrypsin as indicators of caprine subclinical mastitis infections. *Small Rumin Res* 3:493-501
- Maisi P (1990b) Analysis of physiological changes in caprine milk with Cmt, Nagase and Antitrypsin. *Small Rumin Res* 3:485-492
- Maisi P, Riipinen I (1988) Use of California Mastitis Test, N-Acetyl-Beta-Glucosaminidase, and Antitrypsin to diagnose caprine subclinical mastitis. *J Dairy Res* 55:309-314
- Maisi P, Riipinen I (1991) Pathogenicity of different species of staphylococci in caprine udder. *Brit Vet J* 147:126-132
- Manser PA (1986) Prevalence, causes and laboratory diagnosis of subclinical mastitis in the goat. *Vet Rec* 118:552-554
- Masson PL, Heremans JF (1971) Lactoferrin in milk from different Species. *Comp Biochem Physiol* 39(B):119-129
- Maurer J, Schaeren W (2007) Eutergesundheit und Zellzahlen bei Ziegen. *forum* 11:6-10
- Maurer J, Schaeren W, Sollberger H (2004) Gehalte und Eigenschaften von Ziegenmilch. *Lipide in Fleisch, Milch und Ei - Herausforderung für die Tierernährung*, Zürich: SchrR Inst Nutztierwiss 25:205-208
- McDougall S, Supré K, Vlieghe SD, Haesebrouck F, Hussein H, Clausen L, Prosser C (2010) Diagnosis and treatment of subclinical mastitis in early lactation in dairy goats. *J Dairy Sci* 93:4710-4721
- McDougall S, Voermans M (2002) Influence of estrus on somatic cell count in dairy goats. *J Dairy Sci* 85:378-383
- Min BR, Hart SP, Sahl T, Satter LD (2005) The effect of diets on milk production and composition, and on lactation curves in pastured dairy goats. *J Dairy Sci* 88:2604-2615

- Min BR, Tomita G, Hart SP (2007) Effect of subclinical intramammary infection on somatic cell counts and chemical composition of goats' milk. *J Dairy Res* 74:204-210
- Mork T, Kvitle B, Mathisen T, Jorgensen HJ (2010) Bacteriological and molecular investigations of *Staphylococcus aureus* in dairy goats. *Vet Microbiol* 141:134-141
- Moroni P, Pisoni G, Antonini M, Ruffo G, Carli S, Varisco G, Boettcher P (2005) Subclinical mastitis and antimicrobial susceptibility of *Staphylococcus caprae* and *Staphylococcus epidermidis* isolated from two Italian goat herds. *J Dairy Sci* 88:1694-1704
- Moroni P, Pisoni G, Savoini G, Lier E van, Acuna S, Damian JP, Meikle A (2007) Influence of estrus of dairy goats on somatic cell count, milk traits, and sex steroid receptors in the mammary gland. *J Dairy Sci* 90:790-797
- Moroni P, Vellere F, Antonini M, Pisoni G, Ruffo G, Carli S (2004) Antibiotic susceptibility of coagulase-negative staphylococci isolated from goats' milk. *Int J Antimicrob Ag* 23:637-640
- Myllys V (1995) Staphylococci in heifer mastitis before and after parturition. *J Dairy Res* 62:51-60
- Nagahata H, Saito S, Noda H (1987) Changes in N-Acetyl- β -D-Glucosaminidase and β -Glucuronidase activities in milk during bovine mastitis. *Canad J Vet Res* 51:126-134
- Nagasako Y, Saito H, Tamura Y, Shimamura S, Tomita M (1993) Iron-binding properties of bovine lactoferrin in iron-rich solution. *J Dairy Sci* 76:1876-1881
- Oliszewski R, Kairuz MSN, Elias SNG, Oliver G (2002) Assessment of beta-glucuronidase levels in goat's milk as an indicator of mastitis: comparison with other mastitis detection methods. *J Food Protect* 65:864-866
- Oram JD, Reiter B (1968) Inhibition of bacteria by lactoferrin and other iron-chelating agents. *Biochim Biophys Acta* 170:351-365
- Paape MJ, Poutrel B, Contreras A, Marco JC, Capuco AV (2001) Milk somatic cells and lactation in small ruminants. *J Dairy Sci* 84:237-244
- Paape MJ, Wiggans GR, Bannerman DD, Thomas DL, Sanders AH, Contreras A, Moroni P, Miller RH (2007) Monitoring goat and sheep milk somatic cell counts. *Small Rumin Res* 68:114-125
- Park YW (1991) Interrelationships between somatic-cell counts, electrical-conductivity, bacteria counts, percent fat and protein in goat milk. *Small Rumin Res* 5:367-375
- Perdigon G, Medici M, Cecilia M, Demacias MEN, Haedo R, Oliver G, Holgado A (1986) Significance of the presence of bovine-milk beta-glucuronidase in mastitis detection. *J Dairy Sci* 69:27-31
- Perrin GG, Mallereau MP, Lenfant D, Baudry C (1997) Relationships between California Mastitis Test (CMT) and somatic cell counts in dairy goats. *Small Rumin Res* 26:167-170
- Pettersen KE (1981) Cell content in goat's milk. *Acta Vet Scand* 22:226-237
- Pirisi A, Lauret A, Dubeuf JP (2007) Basic and incentive payments for goat and sheep milk in relation to quality. *Small Rumin Res* 68:167-178
- US/Public Health Service (2003) Grade „A“ pasteurized milk ordinance. US Dept Health Human Services, 343 p
- Poutrel B, Lerondelle C (1983) Cell content of goat milk: California Mastitis Test, coulter-counter, and fossomatic for predicting half infection. *J Dairy Sci* 66:2575-2579
- Raynal-Ljutovac K, Pirisi A, De Cremoux R, Gonzalo C (2007) Somatic cells of goat and sheep milk: analytical, sanitary, productive and technological aspects. *Small Rumin Res* 68:126-144
- Rook JAF (1979) Role of carbohydrate-metabolism in the regulation of milk-production. *J Sci Food Agr* 30:1022-1023
- Schaeren W, Maurer J (2006) Prevalence of subclinical udder infections and individual somatic cell counts in three dairy goat herds during a full lactation. *Schweiz Arch Tierh* 148:641-648
- Schalm OW, Carroll EJ, Jain NC (1971) Bovine mastitis. In: Physical and chemical tests for detection of mastitis. Philadelphia: Lea and Febiger, pp 128-157
- Schnyder J, Baggiolini M (1978) Secretion of lysosomal hydrolases by stimulated and nonstimulated macrophages. *J Exp Med* 148:435-450
- Schüppel H, Schwöpe M (1999) Zum Gehalt somatischer Zellen und zur mikrobiologischen Beschaffenheit der Milch von Ziegen mit klinisch unauffälligem Euterbefund. *Milchwissenschaft* 54:13-16
- Sharma R, Kaur S, Rajput YS, Kumar R (2009) Activity and thermal stability of indigenous enzymes in cow, buffalo and goat milk. *Milchwissenschaft* 64:173-175
- Souza G, Brito JRF, Aparecida M, Brito VP, Lange C, Faria C, Moraes L, Fonseca RG, Silva Y (2009) Composition and bulk somatic cell counts of milk from dairy goat herds in Southeastern Brazil. *Braz J Vet Res Anim Sci* 46:19-24
- Tangorra FM, Zaninelli M, Costa A, Agazzi A, Savoini G (2010) Milk electrical conductivity and mastitis status in dairy goats: results from a pilot study. *Small Rumin Res* 90:109-113
- Timms LL, Schultz LH (1985) N-Acetyl- β -D-glucosaminidase activity and somatic cells in goat milk. *J Dairy Sci* 68:3363-3366
- Upadhyaya TN, Rao AT (1993) Diagnosis and threshold values of subclinical mastitis in goats. *Small Rumin Res* 12:201-210
- Valle J, Piriz S, Fuente R de la, Vadillo S (1991) Staphylococci isolated from healthy goats. *Zentralbl Veterinarmed B* 38:81-89
- Vasiu C, Bogolin I, Bolfa P (2008) Relation between the geometrical mean of somatic cells from bulk milk and the prevalence of subclinical intramammary infections in sheep and goats. *Bulletin USAMV Veterinary Medicine* 65:339-344
- Vihan VS (1989) Determination of Na-gase activity in milk for diagnosis of subclinical Caprine mastitis. *Small Rumin Res* 2:359-366
- Wagner SA, Jones DE, Apley MD (2009) Effect of endotoxin mastitis on epithelial cell numbers in the milk of dairy cows. *Am J Vet Res* 70:796-799
- White EC, Hinckley V (1999) Prevalence of mastitis pathogens in goat milk. *Small Rumin Res* 33:117-121
- Wilson DJ, Stewart KN, Sears PM (1995) Effects of stage of lactation, production, parity and season on somatic-cell counts in infected and uninfected dairy goats. *Small Rumin Res* 16:165-169
- Winter P (2009) Praktischer Leitfaden Mastitis: Vorgehen beim Einzeltier und im Bestand. Stuttgart: Parey, 254 p
- Wolter W, Kloppert B, Castaneda V, Zschöck M (2004) Die Mastitis des Rindes: ein Kursbuch [online]. To be found at <<http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2002/910/>> [quoted 14.10.2010]
- Ying CW, Wang HT, Hsu JT (2002) Relationship of somatic cell count, physical, chemical and enzymatic properties to the bacterial standard plate count in dairy goat milk. *Livest Prod Sci* 74:63-77
- Zangerl P, Kupfner B (2009) Anforderungen an die Rohmilchqualität zur Herstellung von hochwertigen Lebensmitteln. In: **4 Fachtagung für Ziegenhaltung**: Grünland- und Weidemanagement, Milchqualität und -leistung, Tiergesundheit, 6. November 2009; gemäß Fortbildungsplan des Bundes. Irdning: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, pp 15-20
- Zeng SS, Escobar EN (1995) Effect of parity and milk-production on somatic-cell count, standard plate-count and composition of goat milk. *Small Rumin Res* 17:269-274

Populationsentwicklung von Laufkäfern (*Carabidae*) und epigäisch lebenden Spinnen (*Arachnidae*) fünf Jahre nach der Umstellung auf den Ökologischen Landbau in Norddeutschland

Thomas Olthoff *, Norbert Voigt*, Werner Piper*, Vilmuth Brock* und Gerold Rahmann**

Zusammenfassung

Auf dem 600 ha umfassenden Gebiet des Instituts für Ökologischen Landbau in Trenthorst/Wulmenau wurde vom 19.05. bis 07.10.05 eine Erfassung der Laufkäfer und epigäischen Spinnen an fünfzig Standorten mittels Barberfallen durchgeführt. Ziel des Projektes war der Vergleich mit den Ergebnissen einer im Jahr 2001 vor der Umstellung auf Ökologischen Landbau durchgeführten Untersuchung.

Dabei wurden landwirtschaftlich genutzte Flächen des Grünlandes (14 Probestellen) und Ackerstandorte (24 Probestellen) sowie angrenzende Lebensräume wie Wald, Knick, Seeufer und Kleingewässerufer (12 Probestellen) berücksichtigt. Die Auswahl der Fallenstandorte richtete sich im ersten Untersuchungsjahr (2001) nach dem Anteil bestimmter Biotoptypen (z. B. Grünland, Getreideacker etc.) an der Gesamtfläche.

Insgesamt wurden im Jahr 2005 21.243 Laufkäfer (2001: 7.507) aus 71 Arten (2001: 63) und 8.083 Spinnen (2001: 16.040) aus ebenfalls 71 Arten (2001: 88) nachgewiesen. Dieses zeigt, dass die Individuen- und Artenzahl der Laufkäfer gegenüber 2001 erheblich zugenommen, die der epigäischen Spinnen dagegen deutlich verringert hat. Auch ist es zu deutlichen Verschiebungen in dem Artenspektrum gekommen. So konnten einige Arten nicht mehr nachgewiesen werden, andere dagegen sind erstmalig erfasst worden.

Gemessen an diesen Kriterien haben sich die Lebensbedingungen für Laufkäfer deutlich verbessert, wovon besonders Arten offener, mäßig feuchter Bereiche, aber auch einige xerophile Arten profitiert haben. Dagegen haben sich die Lebensbedingungen der Spinnen vor allem durch den Wechsel von Brache im ersten Umstellungsjahr auf eine ackerbauliche Nutzung verschlechtert haben.

Schlüsselworte: Ökologischer Landbau, Biodiversität, *Carabidae*, *Arachnidae*

Abstract

Population development of ground beetles (*Carabidae*) and epigeal spiders (*Arachnidae*) five years after conversion towards organic farming in Northern Germany

In 2001 (first year of conversion) and 2005 the population of the ground beetle and epigeal spiders have been assessed on the 600 ha large experimental farm of the Institute of Organic Farming in Northern Germany. In both years the same 14 permanent grassland, 24 crop land and 12 non-agricultural (biotopes) locations have been used to catch the epigeal fauna while spring/summer with Barber traps. Every week the catches have been collected.

In the year 2005 21,243 ground beetles (resp. 7.507 in 2001) of 71 species (2001: 63) and 8.083 spiders (2001: 16.040) with 71 species (2001: 88) were caught. This shows that the numbers of individuals and species of beetle have been increased while spiders decrease. Additionally there were substantial changes in the species composition. In 2005 some species could not be found again, others have been caught first time.

The habitat demands of the ground beetles have been improved, particularly for species who like open space, low moisture and dry conditions species, with the conversion towards organic farming. The habitat conditions for epigeal spiders have been decreased, mainly because of the change of some plot from fallow land towards crop land. This shows the importance of fallow land for spiders. Intensive fallow land for green manuring and weed control in organic farming can not be compared with fallow land in conventional farming (set aside land). Both farming systems have advantages and disadvantages for epigeal fauna. With the change of the agricultural policy to reduce the share of set aside crop land to zero, organic farming has an advantage.

Keywords: organic farming, biodiversity, *Carabidae*, *Arachnidae*

* biola – biologisch-landschaftsökologische Arbeitsgemeinschaft, Gotenstraße 4, 20097 Hamburg, info@biola.de

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

1 Einleitung

Im Jahr 2001 wurden das in Ostholstein (Schleswig-Holstein) gelegene 600 ha große Gut Trenthorst/Wulmenau vom konventionellen auf ökologischen Landbau umgestellt. Begleitend wurde eine Erfassung verschiedener Tiergruppen durchgeführt, um den momentanen Zustand zu dokumentieren und später auf dieser Grundlage mögliche Veränderungen der untersuchten Faunenelemente zu erarbeiten. Hierzu gehörten auch die epigäischen Laufkäfer und Spinnen, die im Jahr 2005 Ziel einer Kontrolluntersuchung waren. Somit ergibt sich für diese beiden Gruppen die Möglichkeit, eine erste vergleichende Bestandsanalyse durchzuführen.

Da der Schwerpunkt der Untersuchung auf dem Vergleich der beiden Untersuchungsjahre liegt, wird hier auf die Darstellung von Auswahlkriterien für die untersuchten Tiergruppen und deren ökologische Ansprüche verzichtet.

2 Methodik

2.1 Probenstandorte

Die Auswahl der Fallenstandorte richtete sich im ersten Untersuchungsjahr (2001) nach dem Flächenanteil der jeweiligen Biotoptypen, d. h. Acker und Ackerbrache (30 Standorte), Grünland (8 Standorte), Wald (7 Standorte) und sonstige Biotope (5 Standorte). Im Jahr 2005 wurden diese Standorte bis auf wenige kleinräumige Verlagerungen beibehalten.

Da die Bestellung etlicher Flächen in den beiden Untersuchungsjahren jedoch unterschiedlich war, ergibt sich hieraus bei einigen Standorten ein Problem bezüglich der Vergleichbarkeit. Für 2005 findet sich folgende Verteilung: Acker - 24 Standorte, Grünland - 14 Standorte, Wald - 6 Standorte, sonstige Biotope - 5 Standorte, Ackerbrachen fehlen (Tabelle 1).

2.2 Erfassung

Im Untersuchungsgebiet – das Gutsgelände Trenthorst/Wulmenau im Kreis Stormarn (Schleswig-Holstein) – wurden in beiden Jahren an den gleichen 50 Untersuchungsstandorten Bodenfallen zur Erfassung der epigäischen Laufkäfer und Spinnen ausgebracht (Standortbezeichnung 1 - 50). Die Fanggefäße hatten einen Durchmesser von acht Zentimetern und waren gegen Regen und Verschmutzung durch eine transparente Kunststoffabdeckung geschützt. Als Fangflüssigkeit diente eine 4-%ige Formalinlösung mit Entspannungsmittel. Die Fallen wurden wöchentlich geleert und das Material von jeweils vier Leerungen zu einer Fangperiode zusammengeführt. Somit ergaben sich bei einer Standzeit von Mitte Mai bis Anfang

Tabelle 1:

Übersicht über die Fallenstandorte

Standortnummer	Biotoptyp	
	2001	2005
1	Ackerbrache	Grünland
2	Ackerbrache	Grünland
3	Knick	Knick
4	Grünland	Grünland
5	Grünland	Grünland
6	Weidenbruch, nitrophiler Saum	Weidenbruch, Wiesenrand
7	Kleingewässerufer, beschattet	Kleingewässerufer, beschattet
8	Grünland	Grünland
9	Laubwald	Laubwald
10	Laubwald	Laubwald
11	Waldrand	Waldrand, Übergang zu Acker
12	Acker / Getreide	Acker / Erbse, Leindotter
13	Acker / Getreide	Acker / Erbse, Leindotter
14	Acker / Getreide	Acker / Getreide
15	Laubwald, feucht	Laubwald, feucht
16	Laubwald, feucht	Laubwald, Nähe Teichufer
17	Acker / Getreide	Acker / Getreide
18	Acker / Getreide	Acker / Bohne
19	Acker / Getreide	Acker / Raps
20	Acker / Getreide	Acker / Weizen
21	Knick	Knick
22	Acker / Getreide	Acker / Öllein
23	Acker / Getreide	Acker / Öllein
24	Grünland	Grünland
25	Grünland	Grünland
26	Grünland	Grünland
27	Grünland	Grünland
28	Grünland	Grünland
29	Laubwald, feucht	Laubwald, feucht
30	Laubwald, feucht	Laubwald, feucht
31	Acker / Raps	Acker / Hafer, Bohne
32	Acker / Raps	Acker / Hafer, Bohne
33	Acker / Raps	Acker / Hafer, Bohne
34	Acker / Raps	Acker / Hafer, Bohne
35	Acker / Raps	Acker / Hafer, Bohne
36	Acker / Raps	Acker / Hafer, Bohne
37	Ackerbrache	Acker / Getreide
38	Ackerbrache	Acker / Getreide
39	Ackerbrache	Acker / Getreide
40	Ackerbrache	Acker / Getreide
41	Acker / Getreide	Acker / Getreide, Erbse
42	Acker / Getreide	Grünland / Klee gras
43	Acker / Getreide	Acker / Getreide
44	Acker / Getreide	Grünland / Klee gras
45	Acker / Raps	Acker / Raps
46	Acker / Raps	Acker / Raps
47	Acker / Raps	Acker / Mais
48	Ackerbrache	Grünland
49	Ackerbrache	Grünland
50	Seeufer	Seeufer

Oktober insgesamt fünf Fangperioden, wobei anzumerken ist, dass an einigen Standorten nur vier oder sogar nur drei Fangperioden zur Auswertung kamen, da die übliche Bewirtschaftung (pflügen, Herbstbestellung) das Aufstellen der Fallen nicht zuließ.

2.3 Auswertung

Bei der Darstellung der Ergebnisse und der Bewertungskriterien werden weitgehend die Vorgaben des Berichtes von 2001 (TGP 2001) übernommen, um einen direkten Vergleich der untersuchten Parameter zu ermöglichen. Damals wurden als Bewertungskriterien der einzelnen Bio- toptypen die durchschnittliche Arten- und Individuenzahl, das logarithmische Diversitätsmaß D (Shannon-Index), die Rarefaction (30)-Werte und das Auftreten gefährdeter Arten mit den entsprechenden Gefährdungskategorien heran gezogen. Dieses Schema wird zur besseren Vergleichbarkeit beibehalten, auf eine Erläuterung der abgeleiteten Parameter (Diversität, Rarefaction) jedoch verzichtet.

Für die Bewertung des Auftretens gefährdeter Arten wurde im Bericht von 2001 ein fünfstufiges Schema verwendet, das hier noch einmal wiedergegeben werden soll. Als Grundlage dienen die in den Roten Listen Schleswig-Holsteins (Ziegler & Suikat, 1994) vergebenen Gefährdungskategorien (0 = ausgestorben oder verschollen, 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, p = potenziell gefährdet).

Tabelle 2:

Bewertungsschema für gefährdete Arten; Gefährdungskategorien nach Rote Liste Schleswig-Holstein (Reinke et al., 1998) bzw. Rote Liste Deutschland (Platen et al., 1998) [1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet]

Wertigkeit	Definition der Skalenabschnitte
1 sehr hoch	Vorkommen von mindestens vier Arten der landesweiten Roten Liste oder drei Arten der Gefährdungskategorien 1 oder 2.
2 hoch	Vorkommen von drei Arten der landesweiten Roten Liste, davon eine oder zwei Arten der Kategorien 1 oder 2 oder Anteil gefährdeter Arten an der Gesamtindividuenzahl über 10 %.
3 mittel	Vorkommen von einer Art der Roten Liste (Kategorie 1 oder 2) und zusätzlich Auftreten stenotoper Arten oder Vorkommen von zwei Arten der Roten Liste, Anteil gefährdeter Arten maximal 10 % der Gesamtindividuenzahl.
4 gering	Vorkommen von einer Art der Roten Liste oder Auftreten stenöker, spezialisierter Arten.
5 sehr gering	Kein Vorkommen gefährdeter oder stenöker, spezialisierter Arten.

Die Bezeichnung „stenöke, spezialisierte Arten“ bezieht sich dabei auf Arten, die aufgrund ihrer speziellen Habita-

tansprüche nur in bestimmten Lebensräumen vorkommen können.

Die Identifikation der Laufkäfer erfolgte mit Hilfe der Bestimmungsschlüssel von Freude (1976), Lindroth (1985/86) sowie Müller-Motzfeld (2004). Bezüglich der Nomenklatur der Laufkäfer haben sich nach Müller-Motzfeld (2004) gegenüber der ersten Untersuchung einige Veränderungen ergeben: *Agonum moestum* = *Agonum emarginatum*, *Lasiothrus discus* = *Blemus discus*, *Harpalus aeneus* = *Harpalus affinis*, *Platynus assimilis* = *Limodromus assimilis*, *Platynus dorsalis* = *Anchomenus dorsalis*, *Pseudoophonus rufipes* = *Harpalus rufipes* und *Trechus secalis* = *Epaphius secalis*.

Für die Spinnenbewertung wurden Zusatzkriterien hinzugezogen, die in Einzelfällen zu einer Aufwertung von Flächen führen können. Diese Einführung von Zusatzkriterien erscheint geboten, da die alleinige Bewertung aufgrund des Gefährdungspotenzials von Arten eine differenzierte Betrachtung von Kulturbiotopen und anderen weit verbreiteten Lebensräumen, die häufig arm an gefährdeten Arten sind, nicht hinreichend ermöglicht. Dies zeigen die Ergebnisse zur Spinnenfauna der vorliegenden Untersuchung sehr deutlich: Bereits im Untersuchungsjahr 2001 konnten nur wenige kleine Vorkommen gefährdeter Arten ermittelt werden. Die Ergebnisse des Jahres 2005 erbrachten lediglich den Nachweis einer gefährdeten Art. Die Untersuchungsstandorte zeigen aber sehr deutliche qualitative Unterschiede in den Spinnenzönosen, die sich allein mit der Betrachtung von gefährdeten Arten nicht beschreiben und bewerten lassen. Für eine differenzierte Bewertung, insbesondere der unteren Wertstufen „mittel“ bis „sehr geringwertig“ werden somit die folgenden Zusatzkriterien herangezogen, die in Ergänzung zur Definition der Skalenabschnitte (Tabelle 2) zu einer Aufwertung von Flächen führen können:

- Charakteristisches Artenspektrum naturnaher Lebensräume
- hohe Arten- und / oder Individuenzahl stenöker Arten
- hoher Anteil Wolfspinnen als Indikatoren für weniger intensive Nutzung von Offenlandlebensräumen (vgl. Rieken, 2000)
- hohe Diversität

Die Nomenklatur der Spinnenarten richtete sich nach dem Verzeichnis der Spinnentiere Deutschlands (Platen et al., 1995). Zur Determination wurden in erster Linie Heimer & Nentwig (1991) sowie Roberts (1985, 1987) - ergänzt um Spezialliteratur für bestimmte Spinnenfamilien oder -taxa wie z. B. Grimm (1985) für die Gnaphosidae - verwendet.

Die Determination der Linyphiidae der Gattung *Dicymbium* ist bei den Weibchen kaum möglich (vgl. Heimer &

Nentwig, 1991). Entsprechende Weibchen konnten somit nicht bis zur Art bestimmt werden. Nicht determinierbare Jungspinnen werden in den Ergebnistabellen nicht berücksichtigt. Zur ökologischen Einordnung des Spinnenarteninventars werden in erster Linie die ökologische Klassifizierung nach Platen (1991) sowie die Angaben von Reinke & Irmeler (1994) herangezogen.

3 Ergebnisse

3.1 Laufkäfer

Im Zeitraum vom 19.05.05 bis 07.10.05 wurden an 50 Probenstandorten auf Flächen der Güter Trenthorst-Wulmenau insgesamt 21.243 Laufkäfer aus 71 Arten festgestellt. Im qualitativen Vergleich konnten 13 der im Jahr 2001 nachgewiesenen Arten im Untersuchungsjahr 2005 nicht mehr nachgewiesen werden. Von diesen Arten trat jedoch der größte Teil (acht Arten) 2001 nur in einzelnen Individuen auf. Andere, häufiger vertretene Arten - wie z. B. *Amara bifrons* (30 Individuen, vor allem im Grünland) und *Carabus coriaceus* (29 Individuen, Wald) - könnten natürlichen Populationsschwankungen unterworfen gewesen sein und sind in Zukunft wieder zu erwarten.

Den 13 nicht mehr nachgewiesenen Arten stehen jedoch 22 Arten gegenüber, die 2005 neu hinzu gekommen sind. Auch hier handelt es sich überwiegend um Einzel-funde, einige Arten lassen aber einen Besiedlungserfolg

zumindest bestimmter Standorte vermuten (z. B. *Bembidion guttula*, *Harpalus rubripes*, *H. signaticornis*, *Pterostichus anthracinus*, *Trechus obtusus*). Besonders hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang *Poecilus cupreus*, der auf allen bewirtschafteten Flächen in teilweise sehr hohen Abundanzen auftrat und insgesamt die zweithäufigste Art ist (Tabelle 3).

Die nach wie vor häufigste Art ist mit 36,4 % des Gesamtfanges (7.735 Individuen) die euryöke Art *Pterostichus melanarius*, gefolgt von *Poecilus cupreus* (23,8 %, 5.055 Individuen). Während 2001 der nah verwandte *Poecilus versicolor* noch die dritthäufigste Art war, trat er 2005 jedoch nur mit einem Dominanzanteil von 0,4 % auf. Auffällig ist auch der starke Rückgang von *Nebria brevicollis* und *Blemus discus*. Die erste Art meidet das Licht und wird offenbar durch den auf ökologisch bewirtschafteten Flächen weniger dichten Bewuchs (Verzicht auf Kunstdünger) benachteiligt, weshalb sie in schattigere Bereiche ausweicht. Eine ähnliche Entwicklung konnte auch bei einer durch die Umweltbehörde Hamburg in Auftrag gegebenen Untersuchung beobachtet werden, wo die Art nach einigen Jahren vollständig von den Flächen verschwunden und nur noch in Knicknähe anzutreffen war (vgl. Olthoff et al., 1998). *B. discus* lebt unterirdisch auf feuchten Böden und kann besonders nach Überschwemmungen (Staunässe) häufiger gefunden werden. Es ist demnach zu vermuten, dass der gehäufte Nachweis in 2001 auf ein solches Ereignis zurückzuführen ist und die Art nach wie vor auf den Flächen vorkommt.

Tabelle 3:

Laufkäferarten beider Untersuchungsjahre mit einem Dominanzanteil von > 1 % des Gesamtfanges

Art	2001		2005		Bevorzugter Biotoptyp
	D %	Indiv.	D %	Indiv.	
<i>Pterostichus melanarius</i>	43,0	3517	36,4	7735	eurytop; v.a. Grünland, Äcker
<i>Nebria brevicollis</i>	22,0	1815	3,3	698	eurytop, hygrophil; Laubwälder, Grünland etc.
<i>Poecilus versicolor</i>	5,9	483	0,4	82	eurytop auf offenen Flächen, nicht zu feucht
<i>Abax parallelepipedus</i>	2,9	243	0,7	154	Wald, Gehölze
<i>Blemus discus</i>	2,8	234	0,005	1	hygrophil; Grünland, Äcker mittelschwere Böden
<i>Loricera pilicornis</i>	2,5	208	1,8	386	eurytop, hygrophil, v.a. auf feuchtem Grünland
<i>Limodromus assimilis</i>	2,1	171	0,6	131	eurytop, hygrophil; v.a. Wälder, auch Grünland
<i>Trechus quadristriatus</i>	1,8	152	0,7	147	eher trockene, offene Bereiche; Äcker, Grünland
<i>Clivina fossor</i>	1,7	140	0,3	61	eurytop, hygrophil; Äcker, Grünland
<i>Harpalus rufipes</i>	1,5	121	0,8	175	eurytop auf offenen Flächen, v.a. Lehmböden
<i>Bembidion tetracolum</i>	1,5	120	5,9	1550	eurytop, hygrophil; offene Flächen, Äcker etc.
<i>Anchomenus dorsalis</i>	1,3	104	8,1	1715	eurytop auf offenen Flächen, nicht zu feucht
<i>Carabus hortensis</i>	1,0	85	0,07	16	Wald, Gehölze
<i>Poecilus cupreus</i>	0	0	23,8	5055	hygrophil ; Grünland, Äcker, lehmige Böden
<i>Agonum muelleri</i>	0,6	46	3,7	789	eurytop auf offenen Flächen, nicht zu trocken
<i>Pterostichus niger</i>	0,8	68	2,0	422	eurytop ; Wälder, Grünland, nicht zu trocken

Im Gegensatz hierzu ist bei einer Reihe anderer Arten ein starker Abundanzzuwachs zu beobachten, so bei *Pterostichus melanarius*, *P. niger*, *Bembidion tetracolum*, *B. properans*, *Anchomenus dorsalis*, *Agonum muelleri*, *Amara similata* und bei dem bereits erwähnten *Poecilus cupreus*. Die Individuenzahlen dieser Arten haben sich zum größten Teil vervielfacht. Es handelt sich bei diesen Arten überwiegend um Bewohner mäßig feuchter, offener Bereiche, deren Lebensbedingungen sich auf den Untersuchungsflächen somit deutlich verbessert haben.

Aber auch für einige xerophile, d.h. trockenheitsliebende Arten, scheinen sich die Umweltbedingungen positiv verändert zu haben. Diese Gruppe ist zwar auch im zweiten Untersuchungsjahr noch stark unterrepräsentiert, jedoch sind einige Arten neu hinzu gekommen (*Amara aenea*, *Harpalus distinguendus*, *H. rubripes*, *H. signaticornis*). Andere, bereits im Jahr 2001 nachgewiesene Arten weisen deutlich höhere Aktivitätsdichten auf (z. B. *Calathus fuscipes*, *Harpalus affinis*). Diese Tendenz war auch in der oben erwähnten Hamburger Untersuchung von Olthoff et al. (1998) sehr deutlich zu beobachten. Hier hatten sich die Artenzahlen der xerophilen Laufkäfer sieben Jahre nach der Umstellung verdoppelt bis fast verdreifacht, wobei fast alle Arten im letzten Untersuchungsjahr in hohen Abundanzen auftraten. Obwohl im Untersuchungsgebiet erst der Ansatz einer ähnlichen Entwicklung zu beobachten ist, werden xerophile Arten dort in Zukunft vermutlich stärker in Erscheinung treten.

Ein weiterer Hinweis auf die Verbesserung der Existenzbedingungen für die Laufkäferfauna ist die deutliche Zunahme von Arten, die in Schleswig-Holstein nach Ziegler & Suikat (1994) als gefährdet eingestuft werden. Waren es 2001 noch fünf Arten, stieg die Zahl im Jahr 2005 auf elf an, wobei drei der Arten aus 2001 nicht mehr nachgewiesen werden konnten (*Calosoma auropunctatum*, *Amara ovata*, *Harpalus froelichii*) (Tabelle 4).

Auffällig ist eine besondere Häufung gefährdeter, überwiegend xerophiler Arten auf Rapsäckern (*Calosoma auropunctatum*, *Harpalus signaticornis*, *H. distinguendus*, *H. froelichii*, *Amara ovata*). Vermutlich werden diese Arten gerade auf Rapsäckern durch die geringere Halmdichte (Verzicht auf Kunstdünger), das Fehlen einer Untersaat (auf vielen Getreidefeldern) und die dadurch verstärkte Besonnung begünstigt. Einen weiteren Schwerpunkt für das Auftreten gefährdeter Arten bilden die Gewässerufer (*Blethisa multipunctata*, *Chlaenius nigricornis*, *Pterostichus anthracinus*), wobei der Standort 7 (Kleingewässerufer) besonders hervorzuheben ist. Bei intensiverer Beprobung dieses Biototyps ließen sich vermutlich erstaunliche Ergebnisse erzielen (drei von elf gefährdeten Arten an drei von fünfzig Standorten). Diese Bereiche müssen daher als besonders schützenswert und förderungswürdig angesehen werden.

Aufgrund der üblichen Bewirtschaftungsveränderungen (z. B. Fruchtfolgen) haben sich kleinräumige Veränderungen einiger Fallenstandorte ergeben, die einen Einfluss

Tabelle 4:

Liste der im Untersuchungsgebiet Trenthorst/Wulmenau nachgewiesenen gefährdeten Laufkäferarten mit Angaben zu den in den Untersuchungsjahren jeweils festgestellten Individuen-Fangzahlen (= Aktivitätsdichten), zum Gefährdungsgrad laut Roter Liste Schleswig-Holsteins (RL-SH; Ziegler & Suikat, 1994) sowie zum Fundort

Art	Anzahl		RL-SH	Fundort
	2001	2005		
<i>Agonum viridicupreum</i>		1	0	12 (Acker/Erbse, Leindotter)
<i>Calosoma auropunctatum</i>	1		1	35 (Acker/Raps)
<i>Blethisa multipunctata</i>		1	2	7 (Kleingewässerufer)
<i>Harpalus signaticornis</i>		13	2	45, 46 (Acker/Raps)
<i>Agonum sexpunctatum</i>		1	3	37 (Acker/Getreide)
<i>Amara ovata</i>	10		3	3 (Knick), 45, 46, 47 (Acker/Raps)
<i>Bembidion lunulatum</i>		8	3	28 (Grünland)
<i>Bembidion obtusum</i>	18	2	3	2001: 1, 48, 49 (Brache), 5 (Grünland); 2005: 8 (Grünland)
<i>Chlaenius nigricornis</i>		3	3	7 (Kleingewässerufer), 50 (Seeufer)
<i>Epaphius secalis</i>	8	1	3	2001: 31-34, 36 (Acker/Raps), 42-43 (Acker/Getreide); 2005: 6 (Weidenbruch/Wiesenrand)
<i>Harpalus distinguendus</i>		1	3	19 (Acker/Raps)
<i>Harpalus froelichii</i>	1		3	33 (Acker/Raps)
<i>Poecilus cupreus</i>		5055	3	Alle bewirtschafteten Flächen
<i>Pterostichus anthracinus</i>		15	3	7 (Kleingewässerufer)

(Die Gefährdungsgrade müssen mit Vorsicht interpretiert werden, da das Erscheinen der Roten Liste mehr als zehn Jahre zurückliegt und sich bei einigen Arten die Gefährdungssituation nach dem derzeitigen Kenntnisstand verändert hat.)

auf die Ergebnisse haben. Das Artenspektrum des Standortes 6 wies neben typischen Sumpf- und Uferbewohnern auch etliche Faunenelemente offener Bereiche auf, woraus sich die vergleichsweise hohe Arten- und Individuenzahl erklärt. Die Falle wurde also vermutlich in Richtung angrenzendes Grünland 8 verlegt. Ähnliches gilt für den Standort 11, der 2001 zu den Waldstandorten gerechnet wurde, 2005 aber so viele Arten offener Bereiche aufwies, dass er zu den Knicks gestellt wurde. Der Standort 38 ist insofern bemerkenswert, als er inmitten eines Getreideackers liegt, aber einige typische Uferarten aufweist. Aus den handschriftlichen Aufzeichnungen der Fallenbetreuer geht hervor, dass sich hier ein Kleingewässer befand, das 2001 noch nicht existierte. Aus der offenkundigen Vernäsung in diesem Bereich, der von den typischen Acker- und Grünlandbewohnern weitgehend gemieden wurde, resultiert die geringe Individuenzahl an diesem Standort.

Gemessen an der relativ kurzen Zeit nach Umstellung der Bewirtschaftungsweise (drei Jahre) ist die Zunahme der Gesamtartenzahl um 12,6 % (von 63 auf 71 Arten) als recht hoch einzuschätzen. Bei der Untersuchung im Hamburger Umland (Olthoff et al., 1998) war die Artenzahl nach sieben Jahren etwa um den ähnlichen Prozentsatz gestiegen (12,5 %, von 88 auf 99 Arten), wobei allerdings der Ausgangswert deutlich höher lag als auf den Flächen von Gut Trenthorst/Wulmenau. Diese positive Tendenz wird auch durch die Zunahme gefährdeter Arten unterstrichen (über 100 %).

Bezogen auf die untersuchten Biotoptypen ist die durchschnittliche Artenzahl überwiegend leicht bis deutlich (Bruch/Ufer) angestiegen, auf den Rapsäckern und im Wald jedoch leicht gesunken (Tabelle 5). Insgesamt ist die Artenvielfalt aber immer noch als eher gering einzustufen. So wurden bei der Hamburger Untersuchung auf den Anbauflächen zwischen 37 und 60 Arten, in den angrenzenden Knicks (wo auch nur jeweils zwei Fallen standen) zwischen 20 und 41 Arten nachgewiesen.

Allerdings wiesen zum Beispiel die beiden Standorte 48 und 49 (2001 und 2005 Grünland) in beiden Jahren eine vergleichsweise hohe Artenzahl auf. Vermutlich handelt es sich hier um Dauergrünland, auf dem sich die Laufkäfergemeinschaft ungestörter entwickeln konnte als auf den übrigen Flächen.

Die durchschnittlichen Individuenzahlen sind dagegen an fast allen Biotoptypen im Untersuchungsjahr 2005 deutlich angestiegen und überwiegend als hoch einzustufen. Die höchsten Werte erreichen die Äcker, auf denen sich die Individuenzahl etwa vervierfacht hat. Eine Ausnahme bilden die Standorte des Biotoptyps Bruch/Ufer, bei dem die durchschnittliche Individuenzahl leicht gesunken sind. Die Diversitätswerte sind überwiegend deutlich angestiegen, jedoch auf den Äckern und im Wald trotzdem nur als mäßig einzustufen. In den Biotoptypen Grünland, Knick und Bruch/Ufer sind sie mit Werten zwischen 2,0 und 2,3 vergleichsweise hoch.

Die Rarefaction (30)-Werte sind dagegen auf Getreideäckern, im Grünland und im Wald gesunken. Dies deutet eher auf eine leichte Abnahme der theoretisch in diesen Biotoptypen zu erwartenden Artenzahlen hin.

Bei Anwendung des in Tabelle 2: Bewertungsschema für gefährdete Arten; Gefährdungskategorien nach Rote Liste Schleswig-Holstein (Reinke et al., 1998) bzw. Rote Liste Deutschland (Platen et al., 1998) [1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet] dargestellten Bewertungsschemas wurde *Poecilus cupreus* nicht berücksichtigt, da diese Art in einer neu zu erstellenden Roten Liste vermutlich nicht mehr geführt wird. Da sie zudem in allen offenen Bereichen auftrat, würden diese automatisch in ihrer Wertigkeit steigen und das Bild somit stark verzerrt werden.

Der größte Teil (27) der 50 untersuchten Standorte ist in der Wertigkeit als „sehr gering“ einzustufen, wobei vor allem die Getreideäcker (13 von 16 Standorten) und das Grünland (11 von 14 Standorten) zu nennen sind. 20 Standorte sind als „gering“ zu bewerten (Acker/Getreide:

Tabelle 5:

Durchschnittliche Werte der Individuen- und Artenzahlen, der Diversität und Rarefaction (30) der Laufkäfer in den verschiedenen Biotoptypen im Untersuchungsgebiet Trenthorst/Wulmenau im Vergleich der Untersuchungsjahre 2001 und 2005

Biotoptyp	Anz. Standorte		Individuenzahl		Artenzahl		Diversität		Rarefaction	
	2001	2005	2001	2005	2001	2005	2001	2005	2001	2005
Brachen	8	0	327,4	-	15,6	-	1,6	-	6,6	-
Acker/Getreide, Mais	13	16	168,8	675,7	14,3	15,4	1,6	1,6	7,5	6,7
Acker/Raps u.ä.	9	8	194,6	806,4	17,3	15,6	1,3	1,7	7,0	7,3
Grünland	8	14	97,4	195,6	14,0	16,8	2,0	2,0	10,0	9,4
Wald	7	6	69,1	98,0	10,6	8,8	1,6	1,8	7,7	7,3
Knick	2	3	74,0	131,6	15,5	16,3	1,7	2,2	9,2	11,1
Bruch/Ufer	3	3	93,0	86,3	15,0	18,6	2,1	2,3	10,2	12,2

3 Standorte; Acker/Raps u. ä.: 3 Standorte; Grünland: 3 Standorte, Wald: 6 Standorte; Knick: 3 Standorte, Bruch/Ufer: 2 Standorte). Lediglich zwei Standorte (45 und 46, Rapsacker) sind als „mittel“ einzustufen, da hier *Harpa-lus signaticornis* nachgewiesen wurde. Wenn diese Art jedoch, wie vermutet, in ihrem Gefährdungsstatus zurück gestuft wird, wäre auch die Wertigkeit dieser Standorte als „gering“ zu bezeichnen.

Der Standort 7 (Kleingewässerufer) wird in seiner Wertigkeit als „hoch“ eingestuft, da hier neben einigen stenöken Arten (*Abax parallelepipedus*, *Agonum viduum*, *Patrobus atrorufus*) auch drei Arten der Roten Liste gefunden wurden (*Blethisa multipunctata*, *Chlaenius nigricornis*, *Pterostichus anthracinus*). Vermutlich stammt auch *Agonum viridicupreum* aus diesem Uferbereich, denn der Fundort ist nicht weit entfernt. Würde der Nachweis dieser Art am Standort 7 gelingen, müsste die Wertigkeit als „sehr hoch“ bezeichnet werden.

3.2 Spinnen

In der Zeit vom 19.05.05 bis 07.10.05 wurden an den 50 Probestandorten auf den untersuchten Flächen der Güter Trenthorst und Wulmenau insgesamt 8.083 Spinnen nachgewiesen. Die festgestellten 71 Spinnenarten verteilen sich auf 12 verschiedene Spinnenfamilien. Hinsichtlich Arten- und Individuenzahlen dominieren Linyphiidae (Zwerg- und Baldachinspinnen) und Lycosidae (Wolfspinnen) die Spinnenlebensgemeinschaften der untersuchten Probestandflächen (Tabelle 6).

Die Arten- und Individuenzahlen haben sich im Vergleich zum Untersuchungsjahr 2001 deutlich verringert. Insbesondere die Individuenzahl ist mit 8.083 erfassten Individuen im Jahr 2005 gegenüber 2001 mit 16.040 festgestellten Individuen erheblich niedriger. Von den 2001 erfassten 88 Arten konnten im Jahr 2005 31 Arten nicht erneut nachgewiesen werden. Es wurden andererseits 14 Arten ermittelt, die 2001 nicht erfasst wurden. Sowohl die nicht mehr als auch die neu nachgewiesenen Arten sind ganz überwiegend Arten, die mit einzelnen Individuen und meist an einer einzigen Probestandfläche festgestellt wurden. Es handelt sich somit überwiegend um Arten, die mit der gewählten Methode an der Grenze der Nachweisbarkeit liegen. Eine qualitative Veränderung der Flächen ist aus der Präsenz und Abwesenheit dieser Arten nicht abzuleiten, zumal es sich bei diesen Arten nicht um eine bestimmte ökologische Gruppe handelt. Ein Faktor für die deutlich verringerte Individuen- und die damit verbundene geringere Artenzahl ist in der veränderten Probenflächenauswahl zu sehen. So wurden im Untersuchungsjahr 2001 acht Brachflächen untersucht, die im Gegensatz zu den Ackerflächen zu den individuenreichsten Flächen zählten. Im Untersuchungsjahr 2005 wurden hier Acker- und

Grünlandflächen vorgefunden und keine Brachflächen untersucht. So wurde beispielsweise die Linyphiidae *Erigone longipalpis*, die 2001 vor allem auf den Brachflächen nachgewiesen wurde, im Jahr 2005 nicht mehr festgestellt. Ein weiterer möglicher Faktor ist in natürlichen Populationsschwankungen zu sehen, die in Wirbellosen-gemeinschaften erhebliche Ausmaße erreichen können. Daher werden in der folgenden Analyse der Daten insbesondere relative Parameter (Dominanz von Arten, insbesondere von stenöken Arten; Diversität, charakteristische Ausprägung der Spinnenbestände der einzelnen Lebensraumtypen, etc.) berücksichtigt. Absolute Arten- und Individuenzahlen werden nur bedingt zum Vergleich der Untersuchungsjahre 2001 und 2005 herangezogen.

Tabelle 6:

Verteilung der nachgewiesenen Spinnenarten auf die Spinnenfamilien 2005

Spinnenfamilie	Arten	Individuen
Linyphiidae – Zwerg- und Baldachinspinnen	43	4.801
Lycosidae – Wolfspinnen	10	2.769
Thomisidae – Krabbenspinnen	4	41
Tetragnathidae – Kiefer- oder Streckerspinnen	3	399
Gnaphosidae – Plattbauchspinnen	2	7
Liocranidae – Feldspinnen	2	3
Theridiidae – Kugel- oder Haubennetzspinnen	2	2
Clubionidae – Sackspinnen	1	6
Amaurobiidae	1	29
Pisauridae – Raubspinnen	1	1
Salticidae – Springspinnen	1	1
Zoridae – Wanderspinnen	1	24
Summe	71	8.083

Die vier häufigsten Arten *Erigone atra*, *Oedothorax apicatus*, *O. fuscus* und *Pardosa palustris* (Individuenanteil 2001: 63,0 %, 2005: 59,2 %) dominieren sowohl 2001 und 2005 die Zönosen. Bei diesen Arten handelt es sich in beiden Untersuchungsjahren fast ausnahmslos um euryöke Offenland- bzw. weit verbreitete und häufige Waldarten. Somit treten nach wie vor überwiegend wenig anspruchsvolle Spinnenarten an den Probestandflächen auf. Im Jahr 2005 konnte allerdings mit *Pirata hygrophilus* auch eine typische feuchtigkeitsliebende Art in größerer Zahl nachgewiesen werden. Gefährdete Arten treten nach wie vor unter den dominanten Arten nicht auf (Tabelle 7). Die Gesamtzahl an Individuen und damit auch an Arten ist 2005 deutlich niedriger als 2001. Dabei fällt auf, dass die Individuenzahl und der relative Anteil der Zwerg- und Baldachinspinnen deutlich abgenommen hat, während die Individuenzahl und der relative Anteil der Wolfspinnen angestiegen ist (Tabelle 8).

Tabelle 7:

Spinnenarten beider Untersuchungsjahre mit einem Dominanzanteil von > 1 % des Gesamtfanges

Art	2001		2005		Ökologischer Typ
	Dom.	Indiv.	Dom.	Indiv.	
<i>Erigone atra</i>	25,0	4009	16,3	1314	euryök, selten im Wald
<i>Oedothorax apicatus</i>	18,6	2977	17,7	1433	Acker, offene Biotope
<i>Oedothorax fuscus</i>	11,4	1827	9,2	747	euryök, oft im Grünland
<i>Pardosa palustris</i>	8,0	1278	16,0	1292	euryök, oft im Grünland
<i>Bathypantes gracilis</i>	7,7	1242	2,9	235	euryök
<i>Erigone dentipalpis</i>	3,7	598	4,9	399	euryök, selten im Wald
<i>Diplocephalus latifrons</i>	3,1	490	0,2	20	Gehölze, Rudera
<i>Oedothorax retusus</i>	2,4	387	1,7	135	offene Biotope
<i>Lepthyphantes tenuis</i>	2,3	373	1,0	77	euryök
<i>Porrhomma microphthalmum</i>	1,8	280	0,2	16	euryök, offene Biotope
<i>Pachygnatha degeeri</i>	1,6	262	4,5	366	euryök
<i>Pardosa amentata</i>	1,6	260	6,2	505	euryök, offene Biotope
<i>Diplocephalus picinus</i>	1,5	242	0,7	55	v.a. Gehölze
<i>Diplostyla concolor</i>	1,5	232	0,6	48	euryök
<i>Micrargus herbigradus</i>	1,3	206	0,1	6	euryök
<i>Pardosa prativaga</i>	0,8	125	5,3	1292	euryök
<i>Pirata hygrophilus</i>	0,5	84	5,1	411	hygrophil

Deutlich abgenommen haben z. B. die Individuenzahlen und Dominanzanteile der Linyphiidae *Erigone atra*, *Bathypantes gracilis*, *Diplocephalus latifrons*, *Lepthyphantes tenuis*, *Porrhomma microphthalmum* und *Micrargus herbigradus*. Eine deutliche Zunahme zeigten z. B. die Wolfspinnen *Pardosa palustris*, *P. amentata*, *P. prativaga* und *Pirata hygrophilus* sowie die Linyphiidae *Erigone dentipalpis* und die Tetragnathidae *Pachygnatha degeeri*.

Tabelle 8:

Individuenzahlen und Relation der Spinnenfamilien **Linyphiidae** und **Lycosidae** im Vergleich der Untersuchungsjahre

	2001	2005
Individuenzahl Linyphiidae	13.402	4.801
Individuenzahl Lycosidae	2.134	2.769
Relation Linyphiidae / Lycosidae	6,2 : 1	1,7 : 1

Größere Bestände gefährdeter Arten konnten wie im Jahr 2001 nicht festgestellt werden. Während 2001 aber vier gefährdete Arten in geringer Zahl auftraten, konnte 2005 mit *Robertus neglectus* lediglich eine in Schleswig-Holstein gefährdete Art (Rote Liste 3) mit einem Einzeltier nachgewiesen werden. Neben den dominierenden euryöken Arten wurde auch eine größere Zahl anspruchsvollerer Arten nachgewiesen. Bei diesen stenöken Arten handelt es sich um:

- Hygrophile Arten, die insbesondere an den Feuchtstandorten (insbes. Probefläche 6 und 7), an einzelnen Grünlandstandorten bzw. in den feuchten Waldbereichen gefunden wurden; typische Beispiele sind *Pirata hygrophilus*, *Pachygnatha clerki*, *P. listeri*, *Oedothorax gibbosus*, *Walckenaeria nudipalpis* und *Savignia frontata*.
- Charakteristische Waldarten wie *Ceratinella brevis*, *Diplocephalus latifrons*, *D. picinus*, *Maso sundevalli*, *Walckenaeria atrotibialis*, *Coelotes terrestris*.
- Die ökologische Gruppe der trockenheitsliebenden Arten ist lediglich mit einzelnen Individuen der Krabbspinne *Xysticus kochi* und insbesondere im Bereich der Ackerstandorte vertreten.

Die Gesamtzahl der Arten ist mit 71 Arten angesichts des Spektrums der untersuchten Lebensräume als durchschnittlich bis gering einzuordnen. Die Zahl der gefährdeten Arten ist mit nur einer gefährdeten Art als sehr gering einzustufen.

Entsprechend wird der größte Anteil der Probeflächen wie im Untersuchungsjahr 2001 den Wertstufen „gering“ bzw. „sehr geringwertig“ zugeordnet. Dies gilt insbesondere für die Acker- und Grünlandstandorte. Lediglich einzelne Knick- und Feuchtlebensräume werden aufgrund einer typischen Ausprägung und der Präsenz stenöker Arten als mittelwertig eingestuft. Hochwertige Spinnenlebensräume konnten nicht ermittelt werden. Die absoluten

Individuen- und Artenzahlen sind 2005 gegenüber 2001 insbesondere in den landwirtschaftlich genutzten Flächen und an den Waldstandorten deutlich niedriger. Im „Ranking“ der verschiedenen Lebensraumtypen zeichnen sich die Lebensraumtypen Knick, Bruch/Ufer und Grünland nach wie vor durch die höchsten Artenzahlen aus, Bruch/Ufer und Grünland weisen zudem auch die höchsten Diversitäts- bzw. Rarefactionwerte sowie die höchsten Individuenzahlen auf (vgl. Tabelle 9). Die Diversitäts- und Rarefactionwerte liegen im Vergleich zur Untersuchung 2001 – insbesondere im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Flächen – in der gleichen Größenordnung.

Charakteristische Unterschiede zeigen die Untersuchungsstandorte auch hinsichtlich des relativen Anteils der Spinnenfamilien Linyphiidae (Zwerg- und Baldachinspinnen) sowie der Lycosidae. Einen besonders hohen Anteil an Linyphiidae weisen charakteristischerweise Ackerlebensräume auf (vgl. Platen, 1996).

Ackerstandorte sind wie 2001 überwiegend durch euryöke und weit verbreitete Arten gekennzeichnet. Die Artenzahl ist sehr gering, die mit Abstand dominantesten Arten dieser Untersuchung sind die allgemein häufigen

Linyphiidae *Oedothorax apicatus* und *Erigone atra*. In schleswig-holsteinischen Ackerökosystemen gehören sie zu den vorherrschenden Arten (vgl. Irmeler et al., 1994). Platen (1996) zählt diese Arten zu den agrophilen / agrobionten Arten mitteleuropäischer Kulturfelder. Die Artenzahl an den untersuchten Ackerstandorten schwankt zwischen neun und 18 Arten, die Individuensumme zwischen 35 und 248 Individuen. Neben den dominierenden Linyphiidae treten nur wenige Spinnen anderer Lebensformtypen auf. Der Anteil von Wolfsspinnen ist – typisch für intensiv genutzte Kulturlebensräume – sehr niedrig (vgl. Tabelle 10). Mit Ausnahme des Standortes S37, der aufgrund eines nennenswerten Anteils an Wolfsspinnen sowie einzelner anspruchsvollerer Arten als geringwertig eingestuft wird, werden alle übrigen Ackerstandorte als sehr geringwertig eingeordnet.

Die **Grünlandstandorte** zeichnen sich ebenso durch das Vorkommen vor allem häufiger und weit verbreiteter Arten aus. Die Artenzahl ist im Vergleich zu den Ackerstandorten deutlich höher, wenn auch hier die Artenzahl gegenüber 2001 leicht abgenommen hat. Die Diversität hat sich gegenüber 2001 nicht verändert. Der Anteil der

Tabelle 9:

Durchschnittliche Werte der Individuen- und Artenzahlen, der Diversität und Rarefaction (30) der Spinnen in den verschiedenen Biotoptypen des Untersuchungsgebietes Trenthorst/Wulmenau

Biotoptyp	Anz.Standorte		Individuenzahl		Artenzahl		Diversität		Rarefaction	
	2001	2005	2001	2005	2001	2005	2001	2005	2001	2005
Brachen	8	0	610,3	-	17,8	-	1,9	-	7,4	-
Acker/Getreide, Mais	13	16	337,5	125,6	17,6	12,6	1,8	1,9	7,9	8,4
Acker/Raps u. ä.	9	8	237,2	109,3	17,0	12,5	2,1	1,7	9,0	7,7
Grünland	8	14	364,3	269,4	19,6	17,4	2,0	2,0	8,6	8,8
Wald	7	6	176,7	71,2	17,9	13,8	2,0	1,8	9,3	9,7
Knick	2	3	98,5	83,7	19,0	19,0	2,5	2,5	12,0	13,2
Bruch/Ufer	3	3	126,3	249,7	19,3	21,0	2,4	2,1	11,7	9,4

Tabelle 10:

Mittlere Individuenzahlen und Relation der Spinnenfamilien *Linyphiidae* und *Lycosidae* im Untersuchungsjahr 2005 im Vergleich der untersuchten Lebensraumtypen

Biotoptyp	Anzahl Probeflächen		Mittlere Individuenzahl		Relation
	2001	2005	<i>Linyphiidae</i>	<i>Lycosidae</i>	<i>Liny. / Lyc.</i>
Brachen	8	0	-	-	-
Acker/Getreide, Mais	13	16	97,8	26,6	3,7 : 1
Acker/Raps u.ä.	9	8	85,0	21,9	3,9 : 1
Grünland	8	14	151,1	93,8	1,6 : 1
Wald	7	6	25,0	38,7	0,6 : 1
Knick	2	3	53,0	14,3	3,7 : 1
Bruch/Ufer	3	3	43,7	193,3	0,2 : 1

Wolfspinnen ist angestiegen. Häufigste Art ist an den meisten Grünlandstandorten die Wolfspinne *Pardosa palustris*, die als charakteristische Art des trockenen und mittelfeuchten Grünlandes einzuordnen ist (vgl. Reinke & Irmeler, 1994). Aufgrund der Dominanz euryöker Arten, geringer Artenzahlen sowie einer geringen Diversität werden 13 der 14 untersuchten Grünlandstandorte als sehr geringwertig eingestuft. Der Standort 5 wird aufgrund der Präsenz einiger anspruchsvoller Arten, der relativ hohen Artenzahl und Diversität sowie des besonders hohen Anteils an Wolfspinnen als geringwertig eingestuft. Insgesamt ist der erhöhte Anteil der Wolfspinnen im Bereich der Grünlandstandorte als positive Tendenz einzuordnen. Ob die Ursache für diese Entwicklung in der Nutzungsumstellung begründet ist, kann mit einer einmaligen Vergleichserhebung nicht abschließend geklärt werden.

Auch die untersuchten **Wald- und Knickstandorte** zeigen erhebliche Unterschiede hinsichtlich der erfassten Arten- und Individuenzahlen. Auch charakteristische Arten der Gehölz- und Gehölzrandbereiche wurden in sehr unterschiedlicher Arten- und Individuenzahl festgestellt. Obgleich keine gefährdeten Arten beobachtet wurden, wird Probefläche 3 (Knick) aufgrund der typischen Ausprägung der Spinnenzönose mit umfangreichen Vorkommen wald- und gehölztypischer Arten, der relativ hohen Artenzahl sowie der höchsten Diversität aller untersuchten Standorte als mittelwertig eingeordnet. Anzumerken ist hier allerdings, dass auch diese Artenzahl im Vergleich zum potenziellen Artenspektrum ausgedehnter und naturnaher Waldstandorte verhältnismäßig niedrig ist. So erfasste z. B. Finch (2000) bei umfangreichen Untersuchungen in niedersächsischen Waldstandorten bei vergleichbarem Untersuchungsumfang bis zu 60 Spinnenarten.

Die Probeflächen 21 (Knick) und 15 (Laubwald, feucht) werden aufgrund der Bestände gehölz- und waldtypischer Arten als gering und nicht wie 9, 10, 11, 16 und 29 als sehr gering eingestuft.

Die untersuchten **Feuchtstandorte** Seeufer (50), Weidenbruch/Wiesenrand (6) und beschattetes Kleingewässersufer (7) weisen im Vergleich der Untersuchungsstandorte die höchsten Individuen- und Artenzahlen auf. Die Zönosen dieser Standorte werden ausnahmslos durch Wolfspinnenarten dominiert. *Pirata hygrophilus*, *Pardosa pratensis*, *P. palustris* und *P. amentata* sind die dominanten Arten dieser Standorte. Charakteristische gefährdete Arten von entsprechenden Feuchtlebensräumen und Uferbereichen wie *Arctosa leopardus*, *Pirata piscatorius* oder *Pardosa paludicola* konnten allerdings nicht festgestellt werden. Aufgrund der typischen Ausprägung mit charakteristischen feuchteliebenden Arten und einem hohen Anteil an Wolfspinnen werden die Standorte 6 und 7 als mittelwertig, 50 als geringwertig eingestuft.

Literatur

- Finch O-D (2001) Zöologische und parasitologische Untersuchungen an Spinnen (Arachnida, Araneae) niedersächsischer Waldstandorte. Nümbrecht-Elsenroth : Galunder, 199 p, Arch Zool Publ 4
- Freude H (1976) Aderphaga. Krefeld : Goecke & Evers, 302 p, Die Käfer Mitteleuropas 2
- Grimm U (1985) Die Gnaphosidae Mitteleuropas : <Arachnida, Araneae>. Hamburg : Parey, 318 p, Abh Naturwiss Ver Hamburg NF 26
- Heimer S, Nentwig W (1991) Spinnen Mitteleuropas : ein Bestimmungsbuch. – Hamburg : Parey, 543 p
- Lindroth CH (1985/86) The Carabidae (Coleoptera) of Fennoscandia and Denmark. Fauna Entomol Scand 15(1/2)
- Müller-Motzfeld G (ed) (2004) Aderphaga 1 : Carabidae (Laufkäfer). In: Freude H, Klausnitzer B, Müller Motzfeld G (eds) Die Käfer Mitteleuropas : Bd 2. München : Elsevier, 521 p
- Olthoff T, Richter J, Stieg-Lichtenberg H (1998) Ökologische Begleituntersuchungen auf den Gütern Wulfsdorf, Wulksfelde und Wohldorfer Hof. – Unveröff. Gutachten im Auftrag der Umweltbehörde Hamburg, Fachamt für ökologische Land- und Forstwirtschaft, 99 p
- Platen R (1996) Spinnengemeinschaften mitteleuropäischer Kulturbiotop. Arachnol Mitt 12:1–45
- Platen R, Blick T, Sacher P, Malten A (1998) Rote Liste der Webspinnen (Arachnida: Araneae). SchrR Landschaftspflege Naturschutz 55:268–275
- Platen R, Blick T, Sacher P, Malten A (1998) Rote Liste der Webspinnen (Arachnida: Araneae). SchrR Landschaftspflege Naturschutz 55:268–275
- Platen R, Blick T, Bliss P, Drogla R, Malten A, Martens J, Sacher P, Wunderlich J (1995) Verzeichnis der Spinnentiere (excl. Acari) Deutschlands (Arachnida: Araneida, Opilionida, Pseudoscorpionida) Arachnol Mitt SB 1:1–55
- Platen R, Moritz M, von Broen B (1991) Liste der Webspinnen- und Weberknechtarten (Arach.: Araneida, Opilionida) des Berliner Raumes und ihre Auswertung für Naturschutzzwecke (Rote Liste). Landschaftsentwick Umweltforsch SH S 6:169–206
- Reinke H-D, Irmeler U (1994) Die Spinnenfauna (Araneae) Schleswig-Holsteins am Boden und in der bodennahen Vegetation. Faun Ökol Mitt. Suppl 17
- Reinke H-D, Irmeler U, Klieber A (1998) Die Spinnen Schleswig-Holsteins - Rote Liste. Flintbek : Landesamt Natur Umwelt Schleswig-Holstein, 48 p
- Riecken U (2000) Raumeinbindung und Habitatnutzung epigäischer Arthropoden unter den Bedingungen der Kulturlandschaft : Raum- und Habitatnutzung der Spinnen und taxaübergreifende Aspekte unbewirtschafteter Landschaftselemente als Leitstrukturen und Refugialhabitate (Arachnida: Araneae; Coleoptera: Carabidae). Bonn-Bad-Godesberg : Bundesamt für Naturschutz, SchrR Landschaftspflege Naturschutz 61
- Roberts MJ (1985) The spiders of Great Britain and Ireland : vol 1: Atypidae to theridiosomatidae. Leiden : Brill, 229 p
- Roberts MJ (1985) The spiders of Great Britain and Ireland : vol 3: Colour plates : atypidae to linyphiidae. Leiden : Brill, 256 p
- Roberts MJ (1987) The spiders of Great Britain and Ireland : vol 2: Linyphiidae and checklist. Leiden : Brill, 204 p
- Trüper, Gondesens, Partner (2002) Faunistische Kartierung im ersten Jahr der Umstellung auf den Ökologischen Landbau der Liegenschaft Trenthorst/Wulmenau im Jahr 2001 : Endbericht, ergänzt April 2002. Braunschweig : FAL, unveröffentlicht
- Ziegler W, Suikat R (1994) Rote Liste der in Schleswig-Holstein gefährdeten Käferarten. Kiel : Landesamt für Naturschutz und Landschaftspflege Schleswig-Holstein, 96 p

Lieferbare Sonderhefte / Special issues available

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	Mamdoh Sattouf (2007) Identifying the Origin of Rock Phosphates and Phosphorus Fertilisers Using Isotope Ratio Techniques and Heavy Metal Patterns	12,00 €
312	Fahmia Aljmlil (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 und 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 €
321	Bernd Degen (Editor) (2008) Proceedings of the international workshop “Fingerprinting methods for the identification of timber origins”, Bonn, October 8-9 2007	18,00 €
322	Wilfried Brade, Gerhard Flachowsky, Lars Schrader (Hrsg.) (2008) Legehuhnzeugung und Eierzeugung - Empfehlungen für die Praxis	12,00 €
323	Christian Dominik Ebmeyer (2008) Crop portfolio composition under shifting output price relations – Analyzed for selected locations in Canada and Germany –	14,00 €
324	Ulrich Dämmgen (Hrsg.) (2009) Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR) 2009 for 2007 Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft – Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2009 für 2007	8,00 €
324A	Tables Tabellen	8,00 €

325	Frank Offermann, Martina Brockmeier, Horst Gömann, Werner Kleinhanß, Peter Kreins, Oliver von Ledebur, Bernhard Osterburg, Janine Pelikan, Petra Salamon (2009) vTI-Baseline 2008	8,00 €
326	Gerold Rahmann (Hrsg.) (2009) Ressortforschung für den Ökologischen Landbau 2008	8,00 €
327	Björn Seintsch, Matthias Dieter (Hrsg.) (2009) Waldstrategie 2020 Tagungsband zum Symposium des BMELV, 10.-11. Dez. 2008, Berlin	18,00 €
328	Walter Dirksmeyer, Heinz Sourell (Hrsg.) (2009) Wasser im Gartenbau Tagungsband zum Statusseminar am 9. und 10. Februar 2009 im Forum des vTI in Braunschweig. Organisiert im Auftrag des BMELV	8,00 €
329	Janine Pelikan, Martina Brockmeier, Werner Kleinhanß, Andreas Tietz, Peter Weingarten (2009) Auswirkungen eines EU-Beitritts der Türkei	8,00 €
330	Walter Dirksmeyer (Hrsg.) (2009) Status quo und Perspektiven des deutschen Produktionsgartenbaus	14,00 €
331	Frieder Jörg Schwarz, Ulrich Meyer (2009) Optimierung des Futterwertes von Mais und Maisprodukten	12,00 €
332	Gerold Rahmann und Ulrich Schumacher (Hrsg.) (2009) Praxis trifft Forschung — Neues aus der Ökologischen Tierhaltung 2009	8,00 €
333	Frank Offermann, Horst Gömann, Werner Kleinhanß, Peter Kreins, Oliver von Ledebur, Bernhard Osterburg, Janine Pelikan, Petra Salamon, Jörn Sanders (2010) vTI-Baseline 2009 – 2019: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland	10,00 €
334	Hans-Dieter Haenel (Hrsg.) (2010) Calculations of Emissions from German Agriculture - National Emission Inventory Report (NIR) 2010 for 2008 Berechnung der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2010 für 2008	12,00 €
335	Gerold Rahmann (Hrsg.) (2010) Ressortforschung für den Ökologischen Landbau 2009	8,00 €
336	Peter Kreins, Horst Behrendt, Horst Gömann, Claudia Heidecke, Ulrike Hirt, Ralf Kunkel, Kirsten Seidel, Björn Tetzlaff, Frank Wendland (2010) Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie in der Flussgebietseinheit Weser	22,00 €
337	Ulrich Dämmgen, Lotti Thöni, Ralf Lump, Kerstin Gilke, Eva Seidler und Marion Bullinger (2010) Feldexperiment zum Methodenvergleich von Ammoniak- und Ammonium-Konzentrationsmessungen in der Umgebungsluft, 2005 bis 2008 in Braunschweig	8,00 €
338	Janine Pelikan, Folkhard Isermeyer, Frank Offermann, Jörn Sanders und Yelto Zimmer (2010) Auswirkungen einer Handelsliberalisierung auf die deutsche und europäische Landwirtschaft	10,00 €
339	Gerald Schwarz, Hiltrud Nieberg und Jörn Sanders (2010) Organic Farming Support Payments in the EU	14,00 €
340	Shrini K. Upadhyaya, D. K. Giles, Silvia Haneklaus, and Ewald Schnug (Editors) (2010) Advanced Engineering Systems for Specialty Crops: A Review of Precision Agriculture for Water, Chemical, and Nutrient - Application, and Yield Monitoring	8,00 €
341	Gerold Rahmann und Ulrich Schumacher (Hrsg.) (2010) Praxis trifft Forschung — Neues aus der Ökologischen Tierhaltung 2010	8,00 €

Dr. Martin Banse, Institut für Marktanalyse und Agrarhandelspolitik, vTI
Dr. Jürgen Bender, Institut für Biodiversität, 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
Dr. Ulrich Dämmgen, Institut für Tierzucht und Vererbungsforschung, TiHo
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. Heinz Flessa, Institut für Agrarrelevante Klimaforschung, 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 Ibisch, Hochschule für nachhaltige Entwicklung, HNEE
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 Löpmeier, 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
Prof. Dr. Herbert Oberbeck, TU Braunschweig
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



Landbauforschung
*vTI Agriculture and
Forestry Research*

Vol.60 No. 4 12.2010

Preis / Price 8 €

ISSN 0458-6859

