



Ernährungsphysiologische Bewertung von Öko-Futtermitteln für Schweine

Erstellt von:

Georg-August-Universität Göttingen
Forschungs- und Studienzentrum für Landwirtschaft und Umwelt
Am Vogelsang 6, 37075 Göttingen
Tel.: +49 551 39-3359, Fax: +49 551 39-3343
E-Mail: habel@gwdg.de
Internet: <http://wwwuser.gwdg.de/~tierphys/>

Gefördert vom Bundesministerium für
Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau

Dieses Dokument ist über <http://forschung.oekolandbau.de> verfügbar.



Abschlussbericht

Aktenzeichen 514 – 43.20/02 OE 209

Ausführende Stelle: **Georg-August-Universität**

Prof. Dr. Hansjörg Abel
Institut für Tierphysiologie u. Tierernährung
Kellnerweg 6
37077 Göttingen

Prof. Dr. Elke Pawelzik
Institut für Agrikulturchemie
Carl-Sprengel-Weg 1
37075 Göttingen

Prof. Dr. Gerd Breves
Physiologisches Institut
Tierärztliche Hochschule Hannover
Bischofsholer Damm 15/102
30173 Hannover

Koordination/Verwaltung: **Forschungs- und Studienzentrum**
Landwirtschaft und Umwelt
Am Vogelsang 6
37075 Göttingen

Forschungsprojekt: **02 OE 209**

Thema: **Ernährungsphysiologische Bewertung von**
Öko-Futtermitteln für Schweine

Laufzeit: **01.06.2002 – 30.05.2004**

Berichtszeitraum: **01.06.2002 – 30.05.2004**

Göttingen, den 09.07.2004

Gliederung

1. Ziele und Aufgabenstellung des Projektes
 - 1.1 Projektplanung und Ablauf
 - 1.1.1 Laboranalysen repräsentativer Proben von Getreide- und Körnerleguminosen aus offiziellen Sortenanbauversuchen
 - 1.1.2 Stoffwechselfersuche an faserarm oder faserreich ernährten Schweinen verschiedener genetischer Herkunft
 - 1.1.2.1 Zulageversuche mit Zuckerrübetrockenschnitzel
 - 1.1.2.2 Stoffwechselfersuche unter Einsatz von Rationen aus Futterkomponenten des Ökologischen Landbaus oder der konventionellen Landwirtschaft
 - 1.1.3 Untersuchungen zur Mikrobiologie und Transportphysiologie in definierten Darmabschnitten von faserarm oder faserreich gefütterten Schweinen verschiedener genetischer Herkunft
 - 1.1.3.1 Untersuchung der fermentativen Umsetzungen im Dickdarm mittels der Colon-Simulationstechnik COSITEC
 - 1.1.3.2 Untersuchungen zur darmmucosalen Transportphysiologie mittels der Ussingkammer-Technik
 - 1.2 Chronologischer Ablauf der Untersuchungen
 - 1.3 Bisheriger wissenschaftlicher Stand, von dem ausgegangen wurde
2. Material und Methoden
 - 2.1 Laboranalysen repräsentativer Proben von Getreide- und Körnerleguminosen aus offiziellen Sortenanbauversuchen
 - 2.2 Stoffwechselfersuche an faserarm oder faserreich ernährten Schweinen verschiedener genetischer Herkunft
 - 2.2.1 Zulageversuche mit Zuckerrübetrockenschnitzel (Versuche 1 und 2)
 - 2.2.2 Stoffwechselfersuche unter Einsatz von Rationen aus Futterkomponenten des Ökologischen Landbaus oder der konventionellen Landwirtschaft (Versuch 3)
 - 2.3 Untersuchungen zur Mikrobiologie und Transportphysiologie in definierten Darmabschnitten von faserarm oder faserreich gefütterten Schweinen verschiedener genetischer Herkunft
 - 2.3.1 Untersuchung der fermentativen Umsetzungen im Dickdarm mittels der Colon-Simulationstechnik COSITEC
 - 2.3.2 Untersuchungen zur darmmucosalen Transportphysiologie mittels der Ussingkammer-Technik

3. Ergebnisse
 - 3.1 Laboranalysen repräsentativer Proben von Getreide- und Körnerleguminosen aus offiziellen Sortenanbauversuchen
 - 3.2 Stoffwechselversuche an faserarm oder faserreich ernährten Schweinen verschiedener genetischer Herkunft
 - 3.2.1 Zulageversuche mit Zuckerrübetrockenschnitzel (Versuche 1 und 2)
 - 3.2.2 Stoffwechselversuche unter Einsatz von Rationen aus Futterkomponenten des Ökologischen Landbaus oder der konventionellen Landwirtschaft (Versuch 3)
 - 3.3 Untersuchungen zur Mikrobiologie und Transportphysiologie in definierten Darmabschnitten von faserarm oder faserreich gefütterten Schweinen verschiedener genetischer Herkunft
 - 3.3.1 Untersuchung der fermentativen Umsetzungen im Dickdarm mittels der Colon-Simulationstechnik COSITEC
 - 3.3.2 Untersuchungen zur darmmucosalen Transportphysiologie mittels der Ussingkammer-Technik
 - 3.4 Schlussfolgerungen
4. Zusammenfassung
Summary
5. Gegenüberstellung der geplanten zu den erreichten Zielen
6. Literaturverzeichnis

1. Ziele und Aufgabenstellung des Projektes

Dem Forschungsprojekt lagen die folgenden Ziele und Aufgaben zugrunde:

- Vergleichende Nährstoffanalysen ökologisch oder konventionell angebaute Futterkomponenten für Schweine
- Von einer grundsätzlich faserreicheren Fütterung im Ökologischen Landbau ausgehend: Untersuchung und gegebenenfalls Nachweis von Unterschieden in der Verdauungsphysiologie zwischen Schweinen verschiedener genetischer Herkunft bei faserreicher Fütterung
- Konsequenzen für die ernährungsphysiologische Bewertung von Futtermitteln für Schweine im Ökologischen Landbau auf der Grundlage der erzielten Untersuchungsergebnisse

1.1 Projektplanung und Ablauf

Der Ziel- und Aufgabenstellung entsprechend umfassen die Forschungsarbeiten

- Laboranalysen repräsentativer Proben von Getreide- und Körnerleguminosenproben aus offiziellen Sortenanbauversuchen
- Stoffwechselversuche an faserarm oder faserreich ernährten Schweinen verschiedener genetischer Herkunft
- Untersuchungen zur Mikrobiologie und Transportphysiologie in definierten Darmabschnitten faserarm oder faserreich ernährter Schweine verschiedener genetischer Herkunft

1.1.1 Laboranalysen repräsentativer Proben von Getreide- und Körnerleguminosen aus offiziellen Sortenanbauversuchen

Futterkomponenten: Weizen, Gerste und Ackerbohnen aus ökologisch und konventionellem Anbau

Erfasste Merkmale: Gehalte an Rohprotein, NDF, ADF, Stärke, Pentosanen (nur Weizen), Glycosiden (nur Ackerbohnen)

1.1.2 Stoffwechselversuche an faserarm oder faserreich ernährten Schweinen verschiedener genetischer Herkunft

1.1.2.1 Zulageversuche mit Zuckerrübertrockenschnitzel

Tiere: Schwäbisch Hällisches Schwein
Buntes Bentheimer Schwein
Moderne Gebrauchskreuzung (Deutsche Landrasse x Large White) x Pietrain))

Futter: a) Grundration (80% des Energie- und 100% des Protein und AS Bedarfs)
b) Grundration + Zulage von Zuckerrübertrockenschnitzeln

Haltung: Einzel- und Zweierbuchten während der Anfütterungsperioden,

| | |
|--------------------|--|
| Versuchsdauer: | Einzelhaltung in Stoffwechselkästen während der letzten 3 Tage der Vorfütterungs- und der nachfolgenden Sammelperioden nach Zukauf der Ferkel 7 Tage Eingewöhnung mit Fütterung der Grundration, anschließend Beginn der Fütterung mit den Versuchsrationen, 7 Tage Vorfütterungsperiode + 5 bis 7 Tage Sammelperiode |
| Erfasste Merkmale: | Verdaulichkeiten (Trockensubstanz, organische Substanz, Rohprotein, Rohfett, Rohasche, Rohfaser, NfE, NDF, ADF) N-Bilanzen Kot-N- Fraktionen Mineralstoffbilanzen |

1.1.2.2 Stoffwechselfersuche unter Einsatz von Rationen aus Futterkomponenten des Ökologischen Landbaus oder der konventionellen Landwirtschaft

| | |
|--------------------|---|
| Tiere: | Buntes Bentheimer Schwein Moderne Gebrauchskreuzung (Deutsche Landrasse x Large White) Pietrain)) |
| Futter: | konventionelle Ration und Ökologische Ration mit annähernd gleichem Energie und Proteingehalt |
| Haltung: | Einzel- und Zweierbuchten während der Anfütterungsperioden, Stoffwechselkästen während der letzten 3 Tage der Vorfütterungs- und während der nachfolgenden Sammelperioden |
| Versuchsdauer: | nach Zukauf der Ferkel 7 Tage Eingewöhnung mit Fütterung der Versuchsrationen, anschließend 7 Tage Vorfütterungsperiode + 5 bis 7 Tage Sammelperiode |
| Erfasste Merkmale: | Verdaulichkeiten (Trockensubstanz, organische Substanz, Rohprotein, Rohfett, Rohasche, Rohfaser, NfE, NDF, ADF) N-Bilanzen Mineralbilanzen |

1.1.3 Untersuchungen zur Mikrobiologie und Transportphysiologie in definierten Darmabschnitten von faserarm oder faserreich gefütterten Schweinen verschiedener genetischer Herkunft

1.1.3.1 Untersuchung der fermentativen Umsetzungen im Dickdarm mittels der Colon-Simulationstechnik COSITEC

| | |
|--------------------|--|
| Material: | flüssige und feste Phase des Caecuminhalts geschlachteter Tiere aus den Stoffwechselfersuchen |
| Versuchsdauer: | 13 Tage (7 Tage Äquilibration, 5 Tage Mess- und Sammelperiode) |
| Erfasste Merkmale: | Abbaubarkeit (organische Substanz, NDF, ADF) pH Wert Flüchtige Fettsäuren Fermentationsgase |

1.1.3.2 Untersuchungen zur darmmucosalen Transportphysiologie mittels der Ussingkammer-Technik

| | |
|-------------------|--|
| Material: | Mucosa von Jejunum und Colon der geschlachteten Schweine aus den Stoffwechselversuchen |
| Erfasste Merkmale | Leitfähigkeit und Kurzschlussstrom |

1.2 Chronologischer Ablauf der Untersuchungen

| | |
|------------------------|--|
| Juli-Dezember 2002: | Beschaffung und Vorbereitung von Proben ökologisch und konventionell erzeugter Getreide- und Ackerbohnenproben zur Analyse; Beginn der Futteranalysen; Berechnung und Herstellung der Versuchsfuttermischungen; Bestellung der Versuchstiere |
| Januar-März 2003: | Stoffwechselversuche 1.1.2.1 (3 Durchgänge mit je 12 Schweinen) |
| März-2003-April 2003: | Cositec-Untersuchungen 1.1.2.3(2 Durchgänge) |
| April 2003: | Ussing Kammer-Untersuchungen 1.1.2.4 Bestellung von Versuchstieren für Stoffwechselversuche 1.1.2.2 (Vergleich „Öko“ mit „konventionell“); Bestellung und Herstellung der Futtermischungen |
| Mai 2003: | Stoffwechselversuch 1.1.2.2 mit 12 Schweinen |
| Juni 2003-Januar 2004: | Analysen, Auswertung der Daten |
| November 2003: | Verlängerungsantrag zum laufenden Projekt |
| Februar-März 2004: | weitere Stoffwechselversuche 1.1.2.1 mit 18 Schweinen |
| März-April 2004: | weitere Cositec-Untersuchungen 1.1.2.3 |
| März-Mai 2004: | weitere Ussing Kammer-Untersuchungen 1.1.2.4 |
| April-Mai 2004: | Analyse, Auswertung der Daten, Abschlussbericht |

1.3 Bisheriger wissenschaftlicher Stand, von dem ausgegangen wurde

Die Produktionsbedingungen des Ökologischen Landbaus und der konventionellen Landwirtschaft können sich auf die Zusammensetzung der pflanzlichen Produkte, insbesondere auf die Gehalte an Protein und Nicht-Stärke-Polysacchariden (NSP) auswirken. Gegenüber konventioneller Erzeugung weisen ökologisch erzeugte Produkte meist weniger Rohprotein und mehr NSP auf (Andersen et al. 2001; Dlouhy, 1981; Granstedt & Kjellenberg, 1995; Haglund, 1998; Kieffer, 1995; Kumpulainen, 2001; Mølgaard, 2000; Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg, 1977; Petterson, 1982; Raupp et al, 1994; Scheller, 1999; Shier et al., 1984; Woese et al., 1995, 1997). Zusätzlich zu der vorgeschriebenen täglichen Rauhfutterzulage werden daher Schweine im Ökologischen Landbau mit höheren Fasermengen als bei konventioneller Erzeugung versorgt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die faserreichere Fütterung sich auf die Verdauungsvorgänge beim Schwein auswirkt.

Da keine vergleichenden Untersuchungen zu Wirkungen von ökologischen und konventionellen Futtermitteln auf Verdauungsparameter bei Schweinen vorliegen, kann nur auf Ergebnisse mit im Fasergehalt oder in der Faserzusammensetzung sich unterscheidende Rationen zurückgegriffen werden. NSP werden von körpereigenen Enzymen des Schweines nicht abgebaut, sie unterliegen aber einer inestinalen mikrobiellen Fermentation. Die Digestapassage wird durch faserreiche Fütterung in Abhängigkeit von der Faserart,

insbesondere ihrer Löslichkeit, in den einzelnen Abschnitten des Intestinaltraktes beeinflusst (Bakker et al., 1998; Johansen & Bach Knudsen, 1994; Johansen et al., 1996; Kestling et al. 1991; Low, 1990; Miquel et al., 2001; Potkins et al., 1991). Derartige Effekte wirken sich weniger auf die Verdaulichkeit von Stärke und Zucker (Bach Knudsen et al., 1993a, Bach Knudsen et al., 2000; Ramonet et al., 2000; Galibois et al., 1994), infolge steigender Sekretion von Verdauungssäften, Veränderungen in der Menge und Zusammensetzung von Gallensäuren, erhöhter Zellschilferungen sowie intensiver mikrobieller Protein- und Fettsynthese dagegen stärker auf die scheinbaren Verdaulichkeiten von Protein und Fett aus (Boisen & Fernández, 1995; De Lange et al., 1990; Furda, 1990; Kreuzer et al., 1991; Le Goff et al., 2000; Leterme et al., 2000; Mosenthin et al., 1992; Mroz et al., 2000). Die wahre Verdaulichkeit kann durch Enzym-Substrat-Wechselwirkungen und komplexbildende Eigenschaften der NSP herabgesetzt werden. Auch Veränderungen der Enzymaktivität wurden nachgewiesen (Grala et al., 1999; Furda, 1990; Johnson, 1992; Madar & Odes, 1992; Mosenthin & Sauer, 1993).

Während lösliche NSP bereits im Magen zu kleineren Molekülen umgewandelt werden, gelangen unlösliche NSP nahezu unverdaut in den Blind- und Dickdarm, wo sie von Mikroben fermentiert werden. Der Umfang der mikrobiellen Aktivität ist abhängig von Menge und Art der Faser (Bach Knudsen et al., 1993a, b; Jensen & Jørgensen, 1994, Kreuzer et al. 1999). Die Fermentation der faserreichen Substanzen im Verlauf des Darmtraktes und die damit verbundene Umwandlung zu SCFA stellt die einzige Form der Energiegewinnung aus diesen Substanzen für das Schwein dar, wobei die absorbierten flüchtigen Fettsäuren grundsätzlich einen niedrigeren energetischen Wert als im Dünndarm absorbierte Kohlenhydrate liefern (Jørgensen et al., 1997; Révész et al., 1992; Shi & Noblet, 1993a, b). Mit steigender NSP Menge, vor allem der löslichen Fraktion, nehmen die Mengen der intestinal gebildeten Fettsäuren und Gase zu (Bach Knudsen et al., 1993a, B; Bach Knudsen & Canibe, 2000; Bingham, 1990; Bolduan et al., 1991; Canibe & Bach Knudsen, 2002; Christensen et al., 1999; Freire et al., 2000; Jørgensen et al., 1996).

Die in der Literatur dargestellten Untersuchungen beziehen sich auf die Auswirkungen faserreicher Fütterung bei Schweinen moderner Gebrauchskreuzungen. Untersuchungen zur Verwertung faserreicher Rationen durch genetisch ältere Schweineherkünfte sowie vergleichende Untersuchungen zwischen älteren und modernen Schweineherkünften liegen bislang nicht vor.

2. Material und Methoden

2.1 Laboranalysen repräsentativer Proben von Getreide- und Körnerleguminosen aus offiziellen Sortenanbauversuchen

Probenmaterial

Untersucht wurden Proben von Winterweizen, Sommergerste und Ackerbohnen aus Sortenanbauversuchen der Landwirtschaftskammer Hannover, der Landwirtschaftskammer Schleswig Holstein, der sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft sowie der Landesanstalt für Pflanzenbau Baden Württemberg. Dabei handelte es sich um jeweils gleiche Sorten gleichen Versuchsjahres sowie gleicher Standorte.

Erfasste Parameter

Erfasst wurden der Proteingehalt bei Weizen, Gerste und Ackerbohnen. Der Stärkegehalt sowie der NDF- und ADF Gehalt wurde ebenfalls bei allen drei Arten bestimmt. Weiterhin wurden der Pentosangehalt bei Weizen sowie der Glycosidgehalt bei Ackerbohnen bestimmt.

Analysen

Der Proteingehalt wurde nach der Methode von Dumas (Schuster et al., 1991) bestimmt. Die Analyse von Stärke erfolgte polarimetrisch (Naumann & Bassler, 1997). Die NDF und ADF Bestimmung wurden nach Goering & van Soest (1970) durchgeführt. Für die Analyse der Pentosangehalte diente die Methode von Thomann & Schreinemann (1980), die Glycoside wurden spektrophotometrisch analysiert.

2.2 Stoffwechselversuche an faserarm oder faserreich ernährten Schweinen verschiedener genetischer Herkunft

2.2.1 Zulageversuche mit Zuckerrübetrockenschnitzel (Versuche 1 und 2)

Die Zulageversuche gliedern sich in zwei Versuche, in denen jeweils die gleichen drei genetischen Herkünfte zum Einsatz kamen. Im Versuch 1 wurden in dreifacher Wiederholung je zwei Schweine einer jeden genetischen Herkunft mit der Grundration oder mit der Zulageration versorgt. Es standen demnach je genetischer Herkunft und Futterration 6 Tiere, insgesamt 36 Tiere im Versuch. Im Versuch 2 wurden ohne Wiederholung je drei Schweine einer genetischen Herkunft mit der Grundration oder mit der Zulageration versorgt. Hier standen demnach insgesamt 18 Tiere im Versuch.

Als Versuchstiere dienten die Herkünfte Schwäbisch-Hällisches Schwein, Buntes Bentheimer Schwein sowie moderne Gebrauchskreuzung (Deutsche Landrasse x Large White) x Pietrain)). Im Versuch 1 wiesen die Schweine ein Gewicht von durchschnittlich 38 ± 5 kg, im Versuch 2 von 47 ± 5 kg zu Beginn der Sammelperiode auf.

Die Tiere wurden nach der Anlieferung zur Erholung vom Transport und zur Anpassung an die neue Umgebung in der ersten Woche in Einzel- oder Zweierbuchten gehalten. Danach erfolgte die Überführung der Schweine in Stoffwechselkästen. Die einzelnen Versuche waren in jeweils 7tägige Vor- und 5-7tägige Sammelperioden unterteilt.

Die Grundration (GR) bestand aus faserarmen Futterkomponenten, die Zulageration (ZR) aus der Grundration plus 20% Zuckerrübetrockenschnitzeln (ZRS). Die Zusammensetzung der Rationen ist in den Tabelle 1 und 2 dargestellt.

Die in den Versuchen tierindividuell nach Maßgabe der metabolischen Lebendmasse ($\text{kg}^{0,75}$) zugeteilten Mengen der Grundration sollten 80 % des Energie- und 100% des Protein- bzw. Aminosäurebedarfs der Schweine sowie alle übrigen Nährstoffe für 700g tägliche Zunahmen abdecken. Mit der Zulageration wurden die gleichen Mengen der Grundration zuzüglich der Zuckerrübetrockenschnitzel verabreicht.

Die Tiere wurden zu Beginn der Vorperiode, zu Beginn der Sammelperiode sowie am Ende der Sammelperiode gewogen. Zugeteilte Futtermengen, Futterreste, Kot- und Harnmengen wurden tierindividuell täglich quantitativ erfasst. Zur Unterbindung von Ammoniakverlusten wurden die Harnsammelgefäße mit Schwefelsäurevorlagen versehen. Aliquote Teilmengen wurden bis zur weiteren analytischen Verarbeitung zunächst tiefgefroren gelagert. Für die Analysen wurden tierindividuelle Mischproben hergestellt.

Die Rohnährstoffe wurden nach dem Weender Verfahren analysiert (Naumann & Bassler, 1997). Kotstickstoff wurde in Frischkot, die übrigen Inhaltsstoffe des Kotes in vorgetrockneten (60°C) Proben bestimmt. Die Analyse von Stärke erfolgte polarimetrisch, die von Zucker gewichtsanalytisch. Die NDF- und ADF Bestimmung erfolgte nach Goering & van Soest (1970), die Mineralstoffbestimmung nach Druckaufschluss (Loftfield & Beese, 1999) mittels IPC. Die Kot-N Fraktionen wurden nur im Versuchsdurchgang 1 bestimmt (Mason 1969, modifiziert nach Kreuzer et al. 1989). Für die Bestimmung der Wasserhaltekapazität diente die Methode von Johansen & Bach Knudsen (1994).

2.2.2 Stoffwechselfersuche unter Einsatz von Rationen aus Futterkomponenten des Ökologischen Landbaus oder der konventionellen Landwirtschaft (Versuch 3)

Als Versuchstiere dienten je 6 Schweine der Rasse Bunte Bentheimer sowie die der modernen Gebrauchskreuzung (Deutsche Landrasse x Large White) x Pietrain)). Die Schweine wiesen zu Beginn der Sammelperiode ein durchschnittliches Gewicht von 33 ± 7 kg auf. Die Haltung der Tiere erfolgte in der ersten Woche nach der Anlieferung in Zweierbuchten, danach in Stoffwechselkästen. Die Versuchsperiode war in eine 7tägige Vor- und eine 5tägige Sammelperiode unterteilt.

Es kamen die in Tabelle 3 aufgezeigten Futtermischungen zum Einsatz. Die Futterzuteilung erfolgte zweimal täglich nach Maßgabe des metabolischen Körpergewichts in Mengen von $0,096 \text{ g/kg}^{0,75}$ und Tag. Das Sammeln von Kot und Harn sowie die Aufarbeitung und Analysen der Proben wurden so wie bereits unter 2.2.1 beschrieben durchgeführt. Allerdings wurde in diesem Versuchsdurchgang auf die sehr zeitaufwändige Kot-N-Fraktionierung verzichtet.

2.3 Untersuchungen zur Mikrobiologie und Transportphysiologie in definierten Darmabschnitten von faserarm oder faserreich gefütterten Schweinen verschiedener genetischer Herkunft

2.3.1 Untersuchung der fermentativen Umsetzungen im Dickdarm mittels der Colon-Simulationstechnik COSITEC

Das Cositec System ist ein Modell zur Simulation des mikrobiellen Stoffwechsels im Colon, das nach dem für die Pansensimulation entwickelten Rusitec System (Czerkawski & Beckenridge 1977) modifiziert wurde (Dreyer 1990). Zur anfänglichen Beschickung des Cositec-Systems dienten die flüssige sowie die feste Phase des Caecuminhalts der nach dem Stoffwechselfersuch geschlachteten Schweine. Als tägliches Substrat wurden 2,2g gefriergetrockneter Caecuminhalt der jeweiligen Tier- und Fütterungsvariante eingesetzt. Die Versuche erstreckten sich über jeweils 5-tägige Äquilibrierungs- und 5-tägige Sammelperioden. Es wurde der Abbau an Rohasche, organischer Substanz, NDF und ADF, die pH-Werte der Incubationsmedien sowie die in 24 Std. gebildeten flüchtigen Fettsäuren und Gärgase ermittelt.

2.3.2 Untersuchungen zur darmmucosalen Transportphysiologie mittels der Ussingkammer-Technik

Transport- und epithelphysiologische Parameter wurden mittels der von Ussing & Zehran (1951) entwickelten Methode durchgeführt. Diese Technik wurde ursprünglich für transportphysiologische Fragestellungen an der Froschhaut entwickelt und ist bereits seit langem für entsprechende Untersuchungen an intakten Epithelien des Gastrointestinaltraktes

etabliert. Prinzip der Methode ist, dass unmittelbar nach Tötung der Tiere Segmente des Intestinaltraktes entnommen und mit eiskalter Pufferlösung gespült werden, die Mucosa von der Muscularis und der Serosa befreit („gestrippt“) wird und Stücke des Epithels mit einem Durchmesser von 1 cm in die Ussingkammer eingespannt werden. Zur Mucosa- und Serosaseite der Gewebe wird jeweils ein definiertes Volumen einer identischen Pufferlösung hinzu gegeben, um chemische Gradienten auszuschließen. Solange am Epithel aktive Ionentransportprozesse existent sind, führt dies zur Entstehung elektrischer Potentialdifferenzen, die durch einen in die Kammer eingeleiteten elektrischen Strom kompensiert („geklemmt“) werden können. Dies eliminiert dann zusätzlich elektrische Gradienten, die als treibende Kraft für transepitheliale Transportprozesse dienen können. Die Höhe des Kurzschlussstromes ist ein Maß für die Summe aller elektrogenen Transportprozesse und stellt einen physiologisch relevanten elektrophysiologischen Gewebeparameter dar. Als zweiter elektrophysiologischer Parameter wird aus Strompulsen, die in das System eingeleitet werden, auf der Grundlage des Ohm'schen Gesetzes die Gewebeleitfähigkeit (Reziprok: elektrischer Widerstand) ermittelt.

Als Versuchstiere für diese Messungen dienten Schweine der oben genannten Herkünfte, die über mindestens 21 Tage entweder mit der Grundration oder der Zulageration (vgl. Tab. 1 und 2) gefüttert worden waren. Für die Messungen wurden Epithelien aus dem mittleren Jejunum, dem Ileum und dem proximalen Colon verwendet. Als Messparameter dienten die elektrophysiologischen Messgrößen sowie der Anstieg des Kurzschlussstromes (Stromresponse) nach Zugabe von Glukose oder Forskolin. Da der Na⁺-abhängige Glukosetransport (SGLT1) elektrogen erfolgt, kann der Stromresponse nach Glukose als Maß für die Aktivität des Glukosetransportes interpretiert werden. Forskolin induziert über eine gesteigerte cAMP-Synthese eine apikale Chlorid-Sekretion, die anhand der Zunahme des Kurzschlussstromes gemessen werden kann.

3. Ergebnisse

3.1 Laboranalysen repräsentativer Proben von Getreide- und Körnerleguminosen aus offiziellen Sortenanbauversuchen

Proteingehalt

In Abbildung 1 sind die Rohproteingehalte der untersuchten Getreide- und Ackerbohnenproben dargestellt. Die ökologisch erzeugten Weizen- und Gerstensorten zeigten signifikant geringere Rohproteingehalte als die Proben aus konventionellem Anbau. Ein ähnlicher, allerdings nicht signifikanter Trend ließ sich auch bei Ackerbohnen beobachten.

Stärkegehalt

Die Ergebnisse der Stärkeanalysen gehen aus Tabelle 5 hervor. Die Ökologische Produktion führte bei Weizen und Gerste zu höheren Stärkegehalten als bei konventionellem Anbau, die Unterschiede waren jedoch nur bei Gerste signifikant. Demgegenüber enthielten Ackerbohnen aus Ökologischer Erzeugung weniger Stärke als solche aus konventionellem Anbau.

Fasergehalte

Die Produktionsmethode beeinflusste die Gehalte an NDF und ADF. Die Gehalte an NDF (Abbildung 2) lagen für alle drei Pflanzenarten bei Ökologischer Produktion höher, ein signifikanter Unterschied zum konventionellen Anbau bestand jedoch nur bei Weizen. Für die Gehalte an ADF (Abbildung 3) ließ sich kein eindeutiger Einfluss feststellen: Während bei Ökologisch erzeugtem Weizen und der Gerste höhere Gehalte als bei konventioneller

Erzeugung auftraten, kehrten sich diese Verhältnisse bei Ackerbohnen um, ohne dass allerdings signifikante Unterschiede zwischen den beiden Produktionsformen vorlagen.

Pentosane

Die Ergebnisse in Tabelle 6 zeigen, dass der Gehalt an Pentosanen bei der Ökologischer Produktion im Vergleich zur konventionellen niedriger ausfiel, die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant.

Glycoside

Die Anbauform wirkte sich nicht wesentlich auf die Gycosidgehalte der Ackerbohnen aus (1,21% konventionell, 1,16% Ökologisch, jeweils i.T).

3.2 Stoffwechselversuche an faserarm oder faserreich ernährten Schweinen verschiedener genetischer Herkunft

3.2.1 Zulageversuche mit Zuckerrübenrockenschnittzel (Versuche 1 und 2)

Die an den Schweinen im Versuch 1 ermittelten Verdaulichkeitskoeffizienten sind in Tabelle 7 nach den Versuchsfaktoren „Ration“ (Grundration GR oder Zulageration ZR) und „Schweineherkunft“ (Schwäbisch Hällisch SH, Bunte Bentheimer BB, Gebrauchskreuzung bzw. Cross Breed CB) gegliedert aufgezeigt. Es traten keine Interaktionen zwischen den beiden Versuchsfaktoren auf. Die Verdaulichkeiten aller Nährstoffe wurde durch die Faserzulage signifikant beeinflusst. Mit Ausnahme der Rohfaser, NDF und ADF wirkte sich die faserreichere Ration negativ auf die Verdaulichkeiten der übrigen Nährstoffe aus, wobei Fett und Protein am stärksten betroffen waren. Lediglich im Fall von Rohfaser und NDF zeigte auch die Schweineherkunft einen signifikanten Einfluss, indem die Werte der Bunten Bentheimer deutlich über denen der Schwäbisch Hällischen Schweine lagen.

Die im Versuch 1 erzielten Ergebnisse wurden im Versuch 2 bezüglich des Rationseffektes weitgehend bestätigt (Tabelle 8). Allerdings traten in diesem Versuchsdurchgang signifikante Wechselwirkungen zwischen den beiden Versuchsfaktoren bei Rohfett und Rohasche auf. Bei Fütterung der Grundration wiesen die Kreuzungsschweine die höchste und die Bunten Bentheimer die niedrigste Rohfettverdaulichkeit auf, während bei Fütterung der Zulageration die Kreuzungstiere den beiden anderen Schweineherkünften unterlegen waren. Die Rohascheverdaulichkeit lag mit der Grundration bei den Bunten Bentheimern am niedrigsten und mit der Zulage am höchsten.

Wie im Versuch 1 ergaben sich mit der faserreichen Zulageration für Trockensubstanz, organische Substanz, Rohprotein und N-freie Extraktstoffe geringere, für Rohfaser und NDF dagegen höhere Verdaulichkeiten als bei faserarmer Fütterung der Grundration. Die im Vergleich zu den Schwäbisch Hällischen Schweinen für die Bunten Bentheimer und die Gebrauchskreuzungen höheren Verdaulichkeiten der Rohfaser und NDF ließen sich im Versuch 2 jedoch nicht absichern, während andererseits die Rohproteinverdaulichkeit bei den Schwäbisch Hällischen Schweinen signifikant niedriger als bei den anderen beiden Herkünften lag.

N-Bilanzen

Die Ergebnisse der N-Bilanzen aus Versuch 1 sind in Tabelle 9, die aus Versuch 2 in Tabelle 10 aufgezeigt. Es ergaben sich keine Interaktionen zwischen den beiden Versuchsfaktoren. Die Harn-N-Ausscheidungen lagen im Versuch 1 auf deutlich niedrigerem Niveau als im Versuch 2.

In beiden Versuchen führte die Faserzulage zu höheren Stickstoffaufnahmen, sie bewirkte darüber hinaus im Vergleich zur Grundration eine Verlagerung der Stickstoffausscheidung: Die Ausscheidung über den Harn nahm zugunsten höherer Kot-N-Ausscheidungen ab. Die N-Retentionen stiegen mit der Zulageration ebenfalls an und lagen im Versuch 1 signifikant höher als bei Fütterung der Grundration. Bezüglich des Herkunftseinflusses unterschieden sich die Ergebnisse der beiden Versuche. Während im Versuch 1 die Bentheimer Schweine die höchste Kot-N-Ausscheidung bei relativ niedriger Harn N-Ausscheidung zeigen, war im Versuch 2 das Gegenteil zu beobachten. Die N-Retention der Bentheimer Schweine, die im Versuch 1 zwischen der Schwäbisch Hällischen Schweine und der Kreuzungsschweine lag, war im Versuch 2 deutlich reduziert. Lediglich die für die Kreuzungsschweine erzielten Werte stimmten in beiden Versuchen relativ gut überein.

Kot-N Fraktionen

Die Ergebnisse der nur im Versuch 1 untersuchten Kot-N-Fraktionen gehen aus Tabelle 11 hervor. Es traten keine Wechselwirkungen zwischen den beiden Versuchsfaktoren auf.

Die Zulage der Zuckerrübenschnitzel führte zu höheren Mengen und Anteilen an wasserlöslichem Stickstoff (WSN) und unverdaulichem Futterstickstoff (UDN), während die ebenfalls höheren Mengen an bakteriellem und endogenem Stickstoff (BEDN) als Anteil der Gesamt-N-Ausscheidung sank. Die Menge an intestinal gebildetem Bakterienprotein (BP, vereinfachend berechnet aus $BEDN \times 6,25$) liefert unter Bezug auf die bakteriell fermentierte Substanz (BFS) ein annäherndes Maß für die Effizienz der mikrobiellen Synthese. Sie nahm mit Fütterung der faserreicheren Zulageration ab. Auch die Schweineherkunft wirkte sich auf die Kot-N-Fraktionen aus. Die Mengen an WSN und UDN lagen bei den Schwäbisch Hällischen Schweinen tendenziell niedriger als bei den Bunten Bentheimern, und bei diesen wiederum niedriger als bei den Tieren der Gebrauchskreuzung, während die Rangierung bezüglich BEDN genau umgekehrt ausfiel. Dadurch ergaben sich für die anteiligen WSN- und BEDN-Ausscheidungen signifikante Unterschiede zwischen den Schwäbisch Hällischen und den Kreuzungsschweinen. Dagegen unterschieden sich die auf bakteriell fermentierte Substanz bezogenen Mengen an BP ($BEDN \times 6,25$) zwischen den Schweineherkünften nicht.

Mineralbilanzen

Die Ergebnisse der Mineralstoffbilanzen sind in der Tabelle 12 dargestellt. Mit der Zuckerrübetrockenschnitzelzulage wurden sämtliche erfasste Mengenelemente vermehrt aufgenommen und mit Ausnahme von Phosphor in signifikant höheren Mengen retiniert. So nahmen die Schweine mit der Zulage pro kg Lebendmasse^{0,75} u. Tag 190 mg mehr an Calcium auf, während die Ausscheidung über den Harn weitgehend unbeeinflusst blieb und über den Kot nur 124 mg Calcium zusätzlich ausgeschieden wurden. Entsprechend stieg die Natriumaufnahme mit der Zulage um 26 mg, während die fäkale bzw. renale Ausscheidung nur um 5,6 mg bzw. 2,4 mg zunahm. Ähnliche Verhältnisse zeigten sich bei Magnesium, dessen fäkale und renale Ausscheidung nicht in dem Maß wie die zulagebedingt erhöhte Aufnahme stieg. Bei Kalium wurden mit der Trockenschnitzelzulage 63,5 mg zusätzlich zugeführt und 50,4 mg mehr über den Kot, aber 29,2 mg weniger über den Harn ausgeschieden.

Der Einfluss der Schweineherkunft zeigte sich in signifikant höheren Calciumretentionen der Kreuzungstiere, die auf deutlich niedrigeren Kotausscheidungen beruhten. Die Bunten Bentheimer schieden über den Kot zwar mehr Calcium als die Kreuzungstiere, aber weniger als die Schwäbisch Hällischen Schweine aus, so dass die Calciumretention im Vergleich zu letzteren nur tendenziell höher lag. Phosphor wurde aufgrund hoher fäkaler Ausscheidungen von den Schwäbisch Hällischen Schweinen in geringerem Maß als von den Schweinen der beiden anderen Herkünfte retiniert. Bei den übrigen untersuchten Mengenelementen ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede in den Retentionen, wohl aber in der Verteilung der

Ausscheidungen auf Kot und Harn. So lag die Natriumausscheidung über den Harn bei den Schwäbisch Hällischen Schweinen höher als bei den Bunten Bentheimern, während letztere im Vergleich zu den Kreuzungstieren über den Harn mehr und über den Kot weniger Kalium ausschieden. Die Kreuzungstiere wiederum wiesen die geringsten renalen Magnesiumausscheidungen auf.

3.2.2 Stoffwechselversuche unter Einsatz von Rationen aus Futterkomponenten des Ökologischen Landbaus oder der konventionellen Landwirtschaft (Versuch 3)

Die Ergebnisse zur Nährstoffverdaulichkeit im Versuch 3 gehen aus Tabelle 13 hervor. Es bestanden keine signifikanten Interaktionen zwischen der Schweineherkunft und der Art der Futtermittellieferung.

Trockensubstanz, Rohasche, Rohprotein, Rohfaser, NDF und ADF der ökologischen Ration wurden niedriger als mit der konventionellen Ration verdaut. Die Bunten Bentheimer verdauten Trockensubstanz, Organische Substanz, Rohasche und Rohprotein signifikant und die Faserstoffe tendenziell höher als die Kreuzungsschweine. Die Verdaulichkeit der im Futter quantitativ dominierenden Fraktion der N-freien Extraktstoffe blieb von der Art des Futters und der Schweineherkunft unbeeinflusst.

Die Ergebnisse der N-Bilanzen sind in Tabelle 14 aufgezeigt. Auch hier traten keine signifikanten Interaktionen zwischen den beiden Versuchsfaktoren „Ration“ und „Schweineherkunft“ auf.

Bei tendenziell etwas niedrigerer N-Aufnahme mit der konventionellen Ration schieden die Schweine mit der ökologischen Ration mehr Stickstoff über den Kot und weniger über den Harn aus. Die Retention erreichte daher mit beiden Rationen ein in etwa vergleichbares Niveau. Die Bunten Bentheimer schieden gegenüber den Kreuzungsschweinen signifikant weniger Stickstoff über den Kot aus, die eine tendenziell höhere N-Retention zur Folge hatte.

3.3 Untersuchungen zur Mikrobiologie und Transportphysiologie in definierten Darmabschnitten von faserarm oder faserreich gefütterten Schweinen verschiedener genetischer Herkunft

3.3.1 Untersuchung der fermentativen Umsetzungen im Dickdarm mittels der Colon-Simulationstechnik COSITEC

Abbaubarkeit von TS, Asche, OS, NDF und ADF

Die Ergebnisse zur Abbaubarkeit der Digesta-Substrate in der Colonsimulation gehen für die beiden Versuchsdurchgänge aus den Tabellen 15 und 16 hervor. Im Versuch 1 traten bei Trockensubstanz und Rohasche, im Versuch 2 nur bei Rohasche signifikante Interaktionen ($p < 0,05$) zwischen den Faktoren „Ration“ und „Schweineherkunft“ auf. Bei organischer Substanz und NDF wurde im Versuch 1, bei ADF im Versuch 2 die Signifikanzgrenze für Interaktionen nur knapp verfehlt.

Die Zulage von Trockenschnitzeln führte zu höherer Abbaubarkeit von organischer Substanz, NDF und ADF. Die im Versuch 1 für die Abbaubarkeit der Trockensubstanz und in beiden Versuchen für die Abbaubarkeit der Rohasche beobachteten Interaktionen zwischen den beiden Versuchsfaktoren beruhten darauf, dass die Schwäbisch Hällischen Schweine bei Fütterung der Grundration die niedrigsten und die Kreuzungsschweine die höchsten Werte,

dagegen bei Fütterung der Zulageration die Bunten Bentheimer die höchsten Werte aufwiesen.

Die Schweineherkunft erwies sich nur im Versuch 2 als signifikant, indem die NDF der von den Kreuzungsschweinen stammenden Digesta höher als die der von den beiden anderen Schweineherkünften entnommenen Digesta abgebaut wurden.

Bildung von Fettsäuren

Die in der Colonsimulation ermittelten Produktionsraten an flüchtigen Fettsäuren sind für Versuch 1 in Tabelle 17 aufgezeigt. Aufgrund hochsignifikanter Interaktionen ($p < 0,01$) zwischen den beiden Versuchsfaktoren werden die Mittelwerte der drei Schweineherkünfte nach Fütterung der Grundration bzw. der Zulageration gesondert ausgewiesen.

Die Acetatproduktion stieg bei allen drei Schweineherkünften mit Fütterung der Zulageration an. Bei Fütterung der Grundration wiesen die Schwäbisch Hällischen Schweine die höchste, die Bunten Bentheimer und die Kreuzungsschweine die niedrigsten Produktionsraten auf. Bei Fütterung der Zulageration produzierten die Bunten Bentheimer die signifikant höchsten Acetatmengen.

Auch die Propionatproduktion lag bei Fütterung der Zulageration höher, signifikante Unterschiede zur Grundration ergaben sich jedoch nur bei den Schwäbisch Hällischen Schweinen und den Bunten Bentheimern. Bei Fütterung der Grundration wiesen die Kreuzungsschweine die höchsten und die Bunten Bentheimer die niedrigsten, bei Fütterung der Zulageration die Kreuzungsschweine die niedrigste und die Bunten Bentheimer die höchsten Produktionsraten auf.

Für Butyrat ergab sich kein eindeutiger Einfluss der Zulageration. Die Schwäbisch Hällischen Schweine bildeten mit der Zulageration weniger, die Bunten Bentheimer dagegen mehr Butyrat. Letztere produzierten gegenüber den Kreuzungsschweinen sowohl mit der Grundration als auch mit der Zulageration signifikant höhere Mengen an Butyrat.

Im Versuch 2 trat nur bei der Butyratproduktion eine signifikante Interaktion zwischen den beiden Versuchsfaktoren „Ration“ und „Schweineherkunft“ auf (Tabelle 18). Die durch die Zulageration erhöhte Acetat- und Propionatproduktion wurde bestätigt. Allerdings wirkten sich die Schweineherkünfte nicht so wie im Versuch 1 aus. Die Schwäbisch Hällischen Schweine produzierten signifikant mehr Acetat als die Kreuzungsschweine, bei Propionat ergab sich kein signifikanter Einfluss der Tierherkunft. Die signifikante Interaktion bei Butyrat beruhte darauf, dass im Vergleich zur Grundration mit der Zulageration von den Bunten Bentheimern mehr, von den Kreuzungsschweinen dagegen weniger dieser Säure produziert wurde. Darüber hinaus lag die Butyratproduktion bei den Bunten Bentheimern mit Fütterung der Grundration am niedrigsten und mit der Zulageration gemeinsam mit den Schwäbisch Hällischen Schweinen am höchsten.

pH Werte

Die in der Colonsimulation gemessenen pH-Werte gehen aus Tabelle 19 hervor. Im Versuchsdurchgang 1 ergab sich eine signifikante Interaktion. Hier führte die Fütterung der Zulageration bei den Bunten Bentheimern und den Schwäbisch Hällischen Schweinen zu einem Rückgang von pH 6,63 auf pH 6,44 bzw. von pH 6,59 auf pH 6,46, während bei den Kreuzungsschweinen kein Einfluss der Ration festzustellen war (pH 6,57 bzw. pH 6,62). Die Zulageration führte im Versuchsdurchgang 2 zu signifikant niedrigeren pH-Werten, und die Kreuzungsschweine wiesen signifikant niedrigere Werte als die Bunten Bentheimer auf.

Produktion von Fermentationsgasen

Die Tabellen 20 und 21 zeigen die Ergebnisse der Gasanalysen aus der Colonsimulation. Im Versuch 2 konnten die Analysen nur für die Untersuchungen der Zulageration durchgeführt werden. Die Zulageration führte zu höheren Produktionsraten aller untersuchten Fermentationsgase, die Unterschiede waren jedoch nur bei CO₂ signifikant. Die Schweineherkunft wirkte sich nicht signifikant aus, es zeigte sich allenfalls eine Tendenz zu verstärkter Bildung von CO₂, CH₄ und H₂ für die Bunten Bentheimer. Auch im Versuch 2 ergab sich nur ein Trend zu erhöhter Gasproduktion bei den Bunten Bentheimern, insbesondere aber bei den Schwäbisch Hällischen Schweinen.

3.3.2 Untersuchungen zur darmmucosalen Transportphysiologie mittels der Ussingkammer-Technik

Weder die Schweineherkunft noch die Fütterung hatten im mittleren Jejunum und Colon signifikante Einflüsse auf die basalen elektrophysiologischen Eigenschaften. Kurzschlussströme und Gewebeleitfähigkeiten lagen innerhalb der Bereiche, die aus zahlreichen anderen Untersuchungen unter ähnlichen Versuchsbedingungen an Schweinen ermittelt wurden. Daher wird auf eine detaillierte tabellarische Darstellung an dieser Stelle verzichtet.

Durch die stufenweise Erhöhung der mucosalen Glucosekonzentration von 0,5 auf 10,0 mmol/l konnte über die Zunahme des Kurzschlussstromes die sogen. „Glucoseantwort“ gemessen werden, die ein Maß für den Glucosetransport darstellt. Im versuch 1 nahm die Glucoseantwort mit Zunahme der mucosalen Glucosekonzentration in allen Fällen zu. Die Kurzschlussstromzunahme war allerdings bei den Bunten Bentheimern mit der Zulageration erniedrigt (Abb. 4). Im Colon konnte in keinem Fall eine Stromzunahme durch mucosale Glucosezugabe erzeugt werden.

Die Gewebeleitfähigkeit (G_t) ist der reziproke Wert des Gewebewiderstandes, der sich aus der Potentialdifferenz nach Applikation eines Strompulses errechnet. Insgesamt änderten sich die Leitfähigkeiten durch steigende Glucosekonzentrationen nur geringfügig. Sie waren im Mittel bei den Schwäbisch-Hällischen Schweinen mit der Grundration, bei den Bunten Bentheimern und den Kreuzungsschweinen mit der Zulageration um ca 20 – 25 % erhöht.

Wie schon beim Kurzschlussstrom zu beobachten, wirkte sich eine Zunahme der Glucosemenge nicht auf die Gewebeleitfähigkeit im Colon aus. Die Epithelien der verschiedenen Rassen zeigten ebenfalls keine Unterschiede.

Die im Versuch 1 dokumentierten Werte zum Glukoseresponse im mittleren Jejunum, die je Herkunft und Fütterung an jeweils nur einem Tier ermittelt wurden, haben sich im Versuch 2 mit jeweils 3 Tieren je Herkunft und Fütterung nicht bestätigt (Abb. 6). In diesem Versuchsdurchgang führte die stufenweise Erhöhung der mucosalen Glukosekonzentrationen von 0,5 bis 10,0 mmol/l bei allen Herkünften und Fütterungen im Jejunum zu signifikanten Erhöhungen der Kurzschlussströme. Diese waren bei den Kreuzungsschweinen jedoch am niedrigsten und wurden nicht durch die Ration beeinflusst. Dies war auch bei den Bunten Bentheimern erkennbar, allerdings war der Stromresponse im Mittel doppelt so hoch wie bei den Gebrauchskreuzungen. Bei den Schwäbisch Hällischen Schweinen bestand ein eindeutiger Rationseffekt, d. h., der Stromresponse war bei der Zulageration deutlich ausgeprägter. Im Colon war bei keiner Herkunft bzw. Fütterung ein Stromresponse durch mucosale Zugabe von Glukose erkennbar. Bei allen Versuchen zur Messung der

Glukoseantwort blieben die Gewebeleitfähigkeiten in einem Bereich zwischen 20 und 30 mS/cm² konstant und ohne gerichtete Änderung.

Im Colon waren bei den Stimulationsversuchen mit Forskolin sowohl Herkunfts- als auch Fütterungseffekte erkennbar. So waren bei den Schwäbisch Hällischen Schweinen bei Fütterung der Grundration höhere Gewebeleitfähigkeiten als bei Fütterung der Zulageration nachweisbar (Abb. 7). Im Kurzschlussstrom war die Forskolinantwort bei Fütterung der Grundration bei den Bunten Bentheimern im Mittel am höchsten (Abb. 8). Diese Befunde sind allerdings auf der Grundlage der geringen Tierzahl noch als vorläufig zu bewerten.

3.4 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen umfassen Nährstoffanalysen von ökologisch oder konventionell erzeugten Getreide- und Ackerbohnsorten, Stoffwechselversuche an Schweinen verschiedener genetischer Herkunft zum Einfluss einer im Ökologischen Landbau grundsätzlich faserreicheren Fütterung auf Nährstoffverdaulichkeiten und -bilanzen sowie darmphysiologische Untersuchungen an den Schweinen zur intestinalen Mikrobiologie und zu mucosalen Transportprozessen. Trotz bzw. aufgrund des Modellcharakters der Stoffwechsel- und in vitro-Untersuchungen erlauben die Ergebnisse allgemeine Schlussfolgerungen zur ernährungsphysiologischen Bewertung von Futtermitteln für Schweine im Ökologischen Landbau.

Erstmals werden an einem verhältnismäßig großen Probenmaterial Nährstoffanalysen an genau spezifizierten Getreide- und Ackerbohnsorten, die unter kontrolliert vergleichbaren Anbaubedingungen an verschiedenen Standorten in Deutschland entweder ökologisch oder konventionell erzeugt worden sind, vorgelegt. Das ökologisch erzeugte Getreide wies niedrigere Gehalte an Rohprotein und höhere Gehalte an Kohlenhydraten sowie Faserstoffen auf. Bei Ackerbohnen ergaben sich durch den Anbau nach ökologischen Richtlinien für die Gehalte an Rohprotein und Faserstoffen tendenziell ähnliche Verschiebungen wie bei Getreide, wobei gegenläufige Veränderungen der Faserstoffe (NDF, ADF) weitere differenzierende Analysen nahelegen. Die Stärkegehalte von Ackerbohnen aus ökologischem Anbau lagen signifikant niedriger als bei konventioneller Erzeugung. Aufgrund dieser Ergebnisse ist bei Ackerbohnen aus ökologischer Erzeugung mit niedrigeren Gehalten an umsetzbarer Energie (MJ ME_{BFS}/kg) zu rechnen. Es empfiehlt sich, derartige Nährstoffanalysen gleicher Sorten am gleichen Standort über weitere Anbaujahre fortzusetzen.

Die beobachteten quantitativen und qualitativen Unterschiede in den Fasergehalten der ökologisch oder konventionell erzeugten Produkte sind hinsichtlich ihrer verdauungsphysiologischen Wirkungen zu bewerten. Hierzu dienten die vorstehend beschriebenen Versuche mit Modellrationen und verschiedenen genetischen Tierherkünften, die zum Nachweis von Fasereffekten ausreichend hohe und in der Zusammensetzung weitgehend definierte Fasermengen zuführen und mögliche Unterschiede im Faserverdauungsvermögen verschiedener Schweineherkünfte herausstellen sollten. Hieraus sollten auch Rückschlüsse auf die spezifische Eignung von Schweineherkünften für den Ökologischen Landbau gezogen werden.

Die Faserstoffe von Zuckerrübetrockenschnitzeln zeichnen sich durch hohe Anteile β -glycosidischer, nicht lignifizierter, löslicher Nicht-Stärke-Polysacchariden aus. Die Schweineherkünfte wurden im Hinblick auf vermutete, tierzüchterisch bedingte Unterschiede

im Faserverdaunungsvermögen ausgewählt. Für den Ökologischen Landbau wurden weniger auf hohe tägliche Zunahmen und günstige Futtermittelverwertung selektierte Herkünfte als grundsätzlich geeigneter eingeschätzt.

Die Faserzulagen waren hoch verdaulich, sie bewirkten aber niedrigere Verdaulichkeiten aller übrigen Nährstoffe und die bekannten, ökologisch zu befürwortenden partiellen Umverteilungen der Stickstoffausscheidungen vom Harn in den Kot. Diese Effekte traten auch bei Fütterung der Schweine mit ökologischer im Vergleich zu konventioneller Futterration (Versuch 3) auf, obwohl die ökologische Ration sowohl a priori (auf Basis von Tabellenwerten) als auch a posteriori (aufgrund gemessener Verdaulichkeiten) weniger bakteriell fermentierbare Substanz (BFS) als die konventionelle Ration aufwies. Neben den höheren Fasergehalten der ökologisch erzeugten Futterkomponenten dürfte für niedrigere Nährstoffverdaulichkeiten bei Fütterung der ökologischen Ration (Versuch 3) auch die Verwendung von Ackerbohnen anstelle von Sojaextraktion + Getreide mit ausschlaggebend gewesen sein. Die Ergebnisse weisen auf grundsätzlich niedrigere Verdaulichkeiten ökologischer Futterrationen für Mastschweine hin. Andererseits wurden die Retentionen von Stickstoff und Mengenelementen mit der faserreicheren Fütterung erhöht. In wieweit es sich hierbei um im Tierkörper vermehrten Ansatz bzw. um faserbedingt vermehrten Inhalt des Verdauungstraktes handelt, müsste näher untersucht werden.

Die Tierherkünfte unterschieden sich im Faserverdaunungsvermögen. Allerdings wiesen die modernen Gebrauchskreuzungen ein mit den Bunten Bentheimern vergleichbares Faserverdaunungsvermögen auf, während die Schwäbisch-Hällischen Schweine deutlich weniger Faserstoffe verdauten. Diese in vivo-Ergebnisse entsprechen der in der Colonsimulation mit Dickdarmchymusproben der Schweine aus Versuch 1 gemessenen fermentativen Kapazität. Andererseits zeigen die COSITEC-Untersuchungen bei Verwendung von Dickdarmchymusproben aus Versuch 2 kein geringeres mikrobielles Fermentationspotential der Schwäbisch-Hällischen Schweine. Diese scheinbar widersprüchlichen Ergebnisse können nur mit unterschiedlichen fermentativen Eigenschaften der gesammelten Darmchymusproben erklärt werden. Sie weisen auf unterschiedliche praecaecale Verdauungsvorgänge bei den Schweinen hin. Obwohl die Schweine in beiden Versuchen mit den gleichen Futterrationen gefüttert worden waren und die Zeitpunkte der Probennahmen nach dem Füttern bzw. vor dem Schlachten übereinstimmten, müssen zwischen den beiden Versuchen unterschiedliche praecaecale Verdauungsprozesse stattgefunden haben, die dann zu entsprechend unterschiedlichen Inoculi und Substraten für die COSITEC-Untersuchungen geführt haben.

Die löslichen Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) der Zuckerrübetrockenschnitzel dürften zu erheblichen Anteilen bereits praecaecal verdaut worden sein. Die erzielten Ergebnisse weisen jedoch darauf hin, dass das Ausmaß der praecaecalen Faserverdaulichkeit sowohl zwischen verschiedenen genetischen Schweineherkünften als auch innerhalb einer genetischen Herkunft bei gleicher Fütterung variieren kann. Als Einflussfaktoren kommen morpho- und histophysiologische Unterschiede (z.B. Dünndarmlänge, Umfang und Ausprägung der Darmzotten- und Mikrovilli-Bildung, sekretorische Aktivität) sowie die Darmwandmotilität und Digestapassage beeinflussende Reaktionen in Betracht. Die Messungen zur mucosalen Membranfunktion und Transportphysiologie im Jejunum der Schweine weisen in die gleiche Richtung. Ob die durch Tierherkunft und/oder Fütterung verursachten Unterschiede in der Dünndarmphysiologie durch Änderungen in der Expression der Transporter oder ihrer Affinität bedingt sind, können nur weitere Untersuchungen klären. Die fehlenden Stromresponse-Werte an der Colomucosa lassen schließen, dass in diesem Darmabschnitt

der Na⁺-abhängige Glucosetransport (SGLT1) zumindest auf Proteinebene nicht mehr nachweisbar ist.

Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass Faserstoffe vom Charakter der löslichen Nicht-Stärke-Polysaccharide sich beim Schwein bereits im Dünndarm tiefgreifend auf die Verdauungsprozesse auswirken. Wie solche Veränderungen die Tiergesundheit (z.B. Eubiose, Immunreaktion) und die Nährstoffverwertung (Sekretion, mikrobielle Nährstoff-Konkurrenz, Absorption) beeinflussen, muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Wenigstens kann bei der Versorgung mit höheren Anteilen löslicher NSP nicht davon ausgegangen werden, dass alte Schweinelandrassen geeigneter als moderne Gebrauchskreuzungen für den Ökologischen Landbau sind. Vielmehr traten bei Fütterung mit Zuckerrübetrockenschnitzel die größten Unterschiede zwischen den beiden alten Landrassen auf, wobei die Bunten Bentheimer deutlich mehr Faser als die Schwäbisch-Hällischen Schweine zu verdauen vermochten. Es sollte vergleichend geprüft werden, wie sich die Versorgung von Bunten Bentheimern und Schwäbisch-Hällischen Schweinen mit Futtermitteln, die höhere Anteile löslicher NSP aufweisen, auf die Mast- und Schlachtleistungen der Tiere bei kompletter Mastperiode auswirken.

Schließlich verdeutlichen die durchgeführten Untersuchungen, dass Art und Umfang der praecaecalen Verdauungsprozesse maßgeblich die Eigenschaften des Substrats für die mikrobiell-fermentativen Umsetzungen im Dickdarm von Schweinen bestimmen. Die aufgezeigten Ergebnisse können als Basis für Untersuchungen zur weiteren analytischen Spezifizierung von ökologisch erzeugten Futtermitteln und zur verdauungsphysiologischen Wirkung vornehmlich postileal verdaubarer unlöslicher NSP (Cellulose, Lignocellulose) dienen.

4. Zusammenfassung

Es wurden Nährstoffanalysen an 14 Weizen-, 6 Gerste- und 4 Ackerbohnsorten, die im gleichen Jahr an verschiedenen Standorten in Deutschland entweder nach Richtlinien des Ökologischen Landbaus oder konventionell angebaut worden waren, durchgeführt. Im Vergleich zum konventionellen Anbau führte der ökologische Anbau bei Weizen zu signifikant niedrigeren Gehalten an Rohprotein (XP) sowie zu tendenziell höheren Gehalten an Stärke und Faserstoffen. Nach Richtlinien des Ökologischen Landbaus erzeugte Gerste wies signifikant niedrigere Gehalte an Rohprotein, signifikant höhere Gehalte an Stärke und tendenziell gesteigerte Faserstoffgehalte auf. Bei Ackerbohnen ergaben sich für Rohprotein und Faserstoffe tendenziell ähnliche Veränderungen wie beim Getreide, die Stärkegehalte wurden bei ökologischer Anbauweise signifikant gesenkt.

Von einer grundsätzlich faserreicheren Fütterung im Ökologischen Landbau ausgehend, wurden in zweifaktoriellen Stoffwechselfersuchen an drei verschiedenen genetischen Schweineherkünften („Schwäbisch Hällisch“ (SH), „Bunte Bentheimer“ (BB) und einer modernen fleischbetonten Gebrauchskreuzung (CB)) mit zwei Futtermitteln (Grundration und Grundration + Zuckerrübetrockenschnitzel) im Lebendmassebereich von 35 – 40 kg faserbezogene Verdauungsprozesse untersucht. Die Zumessung der Grundration erfolgte so, dass für durchschnittliche tägliche Zunahmen von 700g der Energiebedarf der Schweine zu 80% und der Aminosäurenbedarf zu 100% gedeckt wurde. Die Schweine standen zunächst in Stoffwechselfersuchen. Am Ende der Stoffwechselperioden wurden die Schweine geschlachtet und der Caecuminhalt zur Verwendung in der Colon-Simulationstechnik

COSITEC entnommen. Außerdem wurden Mucosaproben vom mittleren Jejunum und Colon für transportphysiologische Messungen mittels des Ussing-Kammer-Verfahrens entnommen.

Die Faserzulage, die dem Typ der nicht lignifizierten löslichen NSP zuzuordnen ist, war hoch verdaulich und bewirkte niedrigere Verdaulichkeiten aller übrigen Nährstoffe. Die N-Ausscheidungen über den Harn wurden gesenkt und die über den Kot gesteigert. Die Fermentationsintensität stieg in der Colon-Simulation bei Verwendung von Caecuminhalt der faserreich ernährten Schweine. Die N- und Mineralstoffretentionen (Ca, Mg, Na, K) nahmen bei faserreicher Fütterung zu.

Die drei Schweineherkünfte unterschieden sich in ihrem Faserverdauungsvermögen. Es zeigte sich jedoch keine generelle Überlegenheit der beiden alten Landrassen gegenüber der modernen Gebrauchskreuzung. Die Schwäbisch-Hällischen Schweine verdauten signifikant weniger Faser als die Bunten Bentheimer und die Gebrauchskreuzungen. Die verdauungs- und transportphysiologischen Messungen deuten auf Unterschiede im Faserverwertungsvermögen der drei Schweineherkünfte vor allem im praecaecalen Verdauungstrakt hin, deren Wirkungsweisen und Konsequenzen für die Nährstoffverwertung und Tiergesundheit weiter erforscht werden müssen. Weiterhin sollten die Einflüsse von Faserstoffen auf die Dickdarmphysiologie durch Verwendung stärker unlöslicher Nicht-Stärke-Polysaccharide (Cellulose, Lignocellulose) untersucht werden.

Summary

Nutritive value of feedstuffs for pigs in Organic farming

Samples of wheat (14 cultivars), barley (6 cultivars) and faba beans (4 cultivars) grown either organically or conventionally at the same location and year (4 locations in Germany), were analysed for their nutrient contents. In wheat, crops grown organically showed significantly reduced content of crude protein, whereas starch and fiber tended to result in higher contents. Organically-grown barley tended toward significantly lower protein and higher starch content than conventionally-produced samples. Fiber content was similarly increased. In faba beans the content of crude protein and fiber was affected by organic farming in the same manner as the cereal cultivars. The content of starch was also significantly reduced.

Assuming that organic feeding results in an elevated supply of fiber, 2 factorial experiments with three different breeds, (Schwäbisch-Hällisches Schwein (SH), Buntess Bentheimer Schwein (BB) and modern crossbreed pig (CB)) and two different diets (basal diet (BD) and basal diet + sugar beet pulp (SBP)) were carried out in order to study fiber-related digestive processes. The basal diet was calculated to meet 80 % of energy and 100 % of amino acid requirements for average daily body weight gains of 700 g/d. Pigs had live weights of 35 – 40 kg and were first used for metabolic trials. Thereafter, pigs were slaughtered and their caecum contents used for the Colon Simulation Technique (COSITEC). Furthermore, samples of jejunum and colon mucosa were taken for the measurement of electrophysiological transport parameters according to the Ussing-Chamber-procedure.

The supplementary fiber of SBP, essentially consisting of unligified soluble non-starch polysaccharides, was highly digestible whereas the digestibilities of all other nutrients were significantly reduced after feeding the SBP-diet. Urine N was reduced and fecal N increased with the fiber rich diet. Compared to the BD-fed group, caecum contents taken from SBP-fed

pigs led to higher fermentation intensity in the COSITEC. N- and mineral-retentions (Ca, Mg, Na, K) of the pigs were also increased after feeding the SBP-diet.

The ability to digest high fiber feedstuffs differed among the three breeds being used. However, there was no clear indication for higher fiber degradation in the old pig breeds, with SH showing a lower digestion than BB and CB.

The results on mucosal transepithelial transport as well as those on digestive physiology indicate significant influences of soluble NSP and pig breed on precaecal digestive processes. Specific investigations are necessary to clarify their impact for intestinal nutrient utilization and animal health. Additionally, the effects of insoluble nonstarch polysaccharides (cellulose, lignocellulose) on hindgut physiology of pigs should be investigated in more detail.

5. Gegenüberstellung der geplanten zu den erreichten Zielen

Die Untersuchungen wurden vollständig im beantragten Umfang durchgeführt. Die vergleichenden Nährstoffanalysen von Weizen, Gerste und Ackerbohnen bestätigen die Annahme, dass die Anbauweise, ökologisch oder konventionell, sich auf die Nährstoffgehalte der Ernteprodukte, insbesondere auf Rohprotein, Aminosäuren, Stärke und Faserstoffe auswirkt. In den Stoffwechselversuchen mit Futterrationen aus ökologischer oder konventioneller Erzeugung wurden ähnliche verdauungs- und exkretionsphysiologische Reaktionen der Schweine wie in den Modellversuchen mit Zuckerrübetrockenschnitzeln nachgewiesen. Die Arbeitshypothese, derzufolge Schweine alter Landrassen aufgrund weniger intensiver Selektion auf hohe tägliche Zunahmen und günstige Futterverwertung besser zur Nutzung und Verwertung faserreicher Futterrationen als moderne, scharf nach solchen Kriterien gezüchtete Fleischschweine geeignet sein sollen, wurde nicht bestätigt. Wie und in welchem Maße die Verdauungsprozesse verschiedener genetischer Schweineherkünfte bei Versorgung mit weniger löslichen Faserstoffen beeinflusst werden, bleibt offen. Es werden deshalb weitere Untersuchungen zur ernährungsphysiologischen Bewertung von Futtermitteln und zur Eignung von Schweineherkünften für den Ökologischen Landbau erforderlich und empfohlen.

6. Literaturverzeichnis

- Andersen, J.-O.; O'Doherty Jensen, K.; Larsen, H.N.; Mølgaard, J.P., Tingstad, M.; Marckmann, P.; Astrup, A., 2001. Organic foods and human health. Proceedings of the European Conference: Organic food and farming, Copenhagen, S. 172-177
- Bach Knudsen, K.E.; Jensen, B.B.; Hansen, I., 1993a. Oat bran but not a β -glucan-enriched oat fraction enhances butyrate production in the large intestine of pigs. *Journal of Nutrition*, S. 1235-1247
- Bach Knudsen, K.E.; Jensen, B.B.; Hansen, I., 1993b. Digestion of polysaccharides and other major components in the small intestine of pigs fed on diets consisting of oat fractions rich in β -d-glucan. *British Journal of Nutrition* 70, S. 537-556
- Bach Knudsen, K.E.; Jørgensen, H.; Canibe, N., 2000. Quantification of the adsorption of nutrients derived from carbohydrate assimilation: model experiment with pigs fed wheat or oat based rolls. *British Journal of Nutrition* 84 (4), S. 449-458
- Bach Knudsen, K.E. & Canibe, N., 2000. Breakdown of plant carbohydrates. *Journal of Science of Food and Agriculture* 80, S. 1253-1261
- Bakker, G.C.M.; Dekker, R.A.; Jongbloed, R.; Jongbloed, A.W., 1998. Non-starch polysaccharides in pig feeding. *Veterinary-Quarterly*. 20 (3), s. 59-64
- Bingham, S.A., 1990. Mechanism and experimental epidemiological evidence relating dietary fiber (non starch polysaccharides) and starch to protection against large bowel cancer. *Proceedings of the Nutrition Society*. 49, S. 153-171
- Boisen, S. & Fernández, J.A., 1995. Prediction of the apparent ileal digestibility of protein and amino-acids in feedstuffs and feed mixtures for pigs by in vitro analyses. *Animal Feed Science and Technology* 51, S. 29-43
- Bolduan, G.; Schnabel, E.; Beck, M., 1991. Fermentierungseffekte in Dickdarmabschnitten beim Schwein. In: Kirchgessner, M. (ed.), *Verdauungsphysiologie des Dickdarms. Fortschritte in der Tierphysiologie und Tierernährung* 22, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin, S. 80-83
- Canibe, N. & Bach Knudsen, K.E., 2001. Degradation and physicochemical changes of barley and pea fibre along the gastrointestinal tract of pigs. *Journal of Science of Food and Agriculture* 82, S. 27-39
- Christensen, D.N.; Bach Knudsen, K.E.; Wolstrup, J.; Jensen, B.B., 1999. Integration of ileum cannulated pigs and in vitro fermentation to quantify the effect of diet composition on the amount of short-chain fatty acids available from fermentation in the large intestine. *Journal of Science of Food and Agriculture* 79, S. 755-762
- Czerkawski, J.W. & Beckenridge, G., 1977. Design and development of a long-term rumen simulation technique (Rusitec). *British Journal of Nutrition* 38 (1), S.371-384
- De Lange, C.F.M.; Souffrant, W.B.; Sauer, W.C., 1990. Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the ^{15}N -isotope dilution technique. *Journal of Animal Science* 68, S. 409-418
- Dlouhy, J., 1981. Alternativa odlingsformer - växtprodukters kvalitet vid konventionell och biodynamisk odling, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institut för Växtodling, Rapport 91, Uppsala
- Dreyer, J., 1990. In- vitro Untersuchungen mit der Colon-Simulations-Technik (Cositec) zum mikrobiellen Stoffwechsel im Dickdarm von Schweinen, Dissertation, Universität Göttingen
- Freire, J.P.B.; Guerreiro, A.J.G.; Cunha, L.F.; Aumaitre, A., 2000. Effect of dietary fibre source on total tract digestibility, caecum volatile fatty acids and digestive transit time in the weaned piglet. *Animal Feed Science and Technology* 87, S. 71-83

- Furda, J., 1990. Interaction of dietary fibre with lipids-mechanistic theories and their limitations. In: Furda, I. & Brine, C.J. (eds.), *New developments in dietary fibre: Physiological, physiochemical and analytical aspects*. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, Vol.270, Plenum Press, New York, London, S. 67-82
- Galibois, I.; Desrosiers, T.; Guévin, N.; Lavigne, C.; Jaques, H., 1994. Effects of dietary fibre mixtures on glucose and lipid metabolism and on mineral adsorption in the rat. *Annals of Nutrition and Metabolism* 38 (4), S. 203-211
- Goering, H.K. & Van Soest, P.J., 1970. Forage fiber analysis. Apparatus, reagents, procedures and some applications. *Agricult. Handbook no. 379*, Agricultural Research Service, Dep. of Documents, US Government Printing off., Washington, DC, 20 S.
- Grala, W.; Verstegen, M.W.A.; Jansman, A.J.M.; Huisman, J., Van Leeuwen, P., 1999. Apparent protein digestibility and recovery of endogenous nitrogen at the terminal ileum of pigs fed diets containing various soyabean products, peas or rapeseed hulls. *Animal Feed Science and Technology* 80, S. 231-245
- Gransted, A.G. & Kjellenberg, L., 1996. Quality investigations with the k-trial järna, and other scandinavian fertilization experiments. In: Raupp, J. (ed.). *Quality of plant products grown with manure fertilization: fertilization systems in organic farming*. (Concerted action AIR3-CT94-1940) Meeting Juva, Finland, 1996, S. 3-12
- Haglund, Å.; Johansson, L.; Dahlstedt, L., 1998. Sensory evaluation of wholemeal bread from ecologically and conventionally grown wheat. *Journal of Cereal Science* 27, S. 199-207
- Jensen, B.B. & Jørgensen, H., 1994. Effect of dietary fibre on microbial activity and microbial gas production. *Applied and Environmental Microbiology* 60, S. 1897-1904
- Jørgensen, H.; Zhao, X.-Q.; Eggum, B., 1996. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development on the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind gut and energy metabolism in pigs. *British Journal of Nutrition* 75, S. 365-378
- Jørgensen, H.; Larsen, T.; Zhao, X.-Q.; Eggum, B.O., 1997. The energy value of short-chain fatty acids infused into the caecum of pigs. *British Journal of Nutrition* 77, S. 745-756
- Johansen, H.N. & Bach Knudsen, K.E., 1994. Effects of wheat flour and oat mill fractions of jejunal flow, starch degradation and adsorption of glucose over an insulated loop of jejunum in pigs. *British Journal of Nutrition* 72, S. 299-313
- Johansen, H. N.; Bach Knudsen, K.E.; Sandström, B.; Skjøth, F., 1996. Effects of varying content of soluble dietary fibre from wheat flour and oat milling fractions on gastric emptying in pigs. *British Journal of Nutrition*. 75, S. 339-351
- Johnson, I.T., 1992. The influence of dietary fibre on lipid digestion and adsorption. In: Schweizer, T.F. & Edwards, C.A. (eds.), *Dietary fibre: A component of food: Nutritional function in health and disease*. *ILSI Human Nutrition Reviews*, Springer-Verlag, London, S. 167-180
- Kestling, U.; Schnabel, E.; Bolduan, G., 1991. Zur Dickdarmkapazität der Sau. In: Kirchgessner, M. (ed.), *Verdauungsphysiologie des Dickdarms*. *Fortschritte in der Tierphysiologie und Tierernährung* 22, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin, S. 84-88
- Kieffer, M., 1995. Untersuchungen zur Unterscheidbarkeit von Weizen aus ökologischem und konventionellem Anbau. *Dissertation*, Universität Bonn
- Kreutzer, M.; Roth, F.X.; Kirchgessner, M., 1989. Mikrobielle Umsetzungen im Enddarm von Sauen bei intracaecaler Infusion hoher Mengen an verschiedenen reien Substraten. 1. Veränderungen der Verdaulichkeit von Stickstoff und Aminosäuren. *Landwirtschaftliche Forschung* 42, S. 72-92

- Kreuzer, M.; Kirchgessner, M.; Roth, F.X., 1991. Experimental evaluation of the capacity of the hindgut of sows to ferment purified dietary ingredients and of consequences in nitrogen metabolism. In: Kirchgessner, M. (Ed.), *Verdauungsphysiologie des Dickdarms. Fortschritte in der Tierphysiologie und Tierernährung 22*, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin, S.62-66
- Kreuzer, M.; Wittmann, A.; Gerdemann, M.M.; Henneken, H.; Abel H.J.; Machmüller, A., 1999. Re-examination of the metabolizable energy contents of various rations containing different types and levels of bacterially fermentable substrates in digestibility experiments with growing pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 82, S. 33-49
- Kumpulainen, J., 2001. Nutritional and toxicological quality comparisons between organically and conventionally grown foodstuffs. *Proceedings / International Fertilizer Society* Nr. 472
- Le Goff, G. & Noblet, J., 2001. Comparative tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *Journal of Animal Science* 79, S. 2418-2427
- Leterme, P.; Souffrant, W.-B.; Théwis, A., 2000. Effect of barley fibres and barley intake on the endogenous nitrogen losses in piglets. *Journal of Cereal Science* 31, S. 229-239
- Loftfield, N. & Beese, F., 1999. HNO₃ Druckaufschlüsse: Eine brauchbare Methode zur ökochemischen Charakterisierung von Böden. Unveröff.
- Low, A.G., 1990. Nutritional regulation of gastric secretion, digestion and emptying. *Nutritional Research Reviews* 3, S. 229-252
- Madar, Z. & Odes, H.S., 1990. Dietary fibre research. *Progress in biochemical pharmacology* Bd.24, Karger Verlag
- Mason, V.C., 1969. Some observations on the distribution and origin of nitrogen in sheep faeces. *J. agric. Sci.* 73, 99-111.
- Miquel, N.; Bach Knudsen, K.E.; Jørgensen, H., 2001. Impacts of diets varying in dietary fibre characteristics on gastric emptying in pregnant sows. *Archiv Tierernährung*, S 121-145.
- Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg, 1977. *Auswertung dreijähriger Erhebungen in neun biologisch-dynamisch wirtschaftenden Betrieben*, Stuttgart
- Mølgaard, J.P., 2000. Nutrients, secondary metabolites and foreign compounds in organic foods. In: Alföldi, T.; Lockeretz, W.; Niggli, U. (eds.), *Proceedings 13th international IFOAM Scientific Conference*, S. 313
- Mosenthin, R.; Sauer, W.C.; De Lange, C.F.M., 1992a. Tracer studies of urea kinetics in growing pigs: the effect of intravenous infusion of urea on urea recycling and the site of urea secretion into the gastrointestinal tract. *Journal of Animal Science* 70, S. 3458-3466
- Mosenthin, R.; Sauer, W.C.; Henkel, H.; Ahrens, F.; De Lange, C.F.M., 1992b. Tracer studies of urea kinetics in growing pigs: the effect of starch infusion at the distal ileum on urea recycling and bacterial nitrogen excretion. *Journal of Animal Science* 70, S. 3467-3472
- Mosenthin, R. & Sauer, W.C., 1993. Exocrine pancreatic secretions in pigs as influenced by the source of carbohydrate in the diet. *Zeitschrift für Ernährungswissenschaft* 32(2), S. 152-155
- Mroz, Z.; Bakker, G.C.M.; Jongbloed, A.W.; Dekker, R.A.; Jongbloed, R.; Van Beers, A., 1996. Apparent digestibility of nutrients in diets with different energy density, as estimated by direct and marker methods for pigs with or without ileo-caecal cannulas. *Journal of Animal Science* 74, S. 403-412

- Naumann, C. & Bassler, R., 1976-1997. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, Methodenbuch, Band III mit Ergänzungslieferungen 1983, 1988 und 1993, lose Blattsammlung. Darmstadt, VDLUFA-Verlag
- Petterson, B.D., 1982. Konventionell und biologisch dynamisch erzeugte pflanzliche Nahrungsstoffe im Vergleich. *Angewandte Wissenschaften*. 263, S. 218-228
- Potkins, Z.V.; Lawrence, T.L.J.; Thomlinson, J.R., 1991. Effects of structural and non-structural polysaccharides in the diet of growing pigs on gastric emptying rate and rate of passage of digesta to the terminal ileum and through the total gastrointestinal tract. *British Journal of Nutrition* 65, S. 391-413
- Ramonet, Y.; Van Milgen, J.; Dourmad, J.Y.; Meunier-Salaün, M.C.; Noblet, J., 2000. The effect of dietary fibre on energy utilisation and partitioning of heat production over pregnancy in sows. *British Journal of Nutrition* 84, S. 85-94
- Raupp, J.; Reents, H.J.; Bachinger, J., 1994. Ertrag und Qualität von Sommerweizen bei organischer und mineralischer Düngung an einem trocken-warmen Standort. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 7, S. 253-256
- Rémésy, C.; Demigné, C.; Morand, C., 1992. Metabolism and utilisation of short chain fatty acids produced by colonic fermentation. In: Schweizer, T.F. & Edwards, C.A. (eds.), *Dietary fibre: A component of food: Nutritional function in health and disease*. ILSI Human Nutrition Reviews., Springer-Verlag, London, S. 137-150
- Scheller, E., 1999. Proteinqualität bei Weizen, Dinkel und Einkorn. In: Hoffmann, H. & Müller, S. (eds.), *Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau*, Humboldt Universität Berlin, S. 121-125
- Schuster, M.; Mowarid, M.; Sattes, H., 1991. Verbrennungsmethode nach Dumas zur Bestimmung des Proteingehaltes in Futtermitteln. *VDLUFA Publikationen* 33, S. 445-450
- Shi, X.S. & Noblet, J., 1993a. Digestible and metabolizable energy values of ten feed ingredients in growing pigs fed ad libitum and sows fed at maintenance level; comparative contribution of the hindgut. *Animal Feed Science and Technology* 42, S. 223-236
- Shi, X.S. & Noblet, J., 1993b. Contribution of the hindgut to digestion of diets in growing pigs and adult sows; effect of diet composition. *Livestock Production Science* 34, S. 237-235
- Shier, N.W.; Kelman, I.; Dunson, J.W., 1984. A comparison of crude protein, moisture, ash and crop yield between organic and conventionally grown wheat. *Nutrition Reports International* 30 (1), S. 71-76
- Thomann, R. & Schreinemann, K., 1982. Eine günstige Bestimmungsmethode für lösliche Pentosane, *Nahrung* 26, S. 515-518
- Ussing, H.-H. & Zerahn, K., 1951. Active transport of sodium as the source of electric current in the short-circuited isolated frog skin. *Acta Physiologica Scandinavia* 23, 110-127
- Woese, K.; Lange, D.; Boess, C.; Bögl, K.W., 1995. Ökologisch und konventionell erzeugte Lebensmittel im Vergleich. Eine Literaturstudie. Teil I+II, BGVV Heft 5, Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin, Berlin.
- Woese, K.; Lange, D.; Boess, C.; Bögl, K.W., 1997. A comparison of organically and conventionally grown foods- results from a review of the relevant literature. *Journal of Science of Food and Agriculture* 74, S. 281-293

Tab. 1: Zusammensetzung der Futterrationen in den Zulageversuchen 1 + 2 (%)

| Komponente | Ration | |
|----------------------|-------------|-----------------|
| | Grundration | Grundration+ZRS |
| Weizen | 40,00 | 32,00 |
| Gerste | 29,75 | 23,80 |
| Sojaschrot | 20,00 | 16,00 |
| Kartoffelprotein | 5,00 | 4,00 |
| Premix ^{*)} | 3,00 | 2,40 |
| Sojaöl | 2,00 | 1,60 |
| L-Lysin HCl | 0,17 | 0,136 |
| DL-Methionin | 0,06 | 0,048 |
| L-Threonin | 0,02 | 0,016 |
| Zuckerrübenschnitzel | | 20,00 |

^{*)} 24% Ca, 5% P, 5% Na, 1% Mg;
Zusatzstoffe je kg: 400.000 I.E. Vit. A, 40.000 I.E. Vit. D₃, 2.000 mg Vit. E, 500 mg Cu,

Tab. 2: Gehalte der Futtermischungen an Trockensubstanz (T, %), Inhaltsstoffen (% i. T) und umsetzbarer Energie (MJ/kg T) in den Versuchen 1 und 2

| Inhaltsstoffe | Ration | | | |
|---------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|
| | Grundration | Grundration+ZRS | Grundration | Grundration+ZRS |
| | Versuch 1 | Versuch 1 | Versuch 2 | Versuch 2 |
| Trockensubstanz | 88,63 | 88,52 | 88,48 | 88,90 |
| Organische Substanz | 95,13 | 94,52 | 94,70 | 94,29 |
| Rohasche | 4,87 | 5,48 | 5,30 | 5,71 |
| Rohprotein | 24,13 | 21,13 | 23,15 | 20,90 |
| Rohfett | 3,88 | 3,26 | 3,79 | 2,91 |
| Rohfaser | 3,25 | 5,83 | 4,20 | 7,04 |
| NfE | 63,87 | 64,30 | 63,76 | 64,23 |
| Stärke | 43,99 | 35,88 | 45,55 | 32,65 |
| Zucker | 4,23 | 5,99 | 6,44 | 10,11 |
| NDF | 13,29 | 18,60 | 12,38 | 18,00 |
| ADF | 4,48 | 7,94 | 6,99 | 10,67 |
| BFS | 11,69 | 19,64 | 7,75 | 13,49 |
| ME | 15,46 | 13,99 | 15,16 | 13,49 |

Tab. 3: Zusammensetzung der Futterrationen im Versuch 3 (%)

| Konventionelle Ration | | Ökologische Ration | |
|-----------------------|----|--------------------|----|
| Weizen | 34 | Weizen | 34 |
| Gerste | 30 | Gerste | 30 |
| Kartoffel Protein | 6 | Kartoffel Protein | 6 |
| Premix ^{*)} | 3 | Premix | 3 |
| Maiskleber | 2 | Maiskleber | 2 |
| Sojaschrot | 13 | Ackerbohnen | 25 |
| Weizen | 5 | | |
| Gerste | 7 | | |

^{*)}24,5% Ca, 5,0% P, 5,5% Na, 1% Mg;

Zusatzstoffe je kg: 400.000 I.E. Vit. A, 60.000 I.E. Vit. D₃, 2.500 mg Vit. E, 500 mg Cu

Tab.4: Gehalte der Futtermischungen an Trockensubstanz (T, %), Inhaltsstoffen (% i.T) und umsetzbarer Energie (MJ/kg T) im Versuch 3

| Inhaltsstoffe | Ration | |
|---------------|-----------------------|--------------------|
| | Konventionelle Ration | Ökologische Ration |
| TS | 89,99 | 89,51 |
| OS | 95,32 | 95,19 |
| Rohasche | 4,68 | 4,81 |
| Rohprotein | 23,36 | 22,20 |
| Rohfett | 2,08 | 1,98 |
| Rohfaser | 3,18 | 4,27 |
| NfE | 66,70 | 66,74 |
| NDF | 13,23 | 14,34 |
| ADF | 5,16 | 7,01 |
| Stärke | 46,86 | 49,43 |
| Zucker | 2,79 | 2,35 |
| BFS | 13,21 | 10,30 |
| ME | 15,13 | 14,75 |

TAB. 5: STÄRKEGEHALTE IN WEIZEN, GERSTE UND ACKERBOHNEN KONVENTIONELLER UND ÖKOLOGISCHER PRODUKTION (% I. T.)

| Pflanze | konventionell | Ökologisch | Sign. | SEM |
|--------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|
| Weizen (n=32) | 58,95 | 61,84 | 0,098 | 0,872 |
| Gerste (n=12) | 49,79 ^a | 52,38 ^b | 0,033 | 0,634 |
| Ackerbohnen (n=12) | 46,00 ^b | 42,16 ^a | 0,013 | 0,838 |

Verschiedene Hochbuchstaben innerhalb Zeile und Pflanzenart kennzeichnen signifikant unterschiedliche Mittelwerte ($p < 0,05$)

Tab. 6: Pentosangehalte in Weizen konventioneller und Ökologischer Produktion (% i.T.)

| Pflanze | konventionell (n=16) | Ökologisch (n=16) | Sign. | SEM |
|---------|----------------------|-------------------|-------|-------|
| Weizen | 5,88 | 4,58 | 0,092 | 0,384 |

Tab. 7: Einfluss von Ration und Schweineherkunft auf die Nährstoffverdaulichkeiten im Versuch 1

| Inhaltsstoff | Ration (n = 18) | | Schweineherkunft (n = 12) | | | Inter- aktion | SEM |
|--------------|--------------------|-------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------|
| | GR | ZR | SH | BB | CB | | |
| TS | 86.2 ^b | 83.0 ^a | 84.3 | 84.6 | 84.9 | 0.197 | 0.342 |
| OS | 87,9 ^b | 85,0 ^a | 86,2 | 86,5 | 86,7 | 0.203 | 0.307 |
| XP | 87.3 ^b | 79.8 ^a | 84.1 | 83.0 | 83.6 | 0.359 | 0.759 |
| XL | 64.5 ^b | 55.1 ^a | 59.5 | 58.4 | 61.4 | 0.188 | 1.117 |
| XF | 32.4 ^a | 54.5 ^b | 40.3 ^a | 46.3 ^b | 43.7 ^{ab} | 0.136 | 2.012 |
| XA | 53,7 ^b | 49,2 ^a | 48,9 ^a | 51,8 ^{ab} | 53,6 ^b | 0.204 | 0.771 |
| NfE | 92,2 ^b | 90,7 ^a | 91,4 | 91,3 | 91,6 | 0.311 | 0.189 |
| NDF | 58.2 ^a | 64.1 ^b | 58.7 ^a | 62.3 ^b | 62.5 ^b | 0.610 | 0.777 |
| ADF | 36.0 ^a | 52.7 ^b | 42.2 | 45.8 | 45.1 | 0.216 | 1.827 |

Unterschiedliche Buchstaben in der gleichen Zeile zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen bzw. Schweineherkünften ($P < 0,05$)

Tab.8 : Einfluss von Ration und Schweineherkunft auf die Nährstoffverdaulichkeiten im Versuch 2

| Inhaltsstoff | Ration (n = 9) | | Schweineherkunft (n = 6) | | | Inter- aktion | SEM |
|--------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------|
| | GR | ZR | SH | BB | CB | | |
| TS | 83,5 ^b | 80,0 ^a | 79,9 | 82,7 | 82,8 | 0,098 | 0,781 |
| OS | 85,6 ^b | 80,0 ^a | 84,2 | 85,0 | 84,8 | 0,138 | 0,720 |
| XP | 82,9 ^b | 81,3 ^a | 78,0 ^a | 82,9 ^b | 81,3 ^{ab} | 0,066 | 1,398 |
| XL | 49,6 | 46,3 | 50,3 | 43,8 | 49,7 | 0,021 | 1,680 |
| XF | 39,8 ^a | 56,5 ^b | 43,9 | 52,3 | 48,2 | 0,345 | 2,941 |
| XA | 45,9 | 40,9 | 40,6 | 41,2 | 48,3 | 0,016 | 1,936 |
| NfE | 91,0 ^b | 88,8 ^a | 88,6 | 90,4 | 90,7 | 0,233 | 0,474 |
| NDF | 48,2 ^a | 66,6 ^b | 52,0 | 60,3 | 59,8 | 0,167 | 2,944 |
| ADF | 46,6 | 54,6 | 47,5 | 52,0 | 52,3 | 0,164 | 2,232 |

Unterschiedliche Buchstaben in der gleichen Zeile zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen bzw. Schweineherkünften ($P < 0,05$)

Tab. 9: Einfluss von Ration und Schweineherkunft auf die N-Bilanzen im Versuch 1

| | Ration (n = 18) | | Schweineherkunft (n = 12) | | | Inter- aktion | SEM |
|--|--------------------|--------------------|------------------------------|---------------------|--------------------|------------------|-------|
| | GR | ZR | SH | BB | CB | | |
| Aufnahme (g/d*kg ^{0,75}) | 2.69 ^a | 2.89 ^b | 2.81 | 2.78 | 2.78 | | 0.019 |
| Ausscheidung | | | | | | | |
| Kot (g/d*kg ^{0,75}) | 0.34 ^a | 0.58 ^b | 0.45 | 0.48 | 0.46 | 0.478 | 0.023 |
| % der Aufnahme | 12.71 ^a | 20.17 ^b | 15.93 | 17.02 | 16.38 | 0.359 | 0.759 |
| Urin (g/d*kg ^{0,75}) | 1.12 ^b | 0.84 ^a | 1.08 ^b | 0.96 ^{ab} | 0.91 ^a | 0.552 | 0.034 |
| % der Aufnahme | 41.70 ^b | 29.21 ^a | 38.69 ^b | 34.64 ^{ab} | 33.04 ^a | 0.451 | 1.389 |
| Retention (g/d*kg ^{0,75}) | 1.23 ^a | 1.46 ^b | 1.28 | 1.35 | 1.41 | 0.165 | 0.032 |
| % der Aufnahme | 45.59 ^a | 50.61 ^b | 45.37 ^a | 48.34 ^{ab} | 50.58 ^b | 0.216 | 0.978 |

Unterschiedliche Buchstaben in der gleichen Zeile zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen bzw. Schweineherkünften (P < 0,05)

Tab. 10: Einfluss von Ration und Schweineherkunft auf die N-Bilanzen im Versuch 2

| | Ration (n = 9) | | Schweineherkunft (n = 6) | | | Inter- aktion | SEM |
|--|-------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------|
| | GR | ZR | SH | BB | CB | | |
| Aufnahme (g/d*kg ^{0,75}) | 2,55 ^a | 2,69 ^b | 2,67 ^b | 2,53 ^a | 2,66 ^b | 0,066 | 0,031 |
| Ausscheidung | | | | | | | |
| Kot (g/d*kg ^{0,75}) | 0,38 ^a | 0,64 ^b | 0,60 ^b | 0,43 ^a | 0,50 ^{ab} | 0,073 | 0,043 |
| % der Aufnahme | 14,9 ^a | 23,6 ^b | 22,0 ^b | 17,1 ^a | 18,7 ^{ab} | 0,066 | 1,398 |
| Urin (g/d*kg ^{0,75}) | 1,41 ^b | 1,22 ^a | 1,36 ^b | 1,53 ^b | 1,04 ^a | 0,122 | 0,065 |
| % der Aufnahme | 55,3 ^b | 45,3 ^a | 51,04 ^b | 60,8 ^c | 39,13 ^a | 0,227 | 2,702 |
| Retention (g/d*kg ^{0,75}) | 0,76 | 0,83 | 0,71 ^a | 0,56 ^a | 1,12 ^b | 0,259 | 0,068 |
| % der Aufnahme | 29,8 | 31,1 | 27,0 ^a | 22,1 ^a | 42,2 ^b | 0,179 | 2,540 |

Unterschiedliche Buchstaben in der gleichen Zeile zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen bzw. Schweineherkünften (P < 0,05)

Tab. 11: Einfluss von Ration und Schweineherkunft auf Anteile (%) und Mengen (g/d*kg^{0,75}) der Kot N-Fractionen am Gesamtstickstoff (TN) sowie auf die Effizienz der bakteriellen Proteinsynthese im Versuch 1

| | Ration (n = 18) | | Schweineherkunft (n = 12) | | | Inter- action | SEM |
|--------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------|
| | GR | ZR | SH | B | CB | | |
| TN(g/d*kg ^{0,75}) | 0.34 ^a | 0.58 ^b | 0.45 | 0.48 | 0.46 | 0.478 | 0.023 |
| WSN (g/d*kg ^{0,75}) | 0.07 ^a | 0.13 ^b | 0.08 | 0.10 | 0.11 | 0.672 | 0,008 |
| WSN (% d. Kot- N) | 19.3 ^a | 22.9 ^b | 17.8 ^a | 21.5 ^{ab} | 24.0 ^b | 0.954 | 0,849 |
| UDN (g/d*kg ^{0,75}) | 0.05 ^a | 0.14 ^b | 0,084 | 0,090 | 0,113 | 0.300 | 0.012 |
| UDN (% d. Kot- N) | 13.9 ^a | 24.6 ^b | 16.7 | 19.2 | 21.8 | 0.326 | 1.441 |
| BEDN (g/d*kg ^{0,75}) | 0.23 ^a | 0.29 ^b | 0,29 | 0,26 | 0,23 | 0.889 | 0.012 |
| BEDN (% d. Kot- N) | 66.8 ^b | 52.5 ^a | 65.5 ^b | 59.3 ^{ab} | 54.2 ^a | 0.562 | 1.931 |
| BP (g/100 g BFS) | 20.9 ^b | 11.9 ^a | 18.9 | 16.2 | 14.1 | 0.582 | 1.220 |

Unterschiedliche Buchstaben in der gleichen Zeile zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen bzw. Schweineherkünften (P < 0,05)

Tab. 12: Einfluss von Ration und Schweineherkunft auf die Mineralstoffbilanzen im Versuch 1 (mg/kg^{0,75} * d)

| | Ration (n = 18) | | Schweineherkunft (n = 12) | | | Inter- aktion | SEM |
|------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------|
| | GR | ZR | SH | BB | CB | | |
| Calcium | | | | | | | |
| Aufnahme | 637,1 ^a | 827,5 ^b | 736,2 | 728,6 | 732,2 | 0,451 | 16,197 |
| Kot | 343,2 ^a | 467,5 ^b | 448,0 ^c | 407,2 ^b | 361,0 ^a | 0,889 | 13,129 |
| Urin | 21,7 | 19,7 | 20,9 | 21,1 | 20,0 | 0,242 | 1,351 |
| Retention | 272,2 ^a | 340,3 ^b | 267,3 ^a | 300,3 ^a | 351,3 ^b | 0,715 | 10,167 |
| Phosphor | | | | | | | |
| Aufnahme | 388,1 ^a | 399,0 ^b | 395,2 | 392,4 | 393,0 | 0,676 | 1,225 |
| Kot | 226,9 | 236,8 | 253,2 ^b | 229,4 ^b | 212,8 ^a | 0,936 | 4,270 |
| Urin | 2,2 | 1,1 | 2,1 | 1,4 | 1,5 | 0,536 | 0,198 |
| Retention | 158,0 | 161,1 | 139,8 ^a | 161,6 ^b | 178,7 ^b | 0,888 | 4,208 |
| Natrium | | | | | | | |
| Aufnahme | 112,4 ^a | 138,6 ^b | 126,0 | 125,1 | 123,3 | 0,737 | 2,228 |
| Kot | 24,3 | 29,9 | 20,6 | 33,7 | 27,0 | 0,016 | 1,647 |
| Urin | 27,2 | 29,6 | 34,1 ^b | 22,3 ^a | 28,8 ^{ab} | 0,346 | 1,708 |
| Retention | 60,9 ^a | 79,1 ^b | 71,3 | 69,2 | 69,5 | 0,574 | 1,998 |
| Kalium | | | | | | | |
| Aufnahme | 559,3 ^a | 622,8 ^b | 595,6 | 589,5 ^a | 588,0 | 0,723 | 5,549 |
| Kot | 102,4 ^a | 152,8 ^b | 127,1 ^{ab} | 105,2 ^a | 150,4 ^b | 0,880 | 6,828 |
| Urin | 207,8 ^b | 178,6 ^a | 190,2 ^{ab} | 216,1 ^b | 173,4 ^a | 0,488 | 7,224 |
| Retention | 249,1 ^a | 291,4 ^b | 278,4 | 268,1 | 264,2 | 0,372 | 6,955 |
| Magnesium | | | | | | | |
| Aufnahme | 123,9 ^a | 184,3 ^b | 154,9 | 153,4 | 154,0 | 0,514 | 5,117 |
| Kot | 91,5 ^a | 135,8 ^b | 113,8 | 114,0 | 113,1 | 0,999 | 3,905 |
| Urin | 10,4 ^a | 12,9 ^b | 12,6 ^b | 12,8 ^b | 9,5 ^a | 0,624 | 0,584 |
| Retention | 22,1 ^a | 35,6 ^b | 28,5 | 26,6 | 31,5 | 0,998 | 1,684 |

Unterschiedliche Buchstaben in der gleichen Zeile zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen bzw. Schweineherkünften (P < 0,05)

Tab. 13: Einfluss der Futterration und der Schweineherkunft auf die Verdaulichkeiten im Versuch 3 (%)

| Inhaltsstoff | Ration (n=6) | | Schweineherkunft (n=6) | | Interaktion | SEM |
|-----------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|-------------|-------|
| | konventionell | Ökologisch | BB | CB | | |
| Trockensubstanz | 87,2 ^b | 84,2 ^a | 86,3 ^b | 85,0 ^a | 0,285 | 0,565 |
| Organische Substanz | 88,6 ^b | 85,8 ^a | 87,8 ^b | 86,5 ^a | 0,258 | 0,534 |
| Rohprotein | 87,9 ^b | 83,7 ^a | 87,4 ^b | 84,2 ^a | 0,162 | 0,961 |
| Rohfett | 50,1 | 49,6 | 50,0 | 49,7 | 0,945 | 0,908 |
| Rohfaser | 32,0 ^b | 20,6 ^a | 29,4 | 23,2 | 0,807 | 2,739 |
| Rohasche | 58,1 ^b | 52,3 ^a | 56,7 | 53,8 | 0,573 | 1,207 |
| N-freie Extraktstoffe | 92,7 ^b | 91,7 ^a | 92,4 | 92,0 | 0,483 | 0,228 |
| NDF | 58,8 ^b | 52,4 ^a | 56,8 | 54,4 | 0,115 | 1,278 |
| ADF | 44,4 ^b | 35,1 ^a | 40,2 | 39,3 | 0,882 | 1,876 |

Unterschiedliche Buchstaben in der gleichen Zeile zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen bzw. Schweineherkünften ($P < 0,05$)

Tab. 14: Einfluss der Futterration und der Schweineherkunft auf die N-Bilanzen im Versuch 3

| | Ration (n = 6) | | Schweineherkunft (n = 6) | | Interaktion | SEM |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|-------------|-------|
| | konventionell | Ökologisch | BB | CB | | |
| Aufnahme (g/d*kg ^{0,75}) | 3,36 | 3,17 | 3,24 | 3,29 | 0,644 | 0,030 |
| Ausscheidung | | | | | | |
| Kot (g/d*kg ^{0,75}) | 0,41 ^a | 0,52 ^b | 0,41 ^a | 0,51 ^b | 0,181 | 0,028 |
| % der Aufnahme | 12,10 ^a | 16,29 ^b | 12,62 ^a | 15,77 ^b | 0,162 | 0,961 |
| Harn (g/d*kg ^{0,75}) | 1,35 ^b | 1,12 ^a | 1,24 | 1,23 | 0,105 | 0,048 |
| % der Aufnahme | 40,25 ^b | 35,25 ^a | 37,46 | 38,04 | 0,119 | 1,269 |
| Retention (g/d*kg ^{0,75}) | 1,60 | 1,54 | 1,64 | 1,50 | 0,070 | 0,049 |
| % der Aufnahme | 47,66 | 48,46 | 49,92 | 46,19 | 0,070 | 1,456 |

Unterschiedliche Buchstaben in der gleichen Zeile zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen bzw. Schweineherkünften ($P < 0,05$)

Tab. 15: Einfluss von Ration und Schweineherkunft auf die Abbaubarkeit der Digestasubstrate in der Colon-Simulationstechnik im Versuch 1 (%)

| Inhaltsstoff | Ration (n=9) | | Schweineherkunft (n=6) | | | Interaktion | SEM |
|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|-------|-------|-------------|-------|
| | GR | ZR | SH | BB | CB | | |
| Trockensubstanz | 37,02 | 42,14 | 36,60 | 41,81 | 40,33 | 0,040 | 1,248 |
| Rohasche | 38,75 | 41,76 | 33,10 | 46,71 | 40,95 | 0,011 | 2,147 |
| Organische Substanz | 36,86 ^a | 42,10 ^b | 36,73 | 41,43 | 40,28 | 0,060 | 1,233 |
| NDF | 19,25 ^a | 29,76 ^b | 22,39 | 26,41 | 24,72 | 0,083 | 1,690 |
| ADF | 8,97 ^a | 25,75 ^b | 13,40 | 20,79 | 17,90 | 0,189 | 2,572 |

Unterschiedliche Buchstaben in der gleichen Zeile zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen bzw. Schweineherkünften ($P < 0,05$)

Tab. 16: Einfluss von Ration und Schweineherkunft auf die Abbaubarkeit der Digestasubstrate in der Colon-Simulationstechnik im Versuch 2 (%)

| | Ration (n=9) | | Schweineherkunft (n=6) | | | Interaktion | SEM |
|---------------------|------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------|
| | GR | ZR | SH | BB | CB | | |
| Trockensubstanz | 36,9 | 38,2 | 36,4 | 36,8 | 39,4 | 0,272 | 0,592 |
| Rohasche | 55,3 | 34,7 | 37,1 | 46,8 | 51,0 | 0,000 | 3,874 |
| Organische Substanz | 36,2 | 38,3 | 36,4 | 36,4 | 38,9 | 0,548 | 0,586 |
| NDF | 9,7 ^a | 24,3 ^b | 16,3 ^a | 14,5 ^a | 20,1 ^b | 0,210 | 1,935 |
| ADF | 6,1 ^a | 24,6 ^b | 16,4 | 14,2 | 15,6 | 0,060 | 2,400 |

Unterschiedliche Buchstaben in der gleichen Zeile zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Rationen bzw. Schweineherkünften ($P < 0,05$)

Tab.17: Einfluss von Ration und Schweineherkunft auf die Produktion flüchtiger Fettsäuren in der Colonsimulation COSITEC im Versuch 1 (mmol/d)

| Fettsäure | GR (n=3) | | | ZR (n=3) | | |
|-----------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| | SH | BB | CB | SH | BB | CB |
| Acetat | 3,47 ^{bA} | 3,14 ^{aA} | 3,23 ^{aA} | 4,13 ^{aB} | 4,97 ^{bB} | 3,69 ^{aB} |
| Propionat | 1,84 ^{bA} | 1,69 ^{aA} | 2,02 ^c | 2,09 ^{abB} | 2,23 ^{bB} | 1,92 ^a |
| Butyrat | 0,57 ^{abB} | 0,60 ^{bA} | 0,53 ^a | 0,48 ^{aA} | 0,68 ^{bB} | 0,49 ^a |

Unterschiedliche Buchstaben in der gleichen Reihe zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Rassen innerhalb einer Ration (Kleinbuchstaben) oder zwischen den Rationen innerhalb der gleichen Rasse (Großbuchstaben)

Tab.18: Einfluss von Ration und Schweineherkunft auf die Produktion flüchtiger Fettsäuren in der Colonsimulation COSITEC im Versuch 2 (mmol/d)

| Fettsäure | Ration (n=9) | | Schweineherkunft (n=6) | | | Inter- aktion | SEM |
|-----------|-------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------|
| | GR | ZR | SH | BB | CB | | |
| Acetat | 3,14 ^a | 3,92 ^b | 3,68 ^b | 3,54 ^{ab} | 3,37 ^a | 0,184 | 0,065 |
| Propionat | 1,56 ^a | 1,65 ^b | 1,57 | 1,60 | 1,64 | 0,691 | 0,024 |
| Butyrat | 0,49 | 0,45 | 0,51 | 0,49 | 0,41 | 0,000 | 0,010 |

Unterschiedliche Buchstaben in der gleichen Reihe zeigen signifikante Unterschiede

Tab. 19: Einfluss von Ration und Schweineherkunft auf die pH-Werte in der Colonsimulation COSITEC in den Versuchen 1 und 2

| Versuch | Ration (n=9) | | Schweineherkunft (n=6) | | | Inter- aktion | SEM |
|---------|-------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------|
| | GR | ZR | SH | BB | CB | | |
| 1 | 6,60 | 6,51 | 6,53 | 6,53 | 6,59 | 0,000 | 0,010 |
| 2 | 6,82 ^b | 6,74 ^a | 6,78 ^{ab} | 6,81 ^b | 6,71 ^a | 0,152 | 0,014 |

Tab. 20: Einfluss von Ration und Schweineherkunft auf die Bildung von Fermentationsgasen in der Colonsimulation COSITEC im Versuch 1 (mmol/d)

| Gas | Ration (n=9) | | Schweineherkunft (n=6) | | | Inter- aktion | SEM |
|-----------------|-------------------|-------------------|---------------------------|--------|--------|------------------|-------|
| | GR | ZR | SH | BB | CB | | |
| CO ₂ | 2,37 ^a | 3,19 ^b | 2,82 | 2,92 | 2,68 | 0,095 | 0,148 |
| CH ₄ | 0,065 | 0,118 | 0,062 | 0,153 | 0,059 | 0,082 | 0,026 |
| H ₂ | 0,0007 | 0,0012 | 0,0006 | 0,0018 | 0,0008 | 0,627 | 0,000 |

Unterschiedliche Buchstaben in der gleichen Reihe zeigen signifikante Unterschiede

Tab. 21: Einfluss der Schweineherkunft auf die Bildung von Fermentationsgasen in der Colonsimulation COSITEC bei Fütterung der Zulageration im Versuch 2 (mmol/d; n = 3)

| Gas | SH | BB | CB | SEM |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| CO ₂ | 3,74 | 3,54 | 2,14 | 0,373 |
| CH ₄ | 0,119 | 0,117 | 0,081 | 0,012 |
| H ₂ | 0,0013 | 0,0010 | 0,0006 | 0,0002 |

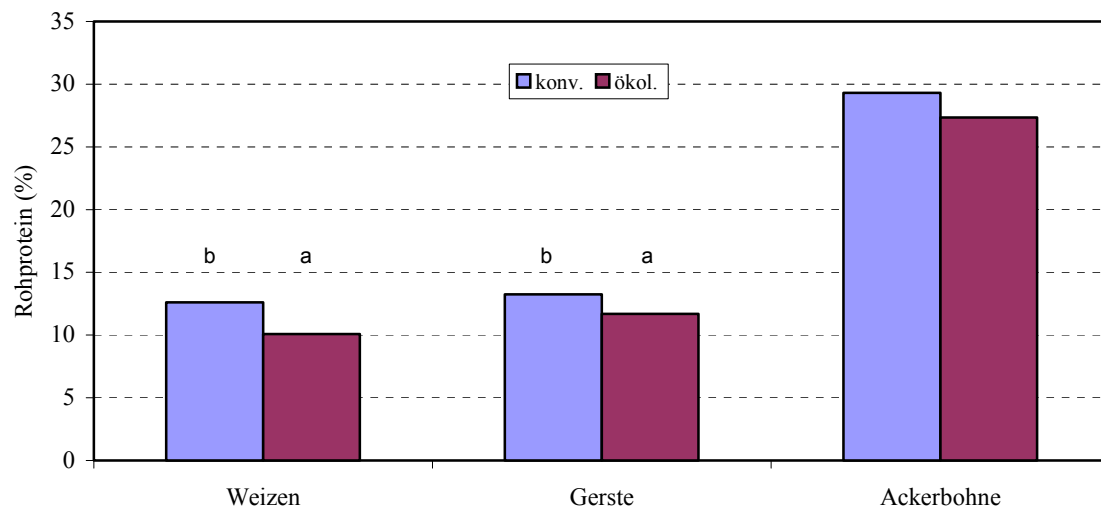


ABB. 1: EINFLUSS DER PRODUKTIONSFORM IM PFLANZENBAU AUF DEN ROHPROTEINGEHALT DER ACKERFRÜCHTE

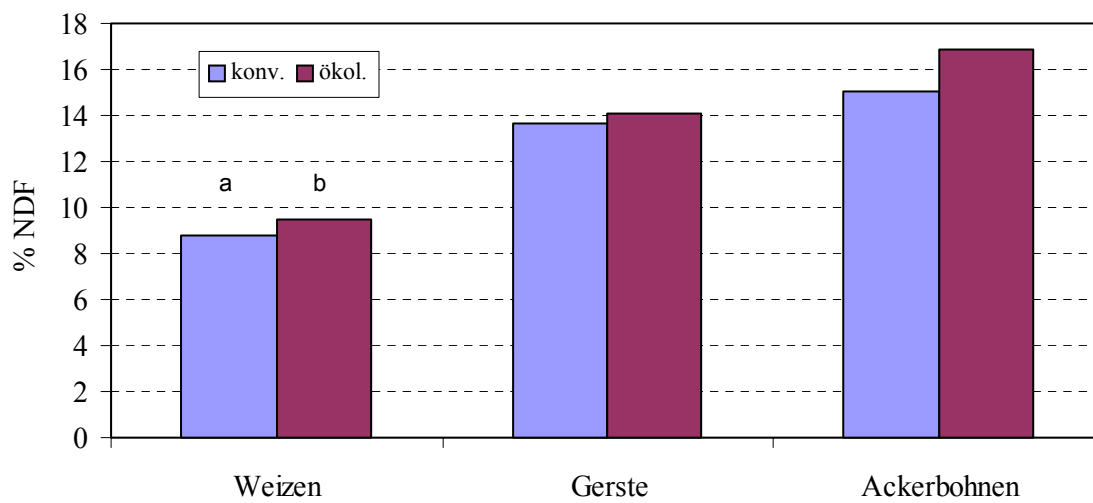


ABB 2.: EINFLUSS DER PRODUKTIONSFORM IM PFLANZENBAU AUF DIE NDF-GEHALTE IN WEIZEN, GERSTE UND ACKERBOHNEN (% I.T)

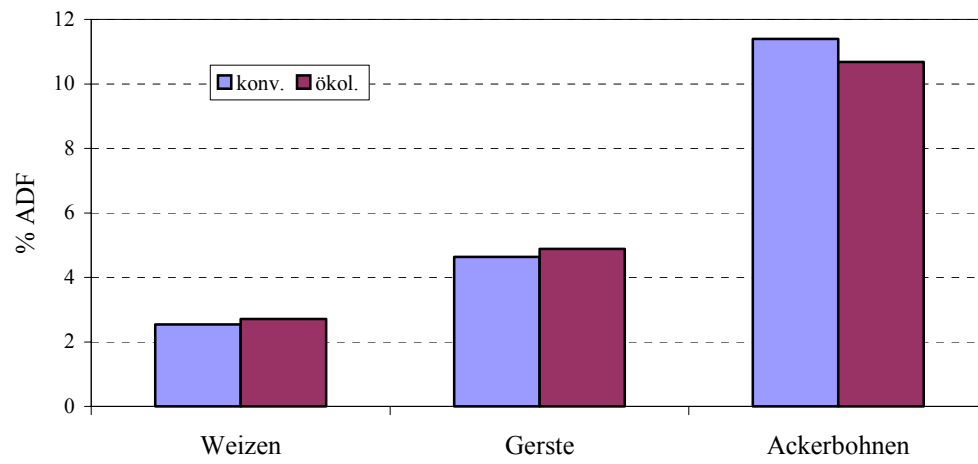


ABB 3.: EINFLUSS DER PRODUKTIONSMETHODE AUF DEN ADF GEHALTE IN WEIZEN, GERSTE UND ACKERBOHNEN (% I.T.)

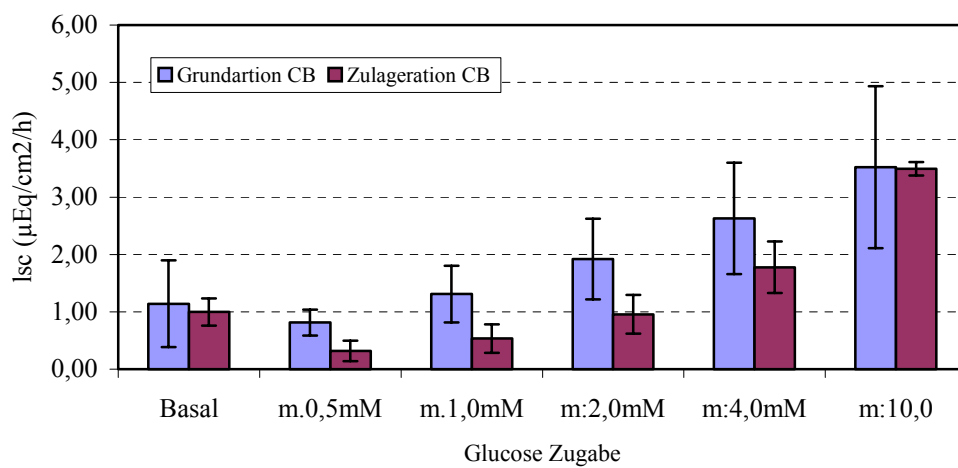
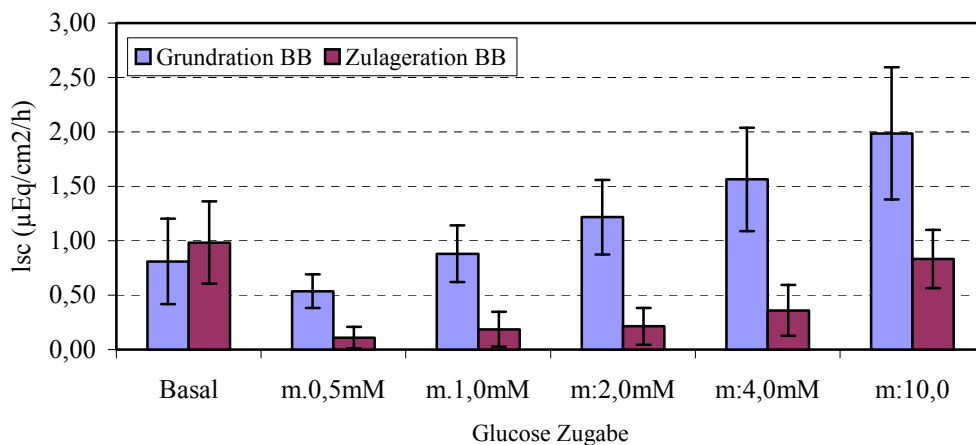
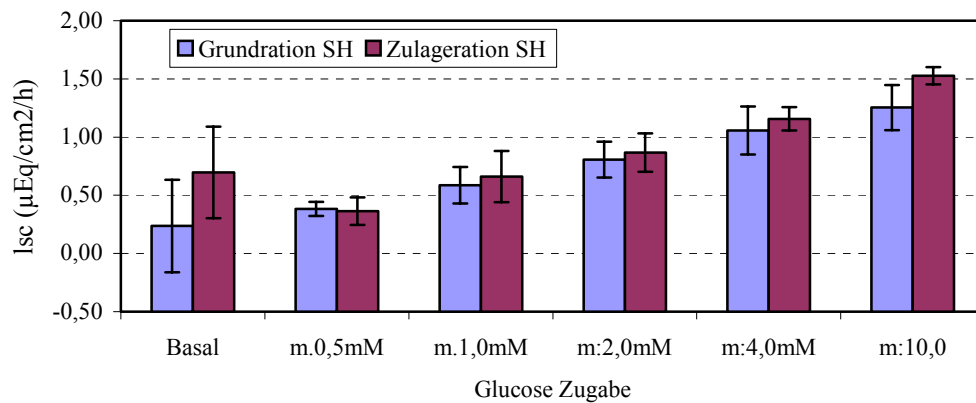


ABB. 4 : EINFLUSS VON RATION UND RASSE AUF DEN KURZSCHLUSSTROM AN DER MUCOSA DES MITTLEREN JEJUNUMS

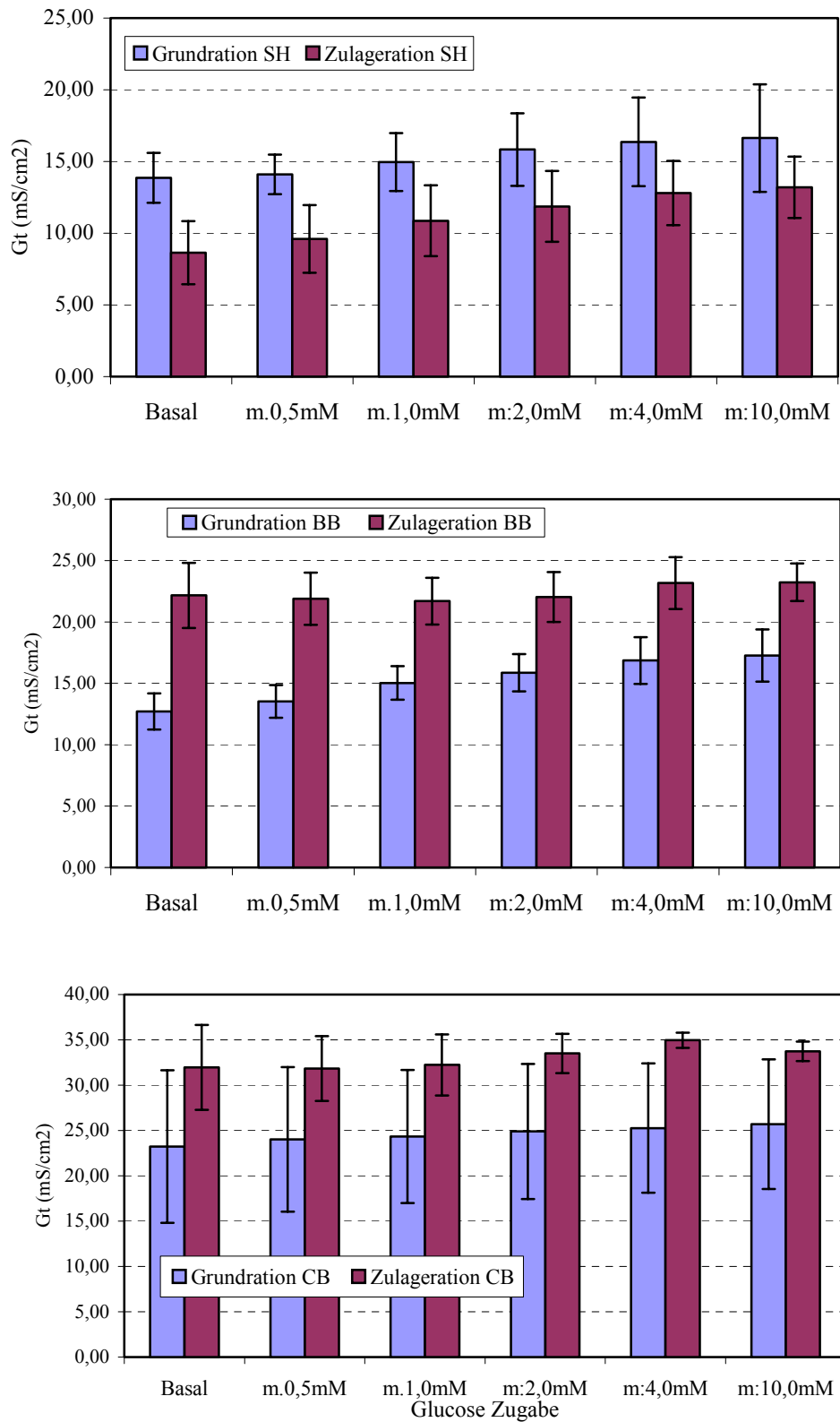


ABB.5 : EINFLUSS DER RATION UND DER RASSE AUF DIE LEITFÄHIGKEIT IM MITTLEREN JEJUNUM BEI SH SCHWEINEN, BB SCHWEINEN UND CB SCHWEINEN

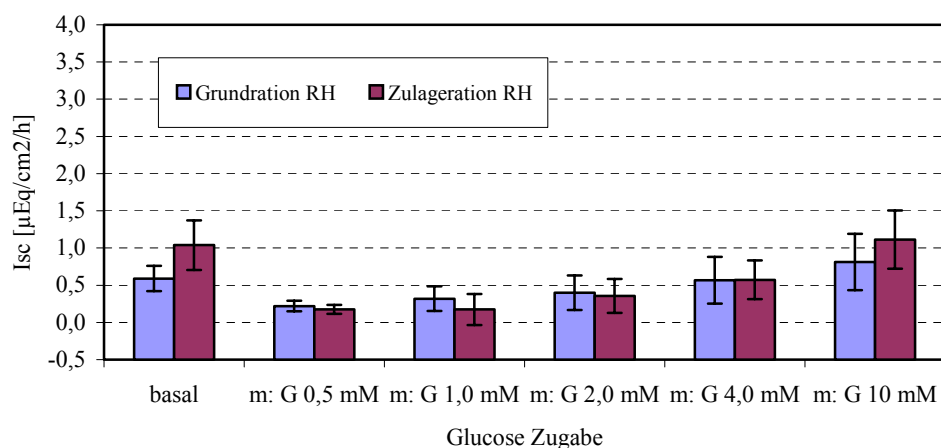
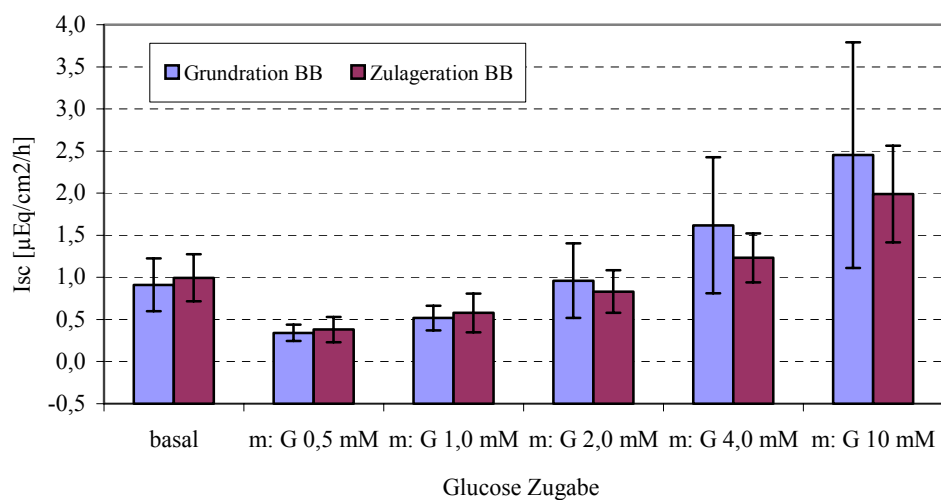
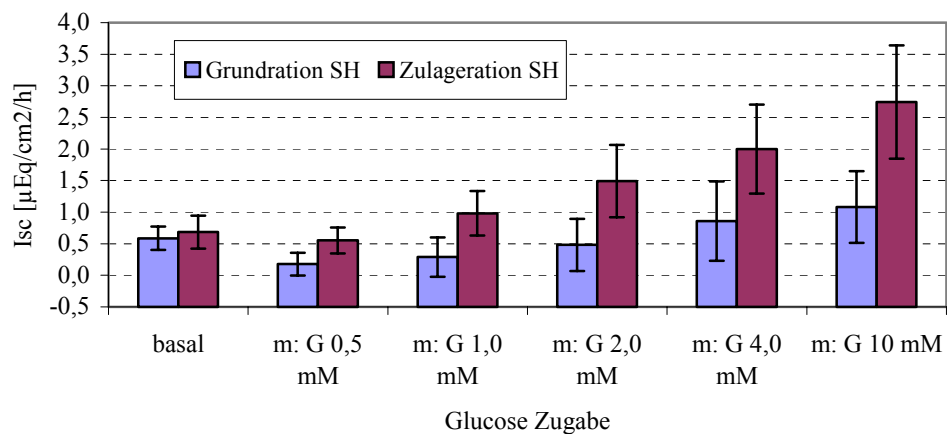


ABB. 6 : EINFLUSS VON RATION UND RASSE AUF DEN KURZSCHLUSSTROM AN DER MUCOSA DES MITTLEREN JEJUNUMS

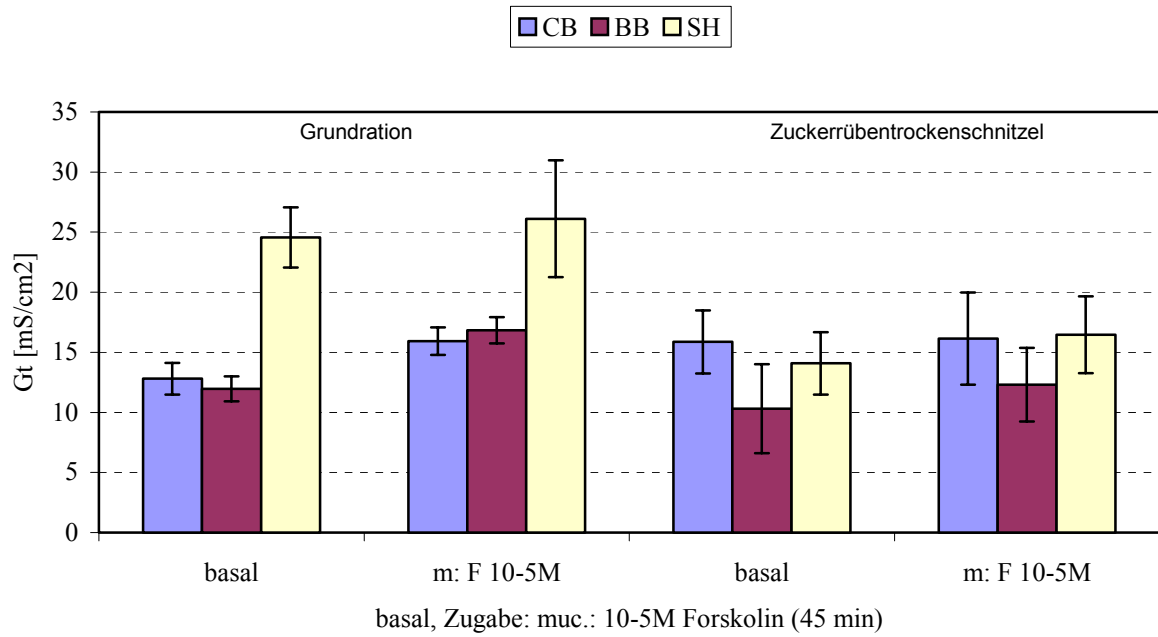


Abb. 7: Einfluss von Ration und Herkunft auf die Gewebeleitfähigkeit der Colonmucosa unter Zugabe von Forskolin

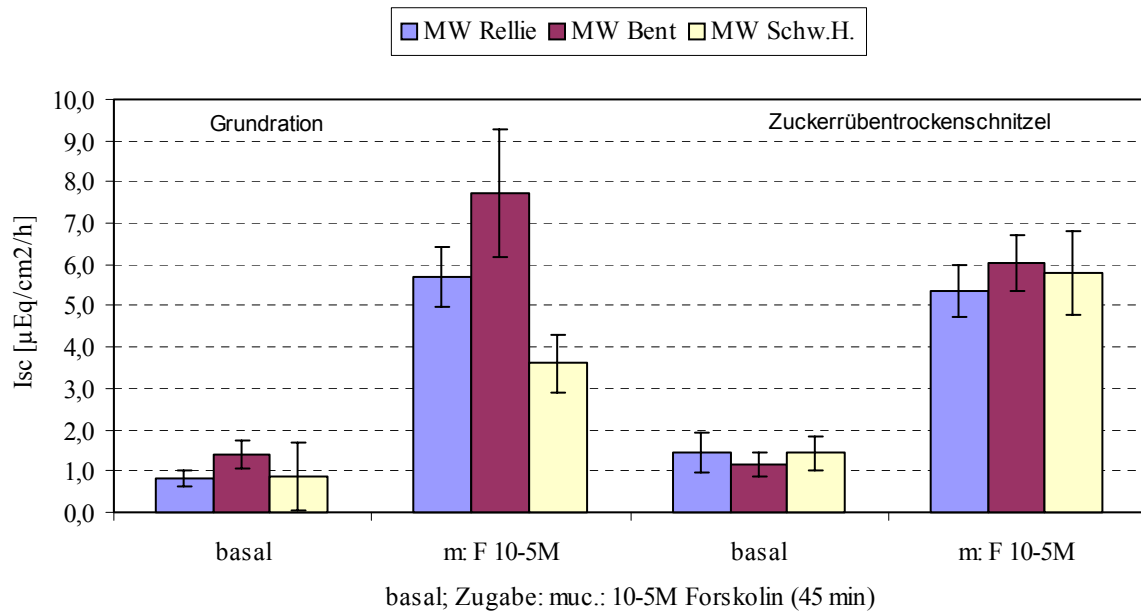


Abb. 8: Einfluss von Ration und Herkunft auf den Kurzschlussstrom der Colonmucosa unter Zugabe von Forskolin