

Vol.59 No. 4 12.2009

Landbauforschung *vTI Agriculture and Forestry Research*



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz

Landbauforschung

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

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

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

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

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

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

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

Herausgeber
Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)

Gutachtergremium
Siehe 3. Umschlagseite

Schriftleitung
Prof. Dr. Folkhard Isermeyer

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

ISSN 0458-6859

Alle Rechte vorbehalten.

vTI Agriculture and Forestry Research

Landbauforschung (vTI Agriculture and Forestry Research) is a scientific journal of the Johann Heinrich von Thünen Institute (vTI), Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries. The journal is published quarterly by the vTI. The articles appear in either German or English. Special issues are published as required.

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

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

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

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

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

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

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

Publisher
Johann Heinrich von Thünen Institute (vTI)

Editorial Board
Directors of vTI-Institutes

Editor in Chief
Prof. Dr. Folkhard Isermeyer

Managing

Dr. M.
Pr.
L.
2
lanu.
www.vti.bund.de

ISSN 0458 – 6859

All rights reserved.

Andreas Bolte, Dirk-Roger Eisenhauer, Hans-Peter Ehrhart, Joachim Groß, Marc Hanewinkel, Christian Kölling, Ingolf Profft, Martin Rohde, Peter Röhe und Kurt Amereller

Klimawandel und Forstwirtschaft – Übereinstimmungen und Unterschiede bei der Einschätzung der Anpassungsnotwendigkeiten und Anpassungsstrategien der Bundesländer

269 Climate change and forest management – accordances and differences between the German states regarding assessments for needs and strategies towards forest adaptation

Anja Schwalm, Heiko Georg und Gracia Ude

Elektronische Tierkennzeichnung

279 Electronic animal identification

Heiko Georg, Gracia Ude, Anja Schwalm und Bernhard Wenderdel

Untersuchung von Injektaten zur elektronischen Tierkennzeichnung mit Temperatursensoren und Überprüfung geeigneter Injektionsorte bei Bullenkälbern

287 Investigation on temperature sensing injectable transponders for electronic animal identification an evaluation of suitable injection sites with bull calves

Gracia Ude, Heiko Georg and Anja Schwalm

Blood glucose level and cross-sucking behaviour by different rearing systems in group housed calves

295 Blutglukosekonzentration und gegenseitiges Besaugen von Kälbern in Gruppenhaltung in Abhängigkeit verschiedener Aufzuchtverfahren

Karen Aulrich and Joachim Molkenitin

Potential of Near Infrared Spectroscopy for differentiation of organically and conventionally produced milk

301 Potential der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) zur Differenzierung ökologisch und konventionell produzierter Milch

Jana Franziska Dresow and Herwart Böhm

The influence of volatile compounds of the flavour of raw, boiled and baked potatoes: Impact of agricultural measures on the volatile components

309 Der Einfluss flüchtiger Verbindungen auf das Aroma roher, gekochter und gebackener Kartoffeln: Einfluss agronomischer Maßnahmen auf die flüchtigen Verbindungen

Henrik Schumacher, Hans Marten Paulsen and Achim E. Gau

Phenotypical indicators for the selection of methionine enriched local legumes in plant breeding

339 Phänotypische Merkmale für die Selektion heimischer Leguminosen auf Methioninreichtum in der Pflanzenzüchtung

Axel Munack, Jürgen Krahel, Thomas Wilharm, Yvonne Ruschel, Jens Schaak, Olaf Schröder und Lasse Schmidt

Emissionsprüfung synthetischer Dieselkraftstoffe

345 Emissions from synthetic diesel fuels

Klimawandel und Forstwirtschaft – Übereinstimmungen und Unterschiede bei der Einschätzung der Anpassungsnotwendigkeiten und Anpassungsstrategien der Bundesländer

Andreas Bolte*, Dirk-Roger Eisenhauer**, Hans-Peter Ehrhart***, Joachim Groß****, Marc Hanewinkel*****, Christian Kölling*****, Ingolf Profft*****, Martin Rohde*****, Peter Röhe***** und Kurt Amereller*****

Zusammenfassung

Eine von der Forstchefkonferenz (FCK) beauftragte Bund-Länder-Expertenrunde der forstlichen Forschungseinrichtungen berichtet zu gemeinsamen und abweichenden Einschätzungen der Bundesländer zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel.

Die Gemeinsamkeiten zwischen den Ländern in den Fragen der Gefährdungen und der Anpassung von Wäldern und Klimawandel überwiegen gegenüber den Gegensätzen. Weitgehend einheitlich wird die Bedeutung des Klimawandels und seiner regionalen Gefährdungen für die Wälder und die wichtige Rolle biotischer Gefährdungen beurteilt. Hohe Übereinstimmung gibt es auch bei der Einschätzung der Anpassungspotenziale der Baumarten in Bezug auf den Klimawandel: Die Fichte wird als wenig an die zu erwartenden Klimabedingungen angepasst eingeschätzt, wohingegen den eingeführten Baumarten Douglasie und Roteiche eine relativ gute Anbauperspektive bereits heute und insbesondere bei sich ändernden Klimabedingungen unterstellt wird. Nach wie vor werden aber auch mehrere heimische Baumarten als wenig anfällig gegenüber den Einflüssen des Klimawandels eingeschätzt. Unterschiede wurden allerdings bei der Wahl der Anpassungsstrategien deutlich: Einzelne Länder befürworten eher eine gerichtete aktive Anpassung (z. B. Waldumbau mit dem Ersatz sensibler Baumarten), andere eher eine Kombination aus Waldumbau und ungerichteter Risikominderung (Mischwaldoption). Eine passive Anpassungsoption wird überwiegend eher negativ bewertet.

Einigkeit herrscht zur Notwendigkeit einer intensivierten und national abgestimmten interdisziplinären Forschung sowie von koordinierten Praxisversuchen zur Anpassung von Wäldern und der Waldbewirtschaftung.

Schlüsselwörter: Trockenheit, Sturm, Anpassungsfähigkeit, Baumarten, biotische Gefahren, Baumarten, Stresstoleranz, Waldbau, Monitoring, Standortskartierung

Abstract

Climate change and forest management – accordances and differences between the German states regarding assessments for needs and strategies towards forest adaptation

A federal working group of German forest research that was mandated by the Federal Forest Task Force (FCK) reports on the accordances and differences between the German states (Bundesländer) regarding assessments of forest adaptation to climate change.

Regarding the threats of climate change and the possibility of adaptation to it, responses were mostly quite similar within the group. The highly significant nature of climate change and the scope of its regional impacts were evaluated by the respondents in a similar manner. The important role of biotic threats was likewise acknowledged by all parties. We found also only slight differences in the assessment of forest tree species' adaptive potential to climate change: Norway spruce is expected to have low adaptive potential whereas the introduced species Douglas fir and red oak will presumably be more highly adaptive. Several native species are still considered to be quite tolerant against climate change effects as well. However, differences are obvious regarding adaptation strategies. Some states prefer active adaptation (e.g. forest transformation aiming at replacing sensitive tree species), while others prefer a combination of active adaptation and risk minimization strategies (e.g. by establishing tree species mixtures). Passive adaptation is predominantly a less preferred option.

All respondents agreed on the need for more intensive interdisciplinary research and for coordinated trials concerning forest adaptation and forest management in the face of climate change.

Keywords: Drought, storm, adaptiveness, tree species, biotic threats, stress tolerance, silviculture, monitoring, site mapping

- * Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Waldökologie und Waldinventuren, (andreas.bolte@vti.bund.de)
- ** Staatsbetrieb Sachsen-Forst, Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft, (Dirk-Roger.Eisenhauer@smul.sachsen.de)
- *** Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz (FAWF), (hans-peter.ehrhart@wald-rlp.de)
- **** Landeskompentenzentrum Forst Eberswalde (LFE), Außenstelle Potsdam, (Joachim.Gross@LFE-P.brandenburg.de)
- ***** Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), (Marc.Hanewinkel@forst.bwl.de)
- ***** Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft (LWF), (christian.koelling@lwf.bayern.de, Kurt.Amereller@lwf.bayern.de)
- ***** Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei, (ingolf.profft@forst.thueringen.de)
- ***** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, (Martin.Rohde@nw-fva.de)
- ***** Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern, (p.roehe@lu.mv-regierung.de)

1 Einleitung

Die Forstchefkonferenz (FCK) hat auf Ihrer Sitzung am 7./8.05.2008 in Würzburg beschlossen, die Forschungs- und Versuchsanstalten des Bundes und der Länder zu beauftragen, die Übereinstimmungen und Unterschiede bei der Einschätzung der Anpassungsnotwendigkeiten und -strategien im Hinblick auf den Klimawandel darzustellen. Der Bund wurde um Federführung gebeten. Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) beauftragte das Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), die Aktivität zu koordinieren.

Die Initiative begründet sich dadurch, dass Wälder und Waldbesitzer zu den Hauptbetroffenen des Klimawandels zählen. Die Forstwirtschaft wird als Wirtschaftszweig mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erheblichen Anpassungsleistungen gezwungen werden, und klimabedingte Schäden am Waldvermögen und am Waldökosystem werden selbst bei einem vergleichsweise günstigen Klimawandel-Szenario vielfach nicht zu vermeiden sein (vgl. Zebisch et al., 2005; Bolte und Ibisch, 2007; Spellmann et al., 2007; Kölling, 2008). Allerdings unterscheiden sich länderspezifische Einschätzungen der kommenden Entwicklungen, der Anfälligkeit der verschiedenen Waldtypen und Baumarten sowie die Anpassungsnotwendigkeiten und -strategien der Forstwirtschaft. Soweit diese Unterschiede sich nicht aus regionalen oder örtlichen Besonderheiten begründen, bergen sie das Risiko fachlicher Fehleinschätzungen und erschweren die politische Argumentation sowie die Kommunikation mit den Waldbesitzern. Daher wird eine breit diskutierte und abgestimmte Grundeinschätzung zum Thema benötigt.

Im Sommer/Herbst 2008 konstituierte sich eine Bund/Länder-Ad-hoc-AG, in der Experten vieler forstlicher Versuchsanstalten der Länder und des vTI vertreten waren.

Ziel gemeinsamer Aktivitäten war es, einen Überblick über den aktuellen Stand zu den erwarteten Wirkungen des Klimawandels auf Wälder und zu den notwendigen Anpassungsstrategien und –maßnahmen in unterschiedlichen Regionen Deutschlands zu erhalten.

2 Methodik

Um zur gewünschten breit diskutierten Grundeinschätzung zu kommen, wurde ein Fragebogen mit spezifischen Fragen zu Klimawandel und Waldanpassung entwickelt. Der Themenbereich umfasste vier Teilbereiche: (A) Ausprägung des Klimawandels, (B) Biotische Gefahren, (C) Reaktion der Wälder auf den Klimawandel sowie (D) Anpassungskonzepte und Maßnahmen. Die Aufteilung in die Teilbereiche richtete sich nach der Wirkungs- und Maßnahmenkette in Einflüsse und Gefährdungen einerseits und Anpassungsmaßnahmen andererseits. Es wurden

insgesamt 27 Fragen gestellt. Die Fragebögen wurden Anfang August an Ressortforschungseinrichtungen aller Bundesländer außer den Stadtstaaten Hamburg, Bremen und Berlin versandt mit der Bitte, die Fragebögen in Abstimmung mit Entscheidungsträgern der Landesforstverwaltungen bzw. –betriebe zu beantworten.

Bis Anfang September erfolgte ein annähernd vollständiger Rücklauf aus 11 Bundesländern (Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg und Bayern). Die Ergebnisse wurden zentral am Johann Heinrich von Thünen-Institut in Eberswalde ausgewertet und zusammengestellt.

Aus den Diskussionsergebnissen des Workshops an der LWF in Freising wurde ein kommentiertes Thesenpapier mit 20 Punkten erarbeitet (Anhang, Amereller et al., 2009), das vorrangig zur Ergänzung und Diskussion der Befragungsergebnisse verwendet wurde.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Einflüsse und Gefährdungen für die Wälder

Nach der Meinung der befragten Einrichtungen sind viele (zukünftige) Einflüsse und Gefährdungen für deutsche Wälder durch den Klimawandel zum einen eher überregional ausgeprägt, zum anderen liegen bei einzelnen Einflüssen regionale Schwerpunkte vor. Neben abiotischen Einflüssen wird insbesondere biotischen Gefährdungen durch Insekten und Pilze eine hohe Bedeutung zugeschrieben.

3.1.1 Übergreifende und regionale Schwerpunkte

Dem Klimawandel und der Anpassung der Wälder wird von der weit überwiegenden Mehrheit der Versuchseinrichtungen eine hohe bis sehr hohe Priorität eingeräumt. Die Klimafolgen werden einheitlich allgemein vorwiegend als negativ angesehen. Dies deckt sich mit Einschätzungen auf internationaler Ebene für das gesamte Mitteleuropa (Bolte et al., 2009). Als mögliche positive Folge wird allerdings zum Teil ein gesteigertes Wachstum durch Klimaerwärmung und eine verlängerte Vegetationsperiode auf Standorten mit auch zukünftig ausreichender Wasserversorgung sowie in Höhenlagen gesehen. In der Befragung wurden folgende möglichen Konsequenzen des Klimawandels für Wälder auf einer Skala von nicht besorgniserregend (☺) bis extrem besorgniserregend (☹) eingestuft (Abbildung 1).

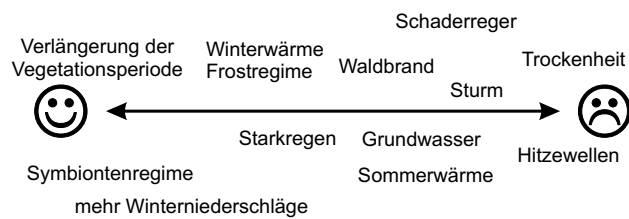


Abbildung 1:
Konsequenzen des Klimawandels hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Wälder

Trockenheit/Hitze und Sturm werden als die hauptsächlichen abiotischen Gefahren genannt. Sturmereignissen wird eine höhere Priorität in den südlichen Gebirgsländern eingeräumt, während viele norddeutsche und ostdeutsche Länder besonders Trockenheit und Hitzewellen fürchten. Im nordostdeutschen Tiefland sorgt man sich über eine mögliche zunehmende Waldbrandgefahr. Zudem werden übergreifend biotische Schaderreger als besorgniserregend klassifiziert (vgl. folgender Abschnitt). Zusätzlich fürchtet man gefährliche Wirkungen folgender Faktorenkombinationen:

- Hitze – Trockenheit (+Ozon, UVB)
- Sturm – Trockenheit – biotische Gefahren
- Winterfeuchte – Sturm
- Winterwärme – Veratmungsverluste

Die bisherigen forstlichen Unterlagen zu den natürlichen Produktionsbedingungen (Klima- und Bodeninformationen der Forstlichen Standortserkundung) gehen von der Konstanz zuvor beobachteter Umweltbedingungen aus (Punkt 12, Anhang). Um die laufende und zukünftige Standortveränderung in der Waldbauplanung besser berücksichtigen zu können (vgl. Bolte und Ibisch 2007), planen (fast) alle Versuchseinrichtungen eine dynamische Standortserkundung und -kartierung, die Szenarien des Klimawandels mit integriert. Im 20-Punkte-Papier wird zudem auf die Notwendigkeit hoch aufgelöster neuer Flächeninformation hingewiesen, die als Planungsgrundlage für Waldbewirtschaftungsstrategien fungieren kann.

Der Bearbeitungsstand zur Dynamisierung der Verfahren ist allerdings unterschiedlich und reicht von der Planung bis zur bereits laufenden Überarbeitung bestehender Verfahren.

3.1.2 Biotische Gefährdungen

Bei Klimawandel ist von einer geringeren Widerstandskraft der Bäume zur Abwehr von biotischen Schadfaktoren und einer verminderten Fähigkeit zur Regeneration auszugehen, während die Fitness- und Vermehrungsraten verschiedener Schädlinge ansteigen könnten. Daher können sich Befallsintensitäten erhöhen und Befallsgebiete

ausweiten. Bisher weniger bedeutsame Schädlinge können ihre Befallskraft erhöhen, neue Schädlinge können auftreten und treffen auf nicht angepasste Wirtspflanzen. Wechselwirkungen zwischen Schaderregern (Insekten, Pilze, Viren) sind zu erwarten (Punkt 2, Anhang).

Nach der Befragung steht eine erhöhte Befallsstärke bekannter Schaderreger wie von Borkenkäfer im Fokus der Betrachtungen (Profft et al., 2008). Die Gefahr von einwandernden neuen Arten (invasive Arten) wird allerdings auch als mittel bis hoch für die Produktivität und den Artenschutz bzw. die Biodiversität in Wäldern eingeschätzt (vgl. Petercord et al., 2008). Auf die Erholungsfunktion soll sich das vermutlich geänderte Schaderregerregime aber nur vergleichsweise wenig auswirken. Rückmeldungen nach dem Ende der Befragung ergaben doch neuerdings gebietsweise Einschränkungen durch den Eichenprozessionsspinner und mittlerweile auch den Pinienprozessionsspinner. Folgenden Schadorganismen wird eine höhere Bedeutung in Zukunft zugeschrieben:

- Borkenkäfer (Buchdrucker, Kupferstecher, u. a.), Prachtkäfer
- Blatt-/Nadelfressende Insekten
- Maikäfer
- Pilze (allgemein)
- Eichenprozessionsspinner
- Kiefernholznermatode (invasive Art)

3.1.3 Reaktionen von Wäldern und einzelnen Baumarten

Nach den Ergebnissen der Befragung wird durch den Klimawandel allgemein überwiegend eine Abnahme des Verjüngungserfolgs und der Produktivität von Wäldern erwartet, während sich Absterberaten und die Fruktifikationsintensität erhöhen sollen. Zusätzlich werden geringere Grundwasserneubildungsraten und eine geringere Sickerwasserqualität unter Wald erwartet; die Erosion, z. B. aufgrund von Starkregenereignissen, soll zunehmen (Abbildung 2).

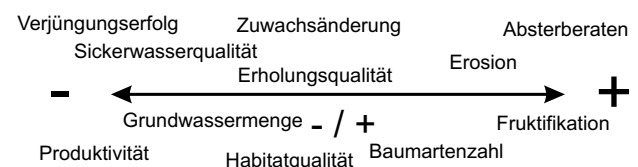


Abbildung 2:
Reaktion der Wälder auf den Klimawandel (Einschätzung nach Fragebogen)

Betrachtet man unterschiedliche Bestandesstrukturen, werden großflächige, strukturarme Reinbestände, vor allem aus Nadelbaumarten, wegen der günstigen Ausbreitungs- und Vermehrungsbedingungen für Schadorganismen als besonders anfällig für Schäden angesehen

(vgl. Zebisch et al., 2005; BMUNR, 2008). Dies gilt auch für abiotische Schädigungen. Hier ist nicht nur oft mit einer erhöhten Eintrittswahrscheinlichkeit von Schäden zu rechnen, es sind auch das Schadensausmaß und die Folgekosten besonders hoch, wenn es z. B. zu einem flächigen Ausfall kommt (Punkt 3, Anhang).

Hinsichtlich der Anfälligkeit von einzelnen Baumarten werden die Fichte und mit Abstrichen die Lärche als die klaren potenziellen ‚Verlierer‘ des Klimawandels unter den Nadelbaumarten angesehen (Zebisch et al., 2005; Kölling et al., 2007; Profft et al., 2007), während Tanne und Douglasie als wenig anfällig gelten (s. a. Kölling et al., 2009). Ergänzend führt das 20-Punkte-Papier aus, dass sich die Fichte an ihrer Wärme- und Trockenheitsgrenze regional als äußerst risikoreiche Wirtschaftsbaumart erwiesen hat (Punkt 4, Anhang) und dass das Anbaurisiko und damit der Anteil gefährdeter Anbauregionen der Fichte selbst bei moderatem ($< 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) Temperaturanstieg deutlich zunehmen wird. Davon werden zukünftig auch bislang ertragreiche Anbaugelände betroffen sein (Punkt 5, Anhang).

Die Einschätzungen zur Kiefer unterscheiden sich zwischen norddeutschen Ländern (wenig anfällig) und süddeutschen Ländern (anfällig). Die Kiefer scheint trockenheitstoleranter als die Fichte zu sein. Ob ihre Toleranz gegenüber Wärme ähnlich ausgeprägt ist, kann noch nicht zweifelsfrei belegt werden. Es gibt Hinweise für eine Wärmegrenze der Kiefer im Wallis und in der Oberrheinebene (Punkt 4, Anhang, auch Bigler et al., 2006).

Bei den Laubbaumarten werden Buche und Stieleiche als indifferent eingeschätzt, während Roteiche, Traubeneiche und Birke weniger anfällig sein sollen (Abbildung 3). Auffällig ist, dass mit der Douglasie und der Roteiche zwei eingeführte Baumarten als besonders wenig anfällig gelten.

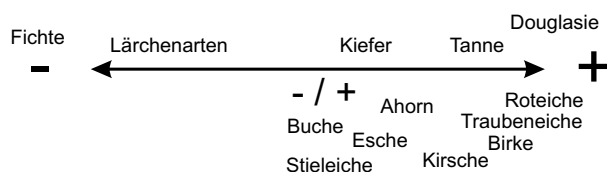


Abbildung 3:

Anfälligkeit von Baumarten gegenüber Einflüssen des Klimawandels (Einschätzung nach Fragebogen)

Unterschiedliche Auffassungen bestehen zwischen den Ländern bezüglich des Kenntnisstands zum Verhalten der einzelnen Baumarten unter Klimawandel. Bei den Hauptbaumarten wird je nach Land das Wissen als ausreichend oder nicht ausreichend eingeschätzt. Das 20-Punkte-Papier (Anhang, Amereller et al., 2009) präzisiert aber dahingehend, dass zum Reaktionsverhalten der Baumarten insbesondere an ihren ökologischen Grenzen erhebliche Wissenslücken bestehen (Punkt 7, Anhang). Übergreifend

werden Wissenslücken insbesondere bei den eingeführten Baumarten (Douglasie, Roteiche) und bei Baumarten mit regionaler Bedeutung wie der Tanne ausgemacht.

3.2 Anpassungsstrategien und Maßnahmen

Die Bundesregierung hat am 17.12.2008 die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS, BMUNR 2008) beschlossen, die unter ‚Wald und Forstwirtschaft‘ Hinweise zur Anpassung von Wäldern enthält. Auf Länderebene wurden in Bayern (Klimaprogramm Bayern, 2020; Bayerische Staatsregierung, 2008; Bayerische Klimaanpassungsstrategie, Bayerische Staatsregierung, 2009; zit. n. Sailer, 2009), Thüringen (Thüringer Klima- und Anpassungsprogramm, TMLNU 2009) und Nordrhein-Westfalen (MUNLV, 2009) offizielle Anpassungsstrategien verabschiedet; in anderen Ländern existieren Vorstufen oder Planungen hierzu.

In den Waldbauplanungen wird der Klimawandel nach dem Ergebnis der Befragung bereits berücksichtigt. In Bayern, Baden-Württemberg und Sachsen werden Waldbumbauten als aktive Anpassungsmaßnahme geplant oder bereits durchgeführt. Andere Länder verfolgen eher Strategien einer Risikominderung durch forcierte Mischwaldbegründung und naturnahe Waldwirtschaft. Die Einschätzung vorgegebener Konzepte zur Waldanpassung ergab folgendes Ergebnis:

- Risikominderung (Mischung): + bis ++
- Aktive Anpassung (Umbau): + bis ++
- Passive Anpassung (Sukzession): o
- Beibehaltung bisheriger Waldbausysteme: - bis ++

Damit werden aktive Anpassungsstrategien deutlich positiver eingeschätzt als passive Anpassung. Allerdings ergibt sich eine Unterscheidung zwischen Ländern mit klarer Umbaupräferenz gegenüber Ländern mit einer Kombination von Waldbumbau und/oder Fortführung bestehender Waldbausysteme und Risikominderungsstrategien (Mischwaldooption). Letztere streben derzeit keinen gezielten Umbau von möglicherweise durch Klimawandel gefährdeten Beständen an. Allerdings wird auch der Waldbumbau zur Begründung von Mischbeständen eingesetzt.

Bei der Unterstützung der Anpassung durch waldbauliche Maßnahmen wurden bisher folgende Erfahrungen gemacht:

- Positiv: Naturverjüngung, Mischwald, Vitalitätsauslese, Anbau eingeführter Baumarten, standortsangepasste Bestandespflege, Standortmelioration;
- Negativ: Überdichte Reinbestände, Anbau von Baumarten im Grenzbereich der standörtlichen Eignung, Pflügerückstände, schnelles Wechseln der Behandlungskonzepte, Schädigung durch Wildverbiss.

Fast alle Länder haben Praxisversuche zur Anpassung der Wälder und der Waldbewirtschaftung begonnen und planen solche. Dazu gehören:

- Provenienzversuche (inkl. eingeführter Baumarten)
- Waldbauliche Versuche (Waldumbau, Bestandesdichteregulation)

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass sich die einzelnen Länder derzeit mit hohem Tempo und Aufwand auf die Aufgaben der Waldanpassung vorbereiten und z.T. schon gezielte Maßnahmen initiieren. Dabei wünschen sich die Versuchsanstalten der Länder vom Bund die Moderation und Koordination der Aktivitäten, z. B. Hinweise auf Konflikte und Überlappungen, eine finanzielle Forschungs- und Aktivitätsförderung, die Erarbeitung und Bereitstellung von bundesweiten Referenzdaten sowie Unterstützung bei der bundesweiten Harmonisierung der Standortkartierungsverfahren.

3.3 Weitere Schritte

Ein wichtiger Aspekt des Austausches auf Bund-Länderebene (Fragebögen und Workshop) war die Identifizierung weiterer abgestimmter Aktivitäten. Als wichtige zukünftige Schwerpunkte in Forschung und Praxis werden angesehen:

- **Ökologische Grundlageninformationen (Stresstoleranz einheimischer und eingeführter Arten, insbesondere an ihrem Verbreitungsrand)**

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Vorkommen und Leistung bestimmter Baumarten, aber auch auf die multifunktionale Leistungsfähigkeit spezifischer Wälder werden an den warm-trockenen Arealrändern der Baumarten zuerst zu beobachten sein. Hier können durch Beobachtungen und Experimente schon heute einige der Effekte studiert werden, die künftig auch in den bislang kühleren Regionen erwartet werden. Besonders in dieser Frage sind länder- und staatenübergreifende Projekte notwendig (Punkt 19, Anhang).

- **Monitoring von Wäldern**

Für die Entwicklung und laufende Anpassung von Handlungsstrategien sind die Instrumente der forstlichen Umweltbeobachtung unerlässlich. Nur wenn die Auswirkungen des Wandels in den Wäldern rechtzeitig erkannt werden, ist die Einleitung kurzfristiger Gegenmaßnahmen und langfristiger Anpassungsmaßnahmen möglich. Dazu sind die vorhandenen Inventur- und Dauerbeobachtungsnetze messtechnisch, thematisch, zeitlich und räumlich an die Herausforderungen des Klimawandels anzupassen. Vor allem in Extrem-

jahren und auf Extremstandorten sind die Aufnahmen zu intensivieren. Die forstliche Umweltbeobachtung liefert die Grundlagen, um allgemein gültige Ursache-Wirkungs-Beziehungen aufzudecken und Schwellenwerte abzuleiten (Punkt 20, Anhang).

- **Alternative Waldbausysteme und Waldschutz (Schädlingsforschung)**

Künftig wird trotz Anpassungsmaßnahmen der Anteil nicht angepasster, anfälliger Waldbestände zunehmen. Um diese Bestände bis zur Erntereife zu sichern und zu stabilisieren, sind künftig verstärkt Maßnahmen des Waldschutzes und des Waldbaus notwendig. Präventive und kurative Maßnahmen für anfällige Bestände müssen teilweise erst entwickelt werden. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf (Punkt 11, Anhang).

- **Genausstattung und Anpassung**

Häufig sind die Informationen über Angepasstheit und Anpassungsfähigkeit heimischer und fremder Populationen nicht ausreichend. Die dazu erforderliche Forschung (überregionale Provenienz- und Anbauversuche) ist zu intensivieren. Sie stellt die Voraussetzung für erfolgreiche Praxisanbauten dar (Punkt 18, Anhang).

- **Dynamisierung STO-Kartierung/Bestockungszieltypen**

Die bisherigen forstlichen Unterlagen zu den natürlichen Produktionsbedingungen (Klima- und Bodeninformationen der Forstlichen Standortserkundung) gehen von der Konstanz zuvor beobachteter Umweltbedingungen aus. In den Zeiten des Klimawandels werden angepasste, hoch aufgelöste neue Flächeninformationen benötigt, die die Dynamik der Veränderung berücksichtigen (e.g. Schulz und Asche 2008), und damit als Planungsgrundlage für Waldbewirtschaftungsstrategien, die die Auswirkungen des Klimawandels explizit berücksichtigen, dienen können (Punkt 12, Anhang).

4 Schlussfolgerungen

Die Befragung und die Diskussionen des Workshops zeigen zusammen, dass die Gemeinsamkeiten zwischen den Ländern in den Fragen der Gefährdungen und der Anpassung von Wäldern und Klimawandel gegenüber den Gegensätzen überwiegen. Weitgehende Einigkeit herrscht bei der Einschätzung der Bedeutung des Klimawandels und auf diesen zurückzuführender Gefährdungen, bei der regionalen Differenzierung der Einflüsse, bei der Rolle biotischer Gefährdungen sowie mit Abstrichen beim Anpassungspotenzial der Baumarten an den Klimawandel. Unterschiede offenbarten sich bei der Frage der richtigen

Anpassungsstrategie, wobei zwischen den Befürwortern einer gerichteten aktiven Anpassung (Waldumbau mit dem Ersatz vulnerabler Baumarten) und den Befürwortern einer Kombination von Waldumbau und ungerichteter Risikominderung (Mischwaldoption) unterschieden werden kann. Ein abschließendes Urteil zur Effizienz beider Ansätze kann aufgrund der bestehenden Kenntnislücken zu Klimaprojektionen und Anpassungspotenzial der Wälder derzeit von der Expertengruppe nicht getroffen werden. Eine intensivierte und abgestimmte Forschung sowie ein dauerhafter Erfahrungsaustausch ist daher auf internationaler, nationaler und regionaler Ebene notwendig, um Anpassungsmaßnahmen zielgerichtet planen und steuern zu können. Auf nationaler Ebene wird daher die Einrichtung einer Bund-Länderarbeitsgruppe zur Anpassung der Wälder und der Waldbewirtschaftung an den Klimawandel angeregt.

Danksagung

Wir bedanken uns bei den Mitgliedern der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Forst (Forstchefkonferenz, FCK) für die Zustimmung, die Ergebnisse unserer Untersuchungen zu veröffentlichen.

Literatur

- Amereller K, Kölling Ch, Bolte A, Eisenhauer D-R, Groß J, Hanewinkel M, Profft I, Röhe P (2009) Die „20 Freisinger Punkte“ : gemeinsame Basis der deutschen forstlichen Ressortforschung. *AFZ-DerWald* 64(17):916-918
- Bayerische Staatsregierung (2008) Klimaprogramm Bayern 2020 [online]. Zu finden in <<http://www.stmug.bayern.de/umwelt/klimaschutz/index.htm>> [zitiert am 28.09.2009]
- Bigler Ch, Braker OU, Bugmann H, Dobbertin M, Rigling A (2006) Drought as an inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* 9(3):330-343
- Bolte A, Ibisch PL (2007) Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz. *AFZ-DerWald* 62(11):572-576
- Bolte A, Ammer Ch, Löf M, Nabuurs GJ, Schall P, Spathelf P (2009) Adaptive forest management – a prerequisite for sustainable forestry in the face of climate change. In: Spathelf P (ed) *Sustainable forest management in a changing world : European perspective*. Heidelberg : Springer:115-139
- BMUNR (2008) Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen [online]. Zu finden in <<http://www.bundesumweltministerium.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php>> [zitiert am 28.09.2009]
- Kölling Ch (2008) Wälder im Klimawandel : die Forstwirtschaft muss sich anpassen. In: Lozán JL (ed) *Warnsignal Klima : Gesundheitsrisiken ; Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen ; wissenschaftliche Fakten*. Hamburg : Wiss Auswertungen, pp 357-361
- Kölling Ch, Zimmermann L, Walentowski H (2007) Klimawandel : was geschieht mit Fichte und Buche? *AFZ-DerWald* 62(11):584-588
- Kölling Ch, Knoke T, Schall P, Ammer Ch (2009) Überlegungen zum Risiko des Fichtenanbaus in Deutschland vor dem Hintergrund des Klimawandels. *Forstarch* 80:42-54
- MUNVL (2009) Anpassung an den Klimawandel : eine Strategie für Nordrhein-Westfalen [online]. Zu finden in <http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/klimawandel/Klimawandel_Anpassungsstrategie_Gesamt.pdf> [zitiert am 28.09.2009]
- Petercord R, Veit H, Delb H, Schröter H (2008) Forstinsekten im Klimawandel : alte Bekannte mit neuem Potenzial? *FVA-Einblick* 2008(1):36-39
- Profft I, Seiler M, Arenhövel W (2007) Die Zukunft der Fichte in Thüringen vor dem Hintergrund des Klimawandels. *Forst Holz* 62(2):19-25
- Profft I, Baier U, Seiler M (2008) Borkenkäfer als Vitalitätsindikator für einen standortgerechten Fichtenanbau. *Forst Holz* 63(2):32-37
- Sailer W (2009) Beitrag der Bayerischen Agrar- und Forstwirtschaft zum Klimawandel : Vortrag zur Fachtagung „Aktiver Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel – Beiträge der Agrar- und Forstwirtschaft“ in Braunschweig am 15.06.2009 [online]. Zu finden in <http://www.vti.bund.de/de/institute/ak/aktuelles/veranstaltungen/homepages/0901_klimaschutz/vortraege/Sailer.pdf> [zitiert am 28.09.2009]
- Spellmann H, Suttmöller J, Meesenburg H (2007) Risikovorsorge im Zeichen des Klimawandels : vorläufige Empfehlungen der NW-FVA am Beispiel des Fichtenanbaus. *AFZ-DerWald* 62(23):1246-1249
- Schulz R, Asche N (2008) Klima, Standort, Wald. *AFZ, derWald* 63(1):20-24
- Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (2009) Gemeinsam klimabewusst handeln : Thüringer Klima- und Anpassungsprogramm. Erfurt, 62 p
- Zebisch M, Grothmann T, Schröter D, Hasse C, Fritsch U, Cramer W (2005) Klimawandel in Deutschland : Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Dessau : Umweltbundesamt, 203 p

Anhang:

„20 Freisinger Punkte“

Gemeinsame Basis der deutschsprachigen forstlichen Ressortforschung

Die „20 Freisinger Punkte“, von Vertretern der forstlichen Ressortforschung im deutschsprachigen Raum bei einem Experten-Workshop am 29./30. Oktober 2008 in Freising erarbeitet, stellen den Grundkonsens der angewandten forstlichen Forschung der forstlichen Versuchsanstalten der Länder, des Bundes und der Bundesländer im deutschsprachigen Raum zum Klimawandel dar. Trotz unterschiedlicher Auffassungen in Teilfragen besteht grundsätzlich Einigkeit darüber, dass Geschwindigkeit und Ausmaß der Klimaveränderung Risiken für unsere Wälder und deren nachhaltige multifunktionale Nutzung darstellen. Darauf wird die Forstwirtschaft mit veränderten Bewirtschaftungsstrategien reagieren müssen. Auf dieser Basis wollen die Forstlichen Versuchsanstalten ihre Forschungsanstrengungen künftig besser aufeinander abstimmen und koordinieren. Gleichzeitig sollen diese Punkte den Landesforstverwaltungen mehr Sicherheit bei der Konzeption von Anpassungsprogrammen geben. So werden die Sicherheiten und Unsicherheiten wissenschaftlicher Aussagen und die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Auseinandersetzung mit der Thematik und deren Vermittlung in die Praxis aufgezeigt. Vielgestaltigkeit und Komplexität des Klimawandels sowie die vielfältigen gesellschaftlichen Anforderungen an den Wald erfordern eine Zusammenarbeit über die Grenzen der einzelnen Länder und Sektoren hinaus sowie eine Arbeitsteilung bei der Bearbeitung einzelner Fragestellungen. Diese Kooperation wollen die 20 Freisinger Punkte anstoßen.

1. Der Klimawandel ist eine Tatsache. Wälder sind regional und lokal unterschiedlich vom Klimawandel betroffen. Die Forstwirtschaft muss sich anpassen.

Es besteht Übereinstimmung, dass wir uns in einem anthropogen verursachten, rasanten Klimawandel befinden, der sich ab der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts besonders stark auf den Wald auswirken wird. Die Forstwirtschaft als umweltgebundene Produktionsform ist wegen ihrer langen Produktionsräume in besonderem Maße vom Klimawandel betroffen. Auf einer breiten Standortpalette, besonders dort, wo Baumarten bislang in ihren klimatischen Grenzbereichen zum trocken-warmen Klima stocken, sind bereits heute Anpassungsmaßnahmen wie z. B. ein Waldumbau hin zu besser angepassten Baumarten und/oder Herkünften notwendig.

2. Die Anfälligkeit der heimischen Baumarten gegenüber Schadorganismen wird ansteigen.

Die Widerstandskraft der Bäume zur Abwehr von biotischen Schadfaktoren und ihre Fähigkeit zur Regeneration sinken, wenn sich die derzeitigen Standortbedingungen ändern, die Bäume aus ihrem klimatischen Optimum heraus gedrängt und Witterungsstress ausgesetzt werden. Fitness- und Reproduktionsraten verschiedener Schädlinge könnten dagegen ansteigen, Befallsintensitäten und Befallsgebiete könnten zunehmen. Witterungsextreme wirken als starke Störung und fördern durch Brutmaterial und aufgerissene Bestände besonders die Massenvermehrung von Rindenbrütern. Schädlinge, die im intakten Fließgleichgewicht bisher eine untergeordnete Rolle spielen, werden zu Schädlingen mit prioritärer Bedeutung. Mit einem Zusammenspiel verschiedener tierischer und pilzlicher Schadorganismen ist zu rechnen. Neue Schädlinge können auftreten und treffen möglicherweise auf nicht ausreichend angepasste Wirtspflanzen.

3. Großflächige monostrukturierte (Nadelbaum-) Bestände sind besonders gefährdet.

Großflächige, monostrukturierte Reinbestände, vor allem aus Nadelbaumarten, sind wegen der günstigen Ausbreitungs- und Vermehrungsbedingungen für Schadorganismen besonders anfällig. Daneben sind Reinbestände häufig auch für abiotische Schädigungen besonders anfällig. Hier ist nicht nur oft mit einer erhöhten Eintrittswahrscheinlichkeit von Schäden zu rechnen, es sind auch das Schadensausmaß und die Folgekosten besonders hoch, wenn es z. B. zu einem flächigen Ausfall kommt.

4. Die Fichte ist an ihrer Wärme-Trockengrenze hoch anfällig, bezüglich der Anfälligkeit der Kiefer besteht ein wissenschaftlicher Dissens.

An ihrer Wärme und Trockenheitsgrenze hat sich die Fichte regional als äußerst risikoreiche Wirtschaftsbaumart erwiesen. Die Kiefer scheint trockenheitstoleranter als die Fichte zu sein. Ob ihre Toleranz gegenüber Wärme ähnlich ausgeprägt ist, kann noch nicht zweifelsfrei belegt werden. Es gibt Hinweise für eine Wärmegrenze der Kiefer im Wallis und in der Oberrheinebene.

5. Die Anbaufläche der Fichte in Deutschland wird abnehmen.

Das Anbaurisiko und damit der Anteil gefährdeter Anbauregionen der Fichte wird selbst bei moderatem ($< 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) Temperaturanstieg deutlich zunehmen. Probleme, die jetzt nur Randregionen des Fichtenanbaus betreffen, werden zukünftig auch in Gebieten auftreten, die bislang als ertragreiche Anbaugelände mit beherrsch- oder tolerierbarem Risiko gegolten haben.

6. Zusammensetzung und Verbreitung der Waldgesellschaften werden sich verändern. Veränderungen der Konkurrenzbeziehungen und Interaktionen lassen sich jedoch nur begrenzt prognostizieren.

Einzelne Arten werden regional unterschiedlich stark auf Klimaveränderungen reagieren. Die vorhandenen Lebensgemeinschaften werden dabei teilweise entkoppelt. Es könnten neu zusammengesetzte Waldgesellschaften entstehen, für die es in einigen Fällen derzeit kein Analogon in wärmeren Regionen gibt. An die neuen Gegebenheiten muss das Modell der potenziellen natürlichen Vegetation angepasst und erweitert werden. Die Veränderung der Waldgesellschaften durch den Klimawandel ist mit derzeit vorhandenen Methoden kaum simulierbar.

7. Es besteht Bedarf an interdisziplinärem und überregionalem Wissens- und Erfahrungsaustausch zu den einzelnen Baumarten.

Über das Reaktionsverhalten der Baumarten insbesondere an ihren ökologischen Grenzen bestehen erhebliche Wissenslücken. Die Forschung zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald findet unter erheblichem Zeit-, Kosten- und Erwartungsdruck statt. Nur im Zusammenwirken der Fachdisziplinen (z. B. Standortkunde, Klimatologie, Hydrologie, Baumphysiologie, Genetik, Waldwachstumskunde, Waldbau, Waldschutz) und im überregionalen Austausch über die Länder- und Staatsgrenzen hinweg, lassen sich die vorhandenen Erfahrungen zusammenfassen und

neue Erkenntnisse, z. B. durch gezielte Freilandbeobachtungen oder -experimente und Anbauversuche gewinnen.

8. Wir müssen Sicherheiten und Unsicherheiten der Klimaprojektionen und der Folgen des Klimawandels in allen gesellschaftlichen, forstlichen und politischen Bereichen kommunizieren.

Der Blick in die Zukunft ist immer mit Unsicherheit verbunden. Auch die Abschätzung des Klimawandels und seiner Auswirkungen kann nur mit Hilfe der Szenario-Technik (d. h. mögliche Entwicklungen, wenn gewisse Randbedingungen eintreten) vorgenommen werden. Unterschiedliche Modelle stimmen in einigen Fragen überein (so. z. B. bei der Temperaturzunahme), während in anderen Bereichen Divergenzen bestehen (z. B. hinsichtlich saisonal und regional spezifizierter Änderungen der Niederschlagssumme). Letztlich geht es darum, das Risiko in Form der Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts und der möglichen Schadenshöhe möglichst zutreffend zu beschreiben. Die Forstwirtschaft mit ihren langen Produktionszeiträumen bewegt sich immer schon in einem Bereich von Annahmen und Wahrscheinlichkeiten. Der Klimawandel verschärft diese typische Grundkondition.

9. Politik, Gesellschaft und Wissenschaft müssen lernen, mit der Unsicherheit umzugehen.

Der zunehmende Umgang mit Unsicherheit und Risiko stellt eine Herausforderung für Gesellschaft und Forstwirtschaft im Klimawandel dar. Auch die verschiedensten Nutzergruppen einer multifunktional ausgerichteten Waldbewirtschaftung müssen mehr Verständnis für die abnehmende Planungssicherheit der Forstwirtschaft aufbringen. Neue Planungsgrundlagen und Entscheidungsmodelle werden dringend benötigt, um das Risiko in den verschiedensten Abwägungsprozessen zu berücksichtigen. Betriebliche Entscheidungen müssen zukünftig zunehmend auf Grundlage von unsicheren Informationen getroffen werden. Daher gewinnen Maßnahmen zur Risikostreuung und Versicherung von Risiken an Bedeutung.

10. Politik, Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft tragen gemeinsame Verantwortung dafür, dass die Anpassungsfähigkeit der Waldökosysteme und der Forstwirtschaft an den Klimawandel nicht überschritten wird.

Die natürlichen Anpassungsmechanismen der Waldökosysteme gegenüber einem raschen und starken Klimawandel, wie sie einer nachhaltigen Forstwirtschaft zu Grunde liegen müssen, sind beschränkt. Auch wenn aktiv Anpassungsmaßnahmen eingeleitet werden, ist

der Erfolg dieser Maßnahmen davon abhängig, dass Geschwindigkeit und Ausmaß des Klimawandels bestimmte Schwellenwerte nicht überschreiten, um flächenhaftes, katastrophales Zusammenbrechen von Wäldern zu vermeiden. Ein extremer Klimawandel schädigt die Leistungsfähigkeit von Waldökosystemen großflächig und irreversibel. Ohne wirksame Minderung der Emissionen klimaschädlicher Spurengase wird es keine angemessenen Reaktionen der Forstbetriebe und keine wirkungsvolle, bezahlbare Klimawandelanpassung in der Forstwirtschaft geben.

11. Risikominimierung und Schadensbewältigung werden in Zukunft noch mehr im Zentrum forstwirtschaftlichen Handelns stehen müssen. Standortkunde, Waldbau und der Waldschutz sind hierbei von besonderer Bedeutung. Dem erhöhten Forschungsbedarf in diesen Bereichen muss daher Rechnung getragen werden.

Künftig wird trotz Anpassungsmaßnahmen der Anteil nicht angepasster, anfälliger Waldbestände zunehmen. Um diese Bestände bis zur Erntereife zu sichern und zu stabilisieren, sind künftig verstärkt Maßnahmen des Waldschutzes und des Waldbaus notwendig. Präventive und kurative Maßnahmen für anfällige Bestände müssen teilweise erst entwickelt werden. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf.

12. Waldanpassung braucht dynamisierte und hoch aufgelöste Flächeninformationen.

Die bisherigen forstlichen Unterlagen zu den natürlichen Produktionsbedingungen (Klima- und Bodeninformationen der Forstlichen Standortserkundung) gehen von der Konstanz zuvor beobachteter Umweltbedingungen aus. In den Zeiten des Klimawandels werden angepasste, hoch aufgelöste neue Flächeninformationen benötigt, die die Dynamik der Veränderung berücksichtigen und damit als Planungsgrundlage für Waldbewirtschaftungsstrategien, die die Auswirkungen des Klimawandels explizit berücksichtigen, dienen können.

13. Die Entwicklung von aussagekräftigen Risikoindikatoren (z. B. zum Wasserhaushalt) wird weiter voranschreiten.

Bei erhöhten Temperaturen und/oder Veränderungen des Niederschlagsregimes wird es zu teilweise gravierenden Veränderungen des Wasserhaushalts kommen. Die Klimaabhängigkeit des Wasserhaushalts und seine Auswirkung auf Existenz und Wachstum der Bäume sollen zutreffend beschrieben werden. Schwellenwerte des Risikos sind herzuleiten und physiologisch abzuschätzen. Dies gilt auch für andere Risiken wie z. B. Hitze-

schäden, Schädlingsbefall, Sturmwurf und Waldbrand. Besonderes Augenmerk gilt dabei Extremereignissen und ihren Auswirkungen.

14. Die Emissionsszenarien und Klimaprojektionen (z. B. die globalen und regionalen Klimamodelle) werden sich permanent weiterentwickeln, damit wird auch der Grad der Unsicherheit der Aussagen abnehmen.

Die wichtigste Eingangsgröße für die Planung der Anpassungsmaßnahmen sind regionale Klimamodelle, die auf Emissionsszenarien und globalen Klimamodellen beruhen. Man kann davon ausgehen, dass mit fortschreitender Forschung und wachsender Erfahrung bei verbesserter Datenlage und gesteigerter Rechnerkapazitäten auch der Grad der Unsicherheit der Klimaprojektionen abnehmen wird. Die Entwicklungen in diesem Wissenschaftszweig sind von der Forstwissenschaft ständig aufzunehmen und in die forstlichen Planungsgrundlagen einzuarbeiten. Eine Lösungsmöglichkeit für das Problem der Szenarien- und Modellvielfalt ist die Verwendung von Ensemblebetrachtungen, eine andere die Verwendung von Mindesteintrittswahrscheinlichkeiten als konservative Schätzungen. Die Modelle des IPCC sind teilweise schon heute nicht mehr gültig, da die gemessenen CO₂-Konzentrationen deutlich über einigen Emissionsszenarien liegen.

15. Die verschiedenen Risiken müssen in Form von Gefährdungskarten (Vulnerabilität) dargestellt und kommuniziert werden.

Aus Verbindung von Karten der forstlichen Produktionsbedingungen (dynamisierte Standortskarten) z. B. mit abgeleiteten und überprüften Schwellenwerten der Baumarteneignung resultieren Gefährdungs- oder Risikokarten. In diesen Karten können Schwerpunkte des Waldumbaus und Schwerpunkte für Waldschutz- und Waldbaumaßnahmen dargestellt werden. Ohne standörtliche Differenzierung werden Anpassungsmaßnahmen nicht vermittelbar, ohne Schwerpunktsetzung nicht realisierbar sein. Dabei ist es auch wichtig, die individuelle Unsicherheit bei der Gefährdungs- und Risikobewertung mit darzustellen und zu kommunizieren.

16. Veränderte Produktionsziele (z. B. Zieldurchmesser) können der Risikominimierung dienen. Die Wissenschaft muss der Praxis hierzu Handlungsmöglichkeiten aufzeigen.

In vielen Fällen kann der Waldumbau mit einem Wechsel der Baumart oder der Herkunft eine angemessene Antwort auf den Klimawandel sein. In anderen Fällen kann z. B. eine Verkürzung der Produktionszeiträume

und eine damit verbundene Änderung der Produktionsziele einen Flexibilitätsgewinn bringen. Hierzu und zu den vielfältigen anderen Handlungsoptionen sind wissenschaftliche Untersuchungen nötig.

17. Eine Anpassung des Waldes an das künftige Klima erfordert die Ausschöpfung des genetischen Potenzials heimischer Populationen sowie die gezielte Erweiterung des genetischen Spektrums mit klimaangepassten nicht heimischen Herkünften.

Strukturelle und genetische Vielfalt sind Garanten der Angepasstheit und Anpassungsfähigkeit der Arten und Lebensgemeinschaften im Ökosystem Wald. Das in den Beständen vorhandene genetische Anpassungspotenzial muss unter allen Umständen erhalten und genutzt werden. In einigen Fällen kann es erforderlich werden, das genetische Spektrum um angepasste klimagerechte Herkünfte geeigneter Baumarten aus warmen und trockenen Regionen anzureichern.

18. Es besteht immer noch ein Wissensdefizit im Bezug auf Genausstattung und Anpassungspotenziale der Wälder.

Häufig sind die Informationen über Angepasstheit und Anpassungsfähigkeit heimischer und fremder Populationen nicht ausreichend. Die dazu erforderliche Forschung (überregionale Provenienz- und Anbauversuche) ist zu intensivieren. Sie stellt die Voraussetzung für erfolgreiche Praxisanbauten dar.

19. Untersuchungen zu Stresstoleranzen und Veränderungen der Waldgesellschaften sowie gezielte Experimente unter Extrembedingungen und -standorten können schnellen und effektiven Erkenntnisgewinn bringen.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Vorkommen und Leistung bestimmter Baumarten, aber auch auf die multifunktionale Leistungsfähigkeit spezifischer Wälder werden an den warm-trockenen Arealrändern der Baumarten zuerst zu beobachten sein. Hier können durch Beobachtungen und Experimente schon heute einige der Effekte studiert werden, die künftig auch in den bislang kühleren Regionen erwartet werden. Besonders in dieser Frage sind länder- und staatenübergreifende Projekte notwendig.

20. Dauerbeobachtung (= Monitoring) und Inventuren sind für eine langfristig wirksame Anpassungsstrategie unverzichtbar. Die Beobachtungsnetze müssen verstärkt und an die Herausforderungen des Klimawandels angepasst werden.

Für die Entwicklung und laufende Anpassung von Handlungsstrategien sind die Instrumente der forst-

lichen Umweltbeobachtung unerlässlich. Nur wenn die Auswirkungen des Wandels in den Wäldern rechtzeitig entdeckt werden, ist die Einleitung kurzfristiger Gegenmaßnahmen und langfristiger Anpassungsmaßnahmen möglich. Dazu sind die vorhandenen Inventur- und Dauerbeobachtungsnetze messtechnisch, thematisch, zeitlich und räumlich an die Herausforderungen des Klimawandels anzupassen. Vor allem in Extremjahren und auf Extremstandorten sind die Aufnahmen zu intensivieren. Die forstliche Umweltbeobachtung liefert Grundlagen, um allgemein gültige Ursache-Wirkungs-Beziehungen aufzudecken und Schwellenwerte abzuleiten.

Elektronische Tierkennzeichnung

Anja Schwalm*, Heiko Georg* und Gracia Ude*

Zusammenfassung

Die elektronische Tierkennzeichnung (eTK) hat in den letzten Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen. Sie ermöglicht eine individuelle automatisch lesbare Identifizierung an allen Bedarfsstellen und ermöglicht damit eine Optimierung der bestehenden Tierkennzeichnung. Die EU fordert eine obligate Einführung von eTK bei Schafen, Ziegen und Equiden. Bei Rindern ist eine eTK bislang auf freiwilliger Basis möglich. In Deutschland wird die EU-Gesetzgebung zur Zeit in nationales Recht umgesetzt. Dieser Artikel gibt eine Übersicht über den Status quo der elektronischen Tierkennzeichnung.

Am vTI (ehemals FAL) werden seit den letzten Jahren einige Projekte zur elektronischen Tierkennzeichnung durchgeführt. Zum einen wurde die Frage nach Kosten und Nutzen einer elektronischen Tierkennzeichnung für Rinder bearbeitet. Dazu fand am Institut für Betriebstechnik und Bauforschung des vTI eine Expertenbefragung ausgewählter Nutzergruppen zu einer eventuellen obligaten Einführung der elektronischen Ohrmarke für die Rinderhaltung in Deutschland statt. Zum anderen werden Untersuchungen zu eventuellem Zusatznutzen einer elektronischen Tierkennzeichnung durchgeführt. Hauptaugenmerk der Projekte sind zurzeit Injektate mit integrierbarem Temperatursensor.

Schlüsselworte: elektronische Tierkennzeichnung

Abstract

Electronic animal identification

Traceability of meat from "farm to fork" is becoming increasingly important to consumers and producers. Traceability systems would be greatly facilitated by electronic animal identification, which admits to eliminate errors associated with the manual transcription of data for example. The EU demands an obligatory electronic animal identification for sheep, goat and equine. In cattle, electronic animal identification is voluntary. In Germany the EU legislation is transferred in national law at this time. This article gives a summary of the status quo in electronic animal identification.

For the past three years electronic animal identification has been the focus of a number of research projects at vTI (formerly FAL). One central subject was a cost-benefit analysis of electronic animal identification of cattle in Germany, including the questioning of expert user groups as to the possible introduction of obligatory electronic animal identification in cattle. Presently further investigations on additional benefits of electronic animal identification are being conducted. The main concerns of the projects are injectable transponders with integrated temperature sensor.

Keywords: Electronic animal identification

* Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau, anja.schwalm@vti.bund.de

1 Elektronische Tierkennzeichnung – Übersicht

1.1 Allgemein

Die grundlegenden Ziele der europäischen Gemeinschaftsvorschriften zur Kennzeichnung von Schafen, Ziegen, Rindern und Schweinen sind die Bestimmung des Aufenthaltsortes und die Rückverfolgbarkeit von Tieren aus veterinärmedizinischen Gründen (Tierseuchenbekämpfung), die Rückverfolgbarkeit von Fleisch aus Gründen der öffentlichen Gesundheit und die Verwaltung und Kontrolle von Viehhaltungsprämien. Insgesamt soll eine Verbesserung des Kennzeichnungs- und Registrierungssystems, insbesondere im Bereich der Nachweisführung über die Herkunft und den Verbleib von Tieren und Fleisch erreicht werden.

Die derzeitigen Verfahren zur Kennzeichnung von Tieren, wie Ohrmarken, Tätowierungen und Markierungen können durch Einsatz von elektronischen Kennzeichnungssystemen optimiert werden.

Die Vorteile der elektronischen Tierkennzeichnung (eTK) liegen in der betrugssicheren und eindeutigen Kennzeichnung von Tieren, in der schnellen, automatisierten und elektronischen Identifizierung von Tieren sowie in der betriebsübergreifenden lückenlosen Verfolgbarkeit der Tiere von der Geburt bis zur Schlachtung. So kann durch eTK auch in nachgelagerten Bereichen wie Schlachthöfen, Transport und Vermarktung die Datensicherheit erhöht werden, da Fehler, die bei manueller Übertragung von Daten möglicherweise auftreten können, vermieden werden. Auch Zucht- und Kontrollverbände können mit eTK die Erfassung der Tiere bei Leistungs- bzw. Milchkontrollen oder der Zucht durch gezielten Hard- und Softwareeinsatz verbessern.

Die eTK ist somit Voraussetzung für die Einhaltung höchster Sicherheits- und Qualitätsstandards bei der Erzeugung tierischer Produkte. Um die o. g. Vorteile der elektronischen Tierkennzeichnung voll ausschöpfen zu können, ist es essentiell, dass die Daten in einer zentralen Datenbank erfasst, gespeichert und verwaltet werden.

Zusätzlich könnten eventuelle Synergieeffekte bei der Kombination von tierseuchenrechtlicher und betriebsinterner Tierkennzeichnung genutzt werden (eventuell sind hierfür Umbauten und Anpassungen bei bereits vorhandener Technik vonnöten).

1.2 Entwicklung der eTK

Die ersten Ansätze zur Entwicklung von elektronischen Tierkennzeichnungssystemen begannen Ende der 60er Jahre. Hauptsächlich im Bereich der Milchviehhaltung wurde diese Entwicklung begünstigt durch zunehmende Herdengrößen, die Zunahme von Laufstallhaltung, den

Bedarf an tierindividueller Futterzuteilung und komplexer werdenden Managementaufgaben. Forschungseinrichtungen aus dem Vereinigten Königreich, Deutschland, den Niederlanden und den USA arbeiteten an Systemen zur Tieridentifikation (Rossing, 1999).

In Deutschland wurden Systeme zur individuellen Futterzuteilung und Identifikation von Rindern entwickelt und getestet (Artmann, 1976). Ende der 90er Jahre war ein großer Teil der Milchkühe mit Halsbandtranspondern zur Identifikation ausgerüstet. In den Niederlanden betrug der Anteil der Kühe mit Halsbandtranspondern über 30 % (Eradus und Rossing, 1994). Inzwischen ist die elektronische Tieridentifikation im Bereich der Milchviehhaltung zu einem integralen Bestandteil des Haltungssystems geworden, ohne den die Verfahrenstechnik nicht mehr auskommt (Brunsch et al., 2001; Spilke et al., 2003).

Grundsätzlich müssen zur Zeit zwei Arten von elektronischer Tierkennzeichnung unterschieden werden; zum einen die betriebsinterne elektronische Kennzeichnung für Herdenmanagement und Verfahrenstechnik, zum anderen die tierseuchenrechtliche Kennzeichnung nach der Viehverkehrsverordnung. Im Folgenden wird nur auf die letztere Bezug genommen.

Im IDEA-Projekt (Electronic IDentification of Animals) wurden ca. eine Million Nutztiere in sechs EU-Staaten elektronisch gekennzeichnet und die Durchführbarkeit verschiedener elektronischer Kennzeichnungssysteme (elektronische Ohrmarke, Bolus, Injektat) für Wiederkäuer evaluiert. Die Ergebnisse der IDEA Studie bestätigten die Durchführbarkeit der elektronischen Kennzeichnung von Rindern, Schafen und Ziegen (<http://idea.jrc.it/pages%20idea/final%20report.htm>).

1.3 Funktionsweise der eTK

Die Tieridentifikationssysteme nutzen zumeist passive niederfrequente RFID-Transponder („Radio Frequency Identification“) im Bereich 125 bis 134 kHz. Dieser Frequenzbereich ermöglicht große Reichweiten und Low-cost-Transponder. Außerdem ermöglicht die Niederfrequenztechnik eine niedrige Absorptionsrate bzw. hohe Eindringtiefe in nichtmetallische Stoffe und Wasser und eignet sich daher besonders für Anwendungen am und im Tierkörper. Das System besteht aus einer Kennung und einem Leser. Die Kennung enthält einen passiven Transponder (ein Mikrochip ohne Energiequelle), der die gespeicherten Informationen überträgt, wenn der Leser (ein Sende-Empfänger) ihn auf einer bestimmten Frequenz aktiviert (Abbildung 1).

Diese passiven Transponder enthalten keine Batterie und haben daher eine zeitlich unbeschränkte Haltbarkeit. Es gibt zwei unterschiedliche Transpondersysteme – das Full duplex (FDX-) und das Half duplex (HDX-) System. Diese

beiden unterscheiden sich zum einen in der Gewinnung der Betriebsspannung und im zeitlichen Ablauf der Informationsübertragung. Durch ISO-Normen werden sowohl die Struktur der Tiernummer (ISO 11784) als auch die Funktionsweise des Transponders (ISO 11785) geregelt, so dass durch die Kombination von Ländercode (ISO 3166) und der nationalen Tiernummer jedem Tier eine weltweit einmalige Nummer zugeordnet werden kann. Für den Fall, dass die Vergabe der Transpondernummern nicht durch nationale Datenbanken geregelt ist, wie z. B. in Deutschland, haben nahezu alle Hersteller und Vertrieber von ISO-Transpondern weltweit einen Verhaltenskodex unterzeichnet, der u. a. Herstellercodes festlegt, die dann an Stelle der Ländercodes verwendet werden.

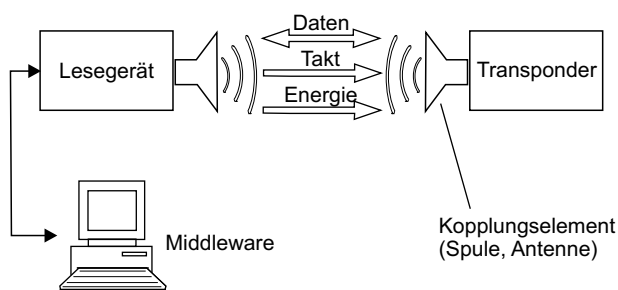


Abbildung 1:

Grundaufbau von RFID-Systemen (Finkenzeller, 2006)

1.4 Möglichkeiten der eTK (Transponderbauarten)

Für die „offizielle“ elektronische Kennzeichnung (VO (EG) Nr. 504/2008, VO (EG) Nr. 933/2008, VO (EG) Nr. 21/2004) stehen je nach Tierart als Transponderarten die elektronische Ohrmarke mit integriertem Transponder, der Bolus, der im Vormagen von Wiederkäuern verbleibt, das Injektat, das subkutan oder intramuskulär injiziert wird, und ein elektronisches Fesselband zur Verfügung (Abbildung 2).

– elektronische Ohrmarke

Bei der Ohrmarke mit integriertem Transponder wird die visuelle Kennzeichnung mit der elektronischen kombiniert. Dadurch ist die Identifikation mit und ohne Lesegerät möglich. Die Applikation kann mit den gängigen Ohrmarkenzangen erfolgen (Caisley, 2003).

Für die offizielle elektronische Ohrmarke ist die Kappe über dem Dornloch geschlossen. Die Wiederverwendung ist ausgeschlossen, da eine Manipulation durch die zerstörte Kappe sofort ersichtlich ist (Texas Trading, 2007).

– Bolus

Der Bolus besteht aus einem Keramikzylinder (ca. 20 x 70 mm, Gewicht ca. 70 g) in dessen Mitte sich der eigentliche Transponder befindet. Der Bolus wird vom Tier geschluckt und verbleibt aufgrund seines hohen spezifischen Gewichts dann im Netzmagen oder dem Pansen, d. h. der Bolus ist nur bei Wiederkäuern zur elektronischen Kennzeichnung geeignet. Die Identifizierung des Bolus ist nur mit einem Lesegerät möglich. Die Entnahme am Schlachthof ist unproblematisch (Texas Trading, 2009). Nachteilig ist, dass der Bolus erst bei Ausreifung des Vormagensystems (d. h. erst ab einem gewissen Alter der Tiere) verabreicht werden kann. Die heutigen Boli zur elektronischen Tierkennzeichnung sind relativ klein, so dass sie bereits frühzeitig bei Kälbern mit einer Lebendmasse von ca. 40 kg eingegeben werden können (Caja et al., 1999).

– Injektat

Injektate können subkutan oder intramuskulär gesetzt werden (Klindtworth et al., 1999). Die Identifizierung des Injektates ist nur durch ein Lesegerät möglich. Aufgrund der Rückgewinnungsproblematik bei der Schlachtung wird das Injektat bei lebensmittelliefernden Tieren eher kritisch bewertet (vgl. auch IDEA-Studie).



Quelle: Texas trading



Quelle: Texas trading



Quelle: Planet ID



Quelle: Reyflex

Abbildung 2:

Mögliche elektronische Transpondervarianten (Ohrmarke, Bolus, Injektat, Fußfessel)

– elektronisches Fesselband

Diese Art der eTK kommt in erster Linie bei Schafen und Ziegen zum Einsatz. Ein elektronischer Transponder ist in eine Kennzeichnung an der Fessel eingebettet (auch „Fußband“ genannt). Das Kennzeichen kann grundsätzlich nur bei erwachsenen Tieren angebracht werden, deren Fessel ausgewachsen ist. Die extern angebrachte Marke ist deutlich sichtbar, allerdings auch anfälliger für betrügerische Manipulationen und raue Umweltbedingungen. Diese Art von Kennzeichen hat besondere Vorteile für Betriebe, die die individuellen Kenncodes von Tieren (Schafe/Ziegen) im Melkstand registrieren müssen (Bericht der Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2007).

1.5 Bewertung der Transpondervarianten

Die Bewertung der Eigenschaften der Transponderformen Bolus, Injektat und elektronische Ohrmarken zeigt für alle drei Formen die Vor- und Nachteile auf (Tabelle 1): Bei den Eigenschaften der Nutzungsmöglichkeit für administrative und überbetriebliche Zwecke, der Identifizierungssicherheit bei der Prozesssteuerung und dem Schutz vor unberechtigtem Zugriff werden alle drei Bauarten mit „hoch“ bewertet. Der Aufwand zur Kennzeichnung wird beim Bolus und der elektronischen Ohrmarke als „mittel“ und beim Injektat als „hoch“ eingestuft. Die intensive Verbindung zum Tier ist sowohl beim Bolus als auch beim Injektat als „hoch“ eingestuft, bei der elektronischen Ohrmarke als „mittel“. Hingegen wird die Entnahmesicherheit auf dem Schlachthof beim Bolus und dem Injektat als

Tabelle 1:

Bewertung der Transpondervarianten (verändert nach Sprenger, 2007; Klindt-worth, 2007)

Eigenschaft	Bolus	Injektat	Elektronische Ohrmarke
Verlustrate	++	++	+
Sichtbarkeit	-	-	++
Wiederfinden (Schlachtung)	+	-	++
Betrugssicherheit	++	++	-
Zeitiges Anbringen	+	++	+++
Praktikabilität	++	+	+++
Nutzungsmöglichkeit für administrative Zwecke	++	++	++
Bekanntheitsgrad in der Praxis	-	-	-
Aufwand bei der Kennzeichnung	+ ¹⁾	-	+
Identifizierungssicherheit im Rahmen der Prozesssteuerung	++	++	++
Intensive Verbindung zum Tier	++	++	+

¹⁾ setzt geschultes Personal voraus

„mittel“ bewertet, bei der elektronischen Ohrmarke mit „hoch“. Der Bekanntheitsgrad in der Praxis ist bei allen drei Bauarten „gering“.

Durch den aktuellen Stand der Technik werden Bolus und elektronische Ohrmarke bevorzugt eingesetzt. Obwohl Injektate bei Pferden obligatorisch eingesetzt werden, werden sie bei anderen lebensmittelliefernden Tieren aufgrund der Rückgewinnung bei der Schlachtung eher kritisch bewertet. Steigt das Interesse an Injektaten durch die Verwendung integrierter Sensoren (z. B. Temperatur), so dass ein Zusatznutzen entsteht und verbessern sich die Möglichkeiten der Rückgewinnung, könnte sich die kritische Meinung ändern (Klindtworth, 2007).

1.6 Bisheriger Einsatz der eTK und geplante Einführung in Deutschland

– Schaf/Ziege

Grundlage der geplanten deutschen Gesetzgebung zur (elektronischen) Kennzeichnung von Schafen und Ziegen sind EG-Verordnungen (VO (EG) Nr. 21/2004, VO (EG) 1560/2007, VO (EG) Nr. 933/2008). In Deutschland ist eine zeitnahe Änderung der Viehverkehrsverordnung (VVVO) im Sinne dieser EG-Verordnungen in Planung.

Demnach ist geplant in Deutschland ab dem 31.12.2009 eine obligatorische elektronische Tierkennzeichnung bei Schafen und Ziegen einzuführen. Zurzeit ist nach der geltenden VVVO eine freiwillige elektronische Kennzeichnung von Schafen und Ziegen möglich.

– Rind

In Deutschland ist nach der VVVO die Kennzeichnung mit zwei Sicht-Ohrmarken verpflichtend (Grundlage: VO (EG) Nr. 1760/2000). Seit Änderung der VVVO im Jahr 2007 darf eine dieser Ohrmarken elektronisch ausgeführt sein (mit Genehmigung), d. h. es besteht eine zunächst freiwillige Einführung der eTK. Die Einführung der eTK obliegt den einzelnen Bundesländern.

Zum Beispiel führt Schleswig-Holstein die eTK bei Rindern Anfang 2010 auf freiwilliger Basis ein. In anderen Bundesländern, wie z. B. Brandenburg, ist die freiwillige eTK bereits seit Änderung der VVVO am 14.7.2007 möglich.

– Schwein

Eine obligate elektronische Kennzeichnung von Schweinen ist zur Zeit nicht vorgesehen.

Die betriebsinterne Kennzeichnung von Schweinen (insbesondere von Sauen) mit Ohrmarkentranspondern ist in landwirtschaftlichen Betrieben mittlerweile weit verbreitet.

tet. Neben der Abrufstation für tragende Sauen kommt der mobilen Datenerfassung mit integrierter Leseinheit immer mehr Bedeutung zu (Schulte-Sudrum, 2008).

Auch im Schweinebereich steigen die Anforderungen an die Produktqualität (Umwelt- und Tierschutz, Nachhaltigkeit und Rückverfolgbarkeit), so dass eine elektronische Unterstützung in vielen Bereichen der Produktion die Erfüllung der aktuellen und zukünftigen Anforderungen in der Schweinehaltung erst ermöglichen wird (van den Weghe, 2008). In der EU und der Schweiz werden bereits Versuche zur Kennzeichnung von Schweinen mittels elektronischer Ohrmarken und injizierbarer Transponder durchgeführt (Burose und Zähler, 2008; Klindtworth et al., 2004; Zähler und Spieß-Mayr, 2005)

– Equidae

Die elektronische Kennzeichnung von Equiden ist in einer EG-Verordnung festgelegt (VO (EG) Nr. 504/2008). In Deutschland ist eine zeitnahe Änderung der VVVO im Sinne dieser EG-Verordnung in Planung. Nach der EG-Verordnung muss seit dem 01.07.2009 eine obligatorische elektronische Tierkennzeichnung bei neugeborenen Fohlen und importierten Equiden erfolgen. Als Kennzeichnung ist hier nur das Injektat zugelassen.

– Hund/Katze

Ein elektronisches Kennzeichen (Transponder) ist als Kennzeichnung bei Heimtieren zugelassen und wird ab 2012 obligatorisch bei Reisen innerhalb der EU gefordert (VO (EG) Nr. 998/2003).

Die Kennzeichnung von Hunden in Deutschland ist in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich geregelt. In einigen Bundesländern (z. B. Sachsen-Anhalt) gilt eine grundsätzliche Chippflicht für alle Hunde, in einigen Bundesländern gilt diese Chippflicht nur für „gefährliche Hunde“ (z. B. Schleswig-Holstein) und in einigen Bundesländern ist das Injektat als freiwillige Kennzeichnung zugelassen (z. B. Bayern).

1.7 Vor- und Nachteile der eTK für den (ökologischen) Landbau

Mit Hilfe von elektronischen Tierkennzeichnungen können Tiere schnell und automatisiert identifiziert werden. Die eTK bietet somit im Zusammenspiel mit einer einheitlichen Datenbank eine betriebsübergreifende lückenlose Verfolgbarkeit von Tieren von der Geburt bis zur Schlachtung. Manuelle Übertragungsfehler auch in nachgelagerten Bereichen (Transport, Vermarktung, Schlachtung) können so eliminiert werden. Ein Grundpfeiler des Ökologischen Landbaus ist der lückenlose Nachweis der

ökologischen Herkunft, Aufzucht und Haltung von lebensmittelliefernden Tieren. Die Vorteile einer eTK können hier voll genutzt werden und sind Voraussetzung für die Einhaltung höchster Sicherheits- und Qualitätsstandards bei der Erzeugung tierischer Produkte.

Durch die Einführung einer eTK können zudem Synergieeffekte entstehen, indem die amtliche eTK auch in der Verfahrenstechnik zur elektronischen Erkennung genutzt werden kann. Für Betriebe, die bisher noch keine eTK genutzt haben, kann die Einführung der eTK auch ein Anreiz für zusätzliche Investitionen in tierindividuelle Techniken bedeuten, da die Tiere in jedem Fall elektronisch identifizierbar sind. Dies gilt insbesondere für kleine Betriebe, die bisher aus wirtschaftlichen Gründen noch nicht in tierindividuelle Techniken investiert haben.

Aber auch steigende Herdengrößen dürfen nicht zu einer Abnahme der tierindividuellen Betreuungsintensität führen, so dass der automatisierten Überwachung des Einzeltiers eine große Bedeutung zukommt (Hartung, 2005). Dabei sind elektronisch lesbare Tieridentifikationssysteme eine Voraussetzung, um einzeltierspezifische Daten in großem Umfang erfassen zu können (Hartung, 2005).

Durch einzeltierspezifische Überwachung und Fütterung können die Bedürfnisse des Einzeltieres besser erkannt und erfüllt werden, so dass die eTK durch Tiermanagement-Optimierung einen Beitrag zur besseren Erkennung und gegebenenfalls Erfüllung tierindividueller Bedürfnisse und somit zum Tierschutz leisten kann. Diesem Aspekt wird auch im ökologischen Landbau eine große Bedeutung beigemessen.

Zum Beispiel haben sich in der Kälberaufzucht und der Milchviehhaltung integrierte Systeme mit Sensoren zur Leistungs- und Gesundheitsüberwachung und Management-Informationssysteme entwickelt (Platen et al., 2007; Hartung, 2005), die eine bedarfsgerechte einzeltierspezifische Fütterung und Überwachung erlauben. Bei der Kälberaufzucht werden zum Beispiel durch einzeltierspezifische Überwachung/Fütterung drastische Verbesserung der Aufzuchtergebnisse erzielt (Platen et al., 2007), was mit dem erklärten Ziel der Tiergerechtigkeit des ökologischen Landbaus im Einklang steht, jedoch nur durch elektronische Tieridentifikation möglich wurde.

Als möglicher Nachteil der elektronischen Tierkennzeichnung werden an erster Stelle die Kosten für den Landwirt genannt. Beispielhaft werden hier die Kosten einer Rinderkennzeichnung mit elektronischer Ohrmarke erläutert. Die beiden gelben Sichtohrmarken für Rinder (nach VVVO) kosten den Landwirt je nach Bundesland zwischen 0 und 3,30 € + MwSt. In einigen Bundesländern werden die Kosten komplett von den Tierseuchenkassen getragen (Bockisch et al., 2007). Bei freiwilliger Kennzeichnung und geringen Stückzahlen kostet eine elektronische Ohrmarke ca. 2,50 Euro. Bei einer Modellrechnung zu den Ko-

sten von eTK bei Rindern wurden Preise von 2,25 Euro/Kennzeichnungsset unterstellt (Georg et al., 2008b). Es ist möglich, dass durch Abnahme großer Stückzahlen (wie bei einer obligatorischen Einführung nötig) die Preise je Kennzeichnungsset für den Landwirt noch weiter reduziert werden können.

2 Eigene Arbeiten

2.1 Kosten-Nutzen-Analyse zur Einführung der elektronischen Tierkennzeichnung für Rinder in Deutschland

Mit Inkrafttreten der geänderten VVVO 2007 wurde in Deutschland den Bundesländern die Einführung der elektronischen Tierkennzeichnung in Form elektronischer Ohrmarken für Rinder freigestellt. Im Zusammenhang mit der Einführung wurde die Frage nach Kosten und Nutzen einer elektronischen Tierkennzeichnung für Rinder bearbeitet. Dazu fand am Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik des vTI eine Expertenbefragung ausgewählter Nutzergruppen zu einer eventuellen obligaten Einführung der elektronischen Ohrmarke für die Rinderhaltung in Deutschland statt. Befragt wurden in einer ersten Stufe die Hersteller von Melk- und Fütterungstechnik, Software, Identifikationssystemen und die Regionalstellen der zen-

tralen Datenbank (HI-Tier). In einer zweiten Stufe wurden Veterinärämter, Handels- und Transportbetriebe, Schlachthöfe und landwirtschaftliche Betriebe befragt (Georg et al., 2008a, 2008b).

Die Einschätzungen nach Nutzergruppen sind in Abbildung 3 dargestellt.

Die Einführung einer obligatorischen elektronischen Kennzeichnung von Rindern wurde von den befragten Nutzergruppen sehr unterschiedlich aufgenommen. Die Hersteller von Herdenmanagementprogrammen und Identifikationssystemen sehen die Einführung im eigenen Interesse sehr positiv. Hersteller von Melk- und Fütterungstechnik, die auch für zukünftige eTK kompatible Technik einbauen, sind sehr positiv eingestellt, Hersteller, auf die durch die offizielle eTK größere technische Änderungen zukommen, beurteilen eine Einführung eher skeptisch. Die Regionalstellen/LKV als quasi Länderrepräsentanten der Tierverskehrsdatenbank HI-Tier erwarten von der eTK keine weiteren Verbesserungen. Die befragten Handels- und Transportbetriebe haben sich mit dieser Thematik noch nicht weiter auseinandergesetzt und sehen keinen Bedarf für eine obligatorische Einführung. Auch bei Schlachtbetrieben ist die eTK noch nicht präsent, allerdings halten sie eine Einführung für sinnvoll. Die Veterinärämter halten eine obligatorische Einführung der eTK für weniger sinn-

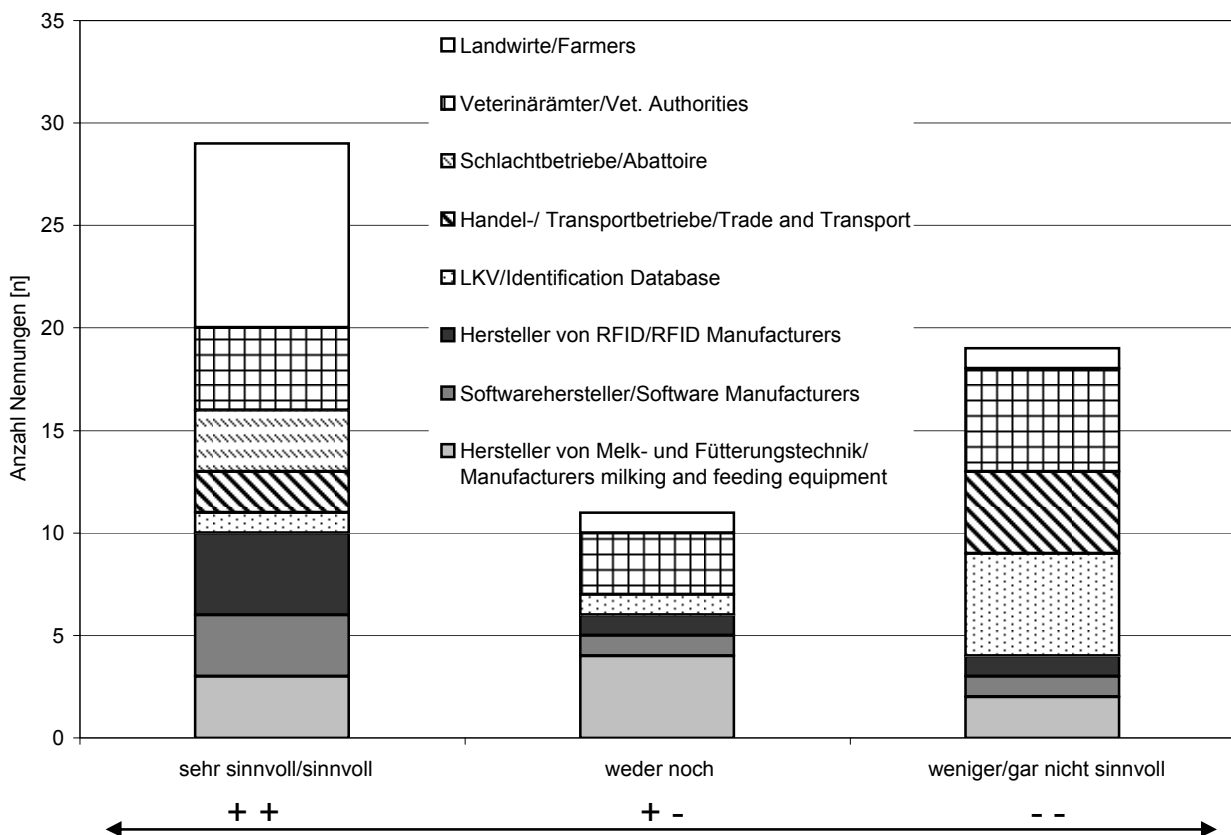


Abbildung 3:

Beurteilung der elektronischen Tierkennzeichnung für Rinder (verändert nach Georg et al., 2008a)

voll. Allerdings beurteilen sie die eTK in Bezug auf Tierseuchenüberwachung, Tierseuchenbekämpfung, Tierkörperbeseitigung und Arzneimittelüberwachung sehr positiv. Die Landwirte würden eine obligatorische Einführung zu meist begrüßen. Gerade im Bereich der Verfahrenstechnik, Lesbarkeit und beim Herdenmanagement würde der Einsatz der eTK als sinnvoll bis sehr sinnvoll angesehen. Auch die anderen Nutzergruppen schätzen die Auswirkungen einer eTK auf die landwirtschaftlichen Betriebe als positiv ein (Georg et al., 2008a, 2008b).

2.2 Möglicher Zusatznutzen durch eTK

Die tierseuchenrechtliche Kennzeichnung geschieht in Deutschland zur Zeit noch über die konventionelle Ohrmarke. Davon getrennt erfolgt die betriebsinterne Kennzeichnung in der Regel über Halsbandtransponder oder elektronische Ohrmarke u. a. bei Kälbern, Milchkühen und Zuchtsauen (z. B. automatische Fütterungssysteme, Bestandsverwaltung, Milchleistungsprüfung etc.). Beide Nutzungsrichtungen der Kennzeichnung ließen sich in einer elektronischen Tierkennzeichnung mit erheblichen Synergieeffekten zusammenfassen. Zusätzliche Sensortechnik könnte die elektronische Tierkennzeichnung ergänzen. Dieses sind z. B. Boli mit Temperatursensoren, pH-Messung, Herzfrequenzerfassung oder Injektate mit Temperatursensoren, die insbesondere die einzeltierspezifische Überwachung der Tiergesundheit vereinfachen könnten.

Durch die Arbeitsgruppe eTK am Institut für Ökologischen Landbau des vTI werden Versuche zum Zusatznutzen zur elektronischen Kennzeichnung durchgeführt. In den Versuchen werden Injektate mit Temperatursensor eingesetzt. Die Injektate wurden von der Firma Destron Fearing zur Verfügung gestellt und weisen eine Länge von 14,5 mm und einen Durchmesser von 2,1 mm auf. Die Elektronik ist von einer Glashülle umschlossen. Die Injektate sind in sterilen Einmalspritzen verpackt. Dieser „Bio-Thermo“-Chip ermöglicht eine individuelle Kennzeichnung des Tieres über einen 15-stelligen Code und ist mit einem Temperatursensor ausgestattet.

Hintergrund für die Versuche mit Injektaten mit integriertem Temperatursensor ist die zusätzliche Nutzungsmöglichkeit als elektronische Kennzeichnung für Herdenmanagement, Tiergesundheit und Tierschutzzwecke. Würden z. B. statt der elektronischen Ohrmarken Injektate mit Temperatursensor eingesetzt, könnten diese neben der Rückverfolgbarkeit eventuell auch zur Krankheitsfrüherkennung genutzt werden. Dieser Aspekt ist gerade für den ökologischen Landbau von großer Bedeutung, da die Gesundheit der Tiere stets im Vordergrund steht. Für den geforderten Weidegang im ökologischen Landbau könnte die Erfassung der Körpertemperatur möglicherweise zusätzlich als Tierschutzparameter herangezogen werden,

um Hitzestress der Tiere auf der Weide durch fehlende Beschattung zu vermeiden.

3 Schlussbetrachtung

Das grundlegende Ziel der Vorschriften der Europäischen Gemeinschaft zur Kennzeichnung von Schafen, Ziegen, Rindern und Schweinen ist eine Verbesserung des Kennzeichnungs- und Registrierungssystems, insbesondere im Bereich der Nachweisführung über die Herkunft und den Verbleib von Tieren und Fleisch. Die elektronische Tierkennzeichnung kann zur Optimierung dieses Systems beitragen und hat durch eventuelle Synergieeffekte bei betriebsinternen Vorgängen zusätzliche Vorteile zu bieten.

Die großen Potentiale der eTK können auf nationaler und internationaler Ebene aber nur ausgeschöpft werden, wenn eine funktionierende Datenbank auf nationaler Ebene besteht, die mit den anderen europäischen Datenbanken verknüpft werden kann. In Deutschland sollte zudem die Vergabe der Transpondernummern durch eine nationale Institution erfolgen, so dass die Transponder mit Ländercode herausgegeben werden können und sichergestellt ist, dass keine Nummern doppelt vergeben werden. Zudem sollten möglichst einheitliche Länderbestimmungen zugrunde liegen.

Literaturverzeichnis

- IDEA-Studie [online]. Zu finden in <<http://idea.jrc.it/pages%20idea/final%20report.htm>> [zitiert am 29.09.2009]
- Artmann R (1976) Cow identification : a condition for individual feeding in loose house systems. In: Symposium on Cow Identification Systems and their Applications, Wageningen, The Netherlands, April 8 and 9, 1976. Wageningen : IMAG, D1-D7
- Bockisch F-J, Ude G, Georg H (2007) Ökonomische Aspekte zur elektronischen Tierkennzeichnung. Fachgespräch: Elektronische Tierkennzeichnung in der Landwirtschaft (Vortrag). 28.-29. Nov 2007, Fulda
- Brunsch R, Brehme U, Türk M (2001) Management im Kuhstall – ein Beitrag zur gläsernen Produktion. Forschungsreport Verbrauchersch Ernähr Landwirtsch 2:8-11
- Burose F, Zähler M (2008) Elektronische Ohrmarken zur Rückverfolgbarkeit von Mastschweinen. Landtechnik 63(3):162-163
- Caisley (2009) Caisley - Elektronische Kennzeichnung [online]. Zu finden in <<http://www.caisley.de/site/html/de/pages/page.php?p=landw&sp=elek&WS=1024x768x32&js=1&fV=0&PHPSESSID=190ca774663adada5a1e0ece99c633e8>> [zitiert am 02.10.2009]
- Caja G, Conill C, Nehring R, Ribo O (1999) Development of a ceramic bolus for the permanent electronic identification of sheep, goat and cattle. Comput Electron Agric 24:45-63
- Caja G, Hernandez-Jover M, Conill C, Garin D, Alabern X, Farriol B, Ghirardi J (2005) Use of ear tags and injectable transponders for the identification and traceability of pigs from birth to the end of slaughter line. J Anim Sci 83:2215-2224
- Erasmus WJ, Rossing W (1994) Animal identification : key to farm automation. In: Watson DG, Zazueta FS, Harrison TV (eds) Proceedings of 5th International Conference of the ASAE, St. Joseph, MI. St. Joseph : ASAE, p 189
- Finkenzeller K (2006) RFID-Handbuch : Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten. München : Hanser, 490 p

- Georg H, Ude G, Schwalm A (2008a) Neue Aspekte zur elektronischen Tierkennzeichnung – Teil 1. *Landtechnik* 63(3):174-175
- Georg H, Ude G, Schwalm A (2008b) Neue Aspekte zur elektronischen Tierkennzeichnung – Teil 2. *Landtechnik* 63(4):232-233
- Hartung E (2005) Precision livestock farming. In: Jungbluth, Büscher W, Krause M *Technik Tierhaltung : Grundwissen Bachelor*. Stuttgart : Ulmer, pp 40-44
- Klindtworth M, Wendl G, Klindtworth K, Pirkelmann H (1999) Electronic identification of cattle with injectable transponders. *Comput Electron Agric* 24(1-2):65-79
- Klindtworth M (2007) Elektronische Tierkennzeichnung – Anwendungen und Perspektiven. *KTBL-Schrift* 457:89-98
- Klindtworth K, Spiessl-Roith E, Wendl G, Klindtworth M (2004) Einsatz von Injektaten bei Schweinen. *Landtechnik* 59(1):44-45
- Kommision der Europäischen Gemeinschaften (2007) Bericht der Kommission an den Rat über die Anwendung der elektronischen Kennzeichnung von Schafen und Ziegen [online]. Zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0711:FIN:DE:PDF>> [zitiert am 01.10.2009]
- Planet ID (2009) <www.planet-id.com/de/transponder.php> [zitiert am 01.10.2009]
- Platen M, Käck M, Rackwitz R (2007) Wirtschaftlichkeit des Elektronikeinsatzes und Praxisbeispiele. *KTBL-Schrift* 457:145-157
- Reyflex (2009) <www.reyflex.com/en/produits-el-patuflex.php> [zitiert am 01.10.2009]
- Rossing W (1999) Animal identification : introduction and history. *Comput Electron Agric* 24:1-4
- Schulte-Sudrum (2008) Elektronische Tierkennzeichnung in der Schweinehaltung [online]. Zu finden in <<http://lsa-st23.sachsen-anhalt.de/lg/infotehk/dokumente/IDChipSchulte.pdf>> [zitiert am 02.10.2009]
- Spilke J, Büscher W, Doluschitz R, Fahr RD, Lehner W (2003) Precision Dairy Farming – integrativer Ansatz für eine nachhaltige Milcherzeugung. *Z Agrar-informatik* 2:19-25
- Sprenger K-U (2007) Kennzeichnung und Registrierung von Schafen und Ziegen in der EU mit Blick auf die Einführung elektronischer Kennzeichnungssysteme (Vortrag). VDL-/WDL-/BDZ-Arbeitssitzung, Berlin, 24.01.07
- Texas Trading (2009) Elektronische Tierkennzeichnung : Praxisreife nachgewiesen [online]. Zu finden in <<http://www.texas-trading.de/kategorie/tierkennzeichnung/>> [zitiert am 01.10.2009]
- van den Weghe HFA (2008) Selbstverständnis und Einordnung der Tagung : Perspektiven und Visionen. *KTBL-Schrift* 469:7-13
- Zähner M, Spiessl-Mayr E (2005) Elektronische Kennzeichnung von Nutztieren. *Agrarforschung* 12(2):79-83

Untersuchung von Injektaten zur elektronischen Tierkennzeichnung mit Temperatursensoren und Überprüfung geeigneter Injektionsorte bei Bullenkälbern

Heiko Georg*, Gracia Ude*, Anja Schwalm* und Bernhard Wenderdel**

Zusammenfassung

Die Erfassung der Körpertemperatur bei Rindern eignet sich sehr gut zur Früherkennung von gesundheitlichen Problemen bei Rindern, insbesondere bei Milchkühen in sensiblen Produktionsphasen wie der Transitperiode. Wurde die Körpertemperatur bislang sporadisch meist rektal mit dem Fieberthermometer gemessen, wird inzwischen durch ständig wachsende Herdengrößen der Bedarf an automatischen und kontinuierlich messenden Systemen als Managementhilfe immer größer. Technische Lösungsansätze dazu gibt es bereits; besonders interessant erscheint die Möglichkeit, die Messung physiologischer Parameter (z. B. Herzfrequenz, Temperatur, pH-Wert) an elektronische Systeme zur Tierkennzeichnung, wie z. B. Bolus oder Injektat, zu koppeln.

Ziel dieser Studie war die Evaluierung von Injektaten mit Temperatursensoren bei Rindern. Für den Versuch wurden Injektate mit Temperatursensor bei 12 Bullenkälbern an je drei verschiedenen Stellen subkutan injiziert: Am linken Ohr unter dem Dreiecksknorpel (Skutulum), am rechten Ohr an der Ohrbasis und an der linken Halsseite in der Mitte zwischen Hinterkopf und Buggelenk. In vier Messperioden, die sich durch die Klimabedingungen unterschieden, wurden mit einem Handlesegerät die Injektattemperaturwerte ausgelesen und parallel rektale Körpertemperaturmessungen durchgeführt. Die unterschiedlichen Temperaturwerte je Messort haben den Einfluss des Injektionsortes auf die Messwerte gezeigt.

Schlüsselwörter: *Ökologischer Landbau, Precision organic dairy farming, elektronische Tierkennzeichnung*

Summary

Investigation on temperature sensing injectable transponders for electronic animal identification and evaluation of suitable injection sites with bull calves

The measurement of body core temperature is a helpful tool for the early recognition of diseases in cattle, especially in critical periods like transition periods of dairy cows. Up to now, temperature measurement was almost done manually measuring rectal temperature. Nevertheless, there is an increasing demand on automatic and continuously measuring devices considering the growing herd size of dairy farms. Technical solutions exist already; an interesting option seems to be a link between electronic identification and bolus or injectable transponders and sensors for physiological measures like heart rate, temperature or pH.

The objective of our study was the evaluation of injectable transponders with a temperature measuring option in cattle. In the study injectable transponders with an integrated temperature sensor were tested in twelve male Holstein calves at three different application points: Under the scutulum of the left ear, at the base of the right ear and at the left side of the neck in the middle between poll and withers. Under four different climatic situations, the temperatures of the transponders were recorded using a hand held reader. The rectal temperature was measured simultaneously. The different temperatures of the application point show the dependence of the application point.

Keywords: *Organic farming, precision organic dairy farming, electronic identification*

* Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau

** Destron Fearing A/S, Valseholmen 15, DK-2650 Hvidovre, Dänemark

1 Einleitung

Seit Inkrafttreten der ViehVerkV vom 06.07.2007 ist es mit Genehmigung der zuständigen Behörde bei Rindern möglich, die zweite gelbe amtliche Doppelohrmarke durch einen passiven Nurplese-Transponder zu ersetzen, dessen Codierung nach der ISO-Norm 11784 aufgebaut und schreibgeschützt ist und die Angaben der Doppelohrmarke enthält. Geplant ist eine flächendeckende obligatorische Einführung der elektronischen Kennzeichnung zur besseren Rückverfolgbarkeit (Schwalm et al., 2009).

Gerade in der Milchviehhaltung wird die betriebsinterne elektronische Tiererkennung zur automatischen Steuerung von Fütterungs- und Melktechnik seit Jahrzehnten genutzt, wobei diese passiven ISO-kompatiblen Transponder ausschließlich zur Identifikation der Tiere verwendet werden (Schwalm et al., 2009); die Kopplung von RFID an tierbezogene Daten wie Körpertemperatur, Herzfrequenz und pH-Wert im Pansen ist bereits seit Mitte der 80er Jahre möglich, wird aber vom Gesetzgeber nicht weiter verfolgt.

Dabei könnte die Koppelung tierbezogener Daten an die obligatorische elektronische Kennzeichnung neben der Rückverfolgbarkeit auch zur Krankheitsfrüherkennung genutzt werden. Für die Erfassung der Körpertemperatur kämen neben dem Bolus auch Injektate mit Temperatursensor in Frage.

2 Literatur

Bei den Transpondern zur elektronischen Tiererkennung wird unterschieden zwischen elektronischer Ohrmarke, injizierbarem Transponder und Bolus, der im Vormagentrakt verbleibt (Klindtworth, 2007).

Durch die aktuelle Gesetzgebung werden bei lebensmittel liefernden Tieren Boli und elektronische Ohrmarken bevorzugt eingesetzt. Injektate werden sehr kritisch bewertet aufgrund der Problematik bei der Rückgewinnung (siehe Schwalm et al., 2009; Klindtworth, 2007). Eine Ausnahme bilden hier die Pferde, die nach EU-Recht seit 01.07.2009 mit Injektaten gekennzeichnet werden.

Eine verbesserte Möglichkeit der Rückgewinnung und die Verwendung integrierter Sensoren (z. B. Temperaturmessung), die für einen Zusatznutzen sorgen, könnten das Interesse an Injektaten steigern und die kritische Meinung ändern (Klindtworth, 2007).

RFID mit Zusatzfunktionen

Erste Injektate mit Temperatursensor gab es bereits Mitte der 80er Jahre, zumeist in 32 mm Länge. Der Bolus war ebenfalls schon früh mit Zusatzfunktionen versehen, zumal er aufgrund seiner Größe auch genügend Platz für zusätzliche elektronische Funktionen und Sensoren bot.

Die Vielfalt an Sensoren (pH-Sensor, Temperatursensor, Herzfrequenzmessung, Pansenkontraktionsmessung) ist auch aktuell für den Bolus größer.

In einer Untersuchung von Sievers (2005) wurde ein in vivo Versuch mit einem Bolus-Prototypen bei vier fistulierten Kühen durchgeführt. Dieser Bolus war mit Thermometer, Barometer, Leitfähigkeitsmessgerät und einem Mikrorechner zur Datenspeicherung ausgestattet. Hier konnte bei drei erkrankten Tieren zwischen der rektalen und der Bolustemperatur eine Korrelation von $r = 0,92$ nachgewiesen werden. Durch die Messung der Druckschwankungen der Netzmagenkontraktionen konnte zusätzlich eine Krankheit angezeigt werden, die mit einer veränderten Vormagenmotorik zusammenhing. Das Leitfähigkeitsmessgerät zeigte zu große Messungenauigkeiten.

Bewley et al. (2008a) untersuchten den Einfluss der Wasseraufnahme auf die Körpertemperatur im Netzmagen über einen Bolus. Neun Kühen wurde entweder 25,2 kg bzw. 18,9 kg Wasser mit unterschiedlicher Temperatur gegeben. Das Wasser (25,2 kg) hatte eine Temperatur von 34,3 °C, 18,2 °C und 7,6 °C. Diese Wassergabe hatte einen Temperaturabfall von 2,2 °C, 6,9 °C und 8,5 °C im Netzmagen zur Folge. Drei Stunden nach der Wasseraufnahme war die Basistemperatur des Netzmagens noch nicht wieder erreicht. Auch die Gabe von 18,9 kg kalten Wassers (5,1 °C) führte zu einer Abnahme der Netzmagentemperatur von 9,2 °C.

In einer weiteren Untersuchung von Bewley et al. (2008b), in welcher ebenfalls ein Bolus mit Temperatursensor im Netzmagen untersucht wurde, hier bei 180 bis 187 Kühen, wurden aus einer großen Untersuchung je Kuh 16 Datensätze pro Kuh ausgewertet. Dafür wurden im Melkstandsaustriebsgang in vier aufeinander folgenden Melkungen in den vier Jahreszeiten die Boli ausgelesen. Im Mittel der Datenaufnahme der 16 Melkungen lag die Temperatur im Netzmagen bei 39,3 °C und die rektale Körpertemperatur bei 38,9 °C. Die Korrelation betrug 0,65. Das Verhältnis zwischen Bolustemperatur und rektaler Temperatur variierte in Abhängigkeit der Jahreszeit, des Melkzeit, der Aufstallung und der Anzahl der Laktationen.

In einer Untersuchung von Green et al. (2008) wurden drei Monitoring-Systeme zur kontinuierlichen Erfassung der Körpertemperatur bei Pferden untersucht. Unterschieden wurde zwischen Bluttemperatur, rektaler Temperatur und der Magen-Darm-Temperatur. Die Anzahl an Messfehlern war erheblich und lag innerhalb der sechs Stunden andauernden Messperiode bei der Magen-Darm-Temperatur bei 13,3 %, 11,6 % bei den rektalen Werten und 16,4 % bei der Bluttemperatur.

In einer Untersuchung von Lefcourt und Adams (1996) wurden bei 10 Bullen im Alter von 10 Monaten Temperatursender implantiert mit einer Größe von 10 cm Länge und 3,5 cm Durchmesser. Die Injektate wurden hinter dem

Brustkorb auf der rechten Seite in die Höhle des Bauchfells genäht. Die mittlere Tageskörpertemperatur war bei allen 10 Bullen eine nahezu identische Temperatur von 39,04 °C (+/- 0,12 °C). Der Tagesrhythmus der Körpertemperatur war ebenso einheitlich bei den Bullen und betrug am Vormittag 38,8 °C (+/- 0,29 °C) und am Nachmittag 39,9 °C (+/- 0,21 °C).

Eine Untersuchung von Kamann et al. (1999) beschäftigte sich mit 15 Kälbern. Die Injektate wurden unter dem Skutulum, d. h. subkutan unter dem Dreiecksknorpel am Ohransatz, injiziert. Die Korrelation zwischen rektal und Skutulum betrug $r = 0,82$. Dabei war die Temperatur unter dem Skutulum nach dem Injizieren zunächst für ca. eine Woche um 1,5 °C und ab der zweiten bis zur zehnten Versuchswoche um durchschnittlich 1,0 °C niedriger als die rektale Körpertemperatur.

Goodwin (1998) hat die Körpertemperatur von 30 Ziegen, 18 Pferden und 35 Schafen mit einem Infrarotthermometer im Ohr, subkutan mit Mikrochip und rektal mit digitalem Thermometer mit einander verglichen. Bei den Ziegen waren die rektalen und subkutanen Temperaturen signifikant höher als die Infrarot-Temperaturen, wobei die rektalen und subkutanen Temperaturen sich nicht signifikant unterschieden. Bei Pferden und Schafen waren die rektalen Temperaturen signifikant höher als die Infrarotwerte und die subkutane Körpertemperatur. Die Infrarottemperatur war signifikant höher als die subkutane Temperatur.

3 Ziel der Untersuchung

In der Untersuchung wurden Injektate mit einem Temperatursensor im Hinblick auf die Eignung unterschiedlicher Injektionsorte überprüft. Die subkutane Temperaturmessung wurde als Vorstufe zu einer kontinuierlichen automatischen Temperaturüberwachung für Milchkühe erprobt.

Der gewählte Transponder war mit einer Größe von ca. 14,5 x 2,1 mm klein und daher auch an exponierten Stellen wie an der Ohrbasis einsetzbar.

4 Material und Methode

Der Versuch wurde an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), heute vTI, in Braunschweig am Institut für Betriebstechnik und Bauforschung bzw. am Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik durchgeführt.

Tiere

Der Versuch wurde mit 12 Bullenkälbern bzw. Bullen der Rasse Deutsche Holstein durchgeführt. Die Bullenkälber wurden zwischen dem 29.11.06 und 19.01.07 geboren und waren beim Setzen der Injektate am 21.03.07 zwi-

schen 2 und 3 3/4 Monaten alt. Zum Schlachtttermin am 21.02.08 betrug das Alter der Bullen 1 1/12 bis 1 1/4 Jahre.

Injektate

Die verwendeten Injektate wurden von der Firma Destron Fearing für Versuchszwecke zur Verfügung gestellt.

Die Injektate „Bio-Thermo(TM)“ mit einer Größe von ca. 14,5 x 2,1 mm waren steril in Ein-Weg-Injektionsspritzen verpackt. Die Injektate können subkutan oder intramuskulär injiziert werden; die Elektronik ist von einer Glashülle umschlossen. Der „Bio-Thermo (TM)“-Chip ermöglicht eine individuelle Kennzeichnung/Identifikation des Tieres über einen 15-stelligen Code. Zusätzlich ist das Injektat mit einem Temperatursensor ausgestattet.

Die verwendeten Injektate sind sehr klein; sie werden in der Praxis bisher nicht im Rinderbereich, sondern vor allem im Kleintierbereich bei Hunden und Katzen eingesetzt. Ein weiterer Einsatzbereich ist die Pferdekennzeichnung für den Equidenpass.

Die Injektate wurden von einem Tierarzt injiziert. Je Bullenkalb wurden drei Injektate subkutan gesetzt: Am linken Ohr unter dem Dreiecksknorpel, am rechten Ohr an der Ohrbasis und an der linken Halsseite in der Mitte zwischen Kopf und Widerrist.

Zur Datenerfassung wurde uns das Handlesegerät „Bio-Thermo (TM)“ (Destron Universal Pocket-Reader EX®) zur Verfügung gestellt. Dieser Reader kann über die reine Identifikation hinaus auch den Temperatursensor auslesen.

Fieberthermometer

Bei dem Fieberthermometer (VT 1831 der Firma micro-life®) für die rektalen Messungen handelte es sich um ein digitales aus dem Veterinärbereich, mit einer Schnellmessung, die nur 10 Sekunden benötigt.

Datenerfassung

In vier Messperioden, die sich durch die Klimabedingungen unterschieden, wurden mit dem Handlesegerät die Injektate ausgelesen und parallel rektale Messungen durchgeführt. An zwei Messtagen wurden außerdem Thermografiemessungen zur Bestimmung der Hautoberflächentemperatur durchgeführt. Insgesamt wurden 11380 Injektatwerte, 3948 rektale Körpertemperaturwerte und 70 Thermographiewerte erfasst (Tabelle 1).

Je nach Variante wurden die Messungen an 1 - 4 Messzeitpunkten pro Tag durchgeführt. Z. B. erfolgten die Messungen in der Messperiode 1 um 7:30 Uhr, 09:30 Uhr und 12:30 Uhr. Jede rektale und subkutane Messung wurde in siebenfacher Wiederholung durchgeführt. Der Messdurchgang eines Tieres (d. h. die siebenfachen Messungen der

Rektaltemperatur und der Temperaturen des Halses, des linken und des rechten Ohres) dauerte ca. 2 bis 3 Minuten.

Tabelle 1:

Grunddaten zu den vier Varianten

Variante	Anzahl		Anzahl Messwerte je Messperiode		
	Tage	Bullen	Injektate	rektal	Thermographie
Messperiode 1 (Stall, Frühjahr)	7	12	5145	1764	
Messperiode 2 (Schattenmessung, Stall, Frühjahr)	1	12	245	84	35
Messperiode 2 (Sonnenmessung, Weide, Frühjahr)	1	12	245	84	35
Messperiode 3 (Weide, Herbst)	5	12	3570	1260	
Messperiode 4 (Stall, Winter)	6	12	2142	756	
Funktionsprüfung (Winter)	1	12	33		
Summe Messwerte			11380	3948	70

Zur Überprüfung der Messtechnik wurden zwei Injektate im Wasserbad getestet. Mit den zwei Injektaten wurden insgesamt 7 Wiederholungen mit jeweils 15 Messwerten durchgeführt. Der Messbereich wurde zwischen 32 und 40 °C gewählt.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem Statistikpaket SAS (9.1) durchgeführt.

Da die Körpertemperatur tierindividuell ist, erfolgte zunächst eine Einzeltierbetrachtung der Messwerte.

So wurden die Standardabweichungen tierindividuell innerhalb jeder Variante je Messort und je Messzeitpunkt, d. h. der jeweiligen siebenfachen Wiederholung, berechnet. Aus diesen Standardabweichungen wurden anschließend die Mittelwerte je Messort berechnet.

Zusätzlich wurden die Differenzen zwischen rektaler Temperatur und subkutaner Temperatur je Variante, Tier, Messort und Messzeitpunkt berechnet, und anschließend die Mittelwerte gebildet.

5 Ergebnisse

Direkt nach dem Injizieren waren alle Injektate lesbar. Bis zur letzten Messung, der Funktionsprüfung einen Tag vor der Schlachtung und 11 Monate nach dem Setzen der Injektate, waren noch 10 Injektate des linken Ohres unter dem Dreiecksknorpel, 11 des rechten Ohres an der Ohrbasis und alle 12 Injektate an der Halsseite funktionsfähig (Tabelle 2).

Tabelle 2:

Funktionsprüfung

Datenaufnahme	Vorgang	Anzahl Bullen	Anzahl lesbare Injektate		
			Dreiecksknorpel	Ohrbasis	Hals
21.03.07	Injektate injizieren und Funktionsprüfung	12	12	12	12
19.04.07	Funktionsprüfung	12	12	11	12
19.02.08	Funktionsprüfung	12	10	11	12

Die tierindividuelle Betrachtung je Injektionsort und Variante zeigte die niedrigsten Standardabweichungen bei den rektalen Messwerten; nämlich zwischen 0,07 und 0,14 °C. Es folgen die Werte des Dreiecksknorpels mit einer Standardabweichung zwischen 0,13 bis 0,16 °C und die Injektatwerte des Halses mit Werten von 0,12 bis 0,18 °C. Die Messwerte der Ohrbasis hatten etwas höhere Standardabweichungen zwischen 0,18 bis 0,25 °C (Tabelle 3).

Tabelle 3:

Standardabweichung (in °C) je Messort von Variante

	Standardabweichung [°C]				
	Frühjahr	Schatten*	Sonne*	Herbst	Kälte
Messort	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
Hals	0,15	0,18	0,12	0,14	0,16
linkes Ohr (Dreiecksknorpel)	0,15	0,16	0,13	0,15	0,16
rechtes Ohr (Ohrbasis)	0,18	0,18	0,23	0,19	0,25
rektal	0,09	0,06	0,07	0,11	0,14
* Geringe Anzahl an Werten					

Die im Wasserbad erhobenen Injektatwerte wiesen deutlich geringere Standardabweichungen mit Werten zwischen 0,05 und 0,13 °C auf (Tabelle 4).

Tabelle 4:

Standardabweichungen (in °C) im Wasserbad

Parameter	Wdh1	Wdh2	Wdh3	Wdh4	Wdh5	Wdh6	Wdh7
$\bar{x}$ [°C]	32,45	31,61	40,05	39,35	38,57	37,91	38,18
stdev(x) [°C]	0,06	0,05	0,07	0,08	0,08	0,13	0,07

Zur weiteren Auswertung wurden die Differenzen je Tier, Messort und Messzeitpunkt gebildet.

Grundsätzlich zeigte sich, dass 90,8 % der subkutanen Injektatwerte unterhalb der rektalen Werte lagen. Im Ein-

zelen waren es 97,0 % der Injektate im Hals, 79,3 % des linken Ohres und 96,0 % des rechten Ohres.

Die Differenzen zwischen rektaler und subkutaner Körpertemperatur des linken Ohres lagen mit 0,43 bis 0,68 °C unter den Differenzen der anderen beiden Injektionsorte mit Werten bis zu 2,8 °C (Tabelle 5).

Tabelle 5:

Mittlere Differenzen (in °C) tierindividuell je Messort und Variante

Variante	Rektal-Hals	Rektal-Links	Rektal-Rechts
1	1,05	0,66	1,24
2 Schatten	0,96	0,61	0,94
2 Sonne	0,69	0,34	0,50
3	1,15	0,43	1,39
4	1,42	0,68	2,77

Beispielhaft dargestellt in Abbildung 1 sind die Mittelwerte zweier Tiere (Ohrmarke 28999, Kalb A und 33790, Kalb B) aus der Messperiode 1. Die dargestellten Daten wurden an sieben Tagen morgens zwischen 7:30 Uhr und 8:30 Uhr erfasst. Die Standardabweichungen lagen zwischen 0,0 und 0,3 °C.

Bei Kalb A wies an allen sieben Messtagen die rektale Körpertemperatur mit Werten zwischen 38,3 und 39,2 °C höhere Werte auf als die der subkutanen Körpertemperatur. Von den Injektaten hatte der Injektionsort unter dem Dreiecksknorpel (linkes Ohr) die höchsten Werte mit 37,5 bis 38,4 °C. Die niedrigsten Werte wiesen die Injektate an der Ohrbasis (rechtes Ohr) mit 36,9 bis 38,3 °C auf. Die Werte der Hals-Injektate lagen zwischen 37,1 und 38,1 °C. Insgesamt zeigen die Werte der unterschiedlichen Messorte einen relativ parallelen Verlauf (Abbildung 1, links). Die Kurven von Kalb B zeigten ein etwas anderes Bild: Zwar lagen auch hier die rektalen Werte mit 38,6 bis 39,0 °C oberhalb der subkutanen Injektatwerte, ge-

folgt von den Injektatwerten des linken Ohres. Während bei Kalb A die Werte des rechten Ohres und des Halses im ähnlichen Bereich lagen, war bei Kalb B ein deutlicher Unterschied zu verzeichnen. Die Werte des rechten Ohres lagen zwischen 36,9 und 38,0 °C und die des Halses zwischen 35,7 und 36,9 °C.

6 Diskussion

Verlusten der Injektate

Für eine Überprüfung, welche elektronischen Varianten für eine offizielle Tierkennzeichnung einsetzbar sind, wurde in 6 EU-Ländern von 1998 bis 2001 ein Großversuch mit Rindern, Schafen und Ziegen durchgeführt. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden im deutschen Teilprojekt insgesamt 44388 Rinder unterschiedlicher Rassen elektronisch gekennzeichnet, davon 18145 mit Injektaten mit einer Größe von 23 mm. Die Verlustrate war geringer als 0,3 % (Klindtworth et al., 2002). Im Rahmen der gesamten IDEA-Studie wurden 29982 Rinder mit Injektaten gekennzeichnet. Die Injektate betrugen entweder 32 oder 23 mm. Insgesamt betrug der Anteil an nicht lesbaren Injektaten einen Monat nach dem Setzen 1 % und sank danach während der gesamten Versuchsdauer auf 0,3 % (<http://idea.jrc.it/pages%20idea/final%20report.htm>).

In einer Untersuchung von Fallon et al. (2002) wurden mehrere Injektionsorte und unterschiedliche Transponder (28 mm x 3,6 mm bzw. 19 mm x 2,8 mm) untersucht. Bei 144 männlichen und weiblichen Rindern wurden die Injektate (28 mm x 3,6 mm) an der Ohrbasis in zwei unterschiedlichen Winkeln (45° und 90° zur Ohrbasis) injiziert. Nach 28 Tagen waren noch 98,6 % beim 45°-Winkel und 92,4 % beim 90°-Winkel lesbar. Nach 60-90 Tagen waren noch 91 % beim 45°-Winkel und 80,6 % beim 90°-Winkel lesbar. Des Weiteren wurde das 19 mm x 2,8 mm Injektat bei 30 Bullen injiziert an der linken Ohrbasis im

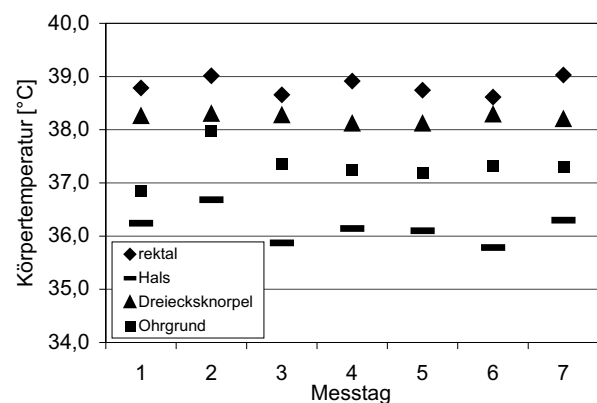
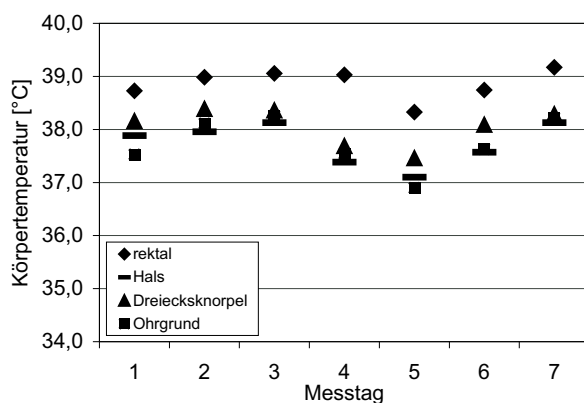


Abbildung 1:

Mittelwerte von Kalb A (links) und Kalb B (rechts) der rektalen und subkutanen Temperaturwerte an sieben Messtagen

135°-Winkel und im rechten Ohr das größere Injektat im selben Winkel. Nach 28 Tagen und auch nach 121 Tagen waren noch alle Injektate lesbar. Das Haltungsverfahren war bei beiden Varianten dasselbe (Stallhaltung).

In der eigenen Untersuchung waren sowohl an der Ohrbasis als auch am Ohrgrund höhere Verluste zu verzeichnen. So betrugen die Verluste 16,7 % unter dem Dreiecksknorpel und 9,1 % an der Ohrbasis. Die 12 Injektate am Hals waren alle noch funktionsfähig.

Die verwendeten Injektate im eigenen Versuch waren sehr klein (14,5 mm x 2,1 mm), und boten daher eigentlich nur eine geringe Angriffsfläche für Bruch.

Es wird vermutet, dass die nicht lesbaren Injektate durch Rangkämpfe bei der Fütterung am Nackenrohr oder Scherenfangfressgitter defekt wurden. Die Injektate im Hals sind in dieser Situation weniger gefährdet.

Bei Haapala (2008) wurden drei Lesegeräte unter extrem kalten Bedingungen unter Laborbedingungen und on-farm getestet. Es stellte sich heraus, dass Lesefehler nicht aufgrund der extremen Temperaturbedingungen aufgetreten sind, sondern die Ausbildung des Personals und die individuellen Stallbedingungen (Durchführbarkeit) Einfluss nehmen.

Im eigenen Versuch wurden kaputte Injektate von mehreren Personen und bei jeder neuen Messung überprüft, so dass beide bei Haapala (2008) aufgeführten Gründe nicht in Frage kommen.

Standardabweichungen

In der Untersuchung von Lefcourt und Adams (1996) mit 10 Bullen wurde ein relativ großer Temperatursender mit einer Größe von 10 cm Länge und 3,5 cm Durchmesser in die Höhle des Baufells genäht. Die Körpertemperaturen der Bullen waren sehr einheitlich mit Standardabweichungen zwischen 0,21 bis 0,29 °C. Hier liegt der Sensor in einer Körperhöhle, wodurch die Temperaturen viel näher oder gleich der Körperkerntemperatur sind. Im eigenen Versuch konnten nur tierindividuelle Standardabweichungen gebildet werden, weil die Applikation letztlich nicht standardisiert war.

In einer Untersuchung von Marsh et al. (2008) wurden elf Injektate in Silikonkissen injiziert und im Wasserbad kalibriert. Die Silikonkissen dienten der Simulation des Pferdegewebes in seiner thermischen Umgebung. Bei vier Injektaten lagen die Standardabweichungen zwischen 0,3 °C bis 0,7 °C, bei vier weiteren zwischen 1,0 °C und 1,7 °C, und drei Injektate haben die ganze Zeit ungenaue Messwerte geliefert. Die Standardabweichungen im eigenen Versuch im Wasserbad bei allerdings nur zwei Injektaten zeigten geringere Standardabweichungen zwischen 0,05 °C und 0,13 °C. Es stellt sich die Frage, in wie weit

das Gewebe bei Tieren oder in diesem Fall das Silikonkissen Einfluss auf die Messgenauigkeit der Injektate hat.

7 Differenzen

In der Untersuchung von Kamann et al. (1999) mit 15 Kälbern und subkutanen Injektaten unter dem Dreiecksknorpel am Ohransatz lag die Temperatur des Injektates während der ersten Woche nach der Injektion durchschnittlich 1,5 °C unter der rektalen Temperatur, was sich jedoch auf durchschnittlich 1 °C ab der 2. Versuchswoche reduzierte.

Im eigenen Versuch zeigte sich, dass nur 90,8 % der subkutanen Injektatwerte unterhalb der rektalen Werte lagen. Im Einzelnen waren es 97,0 % der Injektate im Hals, 79,3 % des linken Ohres und 96,0 % des rechten Ohres. Der Injektionsort unter dem Skutulum war in beiden Untersuchungen der gleiche. Hier zeigten sich im eigenen Versuch geringere Differenzen zur rektalen Temperatur mit Werten zwischen 0,43 bis 0,68.

Das im eigenen Versuch eingesetzte Injektat war deutlich kleiner als das im Versuch von Kamann et al. (1999) mit einer Größe von 3,85 x 32 mm und war vielleicht weniger anfälliger für ein Auskühlen.

8 Schlussfolgerung / Ausblick

Injektate mit Temperatursensor bieten die Möglichkeit, die Körpertemperatur berührungslos zu messen. Die Differenzen zwischen rektaler Körpertemperatur und subkutaner Temperatur zeigen den Einfluss des Injektionsortes.

Nicht erklärbar waren die Abweichungen der subkutanen Körpertemperaturen innerhalb der siebenfachen Messwiederholung, zumal die Injektate im Wasserbad deutlich geringere Abweichungen zeigten. Hier scheinen mit diesem Handleser Lesefehler aufzutreten. Daher wurde ein Datenlogger vom Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik entwickelt.

Dieser Datenlogger speichert z. B. viertelstündlich (frei wählbar) die Körpertemperatur des Injektats. Dieses Datenloggersystem wurde in mehreren Folgeversuchen bei Kühen eingesetzt, wird derzeit bei Ziegen genutzt und vom Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik weiter optimiert.

Literaturverzeichnis

- IDEA-Studie [online]. Zu finden in < <http://idea.jrc.it/pages%20idea/final%20report.htm> > [zitiert am 29.09.2009]
- Bewley JM, Grott MW, Einstein ME, Schutz MM (2008a) Impact of intake water temperatures of lactating dairy cows. J Dairy Sci 91:3880-3887
- Bewley JM, Einstein ME, Grott MW, Schutz MM (2008b) Comparison of reticular and rectal core body temperatures in lactating dairy cows. J Dairy Sci 91:4661-4672

- Fallon RJ, Rogers PAM, Earley B (2002) Electronic animal identification [online]. Zu finden in <<http://www.teagasc.ie/research/reports/beef/4623/eopr-4623.asp>> [zitiert am 29.09.2009]
- Goodwin S (1998) Comparison of body temperatures of goats, horses, and sheep measured with a tympanic infrared thermometer, an implantable microchip transponder, and a rectal thermometer. *Contemp Top Lab Anim Sci* 37(3):51-55
- Green AR, Gates RS, Lawrence LM, Wheeler EF (2008) Continuous recording reliability analysis of three monitoring systems for horse core body temperature. *Comput Electron Agric* 61(2):88-95
- Haapala H E S (2008): Operation of RFID in Cold Environment. In: ASABE: Livestock Environment VIII. 31.8.08 - 4.9.08. Brazil
- Marsh J R, Gates R S, Day G B, Aiken G E, Wilkerson E G (2008): Assessment of an Injectable RFID Temperature Sensor for Indication of Horse Well-Being. In: ASABE: Livestock Environment VIII. 31.8.08 - 4.9.08. Brazil
- Kamann B, Klindtworth K, Wendl G, Kraetzl W-D, Schön H, Hartung J (1999) Automatische Gesundheitsüberwachung mit Hilfe von injizierbaren Temperaturtranspondern in der Kälberaufzucht. Inst. f. Landtechnik der TU München-Weihenstephan (ed): Tagung: Bau, Technik und Umwelt 1999 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung (1999) S. 249-254
- Klindtworth M, Klindtworth K, Wendl G, Pirkelmann H (2002) Die elektronische Tierkennzeichnung von Rindern im Praxistest : Ergebnisse zum EU-Forschungsprojekt „IDEA“ (Identification électronique des animaux). *Ber Ges Informatik Land- Forst- Ernährungswirtsch* 15:124-127
- Klindtworth M (2007) Elektronische Tierkennzeichnung : Anwendungen und Perspektiven. *KTBL-Schrift* 457:89-98
- Lefcourt AM, Adams WR (1996) Radiotelemetry measurement of body temperatures of feedlot steers during summer. *J Anim Sci* 74(11):2633-2640
- Schwalm A, Georg H, Ude G (2009) Elektronische Tierkennzeichnung. *Landbauforsch* 59(4):279-286
- Sievers AK (2005) Entwicklung einer intraruminalen Datenmesseinheit als Managementhilfe in der Milchviehhaltung. Kiel : Univ, 94 p

Blood glucose level and cross-sucking behaviour by different rearing systems in group housed calves

Gracia Ude*, Heiko Georg* and Anja Schwalm*

Summary

Calves in group housing systems with artificial milk feeding often show cross-sucking behaviour, which can result in illness and economical losses. Reasons are not clearly defined up to now, but a low blood glucose level is suspected to be one reason for cross-sucking activity of group housed calves. Our experiment investigated the influence of the amount of milk intake (restrictive or ad libitum) and different techniques of milk intake (natural or at the automatic teat feeder and with or without fixation in the feeding stall) in relation to blood glucose level and cross-sucking behaviour and was carried out with 120 calves (German Holstein) in twelve treatments. In dependence of the respective treatment the calves were fed with whole milk or milk replacer.

The data acquisition of the cross-sucking behaviour was performed by direct observation within an age group of calves between 39 to 58 days. At the age of 50 to 65 days blood samples were taken of the calves to obtain their blood glucose profile. In the 15 min period after finishing the milk meal calves show cross-sucking behaviour, which is related to milk intake. In this period eleven treatments showed an increase in blood glucose between 0.650 to 2.060 mmol/l with values between 5.670 and 9.160 mmol/l. In this 15 min period there was no cross-sucking within the natural milk intake. Most calves (5 to 8) with cross-sucking behaviour were from the treatment feeding stall without fixation.

Keywords: Dairy calves, organic farming, group-housing, blood glucose level, cross-sucking

Zusammenfassung

Blutglukosekonzentration und gegenseitiges Besaugen von Kälbern in Gruppenhaltung in Abhängigkeit verschiedener Aufzuchtverfahren

Bei mutterlosen Aufzuchtverfahren von Kälbern in Gruppen ist während der Tränkeperiode gegenseitiges Besaugen zu beobachten, wodurch Erkrankungen und finanzielle Verluste auftreten können. Die genaue Ursache dafür ist bislang nicht eindeutig geklärt, ein niedriger Blutglukosespiegel wird neben anderen Faktoren aber als Ursache vermutet.

Im Versuch wurde der Einfluss eines unterschiedlichen Angebots an Milchmenge (restriktiv oder ad libitum) und einer unterschiedlichen Technik bei der Milchaufnahme (natürlich oder am Tränkeautomaten sowie mit oder ohne Fixierung im Tränkestand) auf den Blutglukosespiegel und das gegenseitige Besaugen bei 120 Kälbern (deutsche Holstein) in zwölf Varianten untersucht. Die Kälber haben je nach Variante Frischmilch oder Milchaustauscher erhalten.

Die Datenaufnahme zum gegenseitigen Besaugen erfolgte mit Direktbeobachtungen im Alter von 39 bis 58 Tagen und die Blutprobennahmen zur Erstellung von Glukoseprofilen im Alter von 50 bis 65 Tagen. Innerhalb der ersten 15 min nach der Milchaufnahme zeigen die Kälber das gegenseitige Besaugen, das mit der Milchaufnahme in Verbindung steht. In diesem Zeitraum war bei elf Varianten ein Zuwachs der Glukosewerte zwischen 0,650 und 2,060 mmol/l zu verzeichnen mit Werten von 5,670 und 9,160 mmol/l. Gegenseitiges Besaugen ist in diesem Zeitraum bei der natürlichen Milchaufnahme nicht aufgetreten, hingegen haben 5 bis 8 Kälber bei einer Variante im Tränkestand ohne Fixierung gegenseitiges Besaugen gezeigt.

Schlüsselwörter: Kälbergruppenhaltung, Ökologischer Landbau, Blutglukoseniveau, gegenseitiges Besaugen

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

1 Introduction

Milk feeding of calves can be done artificially with a bucket, a bucket with teats, automatic teat feeders or naturally by suckler- or foster-cows. Artificially reared calves housed in groups often show cross-sucking behaviour, which rarely occurs in group housed calves fed by their mothers or foster cows.

Organic dairy farmers are obliged to house calves in groups, starting in the second week of their life. One major disadvantage of group housing calves is the occurrence of cross-sucking as an abnormal behaviour.

Preferred parts of the body for cross-sucking are scrotum and prepuce as well as udder area, navel and ears (Samraus, 1985). Cross-sucking may lead to inflammatory diseases of navel and ears, bezoars and defects of the udder. Unsatisfied sucking activity is mentioned as one major reason for cross-sucking with artificially reared calves. Calves reared by their mothers suck approximately 6 times per day within the first 3 months with a mean duration of 10 minutes (Samraus, 1985). Bucket fed calves need 2 to 3 minutes per milk meal (Samraus, 1985), which corresponds to the duration of a milk meal with the automatic teat feeder of less than 3 minutes (Ferrante et al., 1991). There is thus a lack of sucking activity, increasing the motivation for cross-sucking (Samraus, 1985; Lidfors, 1993) lasting approximately the same time as a natural milk meal does (Samraus, 1985). The intensity of cross-sucking after the milk meal decreases within 20 to 30 minutes (Graf et al., 1989; Lidfors, 1993) or within 10 minutes (de Passillé et al., 1992).

Much research was done to reduce cross-sucking in calves. A reduction or interruption of milk flow leads to a longer duration of milk intake (de Passillé, 2001), but does not affect cross-sucking (Jensen and Holm, 2003). Higher milk intake and more but smaller milk meals per day could reduce cross-sucking (Brummer, 2004). An addition of 2 g of glucose per litre milk or milk replacer could reduce cross-sucking as well (Egle et al., 2004). Further solutions for the reduction of cross-sucking are self-locking feed stalls (Weber, 1998; Brummer, 2004), fixing calves with head locks after the milk meal (Maity and Tomer, 1998) or the presence of (sealed) artificial teats (de Passillé, 2001). Also enriched feeding areas (Keil et al., 2001) or the offer of straw, concentrates or hay reduced the cross-sucking behaviour (Kitter and Kurz, 1967; Roth et al., 2004; Phillips, 2004).

The literature shows the influence of the feeding and rearing systems on the cross-sucking behaviour.

2 Material and Methods

The experiment was carried out from 09/05 up to 04/06 and from 09/06 to 03/07 and investigated the **influence of different levels of milk intake** and different **milk**

feeding techniques affecting blood glucose level and cross-sucking behaviour.

Twelve treatments were investigated. In two treatments calves stalled up in a two floor system with deep litter (lying area with straw bedding) and feeding area (concrete floor with chipped wood). In the other 10 treatments calves had an exercise yard (bark mulch). In addition in two treatments there was a furnished post feeding area (concrete floor with chipped wood).

The lying area measured 2.7 m² per calf, the feeding area was 1.2 m² per calf with access to the post feeding area and 0.9 m² per calf without access to the post feeding area. Treatments with an exercise yard had an area with 8.1 m² or 13.2 m² per calf.

In the treatments with post feeding area the calf could enter the post feeding area only after finishing a milk meal. A new feeding stall with automatic gates was attached to an automatic teat feeder. One gate opened sideways into an enriched area immediately after the milk intake was finished. In that protected area calves could use three sealed rubber teats fixed at a bucket. In one treatment a net filled with a straw bale was hung up at the truss. A simple gate was used as a one-way exit back to the feeding area. Calves without a milk meal left the feeding stall backwards (Figure1).



Figure. 1:
Feeding stall and post feeding area

The Foerster Company from Germany allocated the automatic feeder "stand alone 2000". The artificial teats had sensor elements to measure tongue temperature as an estimate for body core temperature. In order to protect the sensing system against the calves biting, the teats were automatically covered with a metal sheet after the milk meal. The calves of ten treatments were fed by this automatic teat feeder.

The experiment was carried out with 120 male and female calves (German Holstein) from one origin (FAL herd Brunswick). In the respective treatments the calves got whole milk or milk replacer. The restrictive feeding plan was about 65 d. In the beginning the calves got 6 to 7 litres; this amount was reduced from day 20th to day 35th to 3 litres. In other treatments the calves got more milk (see detail of the treatments, Table 1).

The milk replacer of the Nordmilch Company, Zeven ("BoviNormASS") consists of 22.5 % crude protein and 15.0 % crude fat.

The different treatments were characterized as follows (Table 1):

The treatment **"whole milk"** (item 1) with an exercise yard got whole milk from the automatic teat feeder and had the feeding plan for a restrictive rearing period. The feeding stall had automatic doors without access to the post feeding area.

Within the beginning of the experiment the calves of treatments **"cow-calf-I"** (item 2) and **"cow calf-II"** (item 7) with an exercise yard could suckle two times per day at their mother or foster cow, and later one time per day. The

cows had access to their calves for 30 minutes per meal and went to the milking parlour after the milk meal of the calves. The calves were weighed before and after suckling in order to measure the amount of milk intake. The duration of milk intake per udder quarter was determined by direct observation. There was no difference between cow-calf-I and cow-calf-II; we repeated this treatment as a control group in both years.

The calves of the treatment **"milk replacer"** (item 3) and exercise yard got milk replacer with the automatic teat feeder and had a feeding plan for a restrictive rearing period. The feeding stall had automatic doors without access to the post feeding area.

The group **"post feeding area"** (item 4) and exercise yard got milk replacer from the automatic teat feeder and had a feeding plan for a restrictive rearing period. The feeding stall had automatic doors and the calves had access to the post feeding area. The post feeding area was equipped with three sealed rubber teats fixed onto a bucket and a net filled with a straw bale was hung up at the truss.

The treatment **"diameter"** (item 5) and exercise yard got milk replacer from the automatic teat feeder and had a feeding plan for a restrictive rearing period. Directly before the teat, a small metal canal reduced the diameter of the milking tube from 6 mm to 2 mm. The feeding stall had automatic doors without access to the post feeding area.

The **"glucose group"** (item 6) with exercise yard got milk replacer from the automatic teat feeder and had a

Table. 1:

Basic data of the study

treatment	item	milk treatment	add on 2 g glucose per litre	diameter milking tube [mm]	housing system	entry post feeding area	feeding stall system
"whole milk"	1	whole milk	no	6	with exercise yard	no	automatic doors
"cow-calf-I"	2	whole milk cow/ foster cow	no	-	with exercise yard	no	without feeding stall
"milk replacer"	3	milk replacer	no	6	with exercise yard	no	automatic doors
"post feeding area"	4	milk replacer	no	6	with exercise yard	yes	automatic doors
"diameter"	5	milk replacer	no	2	with exercise yard	no	automatic doors
"glucose"	6	milk replacer	yes	6	with exercise yard	no	automatic doors
"cow-calf-II"	7	whole milk cow/ foster cow	no	-	with exercise yard	no	without feeding stall
"ad lib whole milk"	8	whole milk	no	6	with exercise yard	no	automatic doors
"open feeding stall"	9	milk replacer	no	6	two-floor	no	without a door
"glucose and post feeding area"	10	milk replacer	yes	6	with exercise yard	yes	automatic doors
"ad lib milk replacer"	11	milk replacer	no	6	with exercise yard	no	automatic door
"fixation"	12	milk replacer	no	6	two-floor	no	automatic door with fixation

feeding plan for a restrictive rearing period. The feeding stall had automatic doors without access to the post feeding area. Two grams of glucose were added to each kg of mixed milk replacer.

The **"ad libitum groups"** with exercise yard got milk replacer (item 11) or whole milk (item 8) from the automatic teat feeder. At the beginning of the rearing period they got 15 litres milk divided into three meals per day and later 10.0 litres milk in one milk meal per day. The feeding stall had automatic doors without access to the post feeding area.

The calves of the treatment feeding stall without a door (**"open feeding stall"**; item 9) and a two floor-system without exercise yard got milk replacer from the automatic teat feeder with a feeding plan for a restrictive rearing period. The **"post feeding area group with glucose"** (item 10) and exercise yard got milk replacer and 2 g glucose per litre from the automatic teat feeder and had a feeding plan for a restrictive rearing period. The calves left the feeding stall sideways into the post feeding area equipped with three sealed rubber teats fixed to a bucket.

The calves of the treatment **"fixation"** (item 12) with a two floor-system without exercise yard got milk replacer from the automatic teat feeder and had a feeding plan for a restrictive rearing period. The feeding stall had a door, which closed for 10 min after the beginning of the milk meal.

The data acquisition of the cross-sucking behaviour was carried out by direct observation within an age group of calves between 39 to 58 days. The objects of the observation were the duration of the milk intake and cross-sucking behaviour; the observation took place over three days at the same time: In all treatments with feeding by the automatic teat feeder the calves had access to their milk at 5 p. m. The calves of the cow-calf-groups got their only milk meal per day at 2.30 p. m. The observation started at the beginning of the milk intake and finished 20 minutes after the end of the milk meal.

At the age of 50 to 65 days all calves in all treatments were bled to obtain their blood glucose profile. All calves were bled seven times on the sampling day. The first sample was taken between two and three hours before the milk intake, the second directly before milk intake, the third directly after finishing the milk meal and the fourth to seventh, 7:30 min, 15 min 1 hour, 2 hours respectively after finishing the milk meal. In addition data of the calf feeder and from the video observation were collected.

All data were transferred into Excel sheets. The data were tested by statistic package SAS (9.1).

Negative tests of normality indicated the use of non-parametric procedures (H test, U test).

The Mann-Whitney U test was used as a non-parametric test for assessing whether two independent samples

of observations come from the same distribution. For the comparison of more than two independent samples the Kruskal-Wallis H test was conducted.

3 Results

In those treatments with a restrictive drinking plan the milk intake was limited to 3.0 litres per calf during the direct observation. The mean amount of milk in the cow-calf-groups was between 8.0 to 8.5 l, in the ad libitum milk replacer group 7.4 l and in the ad libitum whole milk group 9.2 l (Table 2).

The duration of milk intake in those treatments with a restrictive drinking plan ranged between 03:50 min and 05:25 min. The cow-calf-groups showed durations between 10:44 min and 11:11 min, and the ad libitum groups 14:01 min and 15:29 min (Table 2). The milk flow (l/min) was highest for the treatment whole milk with 1.130 l/min. The ad libitum whole milk group had a milk flow of 1.060 l/min and the milk replacer group of 0.962 l/min. The ad libitum milk replacer group had 0.952 l/min and the treatment without door 0.946 l/min. The lowest milk flow was found in the treatments fixation with 0.799 l/min and the cow-calf-II with 0.727 l/min (Table 2).

Table. 2:

Median of amount of milk, duration of milk meal and milk flow

treatment	item	mean of		
		amount of milk [l]	duration of milk intake [mm:ss]	suckling speed [l/m]
"whole milk"	1	3.0	3:50	1.130
"cow-calf-I"	2	8.0	14:01	0.842
"milk replacer"	3	3.0	4:30	0.962
"post feeding area"	4	3.0	5:00	0.865
"diameter"	5	3.0	5:15	0.824
"glucose"	6	3.0	4:54	0.882
"cow-calf-II"	7	8.5	15:29	0.727
"ad lib whole milk"	8	9.2	11:11	1.060
"open feeding stall"	9	3.0	5:25	0.946
"glucose and post feeding area"	10	3.0	5:06	0.861
"ad lib milk replacer"	11	7.4	10:44	0.952
"fixation"	12	3.0	4:34	0.799
H-Test		***	***	***

Lower blood glucose levels were found between two and three hours before milk intake in the treatments post feeding area with 4.605 mmol/l and post feeding area with glucose with 4.910 mmol/l. The highest levels were found in the cow-calf-group-II with 6.670 mmol/l and

the ad libitum groups with values between 6.235 mmol/l and 6.205 mmol/l. The values of blood glucose were constant between the first sample and the third sample and showed values between 4.430 mmol/l and 5.945 mmol/l. The treatment ad libitum whole milk and the cow-calf-groups increased from 6.205 mmol/l and 6.670 mmol/l up to 6.830 mmol/l and 8.340 mmol/l. The exception was the ad libitum milk replacer group with constantly decreasing values from 6.195 mmol/l to 5.677 mmol/l and an increase to 6.205 mmol/l (Table 3).

Table 3:

Median of blood glucose profiles

item	point in time				
	Basal sample 2-3 h before milk intake [mmol/l]	directly before milk intake [mmol/l]	directly after finishing milk intake [mmol/l]	7:30 m after finishing milk intake [mmol/l]	15 m after finishing milk intake [mmol/l]
1	5.320	4.915	5.020	4.950	5.670
2	6.335	6.115	7.045	7.160	8.010
3	5.395	5.230	5.170	5.255	6.555
4	4.605	4.460	4.430	4.790	5.990
5	5.440	5.295	5.245	5.810	6.440
6	5.470	5.400	5.375	5.960	6.590
7	6.670	6.585	8.340	8.780	9.160
8	6.235	5.950	6.830	7.850	8.585
9	5.945	5.960	5.660	6.055	6.790
10	4.910	4.910	4.970	4.580	4.710
11	6.205	5.655	6.195	7.430	8.255
12	5.855	5.490	5.355	5.375	6.350
H test	***	***	***	***	***

In the 15 min period after finishing the milk meal the calves showed cross-sucking behaviour, which is related to milk intake. In this period eleven treatments had an increase in blood glucose. The increase was between 0.650 mmol/l to 2.060 mmol/l with values between 5.670 mmol/l and 9.160 mmol/l. The highest increase resulted from the treatments milk replacer, post feeding area and ad libitum whole milk. The value of the ad libitum increased by 2.060 mmol/l and had a value of 8.255 mol/l. The lowest values 7:30 min after finishing the milk meals were found in the post feeding area with glucose at 4.580 mmol/l and 15 min later at 4.710 mmol/l. The post feeding group and whole milk group showed values of 4.790 mmol/l and 4.950 mmol/l with an increase to 4.790 mmol/l and 5.990 mmol/l. The treatments milk replacer, diameter, glucose, feeding stall without door and fixation showed values be-

tween 5.255 mmol/l and 6.055 mmol/l which increased to 6.350 mmol/l and 6.790 mmol/l. The values for the ad libitum milk replacer group and the cow-calf-I group increased from 7.160 mmol/l and 7.430 mmol/l to 8.010 mmol/l and 8.255 mmol/l. The highest values were found in the treatments cow-calf-II and ad libitum whole milk with 8.780 mmol/l and 7.850 mmol/l. These values increased to 9.160 mmol/l and 8.585 mmol/l (Table 3).

There was no cross-sucking within the cow-calf-groups. In the ad libitum groups one to two calves showed this behaviour. The same was observed in the treatments milk replacer, post feeding area and post feeding area with glucose. In the treatment fixation three calves showed cross-sucking, but this could have been easily eliminated because the cross sucking was possible only due to an insufficient design of the door. Most calves (5 to 8 per observation day) with cross-sucking behaviour belong to the treatment feeding stall without door (Table 4).

Table 4:

Cross-sucking behaviour

item	number of calves with cross-sucking [n]		
	observation day 1	observation day 2	observation day 3
1	5	5	8
2	0	0	0
3	1	1	1
4	2	2	2
5	7	6	5
6	2	4	5
7	0	0	0
8	1	0	0
9	5	9	8
10	2	1	1
11	2	2	2
12	2	4	3

4 Discussion

The discussion is limited to the parameter cross-sucking and blood glucose level.

In an experiment by Meier (1997) an addition of 2 g of glucose per litre milk replacer showed a reduction of the number of cross-sucking bouts of 0.14 and a duration of 0.27 min per bout in contrast to the control group with cross-sucking bouts of 2.97 and a duration of 3.29 min per bout.

Egle (2004) added an addition of 2 g of glucose per litre milk or milk replacer reduced cross-sucking. The number of cross-sucking bouts was 0.93 and the duration was 2.72 min per bout in contrast to the control group with

cross-sucking bouts of 2.92 and duration of 9.49 min per bout. Even an addition of 1 g of glucose per litre milk or a Glucose-Lick-Stone reduced cross-sucking bouts with a number of 1.5 to 4 and a duration of 2 to 5 min in contrast to a number of 6 bouts per day with a duration of 15 min.

In contrast to that an experiment by Brummer (2004) showed no influence of a Glucose-Lick-Stone on cross-sucking. The mean duration per group and day (11 calves per group) was nearly the same in the control group (42:54 min) and in the experimental group (43:01 min).

In an experiment by Floemer (2006) the cross-sucking behaviour of calves that were fed with whole milk tended to be less than in the group fed with milk replacer. But the blood glucose level increased more sharply during the 15 min after milk intake than in the whole milk group. Generally the blood sampling of the cow-calf group had significantly higher blood glucose levels. In a further experiment the addition of 2 g glucose per litre milk replacer resulted in more cross-sucking than without glucose.

The experiments showed different results as to cross-sucking behaviour.

Our results indicated that there is an influence of the feeding strategy in relation to the blood glucose level. But a higher blood glucose level alone (e. g. open feeding stall) mustn't result in less cross-sucking behaviour.

5 Conclusion

The study indicates three possibilities for reducing cross-sucking behaviour in group housed calves. The practical use of the solutions depends on farm size and the calf-management. In farms, where the teat feeder is running at partial capacity, the solution of fixing the calf after a meal is practical. The feeding stall is closed for about five minutes after the end of the milk meal. In farms with the teat feeder running at full capacity, the solution with the post feeding area seems to be more practical. Due to the fast exit of the calves from the feeding stall, probably more calves can drink per station. The solution with foster cows is qualified for fewer farms. Generally calves are being favoured that take concentrates and less milk very early cause of economic reasons. However there is a potential in the foster cow-rearing method especially for organic dairy farmers, because calves show no cross-sucking and there might be health-benefits in foster-cow reared calves.

References

- Brummer S (2004) Untersuchungen zur Reduzierung des gegenseitigen Besaugens bei Kälbern in Gruppenhaltung mit Tränkeabrufautomaten. Freising : LfL, 110 p, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 2004/4
- De Passillé AM (2001) Sucking motivation and related problems in calves. *Appl Anim Behav Sci* 72:175-187
- Egle B (2004) Verhaltensbeobachtungen zum gegenseitigen Besaugen von Fleckviehkälbern. Halle : Univ, 148 p
- Ferrante V, Canali E, Verga M, Carenzi C (1991) Effects of computerized milk feeder on behaviour and welfare calves. *EAAAP Publication* 52:76-80
- Floemer M (2006) Untersuchung zum gegenseitigen Besaugen von HF-Kälbern unter Berücksichtigung des Blutglukosespiegels. Göttingen : Univ [Masterarbeit]
- Graf B, Verhagen N, Sambras HH (1989) Reduzierung des Ersatzsaugens bei künstlich aufgezogenen Kälbern durch Fixierung nach dem Tränken oder Verlängerung der Saugzeit. *Züchtungskunde* 61(5):384-400
- Jensen MB, Holm L (2003) The effect of milk flow rate and milk allowance on feeding related behaviour in dairy calves fed by computer controlled milk feeders. *Appl Anim Behav Sci* 82:87-100
- Keil NM, Zwicky U, Schrader L (2001) Einfluss der Umweltkomplexität auf Verhalten und gegenseitiges Besaugen von Aufzuchtälbern in Gruppenhaltung. *KTBL-Schrift* 40:776-83
- Kittner M, Kurz H (1967) Ein Beitrag zur Frage des Verhaltens der Kälber unter besonderer Berücksichtigung des Scheinsaugens. *Arch Tierzucht* 10(1):41-60
- Lidfors LM (1993) Cross-sucking in group-housed dairy calves before and after weaning off milk. *Appl Anim Behav Sci* 38:15-24
- Meier K (1997) Das gegenseitige Besaugen von Fleckviehkälbern unter Beachtung physiologischer Parameter. FH Nürtingen, Diplomarbeit. Zitiert in: Egle B (2004) Verhaltensbeobachtungen zum gegenseitigen Besaugen von Fleckviehkälbern. Alle : Univ, 148 p
- Maity S, Tomer O (1998) Effect of feeding management. *Indian J Anim Product Manage* 14(1):55-57
- Phillips CJC (2004) The effects of forage provision and group size on the behaviour of calves. *J Dairy Sci* 87:1380-1388
- Roth BA, Hillmann E, Stauffacher M, Keil NM (2004) Einfluss einer individuell angepassten Abtränkmethode auf das gegenseitige Besaugen und die Gewichtsentwicklung von Aufzuchtälbern. *KTBL-Schrift* 437:154-164
- Sambras HH (1985) Zur Beurteilung von Haltungssystemen für Kälber. *Tierärztl Umsch Heft* 40:758-767
- Weber R (1998) Reduzierung des Besaugens von Artgenossen bei Kälbern durch Verwendung eines verschließbaren Tränkestandes. *KTBL-Schrift* 382:146-152

Potential of Near Infrared Spectroscopy for differentiation of organically and conventionally produced milk

Karen Aulrich* and Joachim Molkentin**

Abstract

Increasing sales of organic milk require powerful and reliable methods to test the authenticity of milk. The composition of milk, especially the contents of ω 3-fatty acids (FA), is fundamentally influenced by feeding. Therefore, near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) was evaluated as a possible alternative to gas chromatography (GC) for the quantitative analysis of FA. Furthermore, the applicability of NIRS for discrimination between organically and conventionally produced milk was examined.

To record the variable effect of feeding, including seasonal effects, two conventional brands and one organic brand of retail milk were purchased biweekly during a period of 18 months. Additionally, one organically produced milk sample was collected in the same intervals directly from a farm.

FA contents were determined by GC, and NIRS calibrations were developed with these reference data by PLS regression. As a result, a standard error of prediction (SEP) of 0.099 % for C18:3 ω 3 and a regression coefficient (Rval) of 0.9 were obtained. For the prediction of C20:5 ω 3, the SEP was 0.014 %, and the Rval 0.83. The contents of ω 3-FA predicted by NIRS reflected seasonal differences, with higher levels in organic milk samples. The average amount of C18:3 ω 3 content in organic milk fat was 0.73 ± 0.16 %, and in conventional milk fat 0.42 ± 0.1 %. The average amount of C20:5 ω 3 content in organic milk fat was 0.12 ± 0.02 % and in conventional milk fat 0.08 ± 0.01 %. Under time resolved analysis of milk samples from both production systems, the differentiation was successful.

The results indicated that NIRS could be used to predict ω 3-FA in milk samples and had the potential to be used as fast method to discriminate between the milk production systems.

Keywords: *milk authentication, differentiation, organic milk, fatty acids, NIRS*

Zusammenfassung

Potential der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) zur Differenzierung ökologisch und konventionell produzierter Milch

Der ständig wachsende Marktanteil ökologisch erzeugter Milch erfordert leistungsstarke und zuverlässige Methoden zur Herkunftssicherung der Milch. Die Zusammensetzung der Milch, speziell die Gehalte an ω 3-Fettsäuren (FS) werden im Wesentlichen durch die Fütterung beeinflusst. Deshalb wurde die NIRS als mögliche Alternative zur Gaschromatographie (GC) für die quantitative Analyse der FS bewertet und ihre Eignung für die Unterscheidung von ökologisch und konventionell produzierter Milch geprüft. Um variable Effekte der Fütterung einschließlich saisonaler Effekte aufzuzeigen, wurden zwei konventionell und eine ökologisch erzeugte Markenmilch im zweiwöchigen Abstand über 18 Monate im Einzelhandel gekauft. Zusätzlich wurde im gleichen Intervall eine ökologisch erzeugte Milch direkt ab Hof bezogen. Die FS-Gehalte wurden mittels GC bestimmt und für die Entwicklung von NIRS Kalibrationen verwendet. Für die Vorhersage der Gehalte an C18:3 ω 3 wurde ein Standardfehler (SEP) von 0,099 % und ein Regressionskoeffizient (R) von 0,9 erhalten, für C20:5 ω 3 betrug der SEP 0,014 %, der R 0,83. Die geschätzten Gehalte an ω 3-FS spiegelten die jahreszeitlichen Schwankungen wider mit höheren Werten in den ökologischen Milchproben. Der Durchschnittsgehalt an C18:3 ω 3 im Fett ökologisch erzeugter Milch (öM) betrug $0,73 \pm 0,16$ %, der im Fett konventionell erzeugter Milch (kM) $0,42 \pm 0,1$ %. Für C20:5 ω 3 betrug der Durchschnittsgehalt in öM $0,12 \pm 0,02$ %, in kM $0,08 \pm 0,01$ %. Unter jahreszeitlicher Auflösung der Ergebnisse beider Produktionsweisen war eine Differenzierung erfolgreich. Die NIRS kann zur Schätzung der ω 3-FS in Milchproben eingesetzt werden und bietet Potential, als schnelle Methode zur Unterscheidung der Produktionsweise von Milch genutzt zu werden.

Schlüsselwörter: *Authentifizierung, Differenzierung, ökologisch erzeugte Milch, Fettsäuren, NIRS*

* Johann Heinrich von Thünen-Institut, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries, Institute of Organic Farming, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Germany, karen.aulrich@vti.bund.de, www.vti.bund.de

** Max Rubner-Institut, Federal Research Institute of Nutrition and Food, Department of Safety and Quality of Milk and Fish Products, Hermann-Weigmann-Strasse 1, 24103 Kiel, Germany, joachim.molkentin@mri.bund.de, www.mri.bund.de

Introduction

The market for organically produced foodstuffs has been growing continuously over recent years. The organic foodstuff market was, with 10 % growth in 2008, the most dynamic market within the whole foodstuff market in Germany (BÖLW, 2009). The milk market recorded real growth as well. In Germany, 11 % of fresh drinking milk sold in food retailing was organically produced (Behr et al., 2009). In contrast, the proportion of organic UHT-milk amounted to only 1 %. Altogether the share of organic milk in food retailing was 4.1 % in 2008 (BÖLW, 2009).

The consumption of organic milk is, on the one hand, associated with potential benefits to human health resulting from the increased amounts of ω 3-fatty acids (FA) and, largely, of the main conjugated linoleic acid (CLA) isomer C18:2 cis-9, trans-11. In fact, ω 3-FA have been linked to protection against coronary heart disease (Hu et al., 2002) and as a preventive agent against breast cancer (Saadatian-Elahi et al., 2004). Consumers are willing to pay higher prices for organic products if they are sure of the organic source and convinced, furthermore, of the positive effects of organic production on ecological, ethical and social factors (Rippin, 2008). To assure the authenticity of organic products, and therefore to protect the consumer from wrongly labelled products, there is a continuing demand for new, rapid and relatively cheap methods for direct measurements of food and food ingredients.

There have been previous promising investigations for authentication of organic milk based on gas-chromatographic analysis of FA, or stable isotope analysis of carbon in milk fat, or a combination of both (Molkentin et al., 2007; Molkentin, 2009). It's a matter of common knowledge that the FA profile of bovine milk depends both on the FA profile of the feed and the biohydrogenation process in the rumen. The rules for organic milk production in the EU (EG, 2007; EG, 2008) require a high proportion of roughage in rations (60 %) during the whole year, and specify pasturing. The content of concentrates is also limited to 40 % (EG, 2007; EG, 2008). Several investigations reported higher levels of ω 3-FA in milk fat depending on pasture periods or on the intake of roughage, fresh grass or clover, respectively (Butler et al., 2008; Ellis et al., 2006; Jahreis et al., 1996; Kraft et al., 2003). The positive association of the amount of pasture with the CLA content was also investigated in numerous studies. However, the results differ with regard to the composition of organic milk. Some authors reported a higher CLA content in organic milk (Bergamo et al., 2003; Butler et al., 2008; Jahreis et al., 1996; Kraft et al., 2003), whereas others reported no significant overall differences (Ellis et al., 2006; Molkentin, 2009; Toledo et al., 2002). All results in the cited studies were obtained by sophisticated analytical methods and special analytical equipment, requir-

ing skilled operators and large amounts of time. Therefore, the applicability of near infrared spectroscopy (NIRS) should be examined as a tool for authentication of organic milk.

NIRS is widely used in the food and feed industries, and many applications in agricultural and food analysis exist, as recently summarized (Karoui et al., 2007; Wang et al., 2004). For instance, NIRS was used to predict the FA composition of cheeses (Lucas et al., 2008) and for determination of the geographic origin of Emmental cheeses (Pillonel et al., 2003). It has also been used to quantify FA in forages (Foster et al., 2006), or to predict FA in rabbit meat with the aim of discriminating between conventional and organic production (Pla et al., 2007). The possibilities of using NIRS are enormous, and the main advantages of NIR techniques are their rapidity, no need for sample preparation and therefore the low costs.

The objective of this study was to evaluate the ability of NIRS to differentiate between organically and conventionally produced milk based on the prediction of ω 3-FA and CLA-contents in milk fat. Considering the known seasonal variations of FA-contents, the study was conducted over 18 months. With regard to the high share of fresh drinking milk in retail food sales, the focus was retail milk, but compared with organic farm milk as directly sold milk.

Materials and methods

Samples

Milk samples were collected between December 2005 and May 2007 in biweekly intervals. On each sampling day two conventionally and one organically produced brands of whole milk were purchased in retail stores in Kiel, Germany. Conventional milk originated from Schleswig-Holstein as well as Mecklenburg-Western Pomerania and organic milk from North Rhine-Westphalia. Additionally one organically produced milk sample was collected at the same intervals directly from a farm located in the north of Germany, near Kiel. Directly after collection, the farm-milk was pasteurized. Subsequent to this biweekly collection, the samples were subdivided into two sub-samples. One sub-sample was directly transferred to the laboratory in Trenthorst and subjected to spectral analysis by NIR. The other sub-sample was used for extraction of the milk fat according to the method of Roese-Gottlieb with the modification that the solvents were removed by rotary evaporation at a maximum water bath of 45 °C instead of 102 °C to prevent fat from heat-induced changes. The extracted fat samples were stored at -18 °C until further analysis of fatty acids by gas chromatography. Altogether a sample set of 144 milk samples, 72 organically and 72 conventionally produced, could be used for the development and validation of the NIR calibrations.

Reference analysis of fatty acids

The fatty acid composition of milk fat was determined by gas chromatography (GC) after transesterification into fatty acid methyl esters using sodium methylate, as described by (Molkentin, 2009). The results were expressed as weight percentage (g/100 g of fatty acids).

NIR Analysis

Near infrared spectra were obtained by the Fourier-Transform NIR-Spectrometer NIRLab N-200 (Büchi, Essen, Germany). Approximately 20 ml of the fresh milk, tempered to 20 °C, were placed into a glass Petri dish, covered with a plate and the spectrum was measured by diffuse reflection in the spectral range from 1.000 to 2.500 nm with a spectral resolution of 1 nm. Each sample was scanned in triplicate and then the spectra were averaged. Spectral data were exported to the NIRCal software (Büchi, Essen, Germany), and different mathematical pre-treatments were performed.

Calibration and statistics. Calibrations were developed using the chemometric software NIRCal version 4.21 (Büchi, Essen, Germany). The samples were divided into calibration ($n = 96$) and validation sets ($n = 48$). Spectral data were regressed against GC data. The partial least square (PLS) regression method was used for the individual fatty acids, whereas the main focus was given to the polyunsaturated n-3 fatty acids α -linolenic acid (C18:3 ω 3) and eicosapentaenoic acid (C20:5 ω 3) and to the CLA (C18:2c9, t11). To optimize the accuracy of calibration, the data were subjected to different scattering corrections and mathematical treatments (especially Savitzky-Golay smoothing, normalisation between 0 and 1 and derivations of first order). The best treatment was selected for each fatty acid on the basis of the highest coefficient of determination in calibration (R_{cal}) and validation (R_{val}) and the lowest standard error of calibration and validation (SEE and SEP), respectively.

Results and discussion

NIRS calibration equations were developed for α -linolenic acid (C18:3 ω 3), eicosapentaenoic acid (C20:5 ω 3) and the main conjugated linoleic isomer C18:2 c9, t11 after testing different mathematical treatments. The statistical summary of the best calibration and prediction for the above mentioned fatty acids is shown in table 1. C18:3 ω 3, C20:5 ω 3 and CLA were satisfactorily predicted with values ranging from 0.98 to 0.83 for R_{val} values and 0.014 to 0.099 for standard error of prediction.

Table 1

Fatty acid composition in weight percentage (g/100 g fat) within the calibration and validation sets

Fatty acid	Calibration set				Validation set			
	Range	Mean	R_{cal}	SEE	Range	Mean	R_{val}	SEP
C18:2c9, t11	0.28-1.32	0.55	0.98	0.035	0.30-0.92	0.50	0.98	0.035
C18:3 ω 3	0.1-1.19	0.58	0.91	0.098	0.31-1.16	0.54	0.88	0.099
C20:5 ω 3	0.06-0.16	0.098	0.84	0.014	0.06-0.15	0.099	0.83	0.014

The successful prediction of the ω 3-fatty acids and the main CLA was the basis for the investigations on the applicability of NIRS for differentiation between conventionally and organically produced milk. The main question of the investigation was whether the NIRS-derived contents of specific fatty acids in milk from both production systems vary enough to show differentiation over the whole year. The seasonal variations in FA composition, documented by various authors (Ellis et al., 2006; Molkentin, 2009; Toledo et al., 2002), were included in the study and therefore the sampling period lasted 18 months. The FA composition is mainly influenced by the feed. It is well known that the higher the percentage of roughage in organic feeding, the higher the level of polyunsaturated ω 3-FA in milk fat (Collomb et al., 2008; Jahreis et al., 1996; Molkentin et al., 2007). Another factor influencing the elevated ω 3-FA levels in milk fat have been related to the limited use of concentrates in organic farming (EG, 2007; EG, 2008).

Figure 1 shows the seasonal variations of the C18:3 ω 3 content in milk fat of organically (OM) and conventionally (CM) produced milk predicted by NIRS. As expected, the amounts of C18:3 ω 3 varied between the seasons independently of the production system, but the amounts were always higher in organically produced milk, with the average value of 0.73 ± 0.16 % versus 0.42 ± 0.10 % in conventionally produced milk. The higher C18:3 ω 3 content in organic milk corresponds well with the guidelines for organic milk production where permanent access to pasture is regulated (EG, 2007; EG, 2008). The seasonally resolved values (Figure 1) showed differences between the amounts of C18:3 ω 3 in organically and conventionally produced milk on each individual sampling date except for one sampling date (20/02/2006) in the winter season. The difference averaged 0.32 ± 0.17 %. The differences in evidence were higher between the farm-milk samples and the retail conventional milk samples, but unfortunately conventional farm-milk samples were not included in the actual study. Except for the first winter season 2005/2006, the minimum difference was 0.1 % but extended up to 0.88 % during the grazing period.

Recently a C18:3 ω 3 content of $>0.50\%$ (analyzed by GC) of total milk fat was proposed (Molkentin, 2009) as an all-year criterion for the authentication of organic milk. However, with respect to grazing periods in conventional production systems restricted to certain regions, such as highlands or mountain regions, this limit is too tight to exclude any conventional milk. In addition, special feeding programs within the scope of conventional production (in the meaning of not being certified organic) aiming at producing a so-called pasture milk with a higher content of ω 3-fatty acids and CLA result in an independent niche product and will not be competitive compared to organic milk in terms of a lower price. However, a different limit for summer and winter milk could be a solution and should be further discussed in the scientific community and examined in additional investigations. Even though the C18:3 ω 3 content is not suitable for a complete distinction of organic and conventional milk, a minimum content set up for organic milk allows for the exclusion of the vast majority of conventionally produced German milk as non-organic.

The direct comparison of the all-year variation and the variation during the grazing period is shown in figure 2. In detail, the average amount of C18:3 ω 3 in organic farm-milk samples was $0.77 \pm 0.19\%$ versus $0.70 \pm 0.11\%$ in organic retail milk samples and $0.42 \pm 0.10\%$ in conventional retail samples (Figure 2, white filled columns). Marked differences between organic farm and retail milk, shown respectively in the grey columns in figure 2, were observed during the grazing period from April to October with $0.94 \pm 0.13\%$ versus $0.72 \pm 0.08\%$ for the C18:3 ω 3 content. In contrast, the amount of C18:3 ω 3 in conventional milk samples during the grazing period increased marginally to $0.46 \pm 0.09\%$. NIRS-analyses have to be continued on a higher number of samples to establish representative variations. However, the distinction between organic and conventional milk on the basis of C18:3 ω 3 contents have been demonstrated on principle also using a greater collection of German milk (Molkentin, 2009).

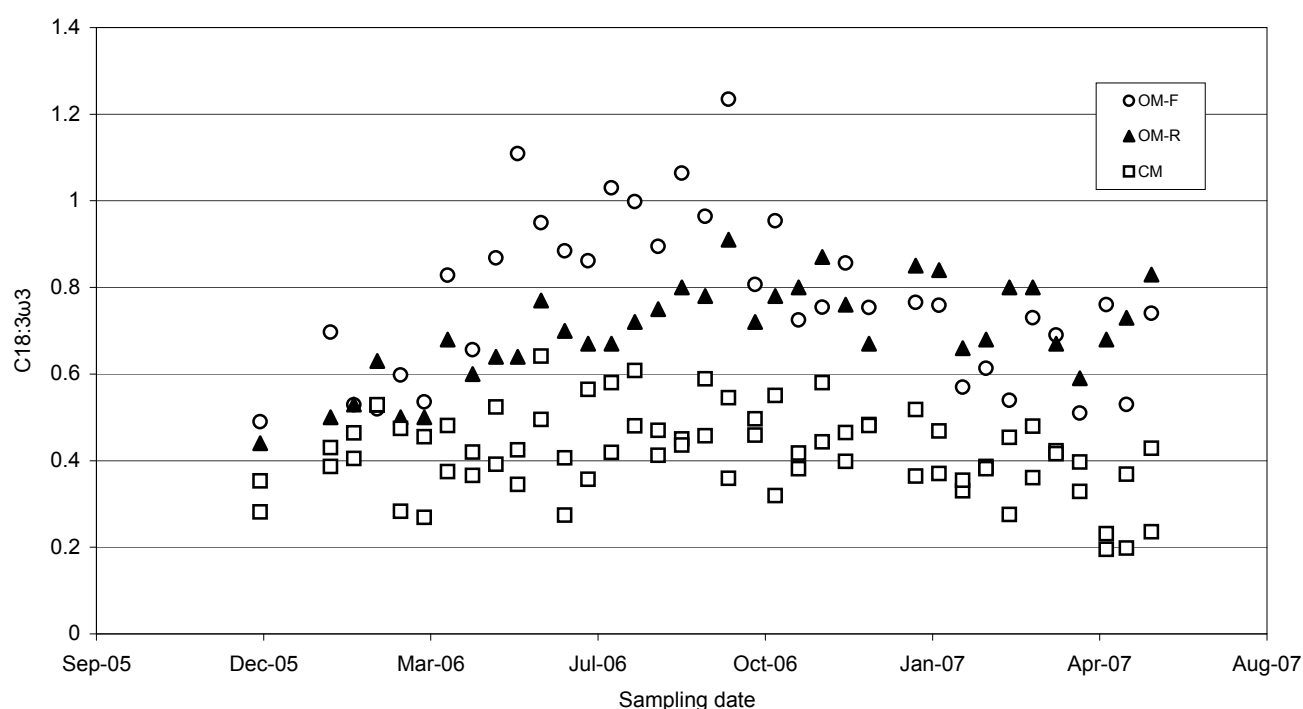


Figure 1:

Seasonal variation of the C18:3 ω 3 content in milk fat of retail and farm milk (OM-F: organic farm milk, OM-R: organic retail milk, CM: conventional retail milk) predicted by NIRS

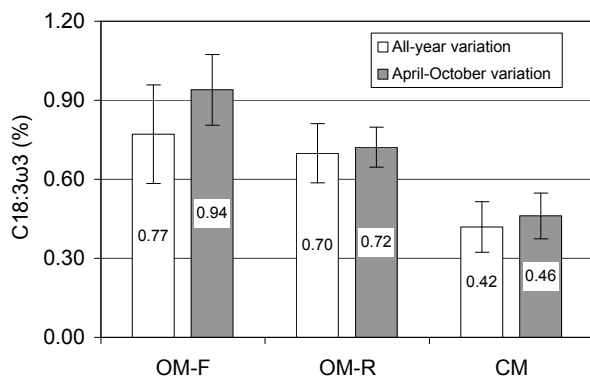


Figure 2:

All-year variation in contrast to April to October variation of the C18:3 ω 3 content in milk fat (means and standard deviations for: OM-F: organic farm milk, OM-R: organic retail milk, CM: conventional retail milk) predicted by NIRS

The seasonal differences, described above for C18:3 ω 3 were also observed for C20:5 ω 3 (Figure 3), but the variations are not as definitive. As expected, the average amount of C20:5 ω 3 in organically produced milk fat was greater than in conventionally produced milk fat, with 0.12 ± 0.02 % compared with 0.08 ± 0.01 %. On each individual sampling day, the minimum difference between organic and conventional milk samples accounted for 0.01 %. The differences were detectable by NIRS except

for one sampling day (20/02/2006). One considers only the contents in organically produced milk, it is evident that the contents of C20:5 ω 3 in organic farm milk were always higher than in organic retail milk. This is confirmed by examination of the average values, both over the whole year and during the grazing period from April to October (see Figure 4).

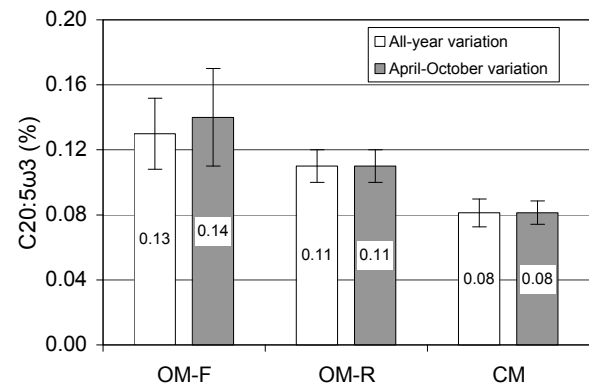


Figure 4:

All-year variation in contrast to April to October variation of the C20:5 ω 3 content in milk fat (means and standard deviations for: OM-F: organic farm milk, OM-R: organic retail milk, CM: conventional retail milk) predicted by NIRS

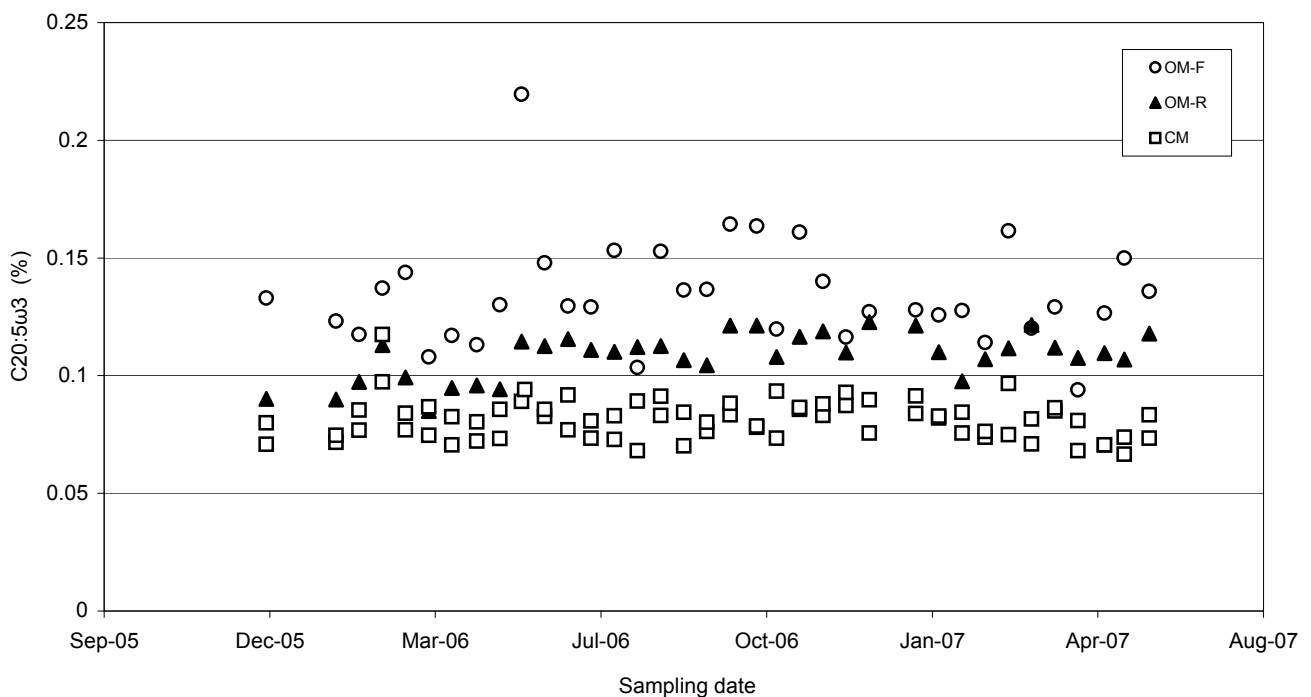


Figure 3:

Seasonal variation of the C20:5 ω 3 content in milk fat of retail and farm milk (OM-F: organic farm milk, OM-R: organic retail milk, CM: conventional retail milk) predicted by NIRS

The separate evaluation (Figure 4) of the contents of C20:5 ω 3 in organic farm-milk samples resulted in 0.13 ± 0.02 % versus 0.11 ± 0.01 % in organic retail samples. In contrast, in conventional milk samples 0.08 ± 0.01 % C20:5 ω 3 were analyzed. During the grazing period between April to October, the content of C20:5 ω 3 changed only marginally for the farm milk samples to 0.14 ± 0.03 %.

Different authors describe elevated amounts of CLA in milk as characteristic of organic production systems (Bergamo et al., 2003; Jahreis et al., 1996; Kraft et al., 2003). Our data show that CLA contents were higher during the grazing period, but in both production systems (Figure 5). A differentiation between organically and conventionally produced milk, especially during the winter season, was not possible with NIRS. These findings are in accordance with other published data by several investigators (Bergamo et al., 2003; Ellis et al., 2006; Molkentin et al., 2007; Molkentin, 2009; Toledo et al., 2002) using classical methods of fatty acid analysis. The differing results of the cited studies illustrate that CLA is not an appropriate parameter for differentiation of the milk production system.

Conclusions

The question of authentication of organic products remains a challenge for chemical analysts especially given the consideration of general consumer protection.

With regard to its rapidity and ease of handling, the NIRS has enormous potential for product authentication and differentiation of products from various systems.

The presented data indicated the possible application of NIRS to predict ω 3-FA in milk and the possibility of using the NIR results as a fast and easy method to differentiate milk production systems. Especially with due consideration to seasonal variations in the contents of the ω 3-FA C18:3 ω 3 and C20:5 ω 3, the NIRS could be used as screening method and therefore the quantity of extensive and costly gas-chromatographic analysis could be reduced. The prediction of CLA contents was also successful with NIRS, but the applicability of this parameter for differentiation appears not to be reasonable. Further investigations are necessary to prove the results for milk from other production regions, especially for imported milk.

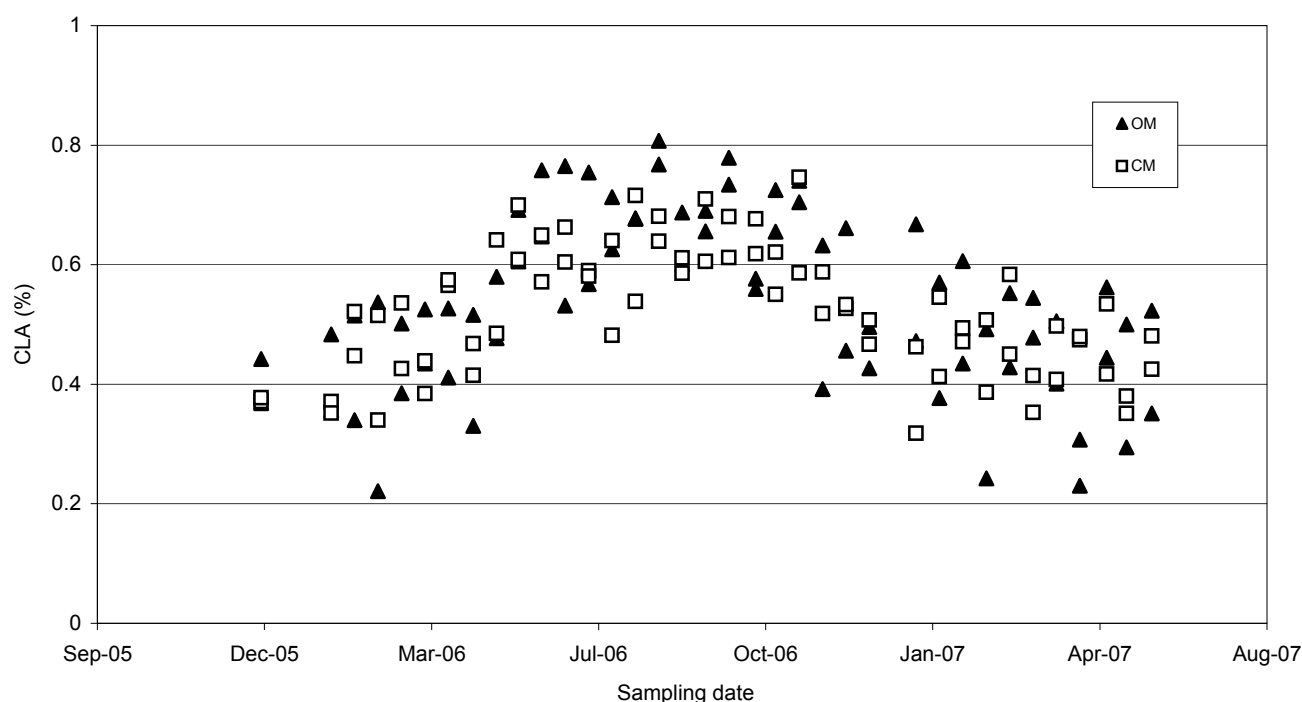


Figure 5:

Seasonal variation of the CLA (C18:2 c9 t11) content in milk fat (OM: organically produced milk, CM: conventionally produced milk) predicted by NIRS

References

- Behr HC, Bien B, Engelhardt H, Kasbohm A, Loof S, Schaak D, Thielen M (2009) Ökomarkt Jahrbuch 2009. Bonn : ZMP, Materialien zur Marktberichterstattung 86
- Bergamo P, Fedele E, Iannibelli L, Marzillo G (2003) Fat-soluble vitamin contents and fatty acid composition in organic and conventional Italian dairy products. *Food Chem* 82(4):625-631
- BÖLW (2009) Zahlen, Daten, Fakten : die Bio-Branche 2009 [online]. Zu finden in <http://www.boelw.de/uploads/media/pdf/Dokumentation/Zahlen___Daten___Fakten/ZDF_gesamt2009.pdf> [zitiert am 02.12.2009]
- Butler G, Nielsen JH, Slots T, Seal C, Eyre MD, Sanderson R, Leifert C (2008) Fatty acid and fat-soluble antioxidant concentrations in milk from high- and low-input conventional and organic systems : seasonal variation. *J Sci Food Agric* 88(8):1431-1441
- Collomb M, Bisig W, Bütikofer U, Sieber R, Bregy M, Etter L (2008) Fatty acid composition of mountain milk from Switzerland : comparison of organic and integrated farming systems. *Int Dairy J* 18(10-11):976-982
- EG (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. *Amtsbl Europ Union L* 189:10
- EG (2008) Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle. *Amtsbl Europ Union L* 250:1
- Ellis KA, Innocent G, Grove-White D, Cripps P, Mclean WG, Howard CV, Mihm M (2006) Comparing the fatty acid composition of organic and conventional milk. *J Dairy Sci* 89(6):1938-1950
- Foster JG, Clapham WM, Fedders JM (2006) Quantification of fatty acids in forages by near-infrared reflectance spectroscopy. *J Agric Food Chem* 54(9):3186-3192
- Hu FB, Willett WC (2002) Optimal diets for prevention of coronary heart disease. *JAMA* 288(20):2569-2578
- Jahreis G, Fritsche J, Steinhart H (1996) Monthly variations of milk composition with special regard to fatty acids depending on season and farm management systems conventional versus ecological. *Fett-Lipid* 98(11):356-359
- Karoui R, De Baerdemaeker J (2007) A review of the analytical methods coupled with chemometric tools for the determination of the quality and identity of dairy products. *Food Chem* 102(3):621-640
- Kraft J, Collomb M, Mockel P, Sieber R, Jahreis G (2003) Differences in CLA isomer distribution of cow's milk lipids. *Lipids* 38(6):657-664
- Lucas A, Andueza D, Ferlay A, Martin B (2008) Prediction of fatty acid composition of fresh and freeze-dried cheeses by visible-near-infrared reflectance spectroscopy. *Int Dairy J* 18(6):595-604
- Molkentin J (2009) Authentication of organic milk using delta C-13 and the alpha-linolenic acid content of milk fat. *J Agric Food Chem* 57(3):785-790
- Molkentin J, Giesemann A (2007) Differentiation of organically and conventionally produced milk by stable isotope and fatty acid analysis. *Anal Bioanal Chem* 388(1):297-305
- Pillonel L, Luginbuhl W, Picque D, Schaller E, Tabacchi R, Bosset JO (2003) Analytical methods for the determination of the geographic origin of Emmental cheese : mid- and near-infrared spectroscopy. *Eur Food Res Technol* 216(2):174-178
- Pla M, Hernandez P, Arino B, Ramirez JA, Diaz I (2007) Prediction of fatty acid content in rabbit meat and discrimination between conventional and organic production systems by NIRS methodology. *Food Chem* 100(1):165-170
- Rippin M (2008) Analyse von Forschungsergebnissen im Hinblick auf die praxisrelevante Anwendung für das Marketing von Öko-Produkten : Zusammenfassung - vergleichende Betrachtung und Erarbeitung von Empfehlungen für die Praxis [online]. Zu finden in <http://www.agromilagro.de/downloads/Marketing_von_Oeko-Produkten_Rippin2008.pdf> [zitiert am 02.11.2009]
- Saadatian-Elahi M, Norat T, Goudable J, Riboli E (2004) Biomarkers of dietary fatty acid intake and the risk of breast cancer: a meta-analysis. *Int J Cancer* 111(4):584-591
- Toledo P, Andren A, Bjorck L (2002) Composition of raw milk from sustainable production systems. *Int Dairy J* 12(1):75-80
- Wang DJ, Zhou XY, Jin TM, Hu XN, Zhong JE, Wu QT (2004) Application of near-infrared spectroscopy to agriculture and food analysis. *Spectroscopy Spectral Anal* 24(4):447-450

The influence of volatile compounds of the flavour of raw, boiled and baked potatoes: Impact of agricultural measures on the volatile components

Jana Franziska Dresow* and Herwart Böhm*

Abstract

The article deals with the development and identification of volatile compounds in raw, boiled and baked potatoes and their relevance for potato flavour. It outlines the influence of agronomic measures, such as the choice of variety, fertilization and storage, as well as the influence of diverse preparation possibilities on the formation of volatiles.

Flavour is created by aromatic volatile compounds that are biosynthesized in the plant during metabolic processes and further modified by cooking or processing. Especially the thermal reaction products are of decisive importance and responsible for the boiled and baked potato flavour. A multiplicity of reaction products are the consequence. Based on the literature research, there were 159 volatiles identified in raw potatoes, 182 in boiled and 392 in baked potatoes.

The flavour of raw, respectively processed, potatoes is variety specific, which means genetically defined. But the natural habitat determinants, the fertilization, storage conditions as well as the processing also have an influence on the forming of volatile compounds and could therefore affect the sensory quality. Although it is scientifically documented that particularly the fertilization and the storage conditions have an influence of the potato ingredients, there are hardly findings concerning volatile compounds in this context.

This stresses the future need for research, in particular regarding the effects of agronomic measures on the volatile compounds and sensory quality of raw as well as processed potatoes. By comparing the volatiles of raw potatoes with those of processed potatoes, positive or negative impacts by the raw product on the final product-flavour could be determined. This information could serve for breeding new varieties with certain properties which eventually comply with consumer demand.

Keywords: Potato, flavour, volatile compounds, agricultural measures, preparation methods

Zusammenfassung

Der Einfluss flüchtiger Verbindungen auf das Aroma roher, gekochter und gebackener Kartoffeln: Einfluss agronomischer Maßnahmen auf die flüchtigen Verbindungen

In dem Beitrag werden die Entstehungswege flüchtiger Verbindungen in rohen, gekochten und gebackenen Kartoffeln und deren Bedeutung für das Kartoffelaroma aufgezeigt. Des Weiteren wird der Einfluss von agronomischen Maßnahmen und verschiedenen Zubereitungsformen auf die Bildung flüchtiger Verbindungen herausgearbeitet.

Das Aroma wird durch flüchtige Verbindungen, die durch metabolische Prozesse in der Pflanze bzw. durch den Verarbeitungsprozess entstehen, hervorgerufen. Für das Aroma gekochter bzw. gebackener Kartoffeln sind besonders die thermischen Reaktionsprodukte von ausschlaggebender Bedeutung. Die Literaturrecherche ergab, dass bislang 159 flüchtige Aromastoffe in rohen Kartoffeln, 182 in gekochten sowie 392 in gebackenen Kartoffeln identifiziert wurden.

Das Aroma ist sortenspezifisch, d. h. genetisch festgelegt, aber auch Standort, Düngung, Lagerung, sowie Verarbeitung haben einen Einfluss auf die Bildung flüchtiger Verbindungen und können die sensorische Qualität beeinflussen. Während umfassend belegt ist, dass insbesondere Düngung und Lagerung einen deutlichen Einfluss auf Inhaltsstoffe haben, gibt es nur wenige Arbeiten über die Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Entstehung flüchtiger Verbindungen.

Es wird deutlich, dass ein hoher Forschungsbedarf hinsichtlich des Einflusses agronomischer Maßnahmen auf die sensorische Qualität von Kartoffeln besteht. Durch den Vergleich von Aromastoffen in rohen und zubereiteten Kartoffeln könnte auf positive bzw. negative Einflüsse von Roh- auf Endproduktaroma geschlossen werden. Diese Informationen könnten in der Züchtung genutzt werden, um Sorten mit bestimmten, den Konsumentenwünschen entsprechenden sensorischen Qualitäten zu etablieren.

Schlüsselworte: Kartoffel, Aroma, Flüchtige Verbindungen, agronomische Maßnahmen, Zubereitungsmethoden

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

1 Introduction

Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) are the world's most popular vegetable, a source of many essential nutrients and rich in vitamin C, potassium, and other vital nutrients. The annual world production of potatoes is around 300 million tons, and areas planted cover more than 18 million hectares (Cipotato, 2008).

The secret of the potato's success is its great diversity in colours, textures and tastes (FAO, 2008). One more reason for its vast popularity is that the tuber can be prepared in a number of different ways, including simple boiling, baking, deep-fat frying and dehydration. Its relatively neutral and bland, yet characteristic, flavour is another reason for the wide acceptance of the potato (Maga, 1994).

The flavour of a food is created by aromatic chemicals that are biosynthesized during normal metabolic processes in plants and animals, and possibly further modified by cooking or processing (Reineccius, 1999). Finally, human perception of flavour is influenced by numerous psychological and cultural factors (Jones, 2008).

This review concerns the formation and significance of the various volatile compounds that have been identified in raw, boiled and baked potatoes and the influence of agronomic measures like cultivar, fertilization, storage and different kinds of preparations on the forming of the flavour compounds.

Due to the widespread popularity of the potato, former potato flavour reviews exist (Johnson et al., 1971; Maga, 1994; Self, 1967; Solms and Wyler, 1979; Faulks, 1981) but they lack updates, are limited in scope in that they do not contain current information, and only a few papers deal with the influence of agronomic measures on the volatiles (Fischer, 1991; Hunnius et al., 1978; Khan et al., 1977; Jensen et al., 1999).

The volatiles in raw (Buttery and Ling, 1973; Fischer and Müller, 1991; Khan et al., 1977; Meigh et al., 1973; Self et al., 1963b) and boiled (Buttery et al., 1970; Buttery and Ling, 1974; Gumbmann and Burr, 1964; Josephson and Lindsay, 1987; Self et al., 1963b), respectively, baked potatoes (Buttery et al., 1973; Coleman and Ho, 1980; Ho and Coleman, 1980; Pareles and Chang, 1974) have been studied extensively.

Efforts have been made to differentiate which of these components are important for the characteristic flavour and which are specific to the type of cooking and preparation. Cultivar differences and influences due to agronomic and storage conditions have also been addressed (Dobson et al., 2004; Duckham et al., 2001; Duckham et al., 2002; Oruna-Concha et al., 2001; Oruna-Concha et al., 2002a; Oruna-Concha et al., 2002b).

But overall, the key contributors to potato flavour and taste have not been definitely identified (Morris et al.,

2007), nor is it entirely clear which agronomic measures influence the formation of volatile compounds.

2 Flavour nomenclature

The appreciation of flavour is a universal, everyday experience and is the integrated sensual response to a complex mixture of stimuli. Most predominant are the senses of smell and taste, but also decisive are sight (colour and appearance), tactile sensations (texture and mouth-feel) and pain (pungency) (Reineccius, 1999; Belitz et al., 2008; Kays and Wang, 2000).

The definition of flavour is the overall sensation resulting from the impact of the food on the chemical sense receptors in the nose and mouth. Taste is caused by stimulation of the gustatory cells of the buccal surface by soluble substances, nearly all of them non-volatile, released from the food into the saliva. Most of the flavour, however, is thought to be due to odorous volatile substances, released from the food into the air in the mouth and carried to the olfactory epithelium in the nose (Land, 1979). When the odorous molecules pass from the mouth to the nose via the inner passages during the eating process, then the complex sensation of taste and odour is called flavour. But the most important characteristic of flavour is the odour (Reineccius, 1999). This becomes obvious when a person catches a cold and can only sense flavour characteristics by the taste, tactile and temperature responses (Brillat-Savarin, 1962; Reineccius, 1999; Land, 1979; Heath and Reineccius, 1986).

It is important to note that a taste or odour is not an inherent property of a specific compound but is the psychological assessment of the individual sensing it. Therefore, the same compound can be perceived differently by different individuals or by the same individual at different times (Kays and Wang, 2000).

3 Volatile compounds

The presence and the level of volatile compounds generally determine the aroma and perceived flavour of a food (Whitfield, 1992; Maarse, 1991). Among the 7000 identified volatile compounds in foods, a relatively small number (300-400), in specific ratios, determine the characteristic odours of the product (Belitz et al., 2008). Analyses demonstrated that some very important aromas are not produced as a result of the presence of a unique characterizing compound; but rather a result of a reproducible blend of a particular number of components in proper balance. The compounds in potatoes predominantly include aldehydes, alcohols, ketones, acids, esters, hydrocarbons, amines, furans and sulphur compounds. The pattern and the number of volatile components obtained from potatoes can be

quite different, depending whether raw potatoes are used or the method used to prepare them (Self et al., 1963; Johnson et al., 1971; Whitfield and Last, 1991). Food produced with thermal process contains many more volatiles than the raw material (Belitz et al., 2008). These differences in amounts of volatiles depend on types of reactions which increased with higher temperatures (s. 3.1.2).

Several factors make the analysis of flavours somewhat challenging, these include their presence at low concentrations (ppm, ppt), complexity of mixtures, extremely high volatility (high vapor pressures), and instability of some flavour compounds in dynamic equilibria with other constituents in foods (Lindsay, 1996). The analysis of volatile compounds is generally conducted with gas chromatography (GC) combined with fast-scan mass spectrometry (MS) (Lindsay, 1996; Reineccius, 1999). As soon as the flavour of a food has been extracted, concentrated, separated and defined, a major question arises concerning each chemical's meaning for the flavour. The instrument response for the flame ionization detector used in GC re-

lates to the number of carbon-carbon bonds, whereas the human olfactory system varies greatly in response to different odours (Reineccius, 1999). So it could be that the smallest peak in a GC can be more important to flavour formation than the largest peak. It must also be accepted that the GC provides no appreciation of the flavour character of each component (Reineccius, 1999).

3.1 Volatile formation and its impact on flavour

The flavour of a raw or processed potato is very different, and it is quite difficult to specify the role of precursors in the various stages of the processes taking place in the raw and processed vegetable (Vernin, 1982). The aroma of vegetables may be considered to originate from the basic nutrients such as carbohydrates, particularly the monosaccharide and disaccharide, proteins, and free amino acids, and fats, triglycerides or their derivatives, as well as vitamins and minerals. These nutrients are produced by photosynthetic and related metabolic activities occurring

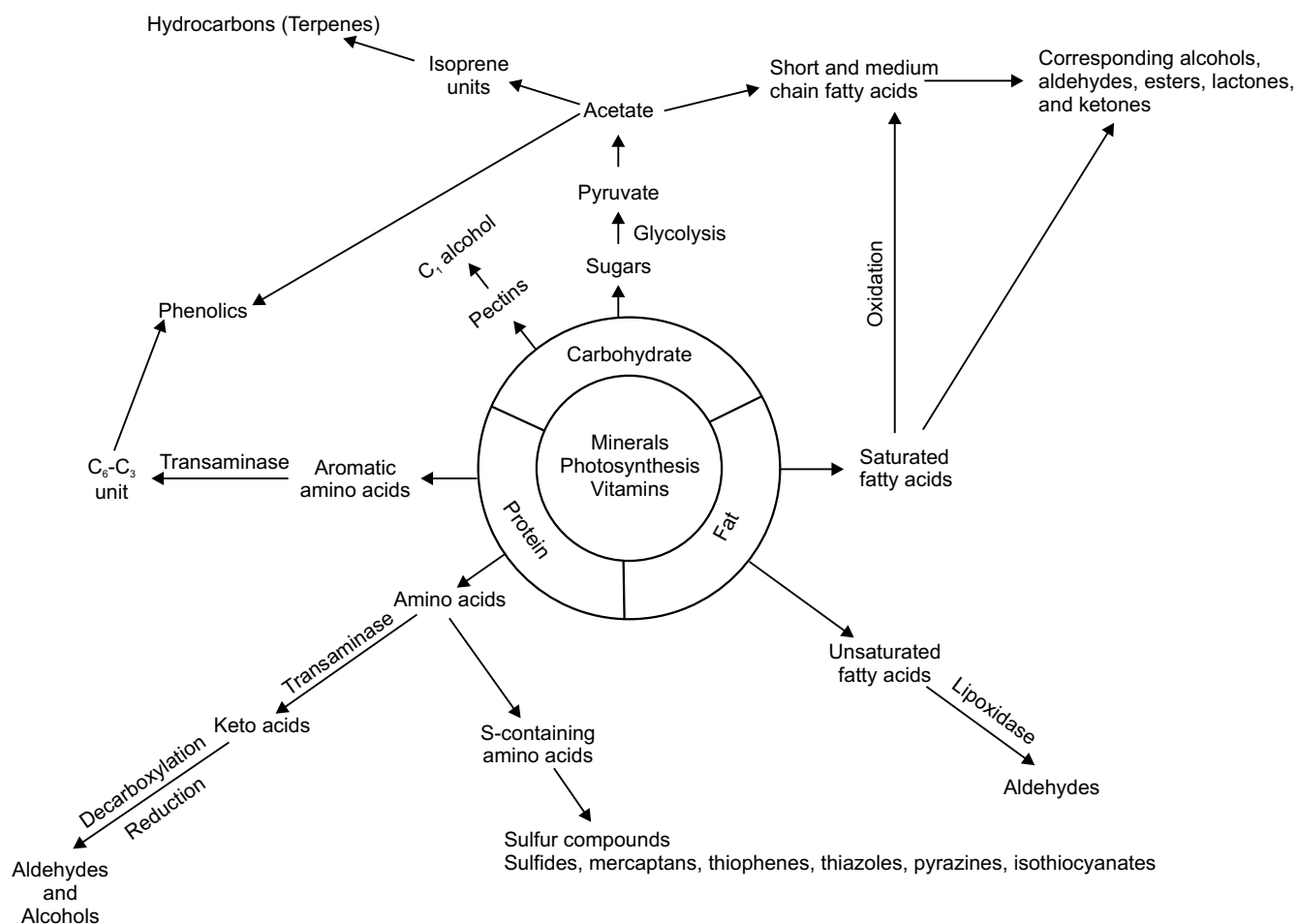


Figure 1:

Formation of volatile aroma in fruits and vegetables (Salunkhe and Do, 1976).

in the plant (Salunkhe and Do, 1976). In the following, the various groups of volatile aroma compounds are illustrated schematically (Figure 1), and the nutrients from which they derived are listed in the next table (Table 1).

All vegetables have their own characteristic aroma which is genetically controlled by the individual species (Heath and Reineccius, 1986). But aroma is also influenced by cultivar, maturity, and horticultural practices (Reineccius, 1999). However, only few studies exist on the biogenetic pathways of most of the aromatic components identified in raw potatoes.

Reasons for the limited amount of studies on the biogenetic pathways in the raw potato could be that mainly processed potatoes (boiled, baked, or in the form of French fries or chips) are consumed, and a lot of volatile compounds are formed during thermal processing. Thereby

the temperature, blending speed and time, holding time, pH, and oxygen availability had a significant impact on the aroma profile (Salunkhe and Do, 1976).

In the following, the different pathways of volatile formation and their impact on flavour are described.

3.1.1 Enzymatic volatile formation

Some volatile components may exist per se in the intact tissue of vegetables, but mainly physical damage and mechanical stress, including cellular disruption due to cutting a vegetable prior to use, to cooking, or to the chewing process permits the mixing of enzymes and non-volatile precursors which had been separated within the cell, resulting in the generation of volatile flavour substances (Heath and Reineccius, 1986) which contribute significantly to the

Table 1:

Predominant nutrients and their role in the production of aroma components in foods (Salunkhe and Do, 1976).

Nutrient	Aroma Component
Carbohydrates	
Glucose } Fructose } Sucrose }	→ Organic acids: Pyruvic acid, acetic acid, propionic acid, acetoacetic acid, butyric acid, hexanoic acid, octanoic acid Esters: Pyruvates, acetates, propionates, butyrates, acetoacetates, hexanoates, octanoates Alcohols: Ethanol, propanol, butanol, hexanol, octanol Aldehydes: Acetaldehyde, propanal, butanal, hexanal, octanal Terpenes: Monoterpene, linalool, limonene, α -pinene, citronellal, citral, geranial
Amino acids	
Alanine	Pyruvic acid, acetaldehyde, ethanol
Valine	Isopropanal, isopropanol, α -keto-isobutyric acid
Leucine	3-Methylbutanal, 3-methylbutanol, α -keto-isocaproic acid
Isoleucine	2-Methylbutanal, 2-methylbutanol
Phenylalanine	Benzaldehyde, phenylacetaldehyde, cinnamaldehyde, Hydrocinnamaldehyde, p -hydroxybenzaldehyde, p -Hydroxy phenylacetaldehyde, p -hydroxy-cinnamaldehyde, p -hydroxy cinnamaldehyde
Serine } Threonine } Glycine } Cystine/cysteine } Serine }	→ Pyruvic acid → Thiazoles Glyoxal
Fatty acids	
Linoleic acid	<i>trans</i> -2- <i>trans</i> -4-Decadienal, hexanal, <i>trans</i> -2-octanal
Linolenic acid	<i>trans</i> -2-Pentanal, <i>trans</i> -2-hexenal, hexanal, <i>cis</i> -3-Hexenal, <i>cis</i> -3-hexenol, <i>trans</i> -2- <i>trans</i> -4-Heptadienal, propanal
Organic acids	
Citric acids } Oxaloacetic acid } Malic acid } Lactic acid }	→ Glyoxylic acid, glyoxal, pyruvic acid, acetaldehyde Ethanol
Vitamins	
Carotenoids	
β -Carotene	β -Ionene
Thiamine	Thiazoles

isolated aroma (Salunkhe and Do, 1976). Furthermore, enzymes can be involved indirectly in flavour formation by procuring precursors, for example amino acids from proteins, saccharide from polysaccharide and *o*-quinone from phenolic compounds, which then react non-enzymatically to flavour compounds. In this way, enzymes are able to intensify the flavour (Belitz et al., 2008; Tressl et al., 1975). The nonvolatiles are cysteine sulfoxides, thioglucosinolates and unsaturated fatty acids, which are transformed into volatile thio compounds and carbonyls (Reineccius, 1999; Tressl et al., 1975).

Lipids comprise a significant portion of horticultural crops and are primary components of the cell's membrane system. Lipolytic acyl hydrolase liberates free fatty acids from phospholipids and glycolipids, the major lipids in potato (Galliard and Matthew, 1973). Lipid content of the raw potato tuber is 0.2 to 0.3 g/100 g FM, of which the polyunsaturated fatty acids, linoleic and linolenic acids, account for 0.05 and 0.01 g, respectively (Galliard, 1973).

Lipoxygenase (LOX) is one of the most widely studied enzymes in plants and animals. It catalyses the oxygenation of polyunsaturated fatty acids to form fatty acid hydroperoxides. The enzyme contributes to flavour formation, but it also has negative implications for the colour, off-flavour and antioxidant status of plant-based foods (Baysal and Demirdoven, 2007).

The enzymatic influence on volatile flavour formation is only of little importance, because the potato is not consumed raw like other vegetables. Potatoes are consumed after processing and therefore, the thermal impact plays the most important role for the volatile flavour formation.

3.1.2 Volatile formation by thermal impact

Precursors can also split by chemical reactions during the heating process. The volatile profile obtained from boiled and baked potatoes contains many process-derived compounds which contribute to the overall potato flavour (Buttery et al., 1970; Maarse, 1991). Important thermally driven reactions include the Maillard reaction, Strecker degradation and the thermal and enzymatic degradation of fatty acids (Figure 2) (Taylor et al., 2007).

The Maillard reaction, sugar degradation and lipid degradation (oxidative and thermal) are the most important reactions for the formation of volatile compounds in cooked and processed foods (Whitfield, 1992).

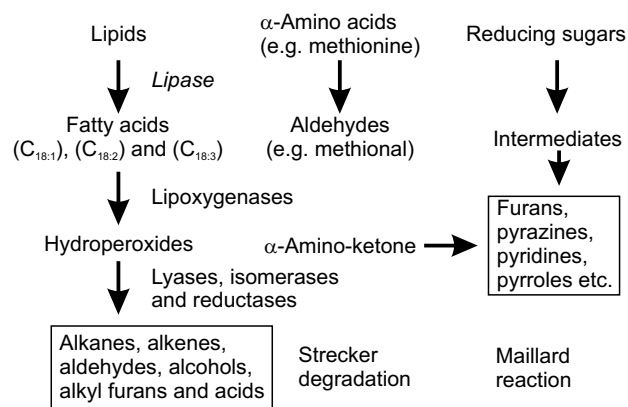


Figure 2:

Origin of flavour volatiles released from boiled potatoes. Precursor metabolites are shown at the top, and the main products in boiling are shown in solid boxes (Taylor et al., 2007).

3.1.2.1 Maillard reaction and Strecker degradation

The Maillard reaction (MR) and the Strecker degradation (SD) of α -amino acids are responsible for the formation of many heterocyclic compounds with distinctive aromas and low odour thresholds. The MR takes place when compounds possessing a carbonyl group, typically reducing sugars, react with components with a free amino group such as amino acids (Taylor et al., 2007; Whitfield, 1992). The MR does not require high temperatures, however, the reaction rate increases markedly with temperatures associated with cooking. Furthermore, the reactions occur most frequently in areas of the product that have been dehydrated, such as near the surface (Kays and Wang, 2000). The steps of the MR usually feature reactions with other intermediates, such as amino compounds or amino acid or lipid degradation products. Volatiles synthesized by the MR can be classified according to their primary precursor:

1. sugar degradation/fragmentation products, such as furans, pyrones (e.g., maltol), cyclopentenones, carbonyl compounds, and acids;
2. amino acid degradation products, such as aldehydes, sulfur compounds such as hydrogen sulfides and methanethiol, and nitrogen compounds such as ammonia and amines and
3. volatiles produced by further reactions, such as pyrroles, pyridines, pyrazines, imidazoles, oxazoles, compounds from aldol condensations, thiazoles, thiophenes, di- and trithiolanes, di- and trithianes, and furanthiols (Nursten, 1980). Especially the pyrazines have a great diversity in odour within a class (Kays and Wang, 2000).

The Strecker degradation (SD) of amino acids into their structurally related volatile counterparts is also very important in relation to the formation of a series of volatile flavour

compounds (Cremer et al., 2000; Rizzi, 2008; Whitfield, 1992). The SD of amino acids has mainly been viewed as a corollary of the MR, and the primary reactants have been considered to be protein, i.e., amino acids and carbohydrates. According to Rizzi (2008), many of the numerous compounds that have been described in the literature as SD reaction products can be interpreted in terms of Maillard intermediates. However, in addition to carbohydrate reactants, it is also known that other important food ingredients like lipids and polyphenolic compounds can play a part in SD reactions to produce novel flavour compounds (Rizzi, 2008). The SDs located in foods and during food processing are usually the reaction of α -amino acids with α -dicarbonyl compounds derived from concurrent Maillard reaction pathways. During the reaction, an α -amino acid undergoes decarboxylation and is transformed into a structurally related aldehyde (Strecker reaction) (Rizzi, 2008). These corresponding "Strecker aldehydes" contain one less carbon atom than the original amino acids, and an α -amino ketone (Whitfield, 1992). With cysteine, in addition to the two normal products the reaction yields hydrogen sulphide, ammonia, acetaldehyde, and the regenerated dicarbonyl compound. The amino ketones can act as reducing agents, and it has been proposed that hydrogen sulphide is also formed by the reduction of cysteine itself or 2-mercaptoacetaldehyde (Whitfield, 1992). The Strecker degradation of methionine is another source of sulphur-containing intermediates. In this case, the reaction involves the interaction of α -dicarbonyl compounds, intermediates the Maillard reaction, with methionine, resulting in the formation of 2-methylthiopropional, also called as methional (Lindsay, 1996) and methanethiol with 2-propanal as the co-product (Fujimaki et al., 1969). Methional is deemed to be the key compound of boiled potato flavour (Petersen et al., 1998).

The interaction of the Maillard reaction products with those of the Strecker degradation led to the formation of many important classes of flavour compounds. These include pyrazines, oxazoles, thiophenes, and other heterocyclic compounds with more than one sulphur atom. But also lipid and lipid degradation products can be involved in these reactions, leading to the formation of additional compounds and the reduction or prevention of the formation of the normal products of a Maillard reaction (Whitfield, 1992).

3.2 Raw potatoes

Although potato tubers are only consumed after cooking, there is an interest to identifying the volatiles in the raw product (Taylor et al., 2007). This provides a reference point when evaluating the formation of flavour compounds during the processing of various potato products.

The state of knowledge about the spectrum of volatile compounds in raw potatoes, which is characterized by a weak but typical odour, is very limited (Fischer and Müller, 1991). About 159 volatiles have been identified in raw potatoes, independent of the analytical method, varieties, and whether peeled or unpeeled. These are summarized in Table 2 at the end of Chapter 3.2.

Most of studies have concentrated on cut or sliced potatoes, which cause an oxidative and enzymatic attack on inherent lipids. This obviously results in a vast amount of unsaturated and saturated aldehydes and alcohols, several of which have extremely low odour thresholds and therefore probably a negative impact on flavour (Petersen et al., 1998). Analyses by Schormüller and Weder (1966b), as well as by Khan et al. (1977), detected primarily short-chain alcohols, aldehyde, ketone, thiazoles and sulphur compounds are discovered in raw potatoes. Buttery and Ling (1973) hypothesized that raw potato volatiles are derived from biosynthetic processes in the tuber or associated microorganisms rather than from thermally catalyzed reactions. Lipid oxidation products of unsaturated fatty acids are the major source of volatiles in raw potatoes, because the lipoxygenase content is relatively high (Josephson and Lindsay, 1987; Petersen et al., 1998; Fischer and Müller, 1991). These dominated the constituent's 2-octenal, hexanal, heptanal, pentanol, 2-pentylfuran as well as 2-methyl- and 3-methylbutanol. The high amount of 2-methyl- and 3-methylbutanol is a sign of intensive amino acids metabolism in the tuber, because both compounds arise from the enzymatic degradation of leucine rather isoleucine (Drawert, 1975). When slicing or shredding potato tubers, there is a large increase in hexanal, octenal and isomeric forms of 2,4-decadienal, all products of lipoxygenase-initiated reactions of unsaturated fatty acids, taking place soon after the disruption of cells (Josephson and Lindsay, 1987; Petersen et al., 1998). The following volatiles, which were also found in raw potatoes, belonging to the products of lipoxygenase-initiated reactions: heptanal, 1-penten-3-one, 1-pentanol, 2,4-heptadienal, 2,6-nonadienal and 2-pentyl furan (Gardner et al., 1996; Ho and Chen, 1994; Josephson and Lindsay, 1987; Schieberle and Grosch, 1981; Sok and Kim, 1994; Petersen et al., 1998). This could explain the observation of Self et al. (1963b; Petersen et al., 1998), who noted that the aroma of fresh-cut potatoes was different from that of whole potatoes, but made no attempt to identify responsible compounds. Buttery and Ling (1973) as well as Murray and Whitfield (1975) found compounds such as methoxypyrazines in raw potatoes. They assumed that they were derived from biosynthetic processes. Morgan et al. (1972) reported that 2-methoxy-3-isopropylpyrazine occurs in relatively large concentrations in the cultures of the microorganism *Pseudomonas taetrolens*. They guessed that the small concen-

tration that occurs in potatoes might first be formed in the soil or on tuber surface (by this or some related microorganism) and then be absorbed into the potato. However, the potato plant is botanically related to the bell pepper plant which produces relatively large amounts of 2-isobutyl-3-methoxypyrazine and probably is quite capable of producing the compound itself. The occurrence of relatively high amounts of methoxypyrazines in peeled tubers may argue against the synthesization of this compound by soil microflora associated with the tuber, and indicate that a biosynthetic route for their production is present in the potato tuber. The most identified methoxypyrazine present in raw potato volatiles was 2-methoxy-3-isopropylpyrazine (Murray and Whitfield, 1975). Methoxypyrazines have very low odour thresholds and have characteristic vegetable-like odours, including potato-like odours. In contrast to this analysis by Murray and Whitfield (1975), Fischer and

Müller (1991) did not find any pyrazines in the analysis of raw potatoes.

Desjardins et al. (1995) were the only researchers who also find the hydrocarbon sesquiterpenes in raw potatoes and detected them at higher levels after tuber damage or microbial attack. It could be demonstrated that fungal and bacterial infections (*Erwinia carotovora* ssp. *atroseptica*, *Phytophthora infestans*) lead to an increase of the potato stress metabolite solavetivone, a sesquiterpene (Zacharius and Kalan, 1984). This observation by Desjardins et al. (1995) showed that the raw potatoes tested were stressed or infected.

Individually, raw potatoes include many potent flavours which represent juicy, earthy, oily as well as nutty- and roast-like flavour notes. For the description of the typical raw potato flavour, no single component would even suggest the familiar aroma.

Table 2:

Volatiles identified in Raw, Boiled and Baked Potatoes with their odour description

Compound	Raw	Boiled	Baked	Odour description
Aldehydes				
Acetaldehyde	1-9, 24, 25	1, 3, 14, 16, 26, 27		
Isobutyraldehyde		1, 3, 14, 18, 26, 27		
Propanal	1, 2, 5-9, 24, 25	1, 6, 16, 26, 27		
Acrolein (= Propenal)		1, 3, 16, 27		
2-Propenal	1, 3, 6, 7, 9			
Methylpropanal		33, 36		malty
2-Methylpropanal	1, 3, 5-10		7, 37, 38, 44	
2-Methyl-2-propanal			38	
Butanal	3, 6, 9, 24, 25	3		
2-Butenal	6, 9	31		
2-Methylbutanal	1, 6, 7, 10	16, 33, 36	7, 37, 43-45	sweet, chocolate, sometimes roasted/toasted, malty
3-Methylbutanal	1, 3, 5-9	1, 3, 16, 26, 27, 33, 36	7, 37, 43-45	sweet, chocolate, sometimes roasted/toasted, malty
3-Methyl-1-butenal			38	
2-Methyl-2-butenal			38, 47	
3-Methyl-2-butenal			38	
Pentanal	2, 5, 6, 8, 9, 23		38, 43-45, 47	green, almond, marzipan
Pentenal	29, 30, 40	31, 34, 35	47	roasty, rubber, unpleasant
2-Pentenal	6, 7	35	38, 45, 47	
4-Methyl-2-phenyl-2-pentenal			38	
Hexanal	2, 5-9, 11-14, 23	6, 14, 28, 31-36	7, 37, 38, 43-47	green, grass, fatty
2-Ethylhexanal			38	
5-Methyl-2-phenylhexanal			38	
2-Hexenal	2, 5-14	6, 12, 34, 35	7, 37, 47	
3-Hexenal			37, 38	green, bitter-almond-like
Heptanal	2, 6, 7, 9, 11, 13-15, 23	6, 12, 14, 23, 34	7, 37, 38, 43-47	soapy-fruity, resinous
Heptenal			7, 37	

Compound	Raw	Boiled	Baked	Odour description
2-Heptenal	23	6, 14, 23, 31, 34, 35	45-47	cardboard-like
4-Heptenal		12, 23		earthy, prepared food, potato-like
Octanal	2, 9, 11, 13	12, 31, 34-36	43, 45, 47	fatty, soapy-fruity, citrus-like
Octenal		6, 12	7, 37	
2-Octenal	2, 6, 7, 9, 12-14, 23	23, 34-36	45, 47	fatty, nutty, baked potato, chips
2,4-Octadienal		31		
Nonanal		6, 12, 34, 35	7, 37, 38, 43-47	rancid, boiled potato
2-Nonenal	6, 7, 9, 13, 14, 23	6, 12, 14, 32-34, 36	7, 37, 43, 45, 47	sweet, green, cucumber
3-Nonenal		36		green, tallowy
Decanal	6	6, 12, 18, 32, 34	7, 37, 43-46	
Undecanal			38, 43, 45, 46	metallic
2-Undecanal			46	
Dodecanal			43, 45	
2-Dodecanal			46	
Hexadecanal			46	
Octadecanal			38	
Decenal			7, 37	
2-Decenal		36		fatty
2,4-Decadienal	6, 7, 12-15, 23	6, 12, 14, 30, 32-36	7, 37, 46	fatty, green, onions, chips, chip fat, hot potato, liquorice, roasty
2,4-Heptadienal	6, 13, 23	6, 12, 34, 35	7, 37, 46, 47	oily, rancid nuts, mushroom
Nonadienal			7, 37	
2,4-Nonadienal	13, 23	12, 32, 34-36	46, 47	fatty-soapy/oily, old, rancid, nutty, almond, marzipan
2,6-Nonadienal	23	12, 23, 30, 32, 35, 36		fatty, green, cucumber, grass, peas, paint, vinegar-dressed
Benzaldehyde	6, 7, 14	6, 12, 14, 35	7, 37-39, 43-47	flowery
Phenylacetaldehyde	6, 7, 14, 23	30, 36	37-39, 43-47	earthy, flower, roses, sweet, honey-like
Ethylbenzaldehyde			38	
2,5-Dimethylbenzaldehyde			38	
Methoxycinnanaldehyde			38	
Salicaldehyde			38	
Methional (=3-(Methylthio)propanal)	6, 7, 14	5, 14, 23, 28, 30, 32-36	43, 44, 46, 47	boiled potato
<i>trans</i> -4,5-Epoxy-(E)-2-decenal		32, 33, 36		metallic
<i>trans</i> -4,5-Epoxy-(E)-2-nonenal		36		metallic
Furfural	6, 7, 14	12, 14	47	
2-Furfural			43-46	
5-Methylfurfural			46	
5-Methyl-2-furfural			46	
5-Methyl-2-thiophenecarbox-aldehyde			46	
Vanillin		32, 33, 36		sweet, vanilla-like
Alcohols				
Methanol	1, 6, 7, 16, 21, 24, 25	16, 26, 27	38	
Ethanol	1, 6, 7, 21, 23-25	27	38	
2-Methyl-1-propanol	6, 24, 25			
1-Butanol	6, 21, 24, 25	28		
2-Butanol	24, 25		38	
2-Buten-1-ol	6	6		

Compound	Raw	Boiled	Baked	Odour description
Propanol	11, 24, 25			
2-Propanol	24			
1-Butoxy-2-propanol		35		
2-Methylbutanol	3, 6, 7, 13, 14, 21, 23	14, 30	43, 44, 47	malty
3-Methylbutanol	3, 6, 7, 13, 14, 21	6, 14	43, 44, 46, 47	malty
Pentanol	6, 7, 13-15, 21, 23	6, 12, 14, 28, 34, 35		malty
2-Pentanol			38	
2-Methyl-2-pentanol			38	
3-Methyl-1-pentanol		35	38	
4-Methyl-1-pentanol	21			
2,4-Dimethyl-3-pentanol			38	
4-Methyl-4-pentanol			38	
2-Methyl-3-penten-2-ol			38	
2-Methyl-1-penten-3-ol			38	
Hexanol	6, 13, 21	6, 12, 34, 35	43, 47	green, flowery
2-Ethyl-1-hexanol			47	
Hexenol	6			
2-Hexen-1-ol	6	28		
3-Hexen-1-ol			47	
3-Methyl-2-hexanol	6	6		
Nananol		35		
Heptanol	17, 21	6	38	
2-Heptanol		23		popcorn
Octanol	17	6, 30, 31		
3,6-Dimethyl-3-octanol			38	
2-Isobutyloctanol			38	
Octenol	6, 7, 14			
2-Octen-1-ol		12, 14		
1-Octen-3-ol	6, 7, 13, 14, 17	6, 12, 14, 34, 35	37, 38, 43-47	fungus, mushroom
Non-3-enol	17			
Geraniol	6, 7, 14			
Nerol	6, 7, 14	6, 14		
Nerolidol		31		
Linalool	6, 7, 14	14, 34	43, 47	
Benzyl alcohol	6, 7, 14, 23	14, 28, 35	38	flower, citrus, fruit
2-Phenylethanol	6	28, 35		
Terpineol	6, 7, 14	14		
Terpenol		37		
Furfuryl alcohol		31		
cis-Farnesol		31		
Menthadienol		31		unpleasant, sweet
1,2-Ethanediol		35		
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol		35		
Dodecanol			38	
Hexadecanol			38, 46	
Cyclohexanol			38	
2-Tetradecyloxyethanol			38	
Hexahydrofarnesol			38	
Trimethylbenzyl alcohol			38	

Compound	Raw	Boiled	Baked	Odour description
3-Methoxy-4-isopropylbenzyl alcohol			38	
Naphthol			38	
2-Methoxyphenol			46	
Eugenol			46	
4-Vinyl-2-methoxyphenol			46	
2-Methoxy-4-vinylphenol			46	
Ketones				
Acetone	1, 3, 6, 7, 9, 24	1, 3, 16, 26, 27	38	
3-Methyl-2-butanone	3, 6, 9	3		
3-Hydroxybutanone	24			
3-Hydroxy-2-butanone	25			
Butanedione			43, 44	
2,3-Butanedione (= Diacetyl)	6, 11	31, 36		buttery
2,3-Pentanedione	6	12	43, 44, 47	
Propanone	11			
2-Propanone	25			
1-Phenyl-1,2-propanedione			38	
Butanone	11		43	
2-Butanone	24, 25	31	45	
3-Pentanone			43	
4-Methyl-2-pentanone			38	
5-Methoxy-2-pentanone			38	
3-Ethylcyclopentanone			46	
Cyclopentanone			38	
2,5-Dimethyl-1-cyclopentanone			38	
2-Pentadecanone			46	
4-Methyl-3-penten-2-one			38	
2,6-Dimethyl-3-penten-2-one			38	
Hexanone	11		38	
3-Hexanone			43	
2-Acetyl-3,3-dimethylcyclohexanone			38	
3,5, 5-Trimethyl-3-cyclohexene-1-one			45, 46	
Heptanone	2, 6, 7, 11, 14		7, 38	
2-Heptanone		6, 14	37, 38, 44, 47	
4-Heptanone			7, 37, 38	
2-Methyl-4-heptanone			38	
2-Methyl-2-hepten-6-one			38	
6-Methyl-5-hepten-2-one			43, 45, 47	
Octanone	2, 11			
1-Octen-3-one	6, 7, 14	12, 14, 32, 36		mushroom-like
3-Octen-2-one			38	
4-Octen-3-one			47	
1-Penten-3-one	23	31		
Nonanone	2, 11			
2-Nonen-4-one	6, 7, 14	14, 31		
2-Decanone	6, 7, 14	14		
4-Decanone			38	
2-Undecanone		12		

Compound	Raw	Boiled	Baked	Odour description
2,3-Octanedione			46, 47	
3,5-Octadien-2-one		12, 30, 31	46	
1,5-Octadien-3-one		12, 32, 36		geranium-like
2-Methyl-3-octanone		31		
1-Methyl-2-pyrrolidinone	23			
Furyl methyl ketone		28		
1-Furyl-2-propanone		28		
1,2-Cyclohexanedione		31		
Farnesyl acetone		31		
Geranylacetone		31	43	
(E)- α -Damascenone		32, 36	43	fruity, sweet
Decalactone		32, 36		sweet, peach-like
Octalactone		36		sweet, coconut-like
Nonalactone		36		sweet, coconut-like
Acetophenone			45	
α -Methyl acetophene			38	
Solavetivone			46	
Isophorone			43	
Camphor			45	
Acids				
Acetic acid	7, 23	23, 28, 35	38	
Propanoic acid	23		38	
Butanoic acid		36	38	
Decanoic acid	5, 8			
Tetradecanoic acid	5, 8			
Pentanoic acid		36	38	
Pentadecanoic acid	5, 8			
Hexanoic acid	23	12, 35	38	prepared food, soup, cake, raw potato
Hexadecanoic acid	5, 8			
9-Hexadecanoic acid	5, 8			
Heptanoic acid			38	
Heptadecanoic acid	5, 8			
Octanoic acid		35, 36		
Octadecanoic acid	5, 8			
cis-9-Octadecanoic acid	5, 8			
9,12-Octadecanoic acid	5, 8			
9,12,15-Octadecatrenoic acid	5, 8			
Eicosanoic acid	5, 8			
Phenylacetic acid	7	28		
2-Methylhexanoic acid			38	
2-Methylpentanoic acid			38	
2-Methylpropanoic acid			38	
2-Phenylcrotonic acid			39	
3-Methylbutanoic acid			36, 38	
3-Methylpentanoic acid			38	
4-Methylpentanoic acid			38	
2-Ketoadipic acid			38	

Compound	Raw	Boiled	Baked	Odour description
Esters				
1-Methylpropyl acetate			38	
2-Methylbutyl acetate			38	
2-Methylbutyl pentanoate			38	
Allyl hexanoate			38	
Butyl acetate			38, 45	
Butyl butyrate		34		
Diethyl phthalate			38	
Di-isobutyl isophthalate			38	
Di-isobutyl phthalate			38	
Ethyl acetate			38, 43	
Ethyl benzaldehyde		12		
Ethyl heptanoate		12		
Hept-1-enyl 2 acetate			38	
Methyl 2-hydroxybenzoate	6, 7, 14			
Methyl 2-methylbutanoate			38, 45, 47	
Methyl 2-methylpentanoate			38	
Methyl 2-methylpropanoate			43	
Methyl hexadecanoate			46	
Methyl hexanoate			38	
Methyl nonanoate			38	
Methyl octadecanoate			46	
Methyl octanoate			38	
Methyl pentanoate			38	
Methyl salicylate		14		
Methyl tetradecanoate			46	
Methylbutanoate			43, 45, 47	
Octadecyl acetate			46	
Pentyl acetate			38	
Phthalic anhydride			38	
Lactones				
4-Pyridoxic acid lactone			38	
Hydrocarbons				
Octane		18	45	
Hexane			45	
Nonane			45	
Decane	6	18	45	
Tridecane			45	
Tetradecane	6	31	45	
2-Methyldecane			45	
4-Methyldecane			45	
2-Methyltetradecane			38	
Pentadecane		31	45	
2,6,10,14-Tetramethylpentadecane			38	
Hexadecane			45	
5,7-Dimethylhexadecane			38	
7,9-Dimethylhexadecane			38	
2,6,11,15-Tetramethylhexadecane			38	

Compound	Raw	Boiled	Baked	Odour description
Heptane		18	45	
Cycloheptane			46	
2,4-Dimethylheptane			38	
9-Octylheptadecane			38	
2,2,4,6,6-Pentamethylheptane			45, 47	
Cyclodecane			38	
Undecane	6		45, 46	
2,6,9-Trimethylundecane			38	
2,6,10-Trimethylundecane			38	
Dodecane	6		45	
1-Dodecane			45	
4,6-di- <i>n</i> -Propyldodecane			38	
1-Cyclopentyl-4-octyldodecane			38	
(E)-9-Octadecene	23			
Copaene			43-45, 47	
1,1-Diethoxyethane			39	
3,5,5-Trimethyl-1-hexene			38	
2-Ethyl-3-octene			38	
4-Ethyl-3-octene			38	
1-Octadiene			38	
1,4-Dimethyl-4-vinylcyclohexene			38	
1,1-Dichloroheptane			38, 42	
1-Chlorohexadecane			38, 42	
<i>o</i> -Chloroaniline			38, 42	
<i>p</i> -Chloroaniline			38, 42	
2-Chlorobiphenyl			38, 42	
Trichloroacetic acid			38, 42	
20-Bromo-5-ethylnonane			38, 42	
1-Iodo-octadecane			38, 42	
Diphenylmethane			38	
1-Methylindan			38	
4,5,7-Trimethylindan			38	
α -Aromadendrene			43, 45	
Guaiene			43	
Cyclosativene			45	
Longicyclene			45	
Gurjunene			45	
Limonene	6	6	38, 43-47	
α -Pinene	6	6	38, 43-45, 47	
β -Pinene	6	6		
3-Carene	6	6	38, 43-45, 47	
Benzene	6	18	38, 43, 47	
Methylbenzene (=Toluene)	6	18	38, 43, 45, 47	
Ethylbenzene	6	6	43, 45-47	
Dimethylbenzene (= Xylene)		6, 18		
1,2-Dimethylbenzene	6		38, 43, 45, 47	
1,3-Dimethylbenzene	6		38, 43, 45, 47	
1,4-Dimethylbenzene	6		38, 43, 45, 47	

Compound	Raw	Boiled	Baked	Odour description
Isopropylbenzene			38	
1-Ethyl-2-methylbenzene	6	6		
1-Ethyl-4-methylbenzene	6	6		
2-Ethyl-6-propylpyrazine			38, 40	
2-Ethyl-3,5,6-trimethylpyrazine			38, 40	
Trimethylbenzene			38, 47	
1,2,3-Trimethylbenzene	6	6		
1,2,4-Trimethylbenzene	6			
1,3,5-Trimethylbenzene	6	6		
2,3,6-Trimethyl-5-hydroxy-cyclopentapyrazine			38, 40	
Pentylbenzene			45	
Propylbenzene			45-47	
Alkylbenzene			45	
Vinylbenzene (=Styrene)			43	
2-Methylvinylbenzene			47	
3-Ethylstyrene			38	
<i>tert</i> -Butylbenzene			38	
<i>sec</i> -Butylbenzene			38	
1,2,3,5-Tetramethylbenzene			38	
Hexamethylbenzene			38	
1-Methyl-4-ethylbenzene			38	
Methylpropylbenzene			45, 47	
Ethylmethylbenzene			45	
Nonylbenzene			38	
Biphenyl	6, 7, 14	14	38	
Diphenylmethane			38	
Naphthalene	6, 7, 14	14, 18	43, 45, 47	earthy
2,6-Naphthalene	18			
1-Methylnaphthalene	18	14, 18		
2-Methylnaphthalene	6, 14		46	
Dimethylnaphthalene	6	6		
1,2-Dimethylnaphthalene			38	earthy
1,3-Dimethylnaphthalene			38	earthy
1,4-Dimethylnaphthalene	18			
1,6-Dimethylnaphthalene	18			
2,7-Dimethylnaphthalene			38	earthy
2,5-Diethyl-3-methylpyrazine			7, 37	
2,6-Diethyl-3-methylpyrazine			37	
Trimethylnaphthalene	18			
1,3,8-Trimethylnaphthalene			38	earthy
1,4,5-Trimethylnaphthalene			38	earthy
1,4,6-Trimethyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalene			38	
Decahydronaphthalene			45	
2-Isopropylnaphthalene			38	earthy
3-Methyleicosane			38	
Methylcyclopentane			38, 43	
Sesquiterpene	22			

Compound	Raw	Boiled	Baked	Odour description
γ -Hunulene			38	
Myrcene			38, 43, 47	
Ocimene			43	
Cymene		34	38, 44, 47	
Curcumene			45	
Terpinolene			44	
<i>trans</i> , <i>trans</i> -Farnesene			38	
Phellandrene			38, 44	
Pyrazines				
2,3,5-Trimethyl-6-(3-methylbutyl)pyrazine			46	
2,3,5-Trimethylpyrazine			37, 38, 40	
2,3,6-Trimethyl-5-hydroxy-cyclopentapyrazine			38, 40	
2,3-Diethyl-5-methylpyrazine	19	32, 33, 36	7, 37-40, 43, 46	earthy, roasty
2,3-Diethylpyrazine			38, 40	
2,3-Dimethyl-5-butylpyrazine			38, 40	
2,3-Dimethylpyrazine			7, 37, 38, 40	
2,5-Diethyl-3-methylpyrazine			7, 37	
2,5-Dimethyl-3-(2-methylpropyl)pyrazine			46	
2,5-Dimethyl-3-(3-methylbutyl)pyrazine			46	
2,5-Dimethyl-3-butylpyrazine			38, 40	
2,5-Dimethyl-3-propenylpyrazine			46	
2,5-Dimethylpyrazine			7, 37-40, 43, 44, 46, 47	
2,6-Diethyl-3-methylpyrazine			37	
2,6-Dimethyl-3-(2-methylbutyl)pyrazine			46	
2,6-Dimethyl-3-butylpyrazine			38, 40	
2,6-Dimethylpyrazine		30	7, 37-40, 43, 44, 46, 47	nutty, warm
2-Butyl-3-methoxypyrazine	19			potato-like odour
2-Butyl-3-methylpyrazine			38, 40	
2-Butyl-6-methylpyrazine			38, 40	
2-Ethenyl-5-methylpyrazine			46	
2-Ethenyl-6-methylpyrazine			46	
2-Ethoxy-3-ethylpyrazine		6		not distinctive
2-Ethoxy-3-methylpyrazine		6		not distinctive
2-Ethyl-3,5,6-trimethylpyrazine			38, 40	
2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazine			38, 40	roasty, coffee-like
2-Ethyl-3,6-dimethylpyrazine			37-40, 43, 46	earthy, buttery, baked, potato-like
2-Ethyl-3-methoxypyrazine		6		
2-Ethyl-3-methylpyrazine			7, 37-40, 43, 46	earthy, nutty
2-Ethyl-5-methylpyrazine			7, 37-40, 43, 46	
2-Ethyl-6-methylpyrazine		30	7, 37-40, 43, 46	nutty, warm, chemical
2-Ethyl-6-propylpyrazine			38, 40	
2-Ethyl-6-vinylpyrazine			38, 40	buttery, baked, potato-like
2-Isobutyl-2,5-dimethylpyrazine			40	
2-Isobutyl-3,6-dimethylpyrazine			39	
2-Isobutyl-3-methoxypyrazine	19	23, 33, 36	43-45	potato-like, pepper-like, green
2-Isobutyl-3-methylpyrazine			7, 37-40	

Compound	Raw	Boiled	Baked	Odour description
2-Isobutyl-5-methylpyrazine			39	
2-Isopropyl-3-methoxypyrazine	6, 7, 14, 17, 19, 20	6, 17, 32, 36	40, 43, 44, 46, 47	earthy/green, pea-like
2-Methoxy-3,5-dimethylpyrazine		6		bready
2-Methoxy-3-ethylpyrazine		6		raw potato
2-Methoxy-3-isopropylpyrazine		12, 17, 18		earthy, green, peas, raw potato, dry
2-Methoxy-3-methylpyrazine		6		nutty
2-Methoxy-5,6-dimethylpyrazine		6		caraway seed
2-Methoxy-5-ethylpyrazine		6		bready/mousy
2-Methoxy-5-methylpyrazine		6		not distinctive
2-Methoxy-6-ethylpyrazine		6		bready/mousy
2-Methoxy-6-methylpyrazine		6		fruit squash note
2-Methyl-3-isopropylpyrazine	6	12, 17, 18		nutty, warm, chemical
2-Methyl-5-isopropylpyrazine		30		
2-Methyl-5-propenylpyrazine			46	
2-Methyl-5-vinylpyrazine			7, 37	
2-Methyl-6,7-dihydro-5 <i>H</i> -cyclopenta-pyrazine			38, 40	earthy, baked- potato-like
3,5-Diethyl-2-methylpyrazine			7, 37-40, 43, 46	
3,5-Dimethyl-2-(2-methylpropyl)pyrazine			44, 46	
3,5-Dimethyl-6,7-dihydro-5 <i>H</i> -cyclopentapyrazine			38, 40	earthy, baked- potato-like
3-Butyl-2,5-dimethylpyrazine			38, 40	
3-Ethyl-2,5-dimethylpyrazine		30	37, 38, 40, 43, 46	nutty, earthy, herbaceous
3-Ethyl-2-methoxypyrazine		6		earthy/green
3-Ethyl-2,5-dimethylpyrazine			47	
3-Isoamyl-2,5-dimethylpyrazine			40	
3-Isobutyl-2,5-dimethylpyrazine			7, 37, 39, 40	
3-Isopropyl-2-methoxypyrazine		23, 29, 32	43	earthy, green, peas, raw potato, dry
5,7-Dimethyl-1,2,3,4,7,8-hexahydro-quinoxaline			38, 40	earthy, baked- potato-like
5-Butyl-2,3-dimethylpyrazine			38, 40	
5-Methyl-6,7-dihydro-5 <i>H</i> -cyclopenta-pyrazine			38, 40	earthy, baked- potato-like
Amylmethylpyrazine			37	
Diethylpropylpyrazine			37	
Dimethylpropylpyrazine			37	
Ethylmethylvinylpyrazine			37	
Ethylpyrazine			7, 37, 38, 40, 43, 46	
Ethylvinylpyrazine			37	
Isoamylmethylpyrazine			37	
Isoamylpyrazine			37	
Isobutylmethylpyrazine			37	
Isobutylethylmethylpyrazine			37	
Methylpyrazine		30	7, 37, 38, 40, 43, 44, 46, 47	nutty, strong
Trimethylpyrazine			46	
Pyridines				
Pyridine	6, 7, 14	14, 18	7, 37, 43, 44, 46	
2-Pyridine methanol		31		

Compound	Raw	Boiled	Baked	Odour description
2-Aminopyridine			38	
2-Acetylpyridine			38	
Pyrroles				
2-Acetylpyrrole			38, 41, 46	
2-Acetyl-1-pyrroline		32, 36	38, 41, 46	roasty, popcorn
N-Methyl-2-formylpyrrole			38, 41	
1-Methyl-1(H)-pyrrole			43, 45, 46	
1-(2-furanylmethyl)-(1H)-pyrrole			46	
Furans				
Furan	6			
2-Furaldehyde			38, 39, 41	
2-Ethylfuran	6, 23	31, 34, 35	43-45, 47	sweet, burnt
2-Pentylfuran	6, 7, 13, 14, 23	6, 12, 14, 23, 30, 34, 35	7, 37, 38, 41, 43-47	unpleasant, green, beany, grassy, cooked
2-Acetylfuran	6		7, 37, 38, 41	
2-Methylfuran		18	43-45	
3-Methylfuran		18		
2-Butylfuran		18		
2-Hexylfuran		18		
2-Propionylfuran			38, 41	
1-(2-Furyl)-2-propanone	6			
5-Methylfurfural		31	7, 38, 39, 41	
4-Hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone		32, 33, 36		caramel-like
3-Hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone		32, 33, 36		spicy, seasoning-like
trans-2-(2-Pentenyl)furan			38, 41	
Methyl furoate			38, 41	
2,5-Dimethyltetrahydrofuran			38, 41	
2-Methyltetrahydrofuran-3-one			38, 41	
2-Methyl-3-(2H)-furanone			38, 41, 47	
2,5-Dihydrofuran			46	
Amines				
Methylamine	21			
Propylamine	21			
Isobutylamine	21			
Diethylamine	21			
Ethers				
Methyl ether			38	
Diethyl ether	6			
Ethyl isopropyl ether			38	
Ethyl pentyl ether			38	
Methyl nonyl ether			38	
Diethylene glycol diethyl ether			38	
1-Ethoxy-1-propoxyethane			38	
1,1-Diethoxyisopentane			38	

Compound	Raw	Boiled	Baked	Odour description
Halogens				
Bromodichloromethane	6			
2-Bromo-5-ethylnonane			38, 42	
Chloroform			38, 42	
1,1,1-Trichloroethane			38, 42	
Tetrachloroethylene			38, 42	
2-Chloropropane			38, 42	
1-Chloro-2-methylbutane			38, 42	
1-Chloroheptane			38, 42	
2-Chlorobiphenyl			38, 42	
1-Chlorohexadecane			38, 42	
1,1-Dichloroheptane			38, 42	
<i>o</i> -Chloroaniline			38, 42	
<i>p</i> -Chloroaniline			38, 42	
1-Iodo-octadecane			38, 42	
Thiazoles				
Dipropylthiazole	20	20		
2,4,5-Trimethylthiazole	20	20		
Ethyl-dimethylthiazole	20	20		
2-Isopropyl-4,5-dimethylthiazole	20	20		
2-Isobutyl-4,5-dimethylthiazole	20	20		
2-Isopropyl-4-methyl-5-ethylthiazole	20	20		
Benzothiazole	6, 10, 14	14		
2-Acetylthiazole	20	20		
2,5-Dimethyl-4-ethylthiazole			38, 40	earthy, nutty
2,5-Dimethyl-4-butylthiazole			38, 40	earthy, nutty
2,5-Diethyl-4-methylthiazole			38, 40	sweet, earthy
Thiophenes				
Thiophene			38, 41	
Benzothiophene		18		
2-Formylthiophene			38, 41	
2-Butyl-6-ethylthiophene			38, 41	
Oxazoles				
2,4,5-Trimethyloxazole			38, 41	earthy, nutty
5-Acetyl-2,4-dimethyloxazole			38, 41	earthy, nutty
Sulphur compounds				
Methanethiol	1, 3, 5-7,16	1, 3, 5, 16, 26, 27, 32, 33, 36		cabbage-like, sulfury
Ethanethiol	1, 3, 5-7,16	1, 3, 5, 16, 26, 27		
Butanethiol		5		
1-Propanethiol	1, 5-7	1, 5		
2-Propanethiol	1, 5-7	5		
2-Methyl-2-propanethiol	1, 5, 6			
Hydrogen sulphide	1, 3, 6, 7,16	1, 3, 5, 16		
Methylpropyl sulphide	1, 5, 6	5		
Methylpropyl disulphide			46	
Methyl <i>N</i> -pentyl disulphide			46, 47	

Compound	Raw	Boiled	Baked	Odour description
Ethylmethyl sulphide	1, 5-7	5		
Ethylmethyl disulphide	1, 5-7	5		
Dimethyl sulphide	1, 3, 5, 16	1, 3, 5, 16, 26, 27, 32, 33, 36	45	sulfury
Dimethyl disulphide	1, 5-7		43-47	
Dimethyl trisulphide		31-33, 36	43-47	cabbage-like
Dimethyl tetrasulphide		31	43-47	cabbage-like
3,5-Dimethyl-1,2,4-trithiolane	6, 7, 14	14		
Dimethyl sulphoxide		34		
Diethyl sulphide	1, 5-7	5		
Isopropylmethyl disulphide	1, 5-7	5		
2-Ethylhexyl mercaptan			38	
Ethyl pentyl disulphide			46	
2-Isopropylbenzimidazole			38	
Benzyl methyl sulphide			46	
Benzyl methyl disulphide			46	
Dipentyl disulphide			46	
Nitrogen compounds				
Diethylformamide			38	
Diethylacetamide			38	
Diphenylamine			38	
Thymine			38	
Cyanobenzene			38	
2-Amino-4-nitrotoluene			38	
2-Aminopentane			38	
Miscellaneous compounds				
Benzaldehyde diethylacetal	6	28		
Pentyl oxirane		12		
2-Propyl-1,3-dioxolane			38	
2,4,6-Trimethyl-1,3,5-trioxane			38	
1= Self (1967); 6= Nursten and Sheen (1974); 11= Khan (1971); 16= Self et al. (1963a); 21= Schormüller and Weder (1966a); 26= Self and Swain (1963); 31= Salinas et al. (1994); 36= Mutti and Grosch (1999); 41= Ho and Coleman (1980); 46= Oruna-Concha et al. (2001);	2= Khan et al. (1977); 7= Sapers (1975); 12= Josephson and Lindsay (1987); 17= Buttery and Ling (1973); 22= Desjardins et al. (1995); 27= Swain and Self (1964) 32= Mutti (2000); 37= Buttery et al. (1973); 42= Ho and Coleman (1981); 47= Oruna-Concha et al. (2002b)	3= Self et al. (1963b); 8= Buttery et al. (1961); 13= Fischer and Müller (1991); 18= Meigh et al. (1973); 23= Petersen et al. (1998); 28= Ryder (1966); 33= Grosch (1999); 38= Coleman et al. (1981); 43= Duckham et al. (2001);	4= Dumelin and Solms (1976); 9= Schormüller and Weder (1966b); 14= Buttery et al. (1970); 19= Murray and Whitfield (1975); 24= Waterer and Pritchard (1984b); 29= Mazza and Pietrzak (1990); 34= Thybo et al. (2006); 39= Pareles and Chang (1974); 44= Duckham (2002);	5= Gumbmann and Burr (1964); 10= Buttery and Teranishi (1963); 15= Fischer (1991); 20= Buttery and Ling (1974); 25= Waterer and Pritchard (1985); 30= Ulrich et al. (2000); 35= Petersen et al. (1999); 40= Coleman and Ho (1980); 45= Oruna-Concha et al. (2002a);

3.3 Boiled potatoes

The volatile profile obtained from boiled potatoes contains many process-derived compounds that contribute to the overall potato flavour (Buttery et al., 1970; Maarse, 1991). Important reactions for the flavour formation are the Maillard reaction, Strecker degradation and the thermal and enzymatic degradation of fatty acids (Figure 2). The Maillard reaction results in the formation of methional (Lindsay, 1996), which is a key compound of boiled potato flavour (Petersen et al., 1998). Autooxidation (Frankel, 1998) and enzymic (hydroperoxide lyase) action on hydroperoxides derived from linoleic and α -linolenic acids (Gardner, 1995) produce a range of flavour-active volatile aldehydes, ketones, alcohols and alkyl furans. Pyrazines, pyridines, pyrroles, thiophenes, thiazoles and terpenes present the other major classes of cooked potato volatiles (Taylor et al., 2007; Coleman and Ho, 1980).

Ulrich et al. (2000) have identified in total more than 140 volatiles which contribute, more or less, to the aroma impression. Maga (1994) and Salinas et al. (1994) have identified approximately 150 volatile compounds in boiled potatoes. The amount of volatiles varies and depends on analysis methods, cooking time, temperature of water, cooking conditions (vacuum or atmospheric system), holding time after cooking, and if analysing, peeled, unpeeled or mashed potatoes. Table 2 displays all volatiles specified in the literature with their odour description. A total of 182 compounds were compiled.

Buttery et al. (1970) analysed the volatile oil fraction from potatoes distilled under vacuum conditions at 40 to 50 °C versus a 3-h distillation under atmospheric conditions at 100 °C. The results showed that under vacuum conditions, the major identified component was 1-octen-3-ol, while in the atmospheric system, the compound 2-pentylfuran was predominant. This shows that the air and the temperature play an important role in the formation of cooked potato volatiles. Nursten und Sheen (1974) had results similar to the findings of Buttery et al. (1970), as far as the major components are concerned. They compared the volatiles associated with the steam distillation of peeled and unpeeled potatoes. Over 30 components were characterised, showing that the essence from unpeeled potatoes generally contained more aromatic compounds and a greater proportion of terpenes in comparison to peeled potatoes. Josephson and Lindsay (1987) identified c4-heptenal in freshly boiled potatoes at high concentrations, which provided a boiled potato-like characterizing aroma and flavour note in the potatoes. C4-Heptenal was formed by a double-bond hydration, retro-aldol degradation of t2, c6-nonadienal, which was also identified in boiled potatoes. Although these compounds occurred at very low concentrations in fresh boiled potatoes, the extremely low recog-

nition thresholds exhibited by these volatiles should allow each of them to influence the overall flavour and aroma of boiled potatoes. The addition of very low levels of c4-heptenal (0.1 to 0.4 ppb) enhanced the overall earthy potato-like flavour in freshly boiled mashed potatoes. However, addition of c4-heptenal at higher levels, more than 0.7 ppb, resulted in a distinct stale-type flavour.

In addition, several specific compounds have been directly related to desirable flavour and aroma characteristics with methional (Lindsay, 1996), methoxypyrazines (Murray and Whitfield, 1975) and the lipid degradation product, *cis*-4-heptenal (Josephson and Lindsay, 1987), all reported to exhibit "a cooked potato odour." According to Ulrich et al. (1998) the characteristic impact compounds of the boiled potato aroma are methional, diacetyl and alkyl pyrazines. The compounds 2,4-nonadienal, 2,4-decadienal and 2-pentyl furan are among the off-flavour compounds in boiled potatoes.

Mutti and Grosch (1999) screened the potent odorants of boiled potatoes of the cultivar Sieglinde with three different sensory analyses. In addition to the aroma extract dilution analysis (AEDA) and aroma extract concentration analyses (AECA), which both detect only the medium and low volatile odorants, gas chromatography/olfactometry of static headspace samples (GCO-H) was used for the identification of the highly volatile odorants. Altogether 45 compounds were found of which 42 were identified. After boiling under conditions usual for domestic consumption, the volatiles were isolated from the potato sample and then separated into the neutral/basic and acidic fractions. In the neutral-basic fraction, 29 odorants were found in the flavour dilution (FD)-factor range of 8 to 512. The FD-factor for a compound is defined as the ratio of its concentration in the initial extract to its concentration in the most dilute extract, in which odour was detected by High Resolution gas chromatography (HRGCO) (Milo and Grosch, 1995). The most odour-active compounds with the highest FD-factor were methional (FD-factor 256) and *trans*-4,5-epoxy-(E)-2-decenal (FD-factor 512) (Mutti and Grosch, 1999). Further important flavour compounds with an FD-factor of 64 were 2-acetyl-1-pyrroline, dimethyltrisulphide and 2,3-diethyl-5-methylpyrazine. The next FD-factor level of 32 appeared with 1-octen-3-one, 1,5-octadien-3-one, 2-nonenal, 2,6-nonadienal, 2-nonenal, 2,4-nonadienal and 2,4-decadienal, which were formed by peroxidation of linoleic acid or linolenic acid. After the AECA method methional and epoxydecenal were revealed as the most potent odorants of boiled potatoes. This result was in agreement with that of AEDA. In the GCOH analysis, the odorants methanethiol and 2-isopropyl-3-methoxypyrazine were additionally detected.

The comparison of the aroma of the original potato and the imitation resulted in satisfying agreement. This suc-

cessful imitation of the boiled potato aroma shows that this aroma is mainly created by these five compounds. The rest of identified compounds serve to round or rather to intensify the boiled potato flavour. The results demonstrate that only odorous substances are involved in boiled potato flavour, the intensity of which can be enhanced by adding table salt (Grosch, 1999; Mutti, 2000).

According to the analysis of Mutti (2000) and Grosch (1999), the compounds methanethiol, 2,3-diethyl-5-methylpyrazine, 2-isopropyl-3-methoxypyrazine as well as methional showed high FD-factors and contributed to the typical boiled potato flavour.

3.4 Baked potatoes

Traditionally the potato is intact before baking at a relatively high temperature for approximately one hour, which results in subtle but pleasant flavour changes in a potato. A potato with higher solids content is used for baking, and the outer layer and skin of the potato are retained during preparation (Coleman and Ho, 1980). The potato is in this case the only source of thermally generated flavour precursors. In other processed potatoes (boiled potato, chips, French fries) some of the flavour precursors and compounds are derived from the cooking medium (oil, fat, water with table salt) or through enzymatic and oxidative attack by the peeling or slicing of potatoes (Deck et al., 1973; Maga, 1994). Nevertheless, the baked potato flavour has a very mild but extremely complex flavour (Coleman and Ho, 1980).

Since potatoes are usually baked intact, one could suggest that the potato skin serves as a trap to hold the resulting thermally-produced volatiles within the potato. Certainly, it is evident that during baking some of the volatiles produced do escape into the atmosphere, but this proportion has not been reported in the literature. That is also the reason why some consumers prefer to wrap aluminium foil around potatoes before baking. Maybe the foil wrap retains a greater portion of the volatiles generated, so that they can be absorbed into the potato instead of being lost to the atmosphere (Maga, 1994). However, in the literature there are no findings concerning the use of foil during the baking process. Mostly, after baking, the potatoes were removed from the oven, then wrapped in foil, and left to stand for some minutes (Oruna-Concha et al., 2002a; Oruna-Concha et al., 2002b).

Up until 2000, only few papers dealt with the flavour of baked potato (Buttery et al., 1973; Coleman and Ho, 1980; Coleman et al., 1981; Ho and Coleman, 1980; Ho and Coleman, 1981; Pareles and Chang, 1974; Mazza and Pietrzak, 1990). All volatiles of baked potato are listed in Table 2. The compiled references identify 392 compounds in baked potatoes.

One of the earliest studies, reported by Buttery et al. (1973), commented that the skins from baked potatoes had a greater ratio of pyrazines to aldehydes than the whole baked potato. In contrast, the volatiles from inside of the potato had a greater ratio of aldehydes to pyrazines. They held that both temperature and moisture conditions were more appropriate for pyrazine formation in the skin fraction compared to the potato interior. From their point of view, the most important compounds were 2-ethyl-3,6-dimethylpyrazine, methional, 2,4-dienal and 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine. In their opinion, of the pyrazines, 2-ethyl-3,6-dimethylpyrazine is one of the major contributors to baked potato aroma.

This is in accordance with the results of Pareles and Chang (1974) (s. Table 2). They separated the volatile flavour compounds in baked potatoes into acidic, neutral, and basic fractions and found that the basic and neutral fractions had the most characteristic baked potato aroma. They concluded that 2-ethyl-3,6-dimethylpyrazine was one of the most important compounds contributing to baked potato aroma. However, it was deduced that a combination of 2-isobutyl-3-methylpyrazine, 2,3-diethyl-5-methylpyrazine, and 3,5-diethyl-2-methylpyrazine had a much more characteristic baked potato aroma than did any single compound. Beside the pyrazines, the compound 5-methyl-2-furaldehyde was identified in their investigation, which might also contribute to the total flavour of baked potatoes.

Coleman, Ho and Chang (Coleman and Ho, 1980; Coleman et al., 1981) also pointed out that in addition to pyrazines, thiazoles contribute to the baked potato flavour. Around thirty pyrazines and three thiazoles were identified, whereof many of them have never been reported as volatile flavour components of baked potato or potato products before. The results of their research indicated that a natural baked potato flavour is not due to a single compound, but is the result of the mixture of a number of components. The compounds are considered as important contributions to the earthy, nutty, baked, sweet earthy potato, and baked potato-like aromas. 2-Ethyl-6-vinylpyrazine was described as buttery, baked, and potato-like. 2-Ethyl-3-methylpyrazine produces a pleasant earthy and nutty note to the total flavour (Coleman and Ho, 1980; Coleman et al., 1981). 2-Ethyl-3,6-dimethylpyrazine possesses an earthy, baked potato-like aroma, and is according to the scientists a very important compound to influence the flavour. Furthermore they found out that there are more pyrazines in baked potatoes than in other forms of cooked potatoes because of the presence of baked potato skins (Coleman and Ho, 1980). In a study by Koehler et al. (1969) it was shown that for an appreciable rate of pyrazine formation temperatures greater than 100 °C are needed.

On the basis of these thus-far mentioned studies, it would appear that the most important flavour compounds of baked potato are pyrazines, special 2-ethyl-3,6-dimethylpyrazine, methional, oxazoles, thiazoles and furanone.

As of 2000, other studies followed. These were engaged mainly in effects of cultivars (Duckham et al., 2001; Duckham et al., 2002; Oruna-Concha et al., 2001; Oruna-Concha et al., 2002a), storage times (Duckham et al., 2002) and preparation possibilities (Oruna-Concha et al., 2002b) on the volatile flavour components in baked potatoes.

Oruna-Concha et al. (2001) were the first who compared the volatile flavour components of different potato cultivars after baking. They analysed the volatile compounds from the skin and flesh of baked potatoes and compared the levels isolated from four potato cultivars growing at different sites. The potatoes were baked in their skins prior to separating the skin and flesh. The volatile composition of the skin and flesh of baked potatoes varies quantitatively and qualitatively among cultivars grown at different sites. Sugar degradation and/or the Maillard reaction is the major source of volatiles in skin, due largely to pyrazine while, in the flesh, lipid degradation products were also important (more in chapter 4.3.3).

Duckham et al. (2001) analysed the volatile flavour components of the flesh of potatoes following baking. For this study, a wider range of cultivars was used than has been ever reported so far. Their research revealed that lipid oxidation and the Maillard reaction are the major sources of flavour compounds of baked potato flesh, and that other components like sulfur compounds, methoxypyrazines and terpenes are also present at lower levels. According to their analysis, compounds like 2-isobutyl-3-methoxypyrazine, 2-isopropyl-3-methoxypyrazine, β -damascenone, dimethyl trisulfide, decanal and 3-methylbutanal contribute most to baked potato flavour.

4 The effects of variety, agronomic and preparation measures on the volatile compounds and quality of raw, boiled and baked potatoes

The flavour of food plants is variety-specific, defined genetically, but the natural habitat determinants, the cultivation (including fertilization) and the stage of maturation could also have an influence on the forming of flavour components (Doms and Timmermann, 1982). Furthermore, the storage conditions have an effect on the chemical composition of raw potatoes and on the sensory quality and aroma composition of boiled potatoes (Thybo et al., 2006). Even preparation methods like boiling, conventional baking or microwave baking have an impact on the volatile compounds and ultimately on the sensory quality.

The specific effects and their interference with the volatiles are specified in the following.

4.1 Raw potatoes

4.1.1 Potato variety

It is clear that plant genetics influence flavour (Paillard, 1981). The genetic composition determines enzyme systems and their activity in flavour formation (Heath and Reineccius, 1986). It is also known that varietal differences in flavour are due to quantitative differences in flavour composition rather than qualitative differences. But there are no comparable analyses about raw potatoes concerning differences of volatile compounds.

4.1.2 Fertilization

In how far a different nutrient supply can influence the flavour of potatoes has so far attracted only little interest. Hunnius et al. (1978) and Nitsch and Klein (1983) reported the negative changes of taste value of table potatoes (low mealiness, high moisture, poor taste) as a result of a high fertilization with nitrogen. Khan et al. (1977) showed via a pot experiment the influence of nutrient combinations on the spectrum of volatiles in raw potatoes. Both analyzed varieties, Grata and Saturna, include the following compounds: acetaldehyde, propanal, 2-butanone, pentanal, hexanal, heptanone, heptanal, 2-hexenal, octanal and nonanone. Differences in fertilization with nitrogen, phosphoric acid, potassic and magnesium cause a deferment in the spectrum of identified volatiles. High fertilization with nitrogen resulted in a decrease of acetaldehyde and propanal. In contrast, quantities of hexanal, heptanone, 2-butanone, 2-hexenal and octanal increased. Neither a positive nor a negative influence of different nitrogen fertilization levels on pentanal and nonanone could be detected. Higher addition of potassium benefit the volatiles of tubers with the exception of 2-hexenal and nonanal. An elevated fertilization with phosphate had a positive effect of acetaldehyde, pentanal, hexanal, heptanone, 2-butanone and octanal. No differences were observed after different phosphate applications by propanal, heptanal and nonanone, but a higher phosphate application caused a decrease of 2-hexenal. An increase in magnesium application induced a higher content of heptanone in both cultivars. No other effects of magnesium fertilization were assessed. The results were partially confirmed by Fischer (1991). He used a pot experiment to analyze the effect of various amounts of nitrogen and potassium on the composition of the aroma of native potatoes. Fischer (1991) found an increase of 2-hexenal, heptanal and 2,4-decadienal due a higher nitrogen application. A rising potassium application resulted in an increase of pentanol and 2-hexenal. He postulated that fertilization influenced the amount and type of lipid in the tuber, which in turn was the precursor

sor for the compounds identified. How far climate factors can also contribute to differences in volatile compounds is under discussion.

4.1.3 Storage conditions

Under proper conditions, potato tubers can be stored for long periods of time before they are processed or consumed. Waterer and Prichard (1985) compared the volatiles produced by healthy tubers versus tubers that had been intentionally punched with needles. Volatiles were analyzed daily for six days. Wounded tubers produced 2-3 times more volatiles in total than the non-damaged control. Especially an increase of 15 compounds like methanol, ethanal, 1-propanal, 2-propanone, 1-propanol, 2-butanol, 2-butanone, 1-butanal, 2-methyl-1-propanal, 1-butanol, and 3-hydroxy-2-butanone were measured. All compounds except 3-hydroxy-2-butanone were found in normal tubers. Water and Prichard (1985) explained this with a higher metabolic activity associated with the wounds.

The content of volatile compounds increases and the quantitative ratios change when potato tubers are infected with pathogens. Waterer and Prichard (1984a) compared the volatiles produced by non-infected and infected tubers stored in plastic bags. They inoculated potato tubers with the bacterium *Erwinia carotovora* var. *carotovora*. Healthy tubers produced volatiles at a relatively low and constant rate. In the volatile profiles of the infected tubers a wide range of short chain alcohols and carbonyls were identified. During the development of the *E. carotovora* infection there was a general increase in the concentration of the individual volatiles, but certain compounds increased more than others. Lowering the temperature slowed disease development, resulting in decreased volatile production and changes in the pattern of volatile output. Wounding of potato tubers caused a general increase in volatile production by the tubers. In total, 14 volatile compounds (5 unidentified) were detected in the infected tubers. These included amongst others ethanol, methanol, ethanal, propanal, 1-propanol, 1-butanol, 2-butanol, 2-methyl-1-propanol, 2-propanone (acetone) and 3-hydroxy-2-butanone.

4.2 Boiled Potato

4.2.1 Potato variety

Only little information is available concerning the typical cooking flavour influenced by varieties. Ulrich et al. (1998) analysed the aromatic compounds of two varieties, the genotype "St1.365" and cv. "Adretta". The isolated volatiles were identified by GC-olfactometry-method. The obtained aromagrammes, including the aroma key compounds, were compared with the results of the sensory

evaluation. The sensory evaluation was carried out by a trained panel consisting of 15 members. Methional (3-methylthio-propanal), with the typical potato smell, was the compound with the highest peak in both varieties. The results showed that Adretta has an increased buttery or sweet caramel-like impression caused by 2,3-butanedione (diacetyl). The genotype St. 1.365 is characterized by high boiling volatiles, some identified as dienals with fatty and rancid odour impressions. The sensory profiles corresponded very closely to the analytical results. Adretta emits an increased sweet impression caused by diacetyl. The St 1.365 is evident in off-flavour note impressions like metallic and musty notes produced by dienals.

Thybo et al. (2006) proved the effect of cultivars on the aroma composition of cooked pre-peeled potatoes. The cultivars Berber, Arkula, Marabel, Sava, Folva and Agria were grown in three replicates on a fine sandy soil. A PCA (Principal Component Analysis) of the aroma components indicated that the variation of most of the aroma components was caused mainly by the effects of cultivar. In Sava, Folva and Agria higher intensities of methional, linalool and cymene and lower intensities of nonanal and decanal were detected. In contrast, higher intensities of nonanal and decanal was found in the cultivars Marabel and Berber, with a high intensity of rancidness and low intensity in potato flavour. This result showed that the cultivars Sava, Folva and Agria performed better with methional, described with a distinct boiled potato odour, than Marabel and Berber with their identified compounds contributing with a rancid and fatty odour.

4.2.2 Fertilization

It is known that fertiliser and method of application generally influence the basic nutrients of the boiled potatoes (Ceylan et al., 2006; Haase et al., 2005; Neuhoﬀ et al., 1999; Peine, 2005; Sandbrink and Grocholl, 2006; Singh et al., 2008; Stühling, 2004). Because the volatile aroma compounds derive from the basic nutrients, it could be assumed that the flavouring compounds would be affected by fertilization, too. However, there are hardly any findings in this area.

Thybo et al. (2002) analysed the effect of six different organic treatments of the sensory quality of potatoes. The cultivar Sava was grown under six organic treatments with three field replicates (18 samples) in sandy loam. Cattle slurry or cattle deep litter was applied corresponding to an equal supply of total nitrogen. The manure was applied 7-8 days before planting. The slurry was either placed under the seed potatoes, ploughed in with the straw of the preceding rye crop left in the field or ploughed in alone. The results showed no significant effects of the flavour of boiled potatoes manuring with different organic fertilizers.

4.2.3 Storage time after boiling

When potatoes are boiled and then chill-stored, they rapidly (i.e., within hours) change their flavour. This rather undesirable flavour can be described as cardboard-like (Petersen et al., 2003). It is a result of lipoxygenase activity released from disrupted cells during the peeling process and the first part of the boiling process (Petersen et al., 1999). Petersen et al. (2003) determined the lipoxygenase activity in raw and fresh boiled potatoes and in boiled potatoes refrigerated until the next day. All potatoes underwent a long-term storage at 4° to 5 °C at 90 to 95 % relative humidity. All potatoes were peeled manually before boiling. Each month (from November until May) potatoes were analyzed for lipoxygenase activity and their aroma profile was measured in raw freshly boiled potatoes and in potatoes that were refrigerated for 24 h/5 °C after boiling. The most off-flavour compounds in all three versions were pentanal, hexanal, 2-octenal, 2-nonenal, 2,4-nonadienal and 2,4-decadienal and two typical potato aromas, methional and 2,6-nonadienal. Except 2-nonenal, all compound concentrations were significantly higher in the boiled/24 h-stored potatoes than in raw or the freshly boiled. The two 2,4-alkadienals were in fact only detected in the boiled/24 h-stored potatoes. Petersen et al. (2003) could not detect nonanal, and 2-nonenal did not change significantly during 24 h storage of boiled potatoes. However, they found out that the typical potato aroma compound 2,6-nonadienal disappeared during 24 h storage of boiled potatoes and the concentration of methional showed a tendency to decrease. On the other hand, Grosch (1999) realised an increase of the concentration of methional with its typical boiled potato flavour and 2,4-decadienal with fatty notes about 320 % and 283 % within 2 hours. However the compounds with an earthy note 2,3-diethyl-5-methylpyrazine and 3-isobutyl-2-methoxypyrazine decreased. The warm-holding induced a negative modification of the boiled potato flavour.

De Fiellietaz Goethart et al. (1985) studied the influence of keeping potatoes warm on their organoleptic quality. One or two temperatures and three or four different times, up to 3 h, were applied. It appeared that the decrease in quality as the result of keeping warm is, in most cases, the result of an increase in off-flavours and a decrease in positive flavour aspects. The panel concluded that boiled potatoes should not be kept warm for longer than half an hour, and certainly not longer than 1 h.

4.3 Baked potatoes

4.3.1 Potato variety

Oruna-Concha et al. (2001) reported the volatile flavour compounds of the skin and the flesh (analysed separately) from four potato cultivars after baking. The varieties Cara, Nadine, Fianna and Marfona were selected. The concentrated extracts were analyzed by GC-MS. The volatiles were identified and classified according to their origin, that is, lipid, sugar degradation (SD) and/or Maillard reaction (MR) not involving sulphur amino acids, sulphur compounds, methoxypyrazines, and other compounds. They observed quantitative and qualitative differences between samples isolated from flesh and skins, and among cultivars grown at different sites in the U.K., SD and/or MR was by far the main source in skin of all cultivars (71 to 78 % of the total amount) except Nadine (28 %), with pyrazines contributing from 56 % (Nadine) to 73 % (Cara) of amounts in this group. In every cultivar 2,5- and/or 2,6-dimethyl-pyrazine was the most abundant representative compound. The amino acid asparagine comprised the largest component in pyrazine formation (Hwang et al., 1995). Nadine possessed the lowest level of asparagines, and this may account, partially, for the low levels of pyrazines observed. Methional with its typical cooked potato aroma could not be identified. Maybe it was masked by 2,5- and/or 2,6-dimethylpyrazine (Oruna-Concha et al., 2001). The methoxypyrazine 2-isopropyl-3-methoxypyrazine was only present in Marfona. This compound is of particular interest due to its very low odour threshold value of 2 ng/L and because it was previously identified in raw, boiled and baked potatoes. Buttery and Ling (1973) have suggested that it stems from bacteria formed in the soil and can be absorbed into the tuber. But they discovered that the similar compound 2-isobutyl-3-methoxypyrazine is synthesized by bell peppers, to which the potato is closely related. Because 2-isopropyl-3-methoxypyrazine was only found in one cultivar, it would appear that there may be differences among the cultivars examined in their ability to synthesize this compound. In the opinion of Oruna-Concha et al. (2001), another reason for the synthesis could be the differences in cultural conditions. Solavetivone, a sesquiterpene, was identified in all four cultivars. Compared to the other cultivars, a relatively high level was analysed in the skin of the cultivar Nadine. Because solavetivone is a marker of stress metabolite (Zacharius and Kalan, 1984), Oruna-Concha et al. (2001) suggested that Nadine tubers were under stress during storage, although they and all the tubers of the other three cultivars appeared to be in good condition. One could argue that Nadine may have been biochemically less stable than other cultivars.

The lipid and SD and/or the MR were responsible for the volatile formation in the flesh. The lipid degradation was the prevalent source of volatiles in Cara (93 %), in Fianna (75 %), but only 15 and 19 % of the volatiles in Nadine and Marfona. Especially levels of pyrazines were much lower in the flesh, and those compounds that were identified, according to Buttery et al. (1973), migrated from the skin, where the higher temperature and lower water activity (compared to the interior of the tuber) located during baking would favour their formation. Furthermore, the compounds 2,4-decadienal, 2-nonenal and methional appear to be the most important contributors to flesh aroma. Oruna-Concha et al. (2002a) compared the volatiles in the flesh of eight cultivars of potatoes after microwave baking. The cultivars Marfona, Desiree, King Edward, Fianna, Nadine, Pentland Squire, Saxon and Cara were grown in the same field in the U.K.. Sixty of the 80 volatile compounds identified in this study were lipid-derived. Prominent compounds present in all cultivars included hexanal, nonanal, decanal, benzaldehyde and 2-pentyl-furan. 2-Isobutyl-3-methoxypyrazine was presented in identifiable amounts in only the cultivar Desiree. Alkylpyrazines followed from the MR were not identified in the microwave-baked potatoes. Duckham et al. (2001) came to similar conclusions. They analysed the baked potato flesh of eleven cultivars which were grown on the same field and were baked in a conventional oven. The cultivars were partially equal to those of Oruna-Concha et al. (2002a): Nadine, Golden Wonder, Fianna, Estima, Cara, Saxon, Kerr's Pink, Maris Piper, Desiree, Marfona and Pentland squire. Marfona gave the highest absolute yield and relative yield (77 %) of compounds formed by the MR and/or SD while yields were lowest for Cara (25 %). These results agree with those of Oruna-Concha et al. (2002a), who also found the highest yield of compounds by the MR and/or SD in Marfona and the lowest in Cara. The most abundant representatives in both studies were the Strecker aldehydes 2- and 3-methylbutanal, which were identified in every cultivar and contributed 75 to 96 % of the volatiles in this category. However, statistically significant differences were observed in the levels of both aldehydes between the cultivars. Furthermore, only one or more pyrazines were identified in only six of the eleven cultivars, most representatives Golden Wonder (Duckham et al., 2001). The formation of pyrazines is facilitated by high temperature and intermediate moisture; conditions that concerned in the outer layer of the potato tuber during baking. The analysed pyrazines may have migrated from the outer layers of the potato towards the centre during baking (Buttery et al., 1973). Also methional was detected in only five cultivars with the highest level in the cultivar Nadine. In contrast, dimethyl disulphide, which can form from methional, was present in all cultivars and dimethyl trisulphide were found in all except Golden Wonder (Duckham et al., 2001).

In summary, it could be retained that the lipid and the MR and/or SD are the major sources of compounds in all cultivars. However, each potato cultivar possessed a unique profile of volatile compounds.

4.3.2 Storage conditions

A study of Duckham et al. (2002) examined the effects of cultivar and storage time on amounts of selected volatile flavour components of the flesh of potatoes following baking. They chose the five cultivars Estima, Saxon, Golden Wonder, Kerr's Pink and Desiree, which were grown on different sites in the U.K.. Tubers were stored at 4 °C for 2, 3, and 8 months and baked in a conventional oven. The flavour compounds were isolated by headspace method and analyzed by GC-MS. More than 150 compounds were detected. There was a significant increase in total amounts of compounds between 2 and 3 months, and between 3 and 8 months storage. With storage time, the total amounts of compounds derived primarily from lipid increased, and there were differences for each storage time interval. The amounts of the lipid-derived aldehyde hexanal, heptanal, nonanal and decanal all increased significantly between 3 and 8 months. By contrast, 2-heptanone, 1-octen-3-ol and butanedione, which are also originated from lipids, were significantly lower after 8 months of storage compared the other storage times. The levels of Maillard/sugar-derived compounds were significantly higher after 8 months as compared to 2 and 3 months of storage. Between 2 and 3 months, methylpropanal, 2-methylbutanal and 3-methylbutanal showed no significant increase, followed by a significant increase between 3 and 8 months. Methional was the only compound in this study that showed a significant storage time effect, the amounts decreased between 3 and 8 months.

4.3.3 Preparation methods (conventional baking, microwave baking, boiling)

Heat and mass transfer characteristics of foods cooked by microwave radiation are different from those associated with conventional baking (Van Eijk, 1994). Potatoes are more rapidly baked in a microwave oven (e.g., ~10 min) than in a conventional oven (~1 h) (Wilson et al., 2002b). There are some studies compared the flavour of conventionally and microwave baked potatoes (Bowman et al., 1971; Brittin and Trevino, 1980; Eheart and Gott, 1964; Maga and Twomey, 1977; Oruna-Concha et al., 2002b). In a study by Maga and Twomey (1977), a trained panel ranked four potato cultivars (respectively baked conventionally and baked by microwave) from the best to worst on the basis of external and internal appearance, aroma and flavour. It could be shown that in all cases microwave

baking came off badly, and the trained panel preferred the conventionally baked potatoes. Brittin and Trevino (1980) evaluated the flavour of conventionally and microwave-baked potatoes using both a 10-member trained panel and a 120-member consumer panel. The trained sensory panel ranked the microwave-baked tubers lower while a consumer panel showed no significant differences for preferences or acceptability. Using GC-MS, Oruna-Concha et al. (2002b) determined the effects of boiling, conventional baking and microwave baking on the profiles of flavour compounds of two potato cultivars (Estima and Maris Piper). Peeled and sliced tubers were boiled, while intact potatoes were baked in their skins. Regardless of cooking procedure, main sources of flavour compounds resulted in lipid degradation and from the MR and/or SD. The proportion of lipid-derived compounds to the proportion of sugar- and/or Maillard-derived compounds decreased from 8.5-9.1 (boiling) to 2.7-3.4 (microwave baking) and to 0.4-1.1 (conventional baking). The total levels of lipid-derived compounds in boiled potatoes were 1.2-2.1-fold higher than those that had been prepared in the microwave and 1.5-3.2-fold higher than those that had been conventionally baked. Hexanal, 2-heptenal and 2-pentylfuran were higher after boiling, but 2-nonenal and decanal were the highest following microwave baking. Higher amount of hexanal and 1-octen-3-ol were found after baking conventionally than in the microwave oven. The levels of the lipid-derived 2-methylfuran, 2-pentylfuran, 3-hexanone and 1-octen-3-ol were significantly higher after boiling. The total number of compounds derived from SD and/or the MR was always highest for conventionally baked potatoes and lowest for those that had been boiled. The potato flesh of microwave-baked potatoes gave the weakest isolates of volatile compounds.

These quantitative and qualitative differences for the flavour compounds created by the three cooking procedures may be partially attributed to the variations in heat and mass transfer processes that occur.

During baking in a conventional oven, heat is transferred into the potato at its surface and the surface temperature increases to 100 °C. The rate of the heat transfer is limited by heat loss through water evaporation and by the reduced thermal conductivity of the dried skin layer (Wilson et al., 2002a). Finally, the surface temperature increases above 100 °C, a crust develops, further evaporation of water takes place and the 100 °C isotherm moves towards the centre of the tuber. Water loss during baking amounts for ~200 g kg⁻¹ of the original mass of the tuber and increases linearly with cooking time. From the outer 3 mm of the tuber is the most of moisture lost (~57 %) and the crust rapidly becomes a low-moisture zone. During boiling, the water loss from the tuber is marginal and the 100 °C isotherm migrates more rapidly towards the cen-

tre of the tuber than during conventional baking (Oruna-Concha et al., 2002b).

The heating method during microwave baking is quite different from those for other cooking procedures; short baking time and the outer surface, which, owing to evaporative cooling, remains at a lower temperature, and, in contrast to conventional baking, forms no crust (Oruna-Concha et al., 2002b). Baking in the microwave resembles oven baking in that there is substantial evaporative loss of water, but the conversion of microwave energy into heat is dispersed (Wilson et al., 2002b). The input of energy is not spatially uniform, but the degree of non-uniformity varies with the shape and dimensions of food material (Zhou et al., 1995). Oruna-Concha et al. (2002b) could show that the amount of moisture lost during microwave and conventional baking were about the same, but in the tubers prepared in microwave oven the loss of water was uniformly throughout the tuber. This mechanism of water loss, which in their opinion could result in losses of flavour compounds through co-distillation, plus evaporative cooling at the tuber surface could account for the lowest of total volatiles in the isolates prepared from microwave-baked potatoes. The moisture is an important factor influencing the MR, and the reduced moisture levels in potatoes baked by both methods most likely played a key role in the observed levels of components formed via this pathway. In the conventionally baked tubers, an outer crust was formed, an area of low moisture content with a temperature between 100 °C and the set oven temperature (190 °C). Such a crust was not noticed in the microwave-baked potatoes, but the levels of the Maillard products were higher than in boiling and this must be the consequence of the reduced moisture level in the tuber caused by microwave baking. In an investigation by Van Eijk (1994), the low moisture content and the high temperature of the crust that develops at the surface of the tuber during conventional baking, together with the relatively long cooking time, affect the MR in comparison to microwave baking.

Both baking methods, which had lower amounts of lipid degradation products than boiling, led to a more rapid temperature increase in potato tissue, compared to boiling, and lipoxygenase is expected to make a smaller contribution to flavour development in intact tubers. Thus it is presumed that, the majority of the lipid-derived components in baking potatoes resulted by thermal degradation of lipid rather than enzymatic oxidation.

5 Conclusions

Large numbers of volatile compounds were identified in raw, boiled and baked potatoes. These can be considered as products of lipid or sugar degradation and/or Maillard reaction/lipid interactions.

Lipid oxidation products of unsaturated fatty acids are the major source of volatiles in raw potatoes due to the relatively high lipoxygenase content. Important reactions for the flavour formation in boiled potatoes are the Maillard reaction, the Strecker degradation and the thermal and enzymatic degradation of fatty acids. The volatile composition of the skin and flesh of baked potatoes varies quantitatively. Sugar degradation and/or the Maillard reaction is the major source of volatiles in skin, due largely to pyrazine while, in the flesh, lipid degradation products were also important.

The desirable heated potato flavour in boiled and baked potatoes seems to center around pyrazines in various combinations that result in a typical earthy, potato-like flavour.

Because potato tubers are only consumed after cooking or baking, there are only few results on the volatiles in raw potatoes. The small number of studies deals with volatiles after tuber damage or microbial attack. However, there would be an advantage to identifying the volatiles in the raw product. By comparing these with those of processed potatoes, positive or negative impacts by the raw product on the final product-flavour could be determined. This information could serve for breeding new varieties with certain properties which eventually comply with consumer demand.

The impact of agronomic measures on the volatile compounds in raw, boiled and baked potatoes was not taken into intensive consideration thus far. Especially in view of the volatiles in different varieties and in different agricultural systems (ecological, conventional), fertilization and storage there are hardly findings.

This stresses the future need for research, in particular regarding the effects of agronomic measures on the volatile compounds and their influence on the sensory quality of raw as well as processed potatoes.

6 Acknowledgements

This project was financially supported by the BÖL, Bundesprogramm Ökologischer Landbau.

References

- Baysal T, Demirdoven A (2007) Lipoxygenase in fruits and vegetables : a review. *Enzyme Microb Technol* 40(4):491-496
- Belitz H-D, Grosch W, Schieberle P (2008) *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. Berlin : Springer, 1118 p
- Bowman F, Page E, Remmenga EE, Trump D (1971) Microwave vs conventional cooking of vegetables at high altitude. *J Am Diet Assoc* 58(5):427-433
- Brillat-Savarin JA (1962) *Physiologie des Geschmacks*. München : Bruckmann, 282 p
- Brittin HC, Trevino JE (1980) Acceptability of microwave and conventionally baked potatoes. *J Food Sci* 45(5):1425-1427
- Buttery RG, Guadagni DG, Ling LC (1973) Volatile components of baked potatoes. *J Sci Food Agric* 24:1125-1131
- Buttery RG, Hendel CE, Boggs MM (1961) Off-flavors in potato products - auto-oxidation of potato granules : 1. Changes in fatty acids, 2. Formation of carbonyls and hydrocarbons. *J Agric Food Chem* 9(3):245-252
- Buttery RG, Ling LC (1973) Earthy aroma of potatoes. *J Agric Food Chem* 21(4):745-746
- Buttery RG, Ling LC (1974) Alkylthiazoles in potato products. *J Agric Food Chem* 22(5):912-914
- Buttery RG, Seifert RM, Ling LC (1970) Characterization of some volatile potato components. *J Agric Food Chem* 18(3):538-539
- Buttery RG, Teranishi R (1963) Measurement of fat autooxidation and browning aldehydes in food vapors by direct vapor injection gas-liquid chromatography. *J Agric Food Chem* 11(6):504-507
- Ceylan S, Mordogan N, Akdemir H, Cakici H (2006) Effect of organic fertilizers on some agronomic and chemical properties of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Asian J Chem* 18(2):1223-1230
- CIP (2008) Potato : growth in production accelerates [online]. Zu finden in: <<http://www.cipotato.org/potato/facts/growth.asp>> [zitiert am 03.11.2009]
- Coleman EC, Ho CT (1980) Chemistry of baked potato flavor : 1. Pyrazines and thiazoles identified in the volatile flavor of baked potato. *J Agric Food Chem* 28(1):66-68
- Coleman EC, Ho CT, Chang SS (1981) Isolation and identification of volatile compounds from baked potatoes. *J Agric Food Chem* (29):42-48
- Cremer DR, Vollenbroeker M, Eichner K (2000) Investigation of the formation of Strecker aldehydes from the reaction of Amadori rearrangement products with alpha-amino acids in low moisture model systems. *Eur Food Res Technol* 211(6):400-403
- De Fiellietaz Goethart RL, Lassche JB, Van Gemert LJ (1985) The influence of warm-holding on the organoleptic quality of potatoes, meatballs and some vegetables. *J Foodservice Syst* 3(4):205-213
- Deck RE, Pokorny J, Chang SS (1973) Isolation and identification of volatile compounds from potato chips. *J Food Sci* 38(2):345-349
- Desjardins AE, McCormick SP, Corsini DL (1995) Diversity of sesquiterpenes in 46 potato cultivars and breeding selections. *J Agric Food Chem* 43(8):2267-2272
- Dobson G, Griffiths DW, Davies HV, McNicol JW (2004) Comparison of fatty acid and polar lipid contents of tubers from two potato species, *Solanum tuberosum* and *Solanum phureja*. *J Agric Food Chem* 52(20):6306-6314
- Doms E, Timmermann F (1982) Capillary gas chromatographic studies of the aroma patterns of organically and mineral fertilized food plants. *Landwirtsch Forsch SH* 38:788-795
- Drawert F, Tressl R, Holzer M, Apetz M, Badings HT, Kleipool RJC, Tas AC, Neeter R, ten Noever de Brauw MC, Grosch W, Laskawy G, Fischer KH, Bemelmans JMH (1975) Biochemical formation of aroma components. In: Groenen PJ, Maarse H (eds) *Aroma research : proceedings of the International Symposium on Aroma Research*, held at the Central Institute for Nutrition and Food Research TNO, Zeist, the Netherlands, May 26-29, 1975. Wageningen : PUDOC, pp 13-39
- Duckham SC, Dodson AT, Bakker J, Ames JM (2001) Volatile flavour components of baked potato flesh : a comparison of eleven potato cultivars. *Nahrung* 45(5):317-323

- Duckham SC, Dodson AT, Bakker J, Ames JM (2002) Effect of cultivar and storage time on the volatile flavor components of baked potato. *J Agric Food Chem* 50(20):5640-5648
- Dumelin E, Solms J (1976) The formation of 5 nucleotides during cooking of potatoes. *Potato Res* 19(3):215-228
- Eheart MS, Gott C (1964) Conventional and microwave cooking of vegetables. *J Am Diet Assoc* 44(2):116-119
- FAO (2008) Potatoes in the kitchen [online]. Zu finden in <<http://www.potato2008.org/en/recipes/index.html>> [zitiert am 03.11.2009]
- Faulks R (1981) Potatoes. *Nutr Food Sci* (73):6-8
- Fischer J (1991) Untersuchungen über flüchtige Aromastoffe der Kartoffel : II. Der Einfluss differenzierter Nährstoffgaben auf das Spektrum der Aromastoffe in Kartoffeln. *Potato Res* 34:169-178
- Fischer J, Müller K (1991) Untersuchungen über flüchtige Aromastoffe der Kartoffel : I. Isolation und Anreicherung flüchtiger Aromastoffe mit der Dynamischen Headspace Technik. *Potato Res* 34:159-167
- Frankel EN (1998) Lipid oxidation. Dundee : Oily Press, 303 p
- Fujimaki M, Kato S, Kurata T (1969) Prolysis of sulfur-containing amino acids. *Agr Biol Chem* 33(8):1144-1151
- Galliard T (1973) Lipids of potato-tubers : 1. Lipid and fatty-acid composition of tubers from different varieties of potato. *J Sci Food Agric* 24(5):617-622
- Galliard T, Matthew JA (1973) Lipids of potato-tubers : 2. Lipid-degrading enzymes in different varieties of potato-tuber. *J Sci Food Agric* 24(5):623-627
- Gardner HW (1995) Biological roles and biochemistry of the lipoxygenase pathway. *Hortscience* 30(2):197-205
- Gardner HW, Grove MJ, Salch YP (1996) Enzymic pathway to ethyl vinyl ketone and 2-pentenal in soybean preparations. *J Agric Food Chem* 44(3):882-886
- Grosch W (1999) Aroma von gekochten Kartoffeln, Trockenkartoffeln und Pommes frites. *Kartoffelbau* 50(9/10):362-364
- Gumbmann MR, Burr HK (1964) Food flavors and odors : volatile sulfur compounds in potatoes. *J Agric Food Chem* 12(5):404-408
- Haase T, Schüller C, Kölsch E, Haase NU, Heß J (2005) Effect of fertilization on yield and quality factors of organic maincrop potatoes for processing. In: Ritter E, Carrascal A (eds) Abstracts of papers and posters : triennial conference of the EAPR European Association for Potato Research, EAPR-2005, July 17 to 22, Bilbao, Spain. Vitoria, pp 441-445
- Heath HB, Reineccius G (1986) Flavor chemistry and technology. London : Macmillan , 442 p
- Ho CT, Chen QY (1994) Lipids in food flavors : an overview. In: Ho CT (ed) Lipids in food flavors : developed from a symposium sponsored by the Division of Agricultural and Food Chemistry at the 205th national meeting of the American Chemical Society, Denver, Colorado, March 28 – April 2, 1993. Washington : Am Chem Soc, pp 2-14
- Ho CT, Coleman EC (1980) Chemistry of baked potato flour : further identification of heterocyclic-compounds in the volatile flavor of baked potato. *J Food Sci* 45(4):1094-1095
- Ho CT, Coleman EC (1981) Halogen compounds identified in the volatile constituents of baked potatoes. *J Agric Food Chem* 29(1):200-201
- Hunnus W, Müller K, Winner C (1978) Düngen wir richtig im Blick auf die Qualität von Hackfrüchten? *Landwirtsch Forsch* SH 35:54-71
- Hwang HI, Hartman TG, Ho CT (1995) Relative reactivities of amino-acids in pyrazine formation. *J Agric Food Chem* 43(1):179-184
- Jensen K, Petersen MA, Poll L, Brockhoff PB (1999) Influence of variety and growing location on the development of off-flavor in precooked vacuum-packed potatoes. *J Agric Food Chem* 47(3):1145-1149
- Johnson AE, Nursten HE, Williams AA (1971) Vegetable volatiles : a survey of components identified : part II. *Chem Ind* 1971:1212-1224
- Jones MG (2008) Formation of vegetable flavour. In: Brückner B, Wyllie SG (eds) Fruit and vegetable flavour : recent advances and future prospects. Cambridge : Woodhead Publ, pp 71-102
- Josephson DB, Lindsay RC (1987) C4-heptenal : an influential volatile compound in boiled potato flavor. *J Food Sci* 52(2):328-331
- Kays SJ, Wang Y (2000) Thermally induced flavor compounds. *HortScience* 35(6):1002-1012
- Khan I (1971) Gas chromatographic determination of aroma substances in potatoes, onions and bananas. *Potato Res* 14:326
- Khan I, Müller K, Warmbier H (1977) Influence of variety and fertilizing on spectrum of volatile aroma substances in potatoes. *Potato Res* 20(3):235-242
- Koehler PE, Mason ME, Newell JA (1969) Formation of pyrazine compounds in sugar-amino acid model systems. *J Agric Food Chem* 17(2):393-396
- Land D (1979) Some factors influencing the perception of flavour-contributing substances in food. In: Land D, Nursten HE (eds) Progress in flavour research : proceedings of the second Weurman Flavour Research Symposium held at the University of East Anglia, Norwich, 2nd-6th April, 1978. London : Appl Sci Publ, pp 53-66
- Lindsay RC (1996) Flavors. *Food Chem* 3:723-785
- Maarse H (1991) Volatile compounds in foods and beverages. New York : Dekker, 764 p
- Maga JA (1994) Potato flavor. *Food Rev Int* 10(1):1-48
- Maga JA, Twomey JA (1977) Sensory comparison of four potato varieties baked conventionally and by microwaves. *J Food Sci* 42(2):541-542
- Mazza G, Pietrzak EM (1990) Headspace volatiles and sensory characteristics of earthy, musty flavoured potatoes. *Food Chem* 36:97-112
- Meigh DF, Filmer AAE, Self R (1973) Production of growth suppressing volatile substances by stored potato-tubers : 2. Growth-inhibitory volatile aromatic-compounds produced by solanum-tuberosum tubers. *Phytochemistry* 12(5):987-993
- Milo C, Grosch W (1995) Detection of odor defects in boiled cod and trout by gas-chromatography olfactometry of headspace samples. *J Agric Food Chem* 43(2):459-462
- Morgan ME, Libbey LM, Scanlan RA (1972) Identity of the musty potato aroma compound in milk cultures of *Pseudomonas taetrolens*. *J Dairy Sci* 55(5):666
- Morris WL, Ross HA, Ducreux LJM, Bradshaw JE, Bryan GJ, Taylor MA (2007) Umami compounds are a determinant of the flavor of potato (*Solanum tuberosum* L.). *J Agri Food Chem* 55(23):9627-9633
- Murray KE, Whitfield FB (1975) Occurrence of 3-alkyl-2-methoxypyrazines in raw vegetables. *J Sci Food Agric* 26(7):973-986
- Mutti BS (2000) Aroma frisch gekochter Kartoffeln : Einfluss von Sorte und Lagerung sowie Vergleich mit dem Aroma getrockneter Kartoffeln [online]. Zu finden in <<http://www.dfal.de/DDiss2000.html#Mutti>> [zitiert am 03.11.2009]
- Mutti BS, Grosch W (1999) Potent odorants of boiled potatoes. *Nahrung* 43(5):302-306
- Neuhoff D, Schulz DG, Köpke U (1999) Yield and quality of potato tubers : effects of different intensity and kind of manuring (biodynamic or organic). In: Foguelman D, Lockeretz W (eds) Organic agriculture - the credible solution for the XXIst century : proceedings of the 12th International IFOAM Scientific Conference, November 15th – 19th, 1998, Mar del Plata, Argentina. Tholey-Theley : IFOAM, pp 142-146
- Nitsch A, Klein K (1983) Erträge und innere Qualitäten der Kartoffel in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung. *Kartoffelbau* 34(2):30-34
- Nursten HE (1980) Recent developments in studies of the Maillard reaction. *Food Chem* 6:263-277
- Nursten HE, Sheen MR (1974) Volatile flavor components of cooked potato. *J Sci Food Agric* 25(6):643-663
- Oruna-Concha MJ, Bakker J, Ames JM (2002a) Comparison of the volatile components of eight cultivars of potato after microwave baking. *Lebensm-Wiss Technol* 35(1):80-86
- Oruna-Concha MJ, Bakker J, Ames JM (2002b) Comparison of the volatile components of two cultivars of potato cooked by boiling, conventional baking and microwave baking. *J Sci Food Agric* 82:1080-1087
- Oruna-Concha MJ, Duckham SC, Ames JH (2001) Comparison of volatile compounds isolated from the skin and flesh of four potato cultivars after baking. *J Agric Food Chem* 49(5):2414-2421
- Paillard N (1981) Factors influencing flavour formation in fruits. In: Schreier P (ed) Flavour '81 : proceedings of the international conference, Munich, April 28-30, 1981 / 3rd Weurman Symposium. Berlin : de Gruyter, pp 479-494
- Pareles SR, Chang SS (1974) Identification of compounds responsible for baked potato flavor. *J Agric Food Chem* 22(2):339-340
- Peine A (2005) Qualitätssicherung im Kartoffelanbau : Schwerpunkt Düngung. *Kartoffelbau* 52(1/2):16-19

- Petersen MA, Poll L, Larsen LM (1998) Comparison of volatiles in raw and boiled potatoes using a mild extraction technique combined with GC odour profiling and GC-MS. *Food Chem* 61(4):461-466
- Petersen MA, Poll L, Larsen LM (2003) Changes in flavor-affecting aroma compounds during potato storage are not associated with lipoxygenase activity. *Am J Potato Res* 80(6):397-402
- Petersen MA, Poll L, Larsen LM (1999) Identification of compounds contributing to boiled potato off-flavour (POF). *Lebensm-Wiss Technol* 32(1):32-40
- Reineccius G (ed) (1999) *Source book of flavors*. Gaithersburg : Aspen Publ, 928 p
- Rizzi GP (2008) The Strecker degradation of amino acids : newer avenues for flavor formation. *Food Rev Int* 24(4):416-435
- Ryder WS (1966) Progress and limitations in identification of flavor components. *Adv Chem Ser* (56):70-93
- Salinas JP, Hartman TG, Karmas K, Lech J, Rosen RT (1994) Lipid-derived aroma compounds in cooked potatoes and reconstituted dehydrated potato granules. *ACS symposium series* 558:108-129
- Salunkhe DK, Do JY (1976) Biogenesis of aroma constituents of fruits and vegetables. *Crit Rev Food Sci Nutr* 8(2):161-190
- Sandbrink K, Grocholl J (2006) Kartoffelanbau : Düngung für Ertrag und Qualität [online]. Zu finden in <lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/180,kartoffelduengung~pdf.html> [zitiert am 04.11.2009]
- Sapers GM (1975) Flavor and stability of dehydrated potato products. *J Agric Food Chem* 23(6):1027-1032
- Schieberle P, Grosch W (1981) Model experiments about the formation of volatile carbonyl-compounds. *J Am Oil Chemists Soc* 58(5):602-607
- Schormüller J, Weder J (1966b) Über das Vorkommen von Carbonylverbindungen in der Kartoffel. *Z Lebensm Unters Forsch* 130:158-164
- Schormüller J, Weder J (1966a) Über das Vorkommen von Alkoholen und Aminen in der Kartoffel. *Z Lebensm Unters Forsch* 130:213-220
- Self R (1967) Potato flavor. In: Schultz HW, Day EA, Libbey LM (eds) *The chemistry and physiology of flavors : symposium on foods ; held in 1965*. Westport : AVI Publ, pp 362-389
- Self R, Casey JC, Swain T (1963a) The low-boiling volatiles of cooked foods. *Chem Ind* (21):863-864
- Self R, Rolley HLJ, Joyce AE (1963b) Some volatile compounds from cooked potatoes. *J Sci Food Agric* 14:8-14
- Self R, Swain T (1963) Flavour in potatoes. *Proc Nutr Soc* 22(2):176-182
- Singh NK, Kumar A, Yadav VK (2008) Integrated effect of organic and inorganic fertilizers on yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Research on Crops* 9(2):338-341
- Sok D-E, Kim MR (1994) Conversion of alpha-linolenic acid to dihydro(pero)xyotadecatrienoic acid isomers by soybean and potato lipoxygenases. *J Agric Food Chem* 42(12):2703-2708
- Solms J, Wyler R (1979) Taste components of potatoes. *ACS symposium series* 115:175-184
- Stühling W (2004) Stärkequalität von Kartoffeln. *Kartoffelbau* 55(6):217-219
- Swain T, Self R (1964) Studies on potato flavour. *Eur Potato J* 7(4):228-237
- Taylor MA, McDougall GJ, Stewart D (2007) Potato flavour and texture. In: Vreugdenhil D, Bradshaw JE, Gebhardt C (eds) *Potato biology and biotechnology : advances and perspectives*. Amsterdam : Elsevier, pp 525-540
- Thybo AK, Christiansen J, Kaack K, Petersen MA (2006) Effect of cultivars, wound healing and storage on sensory quality and chemical components in pre-peeled potatoes. *LWT - Food Sci Technol* 39(2):166-176
- Thybo AK, Molgaard JP, Kidmose U (2002) Effect of different organic growing conditions on quality of cooked potatoes. *J Sci Food Agric* 82(1):12-18
- Tressl R, Holzer M, Apetz M (1975) Biogenesis of volatiles in fruit and vegetables. In: Groenen PJ, Maarse H (eds) *Aroma research : proceedings of the International Symposium on Aroma Research, held at the Central Institute for Nutrition and Food Research TNO, Zeist, the Netherlands, May 26-29, 1975*. Wageningen : PUDOC, pp 41-62
- Ulrich D, Hoberg E, Neugebauer W, Tiemann H, Darsow U (2000) Investigation of the boiled potato flavor by human sensory and instrumental methods. *Am J Potato Res* 77(2):111-117
- Ulrich D, Hoberg E, Tiemann H (1998) The aroma of cooked potatoes. *Beitr Züchtungsforsch* 4(2):204-209
- Van Eijk T (1994) Flavor and flavorings in microwave foods. In: Parliment TH, Morello MJ (eds) *Thermally generated flavors : Maillard, microwave and extrusion processes ; developed from a symposium at the 204th national meeting of the American Chemical Society, Washington, D.C., August 23-28, 1992*. Washington, DC : Am Chemical Soc, pp 395-404
- Vernin G (ed) (1982) *Chemistry of heterocyclic compounds in flavours and aromas*. Chichester : Horwood , 375 p
- Waterer DR, Pritchard MK (1984a) Monitoring of volatiles : a technique for detection of soft rot (*Erwinia-Carotovora*) in potato-tubers. *Can J Plant Pathol* 6(2):165-171
- Waterer DR, Pritchard MK (1984b) Volatile monitoring as a technique for differentiating between *E. Carotovora* and *C. Sepedonicum* infections in stored potatoes. *Am Potato J* 61:345-353
- Waterer DR, Pritchard MK (1985) Volatile production by wounded russet Burbank and Norland potatoes. *Sci Aliments* 5(2):205-216
- Whitfield FB (1992) Volatiles from interactions of maillard reactions and lipids. *Crit Rev Food Sci Nutr* 31(1-2):1-58
- Whitfield FB, Last JH (1991) Vegetables. In: Maarse H (ed) *Volatile compounds in food and beverages*. New York : Dekker, pp 203-282
- Wilson WD, MacKinnon IM, Jarvis MC (2002a) Transfer of heat and moisture during oven baking of potatoes. *J Sci Food Agric* 82(9):1074-1079
- Wilson WD, MacKinnon IM, Jarvis MC (2002b) Transfer of heat and moisture during microwave baking of potatoes. *J Sci Food Agric* 82(9):1070-1073
- Zacharius RM, Kalan EB (1984) Biotransformation of the potato stress metabolite, solanetin, by cell-suspension cultures of 2 solanaceous and 3 non-solanaceous species. *Plant Cell Rep* 3(5):189-192
- Zhou L, Puri VM, Anantheswaran RC, Yeh G (1995) Finite-element modeling of heat and mass-transfer in food materials during microwave-heating : model development and validation. *J Food Engin* 25(4):509-529

Phenotypical indicators for the selection of methionine enriched local legumes in plant breeding

Henrik Schumacher^{*,**}, Hans Marten Paulsen^{*} and Achim E. Gau^{**}

Abstract

One of the major problems in feeding organic pigs and poultry with 100 % organic feedstuff is the insufficient methionine (Met) content in the protein of local European grain legumes. The aim of the presented work is to find practicable and cheap indicators to select breeding candidates for growing legume cultivars with high seed-Met content under field conditions. In addition to direct Met determination a successful method for the phenotypical identification of Met enriched soybeans (*Glycine max*) developed by Imsande (2001) is assigned to peas (*Pisum sativum* (L.)), faba-beans (*Vicia faba* (L.)) and lupines (*Lupinus angustifolius* (L.)). Indicators were tested on a laboratory scale: chlorophyll content of the plant leaves and the root length in presence of an ethionine solution (0.75 mM) as competitor for Met. First results obtained from plants grown under Met-supply indicate a positive correlation between high Met and chlorophyll contents for *L. angustifolius* and *V. faba*. Plants treated with 1 mM Met show increased chlorophyll contents up to 59 % (*L. angustifolius*) and 34 % (*V. faba*) compared to untreated plants. In a second test, the phytotoxic effect of ethionine, a derivative of Met, is used to screen for Met-rich plants. The toxic effect is lessened with increasing Met concentrations. Seeds were soaked over night in a 1 mM Met solution developed up to 33 % (*P. sativum*) respectively 18 % (*V. faba*) longer roots. After the first successful steps to verify the methods in the laboratory, these detection methods for Met rich plants are currently transferred to practical use in the next phase of the project.

Keywords: legumes, methionine, plant breeding, organic farming

Zusammenfassung

Phänotypische Merkmale für die Selektion heimischer Leguminosen auf Methioninreichtum in der Pflanzenzüchtung

Ein Problem der Fütterung von Schweinen und Geflügel mit 100 % Futtermitteln aus Ökologischen Landbau sind die unzureichenden Methionin-(Met)-Gehalte im Protein europäischer Körnerleguminosen. Ziel der hier präsentierten Arbeiten ist es, neue Leguminosen Kultivare mit hohem Met-Gehalt im Samenprotein zu identifizieren. Neben der direkten Analyse der Aminosäuregehalte eines Zuchtsortiments der Pflanzenarten wird dazu die Übertragbarkeit der Methoden eines bei Soja (*Glycine max*) erfolgreich angewandten Verfahrens zur phänotypischen Selektion Met-reicher Pflanzen nach Imsande (2001) an Erbsen (*Pisum sativum* (L.)), Ackerbohnen (*Vicia faba* (L.)) und Lupinen (*Lupinus angustifolius* (L.)) erprobt. Als Indikatoren für Pflanzen mit hohem Metgehalt dienen der Chlorophyllgehalt der Blätter und das Wurzelwachstum von Keimlingen in einer Ethionin Lösung (0,75 mM). Erste Ergebnisse im Labormaßstab an unter Met-Zugabe aufgezogenen Pflanzen zeigten bei *L. angustifolius* und *V. faba* eine positive Korrelation zwischen der Met-Versorgung und den Chlorophyllgehalten. Met-reiche Pflanzen zeigten im Vergleich zu den unbehandelten Pflanzen um bis zu 59 % (*L. angustifolius*) bzw. bis zu 34 % (*V. faba*) erhöhte Chlorophyllgehalte in den Blättern. In einem zweiten Ansatz wurde der phytotoxische Effekt von Ethionin, einem chemischen Derivat zu Met, zum Screening auf Met-reiche Pflanzen genutzt. Der phytotoxische Effekt wird durch ansteigende Met-Konzentrationen gemindert. In einer 1 mM Met Lösung inkubierte Samen bildeten in Ethionin Lösung bis zu 33 % (*P. sativum*) bzw. bis zu 18 % (*V. faba*) längere Wurzeln aus. Die Erfolg versprechenden Ansätze zur Selektion Met-reicher Pflanzen mit direkt mit Met behandelten Pflanzen werden derzeit an Feldpopulationen erprobt.

Schlüsselworte: Leguminosen, Methionin, Pflanzenzücht, Ökologischer Landbau

* Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institute of Organic Farming, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Germany

** Gottfried Wilhelm Leibniz University Hannover, Institute for Botany, Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover, Germany

Introduction

One of the major problems in feeding monogastric animals (organic poultry and pigs) with 100 % organic components in organic farming is the low content of essential amino acids (Met, Lysin) of the feed components. Low protein qualities have to be compensated either by protein excess with negative consequences for the environment and animal performance or by adding high quality protein sources like corn gluten that are not sufficiently available in organic quality. The addition of synthetic amino acids is not permitted in organic farming (EU) or is permitted for a limited time only (US) (Fanatico et al., 2007; Fanatico, 2008; Sundrum et al., 2005; Weissmann et al., 2005; Zollitsch et al., 2000, 2003 and 2007). Grain legumes represent a relatively high quality feedstuff, but a major drawback is that their seeds contain comparatively low amounts of sulphur-containing amino acids (Abel et al., 2002). On the other hand, it has been shown that Met and cysteine contents range widely among the cultivars of each species. Between lupine cultivars (*L. angustifolius*), for example, the Met bound in proteins varies up to 25 % (Jansen et al., 2006). Therefore one aim of the project is to analyze the bandwidth of amino acids in different cultivars of the three legume species. This is fundamental for breeding attempts in order to select promising cultivars. Additionally the genetic variability in the species is thereby investigated. Of each species 50 cultivars (partly also inbred lines) are analyzed.

Previous breeding attempts for legumes were mainly addressed to whole protein yield, stability and pest resistance (Steinberger, 2002). In this work a successful method by Imsande (2001) for the selection of Met enriched soybeans (*Glycine max*) by phenotypical indicators is assigned to legumes of moderate climatic conditions (*P. sativum*, *V. faba* and *L. angustifolius*). The results of the first project phase done in laboratory scale are presented here. The usability of two phenotypical indicators for the selection of young plants with elevated Met contents described for *Glycine max* should be verified. Firstly, an increased leaf greening induced by Met nutrition is investigated visually and by measured leaf chlorophyll contents. Secondly, the root length growth in presence of the phytotoxic Met analogue ethionine was analyzed. In a next step of research these tests will be transferred to field scale and the practicability of selection will be tested with known Met rich cultivars. The screening procedure will be applied also in populations from chemically mutagenized seeds to check legume cultivars with high seed-Met content for the use as advanced feed component in organic farming.

Material and methods

Experiments were conducted with local cultivars of the species *L. angustifolius* (variety Boruta, Saatzeit Steinach GmbH), *P. sativum* (variety Hardy, Norddeutsche Pflanzenzucht (NPZ)) and *V. faba* (variety Espresso, NPZ). Plants were grown in vermiculite under constant conditions in a climate chamber at 23 °C under a 12h/12h day/night regime. To study the Met effect, plants were treated with three different concentrations of Met (0, 0.1 mM and 1 mM) in an aqueous solution. Chlorophyll measurements were performed according to a method developed by Lichtenthaler (2001). The plant leaf area was previously determined with the "Leaf Area Measurement" software (www.shef.ac.uk/~nuocpe/).

Fluorescence measurements were conducted with the Junior Pam (Heinz Walz GmbH). Plants were previously dark adapted for 20 minutes. Thereby a change in the photosynthetic performance of plants can be investigated (Baker, 2008).

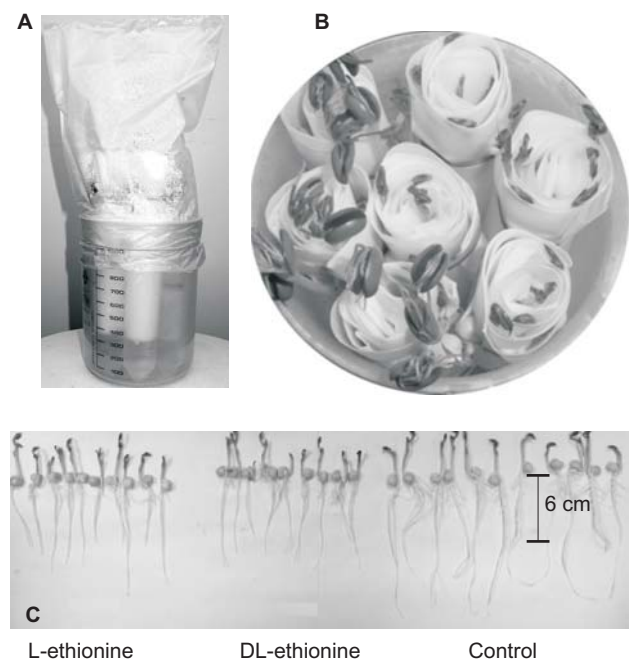


Figure 1:

Ethionine test composition with *P. sativum* and *L. angustifolius* in a smaller scale.

- A: Beaker covered with a plastic bag for the storage of seed during germination test
- B: Top view into a beaker containing germination paper with seeds
- C: Determination of the root length in presence of 0.75 mM L- or DL-ethionine, respectively.

The ethionine test was performed with seeds of each plant species. Seed surfaces were sterilized with sodium hypochlorite (6.5 %). Afterwards the seeds were thoroughly washed with distilled water and soaked in a L-Met

solution (1 mM) for 10h. After drying, the seeds were spaced on filter paper and rolled to a column of 12.5 cm height. Fifteen of these columns were placed in a container of 13 cm diameter (Figure 1).

450 ml of either a 0.75 mM DL-ethionine solution or tap water (Control) was added and the containers were enclosed with plastic bags. All steps were performed under sterile conditions. The seeds were left for 7 days at 23° C for growing at a 12/12h day/night regime.

Gained data were statistically analyzed with SPSS software (student version 14.0). Data with normal distribution were tested by Anova. Data without normal distribution were analyzed with the Kruskal-Wallis test. Level of significance was always $\alpha=0.05$.

The bandwidth of the amino acid composition in the seeds of cultivars from local seed breeders was analyzed by HPLC according to the European Union Guideline 98/64/EG.

Results

As an excerpt of the amino acid analysis the mean data and the range for the sulphur-amino acids and lysine are presented in Table 1. Seeds of *P. sativum* cultivars possess the highest Met content of all investigated legume species. *V. faba* and *L. angustifolius* seeds contain a similar amount of Met, whereby seeds of *V. faba* showed relatively low concentrations of sulphur containing amino acids.

Lysine is generally high concentrated in legume seeds. As well as Met, lysine is highest concentrated in seeds of *P. sativum*. The lowest lysine contents could be observed in *L. angustifolius*.

Table 1:

Mean concentrations of different amino-acids of selected local legume species from Western Europe (n=50, per species), cultivars from local seed breeders, HPLC method.

Amino acids (g/16g N)	<i>P. sativum</i>	<i>V. faba</i>	<i>V. faba</i> (winter)	<i>L. angustifolius</i>
Cysteine (mean)	1.5 ± 0.16	1.21 ± 0.1	1.2 ± 0.1	1.66 ± 0.2
Cysteine (range)	1.13 - 1.81	0.95 - 1.38	1.14 - 1.35	1.28 - 2.01
Methionine (mean)	1.09 ± 0.07	0.79 ± 0.05	0.78 ± 0.05	0.77 ± 0.07
Methionine (range)	0.91 - 1.23	0.64 - 0.88	0.73 - 0.85	0.62 - 0.93
Lysine (mean)	8.1 ± 0.38	7.05 ± 0.29	6.82 ± 0.15	5.36 ± 0.24
Lysine (range)	7.01 - 8.83	6.4 - 7.67	6.68 - 7.03	4.92 - 5.9

The legume species showed a different adaptation to the Met treatment. Plants supplied with methionine showed an altered phenotype towards a darker green leaf colour (Figure 2). While for *P. sativum* no significant increase of chlorophyll concentration could be measured in spite of a visible change in leaf colour, *L. angustifolius* and *V. faba* plants accumulated higher chlorophyll amounts due to

Met nutrition (Figure 3). *L. angustifolius* plants treated with 1 mM Met showed a significant increase by 59 % of the chlorophyll content at 38 days after planting. At the other test intervals, the mean value of Met treated lupines was elevated but showed no significant difference to the control.



Figure 2:

Changes in leaf colour of *Pisum sativum* treated with different methionine concentrations in the nutrient solution. The five youngest leaves of one plant are displayed.

Significantly elevated chlorophyll contents were also observed in *V. faba* plants treated with 1 mM Met. At 27 days after planting an increase of 34 % was measured, while 6 days later the chlorophyll concentration was still elevated by 25 %. For all three plant species a decrease of the absolute chlorophyll content could be observed after a certain time of cultivation. This effect generally appeared about 33 days after planting.

Additionally fluorescence measurements were performed to investigate the effect of Met on the efficiency of the electron transport chain (results not presented here). In these experiments no evidence of an impact of Met nutrition on the photosynthetic efficiency could be provided. This indicates that no positive effect on the photosynthetic performance has been induced by Met application.

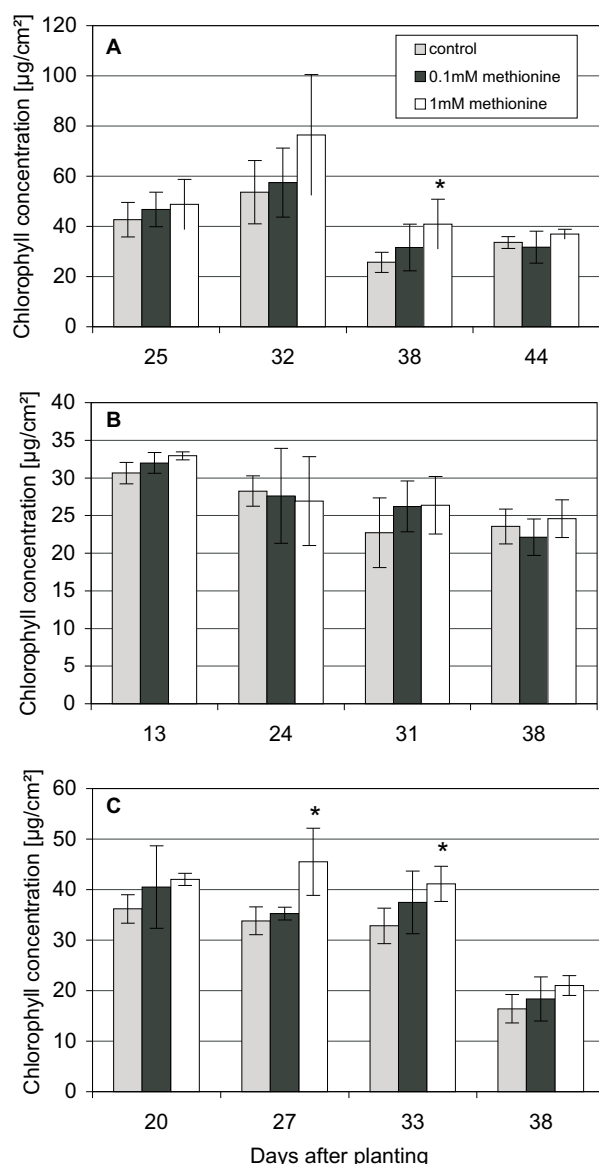


Figure 3: Chlorophyll concentration of the youngest full expanded leaf of young legume plants. Asterisk indicates significant difference to the control of the same developmental stage ($\alpha = 0.05$). A: *L. angustifolius*; B: *P. sativum* C: *V. faba*; (n=6, per species)

The experiments performed with the Met analogue ethionine produced heterogeneous results with the plant species listed. *L. angustifolius* seedlings showed no reduction of the root length growth in ethionine solution (Figure 4A). On the contrary, the seedlings treated with ethionine developed longer roots than the control plants. However the difference was in no case significant. No difference could be observed between seeds pre-treated with Met and untreated plants.

P. sativum and *V. faba* seedlings behaved contrarily to the *L. angustifolius* findings in the experiment (Figure 4B+C). For both species ethionine treatment caused a significant root length reduction. *P. sativum* seedlings grown

in ethionine had 38 % shorter roots. When the seeds were previously soaked in Met only, a root length reduction of 18 % occurred. When comparing the two ethionine preparations, the Met treated seeds had significantly longer roots (Tukeys test ($p > 0.05$)).

Root growth of *V. faba* seedlings was as well inhibited by ethionine. Both ethionine preparations lead to significantly reduced root lengths. The pre-treatment with Met caused 20 % longer roots compared to untreated seeds in ethionine without being significant (Tukeys test ($p > 0.05$)).

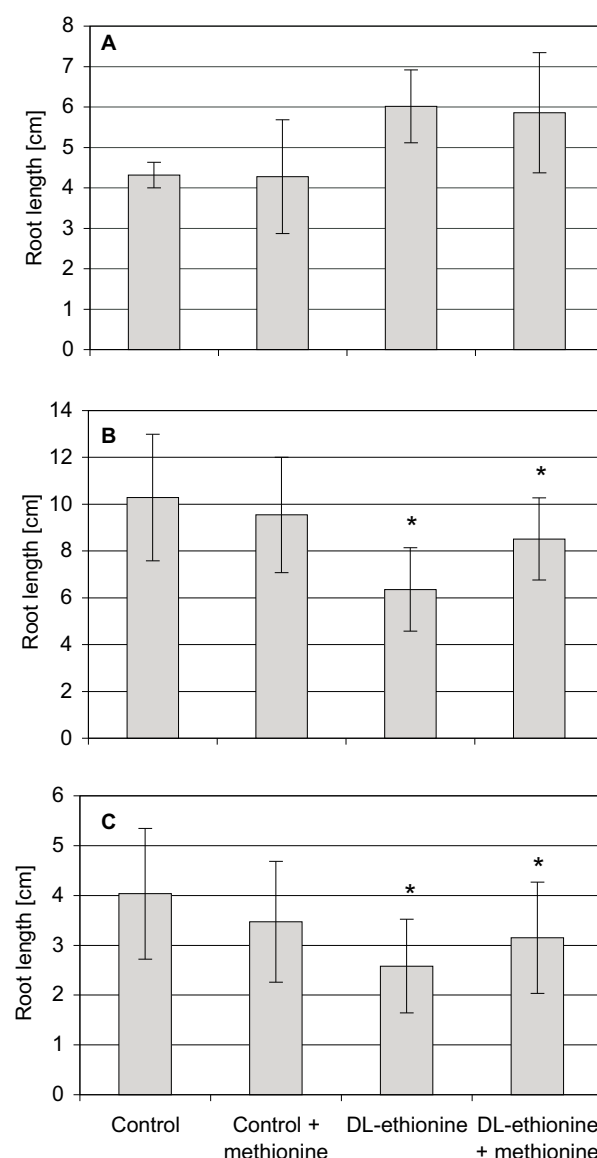


Figure 4: Root length of seedlings of different legumes grown for 7 days in different solutions. Asterisk indicates significant difference to the control. Control=aqueous solution, seeds pre-treated with aqua dest.; methionine=aqueous solution and seeds pre-treated with 1 mM Met solution, DL-ethionine=0.75 mM ethionine solution seeds pre-treated with aqua dest; DL-ethionine + methionine=0.75 mM ethionine solution and seeds pre-treated with 1 mM Met solution. A: *L. angustifolius*; B: *P. sativum* C: *V. faba*; (n=10, per species)

Discussion and outlook

The experimental data indicate legume phenotypes which appear to be typical for Met-rich individuals. However the validity of the experiments seems to be dependent on the plant species. While the chlorophyll determination lead to promising results for *L. angustifolius* and *V. faba*, it did not correlate with the Met treatments for *P. sativum*. Also the visible changes in leaf green due to Met exposition need further evaluation. On the contrary the root length reduction in presence of ethionine provided the expected results for *P. sativum* and *V. faba* but not for *L. angustifolius*. Whether this is caused by the experimental design or the different plant physiology remains to be investigated. The obtained results confirmed that the experimental design created by Imsande (2001) is at least partly alienable to local legume species.

The analysis of sulphur-amino acids provides valuable knowledge for the selection of applicable cultivars. The high variability in the Met content between cultivars of up to 25 % claimed by Jansen et al. (2006) for *L. angustifolius* could be confirmed. In all three species the Met content differs by up to 25 % between the analyzed cultivars provided by the local seed breeders (Table 1). According to this data, cultivars with an already superior Met content and unchanged overall amino acid composition have been chosen for further experiments in the project. 2000 seeds of progeny plants from each cultivar previously mutagenized with ethylmethanesulfonate (EMS) have undergone the ethionine test. From the developed seedlings 5 % with the longest and healthiest looking roots were selected as putative Met-rich individuals. These plants were brought to maturity for further breeding experiments. Alongside the chlorophyll content has been measured in a non destructive manner and compared to control plants. Harvested seeds from these plants will be tested for their amino acid composition by HPLC and compared to control plants.

Furthermore the investigation of the molecular background of the altered phenotypes which have got a high Met content will be performed. This shall be done by comparative proteome and transcriptome analysis of plants treated with methionine and Met-rich cultivars. Thereby the mechanism which induces changes in leaf chlorophyll concentration is of particular interest. Met is an important metabolite in the plants methylation reactions. Eighty percent of the free Met is converged into s-adenosyl-methionine (AdoMet) (Ravanel et al., 2004). AdoMet plays an important role in the chlorophyll-biosynthesis (Bollivar, 2006). This connection of the pathways is presumably a key point for the understanding of the altered phenotype and requires further investigation.

Acknowledgements

In this research project further scientific institutions and seed breeding companies are involved as project partners. These are:

Norddeutsche Pflanzenzucht, Hans-Georg Lembke KG, Hohenlieth, Holtsee, Dr. Olaf Sass; Department of Crop Sciences, Plant Breeding, University Goettingen, Prof. Wolfgang Link; Saatzucht Steinach GmbH, Steinach, Regine Dieterich; Institute of Resistance Research and Stress Tolerance, Julius Kuehn-Institute (JKI), Groß Luesewitz, Dr. Hans Ulrich Juergens. For the initial idea and contributions in the pre phase of the project Prof. Dr. Ahlert Schmidt (em.), Institute for Botany, University Hannover shall be mentioned as father of the project. The research is carried out and supported within the Federal Program for Organic Farming (BÖL), BLE, Bonn.

This text is an amended version of a paper presented at the 1st IFOAM International Conference of Organic Animal and Plant Breeding, Breeding Diversity, 25.-28. Aug., 2009 Santa Fe, New Mexico, USA. The author gratefully acknowledges the travel funds given by the Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzenzüchtung e.V. (GFP), Bonn and Union zur Förderung der Öl- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP), Berlin.

Literature

- Abel H, Sommer W, Weiß J (2002) Inhaltsstoffe, Futterwert und Einsatz von Ackerbohnen in der Nutztierfütterung [online]. Zu finden in <http://www.ufop.de/downloads/RZ_Praxisinfo_Ackerbohne_100604.pdf> [zitiert am 02.11.2009]
- Baker NR (2008) Chlorophyll fluorescence : a probe of photosynthesis in vivo. *Annu Rev Plant Biol* 2008(59):89-113
- Bollivar DW (2006) Recent advances in chlorophyll biosynthesis. *Photosynth Res* 2006(90):173-194
- Fanatico A (2008) Organic poultry production in the United States [online]. Zu finden in <www.attra.ncat.org/attra-pub/PDF/organicpoultry.pdf> [zitiert am 02.11.2009]
- Fanatico AC, O'Connor-Dennie T, Owens CM, Emmert JL (2007) Performance of alternative meat chickens for organic markets : impact of genotype, methionine level, and methionine source. *Poult Sci* 86(Suppl 1):522-523
- Imsande J (2001) Selection of soybean mutants with increased concentrations of seed methionine and cysteine. *Crop Sci* 41:415-515
- Jansen B, Juergens H-U, Seddig S (2006) Qualitätsuntersuchungen von Süßlupinen im Hinblick auf ihre Eignung als Nahrungs- und Futtermittel [online]. Zu finden in <[http://www.produkte-aus-lupine.de/hosting/bcv/website.nsf/urlnames/lup_script/\\$file/04_Jansen.pdf](http://www.produkte-aus-lupine.de/hosting/bcv/website.nsf/urlnames/lup_script/$file/04_Jansen.pdf)> [zitiert am 02.11.2009]
- Lichtenthaler H, Buschmann C (2001) Chlorophylls and carotenoids : measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Curr Protoc Food Analyt Chem* F4.3.1-F4.3.8
- Ravanel S, Maryse A, Rippert P, Jabrin S, Curien G, Rebeille F, Douce R (2004) Methionine metabolism in plants. *J Biol Chem* 279:22548-22557
- Steinberger J (2002) Workshop : Züchtung für den Ökolandbau [online]. Zu finden in <<http://www.orgprints.org/1737/>> [zitiert am 02.11.2009]
- Sundrum A, Schneider K, Richter U (2005) Possibilities and limitations of protein supply in organic poultry and pig production [online]. Zu finden in http://orgprints.org/10983/1/Final_Report_EC_Revision.pdf [zitiert am 05.11.2009]

- Weissmann F, Reichenbach H-W, Schön A, Ebert U (2005) Aspekte der Mast- und Schlachtleistung sowie Wirtschaftlichkeit bei 100% Biofütterung. In: Hess J, Rahmann G (eds) Ende der Nische: Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 1.-4. März 2005, pp 383-386
- Zollitsch W, Kristensen T, Krutzinna C, MacNaeihde F, Younie D (2003) Feeding for health and welfare : the challenge of formulating well-balanced rations in organic livestock production. In: Vaarst M, Roderick S, Lund V, Lockeretz W (eds) Animal health and welfare in organic agriculture, Wallingford : CABI, pp 329-356
- Zollitsch W, Wlcek S, Leeb T, Baumgartner J (2000) Aspekte der Schweine- und Geflügelfütterung im biologisch wirtschaftenden Betrieb. In: Bericht / 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung : zum Thema Management von Hochleistungskühen, Grünlandwirtschaft und Milchproduktion, Biologische Wirtschaftsweise 6., 7. und 8. Juni 2000 an der BAL Gumpenstein. Irdning : BAL, pp 155-162
- Zollitsch W (2007) Perspective challenges in the nutrition of organic pigs. J Sci Food Agric 87:2747-2750

Emissionsprüfung synthetischer Dieseldieselkraftstoffe

Axel Munack*, Jürgen Krah*, **, Thomas Wilharm***, Yvonne Ruschel*, Jens Schaak*, Olaf Schröder* und Lasse Schmidt*

Kurzfassung

Synthetisch hergestellte Kraftstoffe werden allgemein als nächster Schritt in Richtung auf eine nachhaltige Mobilität angesehen. Über das Emissionsverhalten solcher Kraftstoffe ist jedoch noch wenig bekannt. In der vorliegenden Arbeit wurden die Emissionen von synthetischen Kraftstoffen untersucht. Durch Destillation und gezieltes Mischen der Destillate eines GtL-Kraftstoffes (Gas-to-Liquid) biogenen Ursprungs wurden durch die Cutec-Institut GmbH, Clausthal-Zellerfeld, Fischer-Tropsch-Kraftstoffe verschiedener Zusammensetzung nachgebildet. Diese Kraftstoffe sowie fossiler Dieseldieselkraftstoff und RME (Rapsölmethylester) wurden in einem LKW-Dieselmotor eingesetzt, um limitierte sowie nicht limitierte Abgaskomponenten zu untersuchen.

Trotz erheblicher Unterschiede in der Zusammensetzung der synthetischen Kraftstoffe wurden zum Teil nur geringe Unterschiede im Emissionsverhalten festgestellt. Die Grenzwerte für die limitierten Abgaskomponenten wurden nur bei RME (Stickoxide) und DK (Partikelmasse) nicht eingehalten. Deutlichere Unterschiede zwischen den einzelnen synthetischen Kraftstoffen ergaben sich für die CO- und HC-Emissionen, in einigen Fällen für die polyaromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie die Partikelanzahlverteilung.

Schlüsselworte: Fischer-Tropsch-Kraftstoff, GtL, Dieselmotoremissionen, limitierte Abgaskomponenten, PAK, nicht limitierte Abgaskomponenten

Abstract

Emissions from synthetic diesel fuels

Synthetic fuels are widely considered to be the next step towards sustainable mobility. However, there is not much known about the emissions of such fuels. In the present work, the emissions of synthetic fuels are investigated. Through distillation and specific mixing of the distillates of a GtL fuel (Gas-to-Liquid) of biogenic origin, the Cutec-Institute GmbH, Clausthal-Zellerfeld, Germany, synthesized variably composed Fischer-Tropsch fuels. These fuels as well as rapeseed oil methyl ester (RME) and fossil diesel fuel (DK) were used in a heavy-duty diesel engine to investigate the regulated and non-regulated exhaust components.

Despite of large differences in the composition of the synthetic fuels, only small differences in the emissions could be detected. Except for RME and DK the limits of the regulated emissions were satisfied by the fuels. For the CO and HC emissions as well as in some cases for the polycyclic hydrocarbons (PAH) and the particle size distributions distinct differences between the synthetic fuels were observed.

Keywords: Fischer-Tropsch fuel, GtL, diesel engine emissions, regulated emissions, PAH, non-regulated emissions

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

** Steinbeis-Transferzentrum Biokraftstoffe und Umweltmesstechnik, Coburg

*** ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH, Neusäss

1 Einleitung

Seit Jahrzehnten werden Dieselmotoren in vielen Industriezweigen sowie im Bereich Transport und Verkehr eingesetzt. In den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts gelangte der Dieselmotor jedoch wegen seiner Emissionen in die Kritik. Im Vordergrund aktueller Diskussionen stehen dabei insbesondere die deutlich erhöhten Stickoxid- und Partikelemissionen im Vergleich zum Ottomotor. Neben diesen Komponenten sind noch eine Vielzahl weiterer Substanzen im Abgas vorhanden, die für die Schädlichkeit von Dieselmotorabgasen verantwortlich sind. In diesem Aufsatz wird neben den limitierten Abgaskomponenten NO_x , HC, CO und Partikelmasse auch die Konzentration von Aldehyden und Ketonen, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und die Partikelanzahlverteilung betrachtet.

2 Material und Methoden

2.1 Motor und Motortestbedingungen

Die Untersuchungen erfolgten an einem MAN-Motor D0836 LFL 51 (206 kW) Baujahr 2002 mit Turbolader und Ladeluftkühlung (Tabelle 1).

Tabelle 1:

Technische Daten des MAN-Motors D0836 LFL 51

Zylinderhub	125 mm
Zylinderbohrung	108 mm
Anzahl Zylinder	6
Hubvolumen	6871 cm ³
Nenn Drehzahl	2300 min ⁻¹
Nennleistung	206 kW
Maximales Drehmoment	1100 Nm bei 1200 – 1800 min ⁻¹
Verdichtung	18,0 : 1

Der Sechszylinder-Reihenmotor arbeitet mit einem Common-Rail-Einspritzsystem. In der am Emissionsprüfstand montierten Ausführung ist der Motor nach den geltenden Emissionsgrenzwerten von Euro IV zertifiziert. Zur Abgasnachbehandlung ist ein kontinuierlich arbeitender Partikelfilter, ein so genannter PM-Kat®, angeschlossen. Der Motor ist an eine Asynchron-Vier-Quadrantenbremse DynoRoad 205/3,5 SL der Firma AVL gekoppelt. Damit können gemäß der Richtlinie 2005/55/EG der Europäischen Union der europäische stationäre Zyklus (ESC) und der europäische transiente Zyklus (ETC) automatisch gefahren werden. Die realen Testverläufe sind in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt. Die Lastpunkte des ESC-Tests und deren Gewichtung zeigt Abbildung 3.

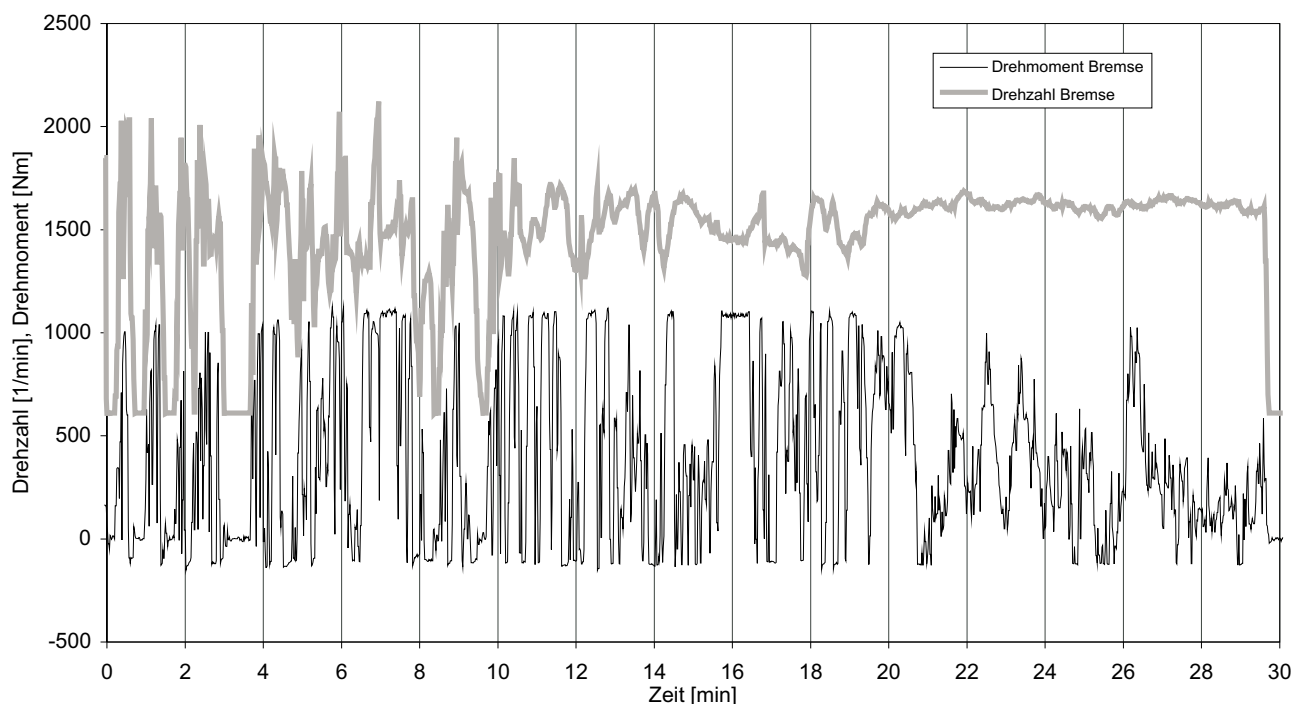


Abbildung 1:

Drehzahl und Drehmoment im Verlauf des ETC-Tests (Kraftstoff: DK)

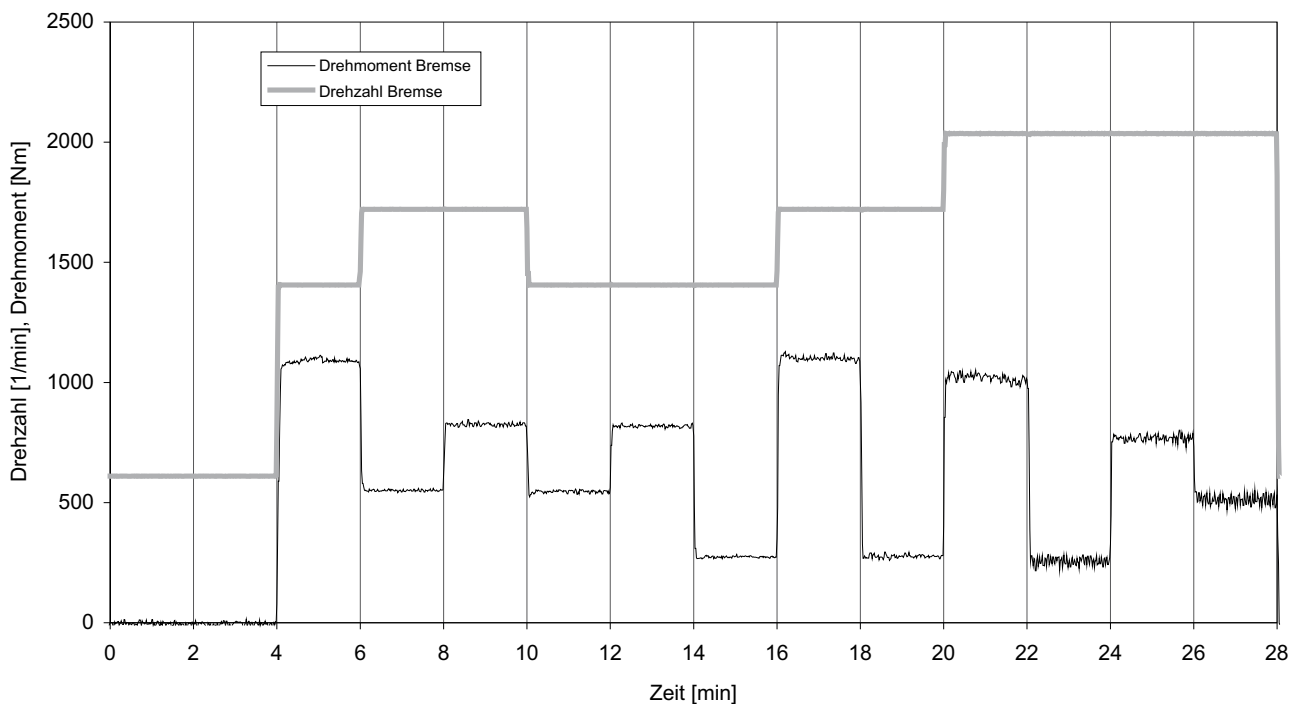


Abbildung 2:
Drehzahl und Drehmoment im Verlauf des ESC-Tests

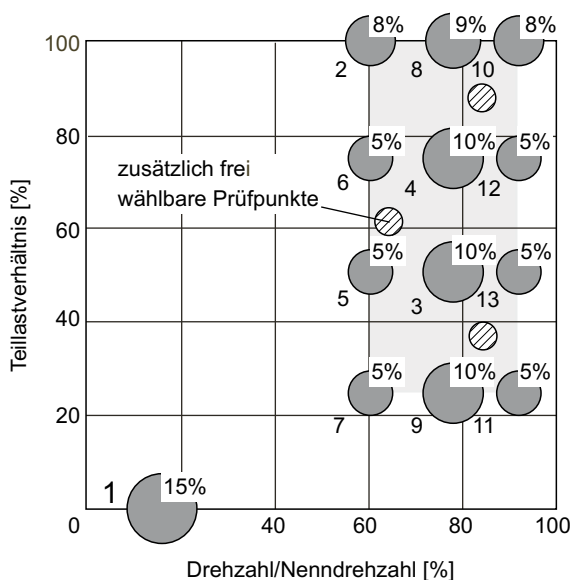


Abbildung 3:
Motorbetriebspunkte des ESC-Tests

2.2 Kraftstoffe und Analysemethoden

Mineralischer Dieseldieselkraftstoff gemäß DIN EN 590 (DK) wurde von ADM Silo Rothensee GmbH & Co. KG, Hamburg, geliefert. Rapsölmethylester (RME) gemäß der Norm DIN EN 14214 wurde vom Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH, Magdeburg, hergestellt. Die mit CUT 1 bis CUT 4 benannten Kraftstoffe wurden von der Cutec-Institut GmbH bereitgestellt und in deren Verantwortung formuliert. Sämtliche Informationen über Herstellung und Zusammensetzung dieser Kraftstoffe stammen von der Cutec-Institut GmbH. Die Eigenschaften der Kraftstoffe, die in den jeweiligen Normen festgelegt sind, wurden von dem Bio-Ölwerk Magdeburg (RME) und der ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH (DK und CUT 1 bis CUT 4) bestimmt (Tabelle 2).

Tabelle 2:

Eigenschaften der Kraftstoffe laut Analysenberichten

	Grenzwert DIN EN 14214	RME	Grenzwert DIN EN 590:2004	DK	CUT 1	CUT 2	CUT 3	CUT 4
Dichte (15 °C) [kg/m³]	860-900	883	820-845	832,5	796,0	807,7	814,2	789,3
kin. Viskosität (40 °C) [mm²/s]	3,5-5,0	4,42	2-4,5	3,04	2,55	3,74	4,72	2,22
Flammpunkt [°C]	min. 120	176	>55	69	92	99	107	90
C.F.P.P. [°C]	max. 0	-21	max. 0	-9	-53	-40	-31	-42
Schwefel [mg/kg]	max. 10	1,5	max. 50	6,3	<1	14	2,4	<1
Koksrückstand [% (m/m)]	max. 0,30	0,06	max. 0,20	<0,01	0,03	0,02	<0,01	<0,01
Aschegehalt [% (m/m)]	max. 0,02	<0,001	max. 0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cetanzahl [-]	min. 51	51,3	min. 51	56,5	58,5	61,1	62,0	54,3
Cetanindex [-]			min. 46,0	56,0	65,5	68,8	71,7	67,8
Wassergehalt [mg/kg]	max. 500	146	max. 200	29	17	57	30	25
Gesamtverschmutzung [mg/kg]	max. 24	4	max. 24	2	<1	21	119	6
Kupfer Korrosion [Korr.Grad]	max. 1	bestanden	max. 1	bestanden	bestanden	bestanden	bestanden	bestanden
Neutralisationszahl [mg KOH/g]	max. 0,5	0,04						
Oxidationsstabilität [g/m³]			max. 25	2	101	keine Angaben	550	1
H.F.R.R. [µm]			max. 400	264	259	243	229	235
PAK [% (m/m)]			max. 11	1,52	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Destillationsverlauf aufgefangen bei 350 °C [% (V/V)]			max. 65	29,5	63,1	27,0	5,3	67,9
Destillationsverlauf aufgefangen bei 350 °C [% (V/V)]			max. 85	92,5	>97	94,6	93,1	>97
Destillationsverlauf 95 %-Punkt [°C]			max. 360	357,8	327	352,4	359,6	313,1
FAME-Gehalt [% (V/V)]		>99,0	max. 5	2,2	<0,1	0,2	0,2	<0,1
Gehalt an Linolensäure-methylester [%]	max. 12	7,7						
Methanolgehalt [%]	max. 0,2	0,03						
Monoglyceride [%]	max. 0,8	0,75						
Diglyceride [%]	max. 0,2	0,13						
Triglyceride [%]	max. 0,2	0,07						
Freies Glycerin [%]	max. 0,01	<0,01						
Gesamtglycerin [%]	max. 0,25	0,22						
Alkaligehalt [mg/kg]	max. 5	<0,5						
Erdalkaligehalt [mg/kg]	max. 5	<0,5						
Phosphorgehalt [mg/kg]	max. 10	<0,5						
Oxidationsstabilität [h]	min. 6	8,7						
Jodzahl [g Iod/100g]	max. 120	114						

Bei CUT 1 bis CUT 3 handelt es sich um Kraftstoffe, die durch Mischen von drei Siedeschritten eines GtL-Kraftstoffes („BioPar“) hergestellt wurden (Tabelle 3). Das Ausgangsprodukt wurde mittels Destillation in drei Fraktionen getrennt (S1, S2 und S3 in aufsteigender Reihenfolge der Siedetemperatur). Anschließend wurden durch gezieltes Mischen dieser Fraktionen die vorliegenden Kraftstoffe erstellt. Dabei wurden von der Cutec-Institut GmbH die Siedelinien von verschiedenen Fischer-Tropsch-Kraftstoffen nachgebildet.

Tabelle 3:

Zusammensetzung der Kraftstoffe CUT 1 bis 3

	Anteil S1 [% (V/V)]	Anteil S2 [% (V/V)]	Anteil S3 [% (V/V)]
CUT 1	57	22	20
CUT 2	27	24	49
CUT 3	14	17	69

Der Kraftstoff CUT 4 wurde durch Beimischen von 30 % geradzahlig Olefine (C_{12} bis C_{18}) mit endständigen Doppelbindungen zu CUT 1 hergestellt. Die Beimischung von Olefinen hatte nahezu keinen Einfluss auf die Siedelinie von CUT 4, die damit der von CUT 1 gleicht (Abbildung 4). CUT 1 bis CUT 3 zeigen deutliche Unterschiede in ihrer Siedelinie, sowie ihren Paraffin- und Alkenanteilen, wie Abbildung 4 und Tabelle 4 zeigen. Die Siedelinie CUTEK 3 SIMDIST wurde mit einer simulierten Destillation mittels Gaschromatograph aufgenommen. Die GC-Messung liefert besonders in den Randbereichen der Kurve noch Signale, die bei der atmosphärischen Destillation nicht beobachtet werden können. Verfahrenbedingt verlaufen somit die Kurven CUTEK 3, SIMDIST und CUTEK 3 nicht über den gesamten Bereich parallel. Jedoch lässt sich der ungefähre Verlauf durch die simulierte Destillation bestätigen.

Die limitierten Abgasbestandteile Kohlenstoffmonoxid, Gesamtkohlenwasserstoffe und Stickoxide wurden im unverdünnten Abgas durch herkömmliche Gasanalysatoren (CO : Multor 710, Fa. Maihak; HC : RS 55-T, Fa. Ratfisch; NO_x : CLD 700 EL ht, Fa. EcoPhysics) bestimmt und ihre Werte sekundlich aufgezeichnet. Die Probenahme zur Partikelmassebestimmung erfolgte an einem Abgasteilstromverdünnungstunnel, der nach den europäischen Richtlinien ECE-R 49 (1992) und EWG 88/77 (1992) ausgelegt wurde. Des Weiteren wurden die nicht limitierten Abgasbestandteile Aldehyde und Ketone, PAK sowie die Partikelanzahlverteilung untersucht. Es wurden für jeden Kraftstoff jeweils der ESC- und ETC-Test mindestens dreimal gefahren. Die Emissionen der gasförmigen limitierten Abgaskomponenten wurden im ETC- und ESC-Test ermittelt. Im ETC-Test wurden die Massenströme der limitierten

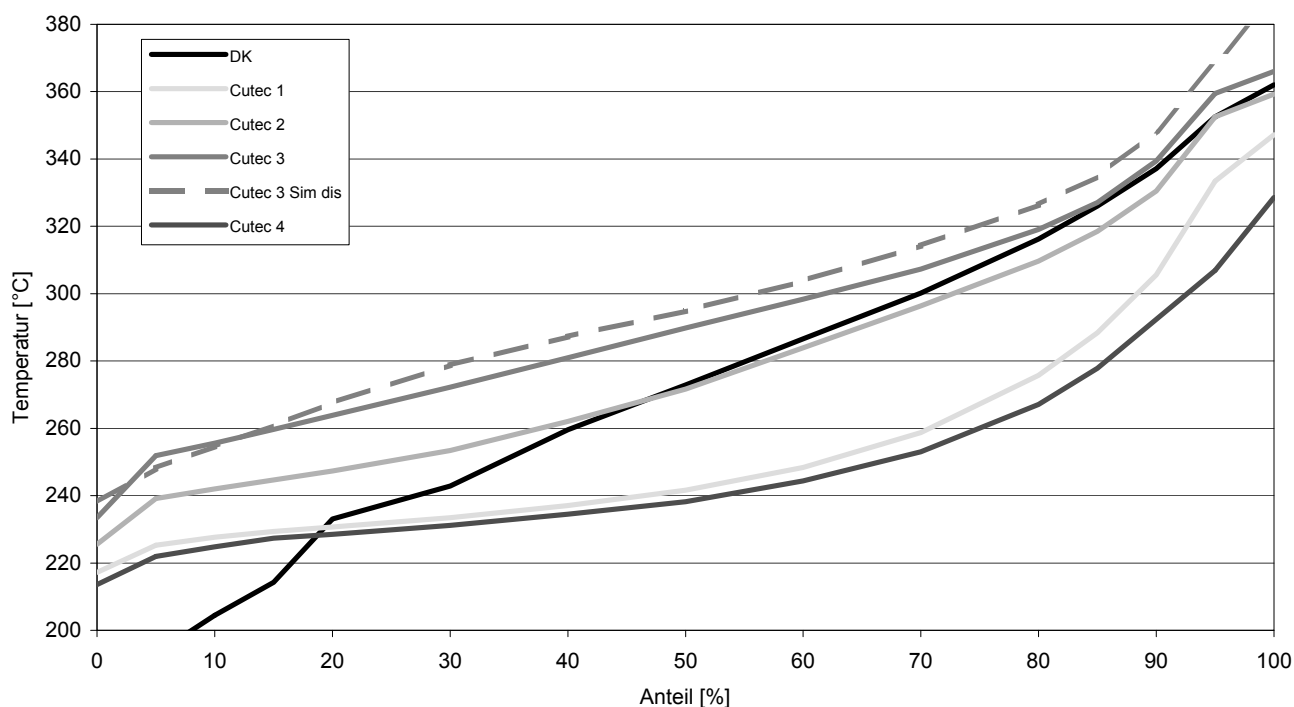


Abbildung 4:
Siedelinien von CUT 1, CUT 2, CUT 3, CUT 4 und DK

Tabelle 4:
Beschreibung der Cutec-Kraftstoffe

Bezeichnung	Beschreibung
CUT 1	Synthetischer Kraftstoff, höherer Paraffinanteil im Bereich C_{11} bis C_{15}
CUT 2	Synthetischer Kraftstoff, ausgeglichener Paraffinanteil im Bereich C_{11} bis C_{15} sowie im Bereich C_{16} bis C_{22}
CUT 3	Synthetischer Kraftstoff, höherer Paraffinanteil im Bereich C_{16} bis C_{22}
CUT 4	Synthetischer Kraftstoff mit niedrigem Paraffinanteil (Leichtfraktion) und höherem Olefinanteil

gasförmigen Komponenten entgegen der Norm nicht im verdünnten Abgas bestimmt, sondern aus den sekundlich aufgezeichneten Werten von Konzentration, Ansaugvolumenstrom und Verbrauch ermittelt. Der Massenstrom wurde dann wie beim ESC-Test auf die Masse der Abgaskomponente pro Motorarbeit [g/kWh] umgerechnet.

Aus dem ESC-Test wurden zusätzlich die Partikelmasse und die Partikelanzahlverteilung bestimmt. Die Probenahme der Aldehyde und PAK erfolgte im ETC-Test. Außerdem wurde eine vergleichende Untersuchung der Partikelanzahlverteilung aus dem verdünnten Abgas durchgeführt.

Die Partikelanzahlverteilungen in Abhängigkeit vom aerodynamischen Durchmesser und vom elektrischen Mobilitätsdurchmesser wurden jeweils mit einem Electronical Low Pressure Impactor (ELPI) der Firma Dekati Ltd. (Dekati, 2001) und einem Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) der Firma TSI gemessen.

Die Aldehyde und Ketone wurden nach der DNPH (2,4-Dinitrophenylhydrazin)-Methode auf DNPH-Kartuschen gesammelt, aufgearbeitet und mit einer HPLC mit Diodenarraydetektor (Fa. VWR/Hitachi) analysiert (EPA, 2000; Tang et al., 2004). Den DNPH-Kartuschen wurde dabei eine Kaliumiodid-Kartusche vorgeschaltet, um störendes NO_2 aufzuhalten.

Die partikelgebundenen PAK wurden in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3872 Blatt 1 (VDI, 1989) gesammelt. Mit Hilfe der Anreicherung durch eine Donor-Akzeptor-Komplex-Chromatographie (DACC) und einer HPLC mit Fluoreszenzdetektor (Fa. VWR/Hitachi) wurden die PAK analysiert.

3 Ergebnisse

3.1 Limitierte Abgasbestandteile

In den Abbildungen 5 bis 10 sind jeweils die Ergebnisse für den ESC- und den ETC-Test für die Emissionen von CO , HC und NO_x gezeigt. Die Emissionen der Partikelmasse im ESC-Test sind in Abbildung 11 wiedergegeben.

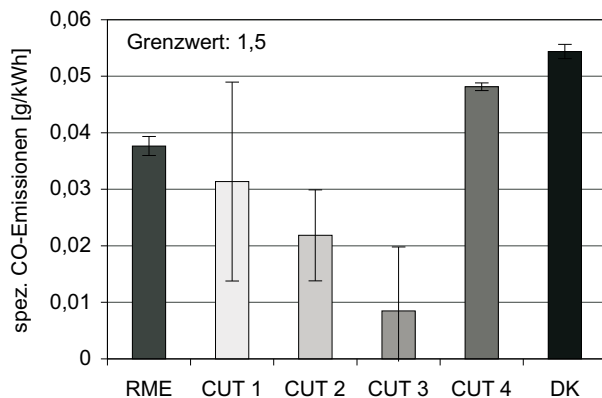


Abbildung 5:
Spezifische CO-Emissionsmassenströme im ESC-Test

Die Abbildung 5 zeigt im ESC-Test deutliche Unterschiede zwischen den Kraftstoffen in den spezifischen CO-Emissionen. RME sowie CUT 1 bis CUT 4 liegen mit ihren Emissionen unter DK. CUT 3 schneidet dabei am besten ab, während CUT 4 die höchsten Emissionen nach DK zeigt. Aufgrund seines höheren Sauerstoffanteils und des vorteilhafteren Einspritzverhaltens sind die CO-Emissionen von RME wie erwartet unter denen des DK (Ren et al., 2008; Lapuerta et al., 2008). Die verringerten CO-Emissi-

onen gegenüber DK und RME von CUT 1 bis CUT 3 waren durch deren höhere Cetanzahlen ebenfalls zu erwarten (Lapuerta et al., 2008). CUT 4 hat eine niedrigere Cetanzahl als DK, jedoch ließ dessen niedrigeres Siedeende die gemessenen CO-Emissionen erwarten (SFB 224, 1995).

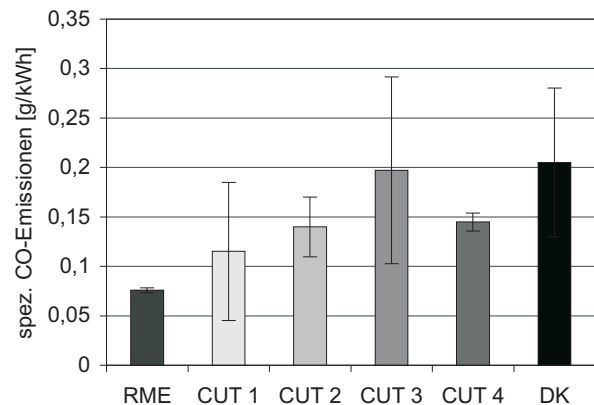


Abbildung 6:
Spezifische CO-Emissionsmassenströme im ETC-Test

Die Abbildung 6 zeigt für den ETC-Test ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Kraftstoffen in den CO-Emissionen. Wie beim ESC-Test sind auch beim ETC-Test aufgrund seines höheren Sauerstoffanteils und des vorteilhafteren Einspritzverhaltens die CO-Emissionen von RME erwartungsgemäß unter denen des DK (Ren et al., 2008; Lapuerta et al., 2008). CUT 3 zeigt die höchsten, während CUT 1 die niedrigsten Emissionen der CUT-Kraftstoffe zeigt. Auch die geringeren CO-Emissionen gegenüber DK von CUT 1 und CUT 2 waren durch deren höhere Cetanzahlen ebenfalls zu erwarten (Lapuerta et al., 2008). CUT 4 hat eine niedrigere Cetanzahl als DK, jedoch ließ dessen niedrigeres Siedeende die gemessenen CO-Emissionen erwarten (SFB 224, 1995). Für CUT 3 mit der höchsten Cetanzahl der getesteten Kraftstoffe wurden wie beim ESC-Test die niedrigsten Emissionen erwartet. Es zeigen sich hier jedoch die höchsten CO-Emissionen unter den CUT-Kraftstoffen. Das Ergebnis ist durch die veränderten Bedingungen im transienten Fahrzyklus zu erklären. Im transienten Prozess treten lokal fettere Gemische im Zylinder auf als im stationären Prozess. Durch den dadurch gegebenen lokalen Sauerstoffmangel läuft die Nachoxidation von CO zu CO_2 schlechter ab. Dies erklärt auch die insgesamt deutlich höheren spezifischen CO-Emissionen im ETC-Test für alle Kraftstoffe. CUT 3 begünstigt möglicherweise durch seine höhere Viskosität und seinen ungünstigen Sieverlauf die Bildung von fetten Gemischen (Lee et al., 2002; Lapuerta et al., 2008; Hagena et al., 2006).

Im transienten Test liegen die CO-Emissionen gegenüber dem stationären Test deutlich höher. Dies war aufgrund der ungünstigeren Gemischbildung zu erwarten. Es zeigt sich jedoch, dass die CO-Emissionen der Kraftstoffe CUT 1

bis CUT 4 zwischen ESC- und ETC-Test nicht in gleichem Maße ansteigen. Während CUT 4 im ESC-Test die höchsten CO-Emissionen der CUT-Kraftstoffe zeigt, erreichten die CO-Emissionen im ETC-Test niedrigste Werte. Umgekehrt zeigt CUT 3 im ESC-Test die geringsten CO-Emissionen aller Kraftstoffe und im ETC-Test die höchsten. Das Verhältnis der Emissionen zwischen RME und DK ist im Vergleich von ESC- und ETC-Test ebenfalls nicht gleich geblieben. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Eigenschaften der Kraftstoffe und die Verbrennungsbedingungen sich unterschiedlich auf die CO-Bildung auswirken.

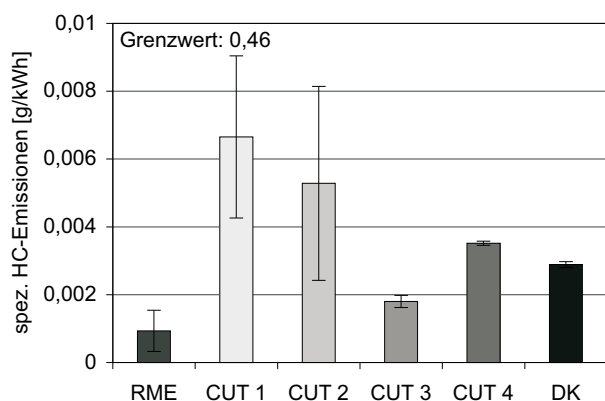


Abbildung 7:

Spezifische HC-Emissionsmassenströme im ESC-Test

Die Abbildung 7 zeigt deutliche Unterschiede in den HC-Emissionen der verschiedenen Kraftstoffe. RME schneidet am besten ab, während CUT 1 die höchsten HC-Emissionen zeigt. Bis auf CUT 3 liegen die HC-Emissionen der CUT-Kraftstoffe über denen von DK. Wie bei den CO-Emissionen gilt auch hier, dass aufgrund seines höheren Sauerstoffanteils und des vorteilhafteren Einspritzverhaltens die HC-Emissionen von RME wie erwartet unter denen des DK liegen (Ren et al., 2008; Lapuerta et al., 2008). CUT 3 zeigt erwartungsgemäß, der höchsten Cetanzahl entsprechend, die besten HC-Emissionen der CUT-Kraftstoffe. Für CUT 1, CUT 2 und CUT 4 hätten die Cetanzahlen und der jeweilige Siedebeginn eine andere Emissionsreihenfolge vermuten lassen. Ohne weitere Untersuchungen lassen sich diese Ergebnisse nicht erklären.

Die Kraftstoffe CUT 2 bis CUT 4 zeigen im ETC-Test mit DK vergleichbare HC-Emissionen. Bei RME fallen die HC-Emissionen dagegen etwas geringer aus (Abbildung 8). Für CUT 1 wurde wegen Problemen bei der Datenerfassung kein Wert für den ETC-Test ermittelt. RME zeigt wie erwartet geringere HC-Emissionen als DK. Auffällig sind auch hier wieder, wie bei den CO-Emissionen, die relativ hohen HC-Emissionen von CUT 3 beim ETC-Test im Vergleich zum ESC-Test. Dieses Ergebnis ist, wie oben, durch den Siedeverlauf und die hohe Viskosität zu erklären. CUT 2 und CUT 4 zeigen ähnliche HC-Emissionen wie DK,

was aufgrund der physikalischen Eigenschaften der Kraftstoffe durchaus zu erwarten war.

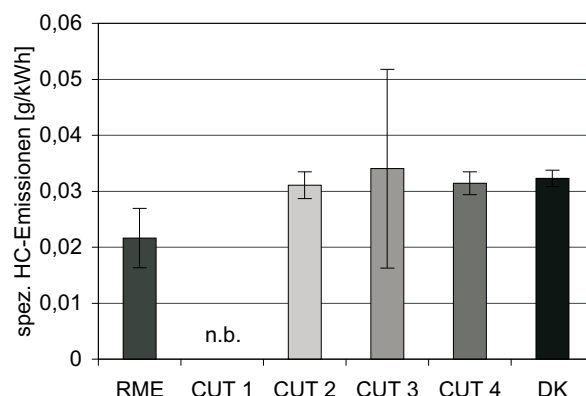


Abbildung 8:

Spezifische HC-Emissionsmassenströme im ETC-Test

Die Emissionen im ETC-Test sind gegenüber dem ESC-Test um den Faktor 5 bis 20 erhöht. Dies ist mit den vielen starken Lastwechseln im Verlauf des ETC-Test zu erklären. Auch im Verlauf des ESC-Test treten bei Lastwechseln, insbesondere beim Lastwechsel von Leerlauf auf Volllast, deutlich erhöhte HC-Konzentrationen auf. Diese Testphasen gehen jedoch nicht in das Testergebnis ein.

Wie bei den CO-Emissionen ändern sich die HC-Emissionen der verschiedenen Kraftstoffe zwischen ESC- und ETC-Test nicht gleichmäßig. Die Eigenschaften der Kraftstoffe wirken sich abhängig von den Verbrennungsbedingungen ebenfalls unterschiedlich auf die HC-Bildung aus.

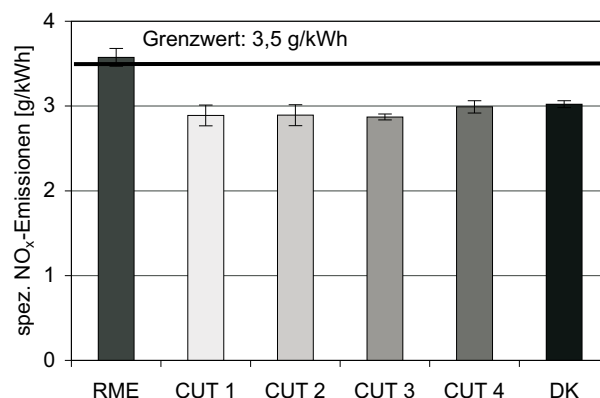


Abbildung 9:

Spezifische Stickoxidmassenströme im ESC-Test

Bei den Stickoxidemissionen im ESC-Test (Abbildung 9) unterschreiten die ermittelten Emissionsmassenströme der Kraftstoffe CUT 1 bis CUT 4 sowie von mineralischem Dieselmotorkraftstoff den vorgeschriebenen Grenzwert (Euro IV) von 3,5 g/kWh. Der Wert für RME liegt mit 3,6 g/kWh leicht darüber. Die Kraftstoffe CUT 1 bis CUT 4 unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Stickoxidemissionen nur gering-

fällig untereinander. Sie liegen jedoch knapp unterhalb der Werte für DK. Der ETC-Test lieferte ähnliche Ergebnisse (Abbildung 10).

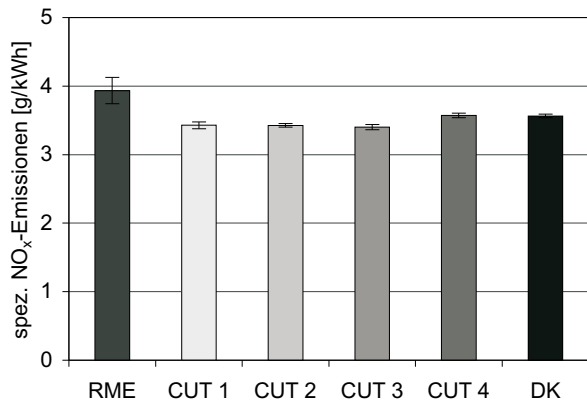


Abbildung 10:

Spezifische Stickoxidmassenströme im ETC-Test

Bei den Stickoxidemissionen im ETC-Test (Abbildung 10) unterscheiden sich die Kraftstoffe CUT 1 bis CUT 4 nur geringfügig untereinander. Sie liegen jedoch bis auf CUT 4 knapp unterhalb der Werte für DK. RME zeigt hier wie im ESC-Test die höchsten Stickoxidemissionen.

Die erhöhten NO_x-Emissionen des RME waren aufgrund des Einspritzverhaltens und der damit zusammenhängenden höheren Temperaturspitzen zu erwarten (Lapuerta et al., 2008). Unter den CUT-Kraftstoffen und DK waren allerdings größere Unterschiede zu erwarten. Allein die Unterschiede zwischen den Cetanzahlen hätten zu deutlich höheren NO_x-Emissionsunterschieden führen müssen. Vermutlich ist mit kraftstoffverändernden Maßnahmen im hier gegebenen Rahmen nahezu keine Reduzierung der NO_x-Emissionen zu erreichen, da die Bildung von NO_x durch motorische Eigenschaften kontrolliert wird. Schon Garbe (2002) wies auf eine Grenze der NO_x-Reduzierung durch Kraftstoffmaßnahmen hin. Auch die Ähnlichkeit der Ergebnisse von ETC- und ESC-Test lässt auf limitierte Möglichkeiten schließen, die NO_x-Emissionen durch Kraftstoffdesign zu verbessern.

Aus Abbildung 11 wird deutlich, dass hinsichtlich der Partikelemissionen der Grenzwert von 0,02 g/kWh für DK nicht eingehalten wird. Die Einzelwerte liegen dabei reproduzierbar oberhalb des Grenzwertes. Dagegen wird für die Kraftstoffe CUT 1 bis CUT 3 der Grenzwert knapp unterschritten, wobei sich mit Ausnahme von CUT 1 sehr geringe Abweichungen zwischen den einzelnen Messungen ergeben. Bei DK und RME ist dagegen eine starke Streuung der der Einzelmessungen zu erkennen; die höchsten und geringsten gemessenen Partikelmassen der beiden Kraftstoffe unterscheiden sich um 100 %. Der Grund für diese starken Schwankungen konnte nicht geklärt werden. Die Verdünnungsluft des eingesetzten Verdünnungstunnels

wurde gefiltert, sodass Partikel mit Durchmessern von über 10 µm nicht aus der Verdünnungsluft in die Probe-nahme gelangen sollten. Bei kleineren Partikeln zeigten sich relativ zu den CUT-Kraftstoffen jeweils geringere Werte in der Partikelanzahl (Abbildung 12). Auch waren bei der Partikelanzahl die Schwankungen deutlich geringer. Eine mögliche Erklärung wäre, dass sich große Teilchen, die sich im Abgassystem abgelagert hatten, wieder lösten und somit die Messwerte verfälschten.

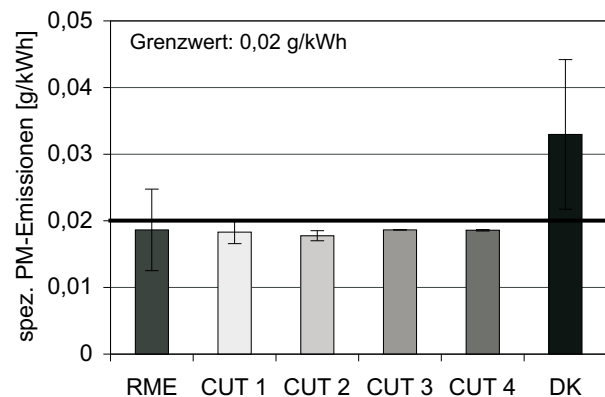


Abbildung 11:

Spezifische PM-Emissionsmassenströme im ESC-Test

Das günstigere Abschneiden von RME im Vergleich zu DK war aufgrund des Sauerstoffgehalts im RME zu erwarten (Lapuerta et al., 2008). Die PM-Emissionen für CUT 1 bis CUT 4 waren im Vergleich zum DK nicht zu erwarten. Die uns bekannten Eigenschaften der CUT-Kraftstoffe, die für das Ausmaß der Partikelbildung verantwortlich sein könnten (Morita und Sugiyama, 2003; Lapuerta et al., 2008), können den Unterschied zum DK bzw. die Ähnlichkeit untereinander nicht erklären.

3.2 Nicht limitierte Abgasbestandteile

In den Abbildungen 12 und 13 sind die Partikelanzahlverteilungen, die mittels ELPI gemessen wurden, sowie die mit dem SMPS ermittelten Partikelanzahlverteilungen im ESC-Test zu sehen.

Es kann festgestellt werden, dass RME die niedrigste Partikelanzahl der getesteten Kraftstoffe aufweist. Diese sind gegenüber DK um den Faktor 2 bis 6 verringert. Sowohl in ELPI- als auch in SMPS-Messungen ergeben die Kraftstoffe CUT 1 bis CUT 4 trotz abweichender Zusammensetzung relativ ähnliche Ergebnisse. RME ließ aufgrund des Einspritzverhaltens und des Sauerstoffgehalts eine niedrigere Partikelanzahl erwarten (Lapuerta et al., 2008). Die Ergebnisse der Kraftstoffe CUT 1 bis CUT 4 sowie für DK lassen sich ohne weitere Untersuchungen nicht erklären.

Aus Abbildung 14 ist ersichtlich, dass Formaldehyd und Aceton als Hauptkomponenten für die Substanzklasse der

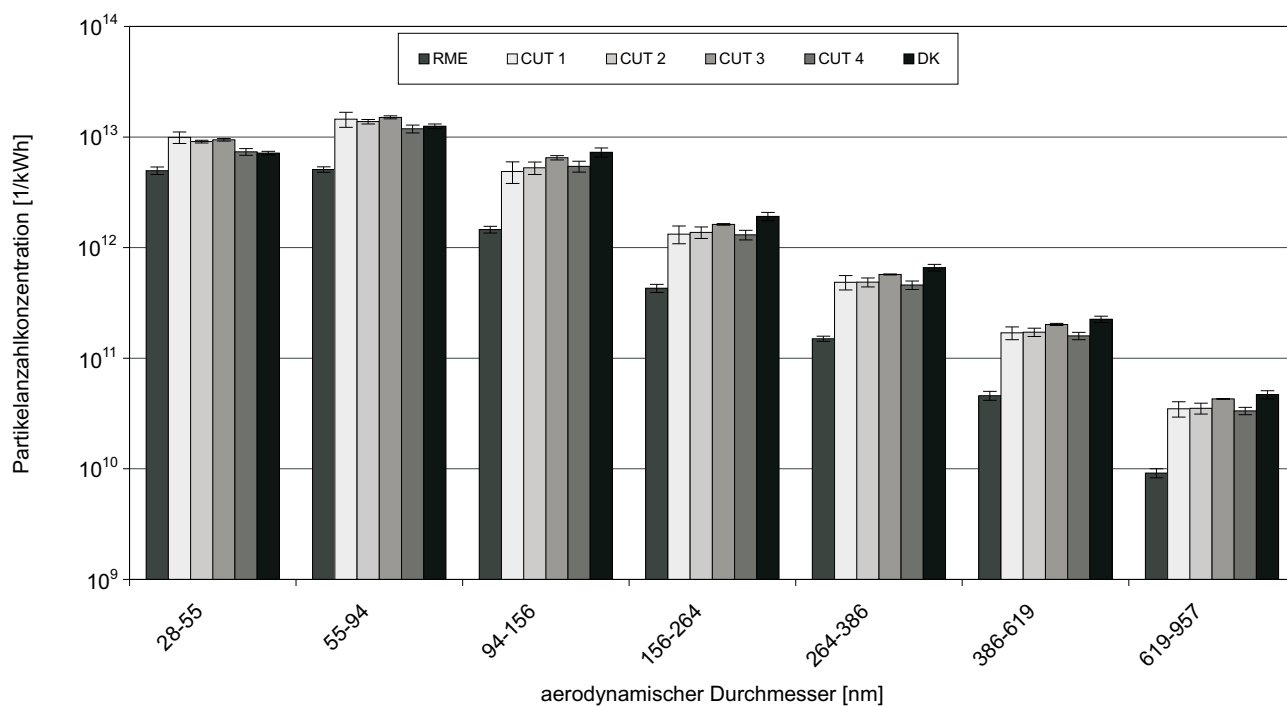


Abbildung 12:
 Partikelanzahlverteilung im ESC-Test (ELPI)

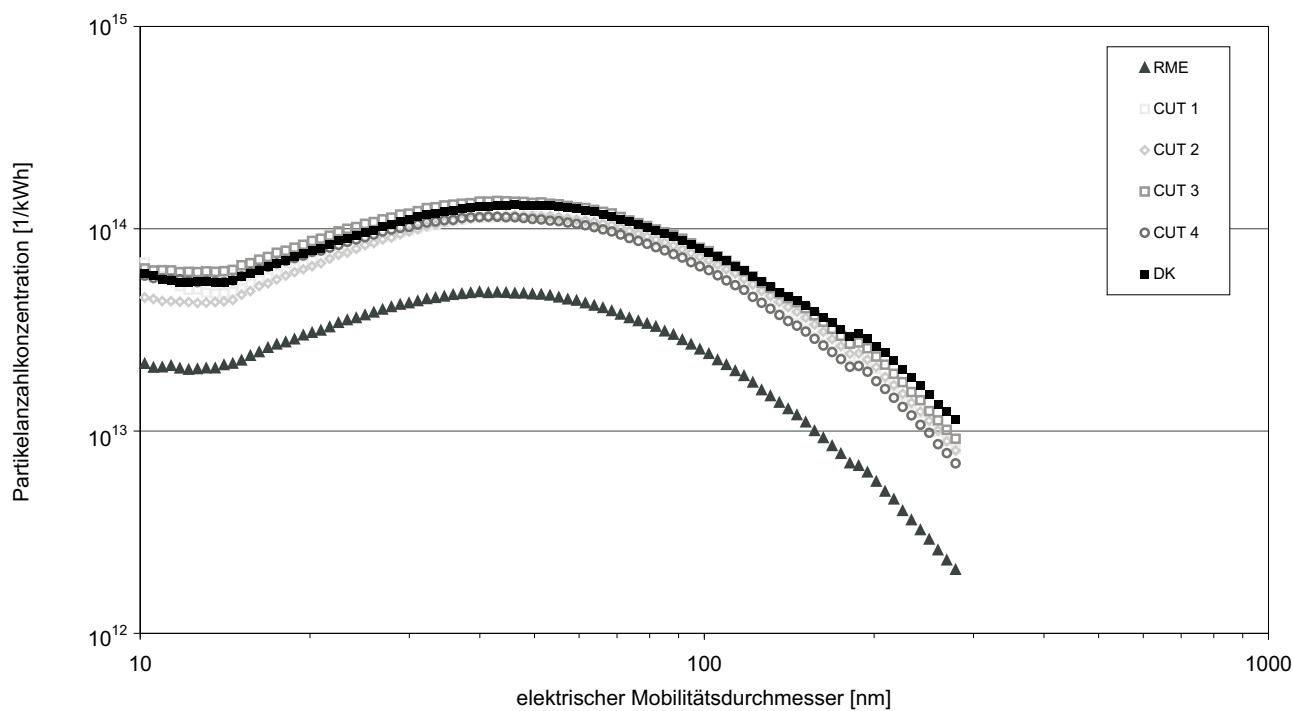


Abbildung 13:
 Partikelanzahlverteilung im ESC-Test (SMPS)

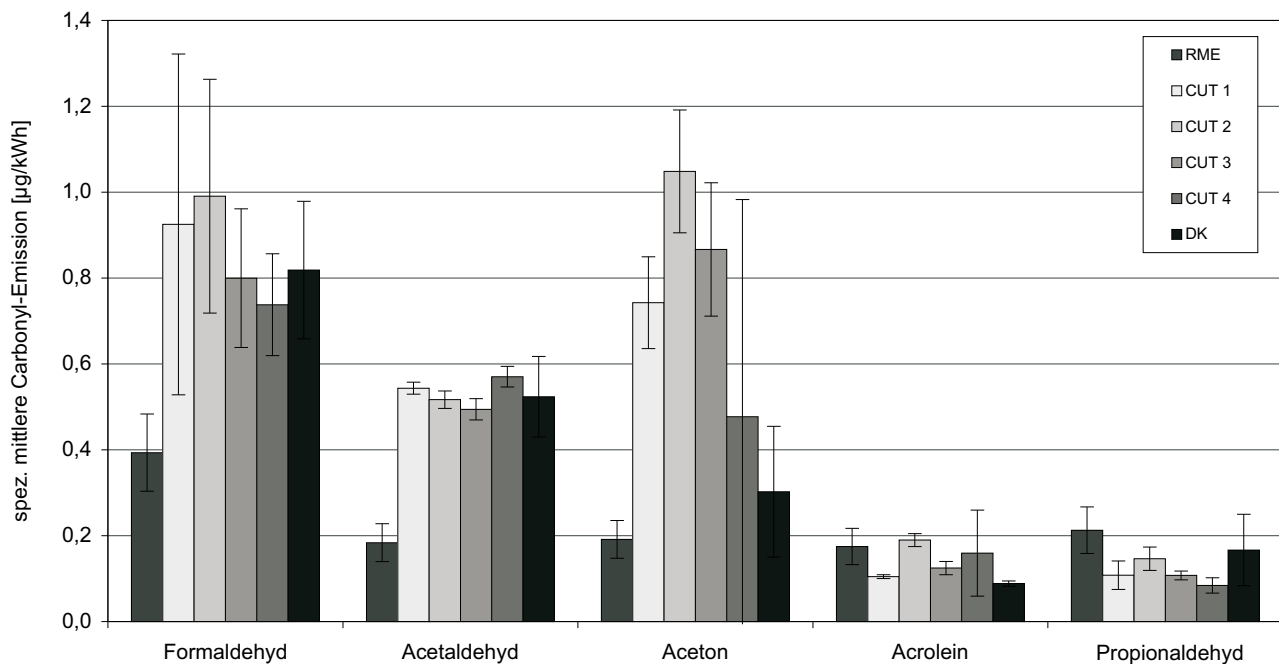


Abbildung 14:

Vergleich einzelner Aldehyd- und Keton-Emissionen im ETC-Test

Aldehyde und Ketone erhalten werden. Es fallen für Aceton relativ hohe Emissionen für die Kraftstoffe CUT 1 bis 3 auf. Im direkten Vergleich der CUT-Kraftstoffe werden leicht erhöhte Emissionen für CUT 2 erhalten. Aldehyde mit vier oder mehr Kohlenstoffatomen kommen im Abgas kaum noch vor und sind hier nicht weiter aufgeführt.

Die geringen Emissionen von Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton bei RME-Betrieb war zu erwarten und ist auf den hohen Sauerstoffgehalt sowie das Einspritzverhalten und die damit bessere Verbrennung zurückzuführen (Lapuerta et al., 2008; Peng et al., 2008). Die höheren Acrolein- und Propionaldehyd-Emissionen lassen sich mit Glyzerid-Verunreinigungen des RME erklären (Peng et al., 2008). DK ließ nach Merker et al. (2004) eine andere Relation der einzelnen Aldehyd- und Keton-Emissionen zueinander erwarten. Die Abweichung kann durch motorische Einflüsse und veränderte Verbrennungsbedingungen erklärt werden. Die Aldehyd- und Ketonemissionen der CUT-Kraftstoffe lassen keine eindeutige Zuordnung bestimmter Kraftstoffeigenschaften auf den Emissionseinfluss zu. Beispielsweise könnten die niedrigen Formaldehyd-, Aceton- und Propionaldehyd-Emissionen von CUT 4 durch dessen günstigen Siedeverlauf und niedrige Viskosität erklärt werden. Dem widersprechen allerdings die relativ hohen Acetaldehyd- und Acrolein-Emissionen. Ebenso lässt sich keine Erklärung für die zumeist höchsten Aldehyd- und Ketonemissionen von CUT 2 finden. CUT 2 befindet sich

mit seinen Eigenschaften einheitlich im Mittelfeld aller getesteten Kraftstoffe.

Für die CUT-Kraftstoffe sowie RME ergaben sich bis auf zwei Ausnahmen (BbFla und DBAnt bei CUT 1) geringere durchschnittliche Emissionen an Einzel-PAK gegenüber dem untersuchten mineralischen Dieseldieselkraftstoff, siehe Abbildung 15. Dieser Vorteil ist neben RME besonders deutlich für CUT 4 (durchschnittlicher relativer Anteil 28 % bzw. 32 %). Die überwiegend geringen Emissionswerte der CUT-Kraftstoffe lassen sich auf keine Kraftstoffeigenschaften zurückführen, bei der DK nicht ähnliche Werte vorzuweisen hat. Nach Merker et al. (2004) entstehen PAK in fetter unvollständiger Verbrennung. Ein Hinweis auf eine fette Verbrennung sind erhöhte HC- und CO-Emissionen. Doch auch CO- und HC-Emissionen lassen keinen Zusammenhang erkennen, der eine Erklärung der Ergebnisse ermöglichen würde.

4 Zusammenfassung

Referenzdieseldieselkraftstoff (DK), Biodiesel (RME) und vier synthetisch hergestellte Fischer-Tropsch-Kraftstoff-Nachbildungen der CUTEC-Institut GmbH wurden an einem LKW-Motor hinsichtlich ihrer Emissionen getestet. Im stationären ESC-Test und im transienten Testverlauf (ETC) wurden die limitierten Abgaskomponenten sowie die nicht limitierten Komponenten Partikelanzahlverteilung,

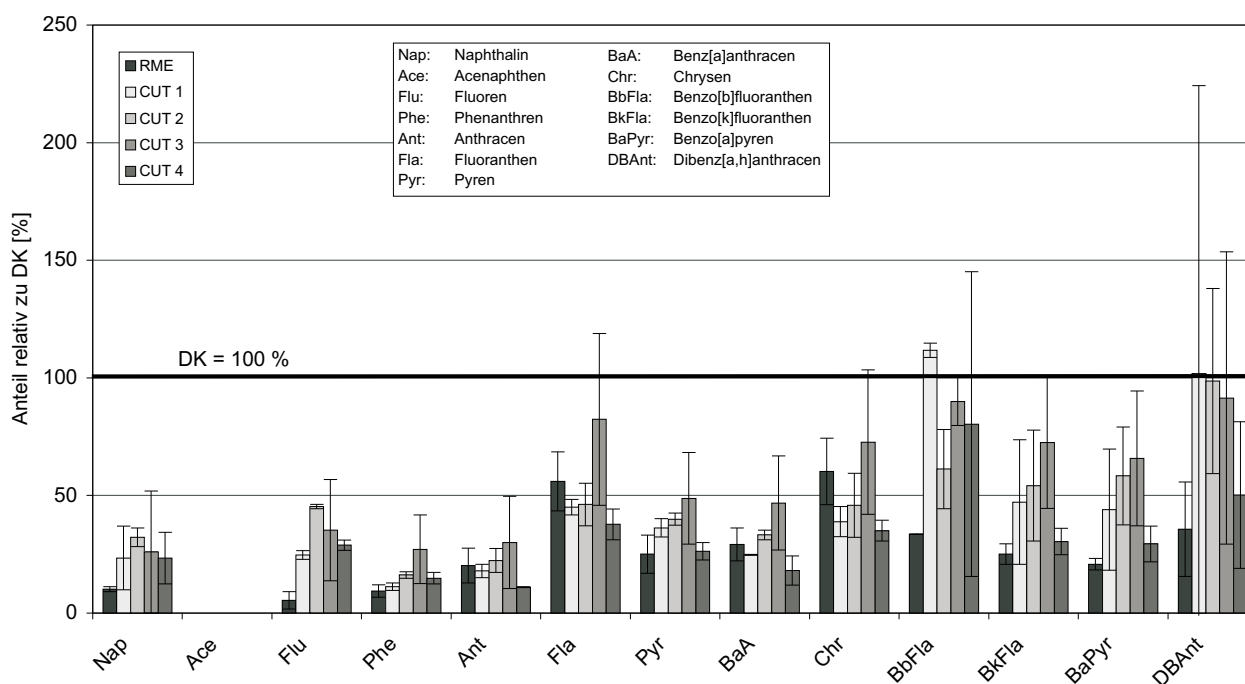


Abbildung 15:
 Relative Anteile der PAK im Verlauf des ETC-Tests im Vergleich zu DK

Aldehyde, Ketone und PAK gemessen. Trotz zum Teil erheblicher Unterschiede in der Kraftstoffzusammensetzung wurden nur geringe Unterschiede im Emissionsverhalten festgestellt. Allerdings wichen die Ergebnisse der transienten Tests z.T. erheblich von denjenigen der stationären Versuche ab. Deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen CUT-Kraftstoffen ergaben sich für die CO- und HC-Emissionen, in einigen Fällen für die PAK sowie die Partikelanzahlverteilung. Für die Partikelanzahlverteilung sowie die Komponenten Formaldehyd, Aceton und Propionaldehyd ergeben sich Vorteile für CUT 4. Durchschnittlich geringer ist auch der Anteil polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe. Dagegen sind für diesen Kraftstoff die Stickoxidemissionen sowie die Acetaldehydkonzentration erhöht. Emissionen aus dem Betrieb mit CUT 1, 2, und 3 erzielten Höchstwerte hinsichtlich der Partikelanzahlkonzentration (ELPI) im Größenbereich unter 94 nm (aerodynamischer Durchmesser) sowie für die Acetonkonzentration. Im Gegensatz zu DK und RME wurden jedoch alle limitierten Abgasgrenzwerte bei Verwendung der CUT-Kraftstoffe eingehalten.

Dem Einsatz der untersuchten synthetischen Kraftstoffe in LKW-Motoren steht aus Emissionssicht nichts entgegen. Zwar lässt sich für den verwendeten LKW-Motor kein deutlicher allgemeiner Vorteil gegenüber den Dieselmotoren bei allen Emissionen erkennen, jedoch zeigen sich geringe Vorteile bei der PAK- und PM-Emission.

Für die Formulierung zukünftiger Kraftstoffe lassen sich folgende Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen gewinnen:

- der Sauerstoffgehalt und das Einspritzverhalten von RME sorgen für beste oder gleichwertige Ergebnisse (Ausnahme NO_x) aller getesteten Kraftstoffe
- Viskosität, Cetanzahl und Siedeverlauf scheinen nur einen begrenzten Einfluss auf die NO_x -Emissionen zu haben
- Kohlenstoffkettenlänge, Viskosität, Siedeverlauf, Cetanzahl und Dichte scheinen keinen eindeutigen Einfluss auf CO-, HC-, PM-, PAK-, Aldehyd- und Ketonemissionen zu haben. Ebenso kann keine der Eigenschaften allein für eine Veränderung der Partikelanzahl verantwortlich gemacht werden.

Danksagungen

Die Autoren danken dem Niedersächsischen Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz für die Förderung des Projekts. Ferner danken die Autoren der Cutec-Institut GmbH für die Überlassung der Kraftstoffe.

Literaturverzeichnis

- Dekati (2001) ELPI : user manual version 3.13. Tampere : Dekati
- ECE-R 49 (1993) Regelung Nr. 49 : einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Motoren mit Selbstzündung und der mit einem Motor mit Selbstzündung ausgerüsteten Fahrzeuge hinsichtlich der Emission von Schadstoffen aus dem Motor (Mit Berichtigung 1 vom 2. März 1983, Änderung 01 vom 14. Mai 1990, Berichtigung 2 vom 11. September 1992 und Änderung 02 vom 30. Dezember 1992) ; Revision1. In:FEE – Fahrzeugtechnik EWG-ECE : Richtlinien der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft für Straßenfahrzeuge (EWG-Richtlinien) und Regelungen der Economic Commission for Europe für Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger (ECE-Regelungen). Bonn-Bad Godesberg : Kirschbaum, 23. Ergänzungslieferung
- EWG 88/77 (1988) Richtlinie des Rates vom 3. Dezember 1987 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Massnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Selbstzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die Emission gasförmiger Schadstoffe aus mit Erdgas oder Flüssiggas betriebenen Fremdzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen (88/77EG) [online]. Zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSL EG:1988L0077:20010421:DE:PDF>> [zitiert am 05.10.2009]
- Garbe (2002) Senkung der Emissionen eines PKW mit direkt einspritzendem Dieselmotor durch Verwendung von Kraftstoffen mit abgestimmtem Siede- und Zündverhalten [online]. Zu finden in < <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01dh01/357610318.pdf> > [zitiert am 01.10.2009]
- Hagena JR, Filipi ZS, Assanis DN (2006) Transient diesel emissions : analysis of engine operation during a tip-in. SAE-Paper 2006-01-1151
- Krahl J (1993) Bestimmung der Schadstoffemissionen von landwirtschaftlichen Schleppern beim Betrieb mit Rapsöl im Vergleich zu Dieseldieselkraftstoff. Düsseldorf : VDI-Verl, 113 p, Fortschrittberichte VDI : Reihe 15: Umwelttechnik 110
- Krahl J, Munack A, Ruschel Y, Schröder O (2007a) Comparison of emissions and mutagenicity from biodiesel, vegetable oil, GTL and diesel fuel. SAE-Paper 2007-01-4042
- Krahl J, Munack A, Grope N, Ruschel Y, Schröder O, Büniger J (2007b) Biodiesel, rapeseed oil, gas-to-liquid, and a premium diesel fuel in heavy duty diesel engines : endurance, emissions and health effects. Clean 35(5):417-426
- Lapuerta M, Armas O, Rodriguez-Fernandez J (2008) Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. Prog Energy Combust Sci 34:198-223
- Lee S-W, Tanaka D, Kusaka J, Daisho Y (2002) Effects of diesel fuel characteristics on spray and combustion in a diesel engine. Rev Automotive Eng / JSAE 23:407-414
- Merker G, Schwarz C, Stiesch G, Otto F (2004) Verbrennungsmotoren : Simulation der Verbrennung und Schadstoffbildung. Stuttgart : Teubner, 410 p
- Morita A, Sugiyama G (2003) Influence of density and viscosity of diesel fuel on exhaust emissions. SAE-Paper 2003-01-1869
- Peng C-Y, Yang H-H, Lan C-H, Chien S-M (2008) Effect of the biodiesel blend fuel on aldehyde emissions from diesel engine exhaust. Atmos Environ 42:906-915
- Ren Y, Huang Z, Miao H, Di Y, Jiang D, Zeng K, Liu B, Wang X (2008) Combustion and emissions of a DI diesel engine fuelled with diesel-oxygenate blends. Fuel 87(12):2691-2697
- SFB 224 (1995) Sonderforschungsbereich 224 „Motorische Verbrennung“: Verbrennung, Schadstoffbildung und Akustik [online]. Zu finden in <http://www.sfb224.rwth-aachen.de/Kapitel/kap4_4.htm> [zitiert am 05.10.2009]
- VDI 3872 (1989) Messen von Emissionen / Messen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) / Messen von PAH in Abgasen von PKW-Otto- und -Dieselmotoren / Gaschromatographische Bestimmung. Berlin : Beuth-Verlag, VDI 3872, Blatt 1

Lieferbare Sonderhefte / Special issues available

300	Analyse politischer Handlungsoptionen für den Milchmarkt (2006)	12,00 €
301	Hartmut Ramm (2006) Einfluß bodenchemischer Standortfaktoren auf Wachstum und pharmazeutische Qualität von Eichenmisteln (<i>Viscum album</i> auf <i>Quercus robur</i> und <i>petraea</i>)	11,00 €
302	Ute Knierim, Lars Schrader und Andreas Steiger (Hrsg.) (2006) Alternative Legehennenhaltung in der Praxis: Erfahrungen, Probleme, Lösungsansätze	12,00 €
303	Claus Mayer, Tanja Thio, Heike Schulze Westerath, Pete Ossent, Lorenz Gygax, Beat Wechsler und Katharina Friedli (2007) Vergleich von Betonspaltenböden, gummimodifizierten Spaltenböden und Buchten mit Einstreu in der Bullenmast unter dem Gesichtspunkt der Tiergerechtigkeit	8,00 €
304	Ulrich Dämmgen (Hrsg.) (2007) Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR) 2007 for 2005	16,00 €
[304]	Introduction, Methods and Data (GAS-EM)	
[304A]	Tables Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft – Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2007 für 2005	
[304]	Einführung, Methoden und Daten (GAS-EM)	
[304A]	Tabellen	
305	Joachim Brunotte (2007) Konservierende Bodenbearbeitung als Beitrag zur Minderung von Bodenschadverdichtungen, Bodenerosion, Run off und Mykotoxinbildung im Getreide	14,00 €
306	Uwe Petersen, Sabine Kruse, Sven Dänicke und Gerhard Flachowsky (Hrsg.) (2007) Meilensteine für die Futtermittelsicherheit	10,00 €
307	Bernhard Osterburg und Tania Runge (Hrsg.) (2007) Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie	15,00 €
308	Torsten Hinz and Karin Tamoschat-Depolt (eds.) (2007) Particulate Matter in and from Agriculture	12,00 €
309	Hans Marten Paulsen und Martin Schochow (Hrsg.) (2007) Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten	9,00 €
310	Hans-Joachim Weigel und Stefan Schrader (Hrsg.) (2007) Forschungsarbeiten zum Thema Biodiversität aus den Forschungseinrichtungen des BMELV	13,00 €
311	Mamdoh Sattouf (2007) Identifying the Origin of Rock Phosphates and Phosphorus Fertilisers Using Isotope Ratio Techniques and Heavy Metal Patterns	12,00 €
312	Fahmia Aljmlí (2007) Classification of oilseed rape visiting insects in relation to the sulphur supply	15,00 €
313	Wilfried Brade und Gerhard Flachowsky (Hrsg.) (2007) Rinderzucht und Rindfleischerzeugung – Empfehlungen für die Praxis	10,00 €
314	Gerold Rahmann (Hrsg.) (2007) Ressortforschung für den Ökologischen Landbau, Schwerpunkt: Pflanze	12,00 €
315	Andreas Tietz (Hrsg.) (2007) Ländliche Entwicklungsprogramme 2007 bis 2013 in Deutschland im Vergleich – Finanzen, Schwerpunkte, Maßnahmen	12,00 €

316	Michaela Schaller und Hans-Joachim Weigel (2007) Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung	16,00 €
317	Jan-Gerd Krentler (2008) Vermeidung von Boden- und Grundwasserbelastungen beim Bau von Güllelagern Prevention of soil and groundwater contamination from animal waste storage facilities	12,00 €
318	Yelto Zimmer, Stefan Berenz, Helmut Döhler, Folkhard Isermeyer, Ludwig Leible, Norbert Schmitz, Jörg Schweinle, Thore Toews, Ulrich Tuch, Armin Vetter, Thomas de Witte (2008) Klima- und energiepolitische Analyse ausgewählter Bioenergie-Linien	14,00 €
319	Ludger Grünhage and Hans-Dieter Haenel (2008) Detailed documentation of the PLATIN (PLant-ATmosphere Interaction) model	10,00 €
320	Gerold Rahmann und Ulrich Schumacher (Hrsg.) (2008) Praxis trifft Forschung — Neues aus der Ökologischen Tierhaltung 2008	14,00 €
321	Bernd Degen (Editor) (2008) Proceedings of the international workshop “Fingerprinting methods for the identification of timber origins”, Bonn, October 8-9 2007	18,00 €
322	Wilfried Brade, Gerhard Flachowsky, Lars Schrader (Hrsg) (2008) Legehuhnzucht und Eierzeugung - Empfehlungen für die Praxis	12,00 €
323	Christian Dominik Ebmeyer (2008) Crop portfolio composition under shifting output price relations – Analyzed for selected locations in Canada and Germany –	14,00 €
324	Ulrich Dämmgen (Hrsg.) (2009) Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR) 2009 for 2007 Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft – Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2009 für 2007	8,00 €
324A	Tables Tabellen	8,00 €
325	Frank Offermann, Martina Brockmeier, Horst Gömann, Werner Kleinhanß, Peter Kreins, Oliver von Ledebur, Bernhard Osterburg, Janine Pelikan, Petra Salamon (2009) vTI-Baseline 2008	8,00 €
326	Gerold Rahmann (Hrsg.) (2009) Ressortforschung für den Ökologischen Landbau 2008	8,00 €
327	Björn Seintsch, Matthias Dieter (Hrsg.) (2009) Waldstrategie 2020 Tagungsband zum Symposium des BMELV, 10.-11. Dez. 2008, Berlin	18,00 €
328	Walter Dirksmeyer, Heinz Sourell (Hrsg.) (2009) Wasser im Gartenbau Tagungsband zum Statusseminar am 9. und 10. Februar 2009 im Forum des vTI in Braunschweig. Organisiert im Auftrag des BMELV	8,00 €
329	Janine Pelikan, Martina Brockmeier, Werner Kleinhanß, Andreas Tietz, Peter Weingarten (2009) Auswirkungen eines EU-Beitritts der Türkei	8,00 €
330	Walter Dirksmeyer (Hrsg.) (2009) Status quo und Perspektiven des deutschen Produktionsgartenbaus	14,00 €
331	Frieder Jörg Schwarz, Ulrich Meyer (2009) Optimierung des Futterwertes von Mais und Maisprodukten	12,00 €
332	Gerold Rahmann und Ulrich Schumacher (Hrsg.) (2009) Praxis trifft Forschung — Neues aus der Ökologischen Tierhaltung 2009	8,00 €

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



Landbauforschung
*vTI Agriculture and
Forestry Research*

Vol. 59 No. 4 12.2009

Preis / Price 8 €

ISSN 0458-6859

