

Landbauforschung

*Applied Agricultural
and Forestry Research*

Vol. 63
No. 1 · 03.2013



Landbauforschung

Landbauforschung *Applied Agricultural and Forestry Research* ist eine wissenschaftliche Zeitschrift, in der Forschungsergebnisse zu gesellschaftlich relevanten Themen veröffentlicht werden, die einen Bezug zur Landwirtschaft, zur Forstwirtschaft und zur ländlichen Entwicklung aufweisen. Die Zeitschrift ist damit explizit disziplinenübergreifend ausgerichtet.

Erwünscht sind insbesondere anwendungsorientierte wissenschaftliche Beiträge, die interdisziplinär angelegt sind oder die ausgeprägte Bezugspunkte zu anderen Fachdisziplinen aufweisen.

Der geographische Fokus der Zeitschrift liegt auf Deutschland und Europa.

Landbauforschung *Applied Agricultural and Forestry Research* wird vom Thünen-Institut herausgegeben und erscheint vierteljährlich. Die Beiträge unterliegen einer doppelt-anonymen Begutachtung (double blind peer review). Sie können in Englisch oder Deutsch verfasst sein.

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

Mit der Einsendung von Manuskripten geben die Verfasser/Verfasserinnen ihre Einwilligung zur Veröffentlichung. Die von den Autoren/Autorinnen zu beachtenden Richtlinien zur Einreichung der Beiträge sind unter www.ti.bund.de/landbauforschung oder bei der Geschäftsführung erhältlich.

Indexiert in: CAB International, Science Citation Index Expanded, Current Contents – Agriculture, Biology & Environmental Sciences, Scopus, Web of Science.

Herausgeber
Johann Heinrich von Thünen-Institut

Gutachtergremium
siehe 3. Umschlagseite

Schriftleitung
Prof. Dr. Andreas Bolte,
Prof. Dr. Peter Weingarten

Geschäftsführung
Dr. Matthias Rütze
Tel. +49 (0) 40 - 73962 247
Leuschnerstraße 91
21031 Hamburg, Germany
landbauforschung@ti.bund.de
www.ti.bund.de

Grafikdesign und Satz
Karin Tamoschat-Depolt, Thünen-Institut

Fotos Umschlagseite
Katja Seifert, Thünen-Institut (2),
Michael Welling, Thünen-Institut (1)

ISSN 0458-6859

Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

Alle Rechte vorbehalten.

Applied Agricultural and Forestry Research

Landbauforschung *Applied Agricultural and Forestry Research* is a scientific journal, concerning about the latest research results of socially relevant issues related to agriculture, forestry and rural development. The journal is targeted explicitly to interdisciplinary topics.

Particularly welcome are application-oriented scientific contributions with an interdisciplinary approach or have a close connection with other research areas.

The geographical focus of the journal is Germany and Europe.

Landbauforschung *Applied Agricultural and Forestry Research* is published by the Thünen Institute and appears quarterly. Contributions are subject to a double blind peer review. Articles may be written in English or German.

Authors are responsible for the content of their articles. The publishers are not liable for the content.

With the submission of a manuscript, the authors grant permission for publication. The guidelines for the submission of manuscripts can be found under www.ti.bund.de/landbauforschung or obtained from the publishers.

Indexed in: CAB International, Science Citation Index Expanded, Current Contents – Agriculture, Biology & Environmental Sciences, Scopus, Web of Science.

Publisher
Johann Heinrich von Thünen Institute

Editorial Board
see inside back cover

Editor in Chief
Prof. Dr. Andreas Bolte,
Prof. Dr. Peter Weingarten

Managing Editor
Dr. Matthias Rütze
Phone +49 40 - 73962 247
Leuschnerstraße 91
21031 Hamburg, Germany
landbauforschung@ti.bund.de
www.ti.bund.de

Graphic Design and typesetting
Karin Tamoschat-Depolt, Thünen Institute

Photos cover pages
Katja Seifert, Thünen Institute (2),
Michael Welling, Thünen Institute (1)

ISSN 0458-6859

Printed on FSC-certified paper

All rights reserved.

Inhalt
Content

- Reiner Plankl
Regionale Verteilung raumwirksamer finanzieller Staatshilfen in Deutschland
1 Regional distribution of spatially significant financial assistance in Germany
- Britta Blank, Dagmar Schaub, Hans Marten Paulsen und Gerold Rahmann
Vergleich von Leistungs- und Fütterungsparametern in ökologischen und konventionellen Milchviehbetrieben in Deutschland
21 Comparison of performance and feeding parameters in organic and conventional dairy farms in Germany
- Hans Marten Paulsen, Britta Blank, Dagmar Schaub, Karen Aulrich und Gerold Rahmann
Zusammensetzung, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe in Deutschland und die Bedeutung für die Treibhausgasemissionen
29 Composition, storage and application of farmyard manure in organic and conventional German dairy farms and consequences for the green house gas emissions
- Ulrich Dämmgen, Ulrich Meyer, Claus Rösemann, Hans-Dieter Haenel, and Nicholas J. Hutchings
Methane emissions from enteric fermentation as well as nitrogen and volatile solids excretions of German calves – a national approach
37 Methan-Emissionen aus der Verdauung sowie Stickstoff- und "volatile solids" – Ausscheidungen von deutschen Kälbern – ein nationaler Ansatz
- Ulrich Dämmgen, Andreas Berk, Caroline Otten, Wilfried Brade, Nicholas J. Hutchings, Hans-Dieter Haenel, Claus Rösemann, Sven Dänicke, and Manfred Schwerin
Anticipated changes in the emissions of greenhouse gases and ammonia from pork production due to shifts from fattening of barrows towards fattening of boars
47 Geschätzte Änderungen der Emissionen von Treibhausgasen und von Ammoniak bei der Umstellung der Schweinefleischerzeugung von Börgen- auf Ebermast
- Malte Lohölter, Rebecca Rehage, Ulrich Meyer, Peter Lebzien, Jürgen Rehage, and Sven Dänicke
Evaluation of a device for continuous measurement of rumen pH and temperature considering localization of measurement and dietary concentrate proportion
61 Evaluierung eines Gerätes zur kontinuierlichen Messung von Pansen-pH und -temperatur unter Berücksichtigung von Messort und Kraftfutteranteil der Ration
- Wiebke Börner, Gracia Ude, Sophia Bender und Heiko Georg
Beweidung von Futterhecken mit Ziegenlämmern
69 Browsing of fodder hedges with goat kids
- Dinah Reinhardt, Gisela Jansen, Sylvia Seddi, and Bettina Eichler-Löbermann
Temperature stress during flowering time affects yield and quality parameters of waxy barley
79 Temperaturstress während der Blüte beeinflusst Ertrags- und Qualitätsparameter bei waxyGersten
- Kerstin Panten, Susanne Schroetter, and Ewald Schnug
Nutrient induced competition – use of concentrated nutrient solution for weed regulation
85 Nutrient induced competition – Einsatzmöglichkeiten konzentrierter Nährstofflösungen zur Unkrautregulierung
- Zulfia Sakbaeva, Susanne Schroetter, Nuridin Karabaev, Abdybahap Avazov, Jutta Rogasik, and Ewald Schnug
Soils of nut-fruit forests in southern Kyrgyzstan – important ecosystems worthy of protection
93 Die Böden der Nusswälder in Süd-Kirgisien – schützenswerte Ökosysteme von besonderer Bedeutung

Regionale Verteilung raumwirksamer finanzieller Staatshilfen in Deutschland

Reiner Plankl*

Zusammenfassung

Die Vielfalt an sektoralen und regionalen Förderprogrammen und das inhaltliche und räumliche Zusammenwirken verschiedener Fördermaßnahmen aus verschiedenen Ressorts erschweren die Konzipierung einer effizienten Förderpolitik. Will man die Mittel der Förderpolitik in Zeiten konsolidierender Haushaltspolitik zielgerichtet einsetzen, muss man die Maßnahmen inhaltlich prüfen und ggf. neu bündeln. Dies erfordert, dass einige Wissenslücken in der regionalen Verteilung raumwirksamer finanzieller Staatshilfen noch geschlossen werden müssen. Der vorliegende Beitrag trägt dazu bei, indem er Unterschiede in der Förderintensität und Struktur der Förderung regional differenziert beschreibt und die Förderung in ländlichen Regionen mit jener in nicht ländlichen Regionen sowie Regionen mit unterschiedlichem Wirtschaftswachstum vergleicht. Der Beitrag kommt u. a. zu dem Ergebnis, dass ländliche Räume zumeist eine höhere Förderintensität pro Einwohner haben als nicht ländliche Räume. Mit einem Anteil von bis zu 30 % kommt den Fördermaßnahmen zur Entwicklung ländlicher Räume in den ländlichen Räumen eine besonders hohe Bedeutung zu. Bei einer Klassifizierung von Landkreisen nach der wirtschaftlichen Ausgangslage und der wirtschaftlichen Entwicklung gibt es jedoch nur wenige, ländliche dynamische Wachstumsregionen. Eine Gegenüberstellung des Finanzanteils und des BIP-Beitrags zeigt, dass nicht nur die Landkreise und kreisfreien Städte der neuen Bundesländer im Untersuchungszeitraum 1995 bis 2008 deutlich mehr Finanzhilfen erhalten haben als es ihrem BIP-Beitrag entspricht, sondern dass dies auch für einige Regionen in den alten Bundesländern zutrifft.

Schlüsselwörter: *Finanzielle Staatshilfen, Förderpolitik, Förderintensität, regionale Verteilungsunterschiede, Entwicklung ländlicher Räume*

Summary

Regional distribution of spatially significant financial assistance in Germany

The diversity of sectorial and regional financial support programs, and the substantive and spatial interaction of various promotional measures from various supporters, makes the conception of efficient promotional policy difficult. If, in a period of consolidation, one does not wish to shorten the funds available for promotional policy with a broad brush approach, but rather restructure and pull measure measures together, some gaps in knowledge of the regional distribution of spatial-related financial government support must be closed. The present paper contributes some pieces to the puzzle. It describes regional differences in the funding intensity and structure, and compares promotion in rural areas with that in non rural areas as well as among regions with various economic growth levels. The paper concludes, among other things, that rural areas mostly have a higher funding intensity than non rural areas. With a portion of up to 30 per cent, the rural development measures are particularly important for rural areas. With a classification of counties based on their initial economic situation and growth rates, there are, however, only few "rurally dynamic growth regions". In the study period 1995 to 2008, counties and towns that received more financial aid than their BIP contributions deserve were not only located in the new German federal states; some can also be found in the former German States.

Keywords: *financial assistance, Promotion policy, promotion intensity, spatial distribution of financial aids, development of rural areas*

* Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Ländliche Räume, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Kontakt: reiner.plankl@ti.bund.de

Einleitung und Untersuchungsgegenstand

In Zeiten knapper öffentlicher Haushaltskassen und eines sich abzeichnenden verschärften demografischen Wandels mit der Gefahr, dass einige Räume, insbesondere strukturschwache ländliche Räume, von der wirtschaftlichen Entwicklung abgekoppelt werden könnten, gerät auch die sektorale und regionale Förderpolitik immer mehr auf den Prüfstand. Dabei geht es neben einer Effizienzverbesserung einzelner Fördermaßnahmen auch darum, die verschiedenen Bereiche der Förderpolitik und Fördermaßnahmen noch gezielter aufeinander abzustimmen und den Effizienzgrad zu erhöhen. Dies wiederum setzt unter anderem ein fundiertes Wissen über die Höhe und regionale Verteilung der finanziellen Staatshilfen voraus.

Trotz vielfältiger Bemühungen bei der deskriptiven Analyse der regionalen Verteilung von raumwirksamen Fördermitteln durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBR, 2000, 2005; BVBS, 2012; Lackmann und Zarth, 2010), durch Auftragsstudien zur Ermittlung der effektiven regionalen Inzidenz¹ (z. B. Färber, 2007) sowie durch maßnahmenspezifische oder räumlich begrenzte Untersuchungen regional relevanter Förderprogramme (z. B. Mäding, 2009; Harsche, 2008; Plankl, 2011) bleiben das Bild der regionalen Verteilung aller in Deutschland zum Einsatz kommenden finanziellen Staatshilfen sowie die Analyse der Bestimmungsfaktoren der regionalen Verteilung und die Bedeutung der verschiedenen finanziellen Staatshilfen für die regionalwirtschaftliche Entwicklung noch sehr lückenhaft, was wiederum die Gestaltung einer ressortübergreifenden und effizienten Förderpolitik erschwert.

Der folgende Beitrag beleuchtet den Einsatz finanzieller Staatshilfen in Deutschland über einen längeren Untersuchungszeitraum und zeigt auf, ob es in der Förderintensität und in der Zusammensetzung der finanziellen Staatshilfen regionale Ausprägungsunterschiede gibt. Aus zehn Förderbereichen der raumwirksamen Fördermaßnahmen werden die finanziellen Hilfen des Bundes und soweit als möglich auch die Kofinanzierungsmittel der EU und der Länder für verschiedene Einzelmaßnahmen erfasst. Dabei handelt es sich vorwiegend um Maßnahmen, denen eine aktive Bedeutung für die regionalwirtschaftliche Entwicklung zukommt. Insbesondere wird auf die Bedeutung der Fördermaßnahmen zur Entwicklung ländlicher Räume im Rahmen der 2. Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik eingegangen. Durch eine differenzierte Auswertung nach siedlungsstrukturellen Kreistypen werden ferner Unterschiede im Fördermitteleinsatz zwischen ländlichen Räumen und nicht ländlichen Räumen in den neuen und alten Bundesländern beschrieben.

¹ Die effektive regionale Inzidenz basiert auf der formalen regionalen Inzidenz (= monetärer originärer Zufluss eines Fördermittels in die untersuchte Region) und berücksichtigt die Wirtschaftsverflechtungen. Dabei werden langfristige Anpassungseffekte im regionalen und überregionalen Wirtschaftskreislauf sowie Überwälzungsprozesse zwischen Wirtschaftssubjekten und Regionen sowie Multiplikatoreffekte berücksichtigt (vgl. Färber, 2007).

Durch eine weitere Analyse nach Erfolgsgruppen von Landkreisen, die sich hinsichtlich der wirtschaftlichen Ausgangslage und des wirtschaftlichen Wachstums unterscheiden, werden einige Hinweise auf den Zusammenhang zwischen regionalem Wirtschaftswachstum und der Höhe des Fördermitteleinsatzes und der Förderstruktur abgeleitet. Darüber hinaus zeigt der Beitrag auf, mit welchen Anteilen ländliche und nicht ländliche Kreise sowie unterschiedlich erfolgreiche Kreise zur gesamtwirtschaftlichen Wirtschaftskraft gemessen am BIP beitragen und in welchem Verhältnis der Wirtschaftsbeitrag zum Anteil an den staatlichen Finanzhilfen steht. In einem abschließenden Kapitel werden einige Empfehlungen zur Verbesserung der Datengrundlage und zum weiteren Forschungsbedarf formuliert. Mit seinen ausschließlich deskriptiven Ergebnissen schließt die Untersuchung einige Lücken in der regionalen Verteilung finanzieller Staatshilfen. Die Untersuchung kann jedoch allenfalls als eine Vorstufe für tiefer gehende Untersuchungen gewertet werden. Regionale Inzidenzanalysen und ökonometrische Untersuchungen des Einflusses der Förderpolitik auf das regionalwirtschaftliche Wachstum unter Berücksichtigung weiterer Bestimmungsfaktoren müssten sich anschließen.

Datengrundlage und methodisches Vorgehen

Für die Erfassung der Fördermittel in bestimmten Politikbereichen wurde in dem Beitrag auf verschiedene Datengrundlagen zurückgegriffen. Um neben den Ausgaben des Bundes auch EU- und Landeskofinanzierungsmittel berücksichtigen zu können sowie die Daten auf Ebene der Landkreise generieren und Darlehensförderprogramme hinsichtlich ihres Finanzanteils adäquat berücksichtigen zu können, mussten teilweise auf plausiblen Annahmen basierende Schätzungen vorgenommen werden. Die Fördermittel beschreiben den jahresdurchschnittlichen Fördermitteleinsatz im Untersuchungszeitraum 1995 bis 2008.² In Tabelle 1 sind die in die Untersuchung eingegangenen finanziellen Staatshilfen der zehn Förderbereiche aus dem Spektrum der raumwirksamen Fördermaßnahmen (BBR, 2005) dargestellt. Es handelt sich hierbei im weitestgehenden Sinne um Maßnahmen, denen für die regionalwirtschaftliche Entwicklung eine eher aktive Rolle zukommt.³

² Da einige Fördermaßnahmen nicht über den gesamten Untersuchungszeitraum angeboten wurden oder die Datengrundlage nicht den gesamten Untersuchungszeitraum abdeckt, wurde zu Vergleichszwecken der jahresdurchschnittliche Fördermitteleinsatz ermittelt. Die vorliegenden Daten werden somit als repräsentativ für den gesamten Zeitraum angenommen.

³ Zu den Maßnahmen der großräumigen Verkehrspolitik liegen keine Landkreisdaten vor. Bei der Darstellung der gesamten finanziellen Staatshilfen als auch bei den aktiven finanziellen Staatshilfen bleiben diese daher unberücksichtigt. Der Anteil der Bundesmittel der großräumigen Verkehrspolitik an den gesamten raumwirksamen Mittel liegt bei etwa 15 %.

Tabelle 1

Erfassung und Abgrenzung finanzieller Staatshilfen aktiver regionalwirtschaftlicher Maßnahmen raumwirksamer Politikbereiche

Politikbereich	Datenquelle	Regionale Auflösung	Zeitlicher Bezug	Bemerkungen zur Aufbereitung der Daten
Politik Entwicklung ländlicher Räume/2. Säule der GAP (P-LE)	Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE, 2009) + indicative Finanzpläne (Tietz, 2007)	PLZ und Ortsname (Landkreiszugehörigkeit über Schlüsselbrücke)	Jahresdurchschnitt EU-Haushaltsjahr 2008 projiziert auf Stütz- und Schätzzeitraum 2005 bis 2013	ELER-Mittel inkl. nationale Kofinanzierungsmittel sowie geschätzte Mittel für Artikel-89-Maßnahmen
Förderung Hochschule/Wissenschaft (P-HS)	Regionale Datenbank (BBSR, 2009)	Kreisdaten	Jahresdurchschnittswert, da Daten einzelner Maßnahmen sich auf unterschiedliche Förderphasen beziehen	Bundesmittel der Gemeinschaftsaufgabe (GA) für Hochschulbau, Forschungsneubauten, Hochschulpakt und Exzellenzinitiative. Es fehlen: DFG-institutionelle Förderung sowie Bafög. Landesmittel wurden gemäß GA-Förderung zugeschlagen.
Projektfördermittel für Forschung und Innovation (P-FO)	Regionale Datenbank (BBSR, 2009)	Kreisdaten	Jahresdurchschnittswert, da Daten einzelner Maßnahmen sich auf unterschiedliche Förderphasen beziehen	Bundesmittel inkl. geschätzter Anteil Landesmittel.
GRW-Förderung gewerblich + Tourismus (P-GRW)	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA, 2009)	Kreisdaten	Jahresdurchschnittswerte 1996 bis 2008	EFRE, Bundes- und Landesmittel
Mittelstandsförderung/klein- mittelständischer Unternehmen, (P-KMU)	Regionale Datenbank (BBSR, 2009)	Kreisdaten	Jahresdurchschnittswert, da Daten einzelner Maßnahmen sich auf unterschiedliche Förderphasen beziehen	Umfasst eine Vielzahl von KfW- und ERP-Förderprogramme. Bundesmittel inkl. geschätzter Zuschlag Landesmittel. Darlehensprogramme abdiskontiert.
KfW-/ERP-Innovations- und Umweltprogramm (P-INN)	INKAR-Datenbank (BBSR)	Kreisdaten	Jahresdurchschnittswerte für den Zeitraum 1999 bis 2007	Bundesmittel inkl. geschätzter Zuschlag Landesmittel. Darlehensprogramme abdiskontiert.
Städtebauförderung (P-SB)	Regionale Datenbank (BBSR, 2009)	Kreisdaten	Jahresdurchschnittswert, da Daten einzelner Maßnahmen sich auf unterschiedliche Förderphasen beziehen	Umfasst Denkmalschutz, Soziale Stadt, Sanierung und Entwicklung, Stadtumbau Ost und West, Aktive Stadt- und Ortsteilzentren. Bundesmittel inkl. geschätzter Zuschlag Landes- und Kommunalmittel. Darlehensprogramme abdiskontiert.
Wohnungsbauförderung und	Regionale Datenbank (BBSR, 2009)	Kreisdaten	Jahresdurchschnittswert, da Daten einzelner Maßnahmen sich auf unterschiedliche Förderphasen beziehen	Umfasst Wohnraum-Modernisierung und Eigentumsförderung. Bundesmittel inkl. geschätzter Zuschlag Landes- und Kommunalmittel. Darlehensprogramme abdiskontiert.
Sozialer Wohnungsbau (P-WB)	Raumordnungsberichte (BBR, 2000 und 2005); Daten der amtlichen Statistik (EASYSSTAT)	Bundesländerdaten: Landkreiszugehörigkeit über Neubau- und Bestandsförderfälle und Bevölkerungsanteil	Jahresdurchschnittswert für den Zeitraum 1991 bis 2003	Bundesmittel inkl. geschätzter Zuschlag Landes- und Kommunalmittel
GRW-Infrastruktur	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA, 2009)	Kreisdaten	Jahresdurchschnittswerte für den Zeitraum 1996 bis 2008	EFRE, Bundes- und Landesmittel
KfW-Infrastruktur	Regionale Datenbank (BBSR, 2009)	Kreisdaten	Jahresdurchschnittswert, da Daten einzelner Maßnahmen sich auf unterschiedliche Förderphasen beziehen	Umfasst mehrere Programme zur Förderung der kommunalen Infrastruktur. Bundesmittel inkl. geschätzter Zuschlag Landes- und Kommunalmittel. Darlehensprogramme abdiskontiert.

Fortsetzung Tabelle 1

Politikbereich	Datenquelle	Regionale Auflösung	Zeitlicher Bezug	Bemerkungen zur Aufbereitung der Daten
Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (P-INF)	GVFG-Berichte (BMVBS); Einwohner (EASYSTAT)	Bundesländerdaten: Landkreisuordnung über Einwohner	Jahresdurchschnittswert für den Zeitraum 1999 bis 2006	Bundes- und Landesmittel
Arbeitsbeschaffungs-/Strukturangepassungmaßnahmen und berufliche Sicherung (P-AM)	INKAR-Datenbank (BBSR)	Kreisdaten	Jahresdurchschnittswert für den Zeitraum 2002 bis 2007	Bundesmittel
Unterhaltsgeld und Ausgaben	Tabelle 3 (Mäding, 2009); Daten der amtlichen Statistik (EASYSTAT)	Daten für Deutschland über Arbeitslose auf Landkreise verteilt	Jahresdurchschnittswert für den Zeitraum 1996 bis 2003	Bundesmittel

Erläuterung: Bei den aktiven regionalwirtschaftlichen Maßnahmen (P-Aktiv-II) wurden im Vergleich zu den gesamten raumwirksamen Maßnahmen (P-Insg) aus dem Bereich Agrarpolitik die Direktzahlungen der 1.Säule, die Bundesausgaben für Agrardieselverbilligung und die Bundeszuschüsse zur Agrarsozialpolitik, aus dem Bereich Wirtschaftsförderung die ERP-Regionalförderung und die Sektorhilfen, aus dem Bereich der Wohnungsbauförderung die Eigenheimzulage und aus dem Bereich der Arbeitsmarktpolitik die Leistungen nach dem Arbeitsförderungsgesetz/Sozialgesetzbuch III, der Bundeszuschuss zum Haushalt der BfA, die Wohngeldzahlungen sowie die Hilfen zum Lebensunterhalt nicht berücksichtigt. Da für die Bundesmittel der großräumigen Verkehrspolitik keine Kreisdaten zur Verfügung standen, bleiben auch diese Mittel unberücksichtigt. Zur regionalen Verteilung von P-Insg vgl. Plankl (2012).

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Im Fokus der Untersuchung stehen die Unterschiede im Fördermitteleinsatz zwischen ländlichen und nicht ländlichen Regionen. Zu den ländlichen Kreisen werden im Sinne der siedlungsstrukturellen Klassifikation⁴ des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) die ländlichen Kreise geringer Dichte (Kreistyp 9), die ländlichen Kreise höherer Dichte (Kreistyp 8), die ländlichen Kreise in verstärkten Räumen (Kreistyp 7) sowie die ländlichen Kreise in Agglomerationsräumen (Kreistyp 4) gezählt. In den Kartendarstellungen sind zudem die ländlichen Kreise i. e. S (Kreistypen 8 + 9) und i. w. S. (Kreistypen 4 + 7) durch unterschiedliche Schraffuren hinterlegt. Dargestellt werden die Landkreise und kreisfreien Städte nach der Gebietsreform in Sachsen und Sachsen-Anhalt.

Um Hinweise zu bekommen, ob sich wirtschaftlich erfolgreiche Regionen von weniger erfolgreichen Regionen in der Förderintensität und in der Zusammensetzung der Förderung unterscheiden, wurden innerhalb der regionalen Auswertungsgruppen die Landkreise vier Erfolgsgruppen zugeordnet. Hierbei handelt es sich um:

- *Dynamische Wachstumsregionen* = Kreise, in denen die wirtschaftliche Entwicklung und die wirtschaftliche Ausgangslage gemessen am BIP je Einwohner größer ist als der Bundesdurchschnittswert

- *Aufholregionen* = Kreise, in denen die wirtschaftliche Entwicklung größer ist als der Bundesdurchschnittswert, die wirtschaftliche Ausgangslage jedoch gleich oder schlechter ist als der Bundesdurchschnittswert
- *Regionen mit Wachstumsproblemen* = Kreise, in denen die wirtschaftliche Entwicklung gleich oder geringer ist als der Bundesdurchschnittswert, die wirtschaftliche Ausgangslage jedoch besser ist als der Bundesdurchschnittswert
- *Stagnationsregionen* = Kreise, in denen die wirtschaftliche Entwicklung und die wirtschaftliche Ausgangslage gleich bzw. geringer sind als der Bundesdurchschnittswert

Tabelle 2 zeigt die Häufigkeit der Landkreise in den vier Erfolgsgruppen nach siedlungsstrukturellen Kreistypen in den alten und neuen Bundesländern. In Karte 1 wird zusätzlich die räumliche Verteilung dargestellt. Von den 413 Landkreisen und kreisfreien Städten in Deutschland konnten 213 Landkreise mit einem überdurchschnittlichen Wirtschaftswachstum identifiziert werden. Von diesen weisen 160 Landkreise zu Beginn des Beobachtungszeitraums im Jahr 1996 ein unter dem Bundesdurchschnitt liegendes BIP je Einwohner auf (Aufholregionen). Von den 200 Landkreisen mit einem unterdurchschnittlichen Wirtschaftswachstum wiesen 129 Landkreise im Jahr 1996 ein unter dem Bundesdurchschnitt liegendes BIP je Einwohner auf (Stagnationsregionen). Bei den *Aufholregionen* (in Karte 1 gelb unterlegt) handelt es sich um 88 ländliche und 72 nicht ländliche Kreise. Die Kreise liegen konzentriert in den neuen Bundesländern, in Bayern und Hessen, während in den nördlichen alten Bundesländern und in Baden Württemberg nur wenige Landkreise

⁴ Bei den siedlungsstrukturellen Gebietstypen handelt es sich um ein räumliches Analyseraster. Dabei werden die Kreise nach der Bevölkerungsdichte und Zentralität bezogen auf die Größe sowie die zentralörtliche Funktion der Kerne von Regionen klassifiziert (BBSR, 2005).

se dieses Erfolgstyps vorzufinden sind. Bei den *Dynamischen Wachstumsregionen* (grün unterlegt) sind die ländlichen Landkreise deutlich schwächer vertreten: 14 Landkreise im Vergleich zu 39 nicht ländlichen Landkreisen. Aus den neuen Bundesländern konnte nur die dem siedlungsstrukturellen Kreistyp 9 (ländliche Räume geringer Dichte) zugeordnete kreisfreie Stadt Neubrandenburg und die kreisfreie Stadt Potsdam (Kreistyp 1: Kernstädte von Agglomerationen) als dynamisch wachsende Kreise identifiziert werden. Die dynamischen Wachstumsregionen liegen damit so gut wie ausschließlich in den alten Bundesländern und hier wiederum verstärkt im Süden. Es handelt sich im Untersuchungszeitraum um die mit 53 Landkreisen und kreisfreien Städten am schwächsten besetzte Gruppe. Bei den Landkreisen, die bereits in der Ausgangssituation ein höheres BIP je Einwohner als der Bundesdurchschnitt hatten und danach aber nur geringer als der Bundesdurchschnitt gewachsen sind (*Regionen mit Wachstumsproblemen* (braun unterlegt)), handelt es sich in 16 Fällen um ländliche Kreise. Auch diese Erfolgsgruppe ist mit wenigen Ausnahmen erwartungsgemäß in den alten Bundesländern anzutreffen. Die *Stagnationsregionen* (orange unterlegt) sind die zweitstärkste Erfolgsgruppe. Die Kreise liegen einerseits verstreut in den Bundesländern, andererseits konzentriert in einem Streifen der alten Bundesländer, welcher von Rheinland-Pfalz bis nach Schleswig-Holstein reicht. In den neuen Bundesländern finden sich relativ weni-

ge stagnierende Regionen. In Deutschland insgesamt sind von den 181 ländlichen Kreisen 7,7 % als dynamische Wachstumsregionen und 48,6 % als Aufholregionen einzustufen. Bei den nicht ländlichen Kreisen sind es 16,8 bzw. 31,0 %.

Finanzielle Staatshilfen nach Politikbereichen und regionale Verteilung der Förderintensität

Im Untersuchungszeitraum 1995 bis 2008 wurden in Deutschland jahresdurchschnittlich rund 27 Mrd. Euro an finanziellen Staatshilfen für raumwirksame Maßnahmen mit einer eher aktiven regionalwirtschaftlichen Relevanz ausgegeben. Maßnahmen zur Förderung der Entwicklung ländlicher Räume im Rahmen der 2. Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik haben hieran einen Anteil von durchschnittlich rund 7,3 % (vgl. Tabelle 4). Berücksichtigt man auch die für das regionale Wirtschaftswachstum weniger aktiven finanziellen Staatshilfen (vgl. Fußnote in Tabelle 1), errechnet sich ein Anteil von 2,8 %. Durch Unterschiede im Untersuchungszeitraum und durch die Berücksichtigung anteilig geschätzter EU- und Landesmittel weichen die Ergebnisse von den raumwirksamen Mitteln in den Raumordnungsberichten ab. So weisen die Raumordnungsberichte der Bundesregierung

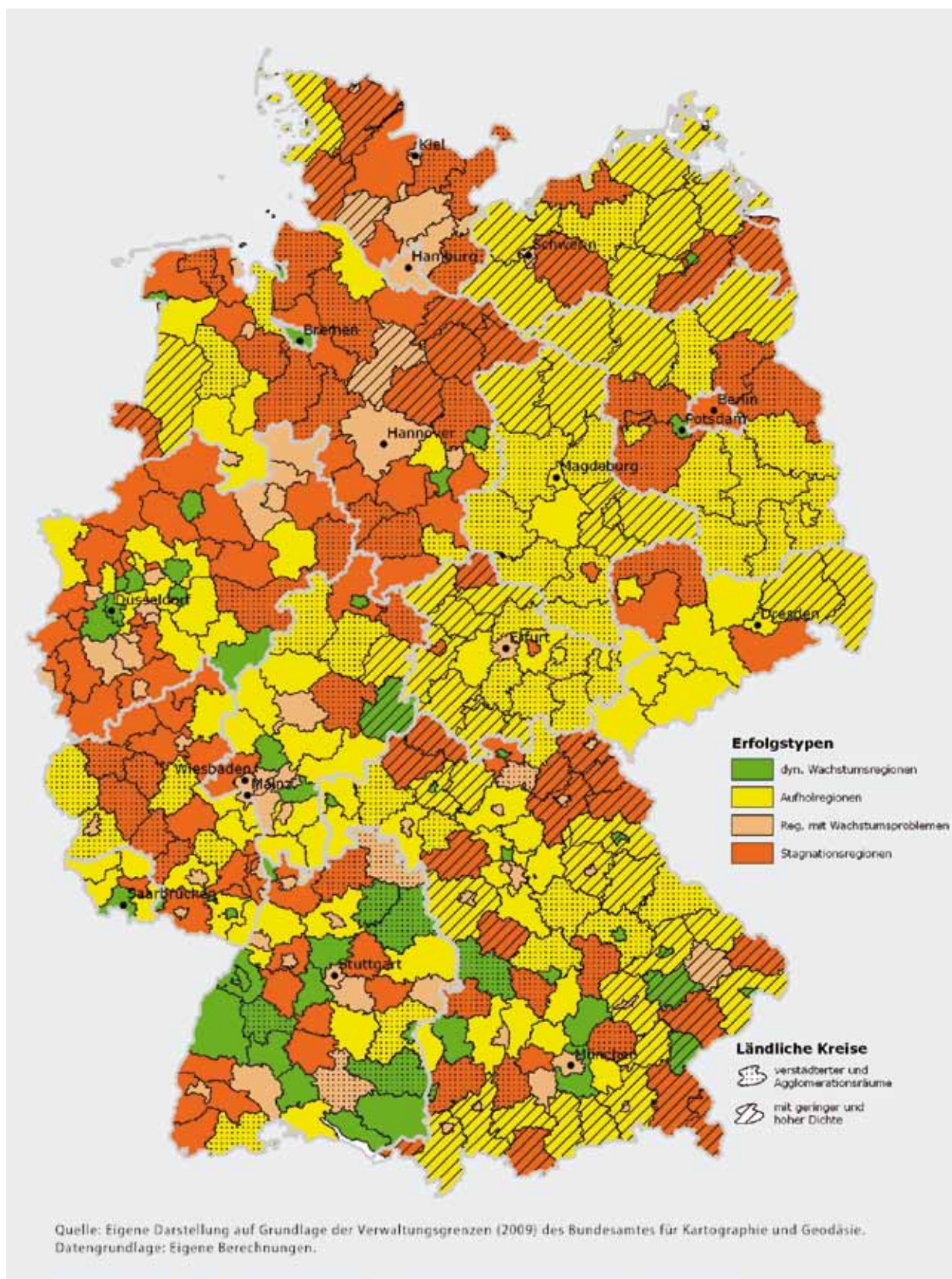
Tabelle 2

Identifizierung wirtschaftlich erfolgreicher Landkreise anhand ihres Wirtschaftswachstums bei unterschiedlichem Ausgangsniveau gemessen am BIP je Einwohner

Wirtschaftliche Entwicklung (1996 bis 2007)		
	Veränderung BIP je Einwohner > Bundesdurchschnitt	Veränderung des BIP je Einwohner <= Bundesdurchschnitt
Ausgangsniveau (1996)	BIP je Einwohner > Bundesdurchschnitt <i>Dynamische Wachstumsregionen</i> 53 Kreise und kreisfreie Städte davon: 14 Ländliche Kreise (Typ 4 + 7 + 8 + 9) davon: 8 (Typ 8 + 9) 6 (Typ 4 + 7) davon: 13 Kreise in den alten Bundesländern 1 Kreis in den neuen Bundesländern 39 nicht ländliche Kreise davon: 38 Kreise in den alten Bundesländern 1 Kreise in den neuen Bundesländern	<i>Regionen mit Wachstumsproblemen</i> 71 Kreise und kreisfreie Städte davon: 16 Ländliche Kreise (Typ 4 + 7 + 8 + 9) davon: 13 (Typ 8 + 9) 3 (Typ 4 + 7) davon: 15 Kreise in den alten Bundesländern 1 Kreis in den neuen Bundesländern 55 nicht ländliche Kreise davon: 54 Kreise in den alten Bundesländern 1 Kreise in den neuen Bundesländern
	BIP je Einwohner <= Bundesdurchschnitt <i>Aufholregionen</i> 160 Kreise und kreisfreie Städte davon: 88 Ländliche Kreise (Typ 4 + 7 + 8 + 9) davon: 48 (Typ 8 + 9) 40 (Typ 4 + 7) davon: 39 Kreise in den alten Bundesländern 49 Kreis in den neuen Bundesländern 72 nicht ländliche Kreise davon: 55 Kreise in den alten Bundesländern 17 Kreise in den neuen Bundesländern	<i>Stagnationsregionen</i> 129 Kreise und kreisfreie Städte davon: 63 Ländliche Kreise (Typ 4 + 7 + 8 + 9) davon: 27 (Typ 8 + 9) 36 (Typ 4 + 7) davon: 51 Kreise in den alten Bundesländern 12 Kreis in den neuen Bundesländern 66 nicht ländliche Kreise davon: 61 Kreise in den alten Bundesländern 5 Kreise in den neuen Bundesländern

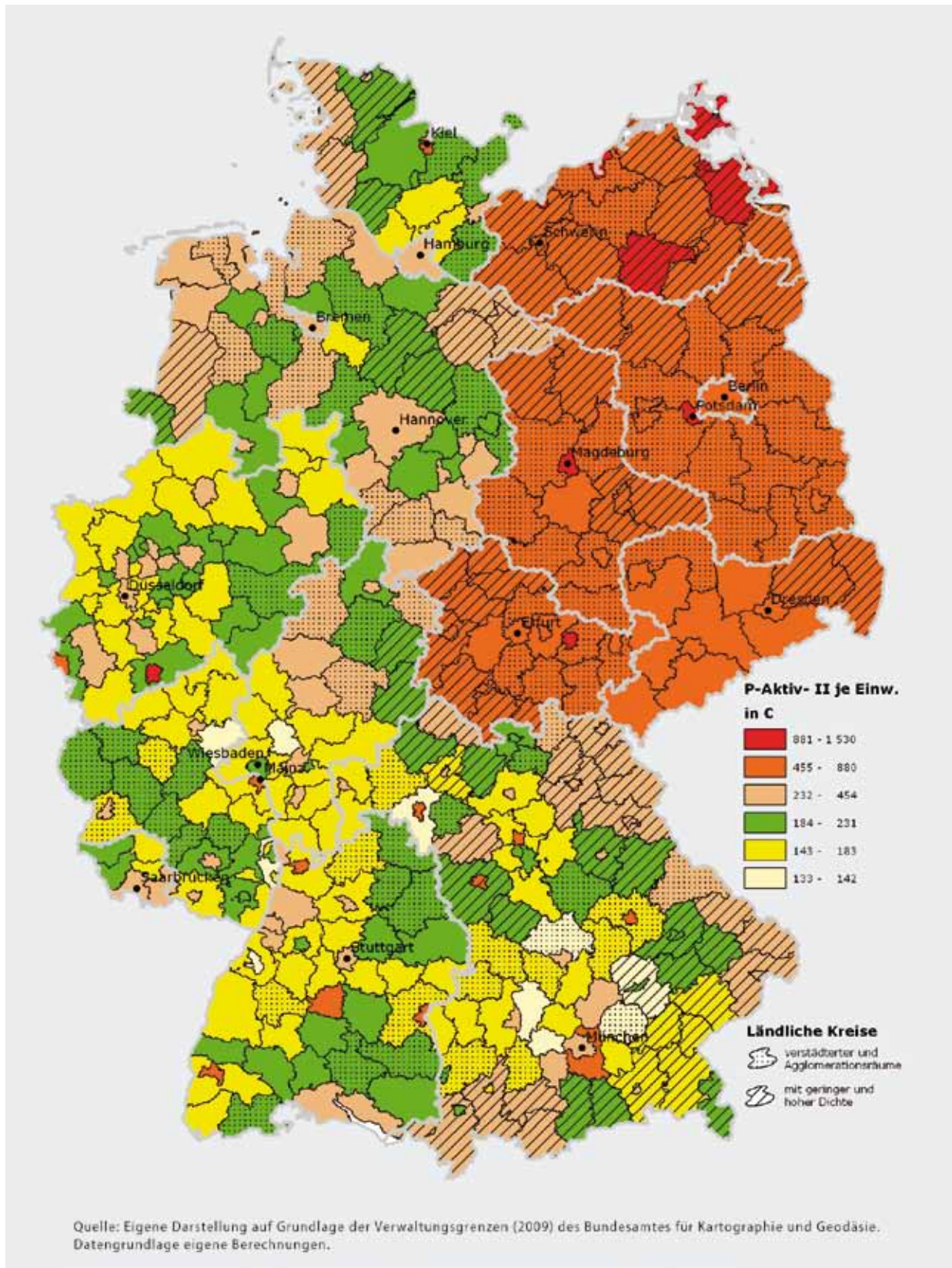
Erläuterungen:
 Kreistypen der laufenden Raumbearbeitung der BBSR: 1 = Kernstädte von Agglomerationen, 2 = Hochverdichtete Kreise in Agglomerationen, 3 = Verdichtete Kreise in Agglomerationen, 4 = Ländliche Kreise in Agglomerationen, 5 = Kernstädte in verdichteten Räumen, 6 = Verdichtete Kreise in verdichteten Räumen, 7 = Ländliche Kreise in verdichteten Räumen, 8 = Ländliche Kreise höherer Dichte in ländlichen Räumen, 9 = Ländliche Kreise geringerer Dichte in ländlichen Räumen.

Quelle: Eigene Auswertung.



Karte 1

Wirtschaftlich erfolgreiche Landkreise und kreisfreie Städte (Erfolgstypen)



Karte 2

Regionalwirtschaftlich bedeutende raumwirksame finanzielle Staatshilfen insgesamt (P-Aktiv-II) für die Bereiche 2. Säule Agrarpolitik, Wissenschaft/Forschung, Wirtschaftsförderung, Städtebau/Wohnen und aktive Arbeitsmarktpolitik in Euro je Einwohner und Jahr im Untersuchungszeitraum 1995 bis 2008 in den Kreisen und kreisfreien Städten

für den Zeitraum 1991 bis 1998 und 1999 bis 2003 einen Anteil der Ausgaben für die Förderung der Entwicklung ländlicher Räume an den gesamten raumwirksamen Bundesmitteln von 2,2 % bzw. 2,8 % aus (BBR 2000, 2005). Für die aktuelle Förderphase 2004 bis 2010 kommt der jüngste Raumordnungsbericht nur noch auf einen Anteil von 1,6 %. Dies ist mit einem Rückgang der Fördermittel für die Entwicklung ländlicher Räume und einem Anstieg bei den anderen raumwirksamen Fördermaßnahmen zu erklären (BMVBS, 2012).

Die regionale Verteilung der finanziellen Staatshilfen des Bundes, der Länder und der EU für raumwirksame Maßnahmen mit eher regionalwirtschaftlicher Bedeutung (P-Aktiv-II) zeigt bei einer Normierung auf die Einwohner erwartungsgemäß ein ausgeprägtes Ost-West-Fördergefälle (vgl. Karte 2). Bei einer Einordnung der Landkreise nach der Förderhöhe in vier Quartilsklassen und der Hervorhebung der zehn Landkreise mit der niedrigsten bzw. höchsten Förderintensität fallen neben einigen wenigen westlichen Kreisen und kreisfreien Städten alle Kreise der neuen Bundesländer in das oberste Quartil (rot und orange unterlegt) mit einer Förderhöhe von mehr als 455 Euro je Einwohner. Die rund 25 % der Landkreise mit einer Förderintensität im 3. Quartil (braun unterlegt) liegen ausschließlich in den alten Bundesländern in einem Streifen, der sich von den westlich gelegenen Kreisen Schleswig-Holsteins über Niedersachsen, Nord-Hessen bis in den Bayerischen Wald erstreckt. Hierbei handelt es sich eher um strukturschwache Landkreise. Die höhere Förderintensität lässt darauf schließen, dass man auch in den alten Bundesländern eine regional differenzierte Förderung fortgeführt hat. Kreise mit einer geringen Förderhöhe im untersten (hellgelb und gelb unterlegt) und 2. Quartil (grün unterlegt) finden sich in einem westlich gelegenen Streifen der alten Bundesländer. Die zehn Kreise mit der höchsten Förderintensität (rot unterlegt) liegen bis auf die kreisfreie Stadt Bonn ausschließlich in den neuen Bundesländern und umfassen dort die Stadtkreise Wismar, Rostock, Greifswald, Potsdam, Magdeburg und Jena sowie die Landkreise Rügen, Müritzt, Ostvorpommern. Die zehn Kreise mit der niedrigsten Förderintensität (hellgelb unterlegt) verteilen sich auf die südlichen alten Bundesländer mit einer leichten Häufung in Bayern. Durch die starke regionale Streuung der Förderhöhe können sich die Förderintensitäten zwischen einzelnen Landkreisen um das Zehnfache unterscheiden. Auch innerhalb der einzelnen Bundesländer ist eine unterschiedlich starke regionale Streuung der Förderhöhe zu beobachten. Beispielsweise zeigt sich in Bayern eine hohe Förderintensität in den Landkreisen des ehemaligen Zonenrandgebiets und in den westlichen Alpenlandkreisen. In Niedersachsen und in Rheinland-Pfalz sind die Unterschiede in der Förderintensität deutlich weniger stark ausgeprägt. Überwiegend weisen die kreisfreien Städte eine höhere Förderintensität aus. In den alten Bundesländern handelt es sich bei den intensiver geförderten Landkreisen nicht ausschließlich um Landkreise, die im Ausgangsjahr 1996 ein geringes BIP je Einwohner aufweisen (vgl. Plankl, 2012). Da nur wenige Fördermaßnahmen eine regionale Zielsetzung bzw. innerhalb einer festen Förderkulisse greifen, ist dies bei der Betrachtung aller aktiven raumwirksamen Fördermaßnahmen auch nicht überraschend.

Räumliche und strukturelle Unterschiede in der Förderintensität

In Ergänzung und Vertiefung zum Gesamtbild der regionalen Verteilung der Fördermittel über alle Landkreise und kreisfreien Städte werden im Folgenden die Unterschiede in der Förderintensität und der relativen Bedeutung der Maßnahmenbereiche nach ländlichen und nicht ländlichen siedlungsstrukturellen Kreistypen sowie nach verschiedenen Erfolgsgruppen, die sich hinsichtlich der wirtschaftlichen Ausgangslage und des wirtschaftlichen Wachstums unterscheiden, für Deutschland insgesamt und differenziert nach alten und neuen Bundesländern beschrieben. Dabei werden wieder die aktiven regionalwirtschaftlichen raumwirksamen Fördermaßnahmen in den Fokus gestellt und es wird im Besonderen auf die Bedeutung der finanziellen Staatshilfen für die Zahlungen der 2. Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik eingegangen. Der Vergleich der Förderhöhen erfolgt wiederum durch die Normierung der Ausgaben auf die Einwohner. Insgesamt unterscheidet die Untersuchung 14 regionale Kreisgruppen (vgl. Tabelle 3) und 16 Erfolgsgruppen (vgl. Tabelle 5). Im folgenden Abschnitt wird nur für einige ausgewählte Gruppen der Fördermitteleinsatz analysiert. Für die neuen Bundesländer wurde wegen der geringen Anzahl an nicht ländlichen Kreisen auf eine Auswertung nach den vier Erfolgsgruppen verzichtet und nur die Situation zwischen überdurchschnittlich und unterdurchschnittlich wachsenden Kreisen verglichen.

Vergleich alte/neue Bundesländer

Vergleich alte/neue Bundesländer: insgesamt

Mit 634 Euro je Einwohner liegt die Förderintensität der aktiven regionalwirtschaftlichen Finanzhilfen der raumwirksamen Maßnahmen (P-Aktiv-II) im Jahresdurchschnitt des Untersuchungszeitraums 1995 bis 2008 in den neuen Bundesländern rund 2,6 mal höher als in den alten Bundesländern (244 Euro je Einwohner). Der hohe Differenzbetrag von 390 Euro kommt zu zwei Dritteln durch die Unterschiede in der GRW-Förderung und die Förderung von Maßnahmen der aktiven Arbeitsmarktpolitik zu Stande (vgl. Tabelle 3). Bis auf die Förderung klein- und mittelständischer Unternehmen liegt in allen Förderbereichen die Pro-Kopf-Förderung in den neuen Bundesländern über jener der alten Bundesländer. Die geringere Förderintensität im Bereich der KMU-Förderung dürfte mit der geringeren Zahl Antragsberechtigter in den neuen Bundesländern zu erklären sein. Die strukturellen Unterschiede in der Förderung zeigt Tabelle 4. Die vier Maßnahmenbereiche mit dem höchsten Förderanteil sind in den neuen Bundesländern wegen der hohen Arbeitslosenzahlen die Arbeitsmarktpolitik, aufgrund der größeren Fördergebietskulisse und der differenzierten Fördersätze die GRW-Förderung und durch den hohen Nachholbedarf die Infrastruktur- und die Wohnungsbauförderung. In den alten Bundesländern konzentrieren sich die finanziellen Staatshilfen zwar auch auf die Arbeitsmarktpolitik und den Wohnungsbau, an dritter Stelle folgt jedoch bereits die For-

schungs- und Infrastrukturförderung. Auf die Maßnahmen zur Förderung ländlicher Räume entfallen in den alten Bundesländern durchschnittlich 8,7 % der finanziellen Staatshilfen; in den neuen Bundesländern sind es 5,3 %. Damit hat die Förderung der Entwicklung ländlicher Räume in den neuen Bundesländern absolut eine höhere und relativ eine geringere Bedeutung im Vergleich zu den alten Bundesländern.

Vergleich alte/neue Bundesländer: ländlich

Ländliche Kreise in den neuen Bundesländern erhalten im Vergleich zu den ländlichen Kreisen in den alten Bundesländern eine etwa dreimal so hohe Förderung und 71 % des Differenzbetrags kommen durch die starken Förderunterschiede im Bereich der Arbeitsmarkt- und GRW-Förderung zu Stande. Dabei ist auch hier zu beobachten, dass die Mittel-

Tabelle 3

Finanzielle Staatshilfen aktiver regionalwirtschaftlicher Maßnahmen der raumwirksamen Politikbereiche in Euro je Einwohner und Jahr im Untersuchungszeitraum 1995 bis 2008 in den siedlungsstrukturellen Kreistypen der alten und neuen Bundesländer

Regionen	Finanzielle Staatshilfen in Euro je Einwohner für die Maßnahme ...										
	Ländl. Ent-wick-lung	Hoch-schule/ Wissen-schaft	For-schung	GRW gewerb+ tourist	Mittelst/ KMU	Inno-vation	Städte-bau	Woh-nungs-bau	Infra-struktur	Ar-beits-markt-politik	Insge-samt
	P-LE	P-HS	P-FO	P-GRW	P-KMU	P-INN	P-SB	P-WB	P-INF	P-AM	P-Aktiv-II
Alte Bundesländer											
Ländliche Kreise (Kreistypen 4 + 7 + 8 + 9) Nord	45	4	8	14	12	9	5	37	25	82	242
Nicht ländliche Kreise Nord	10	23	44	4	11	2	6	45	26	88	259
<i>Nord insgesamt</i>	15	21	39	5	11	3	6	44	26	87	257
Ländliche Kreise (Kreistypen 4 + 7 + 8 + 9) Süd	59	5	4	5	10	5	6	33	24	59	212
Nicht ländliche Kreise Süd	15	32	43	1	11	3	6	43	24	62	240
<i>Süd insgesamt</i>	27	25	32	3	11	3	6	40	24	61	232
Ländliche Kreise (Kreistypen 4+7+8+9)	55	5	6	8	11	6	6	34	25	66	222
Nicht ländliche Kreise	12	28	44	3	11	3	6	44	25	76	250
<i>Alte Bundesländer insgesamt</i>	21	23	36	4	11	3	6	42	25	74	244
Neue Bundesländer											
Ländliche Kreise (Kreistypen 4 + 7 + 8 + 9)	56	9	12	154	7	8	57	54	71	231	659
Nicht ländliche Kreise	13	51	79	77	6	2	48	68	63	201	608
<i>Neue Bundesländer insgesamt</i>	34	31	47	114	7	4	52	63	67	215	634
Deutschland											
Ländliche Kreise (Kreistypen 4 + 7 + 8 + 9)	55	6	8	62	10	7	25	42	42	127	383
Nicht ländliche Kreise	12	31	49	14	10	2	12	47	31	94	303
<i>Deutschland insgesamt</i>	24	24	38	27	10	4	16	46	34	103	325
Erläuterungen:											
Kreistypen der laufenden Raumbearbeitung der BBSR: 1 = Kernstädte von Agglomerationen, 2 = Hochverdichtete Kreise in Agglomerationen, 3 = Verdichtete Kreise in Agglomerationen, 4 = Ländliche Kreise in Agglomerationen, 5 = Kernstädte in verstädterten Räumen, 6 = Verdichtete Kreise in verstädterten Räumen, 7 = Ländliche Kreise in verstädterten Räumen, 8 = Ländliche Kreise höherer Dichte in ländlichen Räumen, 9 = Ländliche Kreise geringerer Dichte in ländlichen Räumen.											
Da die Daten nicht differenziert nach West- und Ostberlin vorlagen, wurde Berlin den neuen Bundesländern zugerechnet. Dadurch kann es Abweichungen zu den Durchschnittswerten der alten bzw. neuen Bundesländer geben.											
Alte Bundesländer Nord: Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Hamburg, Bremen, Nordrhein-Westfalen; Alte Bundesländer Süd: Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Bayern, Baden-Württemberg.											
Quelle: Eigene Berechnungen mit Hilfe von Daten aus verschiedenen Statistiken. Details zur Datengrundlage und zur Aufbereitung der Daten vgl. Tabelle 1 sowie Plankl (2012).											

standsförderung in den ländlichen Regionen der neuen Bundesländer hinter der Förderung in den alten Bundesländern zurückliegt. Die durchschnittliche Förderung zur Entwicklung ländlicher Räume liegt in den alten und neuen Bundesländern auf etwa gleichem Niveau (55 bis 56 Euro je Einwohner), jedoch liegt in den alten Bundesländern der durchschnittliche Fördermittelanteil bei 24,7 %, während der Anteil in den neuen Bundesländern nur 8,5 % beträgt.

Vergleich alte/neue Bundesländer: ländlich überdurchschnittlich

Ländliche Kreise, die im Vergleich zum Bundesdurchschnitt stärker gewachsen sind (BIP-Wachstum je Einwohner > Bundesdurchschnitt), finden sich in den alten als auch den neuen Bundesländern (vgl. Tabelle 2). Während in den neuen Bundesländern die ‚überdurchschnittlich gewachsenen ländlichen Landkreise‘ eine um 7 % höhere Förderintensität im

Tabelle 4

Verteilung der finanziellen Staatshilfen aktiver regionalwirtschaftlicher Maßnahmen der raumwirksamen Politikbereiche in den siedlungsstrukturellen Kreistypen der alten und neuen Bundesländer in %

Regionen	Verteilung der finanzielle Staatshilfen in % nach den Maßnahmen ...										
	Ländl. Entwicklung	Hochschule/Wissenschaft	Forschung	GRW gewerb+tourist	Mittelst/KMU	Innovation	Städtebau	Wohnungsbau	Infrastruktur	Arbeitsmarktpolitik	Insgesamt
	P-LE	P-HS	P-FO	P-GRW	P-KMU	P-INN	P-SB	P-WB	P-INF	P-AM	P-Aktiv-II
Alte Bundesländer											
Ländliche Kreise (Kreistypen 4 + 7 + 8 + 9) Nord	18,8	1,7	3,3	5,8	5,0	3,7	2,1	15,4	10,5	33,7	100
Nicht ländliche Kreise Nord	3,7	9,0	17,0	1,4	4,1	0,9	2,3	17,4	10,1	34,0	100
<i>Nord insgesamt</i>	<i>5,8</i>	<i>8,0</i>	<i>15,1</i>	<i>2,0</i>	<i>4,3</i>	<i>1,3</i>	<i>2,3</i>	<i>17,1</i>	<i>10,1</i>	<i>33,9</i>	<i>100</i>
Ländliche Kreise (Kreistypen 4 + 7 + 8 + 9) Süd	28,0	2,5	2,0	2,6	4,9	2,4	2,9	15,5	11,4	27,8	100
Nicht ländliche Kreise Süd	6,1	13,5	18,1	0,6	4,5	1,2	2,4	17,7	10,0	25,9	100
<i>Süd insgesamt</i>	<i>11,7</i>	<i>10,7</i>	<i>14,0</i>	<i>1,1</i>	<i>4,6</i>	<i>1,5</i>	<i>2,5</i>	<i>17,2</i>	<i>10,4</i>	<i>26,4</i>	<i>100</i>
Ländliche Kreise (Kreistypen 4+7+8+9)	24,7	2,2	2,5	3,7	4,9	2,9	2,6	15,5	11,1	29,9	100
Nicht ländliche Kreise	4,8	11,1	17,5	1,1	4,3	1,0	2,4	17,6	10,0	30,3	100
<i>Alte Bundesländer insgesamt</i>	<i>8,7</i>	<i>9,3</i>	<i>14,6</i>	<i>1,5</i>	<i>4,4</i>	<i>1,4</i>	<i>2,4</i>	<i>17,2</i>	<i>10,2</i>	<i>30,2</i>	<i>100</i>
Neue Bundesländer											
Ländliche Kreise (Kreistypen 4 + 7 + 8 + 9)	8,5	1,4	1,9	23,3	1,1	1,1	8,6	8,2	10,7	35,0	100
Nicht ländliche Kreise	2,2	8,4	13,0	12,7	1,0	0,3	7,9	11,1	10,4	33,1	100
<i>Neue Bundesländer insgesamt</i>	<i>5,3</i>	<i>4,9</i>	<i>7,4</i>	<i>18,0</i>	<i>1,1</i>	<i>0,7</i>	<i>8,2</i>	<i>10,0</i>	<i>10,6</i>	<i>33,9</i>	<i>100</i>
Deutschland											
Ländliche Kreise (Kreistypen 4 + 7 + 8 + 9)	14,4	1,7	2,1	16,2	2,5	1,8	6,4	10,9	10,9	33,2	100
Nicht ländliche Kreise	4,0	10,3	16,2	4,5	3,3	0,8	4,0	15,6	10,2	31,1	100
<i>Deutschland insgesamt</i>	<i>7,3</i>	<i>7,5</i>	<i>11,7</i>	<i>8,2</i>	<i>3,1</i>	<i>1,1</i>	<i>4,8</i>	<i>14,3</i>	<i>10,4</i>	<i>31,7</i>	<i>100</i>
Erläuterungen:											
Kreistypen der laufenden Raumbearbeitung der BBSR: 1 = Kernstädte von Agglomerationen, 2 = Hochverdichtete Kreise in Agglomerationen, 3 = Verdichtete Kreise in Agglomerationen, 4 = Ländliche Kreise in Agglomerationen, 5 = Kernstädte in verdichteten Räumen, 6 = Verdichtete Kreise in verdichteten Räumen, 7 = Ländliche Kreise in verdichteten Räumen, 8 = Ländliche Kreise höherer Dichte in ländlichen Räumen, 9 = Ländliche Kreise geringerer Dichte in ländlichen Räumen.											
Da die Daten nicht differenziert nach West- und Ostberlin vorlagen, wurde Berlin den neuen Bundesländern zugerechnet. Dadurch kann es Abweichungen zu den Durchschnittswerten der alten bzw. neuen Bundesländer geben.											
Alte Bundesländer Nord: Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Hamburg, Bremen, Nordrhein-Westfalen; Alte Bundesländer Süd: Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Bayern, Baden-Württemberg.											
Quelle: Eigene Berechnungen mit Hilfe von Daten aus verschiedenen Statistiken. Details zur Datengrundlage und zur Aufbereitung der Daten vgl. Tabelle 1 sowie Plankl (2012).											

Tabelle 5

Finanzielle Staatshilfen aktiver regionalwirtschaftlicher Maßnahmen der raumwirksamen Politikbereiche in Euro je Einwohner und Jahr im Untersuchungszeitraum 1995 bis 2008 in ländlichen und nicht ländlichen Landkreisen mit unterschiedlichem wirtschaftlichen Wachstum der alten und neuen Bundesländer

Regionen	Finanzielle Staatshilfen in Euro je Einwohner für die Maßnahme ...										
	Ländl. Ent-wick-lung	Hoch-schule/ Wissen-schaft	For-schung	GRW gewerb+ tourist	Mittelst/ KMU	Inno-vation	Städte-bau	Woh-nungs-bau	Infra-struktur	Ar-beits-markt-politik	Insge-samt
	P-LE	P-HS	P-FO	P-GRW	P-KMU	P-INN	P-SB	P-WB	P-INF	P-AM	P-Aktiv-II
Alte Bundesländer											
Dynamische ländliche Wachstumsregionen	47	7	6	3	13	7	8	35	24	56	206
Ländliche Aufholregionen	66	1	4	9	10	6	5	33	25	62	220
Ländliche Regionen mit Wachstumsproblemen	41	32	10	4	11	4	11	35	25	73	247
Ländliche Stagnationsregionen	50	3	6	9	11	6	5	36	24	71	221
Dynamische nicht ländliche Wachstumsregionen	10	35	46	3	11	3	8	46	27	80	268
Nicht ländliche Aufholregionen	17	6	18	3	11	3	6	40	24	71	199
Nicht ländliche Regionen mit Wachstumsproblemen	6	56	82	1	10	2	6	46	27	81	317
Nicht ländliche Stagnationsregionen	15	8	19	4	12	3	5	43	23	71	203
Überdurchschnittlich wachsende ländliche Regionen	62	2	4	8	11	7	5	33	25	61	217
Unterdurchschnittlich wachsende ländliche Regionen	48	8	7	8	11	6	6	35	24	71	226
Überdurchschnittlich wachsende nicht ländliche Regionen	14	18	30	3	11	3	7	43	25	74	228
Unterdurchschnittlich wachsende nicht ländliche Regionen	10	35	54	2	11	2	5	45	25	77	266
Neue Bundesländer											
Überdurchschnittlich wachsende ländliche Regionen	56	10	10	168	8	8	58	50	74	235	677
Unterdurchschnittlich wachsende ländliche Regionen	58	5	20	95	7	7	50	71	57	215	586
Überdurchschnittlich wachsende nicht ländliche Regionen	21	67	61	119	7	3	59	73	66	212	688
Unterdurchschnittlich wachsende nicht ländliche Regionen	6	35	97	35	5	1	37	62	61	191	530
Deutschland											
<i>Deutschland insgesamt</i>	24	24	38	27	10	4	16	46	34	103	325
Erläuterungen:											
Ländliche Kreise: Kreistypen 4 = Ländliche Kreise in Agglomerationen, 7 = Ländliche Kreise in verdichteten Räumen, 8 = Ländliche Kreise höherer Dichte in ländlichen Räumen und 9 = Ländliche Kreise geringerer Dichte. Nicht ländliche Kreise: Kreistypen 1 = Kernstädte von Agglomerationen, 2 = Hochverdichtete Kreise in Agglomerationen, 3 = Verdichtete Kreise in Agglomerationen, 5 = Kernstädte in verdichteten Räumen und 6 = Verdichtete Kreise in verdichteten Räumen.											
Überdurchschnittlich wachsende Regionen: Veränderung des BIP je Einwohner > Veränderung des BIP je Einwohner in Deutschland. Unterdurchschnittlich wachsende Regionen: Veränderung des BIP je Einwohner <= Veränderung des BIP je Einwohner in Deutschland. dynamische Wachstumsregionen: Kreise mit überdurchschnittlichem Wachstum und wirtschaftliche Ausgangslage überdurchschnittlich. Aufholregionen: Kreise mit überdurchschnittlichem Wachstum und wirtschaftliche Ausgangslage unterdurchschnittlich. Regionen mit Wachstumsproblemen: Kreise mit unterdurchschnittlichem Wachstum und wirtschaftliche Ausgangslage überdurchschnittlich. Stagnationsregionen: Kreise mit unterdurchschnittlichem Wachstum und wirtschaftliche Ausgangslage unterdurchschnittlich. Alte Bundesländer Nord: Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Hamburg, Bremen, Nordrhein-Westfalen; Alte Bundesländer Süd: Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Bayern, Baden-Württemberg.											
Quelle: Eigene Berechnungen mit Hilfe von Daten aus verschiedenen Statistiken. Details zur Datengrundlage und zur Aufbereitung der Daten vgl. Tabelle 1 sowie Plankl (2012).											

Tabelle 6

Verteilung der finanziellen Staatshilfen aktiver regionalwirtschaftlicher Maßnahmen der raumwirksamen Politikbereiche in ländlichen und nicht ländlichen Landkreisen mit unterschiedlichem wirtschaftlichen Wachstum der alten und neuen Bundesländer in %

Regionen	Verteilung der finanzielle Staatshilfen in % nach den Maßnahmen ...										
	Ländl. Ent- wick- lung	Hoch- schule/ Wissen- schaft	For- schung	GRW gewerb+ tourist	Mittelst/ KMU	Inno- vation	Städte- bau	Woh- nungs- bau	Infra- struktur	Ar- beits- markt- politik	Insge- samt
	P-LE	P-HS	P-FO	P-GRW	P-KMU	P-INN	P-SB	P-WB	P-INF	P-AM	P-Aktiv-II
Alte Bundesländer											
Dynamische ländliche Wachstumsregionen	22,6	3,3	3,1	1,6	6,4	3,5	3,7	16,9	11,6	27,3	100
Ländliche Aufholregionen	30,0	0,3	1,6	4,1	4,7	2,9	2,1	14,8	11,2	28,1	100
Ländliche Regionen mit Wachstumsproblemen	16,7	12,9	4,0	1,5	4,6	1,6	4,5	14,2	10,3	29,7	100
Ländliche Stagnationsregionen	22,5	1,2	2,7	4,3	4,9	2,9	2,4	16,1	11,0	32,0	100
Dynamische nicht ländliche Wachstumsregionen	3,9	12,9	17,2	1,0	4,1	1,0	2,9	17,2	10,2	29,7	100
Nicht ländliche Aufholregionen	8,6	3,2	9,0	1,6	5,3	1,5	2,9	20,3	12,0	35,5	100
Nicht ländliche Regionen mit Wachstumsproblemen	2,0	17,6	25,9	0,4	3,2	0,5	1,9	14,6	8,4	25,6	100
Nicht ländliche Stagnationsregionen	7,6	4,2	9,4	1,7	5,7	1,6	2,3	21,2	11,4	34,9	100
Überdurchschnittlich wachsende ländliche Regionen	28,6	0,9	1,9	3,6	5,0	3,0	2,5	15,2	11,3	28,0	100
Unterdurchschnittlich wachsende ländliche Regionen	21,5	3,3	3,0	3,8	4,8	2,7	2,8	15,7	10,9	31,5	100
Überdurchschnittlich wachsende nicht ländliche Regionen	6,3	8,0	13,0	1,3	4,7	1,3	2,9	18,7	11,1	32,6	100
Unterdurchschnittlich wachsende nicht ländliche Regionen	3,9	13,0	20,3	0,9	4,0	0,9	2,0	16,8	9,4	28,8	100
Neue Bundesländer											
Überdurchschnittlich wachsende ländliche Regionen	8,2	1,5	1,5	24,8	1,1	1,1	8,6	7,4	11,0	34,7	100
Unterdurchschnittlich wachsende ländliche Regionen	9,9	0,9	3,5	16,3	1,2	1,1	8,6	12,1	9,8	36,7	100
Überdurchschnittlich wachsende nicht ländliche Regionen	3,1	9,7	8,8	17,4	1,0	0,4	8,5	10,6	9,6	30,9	100
Unterdurchschnittlich wachsende nicht ländliche Regionen	1,1	6,7	18,3	6,7	1,0	0,1	7,0	11,7	11,5	36,0	100
Deutschland											
<i>Deutschland insgesamt</i>	<i>7,3</i>	<i>7,5</i>	<i>11,7</i>	<i>8,2</i>	<i>3,1</i>	<i>1,1</i>	<i>4,8</i>	<i>14,3</i>	<i>10,4</i>	<i>31,7</i>	<i>100</i>
Erläuterungen:											
Ländliche Kreise: Kreistypen 4 = Ländliche Kreise in Agglomerationen, 7 = Ländliche Kreise in verdichteten Räumen, 8 = Ländliche Kreise höherer Dichte in ländlichen Räumen und 9 = Ländliche Kreise geringerer Dichte. Nicht ländliche Kreise: Kreistypen 1 = Kernstädte von Agglomerationen, 2 = Hochverdichtete Kreise in Agglomerationen, 3 = Verdichtete Kreise in Agglomerationen, 5 = Kernstädte in verdichteten Räumen und 6 = Verdichtete Kreise in verdichteten Räumen.											
Überdurchschnittlich wachsende Regionen: Veränderung des BIP je Einwohner > Veränderung des BIP je Einwohner in Deutschland. Unterdurchschnittlich wachsende Regionen: Veränderung des BIP je Einwohner <= Veränderung des BIP je Einwohner in Deutschland. Dynamische Wachstumsregionen: Kreise mit überdurchschnittlichem Wachstum und wirtschaftliche Ausgangslage überdurchschnittlich. Aufholregionen: Kreise mit überdurchschnittlichem Wachstum und wirtschaftliche Ausgangslage unterdurchschnittlich. Regionen mit Wachstumsproblemen: Kreise mit unterdurchschnittlichem Wachstum und wirtschaftliche Ausgangslage überdurchschnittlich. Stagnationsregionen: Kreise mit unterdurchschnittlichem Wachstum und wirtschaftliche Ausgangslage unterdurchschnittlich.											
Quelle: Eigene Berechnungen mit Hilfe von Daten aus verschiedenen Statistiken. Details zur Datengrundlage und zur Aufbereitung der Daten vgl. Tabelle 1 sowie Plankl (2012).											

Vergleich zum Durchschnitt der neuen Bundesländer aufweisen (vgl. Tabelle 3 und 5), liegt die Förderintensität der ‚überdurchschnittlich gewachsenen ländlichen Kreise‘ in den alten Bundesländern 11 % über dem Durchschnittswert der alten Bundesländer. Zwischen alten und neuen Bundesländern bestehen deutliche Unterschiede in der Förderstruktur: Mit 28,6 % haben in den alten Bundesländern die Ausgaben zur Entwicklung des ländlichen Raumes in dieser Gruppe die höchste Bedeutung (vgl. Tabelle 6). Der Anteil liegt sogar über dem Anteil der Ausgaben für die aktive Arbeitsmarktförderung (28,0 %) und unterstreicht die besondere Bedeutung der Maßnahmen zur Entwicklung ländlicher Räume. Im Vergleich zu den neuen Bundesländern hat die Mittelstands- und Wohnungsbauförderung in den ‚überdurchschnittlich wachsenden ländlichen Kreisen‘ eine relativ hohe Bedeutung. In den neuen Bundesländern überwiegt erwartungsgemäß die GRW- und Arbeitsmarktförderung mit Anteilen von 24,8 bzw. 34,7 %. Die Förderung der Entwicklung ländlicher Räume kommt nur auf einen Finanzanteil von 8,2 %.

Vergleich alte/neue Bundesländer: ländlich unterdurchschnittlich

In den ‚unterdurchschnittlich wachsenden ländlichen Kreisen‘ der alten und neuen Bundesländer ist zu beobachten, dass die Förderintensität um 7,4 % bzw. 7,6 % unter der entsprechenden durchschnittlichen Förderintensität der alten und neuen Bundesländer liegt (vgl. Tabelle 5 und 3). Die Förderung der Entwicklung ländlicher Räume liegt mit 21,5 % in den alten Bundesländern unter dem Wert der ‚überdurchschnittlich wachsenden ländlichen Kreise‘ (28,6 %). In den neuen Bundesländern erreicht die Förderung zur Entwicklung ländlicher Räume in den ‚unterdurchschnittlich wachsenden Kreisen‘ einen etwas höheren Wert (9,9 %) im Vergleich zu den ‚überdurchschnittlich wachsenden ländlichen Kreise‘. Der Anteilswert entspricht in etwa dem der Städtebauförderung und Infrastrukturförderung (vgl. Tabelle 6). Rückschlüsse auf das unterschiedliche wirtschaftliche Wachstum lassen sich wegen der komplexen Zusammenhänge und des Einflusses weiterer Bestimmungsgrößen hieraus jedoch nicht ableiten.

Vergleich innerhalb der alten Bundesländer

Vergleich ländlich/nicht ländlich

Die ländlichen Kreise in den alten Bundesländern erreichen mit 222 Euro je Einwohner eine Gesamtförderintensität, welche um 11,2 % unter der Förderintensität der nicht ländlichen Kreise bleibt (vgl. Tabelle 3). Bei der Förderung bestehen sehr große strukturelle Unterschiede (vgl. Tabelle 4). Während in den ländlichen Kreisen im Durchschnitt 24,7 % der gesamten Fördermittel auf die Maßnahmen zur Entwicklung ländlicher Räume entfallen und der Anteil für die Bereiche Wissenschaft, Forschung und Innovationsförderung nur bei 7,5 % liegt, ist die Situation in den nicht ländlichen Räumen mit Anteilen von 4,8 und 30,4 % nahezu umgekehrt. Da-

bei gilt es zu berücksichtigen, dass die Anteile in den einzelnen Kreisen stark streuen (Plankl, 2012).

Vergleich ländlich Nord/Süd

Im Durchschnitt der südlichen ländlichen Kreise liegt die Gesamtförderintensität mit 212 Euro je Einwohner um 30 Euro niedriger als in den nördlichen Kreisen. Der Unterschied erklärt sich überwiegend aus den geringeren Ausgaben für die Maßnahmen der aktiven Arbeitsmarktpolitik. Für die Maßnahmen zur Entwicklung ländlicher Räume werden im Süden durchschnittlich 59 Euro und im Norden 45 Euro je Einwohner ausgegeben, so dass der Anteil im Norden bei 18,8 und im Süden bei 28,0 % liegt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei den finanziellen Staatshilfen zur Entwicklung ländlicher Räume die Fördermaßnahmen der Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der Agrarstruktur und Küstenschutz (GAK) einen großen Anteil ausmachen. Da die regionale Verteilung der GAK-Mittel historisch gewachsen ist und alte Besitzstände gewahrt wurden, spiegelt die regionale Verteilung der Maßnahmen der 2. Säule auch die Vorteile des Südens wider. In keiner anderen Untersuchungsregion liegt der Finanzanteil für die Maßnahmen zur Entwicklung ländlicher Räume so hoch wie in den südlichen alten Bundesländern. Besonders deutlich wird der Unterschied bei einem Vergleich mit den ländlichen Kreisen der neuen Bundesländer, denn hier liegt der Anteil lediglich bei 8,5 %. Absolut liegt die Förderung in den ländlichen Kreisen der südlichen Bundesländer jedoch im Vergleich zu den neuen Bundesländern nur um 3 Euro je Einwohner höher. Für Wissenschaft, Forschung und Innovation geben die nördlichen ländlichen Kreise der alten Bundesländer bei einem Anteil von 8,7 % durchschnittlich 21 Euro je Einwohner aus. Überraschenderweise liegt der Förderbetrag in den südlichen ländlichen Kreisen mit 14 Euro je Einwohner niedriger und erreicht einen Anteil an den Gesamtfördermitteln von nur 6,9 %.

Vergleich ländlich über-/unterdurchschnittlich

Ländliche Kreise der alten Bundesländer mit einem Wirtschaftswachstum unterhalb des Bundesdurchschnitts erhalten rund 4,1 % höhere finanzielle Staatshilfen als ‚überdurchschnittlich wachsende ländliche Kreise‘ (vgl. Tabelle 5). Ursächlich sind vor allem die höheren Ausgaben für die aktiven Arbeitsmarktmaßnahmen. Da die ‚überdurchschnittlich wachsenden ländlichen Kreise‘ für Förderbereiche wie Wissenschaft, Forschung und Innovation nur 13 Euro je Einwohner (5,8 %) erhalten, im Vergleich zu 21 Euro je Einwohner (9 %) in den ‚unterdurchschnittlich wachsenden ländlichen Kreisen‘, ist dieses Ergebnis zunächst überraschend. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass der Fördermitteleinsatz die Wachstumsimpulse der förderunabhängig getätigten Investitionen in diesen Bereichen nicht hinreichend abbildet. Auch könnte die Förderintensität evtl. unter einem kritischen Schwellenwert liegen, ab dem erst ein regional initiiertes Wachstum möglich wird. Im direkten Vergleich der Förderpolitiken könnte in den ‚überdurchschnittlich wachsenden Kreisen‘ den Fördermaßnahmen zur Entwicklung

ländlicher Räume mit einer Förderintensität von 62 Euro je Einwohner und einem Anteil von 28,6 % eine wesentlich größere Rolle zukommen als in den ‚unterdurchschnittlich wachsenden Kreisen‘ (48 Euro je Einwohner bei einem Anteil von 21,5 %).

Vergleich ländlich dynamische Wachstumsregionen/Stagnationsregionen

Auf Grund der hinreichenden Anzahl an Landkreisen lassen sich in den alten Bundesländern ‚dynamische Wachstumsregionen‘ (Kreise mit einer überdurchschnittlichen Ausgangslage beim BIP je Einwohner und einem überdurchschnittlichen Wachstum) mit ‚Stagnationsregionen‘ (Kreise mit einer unterdurchschnittlichen Ausgangslage beim BIP je Einwohner und einem unterdurchschnittlichen Wachstum) vergleichen. Dabei zeigt sich, dass sich die ‚dynamischen Wachstumsregionen‘ durch eine um 15 Euro je Einwohner niedrigere Förderintensität von den ‚Stagnationsregionen‘ unterscheiden (vgl. Tabelle 5). Für die Bereiche Wissenschaft, Forschung und Innovation erhalten die ‚dynamischen Wachstumsregionen‘ im Durchschnitt 20 Euro je Einwohner. Dies entspricht einem Anteil an den gesamten finanziellen Staatshilfen von 9,8 % (vgl. Tabelle 6). Im Vergleich dazu liegt die entsprechende Förderintensität in den ‚Stagnationsregionen‘ bei 15 Euro je Einwohner, was einem Anteil von 6,9 % entspricht. Unterschiede im Bereich der Fördermittel für die Entwicklung ländlicher Räume sind zwischen den beiden Erfolgsgruppen zu vernachlässigen.

Vergleich innerhalb der neuen Bundesländer

Vergleich ländlich/nicht ländlich

Der Vergleich zwischen ländlichen und nicht ländlichen Kreisen der neuen Bundesländer zeigt eine um rund 8,4 % höhere Förderintensität in den ländlichen Kreisen (vgl. Tabelle 3). Dabei sind deutliche strukturelle Unterschiede in der Förderung zu beobachten: Ländliche Kreise erhalten mehr Mittel aus dem Bereich der GRW-Förderung sowie der Förderung zur Entwicklung ländlicher Räume. Der Pro-Kopf-Unterschied beträgt für diese beiden Maßnahmen 120 Euro je Einwohner. Dem steht erwartungsgemäß aufgrund der geringeren Dichte an Forschungseinrichtungen eine niedrigere Förderung für die Bereiche Wissenschaft, Forschung und Innovation gegenüber (29 im Vergleich zu 132 Euro je Einwohner). Bei den Ausgaben für die Mittelstandsförderung, Infrastruktur und Städtebauförderung unterscheiden sich die Pro-Kopf-Förderintensitäten nur geringfügig.

Vergleich ländlich über-/unterdurchschnittlich

Ländliche Kreise der neuen Bundesländer mit einem Wirtschaftswachstum größer als der Bundesdurchschnitt erhalten etwa 15,5 % höhere finanzielle Staatshilfen als die ‚unterdurchschnittlich wachsenden ländlichen Kreise‘ (vgl. Tabelle 5). In den alten Bundesländern erhielten die ‚über-

durchschnittlich wachsenden Kreise‘ niedrigere finanzielle Staatshilfen. In den neuen Bundesländern resultiert der höhere Gesamtförderbetrag fast ausschließlich aus der deutlich höheren GRW-Förderung in den ‚überdurchschnittlich wachsenden ländlichen Kreisen‘. Die Maßnahmen zur Entwicklung ländlicher Räume unterscheiden sich bezüglich der Förderintensität und der relativen Bedeutung nur gering zwischen den beiden Erfolgsgruppen (vgl. Tabelle 6). Die Ausgaben für die Bereiche Wissenschaft, Forschung und Innovation liegen sogar in den ‚unterdurchschnittlich wachsenden Kreisen‘ mit 32 Euro je Einwohner im Vergleich zu 28 Euro je Einwohner etwas höher. Der Anteilswert liegt damit bei 4,2 im Vergleich zu 5,5 %. Damit haben diese drei Förderbereiche in den ländlichen Regionen der neuen Bundesländer eine geringe finanzielle Bedeutung. Über die initiierte Wirkung auf das Wirtschaftswachstum lässt sich auch hier keine Aussage treffen.

Regionaler Wirtschaftsbeitrag im Vergleich zum Fördermittelanteil

Im folgenden Abschnitt wird der Wirtschaftsbeitrag einer Region gemessen am BIP dem entsprechenden regionalen Anteil an den finanziellen Staatshilfen gegenübergestellt. Hierdurch lässt sich aufzeigen, welche Region stärker oder weniger stark von den finanziellen Staatshilfen profitiert hat. Die Umverteilungseffekte werden wiederum entsprechend differenziert für verschiedene Gruppen von Landkreisen der alten und neuen Bundesländer analysiert.

Unterschiede zwischen alten/neuen Bundesländern

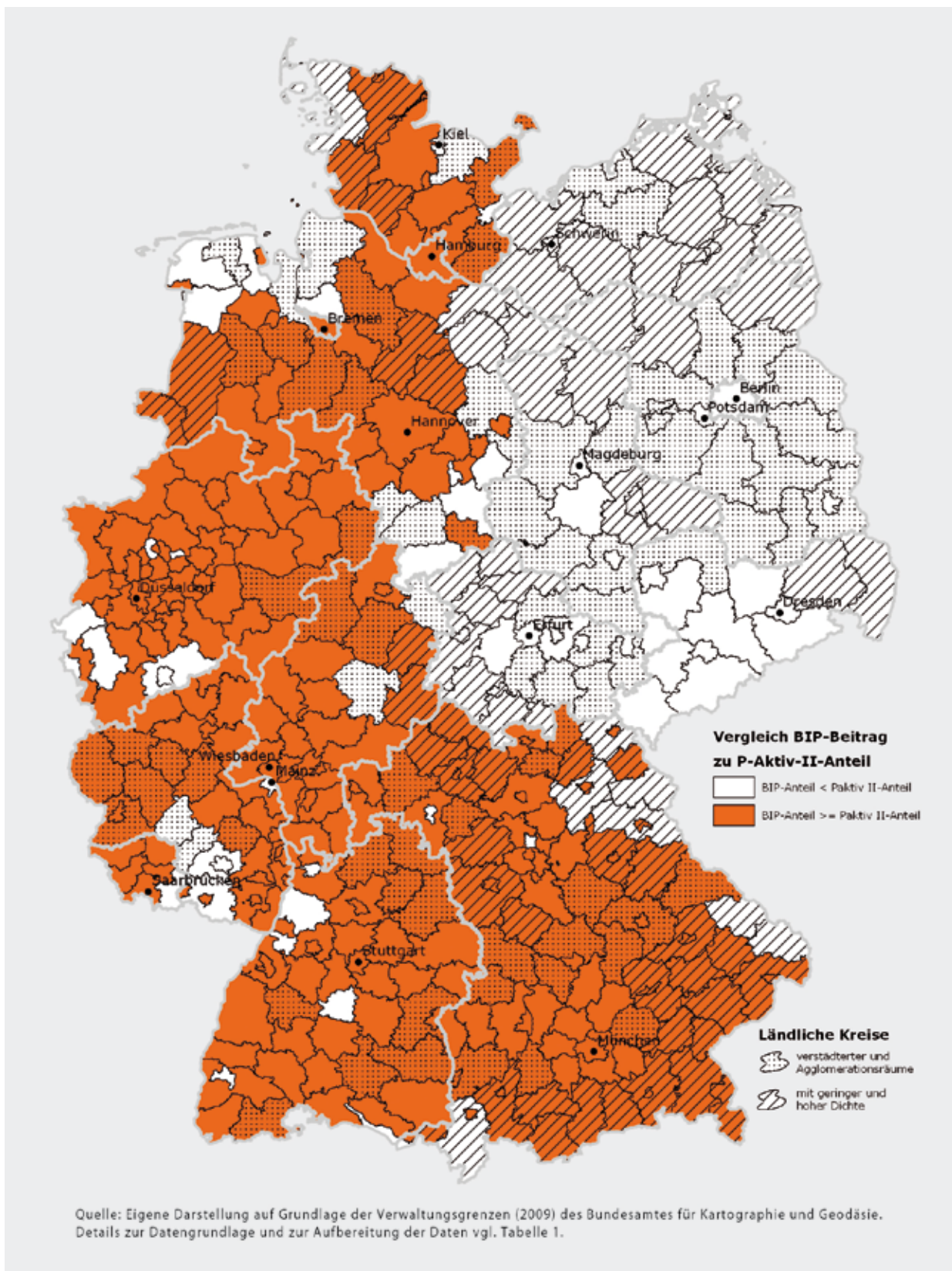
Die neuen Bundesländer erwirtschaften im gesamten Untersuchungszeitraum einen gesamtdeutschen BIP-Beitrag von 15,1 % (vgl. Tabelle 7). Der Beitrag ist damit nicht nur niedriger als der Einwohner- und Flächenanteil (20,8 bzw. 30,4 %) sondern auch deutlich niedriger als der Anteil der aktiven finanziellen Staatshilfen gemessen an P-Aktiv-II (40,5 %). Der Anteil der gesamten raumwirksamen Maßnahmen liegt bei 33 % (Plankl, 2012). In keinem Landkreis der neuen Bundesländer liegt im Jahresdurchschnitt des Untersuchungszeitraums 1995 bis 2008 der BIP-Beitrag höher als der Anteil an den aktiven Finanzhilfen (vgl. Karte 3). Dies gilt nicht nur für die gesamten aktiven finanziellen Staatshilfen, sondern auch im Durchschnitt für die einzelnen Förderbereiche. Lediglich für den Bereich der Mittelstandsförderung liegt der Finanzanteil der neuen Bundesländer etwas niedriger als der BIP-Beitrag (14,3 %). Von der GRW-Förderung und der Städtebauförderung haben die neuen Bundesländer mit Anteilen von 88,8 % bzw. 70 % überproportional im Vergleich zum BIP-Beitrag profitiert.

Im Durchschnitt der alten Bundesländer stellt sich die Situation gänzlich anders dar. Hier liegt der Finanzanteil für alle Förderbereiche mit 59,4 % niedriger als der BIP-Beitrag (84,9 %). Nur der Anteil der KMU-Förderung liegt mit 85,7 % leicht über dem BIP-Beitrag. In nahezu allen alten Bundesländern gibt es vereinzelt Landkreise, in denen der BIP-Beitrag

Tabelle 7

Anteil der finanziellen Staatshilfen, Einwohner- und Flächenanteil sowie BIP-Beitrag der jeweiligen siedlungsstrukturellen Kreistypen der alten und neuen Bundesländer am Bundesdurchschnitt in %

Regionen	Anteil der finanziellen Staatshilfen in %											Ein- wohner- Anteil Ø 95,00-05	Flä- chen- Anteil 2008	BIP- Bei- trag 2007
	P-LE	P-HS	P-FO	P-GRW	P-KMU	P-INN	P-SB	P-WB	P-INF	P-AM	P-Aktiv-II			
Alte Bundesländer														
Ländliche Kreise (Kreistypen 4 + 7 + 8 + 9) Nord	10,5	0,9	1,2	2,9	6,6	13,9	1,8	4,4	4,1	4,4	4,1	5,5	11,6	4,2
Nicht ländliche Kreise Nord	13,2	30,9	37,6	4,5	34,8	21,3	12,5	31,4	25,0	27,6	25,8	32,3	16,1	33,7
<i>Nord insgesamt</i>	<i>23,7</i>	<i>31,8</i>	<i>38,8</i>	<i>7,4</i>	<i>41,4</i>	<i>35,1</i>	<i>14,3</i>	<i>35,8</i>	<i>29,1</i>	<i>32,0</i>	<i>29,9</i>	<i>37,8</i>	<i>27,6</i>	<i>37,9</i>
Ländliche Kreise (Kreistypen 4 + 7 + 8 + 9) Süd	28,8	2,5	1,3	2,4	12,0	16,2	4,6	8,2	8,3	6,6	7,5	11,6	23,0	10,8
Nicht ländliche Kreise Süd	18,3	39,5	34,1	1,6	32,3	23,1	11,1	27,3	21,3	18,0	22,0	29,8	19,0	36,2
<i>Süd insgesamt</i>	<i>47,0</i>	<i>42,0</i>	<i>35,4</i>	<i>4,0</i>	<i>44,3</i>	<i>39,2</i>	<i>15,7</i>	<i>35,5</i>	<i>29,6</i>	<i>24,6</i>	<i>29,6</i>	<i>41,4</i>	<i>42,0</i>	<i>47,0</i>
Ländliche Kreise (Kreistypen 4+7+8+9)	39,3	3,4	2,5	5,3	18,7	30,0	6,5	12,6	12,4	11,0	11,6	17,1	34,5	15,0
Nicht ländliche Kreise	31,4	70,4	71,8	6,1	67,1	44,3	23,6	58,7	46,3	45,7	47,8	62,1	35,1	69,8
<i>Alte Bundeslän- der insgesamt</i>	<i>70,5</i>	<i>73,8</i>	<i>74,2</i>	<i>11,2</i>	<i>85,7</i>	<i>74,6</i>	<i>30,0</i>	<i>71,1</i>	<i>58,6</i>	<i>56,6</i>	<i>59,4</i>	<i>79,2</i>	<i>69,6</i>	<i>84,9</i>
Neue Bundesländer														
Ländliche Kreise (Kreistypen 4 + 7 + 8 + 9)	23,5	3,7	3,2	57,5	7,4	20,9	36,6	11,7	20,9	22,4	20,2	10,0	25,4	6,4
Nicht ländliche Kreise	6,1	22,5	22,5	31,3	6,8	5,0	33,4	15,7	20,3	21,2	20,2	10,8	5,0	8,7
<i>Neue Bundeslän- der insgesamt</i>	<i>29,5</i>	<i>26,2</i>	<i>25,8</i>	<i>88,8</i>	<i>14,3</i>	<i>25,7</i>	<i>70,0</i>	<i>28,3</i>	<i>41,3</i>	<i>43,5</i>	<i>40,5</i>	<i>20,8</i>	<i>30,4</i>	<i>15,1</i>
Deutschland														
Ländliche Kreise (Kreistypen 4 + 7 + 8 + 9)	62,8	7,1	5,7	62,8	26,1	50,9	43,1	24,3	33,4	33,4	31,9	27,1	59,9	21,4
Nicht ländliche Kreise	37,5	93,0	94,3	37,4	73,9	49,4	56,9	74,4	66,6	66,8	68,0	72,9	40,1	78,6
<i>Deutschland insgesamt</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
Erläuterungen:														
Kreistypen der laufenden Raumbearbeitung der BBSR: 1 = Kernstädte von Agglomerationen, 2 = Hochverdichtete Kreise in Agglomerationen, 3 = Verdichtete Kreise in Agglomerationen, 4 = Ländliche Kreise in Agglomerationen, 5 = Kernstädte in verdichteten Räumen, 6 = Verdichtete Kreise in verdichteten Räumen, 7 = Ländliche Kreise in verdichteten Räumen, 8 = Ländliche Kreise höherer Dichte in ländlichen Räumen, 9 = Ländliche Kreise geringerer Dichte in ländlichen Räumen.														
Da die Daten nicht differenziert nach West- und Ostberlin vorlagen, wurde Berlin den neuen Bundesländern zugerechnet. Dadurch kann es Abweichungen zu den Durchschnittswerten der alten bzw. neuen Bundesländer geben.														
Alte Bundesländer Nord: Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Hamburg, Bremen, Nordrhein-Westfalen; Alte Bundesländer Süd: Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Bayern, Baden-Württemberg.														
Quelle: Eigene Berechnungen mit Hilfe von Daten aus verschiedenen Statistiken. Details zur Datengrundlage und zur Aufbereitung der Daten vgl. Tabelle 1 sowie Plankl (2012).														

**Karte 3**

Landkreise und kreisfreie Städte in Deutschland, in denen der Beitrag am BIP höher ist als der Anteil an den finanziellen Staatshilfen (P-Aktiv-II)

niedriger ist als der Finanzanteil (vgl. Karte 3). Die Kreise liegen insbesondere im Nord-Westen und im Osten von Niedersachsen, im Süden von Rheinland-Pfalz und in Teilen von Niederbayern und Oberfranken. Dabei handelt es sich in Schleswig-Holstein und in Bayern ausschließlich um ländliche Kreise im Sinne der siedlungsstrukturellen Kreistypen.

Unterschiede innerhalb der alten Bundesländer

Während auf die südlichen alten Bundesländer ein BIP-Beitrag von 47 % entfällt, liegt der entsprechende Finanzanteil (P-Aktiv-II) bei 29,6 %. In den nördlichen Bundesländern liegt der Finanzanteil auf ähnlich hohem Niveau wie in den südlichen alten Bundesländern. Da jedoch der BIP-Beitrag im Vergleich zu den südlichen Ländern niedriger ist (37,9 %), fällt der Unterschied insgesamt geringer aus. Erwartungsgemäß leisten die südlichen Bundesländer aufgrund ihrer günstigen Wirtschaftsstruktur einen überproportional hohen Wirtschaftsbeitrag. Dieser liegt auch höher als der Einwohner- und Flächenanteil. In den nördlichen alten Bundesländern gibt es mit der Forschungsförderung und der KMU-Förderung zwei Bereiche, in denen der Finanzanteil höher liegt als der BIP-Beitrag. Im Süden erreichen hingegen die finanziellen Staatshilfen für die Förderung der Entwicklung ländlicher Räume einen Anteil von 47 %. Dieser liegt damit vergleichbar hoch wie der BIP-Beitrag (vgl. Tabelle 7).

In den alten Bundesländern, sowohl den südlichen als auch den nördlichen, liegt nicht nur in den nicht ländlichen Kreisen, sondern sogar im Durchschnitt der ländlichen Kreise der BIP-Beitrag höher als der Finanzanteil. Ländliche Kreise der alten Bundesländer, in denen der BIP-Beitrag niedriger ist als der Anteil der finanziellen Staatshilfen, können in Karte 3 identifiziert werden. Insgesamt handelt es sich um 23 Landkreise. Bei Betrachtung der einzelnen Politikbereiche fällt auf, dass in den ländlichen Kreisen die Finanzanteile für Maßnahmen zur Entwicklung ländlicher Räume, zur Innovationsförderung und zur KMU-Förderung höher sind als der BIP-Beitrag. In den nicht ländlichen Kreisen liegen hingegen die Finanzanteile für Wissenschaft und Forschung höher als der BIP-Beitrag. Letzteres erklärt sich wiederum durch die regionale Standortverteilung von Forschungseinrichtungen sowie forschungsintensiven Unternehmen.

Die ‚dynamischen nicht ländlichen Wachstumsregionen‘ in den alten Bundesländern haben in keinem der zehn Förderbereiche mehr Finanzmittel erhalten als es ihrem BIP-Beitrag entspricht (vgl. Tabelle 8). Für die ‚dynamischen ländlichen Wachstumsregionen‘ gilt dies nur bedingt. Sie weisen für die Maßnahmen zur Entwicklung ländlicher Räume und für die Innovationsförderung einen höheren Finanzanteil im Vergleich zum BIP-Beitrag auf. Selbst in den ‚ländlichen Stagnationsregionen‘ und in den ‚ländlichen Regionen mit Wachstumsproblemen‘ liegt in den alten Bundesländern der BIP-Beitrag höher als der Gesamtfinanzanteil.

In allen vier Erfolgsgruppen der ländlichen Kreise liegt der Finanzanteil der Maßnahmen zur Förderung der Entwicklung ländlicher Räume höher als der BIP-Beitrag. In den Erfolgsgruppen der nicht ländlichen Kreise ist die Bedeutung der Finanzhilfen zur Entwicklung ländlicher Räume weniger

wichtig. Es ist jedoch auch hier festzustellen, dass den Finanzhilfen für Maßnahmen zur Entwicklung ländlicher Räume in den ‚Aufholregionen‘ sowie den ‚Stagnationsregionen‘ ein bedeutender Anteil zukommt, der nur knapp unter dem BIP-Beitrag liegt.

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse der Analyse der regionalen Verteilung der finanziellen Staatshilfen zeigen deutliche regionale Unterschiede in der Förderintensität und Förderstruktur. Die Unterschiede bestehen zwischen neuen und alten Bundesländern, zwischen nördlichen und südlichen alten Bundesländern sowie zwischen ländlichen und nicht ländlichen Kreistypen als auch zwischen sich erfolgreich und weniger erfolgreich entwickelnden Landkreisgruppen. Dabei bleibt festzuhalten, dass in der Regel ländliche Kreise eine höhere Gesamtförderintensität aufweisen als nicht ländliche Kreise. Auf sie entfallen zudem deutlich höhere Beträge aus der Förderung der Entwicklung ländlicher Räume. In den Bereichen Wissenschafts-, Forschungs- und Innovationsförderung weisen die ländlichen Kreise jedoch vergleichsweise niedrige Förderbeträge auf. Hinsichtlich des Finanzmitteleinsatzes zur Förderung der Entwicklung ländlicher Räume ist hervorzuheben, dass nicht ausschließlich die ländlichen Räume i. S. der siedlungsstrukturellen Kreistypen hiervon profitieren, sondern auch die nicht ländlichen Räume Zahlungen erhalten. Da davon ausgegangen werden kann, dass den ländlichen Räumen zugeflossene finanzielle Staatshilfen nicht in vollem Umfang in den Regionen verbleiben, sondern je nach Fördermaßnahme Regionen mit einer schlagkräftigeren Wirtschafts- und Infrastruktur zufließen, können durch derartige Verlagerungseffekte womöglich geringere Nettoeffekte in den ländlichen Regionen resultieren (vgl. Eckey, 2005).

Die differenzierten Auswertungen nach Gruppen unterschiedlich erfolgreicher Landkreise, die sich hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Entwicklung und ihres BIP-Ausgangsniveaus unterscheiden, zeigen, dass es unter den ‚dynamischen Wachstumsregionen‘ nur sehr wenige ländliche Kreise gibt. Dabei erzielen die ‚dynamischen Wachstumsregionen‘ ihren wirtschaftlichen Erfolg mit einer geringeren Gesamtförderintensität im Vergleich zu den anderen Erfolgsgruppen der ländlichen Kreise sowie im Vergleich zu den ‚nicht ländlichen dynamischen Wachstumsregionen‘. Wenngleich sich aus derartigen deskriptiven Ergebnissen bezüglich des wirtschaftlichen Erfolgs keine kausalen Schlussfolgerungen hinsichtlich der Höhe des Fördermitteleinsatzes und eines als optimal zu geltenden Mix an Fördermaßnahmen ableiten lassen, zeigen die Ergebnisse, dass vergleichbare wirtschaftliche Entwicklungen und wirtschaftlicher Erfolg mit einer unterschiedlichen Förderintensität und einem unterschiedlichen Mix an Fördermaßnahmen einhergehen können. Für die Konzipierung einer effizienten Förderpolitik und die Ableitung konkreter Umgestaltungsvorschläge der Förderpolitik sowie die Entwicklung eines möglichst Erfolg versprechenden überregionalen Förderstrategieansatzes sind die

Tabelle 8

Anteil der finanziellen Staatshilfen, Einwohner- und Flächenanteil sowie BIP-Beitrag der jeweiligen ländlichen und nicht ländlichen Landkreise mit unterschiedlichem wirtschaftlichen Wachstum der alten und neuen Bundesländer am Bundesdurchschnitt in %

Regionen	Anteil der finanziellen Staatshilfen in %											Einwohner-Anteil Ø 95,00-05	Flächen-Anteil 2008	BIP-Beitrag 2007
	P-LE	P-HS	P-FO	P-GRW	P-KMU	P-INN	P-SB	P-WB	P-INF	P-AM	P-Aktiv-II			
Alte Bundesländer														
Dynamische ländliche Wachstumsregionen	3,3	0,5	0,3	0,2	2,2	3,3	0,8	1,3	1,2	0,9	1,1	1,7	2,5	2,2
Ländliche Aufholregionen	17,6	0,2	0,6	2,2	6,6	11,4	1,9	4,4	4,7	3,8	4,3	6,3	13,7	5,4
Ländliche Regionen mit Wachstumsproblemen	2,6	2,0	0,4	0,2	1,7	1,7	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,5	2,1	1,7
Ländliche Stagnationsregionen	15,8	0,8	1,2	2,7	8,1	13,6	2,6	5,8	5,4	5,2	5,1	7,5	16,2	5,7
Dynamische nicht ländliche Wachstumsregionen	4,8	15,5	13,4	1,1	12,2	8,3	5,4	10,9	8,9	8,5	9,1	11,0	4,5	15,8
Nicht ländliche Aufholregionen	10,9	3,9	7,1	1,8	16,0	12,5	5,7	13,1	10,7	10,4	9,2	15,1	12,2	13,1
Nicht ländliche Regionen mit Wachstumsproblemen	5,3	45,4	43,2	1,1	20,1	9,3	7,6	19,8	15,7	15,7	19,4	19,9	5,1	28,5
Nicht ländliche Stagnationsregionen	10,5	5,6	8,1	2,1	18,8	14,3	4,9	14,9	11,1	11,1	10,1	16,1	13,3	12,4
Überdurchschnittlich wachsende ländliche Regionen	20,9	0,6	0,9	2,4	8,8	14,7	2,8	5,7	5,8	4,7	5,4	8,0	16,2	7,6
Unterdurchschnittlich wachsende ländliche Regionen	18,4	2,8	1,6	2,9	9,9	15,3	3,7	6,9	6,6	6,3	6,3	9,1	18,3	7,4
Überdurchschnittlich wachsende nicht ländliche Regionen	15,6	19,4	20,5	3,0	28,2	20,8	11,1	24,0	19,6	18,9	18,3	26,1	16,7	29,0
Unterdurchschnittlich wachsende nicht ländliche Regionen	15,8	51,0	51,3	3,2	38,8	23,6	12,5	34,7	26,7	26,8	29,5	36,0	18,4	40,9

Fortsetzung Tabelle 8

Regionen	Anteil der finanziellen Staatshilfen in %											Ein- wohner- Anteil Ø 95,00-05	Flä- chen- Anteil 2008	BIP-Bei- trag 2007
	P-LE	P-HS	P-FO	P-GRW	P-KMU	P-INN	P-SB	P-WB	P-INF	P-AM	P-Aktiv-II			
Neue Bundesländer														
Überdurchschnittlich wachsende ländliche Regionen	18,7	3,3	2,2	50,5	6,1	17,2	30,2	8,6	17,6	18,2	16,7	8,0	20,2	5,2
Unterdurchschnittlich wachsende ländliche Regionen	4,8	0,4	1,1	7,1	1,4	3,7	6,4	3,0	3,4	4,1	3,6	2,0	5,1	1,2
Überdurchschnittlich wachsende nicht ländliche Regionen	4,8	14,6	8,6	24,0	3,8	4,0	20,3	8,4	10,5	11,1	11,3	5,4	3,7	4,3
Unterdurchschnittlich wachsende nicht ländliche Regionen	1,3	7,9	13,9	7,3	3,0	1,1	13,0	7,3	9,8	10,1	8,9	5,4	1,3	4,5
Deutschland														
<i>Deutschland insgesamt</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Erläuterungen: Ländliche Kreise: Kreistypen 4 = Ländliche Kreise in Agglomerationen, 7 = Ländliche Kreise in verstärkerten Räumen, 8 = Ländliche Kreise höherer Dichte in ländlichen Räumen und 9 = Ländliche Kreise geringerer Dichte. Nicht ländliche Kreise: Kreistypen 1 = Kernstädte von Agglomerationen, 2 = Hochverdichtete Kreise in Agglomerationen, 3 = Verdichtete Kreise in Agglomerationen, 5 = Kernstädte in verstärkerten Räumen und 6 = Verdichtete Kreise in verstärkerten Räumen. Überdurchschnittlich wachsende Regionen: Veränderung des BIP je Einwohner > Veränderung des BIP je Einwohner in Deutschland. Unterdurchschnittlich wachsende Regionen: Veränderung des BIP je Einwohner ≤ Veränderung des BIP je Einwohner in Deutschland. Dynamische Wachstumsregionen: Kreise mit überdurchschnittlichem Wachstum und wirtschaftliche Ausgangslage überdurchschnittlich. Aufholregionen: Kreise mit überdurchschnittlichem Wachstum und wirtschaftliche Ausgangslage unterdurchschnittlich. Regionen mit Wachstumsproblemen: Kreise mit unterdurchschnittlichem Wachstum und wirtschaftliche Ausgangslage überdurchschnittlich. Stagnationsregionen: Kreise mit unterdurchschnittlichem Wachstum und wirtschaftliche Ausgangslage unterdurchschnittlich.														
Quelle: Eigene Berechnungen mit Hilfe von Daten aus verschiedenen Statistiken. Details zur Datengrundlage und zur Aufbereitung der Daten vgl. Tabelle 1 sowie Plankl (2012).														

Erkenntnisse der Untersuchung nicht ausreichend. Um hierfür fundierte Erkenntnisse zu gewinnen, sind weitere Untersuchungen durchzuführen und folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

- Für eine kleinräumige und alle Maßnahmenbereiche umfassende Analyse der formalen regionalen Verteilung der finanziellen Staatshilfen sind die bestehenden Lücken im Datenmaterial inhaltlich und zeitlich zu schließen. Vergleichbar zum Datenbestand der GRW-Förderung sind für lückenhafte Maßnahmen, wie beispielsweise die großräumige Verkehrspolitik, die Förderung der Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes (GAK), die Ausgaben maßnahmendetailliert, jährlich und bis auf die Ebene der Landkreise unter Berücksichtigung von EU- und Landesmitteln zu erfassen. Von Vorteil wäre es, wenn der Bund hier eine zentrale Auf-

gabe übernehmen würde und die teilweise auf Bundesländerebene bereits vorliegenden Daten zusammentrüge und vervollständigen würde. Bei der Verbesserung der Datengrundlage könnte die interministerielle Arbeitsgruppe (IMAG)⁵ ‚Ländliche Räume‘ eine initiiierende Rolle und koordinierende Funktion übernehmen.

- Mit Hilfe einer verbesserten Datengrundlage ließe sich dann ein wesentlich umfassenderes Bild der formalen regionalen Verteilung der finanziellen Staatshilfen zeichnen. Hierauf aufbauend könnten dann weitergehende

⁵ Die IMAG wurde 2009 von der Bundesregierung mit der Aufgabe eingesetzt, die relevanten Politikbereiche zur Entwicklung ländlicher Räume besser zu koordinieren und zu einem integrierten Politikansatz zu kommen. Die Arbeitsgruppe setzt sich aus Mitgliedern verschiedener Bundesressorts zusammen.

Untersuchungen zur effektiven regionalen Inzidenz sowie zum Einfluss der finanziellen Staatshilfen auf das wirtschaftliche Wachstum unter Berücksichtigung weiterer Determinierungsgrößen durchgeführt werden.

- Des Weiteren ist zu überlegen, ob Wirkungs- und Effizienzanalysen im Rahmen der Evaluation von Förderprogrammen (beispielsweise des EFRE, ESF und ELER) verstärkt ressortübergreifend durchgeführt werden sollten. Derzeitige fondspezifische und auf der Ebene der operativen Bundesländer-Programme durchgeführte Evaluationen erfüllen die Ansprüche einer integrierten Bewertung nur eingeschränkt. Wegen unterschiedlicher Datengrundlage und Unterschieden in der methodischen Vorgehensweise sind die Ergebnisse kaum vergleichbar. Für die Konzipierung einer Erfolg versprechenden überregionalen und Sektor übergreifenden Förderstrategie, welche die Verflechtungen im Raum und die Wirkungen zwischen einzelnen Förderpolitiken und Fördermaßnahmen stärker berücksichtigt, bedarf es einer Metaevaluation auf nationaler Ebene, welche unter Verwendung geeigneter und vergleichbarer Daten mit vergleichbaren methodischen Ansätzen und koordiniert durch den Bund in Kooperation mit den Ländern nach effizienten Lösungsansätzen sucht.

- Plankl R (2011) Finanzielle Staatshilfen für den Agrarsektor und deren regionale Verteilung. Braunschweig : vTI, 69 p, Arbeitsber vTI-Agrarökonomie 2011/03
- Plankl R (2012) Regionale Verteilung raumwirksamer finanzieller Staatshilfen im Kontext regionalwirtschaftlicher Entwicklung. Braunschweig : vTI, 266 p, Arbeitsber vTI-Agrarökonomie, 2012/02
- Tietz A (2007) Ländliche Entwicklungsprogramme 2007 bis 2013 in Deutschland im Vergleich - Finanzen, Schwerpunkte, Maßnahmen. Braunschweig : FAL, 174 p, Landbauforsch Völknerode SH 315
- Statistisches Bundesamt Internetseite (2010) [online]. Zu finden in <<https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/logon>> [zitiert am 18.11.2010]
- Zarh M (2010) Brauchen wir eine neue Förderstruktur für ländliche Räume? : Empirische Befunde und Empfehlungen für die Politik. Bonn : BBSR, 11 p, BBSR-Berichte kompakt 2010/5

Literatur

- (BBR)-Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2000) Raumordnungsbericht 2000, Bonn : BBR, 320 p
- (BBR)-Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2005) Raumordnungsbericht 2005, Bonn : BBR, 371 p
- (BBR)-Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (2009) Zeitlich aggregierte ausgewählte Daten zu den raumwirksamen Mitteln auf Kreisebene (Bereitstellung Bundesinst für Bau-, Stadt- Raumforschung)
- (BAFA)-Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2009) Zeitlich aggregierte Daten zu den Ausgaben der GRW-Förderung (Bereitstellung Ref Berichtswesen Statistik)
- (BLE)-Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2009) Daten der 2. Säule der Agrarpolitik (Bereitstellung Ref 211)
- (BBSR)-Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2010) Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung 2010. Bonn : BBR
- (BVBS)-Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (1999-2006) Bericht für das Jahr ... über die Verwendung der Finanzhilfen des Bundes zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse der Gemeinden nach dem Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz. Berlin : Bundesministerium
- (BVBS)-Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2012) Raumordnungsbericht 2011. Bonn, 260 p, Drucksache / Deutscher Bundestag 17/8360
- Eckey H-F, Kosfeld R (2005) Regionaler Wirkungsgrad und räumliche Ausstrahlungseffekte der Investitionsförderung. *Jb Regionalwiss* 25:149-173
- Färber G (2007) Die formale und effektive Inzidenz von Bundesmitteln [online]. Zu finden in <http://www.bbsr.bund.de/nn_21942/BBSR/DE/FP/ReFo/Raumordnung/InzidenzBundesmittel/01_Start.html> [zitiert am 16.07.2012]
- Harsche J (2009) Regionale Inzidenz und ökonomische Bestimmungsgrößen der gemeinsamen europäischen Agrarpolitik. Frankfurt a M : Lang, 248 p
- Lackmann G, Zarh M (2010) Zur Flankierung des ostdeutschen Konvergenzprozesses durch fiskalische Ausgleichssysteme und raumwirksame Bundesmittel. *Inform Raumentwicklung* 2010/11(10)685-713
- Mädig H (2009) Öffentliche Finanzströme und räumliche Entwicklung. Hannover : ARL, 342 p, Forschungs- und Sitzungsberichte / Akademie für Raumforschung und Landesplanung 232

Vergleich von Leistungs- und Fütterungsparametern in ökologischen und konventionellen Milchviehbetrieben in Deutschland

Britta Blank*, Dagmar Schaub*, Hans Marten Paulsen* und Gerold Rahmann*

Zusammenfassung

Zu den wichtigsten Quellgruppen der landwirtschaftlichen Treibhausgas- (THG) Emissionen in Deutschland gehören die CH₄-Emissionen aus der Verdauung des Milchviehs. Steuergrößen, welche die Höhe der produktgebundenen Emissionen bestimmen sind, das Milchleistungsniveau, Leistungs- und Fruchtbarkeitsparameter, das Herdenalter sowie das Fütterungsregime. Im Rahmen der Studie „Klimawirkungen und Nachhaltigkeit von Landbausystemen – Untersuchung in einem Netzwerk von Pilotbetrieben“ wurden diese Parameter anhand von 22 ökologischen und konventionellen Paaren von Milchviehbetrieben verglichen.

Milchleistung, Lebens effektivität, der Anteil von Maissilage am Grundfutter sowie der Anteil von Kraftfutter an der Gesamtration konventioneller Betriebe sind im Mittel höher; in ökologischen Betrieben sind dagegen die Nutzungsdauer und Weidezeiten länger. Die Lebens effektivität steigt mit steigender Milchleistung in beiden Betriebssystemen signifikant an ($p < 0,001$) und sinkt mit steigendem Erstkalbealter ($p < 0,001$). Das Milchleistungsniveau ist in beiden Betriebssystemen positiv mit dem Anteil an Maissilage in der Ration korreliert ($p < 0,001$). Herden mit hoher Milchleistung und hoher durchschnittlicher Lebens effektivität sind in beiden Produktionsrichtungen vorhanden.

Schlüsselworte: Leistungs- und Fütterungsparameter, Treibhausgas, Milchvieh, konventionell, ökologisch

Abstract

Comparison of performance and feeding parameters in organic and conventional dairy farms in Germany

A considerable ratio of the greenhouse gas (GHG) emissions produced by German agriculture is caused by the enteric fermentation of dairy cows. Milk yield, performance and reproductive parameters, herd age and feeding system are important factors determining the product related GHG-emissions. In the study „Climate effects and sustainability of organic and conventional farming systems“, these parameters were analysed on 22 paired organic and conventional dairy farms.

When looking at mean system differences milk yields, lifetime efficiency, percentage of maize silage and concentrates in the feeding ration are significantly higher in conventional farms. Whereas mean longevity and grazing time are higher in organic farming. In both farming systems lifetime efficiency significantly increases with increasing milk yields ($p < 0.001$) and decreases with increasing age at first calving ($p < 0.001$). Milk yield is positively correlated ($p < 0.001$) with the proportion of maize silage in the basic ration. High milking herds with high mean lifetime efficiency are existent in both farming systems.

Keywords: performance and feeding parameters, greenhouse gas emissions, dairy cattle, conventional, organic

* Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau

Kontakt: hans.paulsen@ti.bund.de

Einleitung

In Deutschland macht der Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen von Treibhausgasen (THG) rund 8 % aus. Neben den Emissionen der landwirtschaftlichen Nutzung der Böden (Lachgas) stammt der größte Teil der THG-Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement (Lachgas, Methan) und aus der Verdauung der Nutztiere (Methan), insbesondere der Milchkühe (Umweltbundesamt, 2011; Haenel et al., 2012). Für die Verminderung der produktbezogenen THG-Emissionen in der Milchviehhaltung im Bereich des Managements gibt es vielfältige Ansatzpunkte. Die Leistungssteigerung wird hierbei als eine der bedeutendsten Maßnahmen angesehen, da für dieselbe Menge an produzierter Milch die Tierzahlen reduziert werden können (Zehetmeier et al., 2011). Allerdings darf eine Steigerung der Milchleistung nicht dazu führen, dass beispielsweise durch einen verstärkten Kraftfüttereinsatz die THG-Emissionen im Bereich zu stark zunehmen (Reenberg und Fenger, 2011; Casey und Holden, 2005). Auch können sich sehr hohe Milchleistungen negativ auf die Gesundheit der Tiere (Klug et al., 2002; Zollitsch, 2002) und bei schlechtem Management ungünstig auf die Fruchtbarkeit auswirken, weil der Konzeptionszeitpunkt der Kühe in die Hochlaktation fällt (Seeland und Henze, 2003). Dadurch abnehmende Leistung oder verlängerte Zwischenkalbezeiten haben Effekte auf die THG-Bilanz der Milchproduktion. Insgesamt wirkt sich eine gute Tiergesundheit auf Nutzungsdauer und Lebensleistung der Tiere positiv aus und führt so indirekt zu einer Verminderung der THG-Emissionen (Garnsworthy, 2004; Bell et al., 2011).

Weitere mögliche Maßnahmen zur Reduktion der THG-Emissionen liegen in der Veränderung der Futterzusammensetzung, so können die direkten Methan-Emissionen aus der Verdauung der Rinder beispielsweise durch eine erhöhte Verdaulichkeit des Grundfutters oder die Erhöhung des Fettanteils in der Ration in gewissen Grenzen vermindert werden (Boadi et al., 2002; Boadi et al., 2004; Flachowsky und Brade, 2007; Sejian et al., 2011). Auch kann die Nutzungsdauer der Kühe erhöht werden, um die produktbezogenen THG-Emissionen zu mindern, da sich die der Aufzuchtphase zuzuordnenden THG-Emissionen bei langer Nutzungsdauer auf entsprechend höhere Milchmengen verteilen. In einer Studie von Hörtenhuber und Zollitsch (2008) nahmen die THG pro kg Milch bei Steigerung der Nutzungsdauer von zwei auf drei Laktationen um 17 % ab.

Wirtschaftsdüngermanagement, Haltungssysteme und die Futtergewinnung sind weitere direkt mit der Milchviehhaltung verknüpfte Steuergrößen der THG-Emissionen. Unterscheidet sich die ökologische Milchviehhaltung generell von der konventionellen, könnte dies grundsätzliche Unterschiede in der THG-Bilanz der Betriebssysteme ausmachen.

Im Projekt „Klimawirkungen und Nachhaltigkeit von Landbausystemen – Untersuchung in einem Netzwerk von Pilotbetrieben“ werden die THG-Bilanzen für einzelne ökologische und konventionelle Betriebe in Deutschland auf der Basis von Betriebsdaten und Futteranalysen berechnet und mögliche Auswirkungen des betrieblichen Managements

analysiert (Kassow et al., 2010). Im Folgenden werden Daten zu ausgewählten Leistungs-, Haltungs- und Fütterungsparametern der Betriebssysteme zusammenfassend dargestellt.

Material und Methoden

Futterregime, Leistung und Management von 44 Milchviehbetrieben (jeweils 22 ökologische und konventionelle Betriebspaare, die nahe beieinander liegen und ähnliche Grundbedingungen aufweisen) wurden deutschlandweit über drei Jahre analysiert. Auf jedem dieser Betriebe wurden im Winter/Frühjahr 2009, 2010 und 2011 Proben aller Futtermittel gemäß den Vorgaben der VDLUFA gewonnen und die Hauptnährstoffe (Asche, Rohprotein, Rohfaser und Rohfett) mit der Weender-Futtermittelanalyse bestimmt. Die Nährstoffgehalte (ME, NEL und nXP) wurden berechnet (Einzelfuttermittel nach GfE, 2001; Mischfuttermittel nach Menke und Steingaß, 1987). Die Daten zu Leistung und Fütterungsregime wurden bei einem Betriebsbesuch zum Ende jedes Jahres erhoben. Zur Auswertung wurden Mittelwerte und Spannweiten der Daten bestimmt und die Mittelwerte mittels t-Test ($p < 0,05$) verglichen. Eventuelle Zusammenhänge zwischen den Datensätzen wurden mittels Regressionsanalyse ermittelt.

Ergebnisse

Eine Beschreibung der 22 untersuchten Betriebspaare anhand ausgewählter Kenngrößen findet sich in Tabelle 1.

Im Folgenden sind Zusammenhänge zwischen verschiedenen Leistungs- und Fütterungsparametern der Betriebe dargestellt.

Es ist kein gesicherter Zusammenhang zwischen Milchleistung und Nutzungsdauer zu erkennen (Abbildung 1 A). Die ökologisch wirtschaftenden Betriebe haben jedoch ein insgesamt niedrigeres Milchleistungsniveau (im Mittel 24 % geringer) als die konventionellen Betriebe; vgl. Tabelle 1). Die Nutzungsdauer, ermittelt nach durchschnittlichem Herdenalter, in den ökologisch wirtschaftenden Betrieben liegt mit einem Durchschnitt von 3,3 Jahren ein Jahr höher als die der konventionellen Betriebe (Tabelle 1).

Die Lebenseffektivität beschreibt die Leistung je Lebens-tag inklusive der Aufzuchtphase der Kuh (Eilers, 2010). In Abbildung 1 B wird deutlich, dass die Lebenseffektivität der Tiere in beiden Betriebssystemen positiv mit der Milchleistung korreliert ist ($p < 0,001$). Die Nutzungsdauer der Tiere wirkt sich in der Erhebung nicht messbar auf die Lebenseffektivität aus (Abbildung 1 C), während es aber einen negativen Zusammenhang zwischen Erstkalbealter und Lebenseffektivität gibt ($p < 0,001$, Abbildung 1 D). Hohe Lebenseffektivitäten bei den Tieren kommen in beiden Betriebssystemen vor. Die höchsten Werte des Erstkalbealters (Abbildung 1 D) und der Nutzungsdauer (Abbildung 1 C) sind in den ökologischen Betrieben zu finden.

Tabelle 1

Überblick über ausgewählte Kenngrößen der untersuchten ökologischen und konventionellen Milchviehbetriebe (Mittelwerte und Spannweiten (Min bis Max) der Wirtschaftsjahre 2009/2010/2011)

	n	ökologisch	n	konventionell
Anzahl Betriebe		22		22
Betriebsgröße (ha LF)	22	249/ 30-1299	22	312/ 35-1959
Grünlandanteil (%)	22	67/ 4-100	22	36/ 6-100
Herdengröße	22	71/ 18-257	22	113/ 26-450
Rasse		Holstein Schwarzbunt		12
		Holstein Rotbunt		1
		Fleckvieh	22	2
		Braunvieh		1
		Diverse*		6
Milchleistung (kg/(Kuh Jahr))	21	6478 ^b / 4307-9289	21	8571 ^a / 6130-10588
Milcheiweiß (%)	22	3,28 ^b / 3,03-3,66	22	3,42 ^a / 3,18-3,55
Milchfett (%)	22	4,06 ^a / 3,68-4,43	22	4,10 ^a / 3,38-4,39
Erstkalbealter (Monate)	19	31 ^a / 26-35	17	28 ^b / 25-33
Nutzungsdauer (Monate)	19	39 ^a / 25-59	16	27 ^b / 18-37
Zwischenkalbezeit (Tage)	21	409 ^a / 364-502	19	406 ^a / 365-433
Lebenseffektivität (kg/(Kuh d))	19	10,3 ^b / 6,1-14,8	17	12,0 ^a / 7,6-15,4
Haltungssystem Laktierende		Boxenlaufstall mit Spalten		11
		Boxenlaufstall planbefestigt	21	3
		Tiefstreuastall		7
		Anbindehaltung		1
		ganztags		8
Weidegang Sommer		halbtags	19	11
		ohne		0
			16	16
Tage mit Weidegang pro Jahr (d/a)	16	200	13	66
Weidestunden pro Jahr (h/d)	16	2510/ 1008-5856	13	774/ 0-3048
Kraftfutteranteil Laktierende (% TS)	21	16,2 ^b / 0-34,8	20	25,7 ^a / 9,1-35,7
Maissilageanteil im Grundfutter Laktierende (% TS)	21	10,9 ^b / 0-48,0	20	45,6 ^a / 0-70,5
NEL in Ration Laktierende (MJ NEL/(kg TS))	21	6,52 ^b / 5,02-7,27	20	6,81 ^a / 6,33-7,70
nXP-Gehalt in Ration Laktierende (g/(kg TS))	21	145,8 ^b / 112,3-179	20	150,4 ^a / 135-165,2
*Diverse: es handelt sich um Betriebe mit gemischten Herden (Holstein Schwarzbunt, Holstein Rotbunt, Fleckvieh, Braunvieh, Deutsches Schwarzbuntes Niederungsgrind, Braunvieh alte Zuchtichtung und Kreuzung Fleischrind Milchrind)				
^{a,b} Mittelwerte, die sich signifikant unterscheiden (t-Test, p < 0,05), sind mit unterschiedlichen Buchstaben bezeichnet				

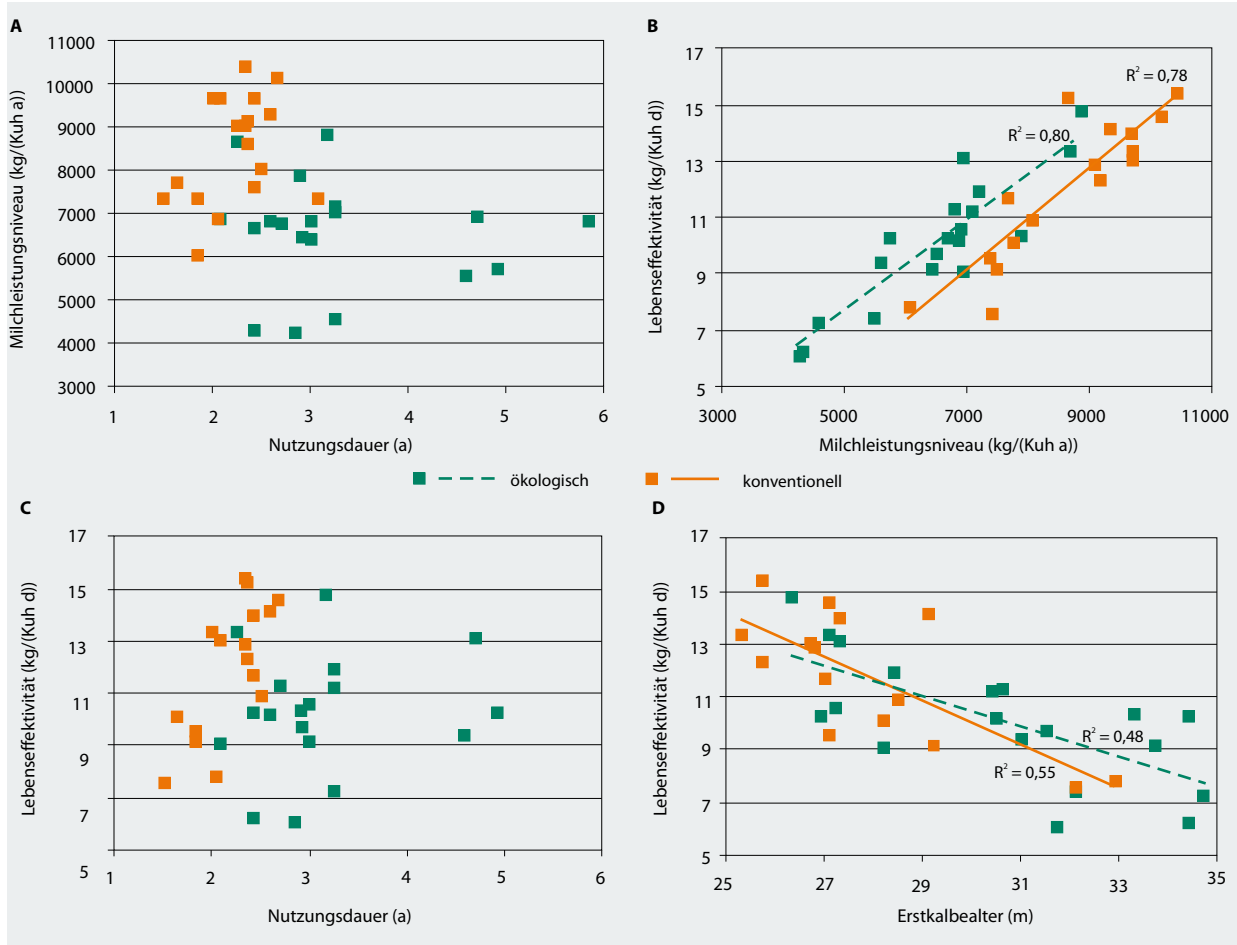


Abbildung 1

Zusammenhang von Milchleistung und Nutzungsdauer (A, n = 37), Lebensereffektivität und Milchleistung (B, n = 35), Lebensereffektivität und Nutzungsdauer (C, n = 34) und Lebensereffektivität und Erstkalbealter (D, n = 34) ökologischer und konventioneller Milchviehherden aus vier Regionen Deutschlands, Mittelwerte der Wirtschaftsjahre 2009, 2010, 2011

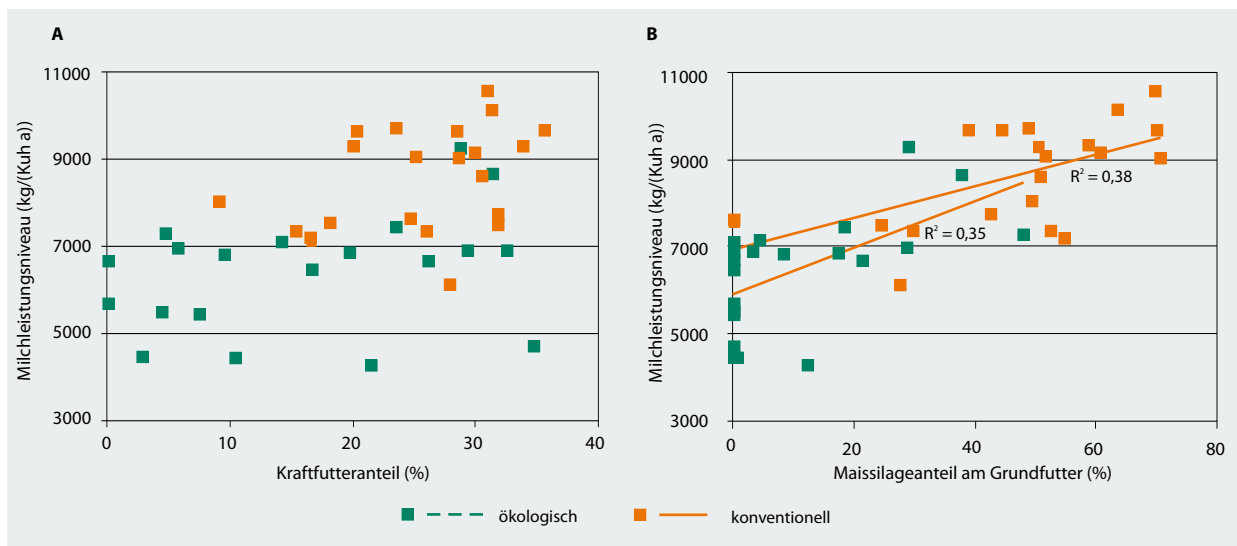


Abbildung 2

Zusammenhang von Milchleistung und dem Kraftfutteranteil (A, n = 33) und Milchleistung und dem Maissilageanteil am Grundfutter (B, n = 33) in der Ration ökologischer und konventioneller Milchviehherden aus vier Regionen Deutschlands, Mittelwerte der Wirtschaftsjahre 2009, 2010, 2011

In Tabelle 1 und Abbildung 2 A ist zu erkennen, dass der Kraftfutteranteil in den Rationen der ökologisch wirtschaftenden Betriebe im Durchschnitt deutlich unter dem der konventionell wirtschaftenden Betriebe liegt. Es konnte kein gesicherter Zusammenhang zwischen Milchleistung und Kraftfutteranteil in der Ration gefunden werden. Jedoch steigt die Milchleistung in beiden Bewirtschaftungssystemen mit zunehmendem Anteil an Maissilage im Grundfutter ($P < 0,001$, Abbildung 2 B).

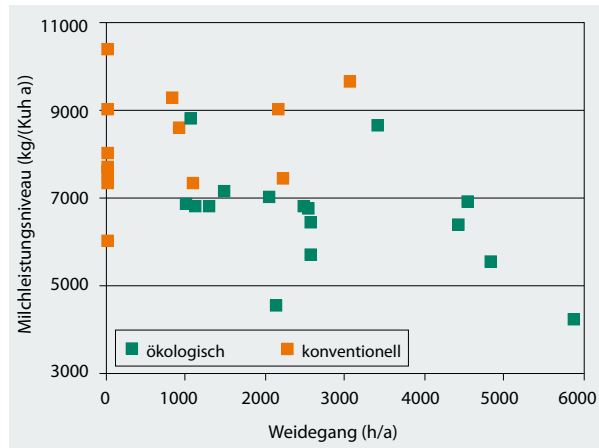


Abbildung 3

Zusammenhang von Milchleistung und Weidegang ökologischer und konventioneller Milchviehherden aus vier Regionen Deutschlands, Mittelwerte der Wirtschaftsjahre 2009, 2010, 2011 ($n = 29$)

Insgesamt haben die Tiere in den ökologisch wirtschaftenden Betrieben mehr Weidegang als die Tiere in konventionellen Betrieben (Tabelle 1). Auf 7 der 13 konventionellen Betriebe kommen die Kühe gar nicht auf die Weide. Es konnte kein Zusammenhang zwischen der Dauer des Weidegangs und der Milchleistung ermittelt werden (Abbildung 3).

Diskussion

In der aktuellen Studie liegt die durchschnittliche Milchleistung der ökologischen Betriebe im Mittel über alle drei Versuchsjahre mit 6478 kg/(Kuh a) deutlich unter denen der konventionellen Betriebe mit 8571 kg/(Kuh a). Aus zahlreichen anderen Studien (Wangler und Harms, 2006; Hirschfeld et al., 2008; Benbrook et al., 2010) sind ähnliche Ergebnisse bekannt. In einer neueren Studie von Brinkmann et al. (2011) wurde ein mittlerer Wert von 6224 kg/(Kuh a) für ökologische Herden ($n = 106$) gefunden.

Auch die höhere Nutzungsdauer der Tiere in ökologisch wirtschaftenden Betrieben entspricht den Ergebnissen anderer Studien (Wangler und Harms, 2006; Benbrook et al., 2010). Sie ist ein wichtiger wirtschaftlicher Indikator und auch ein Indikator für die Tiergerechtigkeit und -gesundheit (Klug et al., 2002). Für die THG-Emissionen bedeutet eine kurze Nutzungsdauer, dass die Emissionen aus der Aufzucht-

phase sich auf eine geringere Nutzungsdauer der Tiere verteilen, z. B. müssen Futtermittel, die ansonsten in der Milchproduktion eingesetzt werden könnten, an die Nachzucht verfüttert werden. Dies kann sich negativ auf die produktbezogenen THG-Emissionen auswirken (Bell et al., 2011). Jedoch müssen in diesem Zusammenhang auch die Auswirkungen verschiedener Allokationsverfahren zwischen Milch- und Fleischproduktion diskutiert werden (Zehetmeier et al., 2012), denn die Nachzucht der Milchtiere verlässt bei längerer Nutzungsdauer ggf. den Betrieb, und die THG-Emissionen aus der Aufzucht fallen anderswo an. Ein negativer Zusammenhang zwischen Nutzungsdauer und jährlicher Milchleistung, wie ihn Klug et al. (2002) und Wangler und Harms (2006) in ihren Studien gefunden haben, konnte mit der eigenen Studie wie auch mit anderen Untersuchungen (Fürst und Fürst-Waltl, 2006) nicht belegt werden.

Die Lebens effektivität steigt in der vorliegenden Studie mit zunehmender Milchleistung und sinkendem Erstkalbealter an (Abbildung 1). Die Lebens effektivität der Herden auf den konventionellen Betrieben ist trotz der geringeren Nutzungsdauer der Tiere höher als die der ökologischen Betriebe. Jedoch finden sich auch ökologische Betriebe, deren Herde eine hohe Lebens effektivität (> 13 kg/(Tier d)) bei durchaus unterschiedlichen und auch hohen Nutzungsdauern aufweist (zwischen 2,2 und 4,8 Jahren). Gemeinsam sind den drei Betrieben ein Erstkalbealter von < 28 Monaten (Abbildung 1).

In einer Studie von Gruber et al. (2004) sind Ergebnisse vieler Fütterungsversuche zusammengetragen worden, und es wurde für Versuche mit insgesamt 70766 Versuchstieren ein durchschnittlicher Kraftfutteranteil in der Ration von 25,6 % gefunden. Der durchschnittliche Kraftfutteranteil der konventionellen Betriebe in der aktuellen Studie bewegt sich bei 25,7 %, während der Anteil in den ökologischen Betrieben mit 16,2 % deutlich niedriger ist (Tabelle 1).

Gruber (2007) sowie Steinwidder und Gruber (2002) fanden in ihren Studien im Gegensatz zu den Daten der vorliegenden Erhebung einen Zusammenhang zwischen dem Kraftfutteranteil in der Ration und der Milchleistung. Auch wenn sich eine solche Leistungssteigerung in Bezug auf die THG-Emissionen positiv auswirken kann, ist ein hoher Kraftfuttereinsatz im Hinblick auf den Klimaschutz auch kritisch zu sehen, wenn das Kraftfutter nicht auf dem landwirtschaftlichen Betrieb erzeugt sondern zugekauft wird und in der Vorkette der Kraftfuttermittelherstellung hohe THG-Emissionen entstehen (Rahmann et al., 2008; Gerber et al., 2010).

In 71 % der ökologischen Betriebe der vorliegenden Studie wurde Maissilage in der Fütterung eingesetzt. Rauch und Spiekers (2010) fanden in ihrer deutschlandweiten Studie einen mehr als doppelt so hohen Maissilageanteil im Grundfutter ökologisch wirtschaftender Betriebe von 27 % ($n = 48$) als in der vorliegenden Studie (10,9 %, $n = 21$). Gruber et al. (2004) fanden auf konventionellen Betrieben im Grundfutter einen durchschnittlichen Maissilageanteil von 30,2 %, während der Anteil bei den untersuchten konventionellen Betrieben in der eigenen Studie mit 45,6 % höher liegt. Mit zunehmendem Anteil an Maissilage im Grundfutter steigt auch die Milchleistung an.

Die ermittelten Unterschiede in der Rationsgestaltung zwischen den Betriebssystemen machen deutlich, dass für eine sachgerechte Bewertung der THG-Emissionen der Milchviehhaltung, auch die THG-Emissionen der Futtererzeugung berücksichtigt werden müssen (Schils et al., 2005; Stewart et al., 2009; Kristensen et al., 2011).

Während für die ökologischen Milchviehbetriebe laut EG-Öko-Verordnung Weidegang vorgeschrieben und gängig ist (EU-Kommission, 2007; Molkentin, 2006), und auch in dieser Studie deutlich höhere Weidezeiten in den ökologischen Betrieben gefunden wurden (Tabelle 1), lassen immer weniger konventionelle Betriebe ihre Tiere auf die Weide (Spiekers, 2008). Gründe hierfür sind beispielsweise stärker begrenzte Weidefutteraufnahme im Gegensatz zur reinen Stallhaltung, stärkere Stoffwechselbelastungen und Probleme mit Trittschäden auf den Weiden (Steinwigger und Starz, 2006). Allerdings kann die Weidewirtschaft neben den Vorteilen für eine tiergerechte Haltung der Stallfütterung und damit verbundener Schnittnutzung der Futterflächen auch ökologisch durchaus überlegen sein, da so geringere Emissionen für die Futtergewinnung anfallen. Dies bedarf genauer einzelbetrieblicher Analysen. Dass bei steigendem Einsatz von Weidefutter eher mit sinkender Milchleistung zu rechnen ist (Kohnen und Schellberg, 2009) konnte in dieser Studie (Abbildung 3) und auch bei einer Praxisstudie von Leisen et al. (2009) nicht bestätigt werden.

Es zeigt sich, dass in den Werten der verschiedenen Leistungs-, Herden- und Fütterungsparametern eine große Bandbreite besteht und es bei den Bewirtschaftungssystemen Überlappungsbereiche gibt. Bei Betrachtung der Mittelwerte der Parameter gibt es jedoch generelle Unterschiede zwischen den ökologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben. Zu nennen sind hier: Unterschiede in der Milchleistung, der Nutzungsdauer, dem Erstkalbealter, der Lebensdauer, dem Kraftfutteranteil und dem Maissilageanteil am Grundfutter (Tabelle 1). Die Parameter, die die THG-Emissionen der Milchviehhaltung beeinflussen können, hängen damit maßgeblich vom einzelbetrieblichen Management und nicht nur vom Bewirtschaftungssystem ab. Mit der Studie sind belastbare Wertepaare aus ökologischen und konventionellen Betrieben in Deutschland dargestellt.

Danksagung

Das Projekt wurde durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (OLOE160 und OLOE353) sowie mit Sondermitteln zur nationalen Klimaberichterstattung des Johann Heinrich von Thünen-Instituts gefördert. Projektpartner waren der Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme der Technischen Universität München, das Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, das Institut für Organischen Landbau der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, das Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und die Bioland-Beratung GmbH.

Literatur

- Bell MJ, Wall E, Russell G, Simm G, Scott AW (2011) The effect of improving cow productivity, fertility, and longevity on the global warming potential of dairy systems. *J Dairy Sci* 94:3662-3678
- Benbrook C, Carman C, Clark EA, Daley C, Fulwider W, Hansen M, Leifert C, Martens K, Paine L, Petkewitz L, Jodarski G, Thicke F, Velez J, Wegner G (2010) A dairy farm's footprint : evaluating the impacts of conventional and organic farming systems [online]. Zu finden in <http://www.organic-center.org/reportfiles/COEFFinal_Nov_2.pdf> [zitiert am 30.10.2012]
- Boadi DA, Wittenberg KM, McCaughey WP (2002) Effects of grain supplementation on methane production of grazing steers using the sulphur (SF6) tracer gas technique. *Can J Anim Sci* 82:151-157
- Boadi DA, Wittenberg KM, Scott SL, Burton D, Buckley K, Small JA, Ominski KH (2004) Effect of low and high forage diet on enteric and manure pack greenhouse gas emissions from a feedlot. *Can J Anim Sci* 84:445-453
- Brinkmann J, March S, Barth K, Becker M, Drerup C, Isselstein J, Klocke D, Krömker V, Mersch F, Müller J, Rauch P, Schumacher U, Spiekers H, Tichter A, Volling O, Weiler M, Weiß M, Winckler C (2011) Status quo der Tiergesundheitssituation in der ökologischen Milchviehhaltung in Deutschland : Ergebnisse einer repräsentativen bundesweiten Felderhebung. In: Leithold G, Becker K, Brock C, Fischinger S, Spiegel A-K, Spory K, Wilbois KP, Williges U (eds) Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau : Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis. Berlin: Köster, pp 161-169
- Casey J-W, Holden N-M (2005) Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. *Agric Syst* 86:97-114
- Eilers U (2010) Lebensdauer : ein neuer Maßstab für Nachhaltigkeit in der Milchherzeugung. *Landinfo* (4):3-6
- EU-Kommission (2007) Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 [online]. Zu finden in ><http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2007R0834:20081010:DE:PDF>> [zitiert am 05.12.2012]
- Flachowsky G, Brade W (2007) Potentiale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern. *Züchtungskunde* 76(6):417-465
- Fürst C, Fürst-Waltl B (2006) Züchterische Aspekte zu Kalbeverlauf, Totgeburtenrate und Nutzungsdauer in der Milchviehzucht. *Züchtungskunde* 78(5):365-383
- Garnsworthy PC (2004) The environmental impact of fertility in dairy cows : a modelling approach to predict methane and ammonia emissions. *Anim Feed Sci Technol* 112(1-4):211-223
- Gerber P, Vellinga T, Opio C, Henderson B, Steinfeld H (2010) Greenhouse gas emissions from the dairy sector : a life cycle assessment [online]. Zu finden in <<http://www.fao.org/docrep/012/k7930e/k7930e00.pdf>> [zitiert am 05.11.2012]
- GfE-Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2001) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder 2001. Frankfurt a M : DLG-Verl, 136 p, Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere 8
- Gruber L, Schwarz FJ, Erdin D, Fischer B, Spiekers H, Steingaß H, Meyer U, Chassot A, Jilk T, Obermaier A, Guggenberger T (2004) Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen. In: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung : Tagungsunterlage ; Beiträge der Veranstaltung vom 24. und 25.03.2004 in Fulda. Bonn : Verband Landwirtschaftskammern, pp 86-103
- Gruber L (2007) Einfluss des Kraftfutters auf Futteraufnahme und Milchleistung von Kühen [online]. Zu finden in <<http://www.kgzs-ms.si/slike/ZED07/08Gruber.pdf>> [zitiert am 30.10.2012]
- Haenel H-D, Rösemann C, Dämmgen U, Poddey E, Freibauer A, Döhler H, Eulich-Menden B, Wulf S, Dieterle M, Osterburg B (2012) Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990-2010. *Landbauforsch SH* 356:1-181
- Hirschfeld J, Weiß J, Preidl M, Korbun T (2008) Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland. Berlin : IÖW, 187 p, SchrR IÖW 186
- Hörtenhuber S, Zollitsch W (2008) Treibhausgas von der Weide : welche Vorteile bringt die Öko-Rinderhaltung? *Ökologie Landbau* 145:23-25

- Kassow A, Blank B, Paulsen HM, Aulrich K, Rahmann G (2010) Studies on greenhouse gas emissions in organic and conventional dairy farms. *Landbauforsch SH* 335:65-75
- Klug F, Rebeck F, Wangler A (2002) Die Nutzungsdauer beim weiblichen Milchrind : Teil 1. *Großtierpraxis* 3:12:5-12
- Kohnen H, Schellberg J (2009) Futterkosten, Milchleistungskurven und Fruchtbarkeit von hochleistenden Milchkühen mit Weidegang. *SchrR Bayer Landesanst Landwirtsch* 8:81-85
- Kristensen T, Mogensen L, Trydeman Knudsen M, Hermansen JE (2011) Effect of production system and farming strategy on greenhouse gas emissions from commercial dairy farms in a life cycle approach. *Livestock Sci* 140:136-148
- Leisen E, Pries M, Heimberg P, Vormann M (2009) Kraftfuttermittelgaben und Milchleistung bei Weidegang von Milchviehherden im Ökologischen Landbau. In: Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau : Werte - Wege - Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel ; Bd. 2: Tierhaltung, Agrarpolitik und Betriebswirtschaft, Märkte und Lebensmittel. Berlin: Köster, pp 82-85
- Menke K-H, Steingäß H (1987) Schätzung des energetischen Futterwertes aus der in vitro mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse : 2.: Regressionsgleichungen. *Übers Tierernähr* 15:59-94
- Molkentin J (2006) Untersuchungen zur analytischen Unterscheidung ökologisch und konventionell erzeugter Milch. *Landbauforsch Völknerode SH* 298:91-100
- Rahmann G, Aulrich K, Barth K, Böhm H, Koopmann R, Oppermann R, Paulsen HM, Weißmann F (2008) Klimarelevanz des Ökologische Landbaus - Stand des Wissens. *Landbauforsch* 58(1/2):71-89
- Rauch P, Spiekers H (2010) Einsatz von Maisprodukten als Futtermittel in Ökobilbetrieben. *SchrR Bayer Landesanst Landwirtsch* 6:13-17
- Reenberg A, Fenger N-A (2011) Globalizing land use transitions : the soybean acceleration. *Geogr T København* 111(1):85-92
- Schils RLM, Verhagen A, Aartasi HFM, Sebek LBJ (2005) A farm level approach to define successful mitigation strategies for GHG emissions from ruminant livestock systems. *Nutr Cycl Agroecosystems* 71:163-175
- Seeland G, Henze C (2003) Beziehungen zwischen Milchleistung und Fruchtbarkeit in einer Schwarzbuntpopulation nach intensiver Steigerung der Milchleistung. *Arch Tierzucht* 46:103-112
- Sejian V, Lakritz J, Ezeji T, Lal R (2011) Forage and flax seed impact on enteric methane emission in dairy cows. *Res J Vet Sci* 4:1-8
- Spiekers H (2008) Ansprüche der Milchviehhaltung an das Grundfutter vom Grünland [online]. Zu finden in <http://www.lfttest.bayern.de/ipz/gruenland/31542/dt_by_gl_tag_2008_spiekers.pdf> [zitiert am 30.10.2012]
- Steinwüdder A, Gruber L (2002) Leistungsgrenzen der Milchkuh im Biolandbau sowie bei konventioneller Haltung [online]. Zu finden in <<http://cgi.zar.at/download/seminar02.pdf>> [zitiert am 04.12.2012]
- Steinwüdder A, Starz W (2006) Sind unsere Kühe für die Weide noch geeignet? In: Geßl R (ed) 13. Freiland-Tagung Freilandhaltung: Perspektive für die Zukunft? : Kurzfassungen der Vorträge an der Veterinärmedizinischen Universität Wien, 28. September 2006. Wien : Freiland-Verl, pp 37-43
- Stewart AA, Little SM, Ominski KH, Wittenberg KM, Janzen HH (2009) Evaluating greenhouse gas mitigation practices in livestock systems : an illustration of a whole-farm approach. *J Agric Sci* 147:367-382
- Umweltbundesamt (2011) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2011 : nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2009. [online]. Zu finden in <<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4126.pdf>> [zitiert am 04.12.2012]
- Wangler A, Harms J (2006) Verlängerung der Nutzungsdauer der Milchkühe durch eine gute Tiergesundheit bei gleichzeitig hoher Lebensleistung zur Erhöhung der Effizienz des Tiereinsatzes [online]. Zu finden in >http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Betriebswirtschaft/Archiv_Verfahrensoekonomie/_Dateien/fo_Lebensleistung.pdf< [zitiert am 04.12.2012]
- Zehetmeier M, Gandorfer M, Heißenhuber A (2011) Diskussion der Leistungssteigerung in der Milchviehhaltung als mögliche Strategie zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. *ÖGA-Tagung* 21:7-8
- Zehetmeier M, Baudracco J, Hoffmann H, Heißenhuber A (2012) Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? A system approach. *Animal* 6(1):154-166
- Zollitsch W (2002) Leistungsgrenzen bei Nutztieren – was ist möglich? [online]. Zu finden in <<http://cgi.zar.at/download/seminar02.pdf>> [zitiert am 04.12.2012]

Zusammensetzung, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe in Deutschland und die Bedeutung für die Treibhausgasemissionen

Hans Marten Paulsen*, Britta Blank*, Dagmar Schaub*, Karen Aulrich* und Gerold Rahmann*

Zusammenfassung

Auf 22 Paaren ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe in Deutschland wurden über einen Zeitraum von drei Jahren Daten zu Anfall, Lagerbedingungen, Ausbringung und Qualität der Wirtschaftsdünger erhoben. Aus den Analysewerten und den Lagerbedingungen wurden die Emissionen an CH_4 , N_2O und NH_3 und deren direktes bzw. indirektes Klimaerwärmungspotential errechnet. Reine Festmistssysteme lagen nur auf zwei ökologischen Betrieben vor, reine Flüssigmistssysteme nur auf sechs konventionellen Betrieben. Die ermittelten Spannbreiten bei Trockensubstanz, organischer Substanz und Nährstoffgehalten der Wirtschaftsdünger waren in beiden Bewirtschaftungsformen sehr groß. Korrespondierend zu den gefundenen geringen $\text{NH}_4\text{-N}$ und Gesamt-N-Konzentrationen ergaben sich bei Flüssigmist ökologischer Betriebe niedrigere N_2O - und NH_3 -Emissionen und auch bei Festmist niedrigere mittlere NH_3 -Emissionen und daraus folgend niedrigere Treibhausgasemissionen. Abzusichernde mittlere Unterschiede bei den potentiellen CH_4 -Emissionen wurden zwischen ökologischen und konventionellen Betrieben nicht gefunden. Auch das gesamte mittlere Klimaerwärmungspotential aus der Wirtschaftsdüngerlagerung unterschied sich zwischen den ökologischen und konventionellen Betrieben nicht. Bei Festmistlagerung ergab sich über beide Bewirtschaftungsformen ein mittlerer Wert von $31,4 \pm 5,2 \text{ kg t}^{-1} \text{ CO}_2\text{-Äquivalente}$ (Spannweite: ökologische Betriebe: 25 bis 48, konventionelle Betriebe 22 bis 37) und bei Flüssigmistlagerung von $32,2 \pm 18,3 \text{ kg t}^{-1} \text{ CO}_2\text{-Äquivalente}$ (Spannweite: ökologische Betriebe: 2 bis 60, konventionelle Betriebe: 4 bis 69), jeweils bezogen auf Frischmasse. Das einzelbetriebliche Management ist für die Wirtschaftsdüngerqualität sowie die THG-Emissionen aus deren Lagerung und mögliche Minderungsmaßnahmen maßgeblich.

Schlüsselworte: *Wirtschaftsdünger, Nährstoffgehalte, Treibhausgase, Milchvieh, konventionell, ökologisch*

Abstract

Composition, storage and application of farmyard manure in organic and conventional German dairy farms and consequences for the green house gas emissions

On 22 pairs of organic and conventional dairy farms in Germany amount, storage, use and quality data of livestock manure were determined over three years. The emissions of CH_4 , N_2O and NH_3 and the associated global warming potential were calculated based on manure composition and storage conditions for each farm. Only two organic farms exclusively had solid manures, six conventional farms had only liquid manure. The ranges of dry matter, organic matter and nutrient contents in the manures were wide in both farming systems. Corresponding to the lower $\text{NH}_4\text{-N}$ and total-N concentrations found in manures of organic farms lower N_2O and NH_3 -emissions from storage of liquid manures, lower mean NH_3 -emissions from storage of solid manures as well as their associated greenhouse gas emissions were calculated. Significant mean differences of the CH_4 -emission-potential of manures between organic and conventional farms were not found. Also the mean total global warming potentials of manure storage were not different between the farming systems. Over both systems storage of solid manure had a global warming potential of $31.4 \pm 5.2 \text{ kg t}^{-1} \text{ CO}_2\text{-equivalents}$ (ranges: organic farms 25 to 48, conventional farms 22 to 37) and storage of liquid manure of $32.2 \pm 18.3 \text{ kg t}^{-1} \text{ CO}_2\text{-equivalents}$ (ranges: organic farms: 2 to 60, conventional farms: 4 to 69), referred to the fresh matter content. Farm individual management determines the quality of livestock manures and the green house gas emissions from their storage as well as the choice of adequate mitigation strategies.

Keywords: *livestock manure, nutrient content, greenhouse gases, dairy cattle, conventional, organic*

* Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau

Kontakt: hans.paulsen@ti.bund.de

Einleitung

Die Landwirtschaft in Deutschland trägt durch die Fermentation bei der Verdauung der Nutztiere, das Wirtschaftsdüngermanagement und die Emissionen aus Stickstoff(N)-Einträgen in Böden etwa 8 % zur Gesamtemission von Treibhausgasen (THG) in Deutschland bei (Umweltbundesamt, 2011). 55 % des mit den gesamten Methan(CH₄)-Emissionen in Deutschland verbundenen Klimaerwärmungspotentials stammt aus der Landwirtschaft und davon ca. die Hälfte aus der Verdauung der Milchkühe (Freibauer et al., 2011). Ungefähr 9 % der mit den CH₄-Emissionen und ca. 3 % der mit den direkten Lachgas (N₂O)-Emissionen verbundenen Klimawirkung aus der Landwirtschaft (gesamt: 73,9 Mio t a⁻¹ CO₂-Äquivalente) stammen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement in Stall und Lager (8,73 Mio t a⁻¹ CO₂-Äquivalente) (Rösemann et al., 2011). Wirtschaftsdünger emittieren bei der Lagerung CO₂, CH₄, N₂O als direkt wirksame THG. Die CO₂-Emissionen aus dieser Quelle werden in Klimabilanzen jedoch meist nicht berücksichtigt, da der von den Tieren umgesetzte Kohlenstoff zuvor über die Photosynthese gebunden wurde (IPCC, 2006). Durch die N-Zufuhr mit Wirtschaftsdüngern entstehen direkte THG-Emissionen aus Böden in Form von N₂O. Weiterhin entsteht der größte Anteil der landwirtschaftlichen Ammoniak (NH₃)-Emissionen bei der Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung. Emittiertes NH₃ verursacht über die N-Einträge in Böden und nachfolgende N₂O-Emissionen indirekte THG-Wirkungen (Gillenwater et al., 2006). Durch gezielte Änderungen im Wirtschaftsdüngermanagement von Milchviehbetrieben z. B. durch verlustarme Lagerung und Applikationstechniken (Hansen et al., 2003, Wulf et al., 2003) und gezielteren Einsatz der enthaltenen Nährstoffe im Ackerbau (van der Meer, 2008) können Emissionen vermieden und so die THG-Bilanz verbessert werden.

Im Rahmen des Verbundprojekts „Klimawirkungen und Nachhaltigkeit von Landbausystemen“ wurden Wirtschaftsdünger und Wirtschaftsdüngermanagement auf ökologischen und konventionellen Betrieben näher charakterisiert (Kassow et al., 2010). Im Folgenden wird anhand der erhobenen Daten aufgezeigt, ob sich Nährstoffgehalte, Lagerungsbedingungen oder Ausbringungstechniken in ökologischen und konventionellen Betrieben grundsätzlich unterscheiden. Weiterhin wird die Bedeutung der Unterschiede in Wirtschaftsdüngerform, -zusammensetzung und -lagerung für die THG-Emissionen betrachtet. Zur Berechnung werden Verfahren der Emissionsberichterstattung in Deutschland angewandt (Haenel et al., 2012). Es wird dargestellt, welche Bandbreite die THG-Emissionen aus direkten CH₄- und direkten und indirekten N₂O-Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung auf den untersuchten Betrieben haben.

Material und Methoden

Es wurden auf 44 Milchviehbetrieben (22 ökologische und konventionelle Betriebspaare) in vier verschiedenen Regionen Deutschlands über drei Jahre Wirtschaftsdüngerproben genommen und Bewirtschaftungsdaten erhoben. Sechs Be-

triebspaare lagen im Tertiärhügelland Bayerns sowie im Allgäu, fünf Betriebspaare an Standorten der Nord- und Ostseeküstenregionen, vier Betriebspaare im mitteldeutschen Trockengebiet, in der Altmark und im Spreewald und sieben Betriebspaare in der Niederrheinischen Bucht und im Mittelgebirge (Kassow et al., 2010). Alle Flüssigmist- und Stallmistlager dieser Pilotbetriebe wurden jeweils im Winter/Frühjahr 2009, 2010 und 2011 getrennt beprobt und das Wirtschaftsdüngermanagement im Betriebsleiterinterview erhoben. Je Betrieb waren durchschnittlich zwei verschiedene Wirtschaftsdüngerlager verfügbar. Bei Festmist wurden aus jeder repräsentativen Schicht des Lagers mindestens drei Teilproben von ca. 1 kg entnommen und daraus eine Mischprobe hergestellt. Somit wurden die Schichten als gleicher Massenanteil berücksichtigt. Bei Flüssigmist wurden nach Homogenisierung im Lagerbehälter an mindestens fünf Stellen des Behälters Teilproben von ca. 0,75 l entnommen und eine Mischprobe hergestellt, bzw. alternativ die Proben direkt bei der Ausbringung gewonnen. Es wurden also Mischproben aus Wirtschaftsdünger unterschiedlicher Lagerdauer von jedem Lagerplatz analysiert. Eine durchgängige wiederkehrende Beprobung über die jährliche Lagerzeit wurde nicht vorgenommen, vorangegangene Lagerverluste an C und N damit nicht berücksichtigt. Die Proben wurden sofort gekühlt und bis zur Analyse eingefroren. Die Flüssigmist- und Festmistproben wurden nach Vorgaben der VDLUFA (1995) auf Trockensubstanz (TS), organische Substanz (OS), pH, Kohlenstoff (C), Stickstoff (N), Ammoniumstickstoff (NH₄-N), Phosphor (P) und Kalium (K) analysiert.

Für die Kalkulation der mit den CH₄, N₂O und NH₃-Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung verbundenen direkten bzw. indirekten Klimawirkung wurden die Mittelwerte der TS, OS, N und NH₄-N-Gehalte der Wirtschaftsdüngerarten (Festmist, Flüssigmist) aller Jahre auf den Betrieben herangezogen. Da der von den Betrieben als Jauche ausgewiesene Flüssigmist oft vergleichbare oder niedrigere TS und NH₄-N-Gehalte hatte als Proben aus Güllelagern anderer Betriebe, wurden die Gülle- und Jaucheproben zusammengefasst, gemeinsam verrechnet und werden im Folgenden durchgängig als Flüssigmist bezeichnet.

Die THG-Emissionen wurden mit den Emissionsfaktoren, die in der deutschen THG-Berichterstattung Anwendung finden, bestimmt (Haenel et al., 2012). Das Klimaerwärmungspotential (GWP₁₀₀) von CH₄ bzw. N₂O wurde dabei mit 25 bzw. 298 CO₂-Äquivalenten angenommen (IPCC, 2007). Die CH₄-Emissionen wurden aus den OS-Gehalten durch die maximale CH₄-Freisetzungskapazität (0,24 m³ CH₄ pro kg OS) und Methan-Umwandlungsfaktoren (MCF) errechnet, (IPCC, 2006). Für Flüssigmist wurde für die Berechnung einheitlich ein MCF von 18 %, für Festmist ein MCF von 2 % angenommen. Die direkten N₂O-Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung wurden aus den gesamten gemessenen N-Mengen abgeschätzt. Für Gülle mit Schwimmdecke und für Festmistlager gilt dabei der gleiche Emissionsfaktor für N₂O-N von 0,005 kg kg⁻¹ N, für Güllelagerung unter den Spalten ein Faktor von 0,002 kg kg⁻¹ N (IPCC, 2006). Die NH₃-Emissionen wurden anhand der gesamten ammoniakalischen N-Menge (TAN) ermittelt (Haenel et al., 2012). TAN wurde dabei

mit den gemessenen NH₄-N-Gehalten gleichgesetzt. Für die NH₃-N Emissionen wurden Emissionsfaktoren von 0,045 kg kg⁻¹ N für offene Gülletanks mit Schwimmdecke und für Gülle unter Spalten, von 0,015 kg kg⁻¹ N für Güllelagerung in geschlossenen Behältern und von 0,60 kg kg⁻¹ N für Festmist (jeweils bezogen auf die TAN-Gehalte) angenommen (Haenel et al., 2012). Die mit der NH₃-Emission aus dem Wirtschaftsdünger-Management verbundene indirekte Klimawirkung wurde dann mit einem CO₂-Äquivalent von 3,86 kg kg⁻¹ NH₃ hochgerechnet. Dabei wurde für die N₂O-N-Emission aus der N-Deposition mit NH₃ ein Emissionsfaktor von 0,01 kg kg⁻¹ angenommen (IPCC, 1996). Die Mittelwerte und Spannbreiten der gemessenen und berechneten Daten werden im Folgenden dargestellt und die Mittelwerte der konventionellen und ökologischen Betriebe mittels t-Test verglichen (JMP 8.0, 2008).

Ergebnisse

Auf sechs der konventionell bewirtschafteten Betriebe fiel kein Festmist an, und zwei der ökologisch wirtschaftenden Betriebe produzierten nur Festmist und keinen Flüssigmist. Die Milchkühe werden auf den untersuchten Betrieben überwiegend in Boxenlaufställen gehalten (Tabelle 1).

Tabelle 1
Überblick über die Aufstallungssysteme der untersuchten Milchviehbetriebe (Anzahl Betriebe)

		n	ökolo- gisch	konven- tionell
Milchvieh	Boxenlaufstall mit Spalten	11	11	
	Boxenlaufstall planbefestigt	44	3	7
	Tiefstreustall		7	1
	Anbindestall		1	3
Jungvieh > 1 Jahr	Boxenlaufstall mit Spalten		5	12
	Boxenlaufstall planbefestigt	40	2	3
	Tiefstreustall		7	3
	Tretmiststall		5	3
Jungvieh < 1 Jahr	Boxenlaufstall mit Spalten		1	9
	Boxenlaufstall planbefestigt	42	3	3
	Tiefstreustall		11	8
	Tretmiststall		5	2

Eine Übersicht über Parameter der Wirtschaftsdüngerlagerung der 44 untersuchten Pilotbetriebe findet sich in Tabelle 2. Da die Hälfte der Pilotbetriebe mehr als ein Flüssigmistlager haben, sind die Lager bei der Beschreibung zum Teil mehrfach aufgeführt und die Summen in den Teilbereichen dann größer als die Gesamtzahl der Betriebe.

Tabelle 2
Überblick über Parameter der Wirtschaftsdüngerlagerung der untersuchten Milchviehbetriebe (Anzahl Betriebe)

		ökolo- gisch	konven- tionell	
Festmist	Gesamt	22	15	
	Behandlung	Ohne	19	14
		Kompostierung	2	0
		Biogasanlage	1	1
	Zusätze	Ohne	16	13
		Steinmehl	3	1
		Kalk	1	1
		bio-dyn. Präparate	2	0
	Lagerungsart	offene Mistplatte	16	12
		abgedeckte Mistplatte	2	0
		Stall	1	1
		Feld	3	2
Lagerdauer	< 30 d	2	0	
	< 90 d	9	2	
	> 90 d	11	13	
Flüssigmist	Gesamt	20	22	
	Behandlung	Ohne	25	32
		Biogasanlage	2	2
	Lagerungsart	offener Rundbehälter	15	20
		geschlossener Rundbehälter	4	2
		unter Spaltenboden	6	8
		Güllegrube (geschlossen)	2	4
	Lagerdauer	< 30 d	0	1
		< 90 d	5	2
		> 90 d	22	31
	durchschnittliches Lagervolumen (m ³)		749	1245
	Jauche		5	1

Bei der Flüssigmistausbringung arbeiten die meisten Betriebe mit Breitverteilung, lediglich vier der untersuchten konventionellen Betriebe nutzen Schleppschläuche. Der Hauptteil der Flüssigdünger wird nicht in den Boden eingearbeitet, da sie auf das Grünland oder in den Bestand ausgebracht werden. Bei Einarbeitungszeiten gibt es zwischen den Betrieben und auch innerhalb der Betriebe Unterschiede, die zwischen einer und im Einzelfall bis zu 48 Stunden nach Ausbringung variieren.

Tabelle 3

Trockensubstanz, organische Substanz, Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte von Fest- und Flüssigmist ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe in Deutschland, Mittelwerte und Spannweiten (Wirtschaftsjahre 2008/09, 2009/10, 2010/11)

	n	TS %	OS	NH ₄ -N	N	P	K	C	C/N
					g kg ⁻¹ (bezogen auf TS)				
Festmist öko	64	27,7 ^a	752 ^b	3 ^b	19,7 ^a	4,7 ^a	21,9 ^a	510 ^b	27,3 ^a
		18 - 96	366 - 995	0,1 - 10	8,2 - 33	1,1 - 8,2	5,7 - 39	300 - 592	14 - 68
Festmist konv	40	26 ^a	829 ^a	3,9 ^a	19,7 ^a	4,6 ^a	18,5 ^b	542 ^a	28,6 ^a
		14 - 45	242 - 922	0,1 - 9,6	10 - 34	1,4 - 11	2,2 - 27	213 - 603	15 - 49
Flüssigmist öko	46	5,2 ^A	702 ^B	28 ^B	56 ^A	8,4 ^A	60 ^A	502 ^A	11,8 ^B
		0,2 - 12	645 - 831	7 - 124	13 - 422	2,6 - 29	10 - 216	324 - 582	1 - 32
Flüssigmist konv	47	5,7 ^A	741 ^A	43 ^A	71 ^A	9,4 ^A	59 ^A	511 ^A	9,4 ^A
		0,3 - 11	578 - 842	13 - 189	27 - 371	4,7 - 21	17 - 176	300 - 508	1 - 20

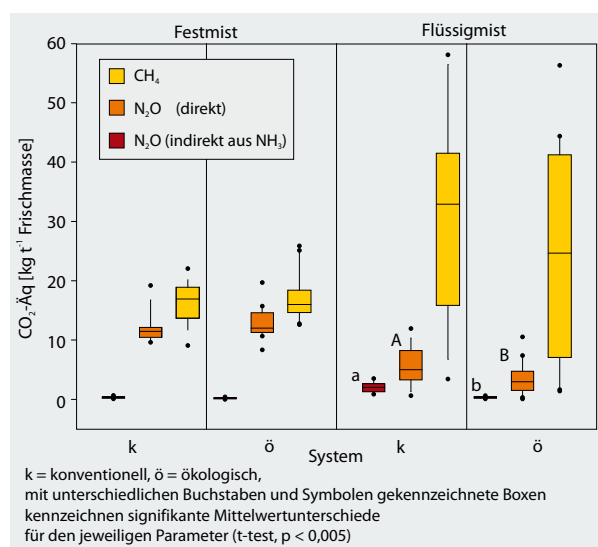
C = Kohlenstoff, K = Kalium, n = Anzahl, N = Stickstoff, NH₄ = Ammonium, OS = organische Substanz (Glühverlust), P = Phosphor, TS = Trockensubstanz

^{a,b,A,B} für den Vergleich der Mittelwerte des Festmistes wurden Kleinbuchstaben genutzt, für den der Gülle Großbuchstaben. Mittelwerte, die sich signifikant unterscheiden (t-test, p < 0,05), sind mit unterschiedlichen Buchstaben bezeichnet

Die Ergebnisse der Wirtschaftsdüngeranalysen sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Beim Systemvergleich der analysierten Parameter im Wirtschaftsdünger ergaben sich bei den ökologischen Betrieben niedrigere mittlere NH₄-N-Gehalte und höhere C/N-Verhältnisse bei Flüssigmist und signifikant niedrigere NH₄-N, OS- und C-Gehalte bei Festmist. Sowohl bei den ökologischen als auch den konventionellen Betrieben sind die Spannweiten der Nährstoffgehalte jedoch sehr groß. Bei den Berechnungen zu den potentiellen THG-Emissionen ergaben sich unter Berücksichtigung der N- und TAN-Gehalte der Wirtschaftsdünger sowie der Lagerungsbedingungen auf den ökologischen Betrieben signifikant geringere Potentiale für eine Klimaerwärmung durch indirekte und direkte N₂O-Emissionen (Abbildung 1). Bei der errechneten potentiellen Klimawirkung durch die CH₄-Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung (Abbildung 1) sowie der Summe der Klimawirkungen der drei Gase (Tabelle 4) ergaben sich keine signifikanten mittleren Unterschiede zwischen ökologischen und konventionellen Betrieben. Für die Flüssigmistlagerung wurde ein mittleres Klimaerwärmungspotential von 31, für die Lagerung von Festmist von 32 kg CO₂-Äq. t⁻¹, jeweils bezogen auf Frischmasse über beide Bewirtschaftungssysteme errechnet. Verglichen mit in anderen Studien gemessenen Emissionswerten für Gülle (Amon et al., 2006) und Festmist (Amon et al., 2001) liegen diese Werte im ähnlichen Bereich (Tabelle 4). Die Spannweite der errechneten potentiellen THG-Emissionen aus der Festmist- bzw. Flüssigmistlagerung liegt bei 25 bis 48 bzw. 2 bis 60 kg CO₂-Äq. t⁻¹ bei den ökologischen und bei 22 bis 37 bzw. 4 bis 67 kg CO₂-Äq. t⁻¹ bei konventionellen Betrieben, jeweils bezogen auf Frischmasse (Tabelle 4). Die THG-Emissionen bei der Flüssigmistlagerung entstehen überwiegend aus CH₄, bei der Festmistlagerung

zu größeren Anteilen auch aus direkten N₂O-Emissionen (Abbildung 1). Wurden die potentiellen THG-Emissionen auf die Trockenmasse der Wirtschaftsdünger bezogen, ergaben sich keine Systemunterschiede. Der große Anteil an CH₄ am gesamten Klimaerwärmungspotential erklärt die zum Teil sehr niedrigen auftretenden Gesamtemissionswerte beim Flüssigmist, da auch Jauche bzw. Flüssigmist mit sehr niedrigen TS-Gehalten in die Berechnung einbezogen wurden.

**Abbildung 1**

Treibhausgasemissionen der Lagerung von Wirtschaftsdüngern getrennt nach konventionellen und ökologischen Milchviehbetrieben, errechnet aus mittleren Stoffgehalten und Lagerungsbedingungen

Tabelle 4

Mittlere errechnete Treibhausgasemissionen aus der Lagerung von Flüssig- und Festmist in CO₂-Äquivalenten* aller Betriebe, verglichen mit Messwerten nach Amon et al. (2006) und Amon et al. (2001); Mittelwerte, Standardabweichung, Spannweite

	untersuchte Betriebe		(Amon et al., 2001)	(Amon et al., 2006)
	Festmist	Flüssigmist	Festmist	Gülle
	[kg t ⁻¹] bezogen auf Frischmasse		[kg m ⁻³]	
N ₂ O (indirekt aus NH ₃)	2,27 ± 1,1	0,25 ± 0,15	0,18 - 2,6	0,04 - 0,2
N ₂ O (direkt)	12,4 ± 2,5	6,4 ± 3,8	8,9 - 21	2,7 - 12,6
CH ₄	16,7 ± 3,4	27,5 ± 16,5	5 - 48	33,6 - 122,6
Gesamt	31,4 ± 5,2	32,2 ± 18,3	14 - 39	37 - 116
konventionell, gesamt (n = 18 bzw. 16)**	30,8 ± 4,3 ^a (22 - 37) [^]	36,5 ± 18,4 ^A (4-67) [^]	-	-
ökologisch, gesamt (n = jew. 20)**	31,9 ± 5,9 ^a (25 - 48) [^]	28,3 ± 17,7 ^A (2-60) [^]	-	-

*Klimaerwärmungspotential, GWP₁₀₀ [kg CO₂-Äq pro kg N₂O, CH₄ oder NH₃]: N₂O = 298, CH₄ = 25 (IPCC 2007), N₂O (indirekt) = 3,86*NH₃;
 **errechnet aus Mittelwerten der Stoffgehalte der Wirtschaftsdünger der Beprobungen aus 2009 bis 2011
^abzw. ^AWerte zwischen konventionell und ökologisch unterscheiden sich nicht (t-test, p < 0,05); [^]Spannweiten

Diskussion und Schlussfolgerungen

Unterschiede in der Zusammensetzung der Wirtschaftsdünger zwischen ökologischen und konventionellen Betrieben

Aufgrund der Begrenzung von Spaltenanteilen in den Ställen und traditionell höherer Gewichtung der Stallmistwirtschaft im Ökologischen Landbau konnte in diesem Betriebssystem ein höherer Anteil fester Wirtschaftsdünger erwartet werden (Rahmann et al., 2004). Erwartungsgemäß traf dies für die Pilotbetriebe zu. Boxenlaufställe sind auch in den ökologischen Betrieben die vorherrschende Aufstallungsform für die Milchtiere (Tabelle 1). Dies entspricht auch Ergebnissen einer weiteren bundesweiten Studie zur ökologischen Milchproduktion (Brinkmann et al., 2011).

Erwartungsgemäß sind die gefundenen Spannweiten der TS und der Nährstoffe von Fest- und Flüssigmist aus ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung sehr groß (Tabelle 3). Die Mittelwerte liegen aber im selben Wertebereich wie die für die Umsetzung der Düngeverordnung (2006) publizierten Werte in den Bundesländern (z.B. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 2009) für die Nährstoffgehalte konventioneller Wirtschaftsdünger. Die Spannweiten umfassen auch die in anderen Studien gefundenen Werte für Wirtschaftsdünger auf ökologischen Betrieben (Meyer et al., 2011; Paulsen et al., 2011; Shepherd et al., 2002). In der Studie von Shepherd et al. (2002) wurden in englischen Betrieben niedrigere mittlere N- und P-Gehalte in ökologischer Gülle als in konventioneller Gülle gefunden. Dieser Befund konnte in der vorliegenden Studie nicht statistisch abgesichert werden. Jedoch können Unterschiede in den N- und P-Gehalten von Wirtschaftsdüngern ökologischer und konventioneller Betriebe darauf zurückzuführen sein, dass

sich im Wirtschaftsdüngerkreislauf konventioneller Betriebe mehr zugekaufte Nährstoffe befinden, die aus Mineraldüngung des betriebseigenen Futters und Futtermittelimporten stammen (Reenberg und Fenger, 2011). Die höheren zirkulierenden N-Mengen in konventionellen Betrieben, bergen dann auch die Gefahr höherer klimawirksamer N-Emissionen aus Böden und Wirtschaftsdüngern (Olesen et al., 2006). Die gefundenen Unterschiede zwischen den Betriebsformen im NH₄-N, OS-Gehalt und C/N Verhältnis bei Festmist und Flüssigmist müssen einzelbetrieblich erklärt werden und werden hier nicht weiter verfolgt.

THG-Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement

THG-Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung können durch betriebliche Maßnahmen verringert werden. Grundsätzlich emittiert aus Güllelagern neben NH₃ überwiegend CH₄. Hohe Temperaturen und anaerobe Bedingungen fördern dabei die CH₄-Ausgasung. Bei Festmist treten daneben auch in größerem Umfang N₂O-Emissionen im Lager auf (Sneath et al., 2006; Clemens und Ahlgrimm, 2001; Kebreab et al., 2006, Chadwick, 2005). Dies zeigen auch die durchgeführten Berechnungen (Tabelle 4). Häufige Entnahme der Wirtschaftsdünger aus den Ställen, abgedeckte Flüssigmistlager, Biogas-Produktion und angepasste Applikationstechniken können die THG- und NH₃-Emissionen in der Regel deutlich reduzieren (Weiske et al., 2006, Amon et al., 2006, Webb et al. 2004, Novak und Fiorelli, 2010). Bei der hier angewandten Berechnungsmethode für die THG-Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung wurden zum Beispiel die möglichen Effekte der Abdeckung nur grob, durch die angepassten Emissionsfaktoren für NH₃ und N₂O, und die der Entnahme-

frequenzen der Wirtschaftsdünger gar nicht erfasst. Auswirkungen eines optimierten Managements oder der Einführung von Biogasanlagen wurden in dieser Studie nicht untersucht.

Eine Festmistkompostierung wurde nur auf zwei der untersuchten ökologischen Betriebe durchgeführt (Tabelle 1). Kompostierung fördert NH_3 -Verluste, senkt jedoch die CH_4 - und N_2O -Ausgasung (Amon et al., 2001; Shepherd et al., 2000). Grundsätzlich können auch durch Jaucheabtrennung NH_3 -Verluste bei der Lagerung von Festmist vermieden werden, ebenso wie später bei der Ausbringung, durch das relativ zügige Einsickern der flüssigen Jauche in den Boden. Im deutschen Emissionsinventar wird für Jauche bei der Ausbringung daher mit $0,20 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$ ein geringerer Emissionsfaktor verwendet als für Gülle ($0,50 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$) oder Stallmist ($0,90 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$) (Döhler et al., 2002). Getrennte Sammlungen von NH_4 -reichem Harn und Sickersäften in Jauchegruben wurden allerdings nur bei fünf der untersuchten ökologischen Betriebe und bei einem konventionellen Betrieb gefunden (Tabelle 2). Wie erwähnt wurden Jauche und Gülle für die durchgeführten Berechnungen aufgrund verschimmender Grenzen im TS-Gehalt zusammengefasst und als Flüssigmist behandelt. Die konkreten Auswirkungen der Jaucheabtrennung wurden daher nicht gesondert bewertet. Ein starker einzelbetrieblicher Einfluss auf das Emissionsgeschehen ist auch bei der Wirtschaftsdüngerausbringung durch die gefundenen unterschiedlichen Ausbringungstechniken und Einarbeitungszeiten zu erwarten. Bei der nationalen Treibhausgasberichterstattung werden z. B. spezifische NH_3 -Emissionsfaktoren für verschiedene Applikationsverfahren und Einarbeitungszeiten der Wirtschaftsdünger vorgegeben, um die gasförmigen N-Emissionen abzuschätzen (Döhler et al., 2002, Chadwick et al., 2011). Die N_2O -Emissionen ergeben sich dann aus dem N-Eintrag in die Böden. Jedoch sind hier zusätzlich auch Tagestemperaturen bei der Ausbringung von entscheidender Bedeutung für die gasförmigen Verluste und könnten bei der Optimierung der Verfahren innerbetrieblich berücksichtigt werden (Novak und Fiorelli, 2010).

Die errechnete Spannweite der OS-Gehalte von 753 und $264 \text{ g kg}^{-1} \text{ TS}$ für Stallmist bzw. Flüssigmist (Tabelle 3) und die daraus resultierenden CH_4 -Emissionen (Abbildung 1) zeigen erneut die hohe Bedeutung der Wirtschaftsdüngerzusammensetzung im Einzelbetrieb. Durch die ermittelten geringeren mittleren N-Gehalte im Flüssigmist ökologischer Betriebe, ergaben sich beim gewählten Rechenansatz in diesem Betriebssystem bei der Lagerung von Flüssigmist im Mittel auch signifikant geringere N_2O -Emissionen (Abbildung 1). Die Spannweite der N-Gehalte beträgt in der Erhebung $25,8 \text{ g kg}^{-1} \text{ TS}$ für Festmist und $409 \text{ g kg}^{-1} \text{ TS}$ für Flüssigmist. Die indirekte Klimawirkung durch N_2O aus NH_3 -Emissionen war aufgrund der geringeren TAN-Gehalte von Stallmist und Flüssigmist in den ökologischen Betrieben ebenfalls geringer. Für die Lagerung ist der verwendete Emissionsfaktor für NH_3 -N für Festmist mit 0,6 um Faktor 13 bzw. 40 höher als bei der Lagerung von Gülle mit Schwimmdecke bzw. Lagerung unter den Spalten. So erklären sich auch die deutlich höheren indirekten THG-Emissionen über NH_3 aus Festmist gegenüber Flüssigmist (Tabelle 4) trotz der deutlich höheren mitt-

leren NH_3 -N Gehalte des untersuchten Flüssigmists (Tabelle 3). Die indirekte Klimawirkung von N_2O aus den NH_3 -Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung ist allerdings nach den durchgeführten Berechnungen gegenüber den Klimawirkungen von CH_4 und der direkten N_2O -Emissionen zu vernachlässigen (Tabelle 4). Die niedrigeren direkten N_2O -Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung der ökologischen Betriebe (Abbildung 1) sind auf die geringeren Gehalte an Gesamt-N zurückzuführen (Tabelle 3). Bei den Ergebnissen ist zu beachten, dass für die Emissionsfaktoren beim Wirtschaftsdüngermanagement Unsicherheitsbereiche angegeben werden, z.B. für $\text{CH}_4 \pm 20 \%$, für die direkten N_2O -Emissionen -50 bis $+100 \%$ und für den Emissionsfaktor für N_2O -N nach atmosphärischer NH_3 -N Deposition auf Böden ± 20 bis 50% (IPCC, 2006). Die Ergebnisse der Berechnungen basieren aber auf gleicher Methodik und sind damit vergleichbar. Sie entsprechen Messwerten aus der Literatur (Tabelle 4). Die absolute Höhe der THG-Emissionen ist jedoch von technischen, standortbezogenen und klimatischen Faktoren abhängig

Schlussfolgerungen

Anhand der auf den ökologischen und konventionellen Milchviehbetrieben erhobenen Daten zu Zusammensetzung, Lagerung und Ausbringungstechniken von Wirtschaftsdüngern wurde deutlich, dass die Qualität des Wirtschaftsdüngers sowie auch die mit der Lagerung und Ausbringung verbundenen THG-Emissionen sich auf den Betriebssystemen nicht grundsätzlich unterscheiden und betriebsindividuell sind. Jedoch ist auf den ökologischen Betrieben Festmistwirtschaft verbreiteter. Der überwiegende Anteil der THG-Last bei der Lagerung der Wirtschaftsdünger ist durch CH_4 -Emissionen bedingt. Bei Festmist sind direkte N_2O -Emissionen jedoch nahezu gleichbedeutend. Die indirekte THG-Wirkung aus den NH_3 -Emissionen der Wirtschaftsdünger durch nachfolgende N_2O -Emissionen aus Böden ist nur sehr gering. Die Bedeutung der Wirtschaftsdüngerlagerung für die THG-Bilanz von landwirtschaftlichen Betrieben und mögliche Emissionsminderungsmaßnahmen müssen für jeden Betrieb einzeln analysiert werden. Ziel muss es sein, aus Berechnungen, wie sie hier für die Wirtschaftsdüngerlagerung aufgezeigt wurden, Emissionsschwerpunkte der Einzelbetriebe im Detail zu identifizieren. Die Bedeutung der THG-Emissionen aus dieser Quelle muss dann in die gesamte THG- und Umweltbilanz von Betrieben eingeordnet werden, um umwelt- und kosteneffiziente Minderungsmaßnahmen an der richtigen Stelle des Betriebssystems einzuführen.

Danksagung

Das Projekt wurde durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (06OE160 und 06OE353) sowie mit Sondermitteln des BMELV für die nationale Klimaberichterstattung des Thünen-Instituts gefördert. Projektpartner waren der Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzen-

bausysteme der Technischen Universität München, das Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, das Institut für Organischen Landbau der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, das Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und die Bioland-Beratung GmbH.

Literatur

- Amon B, Amon T, Boxberger J, Alt C (2001) Emissions of NH_3 , N_2O and CH_4 from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutr Cycl Agroecosystems* 60(1-3):103-113
- Amon B, Kryvoruchko V, Amon T, Zechmeister-Boltenstern S (2006) Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agric Ecosyst Environ*. 112(2-3):153-162
- Brinkmann J, March S, Barth K, Becker M, Drerup C, Isselstein J, Klocke D, Krömker V, Mersch F, Müller J, Rauch P, Schumacher U, Spiekens H, Tichter A, Volling O, Weiler M, Weiß M, Winckler C (2011) Status quo der Tiergesundheitssituation in der ökologischen Milchviehhaltung in Deutschland : Ergebnisse einer repräsentativen bundesweiten Felderhebung. In: Leithold G, Becker K, Brock C, Fischinger S, Spiegel A-K, Spory K, Wilbois KP, Williges U (eds) Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau : Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis. Berlin: Köster, pp 162-269
- Chadwick D-R (2005) Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps : effect of compaction and covering. *Atmos Environ* 39(4):787-799
- Chadwick D-R, Sommer S-G, Thorman R, Fangueiro D, Cardenas L, Amon B, Misselbrook T (2011) Manure management : implications for greenhouse gas emissions. *Anim Feed Sci Technol* 166-67:514-531
- Clemens J, Ahlgrimm H-J (2001) Greenhouse gases from animal husbandry : mitigation options *Nutr Cycl Agroecosystems* 60:287-300
- 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 Minderungszenarien bis zum Jahr 2010. Berlin : Umweltbundesamt, 307 p, Texte / Umweltbundesamt 02/05
- Düngerverordnung (2006) Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist [online]. Zu finden in <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/d_v/gesamt.pdf> [zitiert am 06.12.2012]
- Freibauer A, Dämmgen U, Döhler H, Eurich-Menden B, Haenel H-D, Osterburg B, Rösemann C, Wulf S (2011) Treibhausgasemissionen der Tierhaltung. *KTBL-Schr* 491:113-121
- Gillenwater M, Saarinen K, Ajavon A-N (2006) Precursors and indirect emissions. In: IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories : vol.1, chapter 7 [online]. Zu finden in <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_7_Ch7_Precursors_Indirect.pdf> [zitiert am 06.12.2012]
- Haenel H-D, Rösemann C, Dämmgen U, Poddey E, Freibauer A, Döhler H, Eurich-Menden B, Wulf S, Dieterle M, Osterburg B (2012) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990-2010 : report on methods and data (RMD) submission 2012. Braunschweig: vTI, 394 p, *Landbauforsch SH* 356
- Hansen M-N, Sommer S-G, Madsen N-P (2003) Reduction of ammonia emission by shallow slurry injection : injection efficiency and additional energy demand. *J Environ Qual* 32:1099-1104
- IPCC (1996) Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories : vol. 3: Reference manual [online]. Zu finden in <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6c.html>> [zitiert am 06.12.2012]
- IPCC (2006) IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories : vol. 4: Agriculture, forestry and other land use [online]. Zu finden in <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>> [zitiert am 06.12.2012]
- IPCC (2007) Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2007. Cambridge : Cambridge Univ Pr
- JMP 8.0 (2008) JMP® Statistical Discovery Software. Cary NC : SAS Inst
- Kassow A, Blank B, Paulsen HM, Aulrich K, Rahmann G (2010) Studies on greenhouse gas emissions in organic and conventional dairy farms. *Landbauforsch SH* 335:65-76
- Kebreab E, Clark K, Wagner-Riddle C, France J (2006) Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture : a review. *Can J Anim Sci* 86(2):135-158
- Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (2009) Richtwerte für die Düngung. Kiel : Landwirtschaftskammer
- Meyer D, Dittrich B, Köhler B, Kolbe H (2011) Nähr- und Schadstoffgehalte von Wirtschaftsdüngern des ökologischen Landbaus in Sachsen. *Schr Landesamtes Umwelt Landwirtsch Geologie Sachsen* 6:16-32
- Novak S-M, Fiorelli J-L (2010) Greenhouse gases and ammonia emissions from organic mixed crop-dairy systems : a critical review of mitigation options. *Agron Sustain Dev* 30(2):215-236
- Olesen J-E, Schelde K, Weiske A, Weisbjerg M-R, Asmana WAH, Djurhuus (2006) Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. *Agric Ecosyst Environ* 112(2-3):207-220
- Paulsen HM, Kratz S, Schnug E (2011) Nährstoffgehalte ökologischer Wirtschaftsdünger. In: Leithold G, Becker K, Brock C, Fischinger S, Spiegel A-K, Spory K, Wilbois KP, Williges U (eds) Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau : Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis ; Band 1: Boden – Pflanze – Umwelt, Lebensmittel und Produktqualität. Berlin : Köster, pp 199-202
- Rahmann G, Nieberg H, Drengemann S, Fenneker A, March S, Zurek U (2004) Bundesweite Erhebung und Analyse der verbreiteten Produktionsverfahren, der realisierten Vermarktungswege und der wirtschaftlichen sowie sozialen Lage ökologisch wirtschaftender Betriebe und Aufbau eines bundesweiten Praxis-Forschungs-Netztes. Braunschweig : FAL, 274, 108 p, *Landbauforsch Völknerode SH* 276
- Reenberg A, Fenger N-A (2011) Globalizing land use transitions : the soybean acceleration. *Geogr T Kobnhavn* 111(1):85-92
- Rösemann, C, Haenel H-D, Poddey E, Dämmgen U, Döhler H, Eurich-Menden B, Laubach P, Dieterle M, Osterburg B (2011) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990-2009. *Braunschweig: vTI*, 402 p, *Landbauforsch SH* 342
- Shepherd M, Philipps L, Bhogal A (2000) Manure management on organic farms: to compost or not to compost? In: Alföldi T, Lockeretz W, Niggli U (eds) IFOAM 2000 : the world grows organic ; proceedings 13th International IFOAM Scientific Conference, 28 to 31 August 2000, Convention Center Basel, pp 50-53
- Shepherd M, Philipps L, Jackson L, Bhogal A (2002) The nutrient content of cattle manures from organic holdings in England. *Biol Agric Hort* 20(3):229-242
- Sneath R-W, Beline F, Hilhorst M-A, Peu P (2006) Monitoring GHG from manure stores on organic and conventional dairy farms. *Agric Ecosyst Environ* 112(2-3):122-128
- Umweltbundesamt (2011) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2011 : nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2009. [online]. Zu finden in <<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/fpdf-1/4126.pdf>> [zitiert am 04.12.2012]
- van der Meer H-G (2008) Optimising manure management for GHG outcomes 186. *Aust J Exp Agric* 48(1-2):38-45
- VDLUF (1995) Methodenbuch : Band 2: Die Untersuchung von Düngemitteln. Darmstadt : VDLUF-Verl, Ergänzungslief 1-4
- Webb J, Chadwick D, Ellis S (2004) Emissions of ammonia and nitrous oxide following incorporation into the soil of farmyard manures stored at different densities. *Nutr Cycl Agroecosystems* 70(1):67-76

- Wegener J, Lücke W, Heinzemann J (2006) Potentieller Beitrag der Landwirtschaft zur Verminderung der Treibhausgasemissionen in Deutschland. *Agrarwirtsch* 55(4):196-203
- Weiske A, Vabitsch A, Olesen J-E, Schelde K, Michel J, Friedrich R, Kaltschmitt M (2006) Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming. *Agric Ecosyst Environ* 112(2-3):221-232
- Wulf S, Vandré R, Clemens J (2003) Mitigation options for CH₄, N₂O and NH₃ emissions from slurry management. In: van Ham J, Baede A-P-M, Guichert R, Williams-Jacobse JGFM (eds) Non-CO₂ greenhouse gases : scientific understanding, control options and policy aspects : proceedings of the third International Symposium, Maastricht, the Netherlands, 21-23 January 2002. Rotterdam : Millpress, pp 363-369

Methane emissions from enteric fermentation as well as nitrogen and volatile solids excretions of German calves – a national approach

Ulrich Dämmgen*, Ulrich Meyer**, Claus Rösemann*, Hans-Dieter Haenel*, and Nicholas J. Hutchings***

Abstract

Enteric methane emission rates and (renal and faecal) nitrogen and volatile solids excretion rates were calculated using a procedure that reflects the development of the calves' rumen as well as German national animal performance data and representative diet properties.

Standard calves have a birth weight of 41 kg animal⁻¹, a final weight of 125 kg animal⁻¹ and a mean weight gain of 0.67 kg animal⁻¹ d⁻¹.

The emission rate of 9.4 kg methane per place and year and the methane conversion rate of 41 kJ MJ⁻¹ exceed those derived from expert judgements currently applied (4.4 kg place⁻¹ a⁻¹ and 20 kJ MJ⁻¹, respectively). These differences are caused by different weights and weight gains. The newly derived methane emissions and methane conversion rates fall below those obtained from the application of IPCC Tier 2 procedures.

Nitrogen excretion rates amount to about 19 kg place⁻¹ a⁻¹. The share of renally excreted nitrogen is 0.64 kg kg⁻¹ rather than 0.60 kg kg⁻¹ provided in the UNECE guidebook.

It is common practice to quantify volatile solids release rates according to IPCC guidance documents. However, this procedure had been shown to be inadequate. The results obtained in this work (144 kg place⁻¹ a⁻¹) fall below those assessed with the IPCC methodology (about 500 kg place⁻¹ a⁻¹).

Keywords: calves, enteric fermentation, nitrogen, volatile solids, excretion, model

Zusammenfassung

Methan-Emissionen aus der Verdauung sowie Stickstoff- und "volatile solids" – Ausscheidungen von deutschen Kälbern – ein nationaler Ansatz

Die Emissionsraten von Methan aus der Verdauung, die Ausscheidungsrate von (renalem und fäkalem) Stickstoff und von „volatile solids“ von Kälbern werden unter Berücksichtigung der Entwicklung des Kälberpensens sowie deutscher nationaler Leistungsdaten und repräsentativer Futtereigenschaften berechnet.

Standard-Kälber haben ein Geburtsgewicht von 41 kg, ein Endgewicht von 125 kg und eine mittlere Gewichtszunahme von 0,67 kg pro Tier und Tag.

Die Emissionsraten von 9,4 kg Methan pro Tierplatz und Jahr und eine Umwandlungsrate von 41 kJ MJ⁻¹ übersteigen die bisher verwendeten Raten (4,4 kg Tierplatz⁻¹ a⁻¹) bzw. Methan-Umwandlungsrate (bisher 20 kJ MJ⁻¹). Die Unterschiede sind auf unterschiedliche Gewichte und Gewichtszunahmen zurückzuführen. Die jetzt berechneten Methan-Emissionen und -Umwandlungsrate sind kleiner als die, die sich aus der Anwendung von IPCC Tier-2-Verfahren ergeben.

Die berechneten Stickstoff-Ausscheidungen belaufen sich auf etwa 19 kg pro Platz und Jahr. Der Anteil an renal ausgeschiedenem N von 0,64 kg kg⁻¹ ist höher als der im UNECE-Guidebook angegebene Wert von 0,60 kg kg⁻¹.

Es ist üblich, die Ausscheidung von „volatile solids“ nach den Regeln des IPCC-Regelwerks zu berechnen. Das Verfahren ist jedoch unangemessen. Die in dieser Arbeit aus dem Futter berechneten Mengen (144 kg pro Platz und Jahr) liegen unter den Mengen, die sich bei Anwendung der IPCC-Methode ergäben (etwa 500 kg pro Platz und Jahr).

Schlüsselwörter: Kälber, Verdauung, Stickstoff, volatile solids, Modell

* Johann Heinrich von Thünen Institute, Institute of Climate-Smart Agriculture, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Germany

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

*** Aarhus University, Dept. of Agroecology, PO Box 50, Research Centre Foulum, 8830 Tjele, Denmark

Contact: ulrich.daemmgen@daemmgen.de

1 Introduction

Methane (CH₄) from enteric fermentation in cattle contributes significantly to greenhouse gas emissions. International conventions aim at a reduction of these emissions. A first step is the adequate recording and reporting of these emissions. In order to ensure compatibility and comparability in international programmes, the United Nations Convention on Climate Change (IPCC) recommend the use of methodologies set down in the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 1996, 2000, 2006)¹. For emissions from enteric fermentation, the recommended procedure relates the CH₄ emission rate to the gross energy (*GE*) intake rate, using a methane conversion rate (*MCR*). A detailed procedure to derive *GE* intake rates and *MCR* default values are provided in the Guidelines. For Western Europe the use of an *MCR* of 60 and 65 kJ MJ⁻¹ (or 6.0 and 6.5 %) is recommended in the 1996 and 2006 versions of the Guidelines, respectively. The application of default *MCR* explicitly includes “dairy cows and their young”. Although it is evident that *MCR* is a function of feed composition, poorer feed leading to higher *MCR* (see IPCC, 2006, pg. 10.30, comments on calves and feedlot cattle). However, no procedure to derive *MCR* reflecting this relation is explicitly recommended. For calves in particular, the fact that there is a delay after birth before ruminating becomes established is not taken into account.

This paper aims primarily at a derivation of a mean national CH₄ emission rate (emission factor) and an *MCR* for German standard calves up to a weight of 125 kg animal⁻¹. As the methodology used for these calculations presupposes the knowledge of the amounts of feed and of the feed ingredients’ properties, the calculations are extended to derive consistent data for nitrogen (N) and volatile solids (*VS*) excretion rates.

2 Background

In emission inventories, animal subcategories are formed by populations receiving the same type of feed. In German animal production, it is usual to feed male and female calves up to a weight of 125 kg the same feeds. The respective time span lasts for about 18 weeks (or 125 days). The weight at birth is here taken to be 41 kg animal⁻¹, the resulting average weight gain to be 0.67 kg animal⁻¹ d⁻¹. Typical mean requirements for metabolizable energy (*ME*) during this time span are 21 to 24 MJ animal⁻¹ d⁻¹. This data is in line with Stamer et al. (2004), DLG (1999) and KTBL (2010, pg 554).

As detailed data on the variation in time and region of weights and weight gains cannot be obtained, the calf described above serves as a **standard calf** in this work. Hence, the diet composition used to characterize energy and feed intake is a mean composition and does not reflect individual feeding situations.

The procedure to derive German national data describing the release of methane from enteric fermentation as well as of renal and faecal nitrogen (N) and volatile solids (*VS*) will comprise the following steps:

- assessment of calves’ energy and nutrient requirements
- establishing diet composition and feed intake rates to meet these requirements
- listing feed properties needed
- calculating the respective release rates of methane
- calculating the excretion rates of N and *VS*

3 Feed requirements and intake rates

3.1 Metabolizable energy and nutrient requirements

Feed intake rates are governed by animal weights and weight gains and the resulting energy requirements. Germany uses the *ME* (metabolizable energy) system for the assessment of energy requirements of calves and for energetic feed evaluation. In Germany, official recommendations were provided in GfE (1997) and GfE (1999) to assess feeds satisfying the *ME* and nutrient requirements.

In the following, feed intake rates and diet compositions appropriate for German agriculture are used to calculate weekly *ME* intake rates. These are then compared to recommended intake rates that cover the span of a calf’s life.

In addition the assessment of annual *ME* requirements presupposes the knowledge of animal rounds, i.e. the number of animals produced per place and year.

3.2 Feed intake rates and diet compositions

Feed intake rates and diet composition vary with the age of the animal. Examples can be derived from textbooks. Table 94 in Weiß et al. (2005) (similar in Meyer, 2005, and Teepler, 2007), supplemented with information from Kirchgeßner et al. (2008) formed the basis for the presumed diet in this paper. Typical weekly diet compositions are listed in Table 1.²

According to Kirchgeßner et al. (2008), hay should be of the best available quality, “tender” and “first cut”. This standard textbook in animal nutrition also lists typical concentrate compositions in calf feed (Table 2). An arithmetic mean composition of the four examples given in Kirchgeßner et al. (2008) was calculated and used in the subsequent calculations.

¹ For cattle, the information provided in IPCC (2000) does not deviate from IPCC (1996).

² Table 1 does not cover milk replacer. However, as milk replacer is used to substitute milk, the (known) properties and amounts of the milk fed are used instead.

Table 1

Amounts of milk, concentrates and hay fed to calves used in the calculations

week	colostrum	cows' milk	concentrates	hay	silage
kg animal ⁻¹ d ⁻¹					
1	4.8	5			
2		6	0.2	0.1	
3		6	0.3	0.1	
4		6	0.4	0.1	
5		6	0.5	0.1	
6		6	0.7	0.1	
7		5	0.8	0.3	
8		5	0.9	0.5	
9		4.5	1.0	0.5	
10		4	1.2	0.6	
11		3.5	1.3	0.6	
12		2	1.4	0.5	0.5
13			1.5	0.5	1
14			1.5	0.5	1.5
15			1.5		2.5
16			1.5		3.5
17			1.6		4.5
18			1.6		5.5
kg animal ⁻¹ round ⁻¹					
total	approx. 35	approx. 400	approx. 125	approx. 30	approx. 130

Table 2

Example concentrate compositions (Kirchgeßner et al., 2008)

diet constituent	I	II	III	IV	mean	unit
linseed expeller	0.20	0.12	0.10	0.00	0.105	kg kg ⁻¹
oat	0.10	0.00	0.00	0.18	0.070	kg kg ⁻¹
barley	0.20	0.00	0.29	0.20	0.173	kg kg ⁻¹
wheat	0.25	0.30	0.23	0.00	0.195	kg kg ⁻¹
maize	0.00	0.30	0.00	0.20	0.125	kg kg ⁻¹
wheat bran	0.09	0.08	0.00	0.00	0.043	kg kg ⁻¹
sugar beet pulp	0.00	0.00	0.13	0.08	0.053	kg kg ⁻¹
soya bean extraction meal	0.13	0.17	0.10	0.17	0.143	kg kg ⁻¹
rape seed extraction meal	0.00	0.00	0.12	0.14	0.065	kg kg ⁻¹
mineral feed	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	kg kg ⁻¹

3.3 Energy and relevant nutrient contents of feed ingredients

CH₄ emissions for fully ruminating animals are modelled using an approach suggested by Kirchgeßner et al. (1995) (for selection criteria see Dämmgen et al., 2012). The feed properties needed to calculate these emission rates, i.e. dry matter, crude fibre, N-free extracts, crude protein and crude fat contents were obtained from Beyer et al. (2004). They are collated in Table 3.

Table 3

Feed properties

feed ingredient	contents related to DM						
	dry matter	gross energy	metabolizable energy	crude fibre	N-free extracts	crude protein	crude fat
	unit	η_{DM} kg kg ⁻¹	η_{GE} MJ kg ⁻¹	η_{ME} MJ kg ⁻¹	η_{Fi} kg kg ⁻¹	η_{NFE} kg kg ⁻¹	η_{XP} kg kg ⁻¹
colostrum ^a	0.15	23.98	18.55				
milk, 4.2 % fat	0.133	24.59	19.33				
hay	0.850	18.03	10.02	0.230	0.435	0.180	0.035
grass silage	0.350	18.40	10.20	0.245	0.452	0.162	0.042
maize silage	0.270	18.50	11.00	0.228	0.582	0.080	0.028
linseed expeller	0.900	20.69	12.70	0.110	0.375	0.380	0.370
oat	0.870	19.14	11.29	0.120	0.665	0.130	0.050
barley	0.870	18.56	12.91	0.050	0.765	0.135	0.025
wheat	0.870	18.60	13.44	0.020	0.485	0.115	0.025
maize	0.870	18.88	13.86	0.027	0.802	0.117	0.037
wheat bran	0.880	19.14	10.76	0.100	0.625	0.175	0.045
sugar beet pulp	0.920	16.28	12.66	0.200	0.645	0.095	0.005
soya bean extraction meal	0.900	19.96	14.00	0.080	0.345	0.495	0.017
rape seed extraction meal	0.900	20.30	12.20	0.130	0.350	0.370	0.020
minerals	1.000	0	0	0	0	0	0

^a As the colostrum data set appeared to be inconsistent (see e.g. Foley and Otterby, 1978; Iváncsics and Kovács, 1999; and Morill et al., 2012) the energy contents of milk were used instead.

3.4 Comparison of calculated and recommended ME intake rates

As shown in Table 4, the use of the data listed in Tables 1 to 3 yields weekly ME input data whose period means fit the recommendations in GfE (1997), Table 8, for intervals of four to five weeks each, within the uncertainties involved. The animal weights are obtained from the birth weight of 41 kg animal⁻¹ and the constant weight gain of 0.666 kg animal⁻¹ d⁻¹.

Table 4
Metabolizable energy – requirements and recommendations

week	animal weight kg animal ⁻¹	calculated ME input MJ animal ⁻¹ d ⁻¹	calculated mean ME MJ animal ⁻¹ d ⁻¹	ME recommended MJ animal ⁻¹ d ⁻¹ (GfE, 1997)
1	45.7	12.78		
2	50.3	18.42		
3	55.0	19.54	17.85	19
4	59.6	20.66		
5	64.3	21.77		
6	69.0	24.01		
7	73.6	24.28	24.82	24
8	78.3	27.10		
9	83.0	26.94		
10	87.6	28.75		
11	92.3	28.59		
12	96.9	26.66	26.85	27.5
13	101.6	24.31		
14	106.3	25.96		
15	110.9	24.99		
16	115.6	28.27		
17	120.3	32.68	30.47	30.5
18	124.9	35.96		

3.5 Animal rounds

German official statistics report the numbers of animal places occupied at the census day (animal places or animal populations in IPCC terminology). In order to assess the emissions or excretions per place, the number of animals produced per place and year (i.e. the number of animal rounds) has to be taken into account.

The duration of a round covers both the time for the calves to grow to their final weight and the time for service time (i.e. for cleaning, drying and disinfection the animal place). The latter amounts to about of seven d round⁻¹ ³. With a time span of 18 weeks for raising a calf, the number of animal rounds per year is thus about 2.8.

³ In practice, service times range between one day and one month. The detailed instructions for FLI's experimental farm schedule give one week. This value is taken in subsequent calculations.

4 Calculation of methane emission rates

Calves only gradually emerge as ruminants (Kirchgeßner et al., 2008, pg. 430 ff). A pre-ruminant phase of about three weeks can be distinguished from a transition phase, during which the rumen develops its size and function. After about nine weeks calves can be considered functional ruminants. At that time, their typical MCR is that of cows (see Lockyer, 1997; Kurihara et al., 2002; Schönhusen et al., 2003; also Dämmgen et al., 2012).

No experimental data could be identified that describe CH₄ emission rates from calves in the transition phase.

4.1 General approach

4.1.1 Physiological background

CH₄ is formed during the degradation of carbohydrates in the rumen. However, while concentrates and hay will enter the rumen, colostrum and milk bypass the rumen via the oesophageal groove and flow directly into the abomasum. The size and function of the rumen develop during the first seven to nine weeks of the calf's life (e.g. Baldwin et al., 2003).

The microbial degradation of carbohydrates presupposes a microbial community in the rumen that is adapted to the concentrates and the roughage fed. This community develops together with the rumen growth (e.g. Beharka et al., 1998).

4.1.2 Stepwise calculation – an overview

These facts are accounted for in the following approach to characterize CH₄ emissions from calves in four steps where Steps 1 and 2 describe well defined situations, Steps 3 and 4 close the gap (Figure 1).

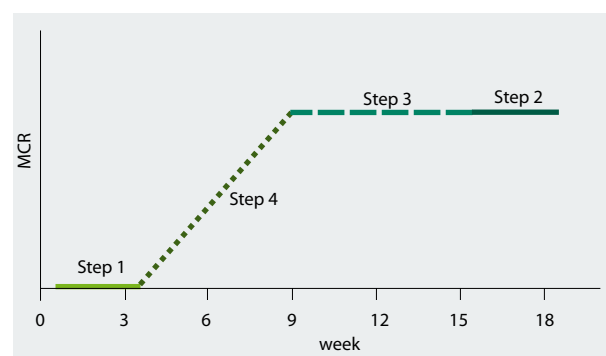


Figure 1
Succession of steps used in the subsequent calculation procedure

Step 1: Milk fed calves. CH₄ emission rates for weeks one to three are zero, as the rumen has not developed. Hence, MCR is zero.

Step 2: Fully ruminating calves with weights above 100 kg animal⁻¹. Kirchgeßner et al. (1995) describe the CH₄ emissions

from cattle for animals with a weight above 100 kg animal⁻¹. Their methodology is applied to calculate the emission rates for weeks 15 to 18.

Step 3: Fully ruminating calves with weights less than 100 kg animal⁻¹. It is assumed that the efficiency of CH₄ formation during weeks 9 to 15 is not substantially different from that of weeks 15 to 18. Hence it is characterized by the same methane conversion mechanisms, and that the emission rates obtained with the Kirchgeßner et al. (1995) approach can be extrapolated accordingly.

Step 4: Transition from non-ruminant to ruminant calves. It is assumed here that the gradual transition from non-ruminant to ruminant calves can be described using properties described in Step 3 combined with an appropriate efficiency parameter.

4.2 Calculation of methane emission rates of fully ruminating calves above 100 kg animal⁻¹ live weight (Step 2)

4.2.1 The method used for German dairy cows

In contrast to the IPCC methodology (IPCC, 1996, 2006), the German approach for dairy cows calculates CH₄ emission rates from feed intake rates and feed properties according to Dämmgen et al. (2012) (using the method proposed in Kirchgeßner et al., 1995) rather than from GE intake rates. The application of this method to calves was desirable.

The CH₄ excretion of the functional ruminant may be described by the approach of Kirchgeßner et al. (1995) (Equation (1)).

$$E_{\text{CH}_4, \text{K}} = a \cdot M_{\text{XF}_i} + b \cdot M_{\text{NFE}} + c \cdot M_{\text{XP}} + d \cdot M_{\text{XF}} + e \quad (1)$$

where

$E_{\text{CH}_4, \text{K}}$	methane emission rate according to Kirchgeßner et al. (1995) (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)
a	coefficient ($a = 0.079$ kg kg ⁻¹)
M_{XF_i}	intake rate of crude fibre (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)
b	coefficient ($b = 0.010$ kg kg ⁻¹)
M_{NFE}	intake rate of N-free extracts (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)
c	coefficient ($c = 0.026$ kg kg ⁻¹)
M_{XP}	intake rate of crude protein (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)
d	coefficient ($d = -0.212$ kg kg ⁻¹)
M_{XF}	intake rate of ether extract (crude fat) (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)
e	constant ($e = 0.063$ kg animal ⁻¹ d ⁻¹)

and

$$M_{\text{XF}_i} = M_{\text{DM}} \cdot \sum_i \eta_{\text{XF}_i, i} \cdot x_i \quad (2)$$

where

M_{XF_i}	intake rate of crude fibre (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹)
M_{DM}	dry matter intake rate (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹)
$\eta_{\text{XF}_i, i}$	crude fibre content of feed constituent i (in kg kg ⁻¹)
x_i	share of diet constituent i (in kg kg ⁻¹)
etc.	

This approach is valid for cattle whose weights exceed 100 kg animal⁻¹. Hence the feed composition for weeks 15 to 18 (inclusively) is used to estimate a mean daily CH₄ emission rate. This amounts to 0.032 kg animal⁻¹ d⁻¹ CH₄.

4.2.2 Deriving a national methane conversion rate for fully ruminating calves

Within the IPCC methodology, it is customary to relate CH₄ emission rates as an energy loss to the GE intake rate using the methane conversion ratio MCR ⁴ which is defined as follows:

$$MCR = \frac{E_{\text{CH}_4} \cdot \eta_{\text{CH}_4}}{GE} \cdot \varepsilon \quad (3)$$

where

MCR	methane conversion ratio (in kJ MJ ⁻¹)
E_{CH_4}	methane emission rate (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)
η_{CH_4}	energy content of methane ($\eta_{\text{CH}_4} = 55,65$ MJ kg ⁻¹)
ε	energy units conversion factor ($\varepsilon = 1000$ kJ MJ ⁻¹)
GE	gross energy intake rate (in MJ animal ⁻¹ d ⁻¹)

For weeks 15 to 18, the mean daily GE intake rate amounts to 48.3 MJ animal⁻¹ d⁻¹ GE. Application of Equation (1) and the data provided in Tables 1 to 3 results in a mean CH₄ emission rate of 0.047 kg animal⁻¹ d⁻¹, and an MCR of 54 kJ MJ⁻¹. The value is lower than the ones proposed in IPCC (1996) and IPCC (2006) which is due to the comparatively high shares of concentrates. This results in lower MCR (see Kurihara et al., 2002; Schönhusen et al., 2003; the reasoning of the MCR of feedlot cattle in IPCC, 2006, pg 10.30; also Dämmgen et al., 2012).

4.3 Calculation of methane emission rates of fully ruminating calves below 100 kg animal⁻¹ live weight (Step 3)

Kirchgeßner's approach is not valid for animals whose weights fall below 100 kg animal⁻¹. It is obvious from Equation (1) that constant e will dominate emissions for low feed intake rates. In order to close the gap, we assume that physiological conditions between week 9 and week 15 are similar to those in subsequent weeks, and apply the MCR determined for weeks 15 to 18 to the preceding weeks nine to fifteen. Therefore, the MCR of 54 kJ MJ⁻¹ obtained for weeks 15 to 18 is then applied to weeks nine to fifteen. GE intake rates are derived from ME requirements and feed properties, as listed in Tables 3 and 4.

4.4 Methane emissions during the transition period (Step 4)

The transition from a pre-ruminant newborn calf to a ruminant calf weighing 100 kg animal⁻¹ is described using an interpolation procedure. This is done by adding an effectiveness parameter P to describe rumen function, with $P = 0$ for a newborn calf and $P = 1$ for a fully functional ruminant:

⁴The IPCC terminology calls this entity methane conversion rate Y_m .

$$E_{\text{CH}_4, \text{trans}, j} = P_j \cdot E_{\text{CH}_4, \text{rum}} \quad (4)$$

with

$$E_{\text{CH}_4, \text{rum}} = E_{\text{CH}_4, \text{K}} \quad (5)$$

where

$E_{\text{CH}_4, \text{trans}, j}$ methane emission rate (factor) for week j in the transition period (in $\text{kg animal}^{-1} \text{d}^{-1}$)

P_j effectiveness parameter for week j ($0 \leq P \leq 1$, dimensionless)

$E_{\text{CH}_4, \text{rum}}$ methane emission rate (factor) for a functional ruminant (in $\text{kg animal}^{-1} \text{d}^{-1}$) as obtained by the application of Equation (1)

$E_{\text{CH}_4, \text{K}}$ methane emission rate according to Kirchgeßner et al. (1995) (in $\text{kg animal}^{-1} \text{d}^{-1}$)

Experimental data values for P are not available. Hence, assumptions have to be made for the amounts of P as a function of time. These are listed in Table 5. Here, variant 1 is a simple linear interpolation, whereas variant 2 may represent a more realistic approach that takes the non-linear growth of the rumen into account (Kirchgeßner et al., 2008; Coverdale et al., 2003; Pennstate College of Agricultural Sciences, 2011).

Table 5
Tentative time series of effectiveness parameters P_j

week j	values of P	
	variant 1	variant 2
4	0.00	0.00
5	0.20	0.10
6	0.40	0.20
7	0.60	0.30
8	0.80	0.70
9	1.00	1.00

For each day in week j , the equivalents EE_{CH_4} of CH_4 emission rates are assessed using the relation

$$EE_{\text{CH}_4, j} = GE_j \cdot P_j \cdot \frac{MCR_{\text{rum}}}{\varepsilon} \quad (6)$$

where

$EE_{\text{CH}_4, j}$ daily energy equivalent of CH_4 emission rate in week j (in $\text{MJ animal}^{-1} \text{d}^{-1}$)

GE_j GE intake rate in week j (in $\text{MJ animal}^{-1} \text{d}^{-1}$)

P_j effectiveness parameter for week j

MCR_{rum} methane conversion rate for ruminating calves ($MCR_{\text{rum}} = 54 \text{ kJ MJ}^{-1}$)

ε energy units conversion factor ($\varepsilon = 1000 \text{ kJ MJ}^{-1}$)

Table 6

GE intake rates, effectiveness parameter variants, energy equivalents of CH_4 rates, and CH_4 emission rates

week	GE intake rate	P		EE_{CH_4}		E_{CH_4}	
	$\text{MJ animal}^{-1} \text{d}^{-1}$	variant 1	variant 2	variant 1 $\text{MJ animal}^{-1} \text{d}^{-1}$	variant 2 $\text{MJ animal}^{-1} \text{d}^{-1}$	variant 1 $\text{kg animal}^{-1} \text{d}^{-1}$	variant 2 $\text{kg animal}^{-1} \text{d}^{-1}$
1	16.10	0.0	0.0	0.000	0.000	0.0000	0.0000
2	24.14	0.0	0.0	0.000	0.000	0.0000	0.0000
3	25.79	0.0	0.0	0.000	0.000	0.0000	0.0000
4	27.43	0.0	0.0	0.000	0.000	0.0000	0.0000
5	29.07	0.2	0.1	0.313	0.156	0.0056	0.0028
6	32.36	0.4	0.2	0.696	0.348	0.0125	0.0063
7	33.84	0.6	0.3	1.092	0.546	0.0196	0.0098
8	38.55	0.8	0.7	1.658	1.451	0.0298	0.0261
9	38.58	1.0	1.0	2.075	2.075	0.0373	0.0373
10	41.79	1.0	1.0	2.247	2.247	0.0404	0.0404
11	41.82	1.0	1.0	2.249	2.249	0.0404	0.0404
12	39.96	1.0	1.0	2.149	2.149	0.0386	0.0386
13	38.02	1.0	1.0	2.045	2.045	0.0367	0.0367
14	40.88	1.0	1.0	2.198	2.198	0.0395	0.0395
15	38.94	1.0	1.0	2.094	2.094	0.0376	0.0376
16	44.66	1.0	1.0	2.401	2.401	0.0432	0.0432
17	52.02	1.0	1.0	2.797	2.797	0.0503	0.0503
18	57.74	1.0	1.0	3.105	3.105	0.0558	0.0558
Total	MJ animal^{-1}			MJ animal^{-1}	MJ animal^{-1}	kg animal^{-1}	kg animal^{-1}
	4632			190	181	3.41	3.25

The total emission per animal for weeks 4 to 9 is obtained as follows:

$$E_{CH4} = \sum_{j=4}^9 \left(\sum_1^7 \frac{EE_{CH4,j}}{\eta_{CH4}} \right) \tag{7}$$

where

- E_{CH4} methane emission per animal (in kg animal⁻¹)
- $EE_{CH4,j}$ daily energy equivalent of CH₄ emission rate in week j (in MJ animal⁻¹ d⁻¹)
- η_{CH4} energy content of methane ($\eta_{CH4} = 55,65$ MJ kg⁻¹)

$$EF_{CH4} = E_{CH4} \cdot n_{round} \tag{8}$$

where

- EF_{CH4} CH₄ emission factor (in kg place⁻¹ a⁻¹ CH₄)
- E_{CH4} methane emission per animal (in kg animal⁻¹ d⁻¹)
- n_{round} number of animal rounds (in animal place⁻¹ a⁻¹)

For $E_{CH4} = 3.41$ kg place⁻¹ a⁻¹ and $n_{round} = 2.77$ animal place⁻¹ a⁻¹, the resulting emission factor for German standard calves is 9.43 kg place⁻¹ a⁻¹ CH₄.

It is mandatory within the reporting to UNFCCC to indicate respective *MCR* in the Common Reporting Format. Application of Equation (3) yields an *MCR* for calves of 41.0 kJ MJ⁻¹ or 4.1 %.

4.5 Predicted methane emissions by calves over a production period

Weekly input data are collated in Table 6. *GE* intake rates were obtained from a combination of figures provided in Tables 1 to 4. Using the two effectiveness parameter variants listed in Table 5 allows for the prediction of CH₄ emissions.

Variant 2 leads to slightly lower emissions, as would any variant that depicts a delayed (however likely) rumen development. In order to avoid underestimation of the emission rates, variant 1 should be used for reporting.

4.6 Resulting national annual emission rates and methane conversion rates

The combination of emission per animal with the number of animal rounds yields the emission per place per year, the so-called emission factor EF_{CH4} :

5 Nitrogen and volatile solids release rates

N and *VS* release rates are depending on feed intake, diet composition and – for N – on animal weight gained during the life span considered. IPCC (1996, 2006) as well as EMEP (2009) provide calculation procedures.

5.1 Relevant feed properties

Feed properties are derived as weighted means from the relevant feed ingredients. Properties of the ingredients are taken from Beyer et al. (2004) (Table 7). The relevant amounts are listed in Tables 1 and 2, the relevant properties in Tables 3 and 7. For simplification, the amounts of colostrum are incorporated in the amounts of milk fed.

Table 7

Relevant feed properties for the calculation of N and VS excretion rates

feed ingredient	unit	contents related to DM			
		N content X_N kg kg ⁻¹	digestibility of N X_{DN} kg kg ⁻¹	ash content X_{ash} kg kg ⁻¹	digestibility of OM X_{DOM} kg kg ⁻¹
milk, 4.2 % fat		0.0411	0.95	0.073	0.98
hay		0.0288	0.70	0.120	0.73
grass silage		0.0259	0.63	0.100	0.71
maize silage		0.0128	0.45	0.080	0.74
linseed expeller		0.0608	0.85	0.065	0.79
oat		0.0208	0.74	0.035	0.73
barley		0.0216	0.74	0.025	0.86
wheat		0.0224	0.75	0.025	0.89
maize		0.0171	0.73	0.017	0.90
wheat bran		0.0280	0.75	0.055	0.71
sugar beet pulp		0.0088	0.50	0.050	0.90
soya bean extraction meal		0.0792	0.90	0.065	0.89
rape seed extraction meal		0.0592	0.84	0.080	0.77
minerals		0.0000	0.00	1.000	0.00

5.2 Annual nitrogen release rates

N release rates are obtained from the N mass balance:

$$m_{\text{excr}} = m_{\text{feed}} - m_{\text{g}} \quad (9)$$

$$m_{\text{excr, TAN}} = m_{\text{feed}} \cdot (1 - X_{\text{N}}) - m_{\text{g}} \quad (10)$$

where

m_{excr} annual nitrogen release rate (in kg place⁻¹ a⁻¹ N)

m_{feed} annual nitrogen intake rate with feed
(in kg place⁻¹ a⁻¹ N)

m_{g} amount of nitrogen retained in the animal
(in kg place⁻¹ a⁻¹ N)

$m_{\text{excr, TAN}}$ total ammoniacal nitrogen (TAN) excretion rate
(in kg place⁻¹ a⁻¹ N)

X_{N} digestibility of nitrogen (in kg kg⁻¹)

The N intake rate is the product of feed intake rate and N content of feed constituents for all constituents i and all time spans (weeks):

$$m_{\text{feed}} = n_{\text{round}} \cdot \sum_k \left(\sum_i m_{\text{feed, i, k}} \cdot X_{\text{N, i}} \right) \quad (11)$$

where

m_{feed} annual nitrogen intake rate with feed
(in kg place⁻¹ a⁻¹ N)

n_{round} number of animal rounds (in a⁻¹) (see Chapter 3.5)

k running index of feeding days within one round
($1 \leq k \leq 126$) (for 18 weeks)

$m_{\text{feed, i, k}}$ daily intake rate of feed constituent i (dry matter)
on day k (in kg d⁻¹)

$X_{\text{N, i}}$ N content of feed constituent i (in kg kg⁻¹)

The amount of **N taken in** with feed can be obtained by combining the information provided in Tables 1, 2 and 7 as expressed in Equation (11). The overall N input is 9.4 kg animal⁻¹ N or 26.0 kg place⁻¹ a⁻¹ N.

The amount of **N retained** per round is calculated from the weight gain (84 kg animal⁻¹) and the mean N content of the weight gained per animal. GfE (1997) provide a mean protein content of the empty body of 182.2 g kg⁻¹. The data base covers years between 1980 and 1990 (approximately). For the weight gain used in this work, Robelin and Chiliard (1989) investigating in Holstein Friesians found 193 g kg⁻¹, Flachowsky et al. (1996) report 188 g kg⁻¹. Janssen (2006) measured a mean protein content of German Holstein calves of 178.5 g kg⁻¹. The "official" protein content of 182.2 g kg⁻¹ provided in GfE (1997), Table 1, was used in this work. With a mean N content of animal protein of 0.157 kg kg⁻¹, a mean N content of 0.0287 kg kg⁻¹ N and a weight gain of 84 kg animal⁻¹ lead to an amount of N retained of 2.4 kg animal⁻¹ N or 6.7 kg place⁻¹ a⁻¹ N.

Overall N excretion rates consider intake rates and the amounts of N retained only. Renal N excretion rates are a function of the digestible N entering the animal metabolism (see Table 7).

The following N excretion rates are obtained

total N excretion	7.0 kg animal ⁻¹ N	19.3 kg place ⁻¹ a ⁻¹ N
of which faecal	2.5 kg animal ⁻¹ N	7.0 kg place ⁻¹ a ⁻¹ N
of which renal	4.4 kg animal ⁻¹ N	12.3 kg place ⁻¹ a ⁻¹ N

The share of renally excreted nitrogen is 0.64 kg kg⁻¹ rather than 0.60 kg kg⁻¹ provided in the UNECE guidebook for "other cattle (young cattle, beef cattle, and suckling cows)" (EMEP, 2009, Table 3-8).

5.3 VS release rate

VS release rates can be obtained from organic matter input rates and ash contents of the feed according to Equation (12) (Dämmgen et al., 2011)

$$VS = n_{\text{round}} \cdot \sum_k \left(\sum_i m_{\text{feed, i, k}} \cdot (1 - X_{\text{ash, feed, i}}) \cdot (1 - X_{\text{DOM, i}}) \right) \quad (12)$$

where

VS VS release rate (in kg place⁻¹ a⁻¹ VS)

n_{round} number of animal rounds (in a⁻¹) (see Chapter 3.5)

k running index of feeding days within one round
($1 \leq k \leq 126$) (for 18 weeks)

$m_{\text{feed, i, k}}$ intake rate of feed constituent i (dry matter) on
day k (in kg place⁻¹ d⁻¹)

$X_{\text{ash, feed, i}}$ ash content of feed constituent i (in kg kg⁻¹)

$X_{\text{DOM, i}}$ apparent digestibility of organic matter of feed
constituent i (in kg kg⁻¹)

A VS release rate of 52.1 kg animal⁻¹ or 144.1 kg place⁻¹ a⁻¹ is obtained for standard calves.

6 Discussion and conclusions

The description of emission rates from calves' enteric fermentation differs in principle from that of the release rates of nitrogen with faeces and urine and VS with faeces. The latter are approachable via balance considerations whereas enteric fermentation needs more sophisticated modelling. N excretion rates can be quantified in accordance with the UNECE guidance document (Dämmgen and Hutchings, 2008; EMEP, 2009), the calculations leading to CH₄ emission rates from enteric fermentation and VS release rates differ considerably from those recommended in the respective IPCC guidelines (IPCC 1996, 2006).

In this work, the **CH₄ emission factors EF_{CH_4} and the methane conversion rates MCR** are obtained using a combination of the cattle methane emission model (Kirchgeßner et al., 1995, see Dämmgen et al., 2012) for live weights above 100 kg animal⁻¹ and an adapted IPCC approach (using a national MCR for calves) for the animals between birth and a weight of 100 kg animal⁻¹. Bridging the gap between the pre-ruminant calf and the fully ruminating calf requires assumptions that are plausible but nevertheless remain hypothe-

tical. In contrast, the IPCC approach of relating CH_4 emission rates to GE intake rates is not applicable in principle (Dämmgen et al., 2012). Consequently, we recommend not using the IPCC default MCR values for cattle to quantify CH_4 emission rates whenever the animal category “dairy cows and their young” (as in IPCC, 2006, Table 10.12) is divided in subcategories (calves, heifers, dairy cows). However, it would be appropriate to calculate emissions from energy demands, diet composition and feed properties using different MCR for calves on forage and on milk (as may be derived from IPCC, 2006, Table 10 A.2).

The average animal weights and weight gains listed in IPCC (2006), Table 10A.2, are not applicable to the German situation (see Chapter 2). Hence we favour a simple interpolation procedure to obtain adequate MCR for calves based on generally accepted principles, as performed in Chapter 3.5.2. Here, the MCR calculated for variant 1 (linear interpolation) exceeds those obtained potentially reflecting rumen growth (variant 2). Until such time that variant 2 is confirmed using empirical measurements, it is recommended to use the conservative results obtained with variant 1.

At present, the German agricultural emission inventory uses the IPCC Tier 2 methodology (with national energy intake rates and a national MCR) to derive CH_4 emissions from enteric fermentation of calves. Calculations are based on low weights at birth, high weight gains, a final weight of 100 kg animal⁻¹ and the application of an expert judgement of MCR of 20 kJ MJ⁻¹ (suggested by G. Flachowsky, Institute of Animal Nutrition, former Federal Agricultural Research Center, Braunschweig). It resulted in an emission factor (EF_{CH_4}) of 4.3 kg place⁻¹ a⁻¹ CH_4 . The methodology developed in this work describes calves with different properties, i.e. higher weights at birth (41 kg animal⁻¹ rather than 36 kg animal⁻¹), a higher final weight (125 kg animal⁻¹ rather than 100 kg animal⁻¹) and a lower daily weight gain (670 g animal⁻¹ d⁻¹ rather than 1066 g animal⁻¹ d⁻¹). As shown in Chapter 3, it appears adequate to use an EF_{CH_4} of 9.4 kg place⁻¹ a⁻¹ CH_4 and an MCR of 41 kJ MJ⁻¹ to describe the enteric emissions from German standard calves.

With regard to **N release rates with faeces and urine**, the value of 19.3 kg place⁻¹ a⁻¹ N obtained here is similar to the value previously used in German emission reporting (20.9 kg place⁻¹ a⁻¹ N; Haenel et al., 2012, Chapter 4.4.6.1). It contradicts the default value of 14 kg place⁻¹ a⁻¹ N provided in KTBL (2006), pg 428, for 4 animal rounds and a final weight of 100 kg animal⁻¹ (see reasoning in Haenel et al., 2012). The TAN content of 0.64 kg kg⁻¹ exceeds that previously used (0.60 kg kg⁻¹) based on assumptions for cattle in general (Webb, 2001). This is attributed to the high digestibility of crude protein in milk and the high proportion of concentrates.

The modelling of **V/S release rates** differs from the IPCC approach in principle: the IPCC methodology is inadequate in general, as it relates V/S release rates to GE intake rates (Dämmgen et al., 2011). This is wrong in particular with (partly) milk fed calves as the zero fibre content of milk is not taken into account. The application of the IPCC (1996) methodology (IPCC, 1996, Table B-1: 1.46 kg animal⁻¹ d⁻¹) to a standard German calf (using the default ash contents and di-

gestibilities of feeds provided) would yield a V/S release rate of about 500 kg place⁻¹ a⁻¹. The difference between the IPCC approach and the results described in this work (144 kg place⁻¹ a⁻¹) is substantial. Previous, less sophisticated German inventories made use of a V/S release rate of 209 kg place⁻¹ a⁻¹ (with animal performance data as listed above).

The emission factors EF_{CH_4} and the MCR as well as the excretion rates of V/S with faeces are based on standard descriptions of German calf production and derived using more realistic procedures than those provided in the IPCC guidance documents. The N excretion rates are calculated using more detailed data sets than before. Overall with respect to emission reporting, the new calculation procedures are considered to reflect more faithfully than previously the production conditions for the rearing of calves in Germany, and the accuracy of the description of calves has been improved.

We recommend using the new findings for future emission reporting.

References

- Baldwin RL, McLeod KR, Klotz JL (2003) Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre-ruminant and postweaning ruminant. *J Dairy Sci* 87:E55-E65
- Beharka AA, Nagaraja TG, Morrill JL, Kennedy GA, Klemm RD (1998) Effects of form of the diet on anatomical, microbial, and fermentative development in the rumen of neonatal calves. *J Dairy Sci* 81:1946-1955
- Beyer M, Chudy A, Hoffmann L, Jentsch W, Laube W, Nehring K, Schiemann R (2004) Rostocker Futterbewertungssystem: Kennzahlen des Futterwertes und Futterbedarfs auf der Basis von Nettoenergie. Dummerstorf: Forschungsinstitut Biol landwirtschaftl Nutztiere, 392 p
- Coverdale JA, Tyler HD, Quigley JD, Brumm JA (2003) Effect of various levels of forage and form of diet on rumen development and growth in calves. *J Dairy Sci* 87:2554-2562
- Dämmgen U, Amon B, Gyldenkerne S, Hutchings NJ, Kleine Klausning H, Haenel H-D, Rösemann C (2011) Reassessment of the calculation procedure for the volatile solids excretion rates of cattle and pigs in the Austrian, Danish and German agricultural emission inventories. *Landbauforsch* 61(2):105-116
- Dämmgen U, Hutchings NJ (2008) Emissions of gaseous nitrogen species from manure management: a new approach. *Environ Pollut* 154(3):488-497
- Dämmgen U, Rösemann C, Haenel H-D, Hutchings NJ (2012) Enteric methane emissions from German dairy cows. *Landbauforsch* 62(1/2):21-31
- DLG-Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (1999) Leistungs- und qualitätsgerechte Jungrinderaufzucht. Frankfurt a M: DLG, 19 p, DLG-Information 3/1999
- EMEP (2009) EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2009 [online]. To be found at <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>> [quoted 25.01.2013]
- Flachowsky G, Bugdol M, Löhnert HJ, Richter GH (1996) Einfluß unterschiedlicher Fütterungsintensität auf Lebendmasseentwicklung und Körperzusammensetzung von Aufzuchtältern, *J Anim Physiol Anim Nutr* 76:9-21
- Foley JA, Otterby DE (1978) Availability, storage, treatment, composition and feeding value of surplus colostrum: a review. *J Dairy Sci* 61:1033-1060
- GfE-Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (1997) Empfehlungen zur Energieversorgung von Aufzuchtältern und Aufzuchtrindern. *Proc Soc Nutr Physiol* 6:201-215
- GfE-Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (1999) Empfehlungen zur Proteinversorgung von Aufzuchtältern und Aufzuchtrindern. *Proc Soc Nutr Physiol* 8:155-164
- Haenel H-D, Rösemann C, Dämmgen U, Poddey E, Freibauer A, Döhler H, Eulich-Menden B, Wulf S, Dieterle M, Osterburg B (2012) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990–2010:

- report on methods and data (RMD) Submission 2012. Braunschweig : vTI, 394 p, Landbauforsch SH 356
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change (1996) Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories : vol 3: Reference manual [online]. To be found at <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/inv6.html>> [quoted 25.01.2013]
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change (2000) Good practice guidance and uncertainty measurement in national greenhouse gas inventories : chapter 4: Agriculture [online] To be found at <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/4_Agriculture.pdf> [quoted 25.01.2013]
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change (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 25.01.2013]
- Ivánics J, Kovács AZ (1999) Zusammensetzung des Kolostrums bei einigen Fleischrinderrassen in Abhängigkeit von der nach dem Abkalben vergangenen Zeit. *Arch Tierz* 42:17-32
- Janssen H (2006) Untersuchungen zum Einfluß unterschiedlicher Fütterungsintensitäten auf das Körperwachstum, die Futteraufnahme, die Körperzusammensetzung sowie den Stoff- und Energieansatz von weiblichen Kälbern und Aufzuchtrindern. Göttingen : Cuvillier, 171 p
- Kirchgeßner M, Roth FX, Schwarz FJ, Stangl G (2008) Tierernährung : Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. Frankfurt a M : DLG-Verl, 635 p
- Kirchgeßner M, Windisch W, Müller HL (1995) Nutritional factors for the quantification of methane production. In: von Engelhardt W, Leonhard-Marek S, Breves G, Gieseke D (eds) Ruminant physiology : digestion, metabolism, growth and reproduction : proceedings of the eighth International Symposium on Ruminant Physiology. Stuttgart : Enke, pp 333-348
- KTBL-Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2006) Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/07. Darmstadt : KTBL, 672 p
- KTBL-Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2010) Betriebsplanung Landwirtschaft 2010/11. Darmstadt : KTBL, 784 p
- Kurihara M, Nishida T, Purnomoadi A, Shibata M, Terada F (2002) The prediction of methane conversion rate from dietary factors. In: Takahashi J, Young BA (eds) Greenhouse gases and animal agriculture : proceedings of the 1st International Conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture, Obihiro, Japan, 7-11 November 2001. Amsterdam : Elsevier, pp 171-174
- Lockyer R (1997) Methane emissions from grazing sheep and calves. *Agric Ecosyst Environ* 66:11-18
- Meyer U (2005) Fütterung von Kälbern und Jungrindern. *Landbauforsch Völknerode SH* 289:127-136
- Morill KM, Conrad E, Lago A, Campbell J, Quigley J, Tyler H (2012) Nationwide evaluation of quality and composition of colostrum on dairy farms in the United States. *J Dairy Sci* 95:3997-4005
- Pennstate College of Agricultural Sciences (2011) Calf rumen images [online]. To be found at <http://www.das.psu.edu/research-extension/dairy/nutrition/calves/rumen> [quoted 25.01.2013]
- Robelin J, Chilliard Y (1989) Short-term and long-term effects of early nutritional deprivation on adipose tissue growth and metabolism in calves. *J Dairy Sci* 72:505-513
- Schönhusen U, Zitnan R, Kuhla S, Jentsch W, Derno M, Voigt J (2003) Effects of protozoa on methane production in rumen and hindgut of calves around time of weaning. *Arch Anim Nutr* 57:279-295
- Stamer E, Hafez S, Junge W, Kalm E (2004) Genetische Parameter für das Geburts- und Absetzgewicht von schwarzbunten weiblichen Kälbern. *Züchtungskunde* 76:188-195
- Teepker G (2007) Praktische Aspekte der Fütterung einschließlich Haltung und Aufzucht von Kälbern und Mastbullern. *Landbauforsch SH* 313:157-173
- Webb J (2001) Estimating the potential for ammonia emissions from livestock excreta and manures. *Environ Pollut* 111:395-406
- Weiß J, Pabst W, Strack KE, Granz S (2005) Tierproduktion. Stuttgart : Parey, 579 p

Anticipated changes in the emissions of greenhouse gases and ammonia from pork production due to shifts from fattening of barrows towards fattening of boars

Ulrich Dämmgen*, Andreas Berk**, Caroline Otten**, Wilfried Brade***, Nicholas J. Hutchings****, Hans-Dieter Haenel*, Claus Rösemann*, Sven Dänicke**, and Manfred Schwerin*****

Abstract

Greenhouse gases and of ammonia emissions from pork production will change when fattening of barrows switches towards to fattening of (intact) boars. The results of an accurate feeding experiment allow for the differentiation of the effects on emissions of gender (differentiating in boars, barrows and gilts) and of diet composition.

The modified fattening pig module of the agricultural emission model GAS-EM was used to estimate emissions in 2020 when the fattening of barrows will no longer be common practice. The scenarios also reflect the effect of the expected increased weight gains and the related effect of increased numbers of animals produced.

The fattening of intact boars as compared to barrows is associated with a reduction of emissions of greenhouse gases and of ammonia per animal. For ammonia, all scenarios result in reduced emissions, most markedly when this shift is combined with increased weight gains. To a lesser extent, this also applies to nitric and nitrous oxide emissions. Methane emissions are less affected; increased weight gains result in increased emissions.

As the greenhouse gas balance is dominated by methane emissions, the overall emission of greenhouse gases (expressed as CO₂ equivalents) is likely to increase slightly in 2020 despite the reductions in nitrous oxide emissions.

Keywords: *boars, barrows, gilts, emission, methane, ammonia, nitrous oxide, greenhouse gases*

Zusammenfassung

Geschätzte Änderungen der Emissionen von Treibhausgasen und von Ammoniak bei der Umstellung der Schweinefleisch-erzeugung von Börge- auf Ebermast

Treibhausgas- und Ammoniak-Emissionen werden sich als Folge der bevorstehenden Umstellung der Mast von Börge auf (intakte) Eber ändern. Die Ergebnisse eines Exaktversuchs erlauben eine Differenzierung zwischen den Einflüssen des Geschlechts (unterschieden werden Eber, Börge und Sauen) und der Futterzusammensetzung auf die Emissionen.

Das modifizierte Mastschweine-Modul des landwirtschaftlichen Emissionsmodells GAS-EM wird dazu benutzt, Emissionen für 2020 vorherzusagen. Das Mästen von Börge wird dann nicht mehr üblich sein. Der Einfluss erwarteter erhöhter Gewichtszunahmen und die sich daraus ergebende Steigerung der Zahl der gemästeten Tiere werden berücksichtigt.

Das Mästen intakter Eber ist im Vergleich zu Börge mit verringerten Emissionen von Treibhausgasen und Ammoniak pro Tier verbunden. Bei Ammoniak wird eine deutliche Abnahme berechnet, insbesondere dann, wenn der Wechsel zur Ebermast mit erhöhten Gewichtszunahmen einhergeht. Dies trifft auch für Stickstoffmonoxid- und Lachgas-Emissionen in geringerem Ausmaß zu. Die Methan-Emissionen nehmen geringfügig ab; erhöhte Gewichtszunahmen haben aber erhöhte Emissionen zur Folge.

Die Emission von Treibhausgasen wird in erster Linie von den Methan-Emissionen bestimmt. Für die Gesamtemission von Treibhausgasen (ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten) im Jahr 2020 wird eine geringfügige Zunahme berechnet, obwohl die Emissionen von Lachgas abnehmen werden.

Schlüsselwörter: *Eber, Börge, Sauen, Emission, Methan, Ammoniak, Lachgas, Treibhausgase*

* Johann Heinrich von Thünen Institute, Institute of Climate-Smart Agriculture, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Germany

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

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

**** Aarhus University, Dept. of Agroecology, PO Box 50, Research Centre Foulum, 8830 Tjele, Denmark

***** Leibniz Institute for Farm Animal Biology (FBN), Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf, Germany

1 Background and goal

In European pork production, surgical castration of boars has been the most common procedure to avoid boar taint. About 80 % of all male piglets were castrated (Frederiksen et al., 2009). In Germany, the majority of male piglets were castrated without anaesthetization in the first week of their lives. However, it is good practice to apply analgesic agents after castration.¹ Boars were not fattened (Weiß et al., 2005; Brade and Flachowsky, 2006). The problems of surgical castration of pigs (pain, risk of infection) have long been known (see Hagmüller, 2006, and literature cited therein). Interest in the improvement of animal welfare led to a decision of the German government to ban the castration of piglets without anaesthetization with effect from 1 January 2017 (BMELV, 2012).

Alternatives to castration without anaesthetization are the fattening of boars (intact male pigs), boars castrated under anaesthetization or immunocastrated boars.² Of these, the fattening of boars (intact male pigs) seems to be the most likely alternative. In fact the numbers of boars slaughtered in Germany has been increasing steadily (e.g. Quaing, 2012).

The shift from fattening of castrated males (barrows) to boars will have an effect on emissions of greenhouse gases and ammonia: It has been known that there are differences in the feed conversion ratio (*FCR*, i.e. the ratio of overall feed intake to overall weight gain) of barrows and boars. Dunshea et al. (2001) measured 11 % to 20 % higher feed conversion ratios of boars as compared to barrows, depending on their age. In modern pig production, it is common to offer feed *ad libitum* to achieve a high performance at low costs. Fuller et al. (1995) reported that voluntary feed intake (*VFI*) is influenced by type of pig (breed, gender) (Kanis and Koops, 1990; Quiniou et al., 2000; Müller et al., 2012). Reduced feed intake rates normally result in reduced emission rates.

However, until recently, no feeding experiments investigating these differences under commercial production conditions had been carried out in Germany. In 2010, the German Agricultural Society stated that reliable results from experiments with the fattening of boars that justified feeding recommendations were not available in Germany (DLG, 2010). Since then, numerous experiments have been carried

out comparing the fattening of boars to that of barrows (see Preinersdorfer et al., 2010; and Table 3). They agree with the findings obtained abroad: in general, boars have a lower *FCR* and a higher ratio of lean meat to fat (e.g. Barton-Gade, 1987; Babol and Squires, 1995; Kallweit et al., 1999) and hence a higher nitrogen (N) content. Ratios, however, vary between experiments. This is attributed to the influence of different factors such as genetic origin, diet composition and feeding system or slaughter weight.

Many results describing the performance of fattening are available but no studies have yet considered the impact on emissions. This work assesses the emission changes to be expected from a move to fattening boars rather than barrows. It comprises five steps:

Step 1 makes use of the results of a feeding experiment with boars and barrows comparing *VFI* and growth performance of boars and barrows and verifies that gender has a significant effect.

Step 2 modifies the input parameters of the fattening pig module in the German agricultural emission model GAS-EM so that gender specific feed intake and nitrogen retention can be described, exploiting the literature available from feeding experiments with gilts, barrows and boars.

Step 3 derives gender specific individual excretion rates applying the modified input parameters.

Step 4 aims at an estimate of typical gender specific emissions per animal at the present performance level.

Step 5 estimates potential future national emission rates taking into account an increase in animal places and progress in animal breeding, in particular increased daily weight gains.

2 Evaluation of a feeding experiment at the Friedrich Loeffler Institute (Step 1)

A feeding experiment comparing barrows and boars was performed at the Institute of Animal Nutrition of the Friedrich Loeffler Institute (FLI) in Braunschweig, Germany.

2.1 Experimental details

In the FLI experiment, a total of 95 pigs (48 boars and 47 barrows; Piétrain x (Large White x Landrace)) were used. The feeding regime was a two-phase regime ("grower" and "finisher" diets, with "grower" and "finisher" weights of 27 to 77 kg animal⁻¹ and 77 to 120 kg animal⁻¹, respectively). Four diets with two different lysine (Lys) to metabolizable energy (ME) ratios were fed, with Lys/ME of 1.0 and 0.94 g MJ⁻¹ for grower and 0.78 and 0.73 g MJ⁻¹ for finisher diets. The experimental design was a 2 x 2 x 2 factorial design with the factors gender, energy and lysine contents. To reflect German farming practice, the experimental period spanned the live weight range from an average of 27 kg animal⁻¹ to a slaughter weight of about 120 kg animal⁻¹. Boars and barrows were allocated alternately in the experimental barn to avoid housing effects. They were kept individually in 3.1 m² boxes on concrete floors. Water was provided *ad libitum* via nipple drinkers. All

¹ More than 95 % of German pig producers are members of the German Quality Scheme for Food (QS, 2012) and have committed themselves to use analgesics.

² Immunocastration using the formation of antibodies after vaccination against gonatropin releasing factor is one alternative. With respect to their performance, immunocastrated boars do not differ significantly from intact boars (e.g. Götz et al., 2009; Hagmüller and Gallnböck, 2010; Müller et al., 2010; Škrlep et al., 2010; Gispert et al., 2010; Fuchs et al., 2011). Furthermore, the reduction of the likelihood of boar taint is object of breeding (e.g. Frieden et al., 2011) and feeding experiments (e.g. Linder Mayer et al., 2012).

Reduced slaughter weights also reduce the risk of losses due to boar taint. In countries where the fattening of boars has been common practice, slaughter weights are below those in Germany (cf. BPEX, undated: 2011 carcass weights of 80.1, 80.4, and 82.3 kg animal⁻¹ in the United Kingdom, Ireland and Denmark, respectively, as compared to 94 kg animal⁻¹ in Germany).

Table 1

Diet compositions (related to fresh matter)

SBEM: soy bean extraction meal, 48 % crude protein (XP); SBO: soy bean oil; MV: mineral feed mixture (Min.Vit.TraceE); Cell: cellulose; Lys: lysine HCl; Met: DL-methionine; Thr: L-threonine; Trp: L-tryptophan (Otten et al., 2013)

	wheat kg kg ⁻¹	barley kg kg ⁻¹	SBEM kg kg ⁻¹	SBO kg kg ⁻¹	MV kg kg ⁻¹	Cell kg kg ⁻¹	Lys kg kg ⁻¹	Met kg kg ⁻¹	Thr kg kg ⁻¹	Trp kg kg ⁻¹
phase 1										
feed 1	0.3000	0.3819	0.2200	0.0200	0.0300	0.0330	0.0066	0.0050	0.0030	0.0005
feed 2	0.3000	0.3987	0.2200	0.0340	0.0300	0.0000	0.0075	0.0055	0.0035	0.0008
feed 3	0.3000	0.3845	0.2200	0.0200	0.0300	0.0330	0.0055	0.0040	0.0025	0.0005
feed 4	0.3000	0.4017	0.2200	0.0340	0.0300	0.0000	0.0064	0.0047	0.0027	0.0005
phase 2										
feed 1	0.3200	0.4170	0.1750	0.0200	0.0250	0.0350	0.0040	0.0025	0.0015	0.0000
feed 2	0.3200	0.4375	0.1750	0.0330	0.0250	0.0000	0.0048	0.0027	0.0017	0.0003
feed 3	0.3200	0.4190	0.1750	0.0200	0.0250	0.0350	0.0032	0.0018	0.0010	0.0000
feed 4	0.3200	0.4400	0.1750	0.0330	0.0250	0.0000	0.0039	0.0020	0.0011	0.0000

pigs were manually fed *ad libitum* with mash feed, refilled twice a day. During the experimental period, the pigs were weighed weekly. Feed refusals were weighed on the same day as the animals to calculate feed intake and weight gain on the same time base. The analysis of feed constituents (Weender analysis) was performed at the institute (see Table 1). For further details see Otten et al. (2013).

The experiment did not include fattening of gilts.

2.2 Experimental results

Barrows and boars differ with respect to their weight gains as well as their feed and ME intake rates (Table 2).

2.3 The influence of gender and diet composition on daily weight gains and feed conversion rates – results of an analysis of variance

An analysis of variance (ANOVA; $P < 0.05$) indicates that boars and barrows had significantly different performance and feed intake rates ($p < 0.001$). The average daily weight gain over the whole experimental period of boars was 1188 g d⁻¹ in contrast to 1107 g d⁻¹ for barrows. Although boars grew slightly faster, they consumed 10 % less feed (2.66 kg d⁻¹) than barrows (2.95 kg d⁻¹). Accordingly, the feed conversion ratio of boars was found to be reduced by approx. 16 % as compared to barrows (2.25 kg kg⁻¹ and 2.69 kg kg⁻¹, respectively) (Otten et al., 2013).

Table 2

Animal weights, weight gains and intakes of feed and ME – experimental data. numbers in brackets are standard deviations (Otten et al., 2013)

	initial weight kg animal ⁻¹	final weight kg animal ⁻¹	weight gain g animal ⁻¹ d ⁻¹	total feed intake kg animal ⁻¹ DM	total ME intake MJ animal ⁻¹
boars					
feed 1	27.65 (1.07)	123.03 (3.30)	1153	215.7 (13.6)	2791
feed 2	27.99 (1.30)	126.00 (3.83)	1193	219.3 (13.9)	3023
feed 3	27.44 (0.21)	127.77 (4.09)	1221	229.3 (16.7)	3009
feed 4	27.67 (0.63)	125.02 (3.41)	1185	214.9 (13.8)	2958
barrows					
feed 1	27.92 (1.31)	121.89 (8.18)	1130	244.8 (30.3)	3169
feed 2	28.03 (1.42)	124.35 (4.90)	1107	256.2 (28.8)	3532
feed 3	27.22 (0.22)	124.33 (3.99)	1093	269.2 (24.0)	3535
feed 4	27.38 (0.23)	120.30 (3.40)	1097	249.8 (17.9)	3438

2.4 Representativeness of the experimental findings

The conditions and results of the FLI experiment reflect the state of the art in pig breeding and science rather than the situation in German commercial fattening pig production.

- The experimentally achieved weight gains (see Table 3) exceed those obtained in common practice; according to information of the pig breeders' associations (ZDS) mean daily weight gains in 2010 amounted to about 750 g animal⁻¹ d⁻¹ (see Rösemann et al., 2013).
- The slaughter weights are slightly higher than those dominating the German market.
- Measured *FCR* are in the range of data published from scientific experiments and therefore lower than *FCR* obtained for practice oriented weight gains (see Table 4).
- A comparison with diet compositions obtained from a national survey (Dämmgen et al., 2011b) shows that the diets used in the experiment are slightly richer in ME and crude protein than in current German practice.

Furthermore, no N contents of the carcasses were available from the experiment so far. Hence, their representativeness cannot be checked.

Thus we conclude that the results of this experiment cannot be extrapolated directly to quantify anticipated changes in

emissions for future pork production. The additional information needed has to be extracted from the literature.

3 Derivation of gender specific parameters for the GAS-EM fattening pig module (Step 2)

3.1 Modelling of excretion rates

It is common practice to model feed intake and excretion rates in animal husbandry starting with the assessment of ME requirements as determined by animal type and performance. For fattening pigs, animal weights and weight gains are considered. Calculations follow the official national recommendations provided in GfE (2008) where standard assumptions are made for protein and fat contents of the animals. ME intake and diet composition then allow for the assessment of feed intake rates, including the intake rates of those feed constituents that govern the emissions of CH₄ from enteric fermentation and from manure management. The quantification of the amount of N excreted in faeces and urine presupposes the knowledge of the amount of N retained. This can be obtained from the weight gain and the N content of that gain.³

Table 3

Example experimental results of the fattening of boars and barrows in Germany. Data originating from well-described experiments only.

Daily weight gain g animal ⁻¹ d ⁻¹		Feed conversion ratio (<i>FCR</i>) kg kg ⁻¹		Carcass lean meat content ^A (%)		Remarks	Source
boars	barrows	boars	barrows	boars	barrows		
848	860	2.46	2.81			slaughter weight 95 kg animal ⁻¹	Hoppenbrock (1995)
860	866	2.99	2.59			slaughter weight 115 kg animal ⁻¹	Hoppenbrock (1995)
1043	1053	1.98	2.21	59.6	58.5	slaughter weight 102 kg animal ⁻¹	Schön and Janssen (2010)
1065	1032	2.06	2.36	59.5	57.2	slaughter weight 115 kg animal ⁻¹	Schön and Janssen (2010)
898	919	2.30	2.61	57.7	55.2		Matthes and Brüggemann (2010)
1022	1012	2.23	2.69	58.4	56.6		Müller (2010a, b)
796	834	2.50	2.76	56.2	55.4		Müller (2010b)
802	830	2.87	2.97			without additional amino acid supply	Walgern et al. (2011)
889	816	2.66	3.10			with additional amino acid supply	Walgern et al. (2011)
798	797	2.50	2.95	59.3	56.5		Meyer (2011)
906		2.41		61.5		experimental variation in the feeding of boars (3 groups)	Schulze Langenhorst et al. (2011)
893	851	2.49	2.80	61.2	58.8		
901		2.46		61.0			
1188	1107	2.24	2.67				Otten et al. (2013)

^A estimated according to SchwHKIV (1986)

³ Is it assumed that the N content of growth is constant for the whole of the pig's life.

The model used in this work is the fattening pig module of the German agricultural emission model GAS-EM that was developed to serve national emission reporting in compliance with international obligations⁴, as well as to provide a tool to evaluate emission reduction measures. For fattening pigs in particular, the module is able to reflect the national situation using an approach to assess emission from so-called mass flow considerations. However, the present version of the GAS-EM fattening pig module does not differentiate between gilts, barrows and boars. For the purpose of this work, sub-modules for the treatment of gilts, barrows and boars were derived that made use of gender specific N contents and feed intake rates.

3.2 Gender specific nitrogen contents

It is customary in Germany to use a standard N content of adult pigs of 2.56 % or 0.0256 kg kg⁻¹ N.⁵ Due to an increased ratio of lean meat to fat (see Table 1), boars should have a higher N content than both barrows and gilts. However, there are currently no German data that differentiate the N contents of boars, barrows and gilts.⁶

Barton-Gade (1987) published experimental data of protein contents of Danish boars, barrows and pigs of 4.7 %, 3.6 % and 4.0 %, respectively. Various breed combinations were tested. Slaughter weights were about 70 kg animal⁻¹. No weight gains were reported. The resulting N contents of the carcasses were low compared to the German situation.

Lawlor et al. (2005) quantified N contents of whole carcasses of Irish boars, barrows and gilts of 2.286 %, 2.144 % and 2.197 %, respectively. The experiment dealt with hybrids Landrace x (Landrace x Large White). Daily weight gains were in the same order of magnitude as German weight gains (710 to 750 g animal⁻¹ d⁻¹). Slaughter weights of 120 kg animal⁻¹ agree with German practice. For slaughter weights of 100 kg animal⁻¹, N contents were very similar to those used in Germany. Hence, this data set was preferred to estimate the respective N contents of fattening pigs as described subsequently.

The N content of a carcass is defined as

$$X_{N,c} = \frac{m_{N,c}}{w_c} \quad (1)$$

where

$X_{N,c}$ overall N content of a carcass (in kg kg⁻¹ N)
 $m_{N,c}$ mass of N in the carcass (in kg N)
 w_c mass of the carcass (in kg)

Assuming that the mean carcass weights of the pigs of various genders are about equal and that the overall N content of German pigs ($X_{N,mean,de}$) currently used in the GAS-EM model was established for a population consisting of equal shares of barrows and gilts, the N contents of boars, barrows and gilts carcasses can be estimated by Equations (2) to (4):

$$X_{N,boar,de} = X_{N,mean,de} \cdot \frac{X_{N,c,boar,ie}}{\frac{1}{2} \cdot (X_{N,c,barrow,ie} + X_{N,c,gilt,ie})} \quad (2)$$

$$X_{N,barrow,de} = X_{N,mean,de} \cdot \frac{X_{N,c,barrow,ie}}{\frac{1}{2} \cdot (X_{N,c,barrow,ie} + X_{N,c,gilt,ie})} \quad (3)$$

$$X_{N,gilt,de} = X_{N,mean,de} \cdot \frac{X_{N,c,gilt,ie}}{\frac{1}{2} \cdot (X_{N,c,barrow,ie} + X_{N,c,gilt,ie})} \quad (4)$$

where

$X_{N,boar,de}$ overall N content of German boar (in kg kg⁻¹ N)
 $X_{N,mean,de}$ overall N content of German pig (official mean) ($X_{N,mean,de} = 0.0256$ kg kg⁻¹ N)
 $X_{N,c,boar,ie}$ overall N content of a Irish boar carcass ($X_{N,c,boar,ie} = 0.02286$ kg kg⁻¹ N)
 $X_{N,c,barrow,ie}$ overall N content of a Irish barrow carcass ($X_{N,c,barrow,ie} = 0.02144$ kg kg⁻¹ N)
 $X_{N,c,gilt,ie}$ overall N content of a Irish gilt carcass ($X_{N,c,gilt,ie} = 0.02197$ kg kg⁻¹ N)
 $X_{N,barrow,de}$ overall N content of German barrows (in kg kg⁻¹ N)
 $X_{N,gilt,de}$ overall N content of German gilts (in kg kg⁻¹ N)

One obtains N contents of German boars, barrows and gilts of 0.0270 kg kg⁻¹ N, 0.0253 kg kg⁻¹ N and 0.0259 kg kg⁻¹ N respectively. These estimates were used for the subsequent excretion calculations.

3.3 Gender specific feed intake rates

FCR is a function of gender. However, the methodology used in GAS-EM does not allow for differentiation of genders. Instead, it calculates mean energy requirements and feed intake rates for a mixed population of gilts and barrows according to GfE (2008). Currently GAS-EM calculates a mean feed intake for a population of gilts and barrows. In this work we need to separately estimate the feed intakes of gilts, barrows and boars. Gender specific feed intake rates are here derived using feed conversion ratios deduced from published experiments (Table 4).

⁴ UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (EMEP, 2008), UN Framework Convention on Climate Change (IPCC, 1996, 2006), EU National Emission Ceilings Directive (Eionet, 2012)

⁵ This generally accepted value (DLG, 2005; LfL, 2006) is poorly documented but likely to be adequate; see data collated in Wesseling (2003) and GfE (2008). In principle, X_N should be a function of the share of lean meat content and thus depend on progress in breeding.

⁶ Kircheßner et al. (1989) investigated sows and barrows only.

Table 4
Data used for the assessment of mean *FCR* ratios

heads			daily weight gain g animal ⁻¹ d ⁻¹			<i>FCR</i> kg kg ⁻¹			note	Source
gilts	barrows	boars	gilts	barrows	boars	gilts	barrows	boars		
30	30		711	807		2.50	2.56			Biedermann et al. (2000)
57	24		932	1086		2.50	2.48		A	Borchers (2011)
18	60		928	1057		2.42	2.46		B	Borchers (2011)
8	34		904	1073		2.42	2.42		C	Borchers (2011)
4	37		948	1116		2.45	2.50		D	Borchers (2011)
108	108	216	849	902	862	2.39	2.55	2.25		Bünger et al. (2009)
34	34		800	833		2.51	2.66		E	Haus Düsse (2009)
32	34		892	854		2.54	2.68		F	Haus Düsse (2009)
34	32		820	828		5.51	2.67		G	Haus Düsse (2009)
	95	92		860	848		2.81	2.46	H	Hoppenbrock (1995)
				866	860				I	Hoppenbrock (1995)
	26	26		1053	1043		2.21	1.98	J	Schön and Janssen (2010)
	26	26		1032	1065		2.36	2.06	K	Schön and Janssen (2010)
8	8	8	640	670	680	3.44	3.19	3.11		Katurasitha et al. (2006)
120	120		917	943		2.65	2.78			Latorre et al. (2003)
566	561		837	906		2.30	2.43			Littmann et al. (2012)
	62	62		919	898		2.61	2.30		Matthes and Brüggemann (2010)
235	91	132	758	797	798	2.61	2.95	2.50		Meyer (2011)
42	22		938	1008		2.5	2.58			Meyer et al. (2012)
37	35	33	964	1012	1022	2.40	2.69	2.23		Müller (2010a, b)
				834	796		2.76	2.50		Müller (2010b)
45	44	17	864	946	970	2.36	2.58	2.28		Müller (2011)
	47	48		1107	1188		2.69	2.25		Otten et al. (2013)
13	13	13		931	883		2.54	2.34		Pauly et al. (2008)
99	86		746	822		2.57	2.58			Polten et al. (2010)
30	30	30	988	1032	1069	2.48	2.62	2.26		Quiniou et al. (2010)
20	20		892	972		2.46	2.58			Schön et al. (2012)
52	52		1010	979		2.37	2.36			Schön and Clar (2010)
24	19	20	831	958	940	2.88	2.77	2.63	L	Siers (1975)
21	14	16	790	826	894	3.27	3.42	3.07	M	Siers (1975)
165	150		794	832		2.94	3.11		N	Shirali et al. (2012)
117	104		805	829		3.49	3.66		O	Shirali et al. (2012)
18	18		850	925		2.74	3.05			Stupka et al. (2003)
85	85	85		830	802		2.97	2.87	P	Walgern et al. (2011)
85	85	85		816	889		3.10	2.66		Walgern et al. (2011)
	80	80		799	731		2.62	2.48		Xue et al. (1995)

Remarks: A values for 2008; B values for 2009; C values for 2010; D values for 2011; E target weight gain 850 g animal⁻¹ d⁻¹; F target weight gain 950 g animal⁻¹ d⁻¹; G target weight gain 950 g animal⁻¹ d⁻¹, lysine added; H slaughter weight 95 kg animal⁻¹; I slaughter weight 95 kg animal⁻¹; J slaughter weight 102 kg animal⁻¹; K slaughter weight 105 kg animal⁻¹; L spring; M autumn; N weight range 60 to 90 kg animal⁻¹; O weight range 90 to 120 kg animal⁻¹; P without additional amino acid supply; Q without additional amino acid supply

Relative feed conversion rates can be obtained from the weighted means (using animal numbers provided) of the *FCR* provided in Table 4, for pairs of gilts and barrows (comparison 1) and of boars and barrows (comparison 2), namely

- matching pairs for gilts and barrows (comparison 1, denoted *)

$$FCR_{gilt}^* = 2.62 \text{ kg kg}^{-1}$$

$$FCR_{barrow}^* = 2.68 \text{ kg kg}^{-1}$$

- matching pairs for boars and barrows (comparison 2, denoted **)

$$FCR_{boar}^{**} = 2.43 \text{ kg kg}^{-1}$$

$$FCR_{barrow}^{**} = 2.75 \text{ kg kg}^{-1}$$

From these *FCR* values, correction factors can be calculated to assess feed intake rates for gilts, barrows and boars from mean feed intake rates. For comparable overall weight gains the mean *FCR* of the present pig population consisting of equal shares of gilts and barrows⁷ can be derived as arithmetic mean (see denominator of Equations (5) to (7)):

$$f_{gilt} = \frac{FCR_{gilt}^*}{\frac{1}{2} \cdot (FCR_{gilt}^* + FCR_{barrow}^*)} \quad (5)$$

$$f_{barrow} = \frac{FCR_{barrow}^*}{\frac{1}{2} \cdot (FCR_{gilt}^* + FCR_{barrow}^*)} \quad (6)$$

$$f_{boar} = \frac{FCR_{barrow}^*}{\frac{1}{2} \cdot (FCR_{gilt}^* + FCR_{barrow}^*)} \cdot \frac{FCR_{boar}^{**}}{FCR_{barrow}^{**}} \quad (7)$$

where

- f_{gilt} correction factor relating FCR_{gilt} to the mean *FCR*
- FCR_{gilt}^* feed conversion ratio of gilts in comparison 1 (in kg kg⁻¹)
- FCR_{barrow}^* feed conversion ratio of barrows in comparison 1 (in kg kg⁻¹)
- f_{barrow} correction factor relating FCR_{barrow} to the mean *FCR*
- f_{boar} correction factor relating FCR_{boar} to the mean *FCR*
- FCR_{boar}^{**} feed conversion ratio of boars in comparison 2 (in kg kg⁻¹)
- FCR_{barrow}^{**} feed conversion ratio of barrows in comparison 2 (in kg kg⁻¹)

The correction factors as derived in the above equations are

$$f_{gilt} = 0.989$$

$$f_{barrow} = 1.011$$

$$f_{boar} = 0.893$$

The feed intake rates of gilts, barrows and boars can then be deduced from those calculated with the present GAS-EM procedure using Equations (8) to (10)

$$M_{feed, gilt} = M_{feed, present} \cdot f_{gilt} \quad (8)$$

$$M_{feed, barrow} = M_{feed, present} \cdot f_{barrow} \quad (9)$$

$$M_{feed, boar} = M_{feed, present} \cdot f_{boar} \quad (10)$$

where

- $M_{feed, gilt}$ feed intake of gilts (in kg animal⁻¹)
- $M_{feed, present}$ present feed intake as calculated with GAS-EM (in kg animal⁻¹)
- f_{gilt} correction factor relating FCR_{gilt} to $FCR_{present}$
- $M_{feed, barrow}$ feed intake of barrows (in kg animal⁻¹)
- f_{barrow} correction factor relating FCR_{barrow} to $FCR_{present}$
- $M_{feed, boar}$ feed intake of boars (in kg animal⁻¹)
- f_{boar} correction factor relating FCR_{boar} to $FCR_{present}$

4 Gender specific excretion rates in present German pig production (Step 3)

German pork production varies considerably with regions and years (Dämmgen et al., 2011b). For simplicity, a data set was constructed that represents typical conditions for the dominating production regions.

4.1 Performance data and N content of animals

Animal weights are used as typical for Niedersachsen (see Rösemann et al., 2013), i.e. begin of fattening: 30 kg animal⁻¹; final live weight 120 kg animal⁻¹. Feeding phases switch at 60 kg animal⁻¹ (see Rösemann et al., 2013).

The **mean weight gain** of the whole pig population is estimated to be approx. 750 g animal⁻¹ d⁻¹ (Rösemann et al., 2013).

The **N contents of the weight gains** derived in Chapter 3.2 were used throughout.

4.2 Feed properties and intake rates

In accordance with the data used in the German agricultural emission inventory, the feed properties listed in Table 5 are assumed to reflect the present reality. For the assessment of this data see Rösemann et al. (2013) and Dämmgen et al. (2011a). These data are listed in Table 5.

⁷ Shares of newborn females and males are 0.50 and 0.50 animal animal⁻¹, respectively, in Hühn et al. (2002), and 0.49 and 0.51 animal animal⁻¹ in Górecki (2003).

Table 5

Feed properties (related to dry matter) η_{ME} : ME content;
 x_{ash} : ash content; x_N : N content; X_{DE} : digestibility of energy;
 X_{DOM} : digestibility of organic matter

	η_{ME} MJ kg ⁻¹	x_{ash} kg kg ⁻¹	x_N kg kg ⁻¹	X_{DE} MJ MJ ⁻¹	X_{DOM} kg kg ⁻¹
phase 1	13.4	0.053	0.0280	0.8307	0.86
phase 2	13.0	0.057	0.0275	0.8170	0.84

ME requirements and feed ME contents allow for the assessment of feed intake rates. These intake rates are calculated for pigs (50 % gilts and barrows each) and then modified using the factors derived in Chapter 3.3.

4.3 Individual gender specific methane, volatile solids and nitrogen excretion rates

The excretion rates of CH₄ from enteric fermentation and the excretion rates of volatile solids (VS)⁸ are dependent on feed intake rates and feed properties (Dämmgen et al., 2011 a, b, 2012). Furthermore, the calculation of N excretion rates with faeces and urine⁹ presupposes the knowledge of the amount on N retained in growth. The ME intake rate is proportional to the feed intake rate. Data for the various genders and the 2010 situation are collated in Table 6.

All excretion and emission rates are given per animal and relate to the fattening period only, i. e. the excretion and emission rates of piglets and weaners are not included. They are proportional to excretions and emission rates per unit of weight gained.

In 2010, the pigs' excretion rates are the arithmetic means of the gilts' and barrows' excretion rates. As expected, all excretion rates for boars fall below those of gilts. It is also visible that CH₄ emission and VS excretion rates are directly related to ME intake rates, whereas the reductions for N and TAN are definitively larger due to N retention.

Percentage changes in ME intake rates, CH₄ emission and N excretion rates per animal are identical to the respective changes per unit of weight gained.

5 Example gender specific methane, ammonia, nitric and nitrous oxides emission rates - present situation (Step 4)

Manure management practices have an influence on emissions of CH₄ from storage and of NH₃, NO and N₂O. In order to allow for an extrapolation to the national scale, management was chosen to closely follow current German practices as used in the German inventory. If management practices are kept constant, then the relative emission reduction can be calculated.

Table 6

Modelled excretion rates per animal for the present situation with equal populations of gilts and barrows, no boars, and a weight gain of 750 g animal⁻¹ d⁻¹, as compared to gender specific excretion rates (Percentage increases¹⁰ and reductions as compared to pigs in brackets)

	ME intake rate		CH ₄ emission rate from enteric fermentation		VS excretion rate		N excretion rate (faecal and renal)		TAN excretion rate (renal)	
	MJ animal ⁻¹	ME	kg animal ⁻¹	CH ₄	kg animal ⁻¹	VS	kg animal ⁻¹	N	kg animal ⁻¹	N
pigs (2010)	3493		0.363		39.0		5.06		3.74	
gilts	3456	(-1.1)	0.359	(-1.1)	38.5	(-1.1)	4.96	(-2.1)	3.65	(-2.5)
barrows	3531	(1.1)	0.367	(1.1)	39.4	(1.1)	5.17	(2.1)	3.83	(2.5)
boars	3118	(-10.7)	0.324	(-10.7)	34.8	(-10.7)	4.14	(-18.1)	2.96	(-20.7)

⁸ "Volatile solids" (VS) are used to calculate CH₄ emissions from manure management. They are the organic dry matter excreted without its ash content. Technically, VS comprise the organic material in livestock manure that is oxidised during combustion at 800 °C. For details see Dämmgen et al. (2011a).

⁹ Renal N excretion contains compounds that are rapidly degraded to ammonium. Hence this fraction is called "total ammoniacal nitrogen" (TAN).

¹⁰ The percentage change of an excretion rate is calculated as follows:

$$R_X = \frac{E_{X, \text{gilt}}}{E_{X, \text{pig}}} \cdot 100 - 100$$

where

R_X change of the excretion rate of X from gilts as compared to pigs (2010) (in %)

$E_{X, \text{gilt}}$ excretion rate of X from gilts (in kg animal⁻¹ X)

$E_{X, \text{pig}}$ excretion rate of X from pigs (in kg animal⁻¹ X)

etc.

The following conditions were selected:

NH₃ emissions from houses vary with the housing type. A house with partially slatted floor without bedding was assumed typical. According to the IPCC methodology, emissions of N₂O, NO and CH₄ (from VS) are included in the emissions from storage. For CH₄ emissions from enteric fermentation see Table 6.

All emissions from storage depend on the storage type and on a potential cover. This work assumes that all slurry is stored in conventional tanks, half of which develop an effective natural crust. Air scrubbers and fermentation for biogas production are not considered.

NH₃ emissions from slurry application depend on the application technique, the plant-soil system and - for bare soil - the duration between application and incorporation. Here, trailing hoses are assumed to be used throughout. One half of the slurry is assumed to be applied to bare soil and incorporated within 4 hours, the other half applied to vegetation.

Direct N₂O and NO emissions originate from storage and from N application to the soil and are closely related to N excretions. They are included in the comparison.¹¹

Indirect N₂O emissions resulting from manure management (stemming from the deposition of emitted NH₃ and NO, and from N applied contaminating surface and ground waters) are also related to N excretions and included in the comparison.

National **emission factors** were used as in emission reporting as listed in Rösemann et al. (2013). For details see Dämmgen et al. (2012) (enteric fermentation), Dämmgen et al. (2010) (NH₃) and Dämmgen et al. (2011a) (greenhouse gases from manure management).

The gender specific emission rates obtained for fattening pigs are listed in Table 7.

Emissions per animal are closely related to the excretion rates listed in Table 6. The percentage increase and reduction of CH₄ both from enteric fermentation and from manure management equals that of ME intake rates. Direct N₂O and NO emission rates from manure storage are proportional to the

N excretion rates. The respective direct emissions from soil and the indirect emissions are final products of the N flow through the production system. Table 7 provides the total of the N₂O and NO emissions. For NH₃, slight deviations from the percentage originate from transformation processes during storage.

As in Table 6, percentage changes in emission rates per animal are identical to the respective changes per unit of weight gained.

6 Estimating potential emission rates in future German pork production (Step 5)

An estimate of potential emission changes resulting from the restructuring of herds (shift from barrow to boar production) should be as close to the German reality as possible. Hence, it should also reflect anticipated animal numbers (numbers of **animal places**) and the potential progress in animal breeding, in particular increased daily weight gains. This in turn has an effect on the duration of production cycles and subsequently the number of animals produced per place (animal rounds).

Initial and final weights as used in 2010 are kept for 2020, assuming that consumers' attitudes do not change. Feeding regimes and feed composition are also kept unchanged, as are all assumptions regarding housing systems and manure management.

6.1 Additional assumptions concerning animal numbers, animal performance data and herd management

The **number of animal places** provided in the official statistics has to be modified for the purpose of the inventory (Haenel et al., 2011). The inventory uses 14947.7 and 15370.7 thousand places for 2010 and 2020 respectively (Rösemann

Table 7

Modelled emission rates per animal for the present situation with equal populations of gilts and barrows, no boars, and a weight gain of 750 g animal⁻¹ d⁻¹, as compared to gender specific emissions (Percentage increases and reductions as compared to pigs in brackets)

	CH ₄ emission rate (enteric fermentation)		CH ₄ emission rate (manure management)		NH ₃ emission rate		N ₂ O emission rate		NO emission rate	
	kg animal ⁻¹ CH ₄		kg animal ⁻¹ CH ₄		kg animal ⁻¹ NH ₃		kg animal ⁻¹ N ₂ O		kg animal ⁻¹ NO	
pigs	0.363		1.57		1.99		0.299		0.0894	
gilts	0.359	(-1.1)	1.55	(-1.1)	1.94	(-2.4)	0.293	(-2.1)	0.0877	(-1.9)
barrows	0.367	(1.1)	1.58	(1.1)	2.04	(2.4)	0.305	(2.1)	0.0912	(1.9)
boars	0.324	(-10.7)	1.40	(-10.7)	1.58	(-20.6)	0.245	(-18.0)	0.0742	(-17.0)

¹¹ In the IPCC (1996) methodology, N₂O emissions originating from the application of manure are dealt with as emissions from soils.

Table 8
Pig production scenarios – variables.

Scenario	Shares in fattening pig population			Animal places	Overall weight gain	Resulting animal rounds
	gilts	barrows	boars	million places	g animal ⁻¹ d ⁻¹	animal place ⁻¹ a ⁻¹
baseline	0.50	0.50	0.00	15.0	750	2.70
A	0.50	0.00	0.50	15.0	750	2.70
B	0.50	0.00	0.50	15.0	900	3.17
C	0.50	0.00	0.50	15.4	750	2.70
D	0.50	0.00	0.50	15.4	900	3.17

et al., 2013). For the subsequent calculations, 15.0 million places are used to describe the situation in 2010, and 15.4 million places are anticipated for 2020. Half of these are males (barrows in 2010, boars in 2020), see footnote 7.

With respect to future fattening of gilts and boars expert judgement on **housing** is ambiguous. Both joint and separate feeding scenarios are being discussed at present. In the past, differences in weight gains of gilts and barrows did not result in separate fattening. With the shift from barrows to boars the differences in weight gains between males and females even decrease (weighted means derived from Table 4; note also the inconsistencies in Table 4 with respect to the ratios of weight gains). Hence we do not consider separate fattening as a scenario.

Table 8 contains the scenarios chosen to identify changes in emission rates. The baseline reflects the situation in 2010, with fattening of gilts and barrows only.

Animal rounds are calculated from weight gains assuming 15 days of vacancy (see Dämmgen et al., 2011b) between fattening cycles.

6.2 Enteric methane, volatile solids and nitrogen release rates of fattening pigs in 2010 and 2020

Table 9 collates the data needed to estimate future emissions. Excretion rates per place are obtained from excretions per animal (Table 6) multiplied by the number of animal rounds (Table 8).

Scenario D is the most likely scenario. Scenarios A to C help to interpret changes.

Scenario A considers the shift in the pig population from gilts and barrows to gilts and boars. The reductions in excretions are considerable as both gilts and boars have smaller excretion rates than the “mean pig” in 2010.

Scenario B introduces increased weight gains. The number of animals produced per place increases with the number of animal rounds. For enteric CH₄ and VS, the increase of excretion rates more than compensates the reduction due to changes in the herd composition (comparison with scenario A). It lessens the reduction for N and TAN.

Scenario C takes increased numbers of animal places into account. Reductions in excretion rates are identical to those in scenario A.

Scenario D combines changes in herd composition, animal weight gain and numbers of animal places. The reductions in excretion rates are identical to those in scenario B.

Potential changes in feeding (low N diets, increased number of feeding phases), housing (e.g. air scrubbers) manure management (e.g. increased share of low emission techniques) are not included in this paper.

6.3 National emission rates in 2020

Table 10 combines the number of animal places with the emission rates listed in Table 9. The number of animals produced is provided for comparison.

Table 9
Modelled excretion rates per animal place (percentage increases and reductions as compared to pigs 2010 as baseline in brackets)

	Animals places 10 ⁶ places	CH ₄ emission rate (enteric) kg place ⁻¹ CH ₄	VS excretion rate kg place ⁻¹ VS	N excretion rate kg place ⁻¹ N	TAN excretion rate kg place ⁻¹ N
baseline	15.0	0.98	105.3	13.68	10.11
A	15.0 (0.0)	0.92 (-5.9)	99.1 (-5.9)	12.30 (-10.1)	8.94 (-11.6)
B	15.0 (0.0)	1.01 (2.9)	108.4 (2.9)	12.94 (-5.4)	9.26 (-8.4)
C	15.4 (2.7)	0.92 (-5.9)	99.1 (-5.9)	12.30 (-10.1)	8.94 (-11.6)
D	15.4 (2.7)	1.01 (2.9)	108.4 (2.9)	12.94 (-5.4)	9.26 (-8.4)

Table 10

Modelled national emissions in the year 2020 (in brackets: percentage changes ¹² and reductions as compared to the baseline)

Scenario	Parameters changed *			Animals produced		CH ₄ emission rates (enteric)		CH ₄ emission rates (manure management)		NH ₃ emission rates		N ₂ O emission rates		NO emission rates		GHG emission rates, present GWP**		GHG emission rates, future GWP**	
	HC	WG	NP	10 ⁶ animals a ⁻¹		Gg a ⁻¹ CH ₄		Gg a ⁻¹ CH ₄		Gg a ⁻¹ NH ₃		Gg a ⁻¹ N ₂ O		Gg a ⁻¹ CO ₂ -eq		Gg a ⁻¹ CO ₂ -eq			
Base-line				40.6	(0.0)	14.7	(-5.9)	63.5	(-5.9)	80.6	(-11.5)	4.48	(-10.0)	3.63	(-9.5)	3032	(-7.8)	3291	(-7.6)
A	X			40.6	(0.0)	13.8	(-5.9)	59.8	(-5.9)	71.4	(-11.5)	4.03	(-10.0)	3.28	(-9.5)	2796	(-7.8)	3042	(-7.6)
B	X	X		47.6	(17.4)	15.1	(2.9)	65.3	(2.9)	74.0	(-8.2)	4.25	(-5.3)	3.48	(-4.1)	3006	(-0.9)	3277	(-0.4)
C	X		X	41.6	(2.7)	14.2	(-3.4)	61.3	(-3.4)	73.3	(-9.1)	4.14	(-7.6)	3.37	(-7.0)	2870	(-5.3)	3123	(-5.1)
D	X	X	X	48.9	(20.5)	15.5	(5.7)	67.1	(5.7)	76.0	(-5.8)	4.36	(-2.8)	3.57	(-1.6)	3087	(1.8)	3365	(2.2)

* HC: herd composition (shift from borrows to boars); WG weight gain; NP: number of animal places
 ** see footnote 13

7 Discussion and conclusions

Excretion and emission rates per individual fattening pig as listed in Tables 6 and 7 clearly show that the changes in excretion and emission are affected by feed intake rather than the body composition. These results show that if the change in gender composition occurred without changes in the production system there would be a significant reduction in the emissions of both GHG and NH₃. However, the simultaneous changes expected in the production system as reflected in scenario D are likely to counteract these changes.

The future **number of animals produced** will increase by more than 20 % between 2010 and 2020 (scenario D), with the major contribution being the improved performance (i. e. increased weight gains resulting in increased numbers of animals produced per place and year, scenario B) rather than the projected increase in animal places (scenario C).

In comparison to the number of animals produced, the increase in emission rates for **CH₄** is low (scenario D: 5.7 % for both enteric and manure management emissions). The effect of the shift from barrows to boars (scenario A) is clearly visible. Increased weight gains and increased numbers of animal places reduce this effect. As a result, future changes in pork production are unlikely to be beneficial to CH₄ emission reductions.

For **NH₃**, a considerable emission reduction can be achieved by replacing barrows with boars despite the increased numbers of animals produced. Likewise, the emissions of

N₂O and **NO** will be reduced, albeit less than NH₃ and with different percentages. For N₂O, both direct and indirect emissions are considered. NO emissions originate directly from manure management and N applied to soils. Hence, their reduction potentials are different.

Overall **greenhouse gas** (GHG) emissions (calculated from CH₄ and N₂O emissions using the global warming potentials, GWP, see footnote ¹³ are also affected. They are clearly reduced in Scenario A. With increased numbers of animals produced, the reductions in N₂O emissions only partly compensate the effect of increased CH₄ emissions.

The emission rates calculated for the baseline differ from those published in Rösemann et al. (2013). The calculations for this paper make use of simplifying assumptions without regional differentiation of weights, weight gains, manure management systems and service times. Furthermore an updated emission factor for CH₄ from enteric fermentation was applied.

With respect to national totals of GHG emissions (in the order of magnitude of 1 million Gg a⁻¹ CO₂-eq; UBA, 2012a), the changes in fattening pig production have little effect. However, the reduction of 4 to 5 Gg a⁻¹ NH₃ as compared to the national total of about 550 Gg a⁻¹ NH₃ (UBA, 2012b) is likely to be a most welcome contribution to the mitigation of agricultural NH₃ emissions – a reduction obtained without additional costs!

The results obtained in this work indicate that the shift from barrow to boar production has significant impact on NH₃ emissions. However, the assessment of the amounts of N retained is based on a German data set is poorly documented. That should lead to an evaluation of data and methods that include the progress in animal breeding with respect to changes in carcass composition.

¹² The percentage change is calculated as follows:

$$R_X = \frac{E_{X, \text{pig_scen}}}{E_{X, \text{pig_base}}} \cdot 100 - 100$$

where

R_X change of the emission rate of X from future pigs (pigs 2020) as compared to the baseline (pigs 2010) (in %)

E_{X, pig_scen} emission rate of X from future pigs (scenario) (in kg animal⁻¹ X)

E_{X, pig_base} emission rate of X from present pigs (baseline) (in kg animal⁻¹ X)

¹³ GWP_{CH4} of 21 and GWP_{N2O} of 310 kg kg⁻¹ CO₂-eq to be used in the present emission reporting according to IPCC (1996); GWP_{CH4} of 25 and GWP_{N2O} of 298 kg kg⁻¹ CO₂-eq as in the IPCC Fourth Assessment report to be used in future (IPCC, 2007)

It is recommended that the changes in the herd composition of fattening pigs from gilts and barrows to gilts and boars be included in emission reporting.

Irrespective of any these changes in herds or carcass composition, likely changes in the production system should be included in the emission projections.

Acknowledgements

Leibniz Institute for Farm Animal Biology (FBN) kindly supported the work of UD which is gratefully acknowledged.

References

- Babol J, Squires EJ (1995) Quality of meat from entire male pigs. *Food Res J* 28:201-212
- Barton-Gade PA (1987) Meat and fat quality in boars, castrates and gilts. *Livest Prod Sci* 16:187-196
- Biedermann G, Jatsch Ch, Peschke W, Lindner J-P, Wittmann W (2000) Mast- und Schlachtleistung sowie Fleisch- und Fettqualität von Piétrain-Schweinen unterschiedlichen MHS-Genotyps und Geschlechts. *Arch Tierz (Dummerstorf)* 43(2):165-178
- BMELV-Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2012) Entwurf eines Dritten Gesetzes zur Änderung des Tierschutzgesetzes [online]. To be found at <http://www.bmelv.de/Shared-Docs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Tierschutz/BT-Drucks17_10572EntwurfTierschutzgesetz.pdf?__blob=publicationFile> [quoted 07.02.2013]
- Borchers N (2011) Qualitätsprüfung für Schweine : Futterkamp ; Leistungsprüfungsbericht 2011 [online]. To be found at <<http://www.lksh.de/fileadmin/dokumente/Landwirtschaft/Tier/Schweine/Leistungspruefbericht-2011.pdf>> [quoted 24.7.2012]
- BPEX (2012) EU Average pig carcass weights [online]. To be found at <<http://www.bpex.org/prices-facts-figures/production/EUCarcassWeights.aspx>> [quoted 07.02.2013]
- Brade W, Flachowsky G (2006) Schweinezucht und Schweinefleischerzeugung : Empfehlungen für die Praxis. Braunschweig : FAL, 247 p, Landbauforsch Völknerode SH 296
- Bünger B, Zacharias B, Grün P, Tholen E, Schrade H (2009) Futteraufnahmeverhalten und Bewegungsaktivität von Ebern, Kastraten und weiblichen Mastschweinen unter LPA-Bedingungen [online]. To be found at <<http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1366482/index.pdf>> [quoted 07.02.2013]
- Dämmgen U, Haenel H-D, Rösemann C, Eurich-Menden B, Döhler H (2010) Derivation of TAN related ammonia emission factors in pig production. *Landbauforsch* 60(4):241-248
- Dämmgen U, Amon B, Gyldenkerne S, Hutchings NJ, Kleine Klausing H, Haenel H-D, Rösemann C (2011a) Reassessment of the calculation procedure for the volatile solids excretion rates of cattle and pigs in the Austrian, Danish and German agricultural emission inventories. *Landbauforsch* 61(2):115-126
- Dämmgen U, Brade W, Schulz J, Kleine Klausing H, Hutchings NJ, Haenel H-D, Rösemann C (2011b) The effect of feed composition and feeding strategies on excretion rates in German pig production. *Landbauforsch* 61(4):327-342
- Dämmgen U, Schulz J, Kleine Klausing H, Hutchings NJ, Haenel H-D, Rösemann C (2012) Enteric methane emissions from German pigs. *Landbauforsch* 62(3):83-96
- DLG-Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (2005) Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Frankfurt a M : DLG-Verl, 69 p, Arbeiten DLG 199
- DLG-Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (2010) Erfolgreiche Mastschweinefütterung : eine Information des DLG-Arbeitskreises Futter und Fütterung. Frankfurt a M : DLG-Verl, 80 p
- Dunshae F, Colantoni C, Howard K, McCauley I, Jackson P, Long K, Lopatnicki S, Nugent EA, Simons J, Walker J, Hennessy D (2001) Vaccination of boars with a GnRH vaccine (Improvac) eliminates boar taint and increases growth performance. *J Anim Sci* 79:2524-2535
- Eionet - European Environment Information and Observation Network (2012) Reporting obligations [online]. To be found at <<http://rod.eionet.europa.eu/obligations>> [quoted 07.02.2013]
- EMEP - European Monitoring and Evaluation Programme (2008) Draft 2007 Guidelines for estimating and reporting emission data [online]. To be found at <http://www.emep.int/emis2008/RevisedGL_Background.html> [quoted 15.06.2012]
- Frederiksen B, Font i Furnols M, Lundström K, Migdal W, Prunier A, Tuytens FAM, Bonneau M (2009) Practice of castration of piglets in Europe. *Animal* 3:1480-1487
- Frieden L, Looft C, Tholen E (2011) Breeding for reduced boar taint. *Lohmann Information* 46:21-27
- Fuchs Th, Nathues H, Koehrmann A, Andrews S, Brock F, Klein G, grosse Beilage E (2011) Comparative growth performance of pigs immunised with a gonatropin releasing factor with surgically castrated pigs and entire boars raised under conventionally managed conditions. *Berl Münch Tierärztl Wschr* 124:22-27
- Fuller MF, Franklin MF, McWilliam R, Pennie K (1995) The responses of growing pigs, of different sex and genotype, to dietary energy and protein. *J Anim Sci* 60:291-298
- GfE - Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2008) Recommendations for the supply of energy and nutrients to pigs. Frankfurt a M : DLG-Verl, 245 p, Energy and nutrient requirements for livestock 10
- Gispert M, Oliver MÀ, Velarde A, Suarez P, Pérez J, Font i Furnols M (2010) Carcass and meat quality characteristics of immunocastrated male, surgically castrated male, entire male and female pigs. *Meat Sci* 85:664-670
- Górecki MT (2003) Sex ratio in litters of domestic pigs (*Sus scrofa* f. *domestica* Linnaeus, 1758). *Biol Lett* 40(2):111-118
- Götz K-U, Littmann E, Wittmann W, Dodenhoff J (2009) Impfung gegen Ebergeruch oder züchterische Maßnahmen. *SchrR Bayer Landesanst Landwirtsch* (13):43-51
- Haenel H-D, Dämmgen U, Rösemann C (2011) Estimating numbers of piglets, weaners and fattening pigs for the German agricultural emission inventory. *Landbauforsch* 61(3):229-236
- Hagmüller W (2006) Chirurgische Ferkelkastration - gibt es Alternativen? In: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein (ed) Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein 2006 : Tierschutz am landwirtschaftlichen Betrieb - Eigenverantwortliche Umsetzung in Tierhaltung, Management und Tierbetreuung ; 16. November 2006. Irdning : HBLFA, pp 31-33
- Hagmüller W, Gallnböck M (2010) Mast von immunokastrierten Schweinen - praktische Erfahrungen. In: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein (ed) Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein 2010 : von Rindern, Schweinen, Hühnern und Menschen ; gemäß Fortbildungsplan des Bundes ; 27. Mai 2010. Irdning : LFZ, pp 55-58
- Haus Düsse - Landwirtschaftszentrum Haus Düsse (2009) Mehr Leistung und Wirtschaftlichkeit durch unterschiedliche Nährstoffversorgung von Börgen und Sauen? [online]. To be found at <<http://www.duesse.de/tierhaltung/schweine/versuche/mastschweine/pdf/2009-vg78-versorgungsempfehlungen.pdf>> [quoted 07.02.2013]
- Hoppenbrock K-H (1995) Mastleistung von Ebern. *Angewandte Wissenschaft* 449:81-83
- Hühn R, Tuchscherer A, Breite L, Grodzycki M, Hühn U (2002) Einfluss des Geschlechterverhältnisses im Ausgangswurf von Jungsaunen auf deren Fruchtbarkeitsleistungen. *Züchtungskunde* 74:56-69
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (1996) Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories : vol 3 : Reference manual [online]. To be found at <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>> [quoted 07.02.2013]
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories : vol 4: Agriculture, forestry and other land use ; Chapter 10: Emissions from livestock and manure management [online]. To be found at <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf> [quoted 07.02.2013]

- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate change 2007 : working group I: The physical science basis : 2.10.2: Direct global warming potentials [online]. To be found at <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html> [quoted 07.02.2013]
- Kallweit E, Parvizi N, Klobasa F, Hennin H, Böhme H (1999) Ebermast mit unterschiedlicher Proteinversorgung. *Arch Tierzucht (Dummerstorf)* 42(6):583-591
- Kanis E, Koops W (1990) Daily gain, food intake and food efficiency in pigs during the growing period. *Anim Prod* 50:353-364
- Katurasitha S, Kamopas S, Suppadit T, Khiossaard R, Kreuzer M (2006) The effect of gender of finishing pigs slaughtered at 110 kilograms on performance, and carcass and meat quality. *ScienceAsia* 32:297-305
- Kirchgeßner M, Kreuzer M, Roth FX (1989) Aminosäurezusammensetzung und -retention in Ganzkörper, Muskelpartien, Innereien und Blut bei 60 kg und 100 kg schweren Mastschweinen beiderlei Geschlechts. *J Anim Physiol Anim Nutr* 61:93-104
- Latorre MA, Medel P, Fuentetaja A, Lázaro R, Mateos GC (2003) Effect of gender, terminal sire line and age of slaughter on performance, carcass characteristics and meat quality of heavy pigs. *Anim Sci* 77:33-45
- Lawlor PG, Lynch PB, Mullane J, Kerry JP, Hogan SA, Allen P (2005) Enhancement of pigmeat quality by altering pre-slaughter management : end of project report 4939 [online]. To be found at <http://www.teagasc.ie/pigs/research/EOPReport4939Plawlor.pdf> [quoted 07.02.2013]
- LfL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2006) Basisdaten zur Berechnung des KULAP-Nährstoffsaldos 2006, Stand: August 2006. Tabelle 8 : Nährstoffgehalte tierischer Produkte [online]. To be found at <http://www.alf-kf.bayern.de/pflanzenbau/linkurl_0_4_0_2.pdf> [quoted 20.02.2013]
- Lindermayer H, Preißinger W, Propstmeier G, Schedle K (2012) Ebermast - Fütterungsversuch mit Lysinanehebung und Inulingaben zur Reduzierung des Ebergeruchs. (Skatol) : Versuchsbericht VPS 28 [online]. To be found at <http://www.lfl.bayern.de/ite/schwein/44187/linkurl_0_7_0_0.pdf> [quoted 07.02.2013]
- Littmann E, Dodenhoff J, Reinhardt D (2012) Leistungsvergleich zwischen Sauen und Kastraten bei unterschiedlichen Mastendgewichten [online]. To be found at <<http://www.lfl.bayern.de/itz/schwein/44268/index.php>> [quoted 07.02.2013]
- Matthes W, Brüggemann J (2010) Ist die Schweineproduktion in MV auf die Herausforderungen von morgen vorbereitet? [online]. To be found at <http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Tierproduktion/Schweineproduktion/Schweine-tag_2010/Matthes.pdf> [quoted 18.02.2013]
- Meyer A, Vogt W, Brade W (2012) Böрге ad libitum oder rationiert füttern? [online]. To be found at <<http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/1/nav/1093/article/19434.html>> [quoted 07.02.2013]
- Meyer E (2011) Was leisten die Eber? [online]. To be found at <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/MeyerEberleistung_Fachinfo.pdf> [quoted 07.02.2013]
- Müller S (2010a) Ebermast – was erwartet die Schweineproduzenten? [online]. To be found at <<http://www.mszy.de/sza/37/s42.pdf>> [quoted 07.02.2013]
- Müller S (2010b) Erfahrungen zur Ebermast - Untersuchungen in Thüringen [online]. To be found at <<http://www.tll.de/ainfo/pdf/mast1010.pdf>> [quoted 07.02.2013]
- Müller S, Ott M, Reimann G, Weiler U (2010) Eber auf Herz und Nieren geprüft. *DLZ Primus Schwein* (12):40-45
- Müller S (2011) Jungeber-Masthybriden aus dem Zuchtprogramm des MSZV sind wachstumsfreudig und fleischreich. *Schweinezucht* aktuell 38:18-19
- Müller S, Weber M, Hagemann L, Berk A, Otten C, Büsing K, Zeyner A, Krüger K, Riewenherm G, Hardinghaus A, Claus H, Matthes W (2012) Erste Ergebnisse von Exaktfütterungsversuchen zur bedarfsgerechten Versorgung von Masthybridebern. In: 18. Mitteldeutscher Schweine-Workshop in Bernburg : die leistungsfähige Sau ; 11. und 12. Mai 2012 ; wissenschaftliche Beiträge. Bernburg : Hochschule Anhalt, pp 63-70
- Otten C, Berk A, Dänicke S (2013) Voluntary feed intake and growth performance of boars and barrows in dependence on lysine-to-energy ratio. *Arch Anim Breeding*, submitted
- Pauly C, Spring P, O'Doherty JV, Bee G (2008) Effect of castration of male pigs on fat quality [online]. To be found at <http://www.eaap.org/Previous_Annual_Meetings/2008Vilnius/Papers/published/14_Pauly2.pdf> [quoted 07.02.2013]
- Polten S, Weber M, Clar U (2010) Mast- und Schlachtleistungen von Endprodukten bei unterschiedlichen Fütterungsintensitäten in Gruppenhaltung [online]. To be found at <<http://isa-st23.sachsen-anhalt.de/llg/infoteh/dokumente/FutterstrategienMast.pdf>> [quoted 18.02.2013]
- Preinersdorfer A, Leithold A, Huber G, Krimberger B, Mösenbache-Molterer I (2010) Erfahrungen zur Ebermast. In: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein (ed) Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein 2010 : von Rindern, Schweinen, Hühnern und Menschen ; gemäß Fortbildungsplan des Bundes ; 27. Mai 2010. Irdning : LFZ, pp 47-54
- Quaing M (2012) Ebervermarktung - noch sind viele Fragen offen. *Landw Wochenblatt* 26:30-31
- Quiniou N, Courboulay V, Salaün Y, Chevillon P (2010) Impact of the non castration of male pigs on growth performance and behaviour : comparison with barrows and gilts [online]. To be found at <http://www.eaap.org/Previous_Annual_Meetings/2010Crete/Papers/17_Quiniou.pdf> [quoted 07.02.2013]
- Quiniou N, Dubois S, Noblet J (2000) Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livestock Prod Sci* 63:245-253
- QS - Quality Scheme for Food (2012) Quality assurance from farm to shop [online]. To be found at <http://www.q-s.de/our_company_qsgmbh.html> [quoted 07.02.2013]
- Rösemann C, Haenel H-D, Dämmgen U, Poddey E, Freibauer A, Wulf S, Eurich-Menden B, Döhler H, Schreiner C, Bauer B, Osterburg B (2013) Calculation of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990-2011 : Report on methods and data (RMD) Submission 2013. Braunschweig : Thünen Rep 1/2013 (in preparation)
- Schön A, Brade W, Vogt W (2012) Untersuchung zum Muskel- und Fettgewebeansatz wachsender Schweine [online]. To be found at <<http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/1/nav/1093/article/17105.html>> [quoted 07.02.2013]
- Schön A, Clar U (2010) ADN-Sau x Kantor-Eber : 1000g Zunahme/Tag mit guter Fleischleistung bei optimaler Fütterung kein Problem. Jahresber Leistungsprüfung Projekte in der Tierhaltung / LWK Niedersachsen 2010:102-104
- Schön A, Janssen H (2010) Mast- und Schlachtleistungen von Kastraten und Ebern im Vergleich. *Rekasan-J* 17(33/34):99-101
- Schulze Langenhorst Ch, Büttfering L, Adam F (2011) Mastabschnitte und bedarfsgerechte Aminosäureversorgung in der Jungebermast. [online]. To be found at <<http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/schweinehaltung/pdf/tabellen-mastabschnitte-jungeber.pdf>> [quoted 07.02.2013]
- SchwHKIV (1986) Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Schweineschlachtkörper (Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung - SchwHKIV) [online]. To be found at <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/hdllkschwv_1986/gesamt.pdf> [quoted 18.02.2013]
- Shirali M, Doeschl-Wilson A, Knap PW, Duthie C, Kanis E, van Arendonk JAM, Roche R (2012) Nitrogen excretion at different stages of growth and its association with production traits in growing pigs. *J Anim Sci* 90:1756-1765
- Siers DG (1975) Live and carcass traits in individually fed Yorkshire boars, barrows and gilts. *J Anim Sci* 41:522-526
- Škrlep M, Šegula B, Zajek M, Kastelic M, Košorok S, Fazarinc G, Čandek-Potokar M (2010) Effect of immunocastration (Improvac®) in fattening pigs : I: Growth performance, reproductive organs and malodorous compounds. *Slov Vet Res* 47(2):57-64
- Stupka R, Šprysl M, Čitek J, Neuzil T, Červenka T (2003) The effect of controlled nutrition on fattening capacity and carcass lean meat share with respect to sex in pigs. *Sci Agric Bohemica* 34:34-40
- UBA - Umweltbundesamt (2012a) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2012 : nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2012 [online]. To be found at <http://www.uba.de/uba-info-medien/4292.html> [quoted 07.02.2013]

- UBA - Umweltbundesamt (2012b) German Informative Inventory Report (IIR) [online]. To be found at <iir-de.wikidot.com> [quoted 07.02.2013]
- Walgern B, Freisfeld G, Reifig M (2011) Potenzial vorhanden : spezielle Futterkonzepte für die erfolgreiche Ebermast [online]. To be found at <http://www.agravis.biz/agravis_aktuell/auszuege/Agravis0110_18-19.indd.pdf> [quoted 07.02.2013]
- Weiß J, Pabst W, Strack KE, Granz S (2005) Tierproduktion. Stuttgart : Parey. 579 p
- Wesseling B (2003) Zur Wirksamkeit von Futteraminosäuren beim Schwein. Göttingen : Cuvillier, 159 p
- Xue JL, Dial GD, Schuiteman J, Kramer A, Fisher C, Marsh WE, Morrison RB, Squires EJ (1995) Evaluation of growth, carcass, and compound concentrations related to boar taint in boars and barrows. *J Swine Health Product* 3(4):155-160
- ZDS - Zentralverband der Deutschen Schweineproduktion (1991 to 2010) Zahlen aus der Deutschen Schweineproduktion. Bonn : ZDS

Evaluation of a device for continuous measurement of rumen pH and temperature considering localization of measurement and dietary concentrate proportion

Malte Lohölter*, Rebecca Rehage*, Ulrich Meyer*, Peter Lebzien*, Jürgen Rehage**, and Sven Dänicke*

Abstract:

Continuous rumen pH and temperature measurement may be useful tools for diverse purposes including the detection of subacute ruminal acidosis. The objectives of the present study were to evaluate a device for continuous monitoring of rumen pH and temperature of cattle focussing on rumen pH determination and to test the effects of measurement localization as well as dietary concentrate proportion on rumen pH and temperature. Four rumen-fistulated cows were fed on two diets containing 0 and 40 % concentrate. Measurement was executed for two days per cow and diet. One probe was inserted each in the dorsal and ventral rumen sac to measure pH and temperature. Manual temperature determination and pH measurement were performed postprandial in direct proximity to the probes at preset short term intervals. PH sensors were tested for drift. The pH sensor drift was inconsistent with a considerable individual variation. A moderate correlation between manual and continuous measurement of pH ($r = 0.59$, $p < 0.001$) and temperature ($r = 0.46$, $p < 0.001$) was calculated. A Bland-Altman comparison of both methods indicated moderate agreement. A bias effect of probe pH determination with a pH overestimation in the range of low rumen pH below 6.0 and an underestimation of higher rumen pH was observed. Rumen pH was not affected by the localization of measurement but by diet and time after feeding. Significant effects of localization, diet and time and an interaction of localization and diet on rumen temperature were found. In conclusion, the evaluated technique was promising. Indications of inaccuracy of probe pH measurement suggested the need of further improvement.

Keywords: *continuous rumen pH measurement, rumen temperature, concentrate proportion*

Zusammenfassung

Evaluierung eines Gerätes zur kontinuierlichen Messung von Pansen-pH und -temperatur unter Berücksichtigung von Messort und Kraftfutteranteil der Ration

Die Messung von Pansen-pH und -temperatur kann zur Detektion einer subakuten Pansenazidose beitragen. Ziel dieser Arbeit war die Evaluierung eines Gerätes zur kontinuierlichen Bestimmung beider Parameter bei variierendem Messort und Kraftfutteranteilen von 0 und 40 % in der Ration. Vier am Pansen fistulierte Kühe wurden mit jeweils einem Gerät im dorsalen und ventralen Pansen ausgerüstet. Zusätzlich erfolgten zu definierten Zeitpunkten manuelle Messungen in unmittelbarer Nähe der Geräte. Die pH-Drift der Sensoren war bei den einzelnen Geräten uneinheitlich mit einer hohen Variation. Eine moderate Korrelation lag zwischen manueller und kontinuierlicher pH- ($r = 0,59$) und Temperaturmessung ($r = 0,46$) vor. Ein Bland-Altman Vergleich deutete auf eine mäßige Übereinstimmung der pH-Messungen hin. Es wurden Hinweise auf Ungenauigkeiten der kontinuierlichen pH-Bestimmung mit einer Überschätzung niedriger Werte unter 6,0 und einer Unterschätzung hoher Werte über 6,5 beobachtet. Der Pansen-pH wurde durch die Ration und die Zeit nach der Fütterung nicht aber durch den Messort beeinflusst. Signifikante Effekte des Messortes, der Ration und der Zeit nach der Fütterung auf die Pansentemperatur und eine Interaktion des Messortes und der Ration wurden ermittelt. Die evaluierte Messtechnik hat ein hohes Potential, Indikationen von Messungenauigkeiten weisen jedoch auf die Notwendigkeit einer Verbesserung der pH-Bestimmung hin.

Keywords: *kontinuierliche Pansen-pH-Messung, Pansentemperatur, Kraftfutteranteil*

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

** University of Veterinary Medicine Hanover, Clinic for Cattle, Bischofsholer Damm 15, D-30173 Hanover, Germany

Contact: ulrich.meyer@fli.bund.de

1 Introduction

Subacute ruminal acidosis (SARA) is a metabolic disorder affecting rumen fermentation and functionality, animal health and productivity of dairy cows with a considerable prevalence in European herds (Kleen et al., 2009; Morgante et al., 2007). It may be induced by the consumption of diets containing high amounts of easily fermentable carbohydrates, particularly in combination with a rumen environment insufficiently adapted to such diets as frequently occurring in post-partum periods (Kleen et al., 2003). Feeding high amounts of grain results in increased production of short chain fatty acids (Bauman et al., 1971) and decreased rumen pH, whereas especially in early lactation the rumen mucosal papillae are short with a small surface for the absorption of short chain fatty acids.

Various thresholds of rumen pH have been discussed to indicate the onset of SARA. Garrett et al. (1999) suggested a critical value of 5.5 and discussed the determination of pH in rumen fluid from group subsamples as a potential tool to detect SARA in dairy cow herds. In a recent study, the onset of SARA was supposed to be characterized by a rumen pH below 5.6 for at least three hours per day (Gozho et al., 2005). The validity of results obtained by pH measurement in rumen fluid gained either by means of rumenocentesis, via oro-ruminal probes or through a rumen cannula as frequently executed in research is discussed to be limited. Restricted times of sampling, sample and animal number as well as sampling sites in the rumen or saliva contamination may affect the significance of obtained results. Furthermore the mentioned methods can hardly be applied by farmers. Enemark (2008) discussed the continuous monitoring of rumen pH instead of spot sampling as a promising measure to contribute to SARA diagnosis. One opportunity to realize a continuous pH measurement may be the use of indwelling rumen probes, which would allow the animal to move freely and undisturbed and would offer the benefit of sampling rumen pH at programmed intervals and thus give the chance to closely follow the course of rumen pH as influenced by different feeding regimes (Enemark, 2008). After the beginning of continuous rumen pH determination by means of intraruminal devices (Dado and Allen, 1993) various probes were evaluated for the application both in small ruminants (Penner et al., 2009) and cattle (Enemark et al., 2003; Penner et al., 2006; Phillips et al., 2010). Effects of the sites of sampling on pH of withdrawn rumen fluid were reported, mean pH values at the cranial-dorsal rumen were slightly but not significantly lower than those at the cranial-ventral rumen (Duffield, 2004; Li et al., 2009). Dietary concentrate proportion is well known to affect rumen pH (AlZahal et al., 2009; Mishra et al., 1970), though small alterations of the forage: concentrate ratio in dairy cow diets do not necessarily influence mean rumen pH (Maekawa et al., 2002). Information about interactions of the localization of pH measurement in the rumen and the amount of concentrate fed is rare but may be valuable for the interpretation of pH data determined by indwelling rumen probes.

Recently, Kaur et al. (2010) tested commercially available devices for rumen pH, pressure and temperature measure-

ment with the ability of telemetric data transfer (KB 1101 bolus, Kahne Limited, New Zealand). They observed a weak relationship between bolus and manual pH measurement in withdrawn rumen fluid and a steadily increasing pH sensor drift. Bolus pH determination was performed via ISFET (ion-selective field-effect transistor) sensors, which may show long-term drift and low performance in comparison to glass electrodes (Oelssner et al., 2005). Meanwhile, a renewed successor of these probes is available using a glass membrane sensor for pH measurement. Though an improved accuracy and agreement with manual rumen pH determination may be expected, reliable information about the actual performance of that transformed probe is required. Furthermore, rumen temperature measurement may aid in the detection of SARA since a close inverse correlation with rumen pH was reported (AlZahal et al., 2008). Forestomach temperature was found to be strongly correlated with rectal temperature (Bewley et al., 2008; Burns et al., 2002) and may also be a useful diagnostic parameter for the detection of estrus, heat stress or infectious diseases in dairy cows (Fordham et al., 1988; Kadzere et al., 2002; Martello et al., 2010). The aim of the present study was to evaluate new commercially available devices for pH, temperature and pressure measurement in the rumen of cattle primarily focussing on the examination of pH measurement and to test potential effects of the localization of measurement in the rumen as well as dietary concentrate proportion on rumen pH and temperature.

2 Materials and Methods

2.1 Animals and feeding

The present study was performed at the Experimental Station of the Institute of Animal Nutrition, Friedrich-Loeffler-Institute (FLI), Federal Research Institute for Animal Health in Braunschweig, Germany, in compliance with the European Union Guidelines concerning the protection of experimental animals. Four non-lactating German Holstein cows with a mean initial bodyweight of 614 ± 76 kg equipped with large rubber cannulas in the dorsal rumen sac were used in the experiment, which was divided into two successive periods. Due to illness one animal had to be replaced by a lactating cow before adaptation feeding of diet 2 was started. The animals were kept in a tethered barn with individual troughs and free access to water. Two diets were fed successively after three weeks of adaptation each. Feeding was performed *ad libitum* twice daily at 05:15 and 15:15 h. Daily individual dry matter intake was recorded to calculate organic matter intake. Diet 1 was composed of 60 % maize silage and 40 % grass silage on a dry matter (DM) basis. Diet 2 was designed as a Total Mixed Ration (TMR) containing 36 % maize silage, 24 % grass silage and 40 % concentrate. Concentrate was composed of 50.0 % wheat grain, 26.8 % soybean meal, 20.8 % corn grain and 2.4 % mineral and vitamin premix. Feed samples were collected daily to produce an aggregate sample for analysis of the chemical composition. Diet crude nutrient contents were analyzed according to the suggestions of the Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Unter-

suchungs- und Forschungsanstalten (Naumann and Bassler, 1993). Acid detergent fibre (ADF) and neutral detergent fibre (NDF) were determined according to Goering and Van Soest (1970) and expressed without residual ash. The chemical composition of the diets is presented in Table 1.

Table 1

Chemical composition (g/ kg DM) and energy content (MJ/ kg DM) of experimental diets

Parameter	Diet 1	Diet 2
Organic matter	948	948
Crude protein	97	144
Ether extract	35	33
Crude fibre	227	149
ADF	245	164
NDF	447	333
ME ¹	10.4	11.6
NE _L ¹	6.2	7.1

¹Tabular values were used to estimate silage and concentrate digestibility (DLG, 1997). Metabolizable Energy (ME) and Net Energy Lactation (NEL) were calculated as following (GFE, 2001): ME [MJ/kg] = 0.0312* DEE [g/kg] + 0.0136* DCF [g/kg] + 0.0147* (DOM - DEE - DCF) [g/kg] + 0.00234* CP [g/kg], where DEE = digestible ether extract; DCF = digestible crude fibre; DOM = digestible organic matter.

2.2 Rumen probes

The experiment was performed using two rumen probes (KB 3/04 bolus, Kahne Limited, New Zealand). The boluses were a successor of the technique described by Kaur et al. (2010) and were constructed to measure rumen pH, temperature and pressure in an adjustable frequency of 10 to 59 seconds or 1 to 255 minutes. The probes were constructed as a copolymer barrel of 145 mm length and 27 mm diameter with wings of altogether 185 mm attached to the tapered top. For pH determination a glass membrane pH sensor was incorporated in the bottom of the boluses. Pre- and post-use storage of the pH sensor was performed as recommended in a 3 molar potassium chloride solution. Kahne Data Processing System V 5.1 software was used for the calibration of the boluses and to download and export data for evaluation. The pH sensors were calibrated according to Kaur et al. (2010) in a water bath of 40 ± 0.1 °C in standard buffer solutions with a pH of 7.0 (first) and 4.0 (second), respectively (ZMK-Analytik-GmbH, Bitterfeld-Wolfen, Germany). A Kahne KR 2001 transceiver was connected to a computer by USB cable to transfer the calibration and setting instructions. Both temperature and pressure sensor were integrated in the probe enclosure. No manufacturer information about construction and functionality of the temperature sensor were available. Measured data were stored in an integrated memory card for later download with a maximum storage capacity of 11.955 data points per bolus, according to manufacturer. Data could be transferred to a computer in real time simultaneously. Logged bolus data transmission was initialized on demand

using a handheld trigger device (Kahne Wand KW1, frequency 134.2 KHz). Data were received by a KR 2002 receiver (frequency 433.9 MHz) including antenna with a range of up to 30 meters, according to manufacturer.

2.3 Sampling

Bolus and manual measurement was performed simultaneously for two consecutive days per cow and diet. Manual rumen pH and temperature as well as rectal temperature were determined 15, 45, 75, 135, 195, 255, 315, 375, 435 and 495 minutes after morning feeding. Two boluses were set to measure every 5 minutes. The probes were fixed to a coated cord tied to the inner cannula and weighed down by a galvanised iron weight of approximately 500 g in such a way to place one bolus in the dorsal and ventral rumen sac, respectively. The dorsal bolus was immersed approximately 10 cm in the rumen content at pre feeding level in the morning. Bolus data were downloaded using the trigger device. To minimize the impact of short term variation bolus rumen pH and bolus rumen temperature were calculated by taking the arithmetic mean of all recorded values within ± 15 minutes from preset manual measurement times. To investigate pH sensor drift boluses were removed at the end of both eight days periods followed by pH measurement in unused standard buffer solutions at 40 °C as utilized for calibration. This procedure was followed by bolus recalibration. Temperature sensors were not subjected to drift examination as their drift was reported to be negligible in a former study conducted by Kaur et al. (2010). Pressure data were not included in the evaluation due to expected data falsification by the rumen cannula and the necessity of opening it during the experiment.

Manual temperature measurement was performed via digital thermometer (Digitemp Servoprax E315, Servopax GmbH, Wesel, Germany) rectally and in the rumen in direct proximity of the two boluses. For manual pH measurement rumen content was withdrawn from the localizations of manual temperature determination. Obtained samples were squeezed immediately through a close meshed nylon net followed by pH measurement in the gained fluid using a pH meter (WTW pH 530 BCB, LAT Labor- und Analysenbedarf, Garbsen, Germany).

2.4 Statistical analyses

Statistical analyses were performed utilizing the software package SAS version 9.1 (SAS, 2004). Pearson correlation coefficients between rumen pH, rumen temperature and rectal temperature data were calculated using the procedure "CORR". Linear regression analysis was executed by means of the "REG" procedure to compare bolus and manual pH measurement. The method described by Bland and Altman (1986) was used to assess the agreement between both techniques, differences between bolus and manual pH were plotted against the arithmetic mean for the pairs at each measurement point. The bias as the mean difference (d) including 95 % confidence interval (CI) and the standard deviation of the differences (s)

were calculated. The upper and lower limits of agreement were defined as $d \pm 1.96 s$ and used to summarize the level of agreement between both methods.

The procedure "MIXED" was applied to analyze rumen pH and temperature data. Diet, localization in the rumen, method and time were considered as fixed effects. Interactions between these variables were investigated. Rumen temperature and rumen pH were included as covariates assessing rumen pH and temperature, respectively. The "random" statement was utilized for the individual cow effect. The restricted maximum likelihood method (REML) was used to evaluate variances. Degrees of freedom were calculated by the Kenward-Roger method. To investigate differences between least square means, the "PDIF" option was used applying a Tukey-Kramer test for post-hoc analysis. Values used to quantify the effects of the mentioned variables were presented as LS means. Differences were considered to be significant at $p < 0.05$.

3 Results

3.1. General results

The mean daily organic matter intake per cow was 9.6 kg for diet 1 and 17.3 kg for diet 2. One bolus had to be replaced after feeding diet 1 due to technical disturbances which occurred after sampling. The operation of trigger device, receiver and software was easy to handle and appropriate for the download of data under the given experimental conditions, though the trigger had to be used in direct proximity of the animals. The receiver was able to receive data continuously and directly after the record of each data point from a distance of approximately 5 meters, whereas the manufacturer's data of a range of up to 30 meters was not verified. A total of 315 paired samples were available each for the comparison of pH and temperature data obtained by bolus and manual measurement, respectively.

The drift of the pH sensors after both eight days periods resulted in a mean bias of 0.04 ± 0.12 (Mean \pm s.d.) in pH 4 buffer solution and -0.02 ± 0.15 in pH 7 buffer solution. One sensor showed a minimal positive drift in pH 4 buffer solution (Diet 1: 0.02, diet 2: 0.01) but slightly negative drift in pH 7 buffer solution (Diet 1: -0.03, diet 2: -0.08). However the other two sensors drift was either positive (Diet 1: pH 4: 0.19, pH 7: 0.20) or negative (Diet 2: pH 4: -0.04, pH 7: -0.16). Due to the partially undirected pH drift bolus pH data were not subjected to drift correction.

Slightly negative overall Pearson correlation coefficients between rumen pH and rumen temperature were calculated for both bolus ($r = -0.11$, $p = 0.052$) and manual ($r = -0.25$, $p < 0.001$) measurement. A closer inverse relationship was found between rumen pH at both localizations of measurement and dorsal rumen temperature compared with ventral rumen temperature (Table 2). The correlations between pH values and rectal temperature (Bolus: $r = -0.06$, $p = 0.323$. Manual: $r = -0.14$, $p = 0.002$, respectively) and between rumen and rectal temperature (Bolus: $r = 0.15$, $p = 0.09$. Manual: $r = 0.11$, $p = 0.053$, respectively) were not existent or minimal.

Table 2

Correlation coefficients of rumen pH and rumen temperature among methods and localizations of measurement

pH	Bolus	Ventral	r	Temperature			
				Bolus		Manual	
				Ventral	Dorsal	Ventral	Dorsal
				0.07	-0.35	-0.01	-0.26
			p	0.385	<0.001	0.936	0.001
		Dorsal	r	0.06	-0.20	0.01	-0.16
			p	0.463	0.012	0.895	0.040
	Manual	Ventral	r	0.05	-0.43	-0.09	-0.37
			p	0.553	<0.001	0.272	<0.001
		Dorsal	r	0.01	-0.30	0.11	-0.36
			p	0.935	<0.001	0.165	<0.001

3.2 Comparison of methods

The mean (\pm s.d.) total rumen pH was 6.39 ± 0.38 for bolus and 6.31 ± 0.57 for manual measurement. The number of recorded data points with a pH below 6.0 were in total $n = 50$ for bolus and $n = 144$ for manual reading. The correlation coefficients between the evaluated methods were $r = 0.59$ ($p < 0.001$) for rumen pH and $r = 0.46$ ($p < 0.001$) for rumen temperature. A closer correlation was found between ventral bolus pH and both ventral and dorsal manual pH ($r = 0.80$, $p < 0.001$ and $r = 0.74$, $p < 0.001$, respectively) than between dorsal bolus pH and ventral and dorsal manual pH ($r = 0.51$, $p < 0.001$ and $r = 0.45$, $p < 0.001$, respectively). The intra method correlation between pH determination at the ventral and dorsal rumen sac, respectively, was $r = 0.59$ ($p < 0.001$) for bolus and $r = 0.85$ ($p < 0.001$) for manual sampling.

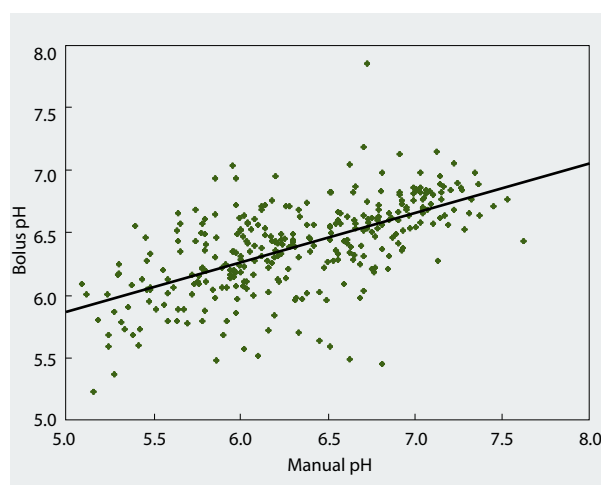


Figure 1

Relationship between manual and bolus pH measurement. $y = 0.3938x + 3.9011$, $r^2 = 0.3436$, $N = 315$.

Performing linear regression analysis the relationship between bolus and manual pH measurement was characterized by a considerable variation around the regression line with a relatively low coefficient of determination of $r^2 = 0.3436$ (Figure 1). The Bland-Altman comparison indicated a bias effect of bolus pH measurement with the tendency of pH overestimation in the range of low rumen pH below 6.0 and a pH underestimation at rumen pH above 6.5 (Figure 2). The estimated limits of agreement between bolus and manual pH measurement were -0.83 to 0.97.

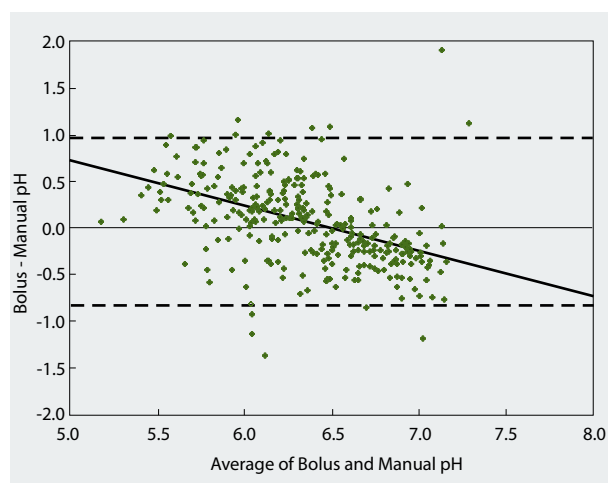


Figure 2

Differences of bolus and manual rumen pH measurement versus their mean. N = 315. Bias: 0.07, 95 % confidence interval: 0.03 to 0.11. Dotted lines show limits of agreement. A best fit line has been added to show change in bias with pH.

3.3 Effects of diet, localization and time

A significant diet effect on rumen pH was observed (Diet 1: 6.61. Diet 2: 6.16. $p < 0.001$, Figure 3). The localization of measurement in the rumen did not influence pH values (Dorsal: 6.39. Ventral: 6.37. $p > 0.05$, Figure 2: Differences of bolus and manual rumen pH measurement versus their mean. N = 315. Bias: 0.07, 95 % confidence interval: 0.03 to 0.11. Dotted lines show limits of agreement. A best fit line has been added to show change in bias with $pH > 0.05$), whereas the method of pH determination had a significant effect ($p = 0.004$). Rumen pH was affected by time after feeding ($p < 0.001$, Figure 3). It decreased postprandial and recovered approximately to the initial value within the sampling period of 495 minutes. Though the interaction of diet and localization was significant ($p = 0.014$), the nominal effects were marginal. Dorsal and ventral rumen pH were nearly equal feeding diet 1 (Dorsal: 6.58, ventral: 6.63) and differed only slightly feeding diet 2 (Dorsal: 6.20, ventral: 6.12). No interactions were found between diet and time ($p > 0.05$) and localization and time ($p > 0.05$), respectively.

Rumen temperature was influenced by diet and increased due to feeding low fibre but high energy (Diet 1: 38.9 °C, Diet 2: 39.3 °C. $p < 0.001$). The localization of measurement had a significant effect on rumen temperature ($p < 0.001$).

Ventral and dorsal temperature were almost equal feeding diet 1 (Ventral: 39.0 °C, dorsal: 38.9 °C), however a temperature gradient was observed for diet 2 (Ventral 39.0 °C, dorsal: 39.7 °C. Localization x diet: $p < 0.001$). The applied methods did not affect temperature values ($p = 0.115$). A time effect on rumen temperature ($p < 0.001$) was investigated. The significant interaction between diet and time was characterized by a time dependent decline of rumen temperature feeding diet 1 with the nadir after 75 minutes and a full recovery within the sampling period ($p < 0.001$, Figure 4). Localization and time did not interact significantly ($p > 0.05$).

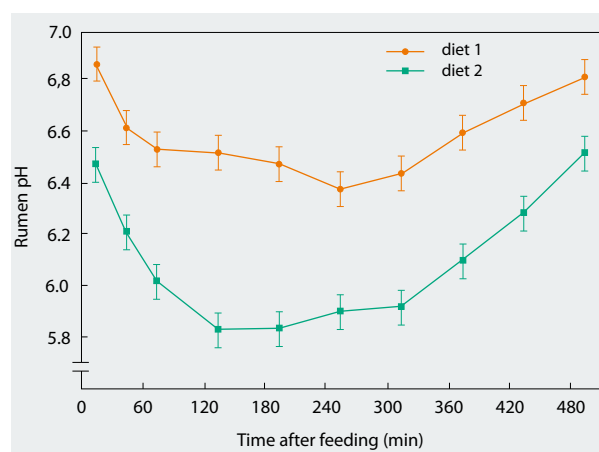


Figure 3

Rumen pH depending on time after feeding (min) and diet. Ventral and dorsal pH values were pooled and presented as means \pm standard error.

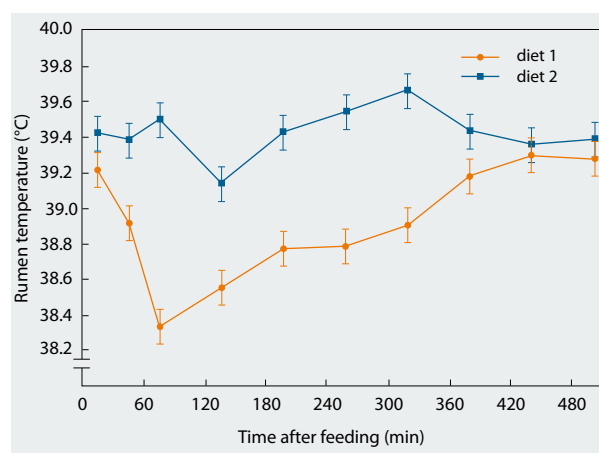


Figure 4

Rumen temperature depending on time after feeding (min) and diet. Ventral and dorsal pH values were pooled and presented as means \pm standard error.

4 Discussion

A close relationship between rumen pH and temperature as indicated by AlZahal et al. (2009) would be expected to be inverse and to arise especially during intensive postprandial

fermentation reflecting both decreasing rumen pH but increasing rumen temperature. In the present study, the correlations between rumen pH and temperature were considerably lower than those reported in earlier experiments. An inverse relationship of $r = -0.39$ between rumen pH obtained by manual determination in fluid withdrawn from the ventral rumen sac of sheep and bolus temperature measured in vivo was found by Kaur et al. (2010). AlZahal et al. (2008) observed a correlation of $r = -0.46$ between ventral rumen pH and temperature utilizing an indwelling electrode measuring both parameters simultaneously in lactating dairy cows, whereas the direct proximity of both sensors may have contributed to the close relationship. The authors developed an equation for the prediction of rumen pH from rumen temperature and thus discussed the potential of rumen temperature for the detection of SARA in cattle. In the present experiment, rumen pH measured via both methods was distinctly closer correlated to dorsal than to ventral temperature. Thus, under the present conditions, the potential contribution of rumen temperature measurement to the prediction of rumen pH and the use as an indication of SARA may depend on the site of intraruminal temperature determination.

A close correlation ($r = 0.65$) between reticulum temperature measured by an indwelling probe and rectal temperature of intact dairy cows was observed by Bewley et al. (2008) and based on a large amount of paired samples which were taken during several seasons. Burns et al. (2002) used the same technique in cows near the occurrence of oestrus and reported a relationship of $r = 0.50$ between reticular and rectal temperature. The restricted postprandial sampling times may have contributed to the low relationship of rumen and rectal temperature in the present trial. Though after feeding a time effect was observed for rumen temperature, rectal temperature may have been less affected causing a low correlation. Uncertainty exists whether an outflow of heat through the perforating rumen cannula has contributed to the low relationship of the two parameters. However a close correlation between rumen and rectal temperature ($r = 0.92$) was reported for rumen-fistulated lactating cows in a former study using a prototype rumen bolus (Sievers et al., 2004).

Observations concerning sensor drift of indwelling devices for rumen pH measurement were diverse. Penner et al. (2006) reported partially undirected but not significant pH drift after 72 hours using an encapsulated electrode for pH measurement in the ventral rumen sac of dairy cows. In a former study, Enemark et al. (2003) utilized devices which were initially developed for marine animals and observed a slightly positive electrode drift after ten days of continuous application in the reticulum of cows. In a study of Kaur et al. (2010) a predecessor generation of probes for intraruminal pH, temperature and pressure measurement produced by the same manufacturer was evaluated utilizing fistulated sheep in ten day periods. Bolus pH sensor drift was visually apparent after 48 h and increased steadily from that time. The technical comparability of both probe series may be limited due to constructional differences, as the former boluses were equipped with ISFET sensors for pH measurement, which may exhibit long-term drift and low performance in comparison to

glass electrodes (Oelssner et al., 2005). The inconsistent and partially undirected pH sensor drift in the present study and the wide range reported for sensors in earlier experiments suggested the need to assess occurrence and direction of pH sensor drift individually and depending on application time. Therefore further investigations of direction, amount and time-dependence of pH sensor drift seemed to be recommended prior to longer-term application of the evaluated boluses in intact animals.

Differing correlations between pH measurement via intraruminal probes and manual determination were reported in earlier studies. Duffield et al. (2004) observed varying but mainly weak relationships between pH measurement via a device placed in the ventral sac of the rumen of cows and manual pH determination in the second 200 ml of rumen fluid gained by a tube-like probe through a rumen cannula from different intraruminal sites (Cranial-ventral: $r = 0.25$, Caudal-ventral: $r = 0.24$, Central: $r = 0.58$, Cranial-dorsal: $r = 0.53$). A rather low correlation ($r = 0.46$) between pH readings gained by the former probe generation produced by the same manufacturer as the boluses used in the present study and manual measurement was investigated by Kaur et al. (2010). The closer correlation between bolus and manual pH data in the present study may be due to the better performance of the used glass membrane pH sensors and the potentially wider distance of probe and manual sampling in the former experiment. Other workers have proved closer correlations of $r = 0.85$ (Dado and Allen, 1993), $r = 0.88$ (AlZahal et al., 2007), $r = 0.88$ as well as $r = 0.98$ (Penner et al., 2006) and $r = 0.98$ (Phillips et al., 2010) between various indwelling probes and in vitro pH measurement in withdrawn rumen fluid samples.

The minor correlations between dorsal bolus pH and manual pH readings and the low intra method relationship between bolus pH measurement at the dorsal and ventral rumen sac, respectively, may be due to methodological reasons. The probe used to measure dorsal rumen pH was fixed to a cord to be immersed in the rumen content for approximately 10 cm at pre morning feeding level and may have protruded into the rumen gas phase for several short times during the sampling periods and thus may have produced a distortion of dorsal bolus pH data.

Though in the present trial the different standard deviations of pH values determined by both methods of rumen pH measurement indicated an unequal variation, the mean bolus pH was only slightly higher than the mean manual pH. That is consistent with results of Kaur et al. (2010), who found the probe pH to be 0.05 to 0.21 pH units higher than the manual pH measured by a pH meter, depending on diet. Contradictory findings were observed in earlier studies, where manual pH values were reported to be higher in rumen fluid removed through a cannula than the pH measured in vivo in the rumen (Dado and Allen, 1993) or the reticulum (Enemark et al., 2003) of dairy cows. The distance between the probe location and the site of rumen fluid sampling was discussed as a possible explanation for the differences in pH (Enemark et al., 2003).

The significance of the Pearson correlation coefficient as a tool of method comparison is limited as it is a measure of the linearity between two variables, not of the agreement between them. No indication of how the plotted data deviate from the line $y = x$ can be derived (Lin, 1992) and data which seem to be in poor agreement can produce high correlations (Bland and Altman, 1986). Furthermore it may be difficult to assess differences between methods by a simple plot of the results of one method against those of the other. The method described by Bland and Altman involved plotting the difference (y-axis) of the paired measurements against their arithmetic mean (x-axis). The true value is unknown and the mean is the best available estimate (Bland and Altman, 1986). In the present study a deficient accuracy of manual pH determination cannot be excluded and may be caused by inherent bias like temperature effects (Meinrath and Spitzer, 2000). Such potentially restricted accuracy of manual pH measurement may have been responsible for the limited agreement between both methods. The positive bias of 0.07 in the Bland-Altman analysis would suggest the probes typically gave slightly higher results than the standard manual method. However the trend line indicated a lack of bias consistency with a pH overestimation in the range of rather low rumen pH below 6.0 and a pH underestimation at higher rumen pH above 6.5. This is congruent with the lower number of total data points of rumen pH below 6.0 detected by bolus measurement ($n = 50$) in comparison with the manual technique ($n = 144$) and may be misleading especially in interpreting rumen pH values to obtain indications of SARA. The calculated limits of agreement were -0.83 to 0.97 indicating rather low agreement within the given experimental design. This range is expected to include 95 % of the values and its magnitude can be utilized to assess the utility of an alternative method (MacFarlane et al., 2010). Bland and Altman (1986) suggested that the acceptable range of the limits of agreement should be based on the clinical impact of the results within this range. Though it would be difficult to define suitable limits of agreement for rumen pH measurement, the determination of rumen pH requires a high accuracy to ensure reliable results for both research and diagnostic purposes.

The evaluation of the accuracy of continuous measurement via indwelling rumen probes using aggregated bolus data may be adequate for a comparison with spot sampling techniques same as the described manual method. Actually such method comparison did not consider the option of continuous measurement being the primarily advantage of the investigated boluses. According to Gozho et al. (2005), SARA in cattle should be defined as a depression of rumen pH below 5.6 for three or more hours per day. In intact animals, such intervals are hardly detectable with spot sampling techniques.

Rumen pH decreased significantly due to feeding concentrate as previously reported for steers (Jaakkola and Huhtanen, 1993; Owens et al., 2008) and cows fed high amounts of grain (Mishra et al., 1970). Besides the effects of dietary concentrate, the feeding of diet 2 was characterized by a higher OM intake level which may have contributed to the calculated diet effect on rumen pH. The localization of measurement in the rumen did not influence pH readings si-

gnificantly ($p > 0.05$). Though a considerable pH gradient would be expected to emerge especially between reticulum and rumen, earlier experiments partially proved effects of the site of measurement in the rumen on mean pH values (Duffield et al., 2004; Li et al., 2009). Despite the absence of such a pH gradient between dorsal and ventral rumen sac in the present experiment, its possible emergence should be taken into consideration for potential on-farm and research application of the evaluated boluses or similar unfixed devices for intraruminal usage, as the probes may move through the reticulorumen if used in intact animals without certainty of the exact site of measurement.

In the current study rumen temperature was affected by diet, however a rise in mean rumen temperature associated with the feeding of concentrate was primarily observed at the dorsal rumen. Similar to the evaluation of diet effects on rumen pH, the higher intake level of diet 2 may have increased the described effect on rumen temperature. AlZahal et al. (2009) reported a significant increase of rumen temperature due to feeding high amounts of grain in comparison to a mixed hay diet. Such effects may depend on the amount of concentrate fed as in a study of Gasteiner et al. (2009) differences in rumen temperature of steers were not significant between a 100 % hay and a 50 % concentrate diet. The postprandial development of a temperature gradient in the rumen of dairy cows with an increased dorsal temperature due to feeding high-concentrate diets was coherent as, first, concentrate would be expected to be subjected to a faster ruminal degradation than forage and, secondly, the materials in the top stratum of the rumen digesta are recently ingested and are subjected to a higher fermentative activity than those contained in the middle and bottom strata of the rumen (Martin et al., 1999; Tafaj et al., 2004).

5 Conclusion

The evaluated devices showed a moderate linear relationship and agreement of pH measurement with the applied manual method, a fact that may as well be due to a deficient accuracy of manual pH determination. Varying and partially undirected but low pH sensor drift was observed. Indications for an inconsistent bias of bolus pH determination were found. Effects of the site of measurement in the rumen were not observed for pH but for temperature, may interact with the diet fed and should be taken into consideration for a potential use of indwelling devices. Though the described indications of inaccuracy of bolus pH measurement suggested the need of further improvement, the technique was promising especially due to the option of continuous intraruminal measurement.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur for financial support. Furthermore, the assistance of the co-workers of the Institute of Animal Nutrition and the Experimental Station of the

Friedrich-Loeffler-Institute (FLI) in Brunswick, Germany in performing the experiment and analysis as well as the Clinic for Cattle of the University of Veterinary Medicine Hannover and Mr. Pat Fernley from Kahne Limited, New Zealand, is gratefully acknowledged.

References

- AlZahal O, Rustomo B, Odongo NE, Duffield TF, McBride BW (2007) Technical note : a system for continuous recording of ruminal pH in cattle. *J Anim Sci* 85:213-217
- AlZahal O, Kebreab E, France J, Froetschel M, McBride BW (2008) Ruminal temperature may aid in the detection of subacute ruminal acidosis. *J Dairy Sci* 91:202-207
- AlZahal O, Steele MA, Valdes EV, McBride BW (2009) The use of a telemetric system to continuously monitor ruminal temperature and to predict ruminal pH in cattle. *J Dairy Sci* 92:5697-5701
- Bauman DE, Davis CL, Buchholtz HF (1971) Propionate production in rumen of cows fed either a control or high-grain, low-fibre diet. *J Dairy Sci* 54:1282-1287
- Bewley JM, Einstein ME, Grott MW, Schutz MM (2008) Comparison of reticular and rectal core body temperatures in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 91:4661-4672
- Bland JM, Altman DG (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 8476:307-310
- Burns P, Wailes W, Baker P (2002) Changes in reticular and rectal temperature during the peri-estrus period in cows. *J Anim Sci* 80(Suppl 2):128-129
- Dado RG, Allen MS (1993) Continuous computer acquisition of feed and water intakes, chewing, reticular motility and ruminal pH of cattle. *J Dairy Sci* 76:1589-1600
- DLG (1997) DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. Frankfurt a M : DLG-Verl, 212 p
- Duffield T, Plaizier JC, Fairfield A, Bagg R, Vessie G, Dick P, Wilson J, Aramini J, McBride B (2004) Comparison of techniques for measurement of rumen pH in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 87:59-66
- Enemark JMD (2008) The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA) : a review. *J Vet Med A* 176:32-43
- Enemark JMD, Peters G, Jorgensen RJ (2003) Continuous monitoring of rumen pH : a case study with cattle. *J Vet Med A* 50:62-66
- Fordham DP, Rowlinson P, McCarthy TT (1988) Estrus detection in dairy cows by milk temperature-measurement. *Res Vet Sci* 44:366-374
- Garrett EF, Pereira MN, Nordlund KV, Armentano LE, Goodger WJ, Oetzel GR (1999) Diagnostic methods for the detection of subacute ruminal acidosis in dairy cows. *J Dairy Sci* 82:1170-1178
- Gasteiner J, Fallast M, Rosenkranz S, Hausler J, Schneider K, Guggenberger T (2009) Measuring rumen pH and temperature by an indwelling and wireless data transmitting unit and application under different feeding conditions. *Wien Tierarztl Monatsschr* 96:188-194
- GfE (2001) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder 2001. Frankfurt a M : DLG-Verl, 136 p, Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere 8
- Goering HK, Van Soest PJ (1970) Forage fibre analyses : (apparatus, reagents, procedures and some applications). Washington DC : Agric Res Service, USDA, 20 p, Agric Handbook 379
- Gozho GN, Plaizier JC, Krause DO, Kennedy AD, Wittenberg KM (2005) Subacute ruminal acidosis induces ruminal lipopolysaccharide endotoxin release and triggers an inflammatory response. *J Dairy Sci* 88:1399-1403
- Jaakola S, Huhtanen P (1993) The effects of forage preservation and proportion of concentrate on nitrogen digestion and rumen fermentation in cattle. *Grass Forage Sci* 48:146-154
- Kadzere CT, Murphy MR, Silanikove N, Maltz E (2002) Heat stress in lactating dairy cows : a review. *Livestock Prod Sci* 77:59-91
- Kaur R, Garcia SC, Horadagoda A, Fulkerson WJ (2010) Evaluation of rumen probe for continuous monitoring of rumen pH, temperature and pressure. *Anim Prod Sci* 50:98-104
- Kleen JL, Hooijer GA, Rehage J, Noordhuizen JPTM (2003) Subacute ruminal acidosis (SARA) : a review. *J Vet Med A* 50:406-414
- Kleen JL, Hooijer GA, Rehage J, Noordhuizen JPTM (2009) Subacute ruminal acidosis in dutch dairy herds. *Vet Rec* 164:681-684
- Li M, Penner GB, Hernandez-Sanabria E, Oba M, Guan LL (2009) Effects of sampling location and time, and host animal on assessment of bacterial diversity and fermentation parameters in the bovine rumen. *J Appl Microbiol* 107:1924-1934
- Lin LIK (1992) Assay validation using the concordance correlation coefficient. *Biometrics* 48:599-604
- MacFarlane PD, Grint N, Dugdale A (2010) Comparison of invasive and non-invasive blood pressure monitoring during clinical anaesthesia in dogs. *Vet Res Commun* 34:217-227
- Maekawa M, Beauchemin KA, Christensen DA (2002) Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 85:1165-1175
- Martello LS, Savastano H, Silva SL, Balieiro JCC (2010) Alternative body sites for heat stress measurement in milking cows under tropical conditions and their relationship to the thermal discomfort of the animals. *Int J Biometeorol* 54:647-652
- Martin C, Devillard E, Michalet-Doreau B (1999) Influence of sampling site on concentrations and carbohydrate-degrading enzyme activities of protozoa and bacteria in the rumen. *J Anim Sci* 77:979-987
- Meinrath G, Spitzer P (2000) Uncertainties in determination of pH. *Mikrochimica Acta* 135:155-168
- Mishra M, Martz FA, Stanley RW, Johnson HD, Campbell JR, Hilderbr E (1970) Effect of diet and ambient temperature-humidity on ruminal pH, oxidation reduction potential, ammonia and lactic acid in lactating cows. *J Anim Sci* 30:1023-1028
- Morgante M, Stelletta C, Berzaghi P, Giancesella M, Andrighetto I (2007) Subacute rumen acidosis in lactating cows : an investigation in intensive Italian dairy herds. *J Anim Physiol Anim Nutr* 91:226-234
- Naumann C, Bassler R (1993) Die chemische Untersuchung von Futtermitteln : Methodenbuch ; Bd. 3 mit Ergänzungslieferungen 1983, 1988, 1993, 1997, 2004 und 2006. Darmstadt : VDLUFA
- Oelssner W, Zosel J, Guth U, Pechstein T, Babel W, Connery JG, Demuth C, Gansseve MG, Verburg JB (2005) Encapsulation of ISFET sensor chips. *Sensors actuators B* 105:104-117
- Owens D, McGee M, Boland T, O'Kiely P (2008) Intake, rumen fermentation and nutrient flow to the omasum in beef cattle fed grass silage fortified with sucrose and/or supplemented with concentrate. *Anim Feed Sci Technol* 144:23-43
- Penner GB, Beauchemin KA, Mutsvangwa T (2006) An evaluation of the accuracy and precision of a stand-alone submersible continuous ruminal pH measurement system. *J Dairy Sci* 89:2132-2140
- Penner GB, Aschenbach JR, Gabel G, Oba M (2009) Technical note : evaluation of a continuous ruminal pH measurement system for use in noncannulated small ruminants. *J Anim Sci* 87:2363-2366
- Phillips N, Mottram T, Poppi D, Mayer D, McGowan MR (2010) Continuous monitoring of ruminal pH using wireless telemetry. *Anim Prod Sci* 50:72-77
- SAS (2004) SAS/STAT User's Guide : version 9.1. Cary, NC, USA
- Sievers AK, Kristensen NB, Laue HJ, Wolfram S (2004) Development of an intraruminal device for data sampling and transmission. *J Anim Feed Sci* 13(Suppl 1):207-210
- Tafaj M, Junck B, Maulbetsch A, Steingass H, Piepho HP, Drochner W (2004) Digesta characteristics of dorsal, middle and ventral rumen of cows fed with different hay qualities and concentrate levels. *Arch Anim Nutr* 58:325-342

Beweidung von Futterhecken mit Ziegenlämmern

Wiebke Börner*, Gracia Ude**, Sophia Bender** und Heiko Georg**

Zusammenfassung

In der Untersuchung zur Beäsung von Futterhecken mit Ziegenlämmern wurde in zwei Futterhecken, die zuvor unterschiedlich gepflegt wurden, Biomassevolumen, Blatt- und Rindenverbiss bestimmt.

Bei der hier dargestellten Untersuchung handelt es sich um weitere Ergebnisse, die im Rahmen der Untersuchung zur Beäsung von Futterhecken mit Ziegenlämmern in 2010 erfasst wurden.

Der Blattverbiss verlief in beiden Hecken annähernd ähnlich. Innerhalb von 48 h hat sich in beiden Hecken der prozentuale Blattanteil im Fraßhorizont auf 50 %, am fünften Tag auf 20 % in der alten Hecke und 10 % in der jungen Hecke reduziert.

Beim Rindenverbiss wurden Weiden, Schwarzdorn und Heckenrose untersucht. Bei der alten Hecke wurde die Rinde bei den Weiden am stärksten beim Astdurchmesser 0,5 bis 6,0 cm verbissen, bei Schwarzdorn und den Rosen direkt an den Stämmen. Bei der jungen Hecke traten beim Schwarzdorn lediglich Triebe bis 0,5 cm auf und bei den Weiden zusätzlich noch Äste 0,5 cm bis 6,0 cm. Der Rindenverbiss verlief bei den Trieben bis 0,5 cm bei den Weiden und dem Schwarzdorn ähnlich, innerhalb von 24 h zeigte sich an allen Gehölzen Verbiss. Der Rindenverbiss der Äste mit einem Astdurchmesser 0,5 bis 6,0 cm bei den Weiden setzte später, aber deutlich stärker ein.

Schlüsselwörter: Ziegenlämmer, Futterhecke, Weide, Schwarzdorn, Heckenrose

Abstract

Browsing of fodder hedges with goat kids

In a study investigating the browsing of two differently maintained fodder hedges with goat kids and different feeding regimes, for example biomass volumes, leaf browsing and bark browsing were determined.

This study provides additional data to experimentation with goat kids on browsing of feeding hedges in 2010.

The browsing of leaves showed similar results in two variants: after 48 hours of grazing, 50 % of the leaves were bitten, after five days still 10 to 20 % of the leaves could be registered.

Wood gnawing was determined in willow, black haw and dog rose. In the old fodder hedges the wood of the willow of the medium-sized branches was most gnawing, the wood of black haw and dog rose the bigger-size branches were most gnawing. In the young fodder hedges there were no big branches of black haw and willow and only medium-sized branches of willow. In the young fodder hedges the wood gnawing was similar in the small-size branches of willow and black haw. Within 24 hours all branches showed damage. The wood gnawing of medium-sized branches were later but heavier.

Keywords: goat kids, fodder hedges, black haw, willow, dog rose

* Universität Kassel, Ökologische Agrarwissenschaften, Steinstraße 19, 37213 Witzenhausen

** Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Ökologischen Landbau
Trenthorst 32, 23847 Westerau

Kontakt: heiko.georg@ti.bund.de

Einleitung

Ziegen können als fakultative Buschbeweider bis zu 60 % ihres Futterbedarfs über Gehölze decken (Rahmann, 2000) und fressen bevorzugt zuerst Blätter und Gehölze und erst später Gräser und Kräuter (Zingg und Kull, 2006).

Hecken sind künstlich angelegte Landschaftselemente an oder auf landwirtschaftlichen Nutzflächen (Piore und Reutter, 2003), deren Funktionen nur durch regelmäßige Pflege erhalten werden können (Kurz et al., 2001).

Eine Anlage von Futterhecken auf Weideflächen bedeutet eine Erhöhung der Futterfläche, mit dem Anspruch einer regelmäßigen Nutzung alle zwei bis drei Jahre (Rahmann, 2010).

Die Funktion der Ziegen als Buschbeweider kann ethologisch, ökologisch und ökonomisch genutzt werden.

Literatur

Funktion von Hecken

Hecken sind lineare, zumeist künstlich angelegte Landschaftselemente an oder auf landwirtschaftlichen Nutzflächen mit annähernd geschlossenem Bewuchs (Piore und Reutter, 2003). Die Artenzusammensetzung ist von vielen Faktoren, wie z. B. Standort und Nutzung abhängig, häufig vorkommende Arten sind Hasel, Schwarzdorn, Weide und Holunder (Kurz et al., 2001).

Nach Korn (2001) und Rahmann (2000) werden u. a. Hartriegel, Haselstrauch, Esche, Eiche, Rosen, Weide und Brombeere sehr gut verbissen und auch Weißdorn, Moor-Birke, Fichte, Kiefer, Schwarzdorn und Süßkirsche zeigen einen mittleren Verbiss. Gemieden werden Berberitze, Heidekraut und Traubenkirsche. Als giftige Pflanzen sind z. B. Tollkirsche, Heckenkirsche, Eiben, Zypressen, Eiche, Pflaume, wilde Kirsche, Almenrausch, Besenginster und Buche zu nennen (Rahmann, 2000).

Als Kulturlandschaftselement sind Hecken nur dann vollwertig mit all ihren Funktionen, wenn sie genutzt werden, da sich ohne Pflege die Biodiversität verringert. Die Windschutzfunktion geht verloren, wenn in einer Hecke nach und nach die vielen flach und dicht wachsenden Sträucher wenigen hohen Bäumen weichen müssen, wodurch die Attraktivität als Nistplatz für Vögel abnimmt und das Nahrungsspektrum für Vögel, Säugetiere und Insekten zurück geht. Die Abnahme der Artenvielfalt der Flora bedeutet schließlich die Abnahme der Artenvielfalt der Fauna (Kurz et al., 2001).

Futterhecken stellen anders als herkömmliche Hecken eine feste Nahrungsgrundlage für Nutztiere dar. Die Biomasse soll zu einer Erhöhung der Futterfläche führen, die regelmäßig genutzt werden kann. Nach der Heckenpflege sollte sich eine energetische Nutzung des Holzes anschließen.

Artgerechte Haltung von Ziegen

Eine artgerechte Haltung von Ziegen sollte einen regelmäßigen Weidegang vorzugsweise mit Heckennutzung einschließen, da natürliche Neugier, Bewegungsdrang und Sozialver-

halten oft besser befriedigt werden können als im Stall (Deinhofer, 2009).

Ziegen können bis zu 60 % ihres Futterbedarfs mit Blättern und jungen Gehölztrieben decken, wobei sie Feinschmecker mit breitem Futterpflanzenspektrum sind (Rahmann, 2009). Bedingt durch ihre fakultative Bipedie können sie Gehölze bis zu einer Höhe von 1,80 m (Rahmann, 2009) bzw. auch bis 2,00 m und höher (Ude et al., 2011) verbeißen. Ihre gespaltene Oberlippe ermöglicht sogar das Beäsen von dornigen Sträuchern (Rahmann, 2009). Ziegen fressen bevorzugt zuerst Blätter und Gehölze und erst später Gräser und Kräuter (Zingg und Kull, 2006). Neben der Eignung von Gehölzen als Futtergrundlage mit vergleichbaren Nährstoffgehalten üblicher Futterarten (Rahmann, 2004) wirkt das Gehölzfutter auch entzündungshemmend (Gerbsäuren), anregend und durch Blausäureglykosid Parasiten reduzierend (Machatschek, 2005).

Versuche zum Beäsen mit Ziegen

Nach dem die Tiere um 1900 von der Waldweide verbannt wurden, steigt langsam das Interesse an einer Beweidung mit Ziegen (und anderen Tierarten) zu Naturschutzzwecken.

In einer Untersuchung von Rahmann (2000) wurden von 1994 bis 1998 jeweils zwischen Mai und September auf Magerrasen verschiedene Pflegemaßnahmen „manuelle Maßnahmen“, „keine Maßnahmen“, „Ziegenbeweidung“, „Schaf- und Ziegenbeweidung“ sowie Kombinationen zur Entbuschung bewertet. Auf bis zu sechs Versuchsstandorten wurden Besatzleistungen und Futterwert, Vegetations- und Faunistische Kartierungen, Entbuschungsleistungen und das Management des Betriebssystems erfasst und verschiedene Pflegemaßnahmen, ethologische Untersuchungen sowie ein Vergleich von Schafen und Ziegen durchgeführt. Die Untersuchungsaspekte wurden jeweils nur auf einem Teil der Standorte erhoben. Die beweideten Flächen hatten eine Größe zwischen 0,2 ha und 5,4 ha, die Anzahl an Weidetagen lag zwischen 8 bis 79 Tagen, wobei nach spätestens 28 Tagen umgetrieben wurde, um den Parasitendruck zu minimieren. Die Anzahl an Ziegen je Fläche variierte zwischen 15 und 71. Im Versuch wurden zunächst im Jahr 1994 reinrassige Kaschmirziegen, Burenziegen und die Bunte Deutsche Edelziege eingesetzt. Da zur Biotoppflege zeitgleich aus den drei Rassen die Witzenhäuser Landschaftspflegeziege gezüchtet wurde, wurden im Laufe des Versuchs auch Kreuzungstiere sowie in den letzten beiden Versuchsjahren auch die Landschaftspflegeziege eingesetzt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Beweidung von Magerrasenflächen mit Ziegen positiv aufgrund von vielseitiger Futteraufnahme, Durchführung ihres Futteraufnahme- und Lokomotionsverhaltens zu bewerten ist, und unter bestimmten Bedingungen auch als artgemäße Haltung gefördert werden könnte. Die Untersuchung zeigte, dass ohne Pflege der Biomasseanteil der Gehölze stieg. Durch Beweidung wurde der Anteil reduziert, insbesondere, wenn als Erstmaßnahme manuell entbuscht wurde. Die Ziege hat keinen Gehölzrückgang erreicht, dafür wäre eine intensivere Beweidung nötig gewesen, aber das Trieb-längenwachstum wurde erheblich eingeschränkt. Die mone-

täre Betrachtung zeigte, dass eine Beweidung mit Ziegen sowohl Entbuschungskosten spart, als auch dem Tierhalter eine steigende Arbeitsentlohnung ermöglicht.

Rahmann (2010) empfiehlt bei einer Beweidungszeit im Juni/Juli eine Weidedauer pro Koppel zwischen 10 und 20 Tagen. Dieses kann je nach Standort in Abhängigkeit von Futterpflanzen, Wüchsigkeit, Futteraufnahme und Pflegeleistung eine Besatzdichte von 15 bis 70 Ziegen je ha bedeuten und variiert von Jahr zu Jahr.

In einer Untersuchung in der Schweiz wurde 1998 im Freilichtmuseum Ballenberg der Einfluss von vier Ziegen auf eine Waldweide untersucht um zu klären, welche Auswirkungen die Beweidung mit Ziegen auf den Waldbestand und die Bodenvegetation hat. Die vier Ziegen (5 GVE/ ha Wald) konnten den Wald im Sommer und Herbst von 1998 bis 2001 jeweils insgesamt acht Wochen beweidet, hatten aber immer Zugang zur Weide. Der Waldbestand bestand hauptsächlich aus Buche, Winterlinde sowie aus Eichen, Ahorn und Fichte sowie Haselnuss und Weißdorn. In den Stammdurchmesserklassen 0 bis 4 cm und 4 bis 8 cm reduzierte sich die Anzahl an Stämmen von den hauptsächlich vorherrschenden Gehölzen Fichte und Buche drastisch: Die Stammzahl von den Fichten reduzierte sich von ca. 800/ha 1998 auf 0/ha 2003, d. h. die Verjüngung wurde vernichtet. Die Stammzahl an Buchen reduzierte sich von 1200/ha auf ca. 400/ha. Biessame Bäume wurden bis 2,5 m beäst. Bei einem Stammdurchmesser von >8 cm wurden nur wenige Schäden bonitiert. Große Fichten, Buchen und Eichen wurden nicht sonderlich geschädigt (Zingg und Kull, 2006).

Eine andere Untersuchung wurde 2007 in der Schweiz neben zehn weiteren Projekten zur Beweidung von Wäldern zu Naturschutzzwecken mit einer gehirteten Ziegenherde begonnen, die tagsüber im Wald gehütet wurden und nachts in einer Koppel untergebracht wurden. Bonituren wurden nur wenig durchgeführt (Dietiker, 2008).

Eine Untersuchung von Ude et al. (2011) zur Beäsung von Futterhecken, die die im folgenden Artikel dargestellten Ergebnisse ergänzt, ergab bedingt durch fakultative Bipédie nach einer Beweidungsdauer von zehn Tagen mittlere Fraßhorizonte von 1,50 m bis 2,0 m, sowie einen Blattverbiss von 80 bis 90 % innerhalb von fünf Beweidungstagen. Ein Gehölzverbiss zeigte sich schon innerhalb der ersten 24 h an den dünnen und mittleren Ästen. Nach 48 Stunden lag der Anteil an unberührten dünnen Gehölzen nur noch bei 30 %, bei den mittleren Gehölzen wurde dieser Wert nach sechs Tagen beobachtet. Auch die Stämme wurden bereits zwischen dem ersten und zweiten Tag beäst, so dass nach vier Tagen 50 % der Stämme Verbisschäden zeigten.

Ziel der Untersuchung

Untersucht wurden der Verlauf des Blattverbisses in zwei zuvor unterschiedlich gepflegten Hecken und der Gehölzverbiss ausgewählter Gehölze in Abhängigkeit von unterschiedlichen Astdurchmessern.

Material und Methoden

Bei dem im Folgenden dargestellten Versuch handelt es sich um ein Teilprojekt eines Forschungsprojektes, das mit 120 Ziegenlämmern der Rasse Bunte Deutsche Edelziege am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau in Trenthorst/Wulmenau im Jahr 2010 durchgeführt wurde. Dieses Forschungsprojekt beschäftigte sich mit der elektronischen Tierkennzeichnung bei Ziegenlämmern in Form von verschiedenen Ohrmarkentypen und Injektaten zu zwei Applikationszeitpunkten und deren Abheilung nach der Applikation sowie mit deren Verlustraten bei systematischer Beweidung von Gehölzen und Weideflächen bei Nutzung von Knotengittern und Litzen.

Erste Ergebnisse zum Blatt- und Rindenverbiss wurden von Ude et al. (2011) dargestellt.

Lämmer

Die einzelnen Varianten wurden mit jeweils 30 männlichen, zum Teil sterilisierten oder weiblichen Ziegenlämmern der Rasse Bunte Deutsche Edelziege durchgeführt. Die Lämmer waren zum Zeitpunkt des Versuchs zum Blatt- und Rindenverbiss zwischen sieben und neun Monaten alt und wogen bei Versuchsende durchschnittlich 29 kg.

Auf den Versuchsflächen stand den Lämmern als Unterstand eine Hütte zur Verfügung. Die Wasserversorgung wurde über eine mobile Schwimmertränke gewährleistet. In einem Kraal in Holztrögen wurden die Lämmer zweimal täglich pro Lamm mit 150 g Weizenschrot, angereichert mit Mineralfutter und Bierhefe gefüttert. Zusätzlich stand jeder Gruppe ein Leckeimer zur Mineralstoff- und Spurenelementversorgung zur freien Verfügung.

Futterhecken

An den Ziegenstall grenzt eine ca. 25 ha große Grünlandfläche. Durch den Treibebeweg, der diese Fläche nahezu halbiert, und durch das Pflanzen von sieben parallel angeordneten Futterhecken im Jahr 2001 gliedert sie sich seit dem in acht Weideflächen mit einer Größe von ca. 2,8 bis 3,5 ha. Zum Zeitpunkt der Pflanzung waren die Gehölze zwischen 30 bis 60 cm hoch. Die Bepflanzung erfolgte in drei Reihen mit einem Reihenabstand von 1,5 m und einem Pflanzenabstand von 75 cm. Es wurden rund 30 heimische Gehölzarten gepflanzt (z. B. verschiedene Weidenarten, Brombeere, Haselnuss, Schwarzdorn, Wildapfel, Zitterpappel, Feldahorn). Die Futterhecken haben eine Länge zwischen 100 und 265 Metern. Zum Fraßschutz wurden die Futterhecken mit Maschendraht eingezäunt. Hierzu wurden alle 3 bis 5 m Holzpfähle in den Boden gerammt und der Maschendraht mit Krampen befestigt. Der Maschendrahtzaun wurde vor der Beäsung entfernt, die Holzpfähle dienen nach einer Beäsung wieder dem Zaunbau.

Drei der sieben Hecken wurden 2008 von den Ziegen beäst und anschließend bodennah (ca. 5 bis 10 cm hoch) abgesetzt, d. h. „auf den Stock gesetzt“. 2009 wurde eine weitere Hecke auf diese Weise genutzt und gepflegt.

Die Bonituren von Ude et al. (2011) von vergleichbaren Parzellen zeigten Wuchshöhen bei zwei bis 2010 noch nicht auf den Stock gesetzten alten Hecken je nach Gehölz zwischen ca. 2,50 m (Schwarzdorn, Heckenrose, rote Heckenkirsche) und 6,5 bis 7,5 m (Silberweide, Salweide, Bruchweide). Die Wuchshöhen der in 2008 auf den Stock gesetzten jungen Hecke betragen 0,8 m (Hainbuche) bis 2,8 und 4,3 m (Weiden). In der 2009 auf den Stock gesetzten ganz jungen Hecke waren maximale Wuchshöhen von 2,5 bis 2,7 m (Silberweide und Bruchweide) und geringe Wuchshöhen von 0,8 bis 1,1 m (Linde, Schneeball, Salweide) ermittelt worden.

Varianten

Die Versuchsflächen hatten eine Größe von je 3500 m², wobei die Heckenlänge jeweils 70 m betrug.

Untersucht wurden zwei unterschiedlich gepflegte Hecken:

- Variante junge Hecke: Im Jahr 2008 von Ziegen beäst und auf den Stock gesetzt.
Dauer: 25.08.2010 bis 02.09.2010
- Variante alte Hecke: Bis zum Jahr 2010 noch nicht gepflegt.
Dauer: 01.09.2010 bis 12.09.2010

Digitale Datenerfassung; digitale Bildanalyse

Die Daten wurden innerhalb einer Projektarbeit von Börner (2011) erfasst. Die Datenerfassung erfolgte ausschließlich digital (Casio EX-H10). Die erste Reihe jeder Parzelle wurde so fotografiert, dass die Holzpfosten links und rechts im Foto die Parzelle abgrenzten. Zusätzlich wurde zur Erfassung des Maßstabes ein 2 m langer Messstab mit fotografiert. Anschließend wurde jedes Gehölz der ersten Reihe einzeln fotografiert. Mit dem Parzellenfoto wurde der Blattverbiss bonitiert und die Fotos mit den einzelnen Gehölzen dienen der Ermittlung des Rindenverbisses.

Erfassung der Biomassevolumen

Alle Gehölze wurden mit einem Gliedermaßstab und einem markierten Teleskopstab vermessen. Bei Gehölzen, die eine maximale Höhe bis 1,80 m hatten, wurden die maximale Höhe und zweimal die Breite (parallel zur Hecke und im 90-Grad-Winkel) in maximaler Höhe bestimmt. Waren die Gehölze höher als 1,80 m, wurde die maximale Höhe, zweimal die Breite in maximaler Breite (hier wurde auch die Höhe noch einmal erfasst) und zusätzlich in 1,80 m die Breite zweimal bestimmt.

Auswertung

Die Bestimmung des Blattverbisses erfolgte über die digitale Bildverarbeitung mit dem Bildverarbeitungsprogramm ImageJ. Alle Flächen oberhalb des Fraßhorizontes, blattlose Flächen und Äste wurden hiermit entfernt, die verbliebenen Blattanteile als Schwarz-Weiß-Bild dargestellt und die Partikel mit Hilfe des Bildverarbeitungsprogramms ermittelt. Ge-

hölze, die auf der Grenze zweier Parzellen standen, wurden auf zwei Parzellen aufgeteilt. Von einer Parzelle je Variante konnte der Blattanteil nicht ermittelt werden, weil der Grünanteil des Hintergrundes nicht zu filtern war (Börner, 2011).

Die ermittelte Pixelanzahl je Parzelle wurde am ersten Boniturtermin, d. h. vor dem Beweiden, gleich 100 % gesetzt, so dass an den Folgetagen die prozentualen Anteile umgerechnet werden konnten (Börner, 2011). Der Blattverbiss wird im Folgenden dargestellt mit Boxplots, die mit SAS 9.3 erstellt wurden.

Das Biomassevolumen wurde mit der Formel $V = \pi \times r^2 \times h$ je Gehölz berechnet. Bei den Gehölzen der alten Hecke wurde das gesamte Volumen und das Volumen in ca. 1,80 m bestimmt. Die einzelnen Biomassevolumen der Gehölze wurden aufsummiert.

Der Rindenverbiss im Fraßhorizont wurde anhand der Digitalbilder bonitiert, wobei das modifizierte Boniturschema nach Ganskop et al. (1997) angewandt wurde. Die Klassifizierungen bestanden aus: Kein Verbiss, punktuell, <1/3, 1/3 bis 2/3, >2/3, und rindenlos. Zusätzlich wurde erfasst, wenn das Gehölz an einem Ast geschält war.

Bei den Gehölzen wurden drei Gehölzstärken unterschieden: Dünne Triebe bis ca. 0,5 cm Durchmesser, ab 0,5 cm bis ca. 6 cm und >6 cm. D. h. jedes Gehölz wurde zunächst in maximal drei Klassen klassifiziert und jede Klasse wurde anhand des digitalen Fotos bonitiert. Der Rindenverbiss wurde einzeln für jedes Gehölz erfasst. Die Gehölze einer Art wurden anschließend zusammengefasst und aufsummiert. Hier wurde ausschließlich deskriptive Statistik angewendet, so dass jeweils der prozentuale Anteil der Verbissklassifizierung dargestellt wird. Die einzelnen Verbissklassen wurden zu drei Klassen zusammengefasst: Kein Verbiss, Verbiss <1/3 und Verbiss >1/3. Auf eine weiterführende statistische Auswertung bzw. statistische Darstellung der Daten (Standardabweichung) wurde zu Gunsten der Übersichtlichkeit der Grafiken verzichtet.

Ergebnisse

Klassifizierung von Gehölzen und Bestimmung der Biomassevolumen

Das 70 m lange Teilstück der alten Hecke bestand in der ersten Reihe aus 68 Gehölzen. Bei 50 % der Gehölze handelte es sich um Weiden (Bruch-, Silber- und Salweiden). Als eher schwer zu beäsende Gehölze aufgrund von Dornen/Stacheln kamen fünf Heckenrosen und fünf Schwarzdorne vor. Als schmackhafteste Gehölze waren der Schneeball (vier Gehölze), Hasel (drei Gehölze) und die leicht giftige rote Heckenkirsche (fünf Gehölze) vertreten (Tabelle 1).

Im Laufe der Jahre hatte sich ein dichter, lückenloser Bestand gebildet.

Von den 68 Gehölzen hatten 66 Gehölze Äste mit einem Astdurchmesser <0,5 cm, 64 Gehölze Äste mit einem Astdurchmesser von 0,5 cm bis 6 cm und 51 Gehölze hatten Stämme mit einem Astdurchmesser >6,0 cm (Tabelle 1).

Die 70 m lange Versuchsparzelle bestand aus 16 aneinander grenzenden Parzellen mit einem mittleren Biomassevolumen pro Parzelle von 18,1 m³ im Fraßhorizont, im Minimum betrug das Volumen 6,7 m³ und im Maximum 47,7 m³.

Tabelle 1

Anzahl Gehölze und Anzahl Gehölze, klassifiziert nach Astdurchmesser – alte Hecke

Gehölz	Anzahl in alter Hecke [n]	Anzahl Gehölze Astdurchmesser < 0,5 cm [n]	Anzahl Gehölze Astdurchmesser 0,5 bis 6,0 cm [n]	Anzahl Gehölze Astdurchmesser > 6,0 cm [n]
Bruchweide	10	9	10	10
Silberweide	13	13	13	12
Salweide	11	11	11	8
Erle	4	3	3	4
Heckenrose	5	5	5	0
Rote Heckenkirsche	5	5	5	3
Schwarzdorn	5	5	5	4
Hainbuche	3	3	2	3
Haselnuss	3	3	3	2
Apfel	2	2	2	2
Schneeball	4	4	4	0
Holunder	1	1	0	1
Eiche	1	1	0	1
Pappel	1	1	1	1
Gesamtanzahl	68	66	64	51

Tabelle 2

Anzahl Gehölze und Anzahl Gehölze, klassifiziert nach Astdurchmesser – junge Hecke

Gehölz	Anzahl in junger Hecke [n]	Anzahl Gehölze Astdurchmesser < 0,5 cm [n]	Anzahl Gehölze Astdurchmesser 0,5 bis 6,0 cm [n]	Anzahl Gehölze Astdurchmesser > 6,0 cm [n]
Bruchweide	2	2	2	0
Silberweide	17	17	17	0
Salweide	3	3	0	0
Schwarzdorn	16	16	0	0
Haselnuss	1	1	1	0
Eiche	4	4	0	0
Pappel	93	93	62	0
Heckenkirsche	1	1	0	0
Gesamtanzahl	137	137	82	0

Das 70 m lange Teilstück der jungen Hecke bestand in der ersten Reihe aus 137 Gehölzen. Davon entfielen 93 Gehölze auf die Pappel, 22 auf Weiden (17 Silberweiden, 3 Salweiden, 2 Bruchweiden) und 16 auf Schwarzdorngehölze. Des Weiteren

waren je eine Hasel und eine Heckenkirsche, sowie vier Eichen vertreten (Tabelle 2).

Alle Gehölze hatten Äste mit einem Astdurchmesser <0,5 cm. 82 Gehölze hatten Äste mit einem Durchmesser zwischen 0,5 und 6 cm. Stämme waren nicht vertreten (Tabelle 2).

Hier handelte es sich um einen lückigen Bestand.

Die ebenfalls 70 m lange Versuchsparzelle bestand aus 15 aneinander grenzenden Parzellen mit einem mittleren Biomassevolumen von 23,0 m³. Minimal betrug das Volumen 1,3 m³ und maximal 65,3 m³.

Blattverbiss

Die in den Abbildungen 1 und 2 dargestellten Boxplots zeigen die Häufigkeitsverteilung des Blattverbisses. Der horizontale Strich stellt den Median dar und der Stern das arithmetische Mittel. Innerhalb der Box liegen 50 % der Werte. Die sich an die Box nach oben und unten anschließenden Whisker geben die Streuung der Messwerte außerhalb der Box an und enden mit Minimum und Maximum. Extreme Ausreißer werden mit Kreisen abgebildet.

Der dargestellte Blattverbiss wurde täglich digital je Parzelle erfasst. In die Auswertungen wurden bei der alten Hecke 15 Parzellen und bei der jungen Hecke 14 Parzellen bzw. an einem Tag 13 Parzellen einbezogen.

Tag Null stellt den Anteil an Blättern vor der Beweidung dar und liegt daher bei 100 %. Innerhalb von 48 h hat sich in beiden Hecken der prozentuale Blattanteil im Fraßhorizont auf 50 %, am fünften Tag auf 20 % in der alten Hecke und 10 % in der jungen Hecke reduziert (Abbildung 1 und Abbildung 2).

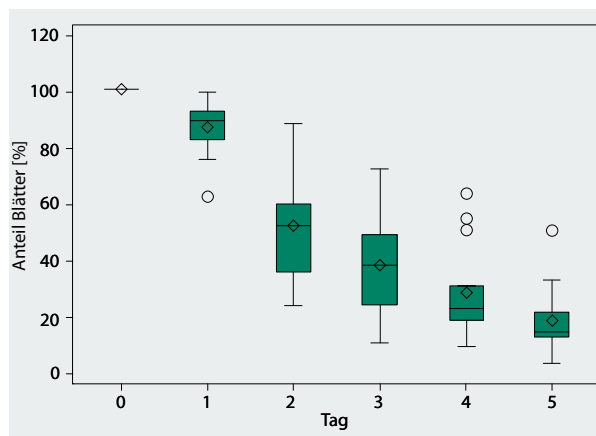


Abbildung 1
Prozentualer Anteil an Blättern in der alten Hecke je Versuchstag

Bei der alten Hecke zeigen die Boxplots insbesondere am zweiten und dritten Beäsungstag inhomogene Beäsungen in den Parzellen, bei der jungen Hecke zusätzlich am ersten Beäsungstag. Am vierten und fünften Tag verläuft der Verbiss wieder homogener. Insgesamt weisen die Daten von jedem Beäsungstag deutliche Whisker auf, die von Minimum bis Maximum bis zu 64 % betragen können.

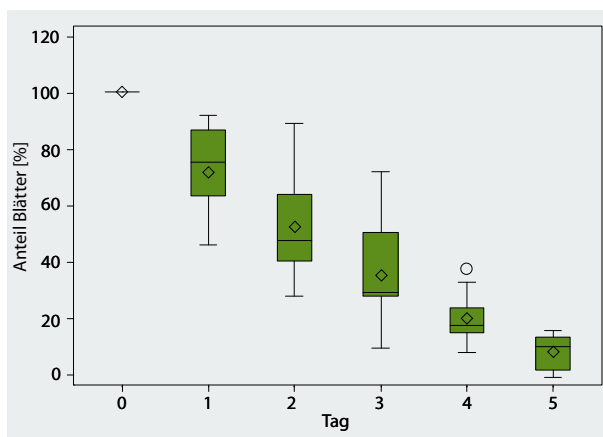


Abbildung 2

Prozentualer Anteil an Blättern in der jungen Hecke je Versuchstag

Rindenverbiss

Der mittlere Gehölzverbiss klassifiziert nach Hecke und Astdurchmesser wurde in Ude et. al. (2011) dargestellt: In der alten Hecke wurde schon innerhalb der ersten 24 h an den dünnen und mittleren Ästen geknabbert. Nach 48 h lag der Anteil an unberührten dünnen Ästen nur noch bei 30 %, bei den mittleren Ästen wurde dieser Wert nach sechs Tagen beobachtet. Zwischen dem ersten und zweiten Tag begannen die Lämmer auch die Stämme zu beäsen und nach vier Tagen waren nur noch 50 % der Stämme ohne Verbisschäden. Bei den dünnen Ästen sind nach drei Tagen 90 % der Äste bis zu 1/3 im Bereich des Fraßhorizontes beäst worden. Ab diesem Zeitpunkt war dann auch ein Verbiss >1/3 zu verzeichnen, der nach 10 Tagen bei 10 % lag. Bei den mittleren Ästen war ein Verbiss bis 1/3 bei 30 % der Gehölze vom 3. bis 7. Tag zu verzeichnen. Der Verbiss der mittleren Äste nahm stetig zu, nach sieben Tagen waren 50 % der Äste >1/3 beäst. Dieser Anteil stieg in den zehn Tagen auf 80 %. Auch bei den Stämmen war ab drei Tagen der Anteil <1/3 bei 30 bis 40 %, hingegen nahm der Anteil >1/3 Verbisschaden ab dem dritten Tag von 10 % auf 55 % zu.

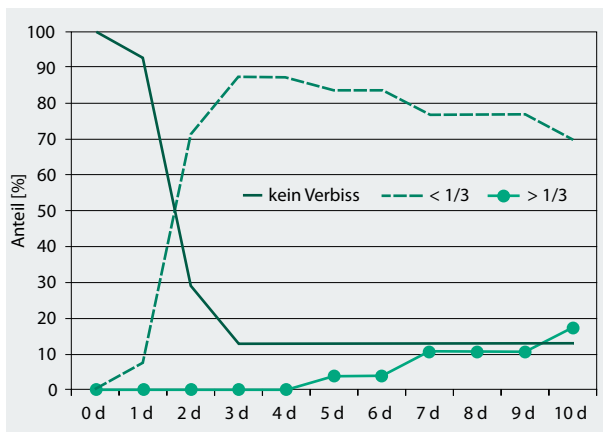


Abbildung 3

Anteil beäster Weiden, alte Hecke, Astdurchmesser <0,5 cm

Bei der jungen Hecke wurde nur zwischen dünnen und mittleren Ästen unterschieden. Bei den dünnen Ästen gab es kein Gehölz, an dem nach 24 h keine Verbisschäden zu verzeichnen waren. Dementsprechend stieg der Anteil des Verbisses <1/3 auf 100 % und nahm in den folgenden Tagen im gleichen Umfang ab (75 %), wie der Verbiss >1/3 zunahm. Bei den mittleren Ästen waren nach 24 h bei 30 % der Gehölze Verbisspuren, nach 48 h bei 80 % und nach fünf Tagen bei 100 %. <1/3 Rindenverbiss wurde vom 2. bis 4. Tag bei 50 % der Gehölze beobachtet, danach reduzierte sich dieser Anteil auf 35 %. Der Anteil an Gehölzen, die >1/3 verbissen wurden, steigerte sich kontinuierlich und betrug nach fünf Tagen 65 %.

Rindenverbiss und geschälte Rinde der alten Hecke von Weiden, Schwarzdorn und Heckenrose

Bei den Weiden (Bruchweide, Salweide, Silberweide) zeigte sich an den dünnen und mittleren Ästen nach 24 h an rund 93 % der Weiden kein Verbiss. Innerhalb 48 h nach Beweidungsbeginn reduzierte sich dieses auf ca. 30 % bei den jungen Trieben und 63 % bei den mittleren. Am dritten Tag sowie den folgenden Tagen zeigten noch 13 % der jungen Triebe keinen Verbiss. Bei den mittleren Trieben wurden nach 72 h noch 41 % der Weiden nicht verbissen; dieser Anteil reduzierte sich auf 8 % am zehnten Beäsungstag. Die Stämme wurden erst innerhalb von 48 h beäst (13 %), am vierten Beäsungstag zeigten noch 52 % keine Verbisspuren. Bis zum zehnten Tag wurden 80 % der Weidenstämme beäst.

Die jungen Triebe wurden innerhalb der zehn Tage bis 87 % verbissen, aber nur <1/3. Der Rindenverbiss >1/3 lag zwischen rund 4 % und 17 %. Die mittleren Äste und Stämme zeigten mehr Verbiss. Am sechsten Beäsungstag wurden 51 % der mittleren und 40 % der Stämme >1/3 verbissen, dieses erhöhte sich bis zum zehnten Tag auf 87 % bei den mittleren Ästen und 52 % bei den Stämmen.

Der stärkste Rindenverbiss zeigte sich an den mittleren Ästen mit einem Astdurchmesser von 0,5 cm bis 6,0 cm (Abbildung 3, Abbildung 5, Abbildung 7).

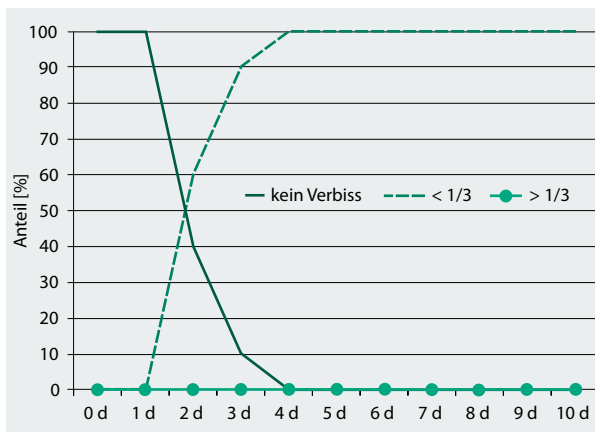


Abbildung 4

Anteil beäster Schwarzdorne und Heckenrosen, alte Hecke, Astdurchmesser <0,5 cm

Bei den Heckenrosen und Schwarzdornen zeigte sich bei den jungen Trieben erster Verbiss innerhalb von 48 h, bei den mittleren nach 72 h und bei den Stämmen erst am siebten Beäsungstag. Ab dem vierten Tag (junge Triebe) bzw. neunten Tag (Stämme) wurden alle Triebe/Stämme verbissen. Bei den mittleren Trieben wurden auch nach 10 Tagen 20 % der Äste nicht verbissen. Bei den jungen Trieben wurden am zweiten Beäsungstag 60 % <math>< 1/3</math> verbissen, ab dem vierten Tag lag dieser Anteil bei 100 %; ein Verbiss >math>> 1/3</math> trat nicht auf. Bei den mittleren Trieben wurden am vierten Tag 40 % <math>< 1/3</math> verbissen, dieses erhöhte sich auf 50 % am achten Tag. Ein Verbiss >math>> 1/3</math> war ab dem vierten Tag mit 10 % zu verzeichnen und erhöhte sich auf 50 % bis zum zehnten Tag. Die Stämme (nur Schwarzdorne) wurden erst ab dem siebten Tag beäst, allerdings wurden dann innerhalb von vier Tagen alle Stämme >math>> 1/3</math> beäst. Der stärkste Rindenverbiss zeigte sich bei den Stämmen (Abbildung 4, Abbildung 6, Abbildung 8).

Bei den jungen Trieben sind keine geschälten Äste aufgetreten.

Bei den mittleren Ästen wurde am zweiten Beäsungstag bei einem Schneeball geschälte Rinde bonitiert. Ab dem dritten Tag ist auch bei Bruchweide, ab dem vierten bei Hasel und Salweide, ab dem sechsten Tag bei Silberweide und ab dem siebten bei roter Heckenkirsche geschälte Rinde aufgetreten. Beim Schwarzdorn wurde erst am zehnten Tag geschälte Rinde bonitiert. Bei den nicht aufgeführten Gehölzen ist keine geschälte Rinde aufgetreten (Tabelle 3).

Bei den Stämmen trat am zweiten Beäsungstag bei der einzigen Pappel beäste Rinde auf. Am vierten Tag wurde zusätzlich bei einem Apfel, zwei Bruchweiden, einer Buche, am fünften bei einer Erle und drei Salweiden geschälte Rinde bonitiert. Am neunten Tag trat bei zwei Schwarzdornen und am zehnten Tag bei einer Silberweide geschälte Rinde auf. Bei den nicht aufgeführten Gehölzen wurde keine geschälte Rinde bonitiert (Tabelle 4).

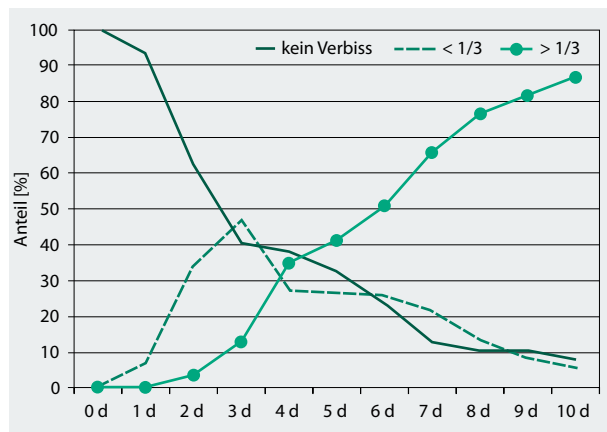


Abbildung 5
Anteil beäster Weiden, alte Hecke, Astdurchmesser 0,5 cm bis 6,0 cm

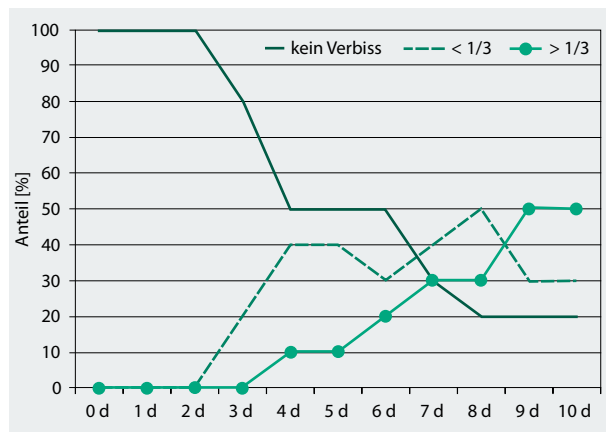


Abbildung 6
Anteil beäster Schwarzdorne und Heckenrosen, alte Hecke, Astdurchmesser 0,5 cm bis 6,0 cm

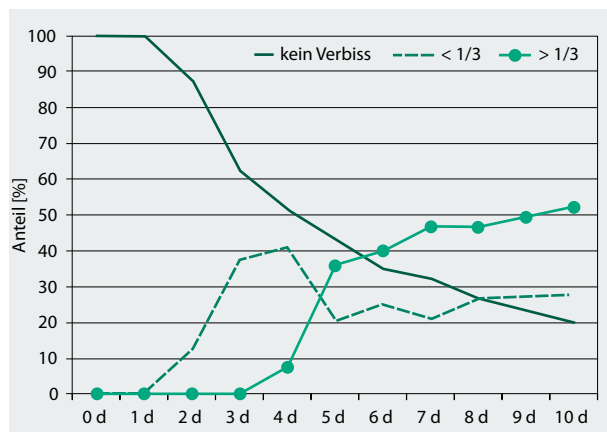


Abbildung 7
Anteil beäster Weiden, alte Hecke, Astdurchmesser >6,0 cm

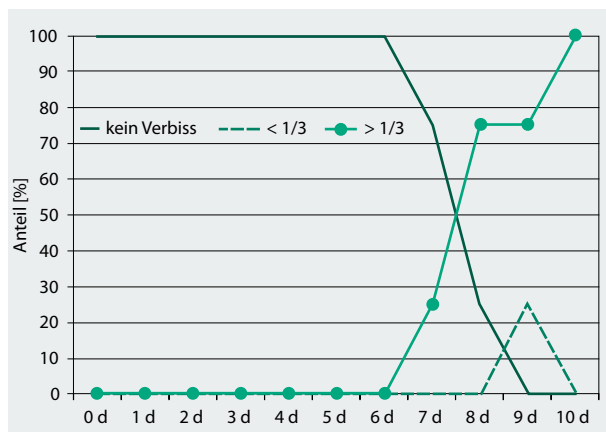


Abbildung 8
Anteil beäster Schwarzdorne und Heckenrosen, alte Hecke, Astdurchmesser >6,0 cm

Tabelle 3

Prozentualer Anteil an Gehölzen mit geschälter Rinde, mittlere Äste in der alten Hecke

Gehölz	Anzahl [n]	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d	9 d	10 d
Bruchweide	10	0,0	0,0	20,0	30,0	30,0	40,0	50,0	50,0	70,0	70,0
Haselnuss	3	0,0	0,0	0,0	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	66,7	100,0
Rote Heckenkirsche	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	40,0	60,0
Salweide	11	0,0	0,0	0,0	9,1	18,2	18,2	18,2	27,3	27,3	27,3
Schneeball	4	0,0	25,0	50,0	75,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Schwarzdorn	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0
Silberweide	13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,7	7,7	7,7	30,8	46,2

Tabelle 4

Prozentualer Anteil an Gehölzen mit geschälter Rinde, Stämme in der alten Hecke

Gehölz	Anzahl [n]	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d	9 d	10 d
Apfel	2	0,0	0,0	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Bruchweide	10	0,0	0,0	0,0	20,0	30,0	30,0	30,0	40,0	40,0	40,0
Erle	4	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	50,0	75,0	75,0	75,0	100,0
Hainbuche	3	0,0	0,0	0,0	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3
Pappel	1	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Salweide	8	0,0	0,0	0,0	0,0	37,5	62,5	75,0	87,5	87,5	87,5
Schwarzdorn	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	75,0
Silberweide	12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3

Rindenverbiss und geschälte Rinde der jungen Hecke von Weiden und Schwarzdorn

Der Rindenverbiss der jungen Triebe verläuft bei den Weiden (Silberweide, Salweide, Bruchweide) und dem Schwarzdorn ähnlich. Innerhalb der ersten 24 h sinkt der Anteil an nicht beäster Rinde von 100 % auf 0 % und dementsprechend steigt der Anteil beäster Rinde $<1/3$ von 0 % auf 100 %. Der Anteil an beäster Rinde $>1/3$ steigt bei den Weiden vom ers-

ten zum zweiten Beäsungstag von 0 % auf 22 % und verbleibt auf diesem Niveau. Bei den Schwarzdornen erhöht sich der Anteil an beäster Rinde von null Prozent am ersten Tag auf 12 % und nimmt am vierten Tag auf 18 % zu (Abbildung 9 und Abbildung 10).

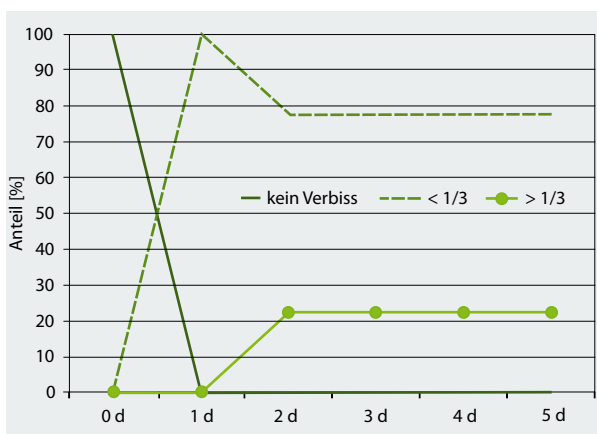


Abbildung 9

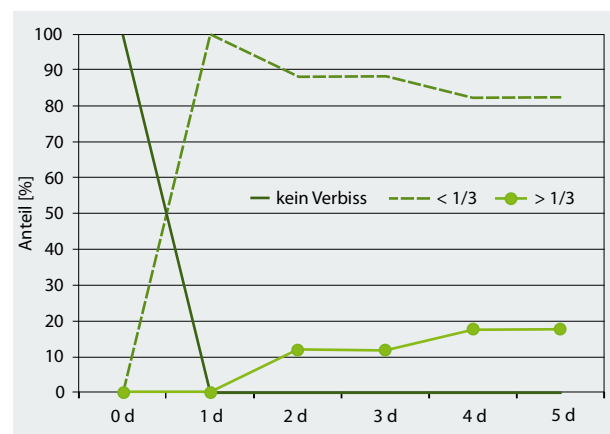
Anteil beäster Weiden, junge Hecke, Astdurchmesser $<0,5$ cm

Abbildung 10

Anteil beäster Schwarzdorne junge Hecke, Astdurchmesser $<0,5$ cm

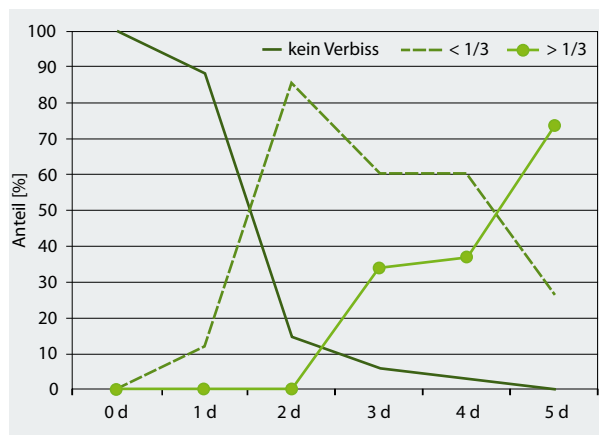


Abbildung 11
Anteil beäster Weiden, junge Hecke, Astdurchmesser 0,5 cm bis 6,0 cm

Bei den Weiden mit mittleren Ästen zeigten nach 24 h noch 88 % keinen Verbiss. Innerhalb der nächsten 24 h reduzierte sich der Anteil auf 15 % und nahm bis zum fünften Beäsungstag auf null Prozent ab. Ein Verbiss <1/3 betrug nach 24 h 12 %, steigerte sich auf 85 % am zweiten Beäsungstag und nahm wieder ab auf 27 % bis Tag fünf. Der Rindenverbiss >1/3 steigerte sich von null Prozent nach 48 h auf 34 % am dritten Tag und nahm weiter zu auf bis 74 % am fünften Beäsungstag (Abbildung 11).

Bei den Schwarzdornen traten keine mittleren Äste auf. Ebenso traten bei den Weiden und den Schwarzdornen keine Stämme auf.

Dargestellt in der folgenden Tabelle 5 ist der prozentuale Anteil an Gehölzen mit geschälter Rinde bei jungen und mittleren Trieben. Bei den jungen Trieben wurde nur bei einer Eiche Rinde geschält (zweiter Beäsungstag). An den mittleren Ästen wurde bei den Bruchweiden, Silberweiden und dem Haselnuss ab dem zweiten Beäsungstag beäste Rinde bonitiert.

Die Pappel konnte nicht ausgewertet werden.

Tabelle 5
Prozentualer Anteil an Gehölzen mit geschälter Rinde, dünne und mittlere Äste, junge Hecke

Gehölz	Anzahl [n]	Aststärke	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d
Eiche	4	dünn	0,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Bruchweide	2	mittel	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Silberweide	17	mittel	0,0	11,8	29,4	29,4	41,2
Haselnuss	1	mittel	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Diskussion

Bei einem Pflanzabstand von 75 cm sind auf 70 m Länge in einer Reihe ca. 93 Gehölze gepflanzt worden. Von den 93 Pflanzen konnten sich 68 in der alten, noch nicht gepflegten Hecke, etablieren. Es bildete sich in den Jahren ein dichter, lückenloser Bestand. Bei der Hälfte der Gehölze handelte es sich um Weiden (Bruch-, Silber- und Salweiden). Des Weiteren waren hauptsächlich Heckenrose, Schwarzdorn, Schneeball, Hasel und die rote Heckenkirsche vertreten.

Weiden gelten als Pionierbäume. Sie sind sehr wüchsig, so dass Jahrestriebe von mehr als 1 m durchaus üblich sind. Zudem sind sie für ihre Ausschlagfreudigkeit nach dem Absägen bekannt (Roloff, 2012). Heckenrosen sind Gehölze mit Stacheln und Schwarzdorne haben Zweige mit stechender Spitze, so genannte Sprossdornen (Stichmann und Stichmann-Marny, 1999).

Weiden, Heckenrosen und Schwarzdorn werden alle stark verbissen. Durch die gespaltene Oberlippe kann die Ziege auch dornige/ stachelige Sträucher wie Schlehe, Weißdorn und Rosen beweidet (Rahmann, 2009).

Als schmackhafteste Gehölze zeigten sich in der Untersuchung der Schneeball mit vier Gehölzen, die Hasel mit drei Gehölzen und die leicht giftige rote Heckenkirsche mit fünf Gehölzen.

In der einmalig, im Jahr 2008 gepflegten Hecke, wuchsen 137 Gehölze, davon 93 Pappeln, 22 Weiden und 16 Schwarzdorngehölze. Des Weiteren waren je eine Hasel und eine Heckenkirsche, sowie vier Eichen vertreten. Damit fiel der Anteil an Weiden, die sich überwiegend über Samen vermehren, geringer aus am Gesamtbestand, aber insgesamt hat sie sich gut etabliert.

Schwarzdorn vermehrt sich überwiegend vegetativ, und gilt als Gehölz, das sich gerne ausbreitet. Pappeln sind dafür bekannt, dass sie durch reiche Samenproduktion und gute Flugfähigkeit Freiflächen besiedeln, sofern nicht zu viele Gräser und Kräuter den Boden bedecken (Stichmann und Stichmann-Marny, 1999). Der sehr schmackhafte Schneeball war in der gepflegten Hecke nicht mehr vertreten.

Rosenarten werden von Rahmann (2000) als Pflanzen mit gut schmeckenden Blättern, aber dornenbesetzten Zweigen beschrieben und wurden wenig frequentiert. Der Schneeball, wie er in den intensiv verbissenen Parzellen 15 und 16 stark vertreten war, wurde von Ziegen immer besonders schnell beäst, dies zeigte sich in der Analyse des Blattverbisses ebenso wie in der Analyse des Rindenverbisses. Rahmann (2000) hat ebenfalls festgestellt, dass der Schneeball schnell und heftig verbissen wird. Auch der Verbiss am Schwarzdorn ist in dieser Literatur beschrieben, er verläuft dort an Blättern mittelstark bis gering, an Rinde sehr gering. Beim Rindenverbiss wurde der Schwarzdorn in der jungen Hecke nicht geschält, in der alten Hecke an den mittleren Trieben und Stämmen. Rahmann (2000) sieht bei Rosen durch den größeren Anteil von nicht-dornen-besetzter Stammfläche den Grund für den bodennahen Rindenverbiss. Beim Schwarzdorn sind die dünnen Triebe und die Stämme nicht dornenbesetzt, die Stämme scheinen sich einfacher beäsen zu lassen.

Generell muss bei dieser Untersuchung die unterschiedliche Anzahl je Gehölz beachtet werden. Ebenfalls anzumerken ist, dass die Schälung auf Grund der Standdichte der Pflanzen erschwert sein kann, wenn nicht jeder Rindenbereich gut zu erreichen ist.

Der Blattverbiss verlief in beiden Hecken annähernd ähnlich. Innerhalb von 48 h hat sich in beiden Hecken der prozentuale Blattanteil im Fraßhorizont auf 50 %, am fünften Tag auf 20 % in der alten Hecke und 10 % in der jungen Hecke reduziert. Bei der alten Hecke zeigten der zweite und dritte Beäsungstag inhomogene Beäsungen in den Parzellen, bei der jungen Hecke wurde dieses zusätzlich am ersten Beäsungstag beobachtet. Dieses kann möglicherweise mit dem unterschiedlich verfügbaren Biomassevolumen zusammen hängen sowie mit der Schmackhaftigkeit der einzelnen Gehölze. So kann einerseits bei den Parzellen mit hohem Biomassevolumen ein schnellerer Blattverbiss beobachtet werden, aber andererseits auch bei den sehr schmackhaften Gehölzen mit Schneeball, Haselnuss und roter Heckenkirsche mit eher geringerem Biomassevolumen.

Schlussfolgerung

Die Einbeziehung einer Futterhecke als Futtergrundlage scheint möglich, unter der Voraussetzung, dass Gehölze gewählt werden, die den Verbiss tolerieren. Weiden zeigen einen sehr guten Wiederaustrieb und ermöglichen ein hohes Biomassevolumen. Es sollten ähnlich stark beäste Gehölze wie verschiedene Weidenarten, Pappeln und Haselnuss angepflanzt werden; bei der Planung der Beweidung gilt es zu beachten, die Dauer an die Intensität des Verbiss anzupassen, die von der dominierenden Pflanzenart abhängig ist.

Literaturverzeichnis

- Börner W (2011) Beweidung von Futterhecken mit Ziegen. Interdisziplinäre Projektarbeit. Kassel : Univ, Fachber Ökol Agrarwiss
- Deinhofer G (2009) Gesunde Ziegen durch optimales Weidemanagement : Vor- und Nachteile der Weidehaltung von Ziegen. In: 4. Fachtagung für Ziegenhaltung : Grünland- und Weidemanagement, Milchqualität und -leistung, Tiergesundheit, 6. November 2009. Irdning : Lehr- Forschungszentrum Landwirtsch, pp 29-34
- Dietiker F (2008): Waldweide - Tradition unter veränderten Vorzeichen. Umwelt Aargau, Nr. 41, 23-26
- Ganskopp D, Cruz R, Fajemisin B (1997) Relationships among variables indexing selective grazing behavior of goats. *Appl Anim Behav Sci* 51(1/2):75-85
- Kurz P, Machatschek M, Iglhauser B (2001) Hecken : Geschichte und Ökologie ; Anlage, Erhaltung, Nutzung. Graz : Stocker, 440 p
- Korn S von (2001) Schafe in Koppel- und Hütelhaltung. Stuttgart : Ulmer, 200 p
- Machatschek M (2005) Laubfutter: Nährgehalte und Heilwirkung. *Lebendige Erde* (6):38-41
- Piorr H-P, Reutter M (2003) TAPAS 2001 & 2002 – Deutschland : lineare Landschaftselemente als Agrar-Umwelt-Indikatoren [online]. Zu finden in <http://www6.fh-eberswalde.de/lanu/3_wissenschaft/projekte/lai/Report-LAI-2003-DE.pdf> [zitiert am 20.09.2012]
- Rahmann G (2000) Biotoppflege als neue Funktion und Leistung der Tierhaltung : dargestellt am Beispiel der Entbuschung von Kalkmagerrasen durch Ziegenbeweidung. Hamburg : Kovač, 384 p, SchrR Agraria 28

- Rahmann G (2004) Gehölzfutter - eine neue Quelle für die ökologische Tierernährung. *Landbauforsch Völkenrode SH* 272: 29-42
- Rahmann G (2009) Ökologische Schaf- und Ziegenhaltung : 100 Fragen und Antworten für die Praxis. Braunschweig : FAL, 261 p
- Rahmann G (2010) Mündliche Mitteilung
- Roloff A (2012) Die Silber-Weide : Baum des Jahres 1999 [online]. Zu finden in <<http://baum-des-jahres.de/index.php?id=443>> [zitiert am 14.09.2012]
- Stichmann W, Stichmann-Marny U (1999) Der neue Kosmos Pflanzenführer. Stuttgart : Kosmos, 447 p, Kosmos-Naturführer
- Ude G, Börner W, Bender S, Georg H (2011) Untersuchung zur Beäsung von Futterhecken mit Ziegenlämmern. *Landbauforsch SH* 346:77-90
- Zingg A, Kull P (2006) Einflüsse der Ziegenweide auf den Wald. *Wald Holz* 87(11):41-43

Temperature stress during flowering time affects yield and quality parameters of waxy barley

Dinah Reinhardt*, Gisela Jansen**, Sylvia Seddig**, and Bettina Eichler-Löbermann*

Abstract

Temperature affects growth and quality parameters of crops. This study investigates the effects of low and high temperatures during flowering time on yield and quality of waxy barley. Three waxy genotypes and the cultivar Lomerit with a non-waxy starch composition were exposed to three different temperature variants (10, 20 [control] and 30 °C) in growth chambers. Stress was applied at the beginning of heading and was stopped at the beginning of watery ripe. Different temperatures during flowering resulted in different yields, whereas these effects were also genotype specific. High temperatures (30 °C) at flowering resulted in a significantly reduced number of kernels and kernel yield per plant. Low temperatures at flowering (10 °C) mainly resulted in higher yields. In addition, a significant influence of the temperature at flowering and the genotype on protein content, starch content and starch composition was detected. High temperature at flowering resulted in a decreased starch and increased protein content for all genotypes. Low temperatures at flowering time were mainly associated with increased starch and decreased protein contents. Protein content was negatively correlated with starch content and positively correlated with the β -amylase-activity. The waxy genotypes showed a higher temperature sensitivity regarding the investigated yield parameters than the non-waxy cv. Lomerit.

Keywords: *barley, temperature stress, flowering period, yield and quality parameters*

Zusammenfassung

Temperaturstress während der Blüte beeinflusst Ertrags- und Qualitätsparameter bei waxy Gersten

Temperatur hat einen Einfluss auf das Wachstum und die Qualität von Nutzpflanzen. In dieser Studie wurden die Auswirkungen von Temperaturstress während der Blüte auf Ertrags- und Qualitätskomponenten von waxy Gersten untersucht. Hierfür wurden drei waxy Gersten-Linien sowie eine Gerstensorte (Lomerit) mit einer normalen Stärkezusammensetzung verschiedenen Temperaturen (10, 20 [Kontrolle] und 30 °C) ausgesetzt. Der Temperaturstress wurde zu Beginn des Ährenschiebens eingeleitet und endete mit Beginn des Kornansatzes. Es konnte ein hoch signifikanter Einfluss der Blühtemperatur auf den Ertrag nachgewiesen werden. Hohe Temperaturen (30 °C) führten bei allen Gersten zu einer Reduktion von Kornanzahl und -gewicht pro Pflanze. Ertragssteigerungen wurden vor allem bei niedriger Blühtemperatur von 10 °C ermittelt. Der Protein- und Stärkegehalt sowie die Stärkezusammensetzung im Korn wurden ebenfalls von der Blühtemperatur und vom Genotyp beeinflusst. Alle Linien zeigten infolge einer hohen Temperatur einen erhöhten Proteingehalt bei gleichzeitiger Abnahme des Stärkegehalts im Vergleich zur Kontrolle (20 °C). Sinkende Protein- und steigende Stärkegehalte wurden hingegen bei niedrigen Blühtemperaturen ermittelt. Der Proteingehalt korrelierte negativ mit dem Stärkegehalt und positiv mit der β -Amylaseaktivität. Verglichen mit Lomerit zeigten die waxy Gersten eine stärkere Variation der Ertragsparameter in Abhängigkeit der Temperaturstufen und sind somit als temperatursensitiver einzuschätzen.

Stichwörter: *Gerste, Temperaturstress, Blüte, Ertrag, Qualitätsparameter*

* University of Rostock, Faculty of Agriculture and Environmental Sciences, Agriculture by Tillage and Crop Husbandry, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18051 Rostock, Germany

** Julius Kühn-Institut, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Resistance Research and Stress Tolerance, Rudolf-Schick-Platz 3, 18190 Groß Lüsewitz, Germany

Contact: bettina.eichler@uni-rostock.de

Introduction

Barley (*Hordeum vulgare*) is the oldest cereal crop and one of the most important cereals in the world. It serves as animal feed and is a source of fermentable material for beer and distilled beverages. Furthermore, barley gains an increasing importance as a renewable resource. The starch of waxy barley contains a high amount of amylopectin (95 to 100 %) and can be a useful raw material for industrial purposes. Furthermore, waxy barley is characterized by a high content of β -glucan, which makes barley flour suitable for baking and interesting for the production of functional food (Dieckmann et al., 2009). The waxy endosperm in barley is conditioned by a single recessive gene (*wx*) which results in a reduced expression of granule-bound starch synthase (Nakamura et al., 1995) leading to an eponymous waxy appearance of kernels.

Abiotic stress like water shortage and unfavorable temperatures highly affect yield and quality parameters of crops (Gusmao et al., 2012; Brandt et al., 2011; Clausen et al., 2011). Considering possible impacts of climate change it is very important to investigate environmental effects on crop yield and quality and to develop cultivars exhibiting high yield and quality in different environments (Hausmann et al., 2012). It is well documented that temperature – especially during grain filling – affects yield and quality of cereals. In earlier studies high temperatures during grain filling period of barley and wheat resulted in reduced yields and decreased starch accumulation (Shi et al., 1994; Savin et al., 1997; Zahedi et al., 2003). Grain filling periods are shorter under high temperature, probably as a result of the impairment of the catalytic activity of enzymes involved in starch biosynthesis (Jenner, 1994). Temperature stress studies with different barley mutants showed a lower temperature stability of starch mutants than of common barley cultivars (Tester et al., 1991; Jansen et al., 2001). However, temperature effects during the flowering period of barley are largely unknown although this vegetation period seems to be a sensitive phase as it was shown for wheat (Wheeler et al., 1996).

The aim of this study was therefore to analyze the effects of temperature stress during the flowering period on yield and quality parameters of waxy barley. For this purpose, three waxy barley genotypes and a cultivar with a normal starch composition were exposed to three different temperatures (10, 20 [control] and 30 °C). The stress application was initiated with the beginning of heading and finished with the beginning of watery ripe. To evaluate the effects of temperature, different yield and quality parameters were assessed.

Material and methods

Experimental design

Two hundred barley (*Hordeum vulgare*) plants were cultivated, three waxy genotypes, breeding line 1, breeding line 2 and cultivar Waxyma as well as cv. Lomerit with a “normal” starch composition (50 plants per genotype). The whole experiment was conducted in growth chambers. Before and after the stress period all plants were placed in the control

chamber (20 °C). With the beginning of stress approximately 16 plants per treatment were further cultivated while ambient temperatures of 10 and 30 °C were used as stress treatments and 20 °C as control treatment. The stress was initiated with the beginning of heading (BBCH code 51; Meier, 1997) and finished with the beginning of watery ripe (BBCH 71). Time of stress treatment varied individually; the duration was between 10 (30 °C) and 33 (10 °C) days. The stress period in the chamber with 30 °C was considerably shorter than in the chamber with 10 °C due to the shorter flowering period.

Plant cultivation

Before sowing, the starch composition of single seeds was examined by a NIR (Near-infrared spectroscopy) method (Jansen et al., 2003). Kernels with an R-value (ratio of the absorbances of the iodine-starch-complex at wave length 620 nm for amylose content and at wave length 550 nm for amylopectin content) less than 0.7 were considered as waxy barley. Kernels were germinated in planting trays. After germination at 20 °C and a light exposure time of 8 h per day for 3 to 4 days plants were vernalized about six weeks by reducing the ambient temperature to 4 °C. After vernalization plants were planted into 13 x 13 cm pots (1 plant per pot) and randomly placed in a chamber with 20 °C. Relative humidity in the chamber was kept constant around 65 %. Standard soil (Einheitserdewerk Uetersen Werner Tantau) was used as substrate. The substrate was fertilized with 1 kg/m³ of a NPK-fertilizer (14 % N, 16 % P₂O₅, 18 % K₂O) and 50 g/m³ of an trace element fertilizer (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) to ensure optimal nutrient supply. The pH value of the soil corresponded to the plant requirements (about pH = 5.8). At first the light exposure time was according to short-day conditions (8 hours). After two months, conditions were changed to long-day exposure (16 hours) with 20 °C day temperature and 16 °C night temperature. At this time all plants were fertilized with a leaf micronutrient fertilizer (2 x Fetrilon, 2.5 g/l), calcium ammonium nitrate (1 x 4 granules/pot) and a liquid iron chelate fertilizer (WUXAL SUPER, 0.2 %).

Analysis of plant material

Ears of all plants were harvested at BBCH 89. Yield parameters were determined per plant. To determine the percentage of unfertile spikelets the total and sterile spikelets were counted per ear and calculated per plant. The awns were then removed and the ears were threshed by a Multi-Chef Rot (Tupperware). Kernel yield was determined per plant by use of precision scales (Kern 440). The thousand-seed weight was calculated from the kernel yield and kernel number. Before estimating the quality parameters random composite samples were made. To achieve this, kernels of each genotype developed at the same temperature were combined to three composite samples. The grains per sample were dehulled using a compressed air oat-peeler (Friedrich Falke Maschinen- und Mühlenbau). After that the samples were ground using the Rotor Speed Mill - Pulverisette 14 (Fritsch

GmbH) to pass a 0.5 mm sieve. The whole meal was stored at room temperature (20 °C) with an average relative humidity of 11 to 12 %.

Protein content was analyzed by a quantitative determination of nitrogen in ground material developed by Kjeldahl (1883). Starch content was measured polarimetrically using the procedure of Ewers (1908); a method based on the optical activity of starch after hydrolyzing with acid. The starch composition was analyzed by determining the so-called R-value based on a method of Hovenkamp-Hermelink et al. (1988). This method utilizes the colorimetric differentiated reaction of the starch components amylose and amylopectin with iodine. The ratio of these components in starch was subsequently determined by a photometer. The content of β -glucan (ICC standard method No. 166) was determined enzymatically according to McCleary (1985) using a corresponding kit (Megazyme International Ireland, Bray). The β -amylase activity was also measured enzymatically using the betamyl-3 method (Megazyme International Ireland, Bray) according to Mathewson & Seabourn (1983). Both methods are based on a multi-step enzymatic cleavage procedure in which the parameters are quantitatively measured in a colorimetric reaction.

Statistical analysis

Analysis of variance (GLM) was performed with IBM SPSS Statistics (version 20). Differences among means were evaluated using Tukey's post-hoc-test. P-values < 0.05 were considered to be statistically significant. Correlation coefficients were calculated with Pearson's correlation analysis.

Results

Yield parameters

The results showed a significant ($p \leq 0.01$) influence of the temperature at flowering and the genotype on the number and yield of kernels per plant, thousand-kernel weight and the ratio of unfertile spikelets to total number of spikelets per plant (Table 1). Interactive effects of genotype and temperature on yield parameters were also found. All genotypes showed a reduction of kernel number, thousand-seed weight and kernel yield per plant when temperature at flowering rose to 30 °C (Table 2). On the contrary at 10 °C the breeding line 2 and Waxyma showed higher kernel numbers and higher kernel yield per plant. A negative correlation between unfertile spikelets and kernel number ($r = -0.616$, $p < 0.01$) and kernel yield ($r = -0.627$, $p < 0.01$) per plant was found considering all genotypes and temperatures. In comparison to the control cultivar the waxy genotypes showed a higher variation of the yield parameters in dependence of the temperature (data not shown). The variation was found to be especially high for Waxyma.

Table 1

Influences of barley genotype, flowering temperature and genotype * temperature on yield parameters (GLM, p-values)

parameter (per plant)	genotype	temperature	genotype * temperature
spikelet sterility	0.000	0.000	0.050
number of kernels	0.000	0.000	0.000
yield of kernels	0.000	0.000	0.013
Thousand-seed weight	0.000	0.000	0.000

Table 2

Means of yield characteristics of different barley genotypes in dependence of the temperature treatment (10, 20 and 30 °C) during flowering period

parameter (per plant)	T [°C]	breeding line 1	breeding line 2	Waxyma	Lomerit
spikelet sterility [%]	10	21.5	16.5	28.8	17.8
	20	20.2	25.6	35.0	14.8
	30	32.8	44.7 *	61.0 *	28.9
number of kernels	10	115.9	127.4 *	112.4 *	115.6
	20	133.5	72.1	50.5	114.4
	30	68.6 *	47.1 *	19.8 *	60.3 *
yield of kernels [g]	10	5.7	6.0 *	5.4 *	6.4
	20	5.6	4.0	2.7	5.7
	30	2.2 *	2.0 *	0.9 *	2.6 *
Thousand-seed weight [g]	10	49.9 *	47.3 *	48.2 *	56.4
	20	41.8	55.5	55.6	50.5
	30	35.6	44.5 *	43.7 *	44.4 *

* significant different ($p < 0.05$) in comparison to the control (20 °C)

Quality parameters

Significant effects of the genotype and the temperature were found for protein and starch content and the R-value (Table 3). The β -glucan content, however, was neither affected by the genotype nor by temperature. The β -amylase-activity varied depending on the temperature but was not significantly different between the genotypes. Significant interactive effects of genotype x temperature were found for all quality parameters except for the starch content.

A negative correlation ($r = -0.914$, $p < 0.01$) between protein and starch content was found. Protein content was positively correlated ($r = 0.962$, $p < 0.01$) with the activity of the β -amylase. Rising protein contents combined with decreasing starch contents after flowering at 30 °C were found for all barley genotypes (Table 4). In tendency, the protein content decreased in all genotypes at 10 °C compared to the control (20 °C). The analysis of variance showed an effect of the temperature on the R-values. A lower R-value was found when Waxyma flowered at 30 °C. In general, all waxy genotypes showed relatively stable waxy properties (average R-va-

lue 0.70) under all temperatures analysed. A significantly higher β -glucan content in the 30 °C variant was only detected for breeding line 2, whereas high temperature at flowering resulted in raised activities of β -amylase of all genotypes. Activity of α -amylase was also analysed and no hints of pre-harvest sprouting were found (data not shown). In general, waxy genotypes did not show a higher variation of quality parameters than Lomerit in relation to the temperature at flowering time.

Table 3

Influences of barley genotype, flowering temperature and genotype * temperature on quality parameters (GLM, p-values)

parameter (per plant)	genotype	temperature	genotype * temperature
protein content	0.000	0.000	0.045
starch content	0.000	0.000	0.244
R-value	0.000	0.002	0.019
β -glucan content	0.132	0.564	0.026
β -amylase-activity	0.206	0.000	0.001

Table 4

Means of quality characteristics of different barley genotypes in dependence of the temperature treatment (10, 20 and 30 °C) during flowering period

parameter (per plant)	T [°C]	breeding line 1	breeding line 2	Waxy	Lomerit
protein content [%]	10	11.5	10.3	10.5	10.4
	20	12.1	11.1	10.9	10.7
	30	19.0 *	18.0 *	18.3 *	15.9 *
starch content [%]	10	53.6	56.9	55.5	58.5
	20	53.7	55.4	56.3	58.0
	30	46.4 *	49.7 *	48.9 *	53.2 *
R-value	10	0.69	0.70	0.72	0.98
	20	0.70	0.68	0.73	0.95
	30	0.69	0.68	0.70 *	0.96
β -glucan content [%]	10	5.8	4.4	4.9	4.3
	20	5.5	4.8	4.9	4.2
	30	4.0	5.9 *	5.7	5.1
β -amylase-activity [U/g]	10	1634	1488	1416	1853
	20	1647	1539	1496	1731
	30	3164 *	2887 *	3458	2527 *

* significant different (p < 0.05) in comparison to the control (20 °C)

Discussion

In the present study the temperature influence during the flowering period (beginning of heading up to beginning of watery ripe) of barley was investigated, whereas former studies focused on temperature stress during the grain filling period of barley. Although the stress ended before grain filling, differences of yield and quality characteristics were measured in dependence of temperature. Pronounced effects were found when the plants were treated with 10 °C higher temperatures than the control of 20 °C, whereas 10 °C lower temperatures than the control showed smaller effects. These results confirm those of a study of Ferris et al. (1998), in which a negative linear relationship between the maximal temperature at mid-anthesis and the kernel number per ears of wheat was detected.

Impacts of temperatures during grain filling on yield characteristics of various barley cultivars were found previously by Savin et al. (1996a, b), Savin et al. (1999) and Jansen et al. (2001). Savin et al. (1999) additionally described, that the reduction in grain yield was higher under heat stress than under drought stress. Different ambient temperatures during grain filling also affected quality parameters of barley, i.e. the protein content, starch content and starch composition as well enzyme activities and the content of β -glucan (Johnson et al., 1985; Correll et al., 1994; Wei et al., 2009).

In the present study a higher protein content and a lower starch content was found in the 30 °C-variant. The results confirm data of Correll et al. (1994) and Jansen et al. (2001) who investigated these parameters when temperature stress was applied during grain filling.

Several authors assume an inhibiting effect of high temperatures on enzyme activity involved in starch biosynthesis as the reason for a reduced starch deposition in cereal kernel (e.g. Jenner et al., 1994). During ripening stage of rice the activity of granule bound starch synthase was lower at 29/35 °C than at 22/28 °C (Jiang et al., 2003).

The present study showed only small changes in starch composition (amylose/amylopectin ratio, R-value) under temperature stress. Long temperature stress duration under field conditions, however, reduced amylose contents considerably (Myllärinen et al., 1998).

The β -glucan content of our investigated waxy barley lines was higher than in the cultivar Lomerit. This result was expected and is in accordance with data of a study of Ullrich et al. (1986) who compared β -glucan contents of four waxy barley lines with those from isogenic lines with a normal starch composition.

The influence of temperature at flowering time on the β -glucan content was not consistent in our experiment, which might be explained by the early end of the stress period before grain filling. Savin et al. (1997) documented decreasing β -glucan contents after ambient temperatures of

27 and 30 °C in comparison to 21 °C during grain filling of malting barley cultivars. A possible explanation was the shorter time span for grain filling at higher temperatures. Swantson et al. (1997) affirm this assumption by describing that β -glucan is mainly deposited during the late grain filling period.

Our results showed an increase of β -amylase-activity after high temperatures which confirmed the results of Wei et al. (2009) who investigated temperature stress during the grain filling period of barley. The authors also revealed a positive correlation between the total protein content and the β -amylase-activity and described a negative correlation between the β -amylase-activity and kernel yield, which was also found in the present study.

Conclusions

The present study showed that yield and quality parameters of barley were affected by temperature stress before the grain filling period. High temperatures at flowering time have a negative impact on yield and quality of waxy barley; low temperatures seem to have a positive effect. In waxy barley lines temperature had a higher impact on yield parameters than on cv. Lomerit, whereas the variation of quality characteristics was similar for all genotypes. It should be noted, that here first results are reported and further studies using a higher number of genotypes are needed to investigate the role of temperature during the short period of barley anthesis. Furthermore, it would be interesting to include more temperature treatments in order to investigate the temperature effect quantitatively.

References

- Brandt C, Balko C, Eichler-Löbermann B (2011) Interactive effects of soil water content and phytin supply on phosphorus nutrition of different crop species. *Landbauforsch* 61(4):317-326
- Clausen SK, Frenck G, Linden LG, Mikkelsen TN, Lunde C, Jørgensen RB (2011) Effects of single and multifactor treatments with elevated temperature, CO₂ and ozone on oilseed rape and barley. *J Agronomy Crop Sci* 197: 442-453
- Correl R, Butler J, Spouncer L, Wrigley C (1994) The relationship between grain-protein content of wheat and barley and temperatures during grain filling. *Aust J Plant Physiol* 21:869-873
- Dieckmann K, Jansen G, Ahlemeyer J (2009) Waxy winter barley - high-yielding and rich in beta-glucans. In: C&E Spring Meeting 2009 - Whole Grain Global Summit, Newcastle upon Tyne, UK, March 25-27 2009
- Ewers E (1908) Über die Bestimmung des Stärkegehalts auf polarimetrischem Wege. *Z öffentl Chemie* 14:150-157
- Ferris R, Ellis RH, Wheeler TR, Hadley P (1998) Effect of high temperature stress at anthesis on grain yield and biomass of field-grown crops of wheat. *Ann Bot* 82:631-639
- Gusmao M, Siddique KHM, Flower K, Nesbitt H, Veneklaas EJ (2012) Water deficit during the reproductive period of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) reduced grain yield but maintained seed size. *J Agronomy Crop Sci* 198:430-441
- Hausmann BIG, Rattunde HF, Weltzien-Rattunde E, Traoré PSC, vom Brocke K, Parzies HK (2012) Breeding strategies for adaptation of pearl millet and sorghum to climate variability and change in West Africa. *J Agronomy Crop Sci* 198:327-339
- Hovenkamp-Hermelink JHM, de Vries JN, Adamse P, Jacobsen E, Witholt B, Feenstra WJ (1988) Rapid estimation of the amylose/amylopectin ratio in small amounts of tuber and leaf tissue of the potato. *Potato Res* 31:241-246
- Jansen G, Balko C, Seddig S, Flamme W (2003) Einfluss von Umweltfaktoren (unterschiedliche Temperaturen) auf die Stabilität von Gerstenmutanten bezüglich Ertrags- und Qualitätsparameter. *Landbauforsch Völknerode SH* 258:85-86
- Jenner CF (1994) Starch synthesis in the kernel of wheat under high temperature conditions. *Aust J Plant Physiol* 21:791-806
- Jiang H, Dian W, Wu P (2003) Effect of high temperature on fine structure of amylopectin in rice endosperm by reducing the activity of the starch branching enzyme. *Phytochemistry* 63:53-59
- Johnson VA, Mattern PJ, Peterson CJ, Kuhr SL (1985) Improvement of wheat protein by traditional breeding and genetic techniques. *Cereal Chem* 62:350-355
- Kjeldahl J (1883) Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Z Anal Chem* 1:366-382
- Mathewson PR, Seabourn BW (1983) A new procedure for specific determination of β -amylase in cereals. *J Agric Food Chem* 31:1322-1326
- McCleary BV (1985) Enzymatic quantification of (1 \rightarrow 3) (1 \rightarrow 4)- β -D-glucan in barley and malt. *J Inst Brew* 91:285-295
- Meier U (1997) Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. Berlin : Blackwell, 622 p, BBCH-monograph 12
- Myllärinen P, Schulman AH, Salovaara H, Poutanen K (1998) The effect of growth temperature on gelatinization properties of barley starch. *Acta Agric Scand B* 48(2):85-90
- Nakamura T, Yamamori M, Hirano H, Hidaka S, Nagamine T (1995) Production of waxy (amylose-free) wheats. *Mol Gen Genet* 248:253-259
- Savin R, Nicolas ME (1996 a) Effects of short periods of drought and high temperature on grain growth and starch accumulation of two malting barley cultivars. *Aust J Plant Physiol* 23:201-210
- Savin R, Stone PJ, Nicolas ME (1996 b) Responses of grain growth and malting quality of barley to short periods of high temperature in field studies using portable chambers. *Aust J Agric Res* 47:465-477
- Savin R, Stone PJ, Nicolas ME, Wardlaw IF (1997) Grain growth and malting quality of barley : effects of heat stress and moderately high temperature. *Aust J Agric Res* 48:615-624
- Savin R, Nicolas ME (1999) Effects of timing of heat stress and drought on growth and quality of barley grains. *Aust J Agric Res* 50:357-364
- Shi YC, Seib PA, Bernadin JE (1994) Effects of Temperature During Grain Filling on Starches from Six Wheat Cultivars. *Cereal Chemistry* 71 (4), S. 369-383
- Swanston JS, Ellis RP, Perez-Vendrell A (1997) Patterns of barley grain development in Spain and Scotland and their implications of malting quality. *Cereal Chem* 74:456-461
- Tester RF, South JB, Morrison WR, Ellis RP (1991) The effects of ambient temperature during the grain-filling period on the composition and properties of starch from four barley genotypes. *J Cereal Sci* 13:113-127
- Ullrich SE, Clancy JA, Eslick RF, Lance RCM (1986) β -Glucan and viscosity of extracts from waxy barley. *J Cereal Sci* 4:279-285
- Wheeler TR, Batts GR, Ellis RH, Hadley P, Morison JIL (1996) Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum*) crops in response to CO₂ and temperature. *J Agric Sci* 127:37-48
- Wei K, Dai F, Wu F, Zhang GP (2009) The variation of β -amylase activity and protein fractions in barley grains as affected by genotypes and post-anthesis temperatures. *J Inst Brewing* 115(3):208-213
- Zahedi M, Sharma R, Jenner CF (2003) Effects of high temperature on grain growth and on the metabolites and enzymes in the starch-synthesis pathway in the grains of two wheat cultivars differing in their responses to temperature. *Funct Plant Biol* 30:291-300

Nutrient induced competition – use of concentrated nutrient solution for weed regulation

Kerstin Panten*, Susanne Schroetter*, and Ewald Schnug*

Abstract

Weed reduction measures are an important tool in farming to avoid problems caused by weeds, firstly the competition between weed and crop plants for water and nutrients, and subsequently during mechanical harvesting. These days, application of herbicides is the most commonly used strategy to suppress weeds. The prohibition of herbicide application in organic farming and the possibility of using raw salts such as Kainit as a potassium source according to the EC Council Regulations No 834/2007 and No 889/2008 led to pot experiments to test the weed suppression effects of Kainit and ammonium sulphate solutions. Saturated and 1:1 diluted salt solutions were applied to the following weeds: *Galium aparine*, *Matricaria chamomilla*, *Thlaspi arvense* (in 2008); *Galium aparine*, *Matricaria chamomilla*, *Galinsoga parviflora* (in 2009). Most of the tested weed species showed a severe reduction in plant and root biomass after six and twenty-six days. The levels of applied nutrients in both plant and root increased during this period. The total applied nutrients by Nutrient Induced Competition (NIC) would not exceed the fertilizer recommendation amounts which would permit a field application. Further tests are necessary to evaluate the effects on other weed species, solutions of different concentrations, and possible harmful effects in case of unintentional NIC applications on arable crops.

Keywords: *nutrient Induced Competition, NIC, weed, nutrient solution*

Zusammenfassung

Nutrient induced competition – Einsatzmöglichkeiten konzentrierter Nährstofflösungen zur Unkrautregulierung

Unkräuter konkurrieren mit Feldfrüchten um Nährstoffe und Wasser und können maschinelle Ernteprozesse wesentlich behindern. Der Einsatz von Herbiziden ist heute die gängigste Praxis zur Unkrautkontrolle auf konventionell bewirtschafteten Ackerflächen. Im organischen Landbau ist der Einsatz von Herbiziden verboten, allerdings erlauben die EG-Verordnungen Nr. 834/2007 und 889/2008 die Ausbringung von Rohsalzen wie z. B. von Kainit als Kalium-Düngemittel. In einem Gefäßversuch sollte geprüft werden, ob stark konzentrierte Salzlösungen geeignet sind, das Wachstum von Unkräutern zu reduzieren. Gesättigte und 1:1 verdünnte Kainit- und Ammoniumsulfat-Lösungen wurden bei folgenden Unkräutern angewendet: *Galium aparine*, *Matricaria chamomilla*, *Thlaspi arvense* (im Jahr 2008); *Galium aparine*, *Matricaria chamomilla*, *Galinsoga parviflora* (im Jahr 2009). Die meisten der geprüften Unkräuter wiesen sechs und 26 Tage nach Ausbringung der Lösungen ein stark reduziertes Wachstum der Pflanzen und Wurzeln auf. Die Nährstoffgehalte in Pflanzen und Wurzeln erhöhten sich entsprechend der angewendeten Nährstofflösung. Mit dem Verfahren des ‚Nutrient Induced Competition‘ (NIC) ausgebrachte Nährstoffmengen überschreiten nicht die Werte der Düngeempfehlung, so dass die Anwendung im Feld möglich ist. Vor der Anwendung des NIC Verfahrens im Feld sollte die Wirkung der Salzlösung auf andere Unkräuter, die minimal notwendige Lösungskonzentration und die Auswirkung auf Feldfrüchte bei versehentlicher Anwendung geprüft werden.

Schlüsselwörter: *Nutrient Induced Competition, NIC, Unkraut, Nährstofflösung*

* Julius Kühn-Institut, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Crop and Soil Science, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Germany

Kontakt: kerstin.panten@jki.bund.de

1 Introduction

Commonly, inconvenient and undesirable plants in agricultural production are named weeds. Most of the so called weeds are not native, but were unintentionally introduced into Germany together with crop seeds from foreign areas such as the Mediterranean countries and continents such as North and South America. Weeds can have important economic impacts on agriculture. Firstly weeds are competitors for crop plants in terms of nutrients, water and light (Zwinger & Ammon, 2002; Lehoczyk et al., 2006a; Lindquist et al., 2007; Wagner & Nadasy, 2007). Secondly weeds can significantly hamper mechanical harvest processes. Because of the ability of weed seeds to survive for years in agricultural soils before germination, farmers put great effort into minimising weed occurrence on their agricultural fields to keep crop yields high and preserve the value of the production area. Since the beginning of agricultural production farmers have tried to avoid the competition between cultivated and weed plant by the elimination of weeds; first manually and later on, after the introduction of row crops, by pulled mechanical hoes. The first herbicides were used at the end of the 19th century, but not until 60 years later were herbicides widely used. In the last 60 years the level of herbicide use has increased rapidly and dominates weed control practices today (Borner, 1995). Nevertheless, because of acknowledged problems caused by herbicides such as water pollution (e. g. Rasmussen et al., 2011) and weed resistance (e. g. Streck et al., 2012) as well as other, as yet unknown risks, alternative weed control systems have been attracting more interest in recent years. An important aspect of this development is the increasing interest in organically grown food or at least in the production of safe food particularly with regard to human health and environmental protection. Bond and Grundy (2001) provide an overview about non chemical weed management in organic farming systems.

Even though organic management practices try to close the nutrient cycle on the farm, nutrient exports through the sale of farm products and some nutrient losses through leaching are unavoidable. Such nutrient gaps cannot always be closed by on-farm produced organic fertilizers. Therefore, some mineral fertilization with raw salts e. g. Kainit is allowed according to the EC Council Regulations No 834/2007 and No 889/2008.

Haneklaus and Schnug (2006) introduced the term Nutrient Induced Competition (NIC) to describe the idea of applying strongly concentrated nutrient solutions specifically to weeds with the aim of causing physiological disorders and thus killing or at least reducing the weed vigour. Borner (1995) summarises the historical development of weed management practices mentioning the first experiments with CuSO_4 and Kainit. Besides the small selectivity of CuSO_4 , the high application rates in particular cause problems in terms of copper accumulation in soils. Kainit is a raw mineral salt consisting of potassium chloride and magnesium sulphate mainly used as fertilizer. In early experiments with Kainit noticeable herbicide effects could be observed (Stender, 1902; Rademacher & Flock, 1952; Amann, 1956). Lately, the

herbicide effects of Kainit have sparked new interest. Lukashyk et al. (2008) report results of greenhouse as well as field trials with Kainit dust and Kainit solution for controlling *Vicia hirsuta*. They conclude that the effect of Kainit to regulate weeds was highly dependent on weather conditions; especially in field trials temperature, humidity and precipitation affected the Kainit impact.

Weed occurrence can vary spatially and temporally (Gerhards, 2010). The improvements in Precision Agriculture (PA) tools to identify weed plants on the go by optical sensors accompanied by real-time spraying modules (Wang et al., 2007) would allow targeted placement not only of herbicides but also of nutrient solutions. It is widely accepted that the amount and timing of nitrogen fertilization can impact on the competition between cultivated and weed plants (Pulcher-Haussling, 1989; Lindquist et al., 2007). Some weed species benefit from nitrogen fertilization whereas others are either indifferent or suppressed by it. Barberi (2002) describes that faster nutrient release is often advantageous to weeds and that crop:weed competition as well as weed community dynamics may be altered by fertilization management. According to Barberi (2002) integrated cropping systems require appropriate timing of N mineral fertilization as a means to unbalance nutrient competition between crop and weeds to the benefit of the former. Tilman et al. (1999) describe an experiment to suppress dandelions by nutrient competition. In this case potassium fertilization and liming did increase the abundance of dandelions and the authors suggest a limitation of such fertilizers to decrease the occurrence of this weed. Combining such knowledge with PA technologies could allow the precise placement of fertilizers to influence the competition between cultivated and weed plants.

In this paper the results of greenhouse experiments to test the effect of a variety of highly concentrated nutrient solutions on the biomass production of different weed species are presented. In a preliminary experiment the weed suppressive effect of four nutrient solutions (Kainit, KCl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and CuSO_4) were tested, followed by experiments focusing on the application of Kainit and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ solutions in two different concentrations.

2 Materials and Methods

2.1 Experimental design

In June 2002, a preliminary greenhouse experiment was set up using two-leaf stage seedlings collected in nearby agricultural fields. Five annual and biannual weed species (*Chenopodium album* L., *Matricaria chamomilla* L., *Solanum nigrum* L., *Stellaria media* (L.) VILL., *Galinsoga parviflora* CAVAN.) were chosen. Seven seedlings were planted into Mitscherlich pots filled with a mixture of 4 kg agricultural soil (Luvisol) plus 2 kg sand. Altogether 80 pots were prepared, four repetitions for each weed species (5) and used nutrient solution (4). Under greenhouse conditions all weed species developed well.

Nineteen days after planting, during inflorescence emergence, nearly saturated Kainit, KCl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and CuSO_4 solu-

tions (subsequently referred to as saturated solution) were applied to induce nutrient stress. At three repetitions of each weed/solution combination 10 ml per pot of the appropriate solution were nebulised by a sprayer above the seven weed plants separating the pot from the surrounding replicates. A phosphorus-free detergent was used as surface-active agent. One pot of each treatment was kept as a control, the weed plants remained untreated. The weed development was visually observed and recorded for the following six weeks after inducing nutrient stress.

In 2008 and 2009 follow up experiments were set up with three annual weed species (2008: *Galium aparine* L., *Matricaria chamomilla* L., *Thlaspi arvense* L.; 2009: *Galium aparine* L., *Matricaria chamomilla* L., *Galinsoga parviflora* Cav.). Saturated as well as 1:1 diluted Kainit and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ solutions were tested over two different durations (six and twenty-six days after application). Treatments were performed in four replications. In 2008, Kick/Brauckmann pots were filled with 9.0 kg fresh soil (Luvisol) from an organically managed field; the required two-leaf weed seedlings were collected from a nearby field and seven seedlings transferred into each of the prepared pots. In 2009, Kick/Brauckmann pots were filled with a mixture of 4.5 kg of the same soil used the year before, but mixed with 4.5 kg of sand. This time, the weeds were seeded into the pots and singled to seven plants per pot after germination (seven to sixteen days). Nutrient solutions were applied during inflorescence emergence in the same amounts used in 2008.

Table 1

Nutrient amounts per pot and per hectare added by salt solution application for Nutrient Induced Competition (NIC), 2008 and 2009

Treatment	Nutrient application [mg pot ⁻¹]					
	Cl ⁻	Na	K	Mg	S	N
Control	-	-	-	-	-	-
Saturated Kainit	1,134	902	433	46	57	-
1:1 diluted Kainit	567	451	217	23	29	-
Saturated $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	-	-	-	-	1,285	1,124
1:1 diluted $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	-	-	-	-	643	571
	[kg ha ⁻¹]					
Control	-	-	-	-	-	-
Saturated Kainit	298	237	114	12	15	-
1:1 diluted Kainit	149	119	57	6	8	-
Saturated $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	-	-	-	-	338	295
1:1 diluted $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	-	-	-	-	169	148

For the preparation of the saturated Kainit and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ solutions 750 g salt was dissolved in 1000 ml aqua dest.. Eight pots of each weed species were sprayed with 10 ml of the saturated Kainit and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ solution, respectively. Another eight pots of each weed species were sprayed with 10 ml of

1:1 diluted solutions. The adhesion of the solutions was again promoted by adding phosphorus-free detergent. Table 1 shows the amounts of nutrients added per pot for each treatment as well as calculated values in kg per hectare to allow comparisons at the field scale. The sodium (Na), potassium (K), magnesium (Mg), and sulphur (S) content of the saturated Kainit solution was analysed by ICP-OES (Spectro Flame M120S, Kleve, Germany) and the chloride (Cl⁻) content by ion chromatography (Metrohm IC 761 Compact, Herisau, Switzerland).

For each weed species twelve pots were kept as control to be sampled four each on the day of NIC application, to evaluate the starting situation, followed by harvesting six as well as twenty-six days later at the same time with the NIC pots.

2.2 Plant sample analyses

Biomass production of plants and roots was recorded as dry matter (DM) at each sample date in 2008 and 2009. Plants were washed in distilled water, dried in a ventilated oven at 55 °C and finely ground in a vibratory disc mill (Retsch RS1, Haan, Germany). Roots were acquired by emptying the Kick/Brauckmann pots and separating roots from soil. After thoroughly washing three times with distilled water, the same preparation process took place as that used for the plant samples. Total carbon (C) and nitrogen (N) contents of plants and roots were analysed by dry combustion (Elementar vario MAX CNS, Hanau, Germany). Major plant and root nutrients phosphorus (P), S, K, calcium (Ca), Mg and Na were determined after nitric acid microwave digestion (CEM MARS, Mettews, USA) by Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES, Spectro Flame M120S, Kleve, Germany).

2.3 Soil sample analyses

Soil analysis was conducted at the end of each partial experiment. The soil was air-dried and sieved to a particle size ≤ 2 mm.

Due to the use of different salt solutions, the chemical analyses of the soil samples from the first pot trial focused on K and copper (Cu) added by the NIC treatments. Plant available K was extracted by a calcium acetate lactate (CAL) according to Schüller (1969) and measured by flame photometer (Eppendorf, Elex 6361, Hamburg, Germany). The plant available Cu content was extracted by 0.43 M HNO_3 and determined by atomic absorption spectroscopy (Unicam 929 AA spectrometer, ATI Unicam, Cambridge, UK) according to Westerhoff (1954/1955).

Soil samples of 2008 and 2009 were analysed for soil electrical conductivity (EC) in a 1:5 soil:water extract, pH in a 1:5 soil: 0.01 M calcium chloride. Plant available P, K and Na was determined in a calcium acetate lactate (CAL) extract according to Schüller (1969), and plant available Mg content in a 0.025 N calcium chloride extract according to Schachtschabel (1954). The various nutrients were measured by ICP-OES (Spectro Flame M120S, Kleve, Germany).

2.4 Statistical analyses

To test for significant differences between treatments, analysis of variance (one-way ANOVA) and Tukey-Kramer *t*-tests were performed with JMP (Version 8, SAS Institute, Cary, USA). Treatment differences were considered significant at *P* values < 0.05.

3 Results and Discussion

The preliminary experiment in 2002 produced a reduction in weed growth in comparison to the control pot for all nutrient solutions and all weed species except for *Chenopodium album* L.. Six days after NIC application plants were greatly reduced in size and further plant growth was halted. Nevertheless, most weeds started to recover after two to three weeks. Hygroscopic effects could be observed especially on days with higher humidity and in early morning hours, rewetting the salt crusted weed leaves. For *Chenopodium album* L. only the application of CuSO₄ solution had a vigour and plant growth suppressing effect, which confirms the exceptional salt resistance of *Chenopodium* species (Reimann, 1992) which could be caused by the ability of some plants to adapt to soil salinity by selective absorption of osmotic effective ions (Rains, 1972). The copper load added by applying CuSO₄ solution resulted in a tenfold increase in copper concentration in the soil (data not shown) and would result in a load of 27 times more copper than is allowed by the EU regulations for organic agriculture annually. Further tests with much lower Cu concentrations and/or a reduction of the amount sprayed would be necessary to draw appropriate conclusions. General

concerns with regard to soil contamination by Cu and the promising results of the other macro nutrient solutions led to the decision to abandon further tests at this stage.

Taking into account the results of the preliminary experiment the experimental design was modified. First of all the main interest was to test the effect of Kainit because of the potential usage in organic farming. Also of interest was whether other mineral nutrients used as fertilizers in conventional farming could be used to induce nutrient competition. Therefore in 2008 and 2009 only Kainit and (NH₄)₂SO₄ solutions were tested. The aim was also to test if lower concentration solutions would be able to achieve weed suppression. In a first step the nutrient concentration of the solution was diluted 1:1 with aqua dest. From the 2002 experiment it was known that some of the weeds started to recover two to three weeks after NIC application. This observation confirms the results of Meiri and Poljakoff-Mayber (1970) that the growth of bean plants abruptly exposed to salt stress recovered with time, but at a much lower rate than the control plants. Therefore, it was decided that treatment effects on biomass production should be tested two times during the experiment, about one and four weeks after NIC application. Table 2 shows the treatment effects on plant and root biomass production six days after NIC application.

Contrasting treatment effects could be observed six days after NIC application (Table 2). For all weed species and treatments a reduction in weed biomass was achieved compared to the control pots without NIC treatment. However, only certain treatments showed significant effects. The root development was also decreased by most treatments except in 2008, when the diluted Kainit solution seemed to have a fertilizing

Table 2

Analysis of variance (ANOVA)¹ and Tukey-Kramer *t*-test² on plant and root biomass production six days after application of nearly saturated and 1:1 diluted Kainit and (NH₄)₂SO₄ solutions on three weed species in 2008 and 2009

Year and plant part	Weed species	before NIC appl.	Dry matter [g pot ⁻¹]				ANOVA <i>p</i> -value ¹	
			six days after NIC application					
			Kainit 1:0	Kainit 1:1	(NH ₄) ₂ SO ₄ 1:0	(NH ₄) ₂ SO ₄ 1:1		control
2008 – shoots	<i>Galium aparine</i> L.	3.68	4.60	5.40	4.88	4.37	5.73	n.s. _{0.3517}
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	3.55	5.16 ^{ab}	4.58 ^b	4.67 ^b	4.83 ^{ab}	6.34 ^a	* _{0.0202}
	<i>Thlaspi arvense</i> L.	3.05	3.69	3.41	3.69	3.47	4.43	n.s. _{0.5031}
2008 – roots	<i>Galium aparine</i> L.	1.88	1.78 ^{ab}	2.84 ^a	1.80 ^{ab}	1.56 ^b	2.64 ^{ab}	* _{0.0141}
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	1.54	1.47 ^{ab}	1.39 ^b	1.25 ^b	1.64 ^{ab}	2.18 ^a	* _{0.0107}
	<i>Thlaspi arvense</i> L.	0.70	0.90 ^{ab}	0.77 ^b	0.82 ^{ab}	0.82 ^{ab}	1.09 ^a	* _{0.0234}
2009 – shoots	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	4.79	5.49 ^{ab}	5.07 ^{ab}	5.02 ^{ab}	4.61 ^b	6.00 ^a	* _{0.0161}
	<i>Galium aparine</i> L.	5.19	6.00 ^b	5.67 ^b	5.90 ^b	5.99 ^b	7.69 ^a	** _{0.0066}
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	4.03	6.06	5.20	5.02	6.13	5.18	n.s. _{0.1138}
2009 – roots	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	1.85	2.01 ^{ab}	1.75 ^b	1.74 ^b	1.74 ^b	2.45 ^a	* _{0.0186}
	<i>Galium aparine</i> L.	1.48	1.65 ^b	1.85 ^b	1.56 ^b	1.71 ^b	2.46 ^a	** _{0.0020}
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	1.12	1.83	1.91	1.61	1.90	1.90	n.s. _{0.5127}

¹ Significance of *p*-levels: n.s. = not significant (*p* > 0.05), * = 5 % (*p* ≤ 0.05), ** = 1 % (*p* ≤ 0.01), *** = 0.1 % (*p* ≤ 0.001).

² Levels not connected by the same letter are significantly different at the 5 % level (Tukey-Kramer *t*-test)

Table 3

Analysis of variance (ANOVA)¹ and Tukey-Kramer *t*-test² on plant and root biomass production twenty-six days after application of nearly saturated and 1:1 diluted Kainit and (NH₄)₂SO₄ solutions on three weed species in 2008 and 2009

Year and plant part	Weed species	Dry matter [g pot ⁻¹]						ANOVA <i>p</i> -value ¹
		before NIC appl.	twenty-six days after NIC application				control	
			Kainit 1:0	Kainit 1:1	(NH ₄) ₂ SO ₄ 1:0	(NH ₄) ₂ SO ₄ 1:1		
2008 – shoots	<i>Galium aparine</i> L.	3.68	6.83	7.40	7.32	7.38	8.29	n.s. _{0.6964}
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	3.55	6.41 ^b	6.59 ^b	10.22 ^a	7.99 ^b	7.66 ^b	*** <0.0005
	<i>Thlaspi arvense</i> L.	3.05	3.89 ^b	3.52 ^b	4.02 ^b	3.71 ^b	6.11 ^a	*** <0.0001
2008 – roots	<i>Galium aparine</i> L.	1.88	2.11 ^{bc}	2.74 ^{ab}	1.30 ^c	1.63 ^{bc}	3.55 ^a	*** <0.0001
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	1.54	1.20 ^b	1.43 ^{ab}	1.71 ^{ab}	1.48 ^{ab}	2.13 ^a	* 0.0492
	<i>Thlaspi arvense</i> L.	0.70	0.66 ^b	0.60 ^b	0.61 ^b	0.60 ^b	1.00 ^a	*** 0.0009
2009 – shoots	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	4.79	5.28 ^b	6.44 ^b	5.11 ^b	6.18 ^b	12.67 ^a	*** <0.0001
	<i>Galium aparine</i> L.	5.19	5.85 ^b	6.74 ^b	7.08 ^b	6.42 ^b	8.79 ^a	*** 0.0006
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	4.03	6.97 ^b	7.53 ^b	6.45 ^b	6.93 ^b	10.05 ^a	*** <0.0001
2009 – roots	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	1.85	1.70 ^{bc}	1.91 ^b	1.19 ^d	1.52 ^{cd}	4.84 ^a	*** <0.0001
	<i>Galium aparine</i> L.	1.48	2.04 ^{bc}	2.61 ^b	1.49 ^c	1.67 ^{bc}	3.93 ^a	*** <0.0001
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	1.12	1.64 ^b	1.84 ^b	1.46 ^b	1.61 ^b	2.60 ^a	*** <0.0001

¹ Significance of *p*-levels: n.s. = not significant (*p* > 0.05), * = 5 % (*p* ≤ 0.05), ** = 1 % (*p* ≤ 0.01), *** = 0.1 % (*p* ≤ 0.001).

² Levels not connected by the same letter are significantly different at the 5 % level (Tukey-Kramer *t*-test)

effect on *Galium aparine* L.. This result could not be reproduced in 2009.

Twenty-six days after NIC application biomass of all weed species was significantly reduced by all four nutrient solutions, except for *Galium aparine* L. in 2008 (Table 3). Anyhow, comparisons to the biomass measured before the NIC application show that the plant biomass increased. Root biomass was in some cases reduced below the level when treatments were applied (Table 3). The highest reduction in plant biomass of 60 % was recorded for *Galinsoga parviflora* Cav. twenty-six days after NIC with saturated (NH₄)₂SO₄ solution in 2009. The same treatment also showed a root biomass reduction of 75 %.

Even though significant weed biomass reduction could be achieved by NIC application, it can be questioned if an earlier application at the two to four leaf stage of the seedlings would have resulted in a better weed suppression. Lukashyk et al. (2008) observed that the effect of Kainit applications to suppress *Vicia hirsuta* was less successful at a later date. The best effects were recorded on *Vicia hirsuta* at juvenile stage. As with most conventional herbicides it can be expected that the efficiency of weed reduction could be improved by an earlier application. In 2008, the decision to apply the nutrients in the presented experiment during inflorescence emergence was made to avoid any eventual influences from planting the weeds into the pots. In 2009 the NIC treatment was conducted at the same growth stage as in the year before to allow comparisons between experimental years. A field experiment with naturally emerging weeds would be preferred to test NIC application at an earlier growth stage.

At inflorescence emergence, the plants covered in the majority of pots most of the soil. But, the canopy closure varied between the weed species depending on the leaf structure. Therefore, it was unavoidable that during the application some of the NIC solutions were also sprayed onto the soils of the pots. Nutrients sprayed onto the soil were washed directly into the soil with irrigation water, which was carefully placed below the canopy. Additionally, rewetting of the salt crusted leaves added nutrient to the soil, especially after the wilting process of the plants left salt crusted leaf tissues covering the soil. Such transfer of salts would also occur in the field as an inevitable consequence of rainfall. No differentiation can be made between effects resulting from osmotic stress of plant tissues and salinity of the soil.

Most NIC applications resulted in increasing uptake of supplied nutrients confirming the observations of Lehoczyk et al. (2006b). Figure 1 shows clearly the variation between treatments in plant and root nutrient concentrations of *Galium aparine* L. and *Galinsoga parviflora* Cav. twenty-six days after NIC application in 2009.

The nutrient increase in the roots is an indicator that a nutrient transfer took place from the soil into the plants. The application of concentrated nutrient solutions to the soil did increase soil EC up to 6-fold for some treatments (e. g. *Matricaria chamomilla* L. 2008, (NH₄)₂SO₄ 1:0 solution) whilst EC for most treatments did increase 1-2-fold (Table 4). Table 4 also shows that the application of saturated Kainit solutions led to an increase in soil content of K for most weeds six and twenty-six days after application. But the crop plant uptake during the growing season needs to be taken into account.

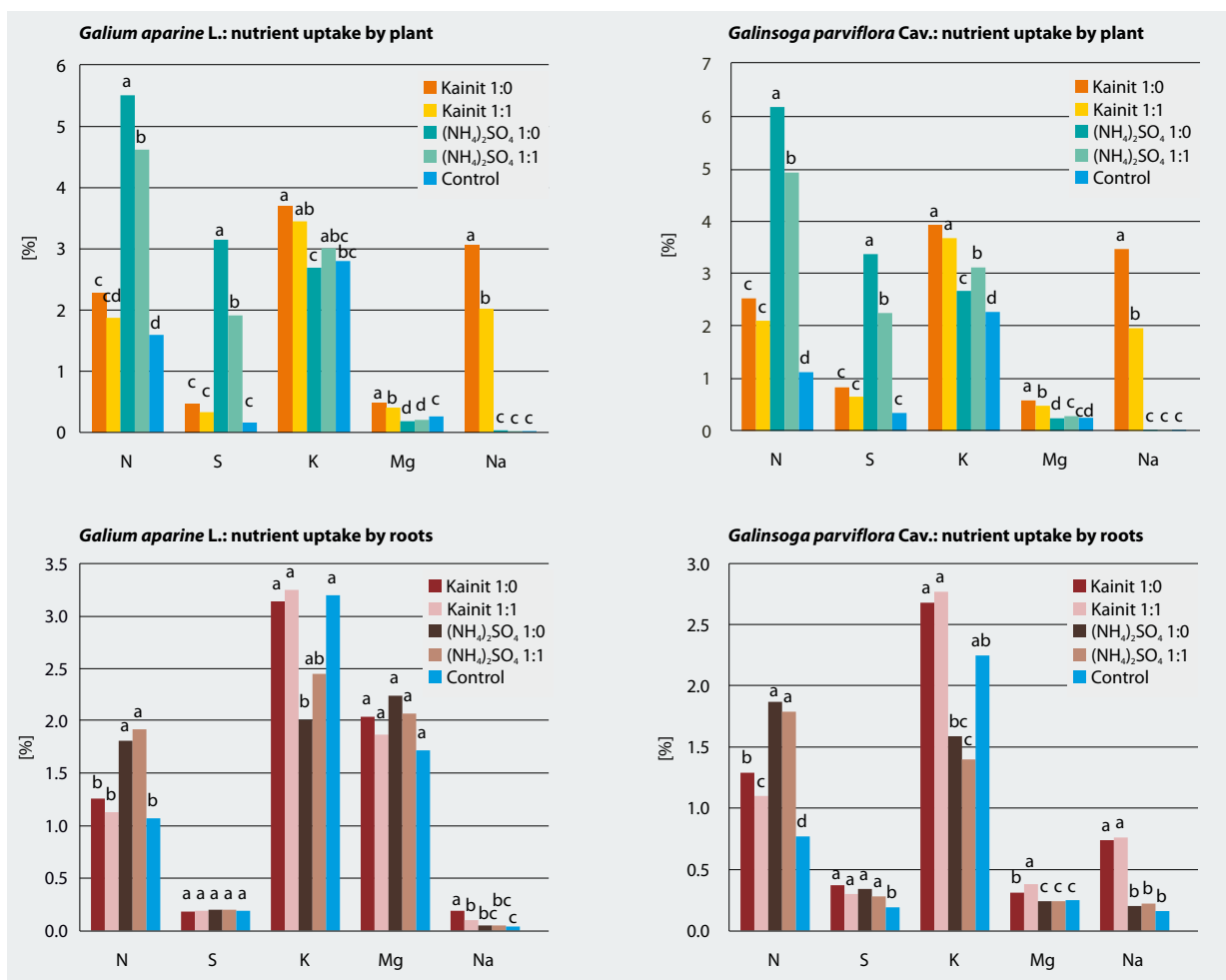


Figure 1

Nutrient uptake by plants and roots of *Galium aparine* L. and *Galinsoga parviflora* Cav., twenty-six days after NIC application (2009). Levels not connected by the same letter are significantly different at the 5 % level (Tukey-Kramer *t*-test).

Nevertheless, the results are not universal and show that the amount of K applied to the soil (Table 1) even with the saturated solution is around or below the usual application rate in conventional farming, depending on the crop grown.

Considering that for example maize has an average nutrient uptake of 152 kg ha⁻¹ N and K, 26 kg ha⁻¹ Mg and 17 kg ha⁻¹ S per vegetation period it can be seen, that the nutrient amounts supplied with the saturated $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ solution (Table 1) would increase the risk of nitrogen leaching into ground and surface waters. The diluted solutions also had a weed suppressing effect in most cases. If weed control could be achieved by application of less concentrated $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ solution too, the risk of nitrogen leaching would decrease. More research is needed to establish the lowest concentration possible to achieve a reduction in weed growth. The results of the presented experiments show already that this lowest concentration will vary between weed species and that some weed species cannot be controlled by NIC. This confirms observations of Grant et al. (2006) who reported that crop biomass yield (canola and wheat) did not increase with K fertilization but some weed species biomass increased as such providing a competitive advantage for these weed

species over the agricultural crop. Generally it needs to be kept in mind that the applied nutrients are included into the nutrient balance of the field and that further fertilization will be adjusted. If the NIC application takes place using automated weed detection by spectral reflectance, it is important to spatially record the application amounts and counterbalance the nutrients also by spatial fertilization. Notwithstanding that such techniques are still hampered by some limitations which need to be overcome before a wider use can be expected (Christensen et al., 2009), uniform NIC applications in a rate below or around the amount derived from fertilizer recommendations can take place. If a spatial application is planned, the actual K content of the soil and expert knowledge about the major weed species in the field and their behaviour in response to nutrients needs to be considered. At the moment NIC applications can only take place before crop plant emergence or in row crops with wide row widths such as maize plants. Field experiments would be useful to evaluate such applications in agricultural ecosystems as it is known that the efficiency of chemical substances can vary depending on weather and soil conditions (Schlosser, 1987; Kelly & Harwell, 1989).

Table 4

Analysis of variance (ANOVA)¹ and Tukey-Kramer *t*-test² on soil EC, K and Na content six and twenty-six days after application of nearly saturated and 1:1 diluted Kainit and (NH₄)₂SO₄ solutions on three weed species in 2008 and 2009

Soil variable	Weed species	before NIC appl.	Treatment				ANOVA <i>p</i> -value ¹	
			Kainit		(NH ₄) ₂ SO ₄			control
			1:0	1:1	1:0	1:1		
EC [μs cm ⁻¹] 2008 6 daNIC [#]	<i>Galium aparine</i> L.	89	116 ^b	129 ^b	300 ^a	92 ^b	94 ^b	*** <0.0001
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	92	201 ^{bc}	151 ^c	594 ^a	372 ^b	94 ^c	*** <0.0001
	<i>Thlaspi arvense</i> L.	102	292 ^{abc}	123 ^{bc}	406 ^a	344 ^{ab}	100 ^c	** 0.0043
EC [μs cm ⁻¹] 2008 26 daNIC [#]	<i>Galium aparine</i> L.	89	85	83	89	88	82	n.s. 0.2466
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	92	107	89	100	88	84	n.s. 0.5632
	<i>Thlaspi arvense</i> L.	102	98 ^a	89 ^{ab}	91 ^{ab}	93 ^{ab}	82 ^b	** 0.0089
EC [μs cm ⁻¹] 2009 6 daNIC [#]	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	72	117 ^b	86 ^c	150 ^a	108 ^b	58 ^d	*** <0.0001
	<i>Galium aparine</i> L.	63	117 ^{ab}	89 ^{cd}	141 ^a	108 ^{bc}	63 ^d	*** <0.0001
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	77	135 ^b	99 ^b	240 ^a	129 ^b	68 ^b	*** 0.0010
EC [μs cm ⁻¹] 2009 26 daNIC [#]	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	72	135 ^b	108 ^b	214 ^a	122 ^b	54 ^c	*** <0.0001
	<i>Galium aparine</i> L.	63	147 ^{ab}	96 ^{bc}	172 ^a	130 ^{ab}	63 ^c	*** 0.0004
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	77	157 ^b	112 ^{bc}	242 ^a	142 ^b	60 ^c	*** <0.0001
K [mg kg ⁻¹] 2008 6 daNIC [#]	<i>Galium aparine</i> L.	156	156 ^{ab}	148 ^{ab}	147 ^b	162 ^a	158 ^{ab}	* 0.0184
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	153	160 ^a	158 ^a	154 ^{ab}	143 ^b	143 ^b	** 0.0041
	<i>Thlaspi arvense</i> L.	158	195 ^a	151 ^b	153 ^b	149 ^b	157 ^b	*** <0.0001
K [mg kg ⁻¹] 2008 26 daNIC [#]	<i>Galium aparine</i> L.	156	156 ^a	155 ^a	143 ^b	149 ^{ab}	145 ^{ab}	** 0.0082
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	153	160 ^a	157 ^a	138 ^b	137 ^b	133 ^b	*** 0.0001
	<i>Thlaspi arvense</i> L.	158	151	141	141	144	148	n.s. 0.2721
K [mg kg ⁻¹] 2008 6 daNIC [#]	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	77	78 ^a	69 ^{bc}	68 ^{cd}	75 ^{ab}	61 ^d	*** <0.0001
	<i>Galium aparine</i> L.	70	73	69	73	73	65	n.s. 0.1179
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	80	87 ^a	77 ^b	75 ^b	71 ^b	74 ^b	*** <0.0001
K [mg kg ⁻¹] 2009 26 daNIC [#]	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	77	81 ^a	72 ^a	72 ^a	71 ^a	56 ^b	** 0.0012
	<i>Galium aparine</i> L.	70	92 ^a	75 ^b	72 ^{bc}	74 ^b	63 ^c	*** <0.0001
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	80	94 ^a	88 ^{ab}	81 ^{abc}	73 ^c	75 ^{bc}	** 0.0020
Na [mg kg ⁻¹] 2008 6 daNIC [#]	<i>Galium aparine</i> L.	54	74 ^a	68 ^{ab}	44 ^{bc}	43 ^c	53 ^{abc}	** 0.0035
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	52	124 ^a	78 ^{ab}	53 ^b	56 ^b	48 ^b	** 0.0054
	<i>Thlaspi arvense</i> L.	48	187 ^a	67 ^b	44 ^b	49 ^b	48 ^b	*** <0.0001
Na [mg kg ⁻¹] 2008 26 daNIC [#]	<i>Galium aparine</i> L.	54	44 ^{ab}	44 ^{ab}	41 ^b	40 ^b	53 ^a	* 0.0127
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	52	62	52	59	52	48	n.s. 0.3330
	<i>Thlaspi arvense</i> L.	48	56 ^a	44 ^b	45 ^b	44 ^b	41 ^b	** 0.0014
Na [mg kg ⁻¹] 2009 6 daNIC [#]	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	31	79 ^a	53 ^b	32 ^d	44 ^c	34 ^d	*** <0.0001
	<i>Galium aparine</i> L.	42	78 ^a	59 ^b	33 ^c	35 ^c	39 ^c	*** <0.0001
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	37	87 ^a	60 ^b	36 ^c	38 ^c	37 ^c	*** <0.0001
Na [mg kg ⁻¹] 2009 26 daNIC [#]	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	31	97 ^a	70 ^{ab}	35 ^c	43 ^{bc}	30 ^c	*** <0.0001
	<i>Galium aparine</i> L.	42	106 ^a	68 ^b	32 ^c	34 ^c	39 ^c	*** <0.0001
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	37	102 ^a	74 ^b	40 ^c	38 ^c	36 ^c	*** <0.0001

¹ Significance of *p*-levels: n.s. = not significant (*p* > 0.05), * = 5 % (*p* ≤ 0.05), ** = 1 % (*p* ≤ 0.01), *** = 0.1 % (*p* ≤ 0.001).

² Levels not connected by the same letter are significantly different at the 5 % level (Tukey-Kramer *t*-test).

[#] daNIC stands for 'days after NIC' application

4 Conclusions

The presented results demonstrate the potential of NIC applications with Kainit and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ solutions to suppress weeds. But it was also found that *Chenopodium album* L. was not affected. Further research is necessary to evaluate which weed species are susceptible to NIC applications and to test the minimum concentrations that are effective. It would also be useful to test the resistance of crop plants to unintentionally applied nutrient solutions. In cases where crop plants show resistance to the nutrient solutions or where the solutions can be placed precisely on top of the weeds, for example with robots, it would be possible to carry out NIC applications during the plant growth period.

References

- Amann F (1956) Untersuchungen über die Bekämpfung des Franzosenkrautes (*Galinsoga parviflora* Cavanilles) in Hackfrucht- und Gemüse-Kulturen, insbesondere mit Kalkstickstoff und Hederich-Kainit. Hohenheim : Univ, 90 p
- Bärberi P (2002) Weed management in organic agriculture : are we addressing the right issues? *Weed Res* 42(3):177-193
- Börner H (1995) Unkrautbekämpfung. Jena : Fischer, 315 p
- Bond W, Grundy AC (2001) Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Res* 41:383-405
- Christensen S, Søgaard HT, Kudsk P, Nørremark M, Lund I, Nadimi ES, Jørgensen R (2009) Site-specific weed control technologies. *Weed Res* 49(3):233-241
- Gerhards R (2010) Spatial and temporal dynamics of weed populations. In: Oerke E-C (ed) Precision crop protection : the challenge and use of heterogeneity. Dordrecht : Springer, pp 17-25
- Grant CA, Derksen DA, Blackshaw RE, Entz T, Janzen HH (2006) Differential response of weed and crop species to potassium and sulphur fertilizers. *Can J Plant Sci* 87(2):293-296
- Haneklaus S, Schnug E (2006) Site-specific nutrient management : objectives, current status and future research needs. In: Srinivasan A (ed) Handbook of precision agriculture : principles and applications. New York : Food Products Pr, pp 91-151
- Kelly JR, Harwell MA (1989) Indicators of ecosystem response and recovery. In: Levin SA, Harwell MA, Kelly JR, Kimball KD (eds) Ecotoxicology : problems and approaches. New York : Springer, pp 9-35
- Lehoczky E, Németh T, Reisinger, P, Radimsky L, Kömives T (2006a) Effect of weediness on the water content of the soil : a field study. *Commun Soil Sci Plant Anal* 37:2673-2678
- Lehoczky E, Tóth Z, Kismányoky A, Kismányoky T (2006b) Nutrient uptake by weeds in a long-term maize field experiment. *Agrokemia és Talajtan* 55:175-182
- Lindquist JL, Barker DC, Knezevic SZ, Martin AR, Walters DT (2007) Comparative nitrogen uptake and distribution in corn and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Sci* 55:102-110
- Lukashyk P, Berg M, Köpke U (2008) Nutzung von Kainit zur Regulierung von *Vicia hirsute* (L.) S.F.Gray im Ökologischen Landbau. *J Plant Diseases Protect Spec Iss* 21:419-424
- Meiri A, Poljakoff-Mayber A (1970) Effect of various salinity regimes on growth, leaf expansion and transpiration rate of bean plants. *Soil Sci* 109:26-34
- Pulcher-Häussling M (1989) Einfluss der N-Düngung auf die Konkurrenz zwischen Unkraut und Getreide und den Abbau von Unkrautsamen im Boden. Hohenheim : Univ, 120 p
- Rademacher B, Flock A (1952) Untersuchungen über die Anwendung von Kalkstickstoff und Feinkainit gegen die Ackerunkräuter der Lehm- und Sandböden. *Z Acker- Pflanzenbau* 94:1-54
- Rains DW (1972) Salt transport by plants in relation to salinity. *Ann Rev Plant Physiol* 23:367-388
- Rasmussen JJ, Baattrup-Pedersen A, Wiberg-Larsen P, McKnight US, Kronvang B (2011) Buffer strip width and agricultural pesticide contamination in Danish lowland streams : implications for stream and riparian management. *Ecol Engineering* 37(12):1990-1997
- Reimann C (1992) Sodium exclusion by *Chenopodium* Species. *J Exp Bot* 43(249):503-510
- Schachtschabel P (1954) Das pflanzenverfügbare Magnesium im Boden und seine Bestimmung. *Z Pflanzenernähr Düng Bodenkd* 67:9-23
- Schlosser HJ (1987) Bewertungsprobleme bei der Bearbeitung der „Literaturstudie über Kriterien für ökotoxikologische Untersuchungen der Belastung von Ökosystemen“. *Mitt Biol Bundesanst Land-Forstwirtschaft* 234:6-15
- Schüller H (1969) Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphats in Böden. *Z Pflanzenernähr Bodenkd* 123:48-63
- Stender A (1992) Untersuchungen über die Unkrautverteilung durch Düngesalze. Rostock . Univ, 68 p
- Strek HJ, Hess M, Kaiser J (2012) Glyphosat-Resistenz in amerikanischen Reihenkulturen und Lehren für die Unkrautbekämpfung in Europa. *Julius-Kühn-Archiv* 434(1):171-176
- Tilman EA, Tilman D, Crawley MJ, Johnston AE (1999) Biological weed control via nutrient competition : potassium limitation of dandelions. *Ecol Appl* 9(1):103-111
- Wágner G, Nádasy E (2007) Competition for nutrients between weeds and green pea. *Cereal Res Commun* 35(2):1325-1328
- Wang N, Zhang N, Wie J, Stoll Q, Peterson DE (2007) A real-time, embedded, weed-detection system for use in wheat fields. *Biosyst Engineering* 98:276-285
- Westerhoff H (1954/55) Beitrag zur Kupferbestimmung im Boden. *Landwirtschaftl Forsch* 7:190-193
- Zwenger P, Ammon HU (2002) Unkraut : Ökologie und Bekämpfung. Stuttgart : Ulmer, 419 p

Soils of nut-fruit forests in southern Kyrgyzstan – important ecosystems worthy of protection

Zulfiia Sakbaeva*, Susanne Schroetter**, Nuridin Karabaev***, Abdybahap Avazov****, Jutta Rogasik**, and Ewald Schnug**

Abstract

The walnut forests of the Jalal-Abad region are located primarily in the northern slopes of the Fergana and Chatkal mountain ranges of the Tien Shan. The role of these organically evolved forest ecosystems changed from a pure food source to an important natural gene pool functioning as source of many domesticated fruit and nut trees that are widely cultivated in countries of the temperate zone. Natural walnut forests are characterised by an enormous biodiversity of the plant communities promoting the formation of highly fertile soils. The dominant soil type is brown soil. On seven different sites, several soil characteristics were investigated on soil profiles until 150 cm soil depth. The soil samples were investigated for macro and micro nutrient contents, humus content and its composition, as well as bulk density. The humus content of the top soils ranged from 2.4 to 18.5 % (soil organic matter). Up to 25.4 mg/100 g nitrogen, 4.9 mg/100 g phosphorus, and 54.6 mg/100 g potassium in plant available form were determined. Noticeable high contents of calcium (670 to 6,239 mg/100 g) and magnesium (up to 1,179 mg/100 g) were also determined indicating a good base saturation of these soils. Both nutrients are involved in the formation of stable mineral and organic-mineral soil aggregates which should maintain an increased water erosion resistance of these soils. Since an intensive progress of soil erosion by human impacts is to observe in the nut-fruit forest belt of Kyrgyzstan, in particular the enhancement of soil fertility and its subsequent maintenance are of utmost importance..

Keywords: *Kyrgyzstan, mountains, nut-fruit forests, agrochemical soil properties, humus content, soil erosion*

Zusammenfassung

Die Böden der Nusswälder in Süd-Kirgisien – schützenswerte Ökosysteme von besonderer Bedeutung

Die Nusswälder der Jalal-Abad-Region erstrecken sich vorrangig auf den Nordhängen des Fergana- und des Chatkal-Gebirges im Tien Shan. Die Funktion der historisch gewachsenen Waldökosysteme hat sich geändert: dienten sie früher vorrangig der Nahrungsbeschaffung, haben sie heute besondere Bedeutung als natürlicher Ursprung zahlreicher Obst- und Nussorten, die in vielen Ländern der gemäßigten Klimazone kultiviert werden. Diese Waldökosysteme zeichnen sich durch Artenreichtum aus, die Vielfältigkeit der Pflanzenwelt trägt zur Bildung von sehr fruchtbaren Böden bei. Braunerden sind die vorherrschende Bodenart. An sieben Standorten wurden an Bodenprofilen bis zu einer Tiefe von 150 cm Nährstoffe, Humusgehalt und -zusammensetzung sowie die Lagerungsdichte bestimmt. Der Humusgehalt im Oberboden lag zwischen 2,4 bis 18,5 % (organische Bodensubstanz). An pflanzenverfügbaren Nährstoffen wurden bis zu 25,4 mg/100 g Stickstoff, 4,9 mg/100 g Phosphor und 54,6 mg/100 g Kalium gemessen. Die Böden waren gut basengesättigt, sehr hohe Kalzium (670 bis 6.239 mg/100 g) – und Magnesiumgehalte (bis zu 1.179 mg/100 g) wurden nachgewiesen. Beide Elemente sind an der Entstehung von stabilen organo-mineralischen Bodenaggregaten beteiligt und tragen damit zur Erosionsminderung bei. In den untersuchten Regionen sind zunehmend Bodenverluste durch menschliche Einflüsse zu beobachten, deshalb sind Maßnahmen zur nachhaltigen Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und deren nachfolgende Erhaltung von größter Bedeutung.

Schlüsselwörter: *Kirgistan, Gebirge, Nuss-Frucht-Wälder, agrochemische Bodeneigenschaften, Humusgehalt, Bodenerosion*

* Jalal-Abad State University, Department of Ecology and Natural Resources, Jalal-Abad, 57 Lenin Street, Jalal-Abad 715600, Kyrgyzstan

** Julius Kühn-Institute, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Crop and Soil Science, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Germany

*** Kyrgyz National Agrarian University, Department of Soil Science, Agrochemistry and Farming, Bishkek, Kyrgyzstan

**** Science Academy of the Kyrgyz Republic, Institute of Nut and Fruit Growing, Jalal-Abad, Kyrgyzstan

Contact: sakbaeva@yahoo.com

1 Introduction

Kyrgyzstan is a mountainous country located in the center of the Turan, the Central Asian and the Kazakhstan soil and climate region. The nature of Kyrgyzstan represents a high-altitude mountainous ecosystem. The overwhelming majority of the territory is located at an altitude of 500 to 5,000 meters above sea level (m a.s.l.). In the Kyrgyzstan report prepared by the Scientific Information Centre Aral of the Sustainable Development Commission IFAS (2003), the grouping of soil types was described as follows: gray soil, gray brown and chestnut colored soils, and chernozem are predominant in inter mountainous hollows. Naked and gray desert steppe soils and chestnut steppe soils are to find in the outside part of the mountains. Gray, gray brown, gray dark brown, chestnut-hued and brown soils are typical for the mountainous slopes which are situated at 1,000 to 2,500 m a.s.l. Black soils, brown soils, black-brown nut tree forest soils, black fir tree forest soils, and dark colored juniper forest soils are spread throughout the steppe-forest part of the mountains (2,100 to 3,200 m a.s.l.). Steppe and meadow (plain) soil are characteristic for the Subalpic Mountains (3,100 to 4,500 m a.s.l.). Turfy half peat-bog and turfy tundra-like peat bog soils are the main soil types located in the alpine area. Meadow, meadow bogged, bogged, and peat bogged soil are typical for the inside zoning area (IFAS, 2003).

The Jalal-Abad region covers 33,647 km² in the southwest part of Kyrgyzstan. It is a land of mountain lakes, walnut forests and natural mineral springs. Kyrgyzstan is one of the most sparsely wooded countries in Asia. Only 6.97 % of the Kyrgyz soil surface is covered by forests (Grisa et al., 2008). Unique forests of walnut (*Juglans regia* L.) and other fruit-bearing tree species grow in the southern part of Kyrgyzstan.

Natural walnut woods grow on the lower slopes of the Fergana and Chatkal ridges of the Kyrgyzstan Tien Shan range at elevations of 1,500 to 2,200 m a.s.l. On two isolated large massifs (Arslanbop-Kokart and Hodja-Atynckyi), they extend over an area of about 630,000 ha. These forests are recognized by the UNESCO as a world natural heritage site, collaboratively supported by German scientists (Zhukov, 2004), Kyrgyz scientists and foresters, and the Volkswagen Project. The Kyrgyz Republic has ratified the Convention on the Protection of World Cultural and Natural Heritage in 1996.

In the past, these forests served as a food source for primitive human communities, it is assumed that they are one of the centers of origin of cultural fruit plants (Roichenko, 1954). Beer et al. (2008) investigated the vegetation history of the walnut forests in Central Asia. Their results suggest that in most of the regions *Juglans regia* stands were growing since more than 1,000 years. Therefore, it is widely recognized to guard these relic forest ecosystems against further depletion, and to restore their natural resources as a significant gene pool in the century.

The walnut-fruit forests are characterized by a considerable biodiversity. These forests are the source of many domesticated fruit and nut trees that are cultivated widely in countries of the temperate zone. The flora is composed of 5,000

species, including 180 tree species, many endemic to this area. The walnut (*Juglans regia* L.) is the dominant species, other including species are Kyrgyz apple (*Malus kirghisorum* Theodet. Fed.), Niedzwetzky apple (*Malus niedzweckiana* Dick.), pistachio (*Pistacia vera* L.), almond (*Amygdalus communis* L.), plum (*Prunus domestica* L.), cherry plum (*Prunus divaricata* L.), Turkestanic hawthorn (*Crataegus turkestanica* A. Pojarn), Turkestanic maple (*Acer turkestanicum* Pach.), and white poplar (*Populus alba* L.). The fauna of the natural forests in the Jalal-Abad region includes 160 species of birds and 34 species of mammals (such as deer, bear, lynx, wolves, foxes, badgers, even snow leopards) (Aiupov and Junusov, 2011).

The conditions beneath the walnut forest canopies promote improved soil properties. Specifically, a characteristic indicator for the black-brown soil is the high humus content that composes up to 10 to 18 % in the upper part of the humus horizon, and 3 to 4 % in the lower part. The high humus content in black-brown soils is attributed to the continuous organic matter input from the forest litter. According to Roichenko (1960), walnut forest soils annually receive more than 7 tons of above-ground organic matter per hectare: about 4 t/ha leaf litter and more than 3 t/ha dried grass.

Former investigations of forest soils in the Jalal-Abad region where abstracted by large regions. But, as mentioned above, the main massifs of walnut forests are spread throughout the Jalal-Abad region. Therefore, the primary object of this research project was to study the soil properties of the Kara-Alma and Arslanbop natural nut-fruit forests more detailed and to document their changes in consequence of anthropogenic impacts. In recent years, for instance, increasing mudflow processes are to be observed in the foothill areas. Such erosion processes are decisively damaging the sensitive nut-fruit forest ecosystem. Therefore, it is necessary to maintain the upper soil layer of these forest massifs in a stable, adequate fertility status to inhibit further soil degradation within the slopes. In the present study, humus content, macro- and micro-elements, and bulk density of different soil layers until 150 cm depth were evaluated. These selected chemical and physical soil properties are decisive for the soil fertility; maintenance of optimum soil conditions contributes to the conservation and rehabilitation of forest ecosystems.

2 Material and methods

2.1 Study area

2.1.1 Soils

In the frame of this project, the principal soil types naturally occurring in the nut-fruit forest region of Southern Kyrgyzstan were analyzed. These natural woodlands are located between 40°5' to 42°0'N and 71°45' to 73°40'E on the western and south western slopes of the Fergana and Chatkal ridges of the south western Tien Shan.

Considering the soil on the vertical zonation, there are sierozem and the mountain dark sierozem soils, the brown soils, and the mountain-forest black-brown soils. Mountain dark sierozem soils are to find in the foothills and adyrs, in a

belt of pistachio forests at an elevation of 800 to 1,000 m a.s.l. Mountain brown soils are located in the belt of apple tree and nut-fruit woods at heights of 1,000 to 2,000 m a.s.l. (Figure 1). Mountain black-brown soils under nut-fruit and apple forests extend to an elevation of 1,000 to 2,200 m a.s.l. (Figure1).



Figure 1
Nut-fruit forests in the Jalal-Abad region and characteristic soil profiles: brown soil, Charbak (left) and black brown soil, Aral (right), Kyrgyzstan, 2007

An overview on the characteristics of the different sampling areas is given in Table 1.

2.1.2 Climate

The Jalal-Abad region of Kyrgyzstan is characterized by a pronounced continental subtropical climate. The summer period is hot and dry, during the cold winter months the tempera-

tures fall down below the freezing point. Maximum precipitation falls in winter and spring. Depending on the altitude, temperature conditions can be divided into four altitudinal climatic zones: high (3,100 to 3,800 m a.s.l.), middle-mountain (2,200 to 3,100 m a.s.l.), foothill (1,500 to 1,800 m and 2,000 to 2,400 m a.s.l.) and mountain plain (600 to 800 and 1,200 to 1,500 m a.s.l.). The average climate data are shown in Figure 2 and 3. The annual courses of temperature and precipitation are calculated for 9 years from data of the Jergetal Meteorological Station of the Jalal-Abad region which is located at 1,205 m a.s.l. The average January temperature is -4.0 °C, and the average July temperature is +23.2 °C. At an elevation of 1,000 to 2,000 m a.s.l., the annual precipitation amounts 700 to 1,000 mm. At an elevation of 1,000 to 2,200 m a.s.l. the amount of precipitation exceeds 1,000 mm per year. The climatic conditions with high precipitation and a moderately cold winter period are beneficial for a sustainable development of natural nut-fruit forests. The upper soil layer of these forest ecosystems is intensively rooted by the different trees and undergrowth species. Therefore, in these areas, the number of erosive mudflow processes and landslides is relatively low.

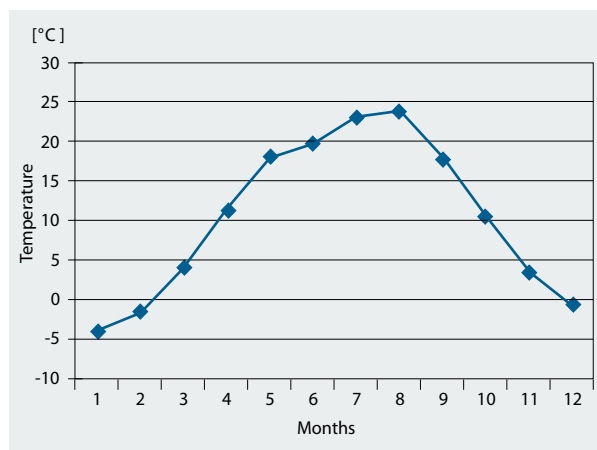


Figure 2
Monthly average of temperature in the nut-fruit forest area, Jalal-Abad region, Kyrgyzstan (mean values, 2000 to 2008)

Table 1
General characteristics of the study areas

Sampling site	Exposition	Slope gradient [°]	Average altitude [m a.s.l.]*	Soil type	Main tree species
Zindan	southern slope	12	1,830	black brown	walnut, Kyrgyz apple, plum, cherry plum, white poplar
Aral	south-east slope	20	1,750	dark brown	
Charbak	south-west slope	15	1,290	brown	
Balykty-Sai	southern slope	24	1,550	brown	
Kara-Alma forest enterprise	northern slope	28	1,580	brown soil	
Suzak forest area	northern slope	20	853	sierozem	pistachio
Suzak arable land	north-east slope	0.3	732	sierozem	cotton

* meters above sea level

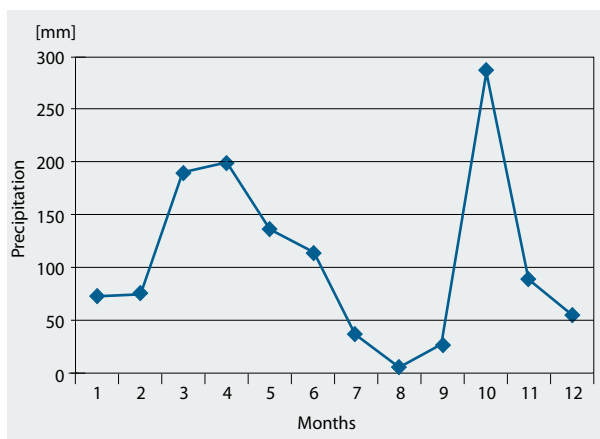


Figure 3

Annual rainfall distribution in the nut-fruit forest area, Jalal-Abad region, Kyrgyzstan (mean values, 2000 to 2008)

2.2 Sampling

In June 2007, the first set of soil samples were collected from each of the Kara-Alma and the Arslanbop ecosystems (Zindan, Aral, Charbak, and Balykty-Sai) (Table 1). The soil samples were taken in 10 cm increments until soil depths of 130 or 150 cm, respectively. In 2009, a second set of soil samples for determination of humus fractions was taken from two forest sites (Suzak, Kara-Alma) as well as an arable site (Suzak) (Table 1). The several soil horizons were characterized at prepared soil profiles (Figure 4), the soil samples were air dried, sieved (mesh size 2 mm), finely ground, and stored in closed bags until chemical analysis.



Figure 4

Preparation of a soil profile for soil layer characterization and soil sampling, nut-fruit forest, Kara-Alma, 2007

Based on the bilateral scientific cooperation between Kyrgyzstan and Germany from 2008 to 2012, the soil analyses were conducted in both countries. Readily soluble nitrogen, plant available phosphorus and potassium, total humus content, pH value, and bulk density were determined at the Institute of Nut and Fruit Growing, Science Academy of the

Kyrgyz Republic in Jalal-Abad. Total macro and micro nutrients as well as humus fractions were analyzed at the German Institute for Crop and Soil Science, Julius Kühn-Institute, Federal Research Centre for Cultivated Plants in Braunschweig.

2.3 Soil analyses

2.3.1 Total carbon and nitrogen content

The total carbon (C_t) and nitrogen (N_t) contents were analyzed in air-dried, sieved soil samples after dry combustion in the presence of oxygen (elementary analysis) by a Vario MAX CN Analyzer system.

2.3.2 Plant available nitrogen

The readily soluble nitrogen (NO₃⁻) was analyzed by the Turin and Kononova method (Radov et al., 1971). Each 20 g of prepared soil were suspended in 100 ml H₂SO₄ for 16 hours. After filtration, a 0.1 g Fe and a 0.8 g Zn were added, then the filtrate was heated to 100°C. After cooling, 5 ml H₂SO₄ were added to the solution. That followed, the solution was evaporated until appearance of dark-hued SO₂ fumes. To the residual liquid, 2.5 ml K₂Cr₂O₇ (10 %) were added, then the mixture was boiled until its color changed to green. After addition of 20 ml NaOH (50 %), the extracted ammonia was stripped by reheating, and transferred into 0.02 N H₂SO₄, using Congo red as indicator. The available nitrogen was afterwards estimated assuming that 1 ml of 0.02 N H₂SO₄ corresponds to 0.28 mg N.

2.3.3 Plant available potassium and phosphorus

Plant available potassium (K) and phosphorus (P) were extracted in Machigin solution (Radov et al., 1971). Each 10 g of prepared soil were suspended in 200 ml of 1 % NH₄CO₃ solution by shaking for about five minutes. The suspension was stored for 24 hours shaking every six hours, and then filtered through a dense fluted filter paper. The K content of the filtrate was directly measured by flame-photometry. For the P analysis, the filtrate was decolorized by diluted H₂SO₄ and 0.5 N KMnO₄ solutions. After boiling for two minutes, 1 ml of 10 % glucose was added, the solution was cooled down, and then neutralized by 10 % Na₂CO₃ solution in the presence of an indicator. 50 ml of colorless mixture were spiked with 2 ml of molybdenum reagent solution, and 0.5 of ml stannous chloride. The P content was measured calorimetrically.

2.3.4 Total nutrient content

The total content of calcium (Ca), magnesium (Mg), sulphur (S), manganese (Mn), iron (Fe), copper (Cu), and zinc (Zn) were determined by mass spectrometry after aqua regia digestion of the soil samples. For nutrient extraction each 5 g of homogenized, air dried soil were mixed with 25 ml of the extractant in round-bottom flasks, and stored in a fume cupboard for twelve hours. Then, the suspension was boiled under reflux for two hours. After cooling, the reflux was rinsed by 30 ml of double distilled water into the reaction vessel.

Afterwards, the solution was transferred into 100 ml volumetric flasks, filled up to 100 ml with double distilled water, then filtered into 100 ml PE-bottles using fluted filter papers.

2.3.5 Humus content

The total humus content (SOM) was determined corresponding to the Turin method (Arinushkina, 1980). The organic matter was oxidized using a mixture of 0.4 N $K_2Cr_2O_7$ and H_2SO_4 (1:1, vv), and back-titrated with Mora salt ($FeSO_4$). Based on the measured content of readily oxidizable organic carbon the amount of total organic carbon was calculated.

2.3.6 Humus quality

From a forest sierozem site, an arable sierozem site (Suzak area), and a forest brown soil site (Kara-Alma area), respectively, selected soil samples were investigated on their humic and fulvic acid contents. The agrochemical properties of these soils are comparable with that of the soils used for the other investigations.

The humic and fulvic acid contents were determined in air-dried, sieved soil samples accordingly to Faithfull (2002). After separation of fulvic and humic acids from the insoluble humins by 0.5 M NaOH, and following centrifugation, the humic acids were precipitated by adjusting the pH value of the supernatant to 2.0 with 6 M HCl, and once more centrifugation. Afterwards, the fulvic acid content was photometrical measured in the supernatant. The content of humic acid was gravimetrical determined after re-drying and incineration of the residue.

2.3.7 Soil reaction

The pH-value was potentiometrically detected in water in a proportion of 1:2.5 (Arinushkina, 1980).

2.3.8 Bulk density

The soil bulk density was determined by the Kachinski method (Plushin and Vernikovskaia, 1974) on core sample sections (5 cm diameter) corresponding to the several soil horizons.

3 Results and discussions

An overview on the nutrient state, the total humus content as well as the soil reaction of the investigated soils is given in Table 2. The highest humus contents were found in the upper layer (0 to 20 cm) of the Zidan forest soils. The humus-rich layers reached till soil depths of 80 cm. Although, the humus content gradually decreases by soil profile depth, because of the high total humus content in these soils 0.7 up to 3.1 % humus were still found at 100 cm depth.

To a depth of 100 cm, the N, P, and K contents tend to be higher than that of the other investigated forest sites. In the top horizons of the soils, an accumulation of mobile P and K compounds were observed. The nutrient quantity gradually

decreases with depth at all sites with the highest amounts in the A horizons. Below 100 cm depth very low N, P, and K contents were measured.

Table 2

Soil nutrient state, total humus content, and soil reaction of the sampling sites, given for selected soil layers, Kyrgyz nut-fruit forests, 2007

sampling site	soil depth [cm]	plant available nutrients [mg/100g]			humus content [%]	pH
		NO_3-N^*	P	K		
Zindan	0 - 10	25.4	4.9	54.6	18.5	7.6
	10 - 20	22.7	3.8	38.9	11.4	7.5
	20 - 40	21.8	2.5	37.8	9.5	7.5
	40 - 100	16.1	1.0	23.1	3.1	7.6
	100 - 130	4.1	0.5	8.6	0.6	8.4
Aral	0 - 10	20.6	3.1	40.8	10.3	8.6
	10 - 20	19.7	1.5	31.4	6.2	8.7
	20 - 40	16.3	1.2	26.8	4.4	8.6
	40 - 100	9.2	0.5	13.2	1.8	8.8
	100 - 150	2.2	0.4	8.3	0.6	8.8
Charbak	0 - 10	14.6	3.1	41.2	5.7	8.6
	10 - 20	11.7	1.5	31.9	3.4	8.7
	20 - 40	9.9	1.2	26.6	2.0	8.6
	40 - 100	6.8	0.5	13.4	0.8	8.8
	100 - 150	2.1	0.3	7.4	0.5	8.8
Balykty-Sai	0 - 10	10.2	3.8	44.1	4.8	8.7
	10 - 20	10.0	3.0	24.8	2.4	8.7
	20 - 40	8.2	1.8	17.8	1.7	8.9
	40 - 100	2.9	0.8	13.2	0.7	9.1
	100 - 130	1.2	0.4	11.3	0.3	9.1

* Readily soluble nitrogen analyzed by the Turin and Kononova method

The vertical nutrient allocation within the soil profile indicates the suitable drainage conditions of these forest soils. The nutrient distribution pattern is closely correlated with the humus content in the soil profile (Table 2). Concerning the aspect of an annual precipitation up to 1,100 mm, it can be assumed that nutrient losses by leaching are only minimal in these Central Asia districts due to the strong bonding ability of the organic substances in the different soil layers. Gajić et al. (2010) analyzed long term effects of land use changes on SOM content and aggregate stability of Serbian noncarbonate silty-clay Fluvisols. In the top soil of native forests, SOM contents of 7.7 % (0 to 10 cm), 3.3 % (10 to 20 cm), and 2 % (20 to 30 cm) were determined. In comparison, the SOM contents of corresponding soil layers of arable land were decreased up to 41 %. In collaboration with the rich plant biodiversity, the beneficial climate regime of the studied region

promotes the development of high fertile mountain forest black-brown soils. The litter layer under the canopy of the walnut-fruit forests mainly consists of a loose plant felt with a depth till 5 cm. According to Karabaev (1993), an annual average amount of 4.6 t/ha forest fall is to estimate. Its main part is foliage, yearly up to 3.7 t/ha of decomposed leaves contribute to the sustainable formation of an upper soil layer with high content of organic matter. However, due to intensive decomposition processes affected by weather and soil organisms, the N and P contents of this layer are 1.5 to 2 times less than that of the original plant material (e.g. leaves) (Karabaev, 1993). In addition, continuous decomposition processes in the rooting zone significantly contribute to the improvement of soil fertility. Along with the soil stabilization by organisms, accumulated sesquioxides (especially metal oxygen compounds like Fe, Mn, or Mg oxides), and silica play an important role in the formation of water-stable soil structures. According to Matveev and Karabaev (1986), around 18.5 % of the total humus content are to found in wood felt of these soils, and about 12.8 % in the humus accumulative horizon. The organic substances consist to a large part (64.3 %) of hydrolyzed humus compounds.

But also, the soil texture has a determining function for water and nutrient bonding (Schroeder and Blum, 1992). Furthermore, the dense plant cover of the undergrowth which is characteristic for these nut-fruit forests in conjunction with the closed forest canopies being distinguished by high interception of rainfall has an important reducing influence on nutrient losses.

According to Mamytov et al. (1971), in the brown soils up to 46 % of the humic acids are newly formed by decomposition processes. The same also applies for fulvic acids, about 41 % of the total amount result from recent rotting processes. The amounts of newly formed humic and fulvic acids in the observed soils depend not only on the large annual supply of organic material by litter fall and rooting (55.5 t/ha), particularly the hydrothermal conditions of the middle mountains belt effect the chemical composition of the SOM.

Studies carried out by Roichenko (1970) using the method of Kononova and Belchikova (1961) showed that in the humus compartment of typical mountain brown forest soils humic acids are predominant, the fraction of fulvic acids is comparatively low. Similar results were obtained by Glazovskaya (1953) for brown soils, located in the Bostandyk's district in the western Tien Shan, and by Andzhaparidze (1964) for mountain-forest brown soils of Georgia. Apparently, the formation of humic compounds is strongly dependent on the amount of decomposable organic raw material in the upper soil horizons.

According to Geissler (1999), chernozems are very fertile soils due to their composition of humic substances. These soils are affected by high humic acid contents; the contents of fulvic acids are relatively low. In soils, the humic acids act as natural ion exchangers which absorb alkaline nitrogen compounds, and release the plant available nitrogen again by substitution of metallic cations (Geissler, 1999; Schroeder and Blum, 1992).

For the Kyrgyz soils included in the present study, land use management effects on the proportion of humic acids and fulvic acids, but also on the absolute quantity of these humus fractions could be shown (Table 3).

Table 3

Total nitrogen content (N_t), total carbon content (C_t), humic and fulvic acid contents in the A and B horizons of selected Kyrgyz areas; forest: Suzak, Kara-Alma, arable land: Suzak, 2009

sampling site (soil type)	soil depth [cm]	N_t [%]	C_t [%]	humic acids [mg/100g]	fulvic acids [mg/100g]	humic acids/fulvic acids
Suzak forest area (sierozem)	0 - 14	0.10	2.29	160	67	2.4
	14 - 30	0.08	2.07	86	45	1.9
	30 - 50	0.07	2.21	76	31	2.4
Suzak arable land (sierozem)	0 - 14	0.07	2.66	65	29	2.2
	14 - 30	0.06	2.52	70	20	3.5
	30 - 50	0.15	2.54	74	22	3.4
Kara-Alma forest enterprise (brown soil)	0 - 14	0.31	3.08	662	158	5.2
	14 - 30	0.24	2.36	439	110	4.0
	30 - 50	0.12	2.18	78	131	0.6

Comparing the both different land use management systems in the Suzak area, in forest soils the total N content decreased with depth, in arable land the highest N content was detected in the 30 to 50 cm layer, which could be attributed to nutrient leaching by precipitation. Maximum total C contents were observed in the upper 14 cm of all investigated sites. Rusanov et al. (2012) compared properties of chernozem soils originating from forest massifs and steppe zone, respectively, of the Ural region. Decreasing humus reserves with increasing distances from the forests were found depending on land use management and the composition of the plant cover. Also the fractional-group composition of the SOM was changed; the humic acid/fulvic acid ratio became larger. Also for Mediterranean forest soils, Traversa et al. (2011) observed changing chemical and spectroscopic properties of humic acids depending on the composition of the plant cover and the resulting parent litters. Comparing the soil carbon and nitrogen cycle under different climate and soil scenarios, Battle-Aguilar et al. (2011) found higher C and N levels in forest soils than in agricultural soils as a result of the higher litter decomposition. Moreover, the SOM turnover runs less seasonal depending in soils of forest stands. Due to their different physical properties, seasonal climate-induced frequency changes in water saturation were alleviated, with matching changes in C and N contents.

The brown soil of the forest in the Kara-Alma region was characterized by a large proportion of humic acids in the upper 30 cm with a comparatively wide humic/fulvic acids ratio.

The fulvic acids were predominating in deeper soil layer (30 to 50 cm). Obviously, fulvic acids tend to migrate down the soil profile outweighing the number of humic acids in the lower soil horizons (Table 3). On Suzak arable land, only minor differences in humic and fulvic acid quantities were measured in the several soil layers. The humic acids slightly decrease with depth, therefore a wider humic/fulvic acids ratio were found below a soil depth of 14 cm. On the Suzak forest sierozem, by contrast, in all soil layers nearly similar humic/fulvic acid ratios were found. Studies comparing the SOM contents in soils of sites under different land use confirm these results. In soils of forest sites increased lignin contents, higher C/N ratios, and lignin/N ratios were determined, resulting in enhanced accumulation of SOM in comparison to pastures or arable land (Lavahun et al., 1996; Melillo et al., 1989). The Ca bonding of large portions of humic acids in combination with high humidity of forest soils was described by Łabaz et al. (2011) as important cause for SOM stabilization. Based on the results of an eight-year field experiment to study the long-term effects of litter quality and quantity on pH and nutrient content of a forest soil in North Hungary, Toth et al. (2011) underlined the close connection between litter production and soil fertility. Decreasing inputs of organic matter induced by unsustainable forest management or climatic change would lead to obvious soil degradation caused by reduced Mg and Ca inputs and acidification.

In the current study, the total nutrient state was determined for soils of the Zindan, Aral, Charbak, and Balykty-Sai forest sites. The sampling was carried out until soil depths of 150 cm, 130 cm, and 80 cm, respectively, depending on the soil body.

The nutrient contents given in Figure 5 were calculated as averages of separately analyzed 10 cm-soil sections. Within the investigated soil horizons, the Mg and S contents were comparatively equalized. At all forest sites, in contrast, the Ca contents showed distinct differentiations; the Ca contents were considerably increased in deeper soil layers in consequence of soil genesis.

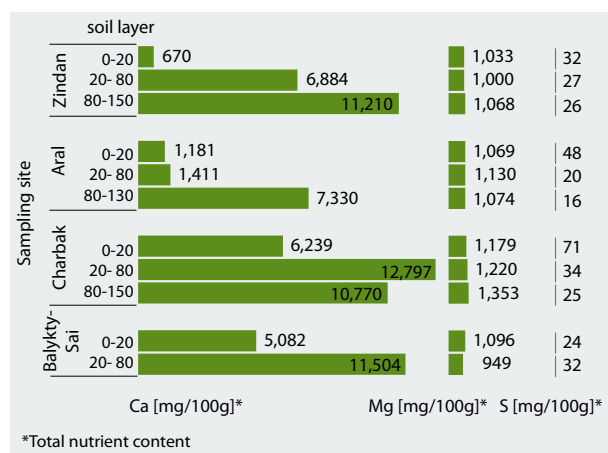


Figure 5 Distribution of macro nutrients (Ca, Mg, and S) within the soil profile of selected Kyrgyz nut-fruit forest sites (averages of 10 cm-soil sections, sampling in 2007)

The result is a good base saturation of the investigated soils. Calcium and magnesium are involved in the formation of mineral and organic-mineral water-stable structural aggregates and also increase the erosion resistance of the upper soil layer. The content of several micro nutrients (Mn, Fe, Cu, and Zn), and its allocation within the soil horizons are presented in Table 4.

Table 4 Micro nutrient contents (Mn, Fe, Cu, Zn) in the soil profile of selected Kyrgyz nut-fruit forest sites (averages of 10 cm-soil sections, sampling in 2007)

sampling site	soil depth [cm]	Mn [mg/100g]*	Fe [mg/100g]*	Cu [mg/100g]*	Zn [mg/100g]*
Zindan	0 - 20	78	3,701	3.3	8.5
	20 - 80	61	3,149	3.0	7.0
	80 - 150	53	2,657	2.5	6.1
Aral	0 - 20	73	3,276	3.5	8.8
	20 - 80	83	3,799	4.0	9.2
	80 - 130	83	3,464	3.9	7.2
Charbak	0 - 20	60	2,648	3.0	7.9
	20 - 80	50	2,453	2.4	5.8
	80 - 130	54	2,645	2.5	6.2
Balykty-Sai	0 - 20	76	3,625	3.5	8.3
	20 - 80**	53	2,727	2.6	6.3

*Total micro nutrient content
**Samples of 80 to 130 cm were lost

There was a slight increase of Zn fixed in the upper layer of the studied soils; Mn and Cu were also enriched in the upper soil layers where organic matter is accumulated (Table 4). It is well documented that there is a significant positive correlation between organic matter and the plant availability of micronutrient cations (Heredia et al., 2002), since metal ions associated with low molecular weight humic substances will be released to the soil solution by microbial decomposition (Dabin, 1971; van Wambeke, 1995).

While organic matter is one of the major soil substances which are responsible for metal retention processes due to its surface characteristics (Sutherland et al., 2000), it can be assumed, that the high amounts of iron detected in these fertile mountain-forest soils (Table 4) considerably contribute to erosion prevention. This element creates strong organo-mineral compounds with humic substances (Tipping, 1981). In general, the concentrations of the macro and micro nutrients determined in the investigated soils are within the range of commonly found soil nutrient levels (Finck, 2007; Müller, 1980). The Ca, Mg, and especially the Fe concentrations ranged around the upper limit, whereas the Zn and Mn concentrations were comparatively low (Figure 5, Table 4).

The studied soils could serve as standard model of fertility for other soils of the Fergana valley. High humus content

(Table 2) and a good structured soil profile (Table 5) contribute to optimum physical properties, which are accompanied by porosity, high water permeability and moisture capacity.

In the belt of nut-fruit forests, the landscape geomorphology is the main factor that causes intensive erosion and determines its course: the altitude of the erosion sensitive sites (up to 3,000 m a.s.l.), steep slopes, and extreme cuts by river valleys, ravines and canyons. Induced by the prevailing climatic conditions large soil surfaces are exposed to high precipitation. In combination with the relief, surface destruction and soil erosion occurs mainly on the slopes. Their intensity is directly dependent on the slopes' shape, steepness, length, and aspect. This was shown for the studied area by Samusenko and Kojekov (1989). The process of soil degradation is more intense on the southern slopes of the Balykty-Sai and Kara-Alma forest ecosystems than on the northern and western slopes of the same tracts.

Greater stability against soil erosion and nutrient leaching is found on the north, northwest and west slopes where increased forest litter enriches soil organic content and the climatic conditions are humid. Due to less favourable temperature regimes, the process of decomposition is weakened. On the southern, less humid, but sunnier slopes, the litter production by the forest canopies and the undergrowth is reduced by the lower annual precipitation in these areas. Together with encouraging temperature conditions, the decomposition processes are more accelerated, the risk of soil structure damages is increased, and consequently the soils of the southern slopes are less erosion resistant (Samusenko and Kojekov, 1989).

Besides the above-mentioned parameters conditioned by geographic and climatic facts, vegetation forms and canopy closeness are crucial for the erosion susceptibility of the Kyrgyz mountain regions. Where the slope areas are covered by nut-fruit stands the risk of water erosion by surface runoff will be reduced due to the higher water permeability of these forest soils, and concomitant sediment inputs into the subsurface water bodies will be abated (Sakbaeva et al., 2009).

Certainly, the walnut forest ecosystems are always influenced by another important impact: the forest use by the humans living in these regions should not be underestimated. Just in the Jalal-Abad district alone, five forest stands with increasing exploitation by the human population were identified by Novikov (2006). Research studies have shown that haphazard exploitation, overgrazing, firewood harvesting, and unjustified felling of walnut-fruit stands caused irreversible damages to these sensitive ecosystems. The natural self-seeding ability will be suppressed, the soil and water protective functions will be lowered, and the micro-climatic and hydrological conditions will change. Hence, a progressive degradation of walnut-fruit forests is to expect with a sharp decrease in their productivity. The current area of these walnut-fruit forests is 47,000 hectares, large areas of which are in critical state (Müller and Sorg, 2001). Unregulated grazing is a main factor contributing to the development of soil erosion. On the slopes, livestock trails are formed by excessively used pastures. Often the trails cut across the hills in all

directions, de-destroying vegetation and forming well-showered travel prisms. It is known that these prisms are most susceptible to erosion especially on weakly vegetated, steep slopes (Avazov, 2008). Up to 50 to 60 % of the soil is washed away on these hillsides. The upper humus horizon is eroded first, followed by the underlying more friable horizons.

Studies of Härdtle et al. (2005) under stationary and laboratory conditions have identified the differences between eroded and non-eroded soils. Eroded dark brown soils are deprived of a 15 to 20 cm layer of humus horizon. Non-eroded soils contain 11 to 13 % humus in the upper horizon, eroded soils 1 to 2 %. The carbonate content (8 to 12 %) and the alkalinity of eroded soils are significantly increased. Slightly acidic soils are even more likely to sustain varied forest vegetation than alkaline soils (Härdtle et al., 2005).

The current study showed that long-term erosive processes result in considerable changes of bulk density up to 30 cm soil depth (Table 5). A tendency to soil compaction was also observed in the deeper soil horizons (below 30 cm), both for the dark brown soil in Aral and for the black-brown soil in Zindan. But, the detected differences between eroded and non eroded soils were only marginal for these soil layers. Studies of soils in the Serbian Kolubara Valley indicated comparable results: differences of bulk density by land use changing were only significantly verifiable for the upper 20 cm of the soils (Gajić et al., 2010).

Table 5

Bulk density [g/cm^3] of eroded and non eroded mountain wood brown soils of Kyrgyz nut-fruit forests, profile depth 0 to 150 cm (sampling in 2007)

profile depth [cm]	bulk density [g/cm^3]			
	dark brown soil (Aral)		black-brown soil (Zindan)	
	non eroded	eroded	non eroded	eroded
0 - 5	0.82	1.24	0.78	1.20
5 - 10	1.01	1.27	0.96	1.25
10 - 20	1.06	1.38	1.00	1.36
20 - 30	1.15	1.39	1.07	1.35
30 - 40	1.24	1.41	1.28	1.38
40 - 50	1.36	1.45	1.35	1.39
50 - 60	1.39	1.47	1.38	1.38
60 - 70	1.37	1.45	1.38	1.39
70 - 80	1.36	1.41	1.39	1.39
80 - 90	1.36	1.35	1.37	1.36
90 - 100	1.37	1.36	1.35	1.36
100 - 110	1.32	1.33	1.35	1.35
110 - 120	1.33	1.35	1.34	1.37
120 - 130	1.38	1.39	1.36	1.37
130 - 140	1.39	1.40	1.37	1.39
140 - 150	1.39	1.41	1.35	1.42

The bulk density determined in the upper layers of non-eroded black-brown soil indicates a loose structure until a depth of 20 to 30 cm which differs significantly from the markedly compacted top soil of the eroded dark brown soil. The physical characteristics of soils have high ecological significance, since they largely determine the metabolic processes between the soils and the other components of the ecosystem. Investigative studies (Mamytov, 1982; Liverovskii, 1987; Karabaev, 2000) have shown, that soil properties are largely defined by their resistance to erosion (humus content, the presence and volume of forest litter, carbonate content, volume weight, etc.) and deteriorate with increasing degrees of erosion.

5 Conclusions

The establishment of further nut plantations in more regions of the natural nut-fruit forest belt of Kyrgyzstan would surely enhance soil fertility and biodiversity while protecting the environment of this district. In particular, expansion should favour highly fertile mountain black-brown soils where adequate precipitation will allow the cultivation of nut plantations without additional irrigation. This approach does not contradict the requirements of a world natural heritage area, particularly if seeds from old-growth native nut trees would be used and the development of a broad spectrum of native plant species would be carefully maintained. Considering the current European wholesale price of cleaned nuts (0.90 to 1.48 Euro/kg) and kernels (2.13 to 5.49 Euro/kg) such land use management would encourage the economic development of this region (Bourne, 2012). Native nuts harvested in the Kyrgyz natural nut-fruit forest regions, are an ecologically pure food product and a valuable raw material for the pharmaceutical industry. In these habitat systems, soils are reliably protected from erosion incidents and unfavourable human impact, respectively. The fertility of black-brown soils will be restored over the years (Bourne, 2012). Highly fertile soils are the outcome providing productive nut-fruit forests, which are the basis to exhaust the high ecological, economic, and recreational potential of the whole region.

Based on this knowledge, both in the mountain brown soils belt, and in the dark sierozem soils belt of the southwestern Tien Shan, industrial nut-fruit plantations should be also established. In these regions the natural chemical and physical soil properties provide optimal conditions for growing walnuts when adequate moisture is supplied. Therefore, the simultaneous implementation of drip irrigation systems is necessary for a profitable establishment of such ecologically valuable nut-fruit forest stands. In the long term, the yearly amount of organic plant residues produced by litter fall and undergrowth will contribute to an increasing humus quantity in the top soil (Karabaev, 1993).

The extension of irrigated nut-fruit plantations could be a helpful method to protect more erosion sensitive areas currently not used as farm land against soil degradation and soil losses. Eligible regions are mainly located in the foothills of the Fergana and Chujsky hollows. In conclusion, the

improvement and maintenance of soil quality will enhance the life quality of the residents if the established forest stands will be sustainably managed in consideration of economically effective and ecologically responsible aspects.

Acknowledgments

This study was jointly funded by the German Academic Exchange Service (DAAD, Germany).

References

- Aiupov FG, Junusov NS (2010) *Ékologija orechoplodnykh lesov Južnogo Kyrgyzstana*. Bishkek : Ilim, 143 p
- Andzhaparidze IE (1964) Some features of brown forest soils of Georgia. In: Boratynski K (ed) *Collection of scientific studies devoted to the 8. International Soil Science Congress in Bucharest*. Warszawa : Pastw Wydawn Nauk, pp 24-31
- Arinushkina E (1980) *Rukovodstvo po chimičeskomu analizu počv*. Moscow : Moscow State Univ, 487 p
- Avazov A (2008) Ustojčivost' k érozii černykh i koričnevych počv orechovoplodovykh lesov. *Vestnik JAGU* 2:134-139
- Battle-Aguilar J, Brovelli A, Porporato A, Barry DA (2011) Modelling soil carbon and nitrogen cycles during land use change : a review. *Agron Sustain Dev* 31:251-274
- Beer R, Kaiser F, Schmidt K, Ammann B, Carraro G, Grisa E, Tinner W (2008) Vegetation history of the walnut forests in Kyrgyzstan (Central Asia) : natural or anthropogenic origin? *Quat Sci Rev* 27:621-632
- Bourne W (2012) Analysis of the walnut value chain in the Kyrgyz Republic [online]. To be found at <http://www.profor.info/sites/profor.info/files/docs/Walnut_Value_Chain_KyrgyzRepublic.pdf> [quoted 28.11.2012]
- Dabin B (1971) Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. *Sci Sol* 1:47-63
- Faithfull NT (2002) Determination of humic and fulvic acids. In: *Faithfull NT Methods in agricultural chemical analysis : a practical handbook*. Wallingford : CABI, pp 68-71
- Finck A (2007) *Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten*. Berlin : Borntraeger, 253 p
- Gajić B, Durović N, Dugalić G (2010) Composition and stability of soil aggregates in Fluvisols under forest, meadows, and 100 years of conventional tillage. *J Plant Nutr Soil Sci* 173(4):502-509
- Geissler G (1999) *Chemie des Bodens* [online]. To be found at <<http://www.chids.de/dachs/expvotr/625.pdf>> [quoted 28.11.2012]
- Glazovskaya MA (1953) Osobennosti vyvetrivanija i počvoobrazovanija vo vnutrennem Tjan'-Šane. In: *Trudy : geografičeskie issledovanija v Central'nom Tjan'-Šane*. Moscow : Akademija nauk SSSR, pp 187-193
- Grisa E, Venglovsky BI, Sarymsakov Z, Carraro G (2008) *Forest typology of the Kyrgyz Republic : practice oriented document for field assessment and sustainable management of forest stands*. Bishkek : Intercooperation, pp 1-127
- Härdtle W, Oheimb G von, Westphal C (2005) Relationships between the vegetation and soil conditions in beech and beech-oak forests of northern Germany. *Plant Ecol* 177(1):113-124
- Heredia W, Peirano P, Borie G, Aguilera M (2002) Soil organic matter-metal interactions in Chilean volcanic soils under different agronomic management. *Comm Soil Sci Plant Anal* 33(13-14):2083-2099
- IFAS (2003) *Report of Scientific Information Center Aral of the Sustainable Development Commission* [online]. To be found at <http://www.apipnm.org/swlwpnr/reports/y_nr/z_kg/> [quoted 24.03.2003]
- Karabaev NA (1993) *Kyrgyz žangagy programmasy kerek*. Nauka i tehnika 1:38-45
- Karabaev NA (2000) *Agrochimiko-ékologičeskie osnovy plodorodija i produktivnost' gornych počv Kyrgyzstana*. Bishkek : Ilim, 92 p
- Kononova MM, Belchikova NP (1961) *Uskorennyj metod opredelenija sostava gumusa v počve*. Moscow : Nauka, 332 p

- Łabaz B, Bogacz A, Bartłomiej G (2011) Humus substances of forest phaeozems and gleysols in 'dolina baryczy' landscape park. *Pol J Soil Sci* 44(1):51-62
- Lavahun MFE, Joergensen RG, Meyer B (1996) Activity and biomass of soil microorganisms at different depths. *Biol Fertil Soils* 23:38-42
- Liverovskii YA (1987) Gornye počvy Južnoj Kyrgyzii. Moscow : Nauka, 332 p
- Mamytov AM, Roichenko GI, Buxrer EG (1971) Gruppovoj sostav gumuca osnovnyh tipov počv Kirgizskoj SSR. Frunze : Akad nauk Kyrgyzskoj SSR, 95 p
- Mamytov AM (1982) Počvy gor srednej asii i južnogo kazachstana. Frunze : Ilim, 310 p
- Matveev PP, Karabev NA, Emelianenko LI (1986) Razrabotat' sistemu kompleksnogo ispol'zovanija i ochrany zemel' gosudarstvennogo lesnogo fonda zanjatyh orechovo-plodovymi lesami. In: Zaključitel'nyj otčet naučno-issledovatel'skich rabot. Frunze : Akad nauk Kyrgyzskoj SSR, pp 111-113
- Melillo JM, Aber JD, Linkins AE, Ricca A, Fry B, Nadelhoffer KJ (1989) Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum : plant litter to soil organic matter. *Plant Soil* 115:189-198
- Müller G (1980) *Bodenkunde*. Berlin : Dt Landwirtschaftsverl, 392 p
- Müller U, Sorg JP (2001) Gestion multifonctionnelle des forêts de noyer du sud du Kyrgyzstan : tradition, problèmes, actuels, perspectives. *Schweiz Z Forstwes* 152:138-144
- Novikov V (2006) Walnut forest in the Jalal-Abad province (Kyrgyzstan) [online]. To be found at <http://www.grida.no/graphicslib/detail/walnut-forest-in-the-jalal-abad-province-kyrgyzstan_141f> [quoted 28.11.2012]
- Plushin I, Vernikovskaia I (1974) *Praktikum po meliorativnoj počvovedenija*. Moscow : Lesnaja promyšlennost, 164 p
- Radov A, Pustovoi I, Korolkov A (1971) *Praktikum po agrochimii*. Moscow : Colos, 232 p
- Roichenko GI (1954) Gornye lesnye počvy južnoj kirgizii. Frunze : Akad Nauk SSSR, 21 p
- Roichenko GI (1960) Počvy južnoj kirgizii. Frunze : Akad nauk Kyrgyz SSR, 233 p
- Roichenko GI (1970) Zemel'nye resursy južnoj kirgizii. Frunze : Ilim, 52 p
- Rusanov EM, Milanovskii EYu, Verkhoshentseva YuP, Voropaev SB, Anilova LV (2012) Physical properties of ordinary chernozems in steppe landscapes adjacent to forests. *Eurasian Soil Sci* 45(7):684-689
- Sakbaeva ZI, Abazova BK, Abazov AA, Alimbekov SA (2009) Ėkologo-geografičeskie osobennosti erozii v pojase orechovo-plodovyh lesov. In: *Trudy zapovednika k 50-letiju obrazovanija : sovremennoe sostojanie i perspektivy rasvitija sary-čelekskogo gosudarstvennogo biosfernogo zapovednika*. Bishkek : Muras, pp 64-66
- Samusenko BF, Kojekov DK (1989) Osobennosti počvoobrazovanija v gornyh lesach Tjan'-Šanja. *Počvovedenie* 7:106-107
- Schroeder D, Blum WEH (1992) *Bodenkunde in Stichworten*. Berlin : Hirt, 175 p
- Sutherland RA, Tack FMG, Tolosa CA, Verloo MG (2000) Operationally defined metal fractions in road deposited sediment. *J Environ Qual* 29:1431-1439
- Tipping E (1981) The adsorption of aquatic humic substances by iron oxides. *Geochim Cosmochim Acta* 45(2):191-199
- Tóth JA, Nagy PT, Krakomperger Z, Veres Z, Kotrocó Z, Kincses S, Fekete I, Papp M, Lajtha K (2011) Effect of litter fall on soil nutrient content and pH, and its consequences in view of climate change (Sikfókút DIRT Project). *Acta Silv Lignaria Hung* 7:75-86
- Traversa A, Said-Pullicino D, D'Orazio V, Gigliotti G, Senesi N (2011) Properties of humic acids in Mediterranean forest soils (Southern Italy) : influence of different plant covering. *Eur J Forest Res* 130(6):1045-1054
- Wambeke A van (1995) *Sols des tropiques : propriétés et appréciation*. Wageningen : Huy, 335 p
- Zhukov M (2004) Orechovo-plodovyh lesov Kyrgyzstana javljajutca mirovym prirodnyh naslediem. *Universitetskoe Obrazovanie: Sostojanie i Perspektivy*. *Vestnik KAU* 8:12-14

Gutachtergremium *Editorial Board*

PD Dr. Martin Banse, Institut für Marktanalyse, Thünen-Institut
Dr. Jürgen Bender, Institut für Biodiversität, Thünen-Institut
Dr. Jutta Berk, Institut für Tierschutz und Tierhaltung, FLI
Dr. Herwart Böhm, Institut für Ökologischen Landbau, Thünen-Institut
Dr. Ulrich Dämmgen, Institut für Agrarklimaschutz, Thünen-Institut
PD Dr. Sven Dänicke, Institut für Tierernährung, FLI
Dr. habil. Bernd Degen, Institut für Forstgenetik, Thünen-Institut
PD Dr. Matthias Dieter, Institut für Forstökonomie, Thünen-Institut
PD Dr. habil. Bettina Eichler-Löbermann, Universität Rostock
Dr. Peter Elsasser, Institut für Forstökonomie, Thünen-Institut
Prof. Dr. Andreas Fangmeier, Universität Hohenheim
PD Dr. Matthias Fladung, Institut für Forstgenetik, Thünen-Institut
Prof. Dr. Heinz Flessa, Institut für Agrarklimaschutz, Thünen-Institut
Prof. Dr. Ulrike Grabski-Kieron, Universität Münster
Prof. 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. 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, Thünen-Institut
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, Thünen-Institut
Dr. Hiltrud Nieberg, Institut für Betriebswirtschaft, Thünen-Institut
Dr. Rainer Oppermann, Institut für Ökologischen Landbau, Thünen-Institut
Prof. Dr. Herbert Oberbeck, TU Braunschweig
Dr. Jürgen Puls, Institut für Holzforschung, Thünen-Institut
Prof. Dr. Gerold Rahmann, Institut für Ökologischen Landbau, Thünen-Institut
Prof. Dr. Detlef Rath, Institut für Nutztiergenetik, FLI
Dr. Thomas Schneider, Institut für Weltforstwirtschaft, Thünen-Institut
Prof. Dr. Dr. habil. Dr. h.c. 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, Thünen-Institut
Prof. Dr. Dr. habil. Drs. h.c. Gerd Wegener, TU München
Prof. Dr. Hans-Joachim Weigel, Institut für Biodiversität, Thünen-Institut
Dr. Nicole Wellbrock, Institut für Waldökosysteme, Thünen-Institut

Inhalt · Content

- Reiner Plankl
1 **Regionale Verteilung raumwirksamer finanzieller Staatshilfen in Deutschland**
- Britta Blank, Dagmar Schaub, Hans Marten Paulsen und Gerold Rahmann
21 **Vergleich von Leistungs- und Fütterungsparametern in ökologischen und konventionellen Milchviehbetrieben in Deutschland**
- Hans Marten Paulsen, Britta Blank, Dagmar Schaub, Karen Aulrich und Gerold Rahmann
29 **Zusammensetzung, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe in Deutschland und die Bedeutung für die Treibhausgasemissionen**
- Ulrich Dämmgen, Ulrich Meyer, Claus Rösemann, Hans-Dieter Haenel, and Nicholas J. Hutchings
37 **Methane emissions from enteric fermentation as well as nitrogen and volatile solids excretions of German calves – a national approach**
- Ulrich Dämmgen, Andreas Berk, Caroline Otten, Wilfried Brade, Nicholas J. Hutchings, Hans-Dieter Haenel, Claus Rösemann, Sven Dänicke, and Manfred Schwerin
47 **Anticipated changes in the emissions of greenhouse gases and ammonia from pork production due to shifts from fattening of barrows towards fattening of boars**
- Malte Lohölter, Rebecca Rehage, Ulrich Meyer, Peter Lebziens, Jürgen Rehage, and Sven Dänicke
61 **Evaluation of a device for continuous measurement of rumen pH and temperature considering localization of measurement and dietary concentrate proportion**
- Wiebke Börner, Gracia Ude, Sophia Bender und Heiko Georg
69 **Beweidung von Futterhecken mit Ziegenlämmern**
- Dinah Reinhardt, Gisela Jansen, Sylvia Seddi, and Bettina Eichler-Löbermann
79 **Temperature stress during flowering time affects yield and quality parameters of waxy barley**
- Kerstin Panten, Susanne Schroetter, and Ewald Schnug
85 **Nutrient induced competition – use of concentrated nutrient solution for weed regulation**
- Zulfiya Sakbaeva, Susanne Schroetter, Nuridin Karabaev, Abdybahap Avazov, Jutta Rogasik, and Ewald Schnug
93 **Soils of nut-fruit forests in southern Kyrgyzstan – important ecosystems worthy of protection**

Landbauforschung
*Applied Agricultural
and Forestry Research*

Vol. 63

No. 1 · 03.2013

Herausgeber · *Editor*
Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

Preis · Price 8 €

ISSN 0458-6859