

Institut für Tierwissenschaften
Abteilung Tierernährung
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

**Futtermittelkundliche und
ernährungsphysiologische Bewertung von
Rapskuchen für Milchkühe**

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Grades
Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)
genehmigt von der
Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt am 10.11.2010
von
Dipl.-Ing. agr. Christian Koch
aus Oberthal

Referent: Prof. Dr. Karl-Heinz Südekum

Korreferent: Prof. Dr. Dr. Helga Sauerwein

Tag der mündlichen Prüfung: 11. März 2011

Druck: Juli 2011

Gedruckt mit Genehmigung der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn

Meiner Familie

Live as you would die tomorrow, farm as you would die never
(Englisches Sprichwort)

Futtermittelkundliche und ernährungsphysiologische Bewertung von Rapskuchen für Milchkühe

In den letzten Jahren war ein ständig zunehmender Rapsanbau in der Bundesrepublik Deutschland zu verzeichnen. Gründe hierfür waren eine erhöhte Biodieselnachfrage sowie die Nutzung von Rapsöl in der Humanernährung. Als Folge wurden Ölmühlen errichtet, die höhere Mengen Rapskuchen produzierten. Rapskuchen kann als energiereiches Eiweißfuttermittel charakterisiert werden. Da Rapskuchen in der chemischen Zusammensetzung und im Futterwert je nach Verarbeitungsintensität variiert, resultieren unterschiedliche Rohfett (XL)- und Rohprotein (XP)-Gehalte. Vielfach wird gefordert, den Rohfettgehalt in Milchkuhrationen auf 50 g/kg Trockenmasse (TM) zu begrenzen, um negative Auswirkungen größerer Mengen ungeschützter Fette auf die Faserverdauung und Pansenfermentation zu vermeiden. Deshalb werden häufig obere Einsatzgrenzen von 2 kg/(Kuh x Tag) eingehalten. In der vorliegenden Studie wurde der Einfluss von Rapskuchen (3,6 kg TM/(Kuh x Tag)) auf Futteraufnahme, Milchleistung, -inhaltsstoffe, MilCHFettsäurezusammensetzung sowie Stoffwechselkenngrößen geprüft. Die Studie wurde von August 2007 bis August 2008 an der Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung, Hofgut Neumühle in Rheinland-Pfalz durchgeführt. Zur Verfügung standen 70 Kühe der Rasse Deutsche Holstein. Die gesamte Herde war entweder Kontrollgruppe oder zeitlich versetzt Versuchsgruppe. Der Versuch gliederte sich in sieben Versuchsabschnitte zu je sieben Wochen. Die ersten 14 Tage dienten der Adaptation der Tiere an die Ration und die folgenden fünf Wochen der Datenerfassung. Als Grobfutterkomponenten wurden Gras- und Maissilage (18,2 % bzw. 32,1 % der TM der Ration) sowie Heu (6,9 % der TM der Ration) eingesetzt. Das Grobfutter zu Kraftfutter-Verhältnis in der TM betrug im Mittel 60:40. Die Rationen enthielten in der TM im Mittel aller Versuchsabschnitte 16 % XP, 15 % nutzbares XP am Duodenum (nXP) und 7,1 MJ NEL/kg. Der Rohfettgehalt der Rapskuchen bewegte sich zwischen 18 und 20 % in der TM. Der Glucosinolatgehalt der verfütterten Rapskuchenchargen schwankte zwischen 16,9 und 25,5 mmol/kg. Bei Verfütterung von 3,6 kg TM Rapskuchen je Kuh und Tag stieg die Milchleistung ($p < 0,05$), der MilCHFettgehalt war dagegen deutlich reduziert ($p < 0,05$). Die TM-Aufnahmen waren gegenüber der Kontrollration ebenfalls erhöht ($p < 0,05$). Die zum Teil gesichert höheren MilCHFett- und Milcheiweißmengen in den Versuchsrationen ergeben sich aus den gestiegenen Milchleistungen. Rapskuchen reduzierte ($p < 0,05$) den Anteil an gesättigten Fettsäuren im MilCHFett. Der Gehalt an ungesättigten Fettsäuren im MilCHFett war im Vergleich zur

Kontrollration erhöht ($p < 0,05$). Die Milchjodkonzentration und die über die Milch ausgeschiedene Jodmenge wurden bei Rapskuchenfütterung vermindert ($p < 0,05$). Die Jodkonzentration im Blutserum der Kühe wurde durch Rapskuchen erhöht ($p < 0,05$).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass die Verfütterung von 3,6 kg TM Rapskuchen je Kuh und Tag keine negativen Effekte auf biologische Leistungskenngrößen hatte. Somit kann Rapskuchen Anteile von Proteinfuttermitteln und Getreide in Rationen von hochleistenden Milchkühen ersetzen.

Investigations on the feeding and nutritional value of rapeseed cake of high yielding dairy cows

In recent years there has been a permanent growth in the cultivation of rape due to an increasing demand for biofuel in industry and vegetable oil (e.g. rapeseed oil) in human nutrition. Therefore the number of oil mills producing cold-pressed rapeseed cake has also increased. This in turn has led to increased production/higher amount of rapeseed cake in Germany. Rapeseed cake can be characterized as a feedstuff with a high protein content. However, depending on the production process, rapeseed cake differs in its crude fat content. Therefore rapeseed cake represents a high protein feedstuff with the added benefit of high energy content.

Because high amounts of fat in dairy rations could negatively influence the digestibility and degradability of nutrients in the rumen it is recommended to restrict the crude fat content in dairy rations to 50 g/kg dry matter (DM). In the present study the influence of rapeseed cake (3.6 kg DM) on feed intake, milk yield, milk composition and milk fatty acid composition of high yielding dairy cows was investigated. The study was carried out at the Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung, Hofgut Neumühle (Rhineland-Palatinate) between August 2007 and August 2008. The whole herd (70 cows, German Holstein) was used initially as the control then, seven weeks later, as the experimental group. The trial lasted 49 weeks in total and consisted of seven consecutive trial periods of seven weeks each. The cows were allowed two weeks to adapt to the diet. Data was collected over the following five weeks. Cows received grass silage, maize silage and hay (18.2%, 32.1% and 6.9% of dietary DM respectively). The ratio between basal diet and concentrate was on average 60:40 of dietary DM. All rations contained 16% crude protein (CP), 15% utilizable CP at the duodenum and 7.1 MJ NEL/kg DM. The rapeseed cake varied in crude fat content between 18 and 20% of DM. The content of glucosinolates varied between 16.9 and 25.5 mmol/kg. The cows fed the rapeseed cake diet produced more milk (partly significant; $p < 0.05$) in comparison to the control group. Rapeseed cake decreased the milk fat content significantly and had no effect on the milk protein content. Despite of a significantly lower milk fat content in the experimental group produced more milk fat than cows receiving the control diet, caused by increased milk yield. Higher dry matter intakes ($p < 0.05$) were measured from cows receiving the diets with rapeseed cake or rapeseed cake and solvent-extracted rapeseed meal. Rapeseed cake significantly ($p < 0.05$) reduced the content of saturated fatty acids (SFA) in the milk and the content of unsaturated fatty acids (UFA) was increased ($p < 0.05$). The daily iodine intake was

the same for the first two periods. The cows fed the rapeseed cake diet had a significantly lower milk iodine concentration compared to the soyabean meal diet and therefore milk iodine excretion was drastically reduced. The rapeseed cake diet caused higher serum iodine concentrations and tended to increase the thyroxine (T₄) concentration (p<0.10).

The results show that it is possible to maintain milk production in high yielding dairy cows which are fed with 3.6 kg DM cold pressed rapeseed cake as the main protein source in the diet. The implications of this is that a substitution of extruded soyabean meal (SBM) and parts of barley and corn is possible allowing cows to be fed without genetically modified feedstuffs.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----------|
| Inhaltsverzeichnis | I |
| Abbildungs- und Tabellenverzeichnis | IV |
| Abkürzungsverzeichnis | VII |
| Anhangsverzeichnis | IX |
| | |
| 1 Einleitung | 1 |
| | |
| 2 Literatur | |
| 2.1 Futtermittel aus Raps | 3 |
| 2.1.1 Rapssaat | |
| 2.1.2 Rapskuchen | 4 |
| 2.1.3 Qualitätsmindernde Inhaltsstoffe | 7 |
| 2.1.4 Qualitätsbestimmende Inhaltsstoffe | 10 |
| 2.2 Rapskuchen als Futtermittel | 11 |
| 2.3 Einfluss von fetthaltigen Futtermitteln auf Milchleistung, Milchinhaltsstoffe und Milchfettzusammensetzung | 14 |
| 2.4 Futtermittel aus Raps und deren Einfluss auf die Tiergesundheit | 30 |
| 2.5 Einfluss von Rapskuchen auf die Nährstoffumsetzungen in den Vormägen | 32 |
| 2.6 Lipolyse | 34 |
| 2.7 Biohydrogenierung ungesättigter Fettsäuren im Pansen | 35 |
| 2.8 Schilddrüsenstoffwechsel | 39 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3 | Eigene Untersuchungen | |
| 3.1 | Versuchsanlage, Versuchstiere und Haltung | 42 |
| 3.2 | Rationszusammensetzung | 46 |
| 3.3 | Untersuchung der Futtermittel | 47 |
| 3.4 | Futteraufnahme, Milchmenge und Milchinhaltsstoffe | 48 |
| 3.5 | Energetische Futterwertbestimmung von Rapskuchen für Wiederkäuer | 49 |
| 3.6 | Jodgehalt in der Milch, im Blutserum sowie der Schilddrüsenhormone T ₃ und T ₄ im Blutserum | 50 |
| 3.7 | Gewicht, Körperkonditionsmerkmale und Kenngrößen zum Stoffwechsel der Tiere | 52 |
| 3.8 | Statistische Auswertung | 54 |
| | | |
| 4 | Ergebnisse | |
| 4.1 | Inhaltsstoffe der Futtermittel | 55 |
| 4.2 | Futteraufnahme, Milchmenge und Milchinhaltsstoffe | 57 |
| 4.3 | Fettsäurezusammensetzung der TMR und der Milch | 59 |
| 4.4 | Energetische Futterwertbestimmung von Rapskuchen für Wiederkäuer | 68 |
| 4.5 | Jodgehalt in der Milch, im Blutserum sowie der Gehalt an T ₃ und T ₄ im Blutserum | 71 |
| 4.6 | Gewicht, Körperkonditionsmerkmale sowie Kenngrößen zum Stoffwechsel der Tiere | 72 |
| 4.7 | pH-Wert im Harn und Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (NSBA) | 75 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 5 | Diskussion | |
| 5.1 | Futtermaufnahme, Milchmenge und Milchinhaltstoffe | 77 |
| 5.2 | Milchfettzusammensetzung | 82 |
| 5.3 | Energetische Futterwertbestimmung von Rapskuchen für Wiederkäuer | 83 |
| 5.4 | Jodgehalt in der Milch und im Blutserum | 84 |
| 5.5 | pH-Wert im Harn und Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (NSBA) | 86 |
| 6 | Schlussfolgerungen | 88 |
| 7 | Anhang | 89 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 123 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Grundlegende Konzentrationsänderungen bei der Ölgewinnung aus Rapssaat... | 4 |
| Abbildung 2: Wege der Biohydrogenierung und endogenen Synthese von cis-9, trans-11 CLA durch Δ^9 -Desaturase im Pansen und Gewebe (BAUMAN et. al., 2003).. | 22 |
| Abbildung 3: Beziehung zwischen dem Fettgehalt der Ration und dem Milcheiweißgehalt beim Einsatz von ungeschützten Fetten (JILG et al. 1988) | 23 |
| Abbildung 4: Schematische Darstellung der Lipolyse und der ruminalen Biohydrogenierung ungesättigter Fettsäuren beim Rind..... | 38 |
| Abbildung 5: Jodidtransport in die Schilddrüse und Schilddrüsenhormonproduktion (SPITZWEG und MORRIS, 2002) | 40 |
| Abbildung 6: Versuchsaufbau (Anf.: Anfütterung; Daten: Datenerfassung)..... | 43 |
| Abbildung 7: Typische Qualität (Fettsäurenmuster) von modernem Körnerölraps im Vergleich zu anderen bedeutenden Pflanzenölen (FRIEDT, 2007)..... | 60 |
| Abbildung 8: Fettsäurenverteilung in der Gesamtmischration (TMR) | 61 |
| Abbildung 9: Verdaulichkeit (%) der organischen Masse des Rapskuchens in Abhängigkeit vom Rapskuchenanteil und des Rohfettgehaltes in der Ration | 69 |

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Anbaufläche von Winterraps (ZMP, 2009)..... | 1 |
| Tabelle 2: Rapskuchen im Vergleich, Werte je kg Trockenmasse ((DLG-Futterwerttabelle Schweine (UNIVERSITÄT HOHENHEIM - DOKUMENTATIONSSTELLE, 1991); DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer (UNIVERSITÄT HOHENHEIM DOKUMENTATIONSSTELLE, 1997); JEROCH et al., 1993; SCHÖNE, 1999))5 | 5 |
| Tabelle 3: Glucosinolat-(GSL)-Gehalte im Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen (SCHUMANN, 2005; WEISS, 2006; DUSEL, 2006) | 6 |
| Tabelle 4: Rapssaat, Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot alten und neuen Typs – Qualitätskriterien und Verwendung (SCHÖNE, 1998)..... | 8 |
| Tabelle 5: Einsatzempfehlungen von Rapskuchen (Ø 20 mmol Glucosinolate/kg). (SCHÖNE und REINHOLD, 2005) | 13 |
| Tabelle 6: Versuche mit freiem Fett oder Öl..... | 17 |
| Tabelle 7: Versuchsergebnisse mit Rapskuchen, Rapssaat bzw. Rapsöl | 19 |
| Tabelle 8: Rationszusammensetzung der jeweiligen Versuchsabschnitte | 45 |
| Tabelle 9: Analyisierte Variablen der eingesetzten Futtermittel..... | 47 |
| Tabelle 10: Fütterungsregime Hammeltest | 50 |
| Tabelle 11: Analyisierte Blutparameter | 53 |
| Tabelle 12: Kenngrößen der verfütterten Rapskuchen..... | 55 |
| Tabelle 13: GSL-Gehalt der verfütterten Rapskuchen und des Rapsextraktionsschrotes..... | 56 |
| Tabelle 14: Glucosinolate des Rapskuchen 1 (wurde im 2. Versuchsabschnitt verfüttert)..... | 56 |
| Tabelle 15: Futteraufnahme, Milchmenge und Milchhaltsstoffe | 57 |
| Tabelle 16: Fettsäurenmuster der analysierten Milchfettproben, bezogen auf 100 % der analysierten FS im Milchfett | 62 |
| Tabelle 17: Fettsäurenmuster der analysierten Milchfettproben, bezogen auf 100 % der analysierten FS im Milchfett. | 63 |
| Tabelle 18: Ungesättigte Fettsäuren der analysierten Milchfettproben, bezogen auf 100 % der analysierten FS im Milchfett | 65 |
| Tabelle 19: Gesättigte Fettsäuren der analysierten Milchfettproben, bezogen auf 100 % der analysierten FS im Milchfett | 66 |
| Tabelle 20: Fettsäurenmenge bezogen auf den Gesamtfettgehalt der Milch in Abhängigkeit von der Fütterung (in g/Tag) | 67 |
| Tabelle 21: Rohnährstoffe des Heus und des Rapskuchens | 68 |
| Tabelle 22: Mittlere Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe von Rapskuchen..... | 68 |

| | |
|--|----|
| Tabelle 23: Konzentration der Milch an Jod, Jodaufnahme pro Tag, Jod in der Tagesmilchmenge absolut und prozentual an der Jodaufnahme (n=21, Mittelwert \pm Standardabweichung)..... | 71 |
| Tabelle 24: Gehalt des Blutserums an Jod und Schilddrüsenhormonen (T_3 und T_4) und Anteil des Hormonjods am Serumjodgehalt (n=21, Mittelwert \pm Standardabweichung) 72 | |
| Tabelle 25: Gewicht und Körperkonditionsbeurteilung über den gesamten Versuchszeitraum | 73 |
| Tabelle 26: Kenngrößen zum Stoffwechsel der Tiere..... | 74 |
| Tabelle 27: Harn-pH-Werte | 75 |
| Tabelle 28: NSBA-Werte | 75 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|--------|--|
| Abs. | Abschnitt |
| ADForg | acid detergent fibre (exclusive of residual ash) |
| AfBN | Ausschuß für Bedarfsnormen |
| ASAT | Aspartat-Aminotransferase |
| BCS | Body Condition Score |
| BHB | Betahydroxybutyrat |
| CLA | conjugated linoleic acid |
| Cys | Cystein |
| D | Deutschland |
| DGE | Deutsche Gessellschaft für Ernährung |
| DLG | Deutsche Landwirtschafts Gesellschaft |
| DLR | Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum |
| EBA | Erstbesamungsalter |
| EU | Europäische Union |
| Fa. | Firma |
| FFA | free fatty acid |
| FM | Frischmasse |
| FS | Fettsäure |
| FTIR | Fourier Transformations-Infrarot-Spektroskopie |
| GLDH | Glutamat-Dehydrogenase |
| GmbH | Gesellschaft mit beschränkter Haftung |
| GSL | Glucosinolate |
| HPLC | Hochleistungsflüssigkeitschromatographie |
| LCFA | long chain fatty acid |
| LKV | Landeskontrollverband |
| LLFG | Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau |
| LUFA | Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt |
| LVAV | Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung |
| ME | metabolisable energy |
| MEO | mixture of essential oil compounds |
| Met | Methionin |
| MHz | Megahertz |
| min | Minimum |
| MJ | Energieeinheit: Mega Joule |
| MUFA | mono unsaturated fatty acid |
| NDForg | neutral detergent fibre (exclusive of residual ash) |
| NEFA | non esterified fatty acid |
| NEL | Netto-Energie Laktation |
| NFC | non fibre carbohydrates |
| NSBA | Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung |
| nXP | nutzbares Rohprotein am Duodenum |
| p | Irrtumswahrscheinlichkeit |
| PUFA | poly unsaturated fatty acid |
| RES | Rapsextraktionsschrot |
| RFD | Rückenfettdicke |
| RK | Rapskuchen |
| RLP | Rheinland-Pfalz |
| RNB | Ruminale -Stickstoff-Bilanz |
| rpm | Umdrehungszahl |
| SD | standard deviation |
| SES | Sojaextraktionsschrot |
| SFA | saturated fatty acid |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|----------------|---|
| T ₃ | Thyronin |
| T ₄ | Thyroxin |
| Tab. | Tabelle |
| TiHo | Tierärztliche Hochschule |
| TM | Trockenmasse |
| TMR | Totale-Misch-Ration |
| TS | Trockensubstanz |
| TVA | Transvaccensäure |
| U | Maßeinheit der Enzymaktivität |
| UDP | undegradable protein |
| UFOP | Union zur Förderung der Öl- und Proteinpflanzen |
| USA | Vereinigte Staaten von Amerika |
| VDLUFA | Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten |
| VLDL | very low density lipoprotein |
| WL | wasserlöslich |
| XA | Rohasche |
| XF | Rohfaser |
| XL | Rohfett |
| XP | Rohprotein |
| XS | Stärke |
| ZMP | Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle |

Anhangsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabelle A 1: Rohnährstoffe der 12 Rapskuchen | 89 |
| Tabelle A 2: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 1. Versuchsabschnittes (Kontrolle) | 90 |
| Tabelle A 3: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 2. Versuchsabschnittes (Rapskuchen) | 90 |
| Tabelle A 4: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 3. Versuchsabschnittes (Kontrolle) | 91 |
| Tabelle A 5: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 4. Versuchsabschnittes (Rapskuchen) | 91 |
| Tabelle A 6: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 5. Versuchsabschnittes (Kontrolle) | 92 |
| Tabelle A 7: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 6. Versuchsabschnittes (Rapskuchen + Rapsextraktionsschrot) | 92 |
| Tabelle A 8: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 7. Versuchsabschnittes (Kontrolle) | 93 |
| Tabelle A 9: Probe 1 Versuchsabschnitt 1 (Versuchsbeginn; Kontrolle) | 94 |
| Tabelle A 10: Probe 2 Versuchsabschnitt 1 (Versuchsende, Kontrolle) | 95 |
| Tabelle A 11: Probe 1 Versuchsabschnitt 2 (Versuchsbeginn; Rapskuchen) | 96 |
| Tabelle A 12: Probe 2 Versuchsabschnitt 2 (Versuchsende; Rapskuchen) | 96 |
| Tabelle A 13: Probe 1 Versuchsabschnitt 3 (Versuchsbeginn, Kontrolle) | 98 |
| Tabelle A 14: Probe 2 Versuchsabschnitt 3 (Versuchsende; Kontrolle) | 99 |
| Tabelle A 15: Probe 1 Versuchsabschnitt 4 (Versuchsbeginn, Rapskuchen) | 100 |
| Tabelle A 16: Probe 2 Versuchsabschnitt 4 (Versuchsende; Rapskuchen) | 101 |
| Tabelle A 17: Probe 1 Versuchsabschnitt 5 (Versuchsbeginn; Kontrolle) | 102 |
| Tabelle A 18: Probe 2 Versuchsabschnitt 5 (Versuchsende; Kontrolle) | 103 |
| Tabelle A 19: Probe 1 Versuchsabschnitt 6 (Versuchsbeginn; Rapskuchen + Rapsextraktionsschrot) | 104 |
| Tabelle A 20: Probe 2 Versuchsabschnitt 6 (Versuchsende; Rapskuchen + Rapsextraktionsschrot) | 105 |
| Tabelle A 21: Probe 1 Versuchsabschnitt 7 (Versuchsbeginn; Kontrolle) | 106 |
| Tabelle A 22: Probe 2 Versuchsabschnitt 7 (Versuchsende; Kontrolle) | 107 |
| Tabelle A 23: Konzentration des Jods in der Milch bezogen auf das Lyophilisat (Lyo) und die Frischsubstanz, Tagesmilchmenge pro Kuh und Gesamtmenge Jod in der Tagesmilch; (Versuchsabschnitt I: Kontrolle) | 108 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle A 24: Konzentration des Jods in der Milch bezogen auf das Lyophilisat (Lyo) und die Frischsubstanz, Tagesmilchmenge pro Kuh und Gesamtmenge Jod in der Tagesmilch; (Versuchsabschnitt II: Rapskuchen)..... | 109 |
| Tabelle A 25: Gehalt des Blutserums an Jod insgesamt und an Schilddrüsenhormonen, sowie die auf die Schilddrüsenhormone entfallenen Jodanteile (Versuchsabschnitt I, Kontrolle) | 110 |
| Tabelle A 26: Gehalt des Blutserums an Jod insgesamt und an Schilddrüsenhormonen, sowie die auf die Schilddrüsenhormone entfallenen Jodanteile (Versuchsabschnitt II, Rapskuchen) | 111 |
| Tabelle A 27: Fettsäuremuster der analysierten Milchfettproben, bezogen auf 100 % der analysierten Fettsäuren im Milchfett (Versuchsabschnitt 1)..... | 112 |
| Tabelle A 28: Fettsäuremuster der analysierten Milchfettproben, bezogen auf 100 % der analysierten Fettsäuren im Milchfett (Versuchsabschnitt 2)..... | 117 |
| Tabelle A 29: Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe und Energiegehalte von Rapskuchen bei unterschiedlichen Rapskuchenanteilen | 122 |

1. Einleitung

Raps (*Brassica napus*) gehört zur Gattung Brassica der Familie der Kreuzblütler (*Brassicaceae*) und stammt wahrscheinlich aus Asien und dem Mittelmeerraum (FRIEDT, 2007). In 2009 haben die deutschen Landwirte 1,46 Millionen Hektar Raps angebaut und konnten 6,2 Millionen Tonnen Raps ernten (UFOP, 2009). Das sind 100.000 Hektar bzw. 7,3 Prozent mehr als 2008 geerntet wurden (vgl. Tabelle 1) (ZMP, 2009). Der enorme Rapsanbau in den letzten Jahren lässt sich zum einen auf die gestiegene Nachfrage in der Humanernährung und zum anderen auf eine verstärkte Nutzung des Rapsöles als Biodiesel (Fettsäuremethylester) und als Brennstoff zurückführen.

Tabelle 1: Anbaufläche von Winterraps (ZMP, 2009)

| Jahr | Gesamte Anbaufläche (in 1.000 Hektar) |
|------|---------------------------------------|
| 2004 | 1.257 |
| 2005 | 1.323 |
| 2006 | 1.410 |
| 2007 | 1.539 |
| 2008 | 1.365 |
| 2009 | 1.462 |

Die beim Ölentzug anfallenden Koppelprodukte wie Rapskuchen (RK) und Rapsextraktionsschrot (RES) stellen hochwertige Futtermittel dar und können somit in der Fütterung landwirtschaftlicher Nutztiere sehr gut eingesetzt werden. Die Verfütterung von Rapssaat lohnt in der Regel nur bei entsprechend niedrigen Preisen, wie sie 1992 und 1993 den Landwirten gezahlt wurden (DAYVES, 2001; SCHÖNE et al, 2002). Der Einsatz von Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen in der Wiederkäuerfütterung (Milchkühe, Mastrinder) hat sich bewährt. Durch futtermitteltechnologische Behandlung (z. B. Toasten, Behandlung mit Formaldehyd, druck-thermische Behandlung) dieser zuvor genannten Futtermittel könnte die Verdaulichkeit und eine effizientere Nutzung der Nährstoffe noch verbessert werden.

Allgemein gefasste Qualitätskriterien für Rapsprodukte als Futtermittel lassen sich – wie für jedes andere Futtermittel auch – sinngemäß aus § 1 des Futtermittelgesetzes (ANONYM, 2008) ableiten, in dem als Zweck des Gesetzes festgelegt ist, dass (1) die Leistungsfähigkeit von Nutztieren erhalten und verbessert wird, (2) durch Futtermittel die Gesundheit von Nutztieren nicht beeinträchtigt wird und (3) die von Nutztieren gewonnenen Erzeugnisse

unter anderem unbedenklich für die menschliche Gesundheit zu sein haben (ANONYM, 2008).

Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot werden seit vielen Jahren als Futtermittel in der landwirtschaftlichen Nutztierernährung, vor allem bei Milchkühen und Mastrindern mit gutem Erfolg eingesetzt. Rapskuchen kann aufgrund seiner Inhaltsstoffe als energiereiches Eiweißfuttermittel eingestuft werden. Neben qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffen enthalten Rapskuchen je nach Abpressgrad unterschiedliche Anteile an Glucosinolaten, welche die Futteraufnahme sowie den Schilddrüsenstoffwechsel beeinflussen können.

Ziel der vorliegenden Studie war es, eine futtermittelkundliche sowie ernährungsphysiologische Bewertung von Rapskuchen für Milchkühe vorzunehmen. Mit den derzeit zur Verfügung stehenden Methoden sollte die Datengrundlage zur Charakterisierung zum Protein- und Energiewert des Futtermittels Rapskuchen erweitert werden. Im Rahmen eines Fütterungsversuches an der Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung, Hofgut Neumühle sollte die Frage geklärt werden, ob Rapskuchen in Rationen von hochleistenden Milchkühen Sojaextraktionsschrot sowie Anteile an Getreide ersetzen kann. Hierbei wurde untersucht, welche Auswirkungen bei Verfütterung von vier kg Rapskuchen (3,6 kg Trockenmasse, TM) je Kuh und Tag auf die biologischen Leistungsmerkmale zu erwarten sind. Um den Effekt der Glucosinolate bewerten zu können, wurden Kenngrößen zum Schilddrüsenstoffwechsel der Kühe erhoben.

2. Literatur

2.1 Futtermittel aus Raps

2.1.1 Rapssaat

Rapssaat enthält im Mittel etwa 23 % Rohprotein, 44 % Rohfett und ca. 7,5 % Rohfaser in der TM. Der Energiegehalt liegt bei ca. 10,7 MJ NEL/kg TM (UNIVERSITÄT HOHENHEIM – DOKUMENTATIONSSTELLE, 1997). Rapssaat wird in der Regel nicht an Wiederkäuer verfüttert, weil eine Auspressung oder Extraktion des wertvollen Öles als wirtschaftlicher angesehen werden kann. Die dabei anfallenden Koppelprodukte wie Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot stellen hochwertige Futtermittel dar, welche an landwirtschaftliche Nutztiere verfüttert werden können, um so importierte Proteinträger wie z. B. Sojaextraktionsschrot zu ersetzen.

Legt man den Fokus auf eine Qualitätsoptimierung der Verarbeitungsprodukte, richten sich die Ansprüche in erster Linie auf den Glucosinolat-(GSL)-Gehalt und damit auf die Verwertung des Presskuchens in der Tierernährung. Gefordert werden Chargen mit relativ geringem GSL-Gehalt, da dieser den Mischungsanteil des jeweilig verfütterten Rapsfuttermittels in Futterrationen maßgeblich bestimmen kann (SCHUMANN und GRAF, 2005). Moderne 00-Rapssorten zeichnen sich durch niedrige GSL-Gehalte von meist < 18 µmol/g aus. In Raps-Handelsware sollten GSL-Gehalte von 25 µmol/g nicht überschritten werden (SCHUMANN und GRAF, 2005).

Der tatsächliche GSL-Gehalt einer Erntepartie hängt von mehreren Faktoren, wie der angebauten Rapssorte und zusätzlich von bestimmten Anbaubedingungen wie z. B. dem Durchwuchs von glucosinolatreichem Altraps, der Schwefelversorgung des Standortes und anderen mehr ab (SCHUMANN und SCHULZ, 2000).

2.1.2 Rapskuchen

Rapskuchen fällt als Koppelprodukt bei der Rapsölgewinnung durch mechanisches Abpressen in dezentralen sowie zentralen Ölmühlen an. In den Jahren 2006 bis 2008 war eine steigende Zahl von Ölmühlen in der Bundesrepublik zu verzeichnen. Durch den Ölentzug aus der Rapssaat werden im Kuchen erwünschte Bestandteile wie Rohprotein, aber auch qualitätsmindernde Bestandteile wie Rohfaser angereichert (Abbildung 1).

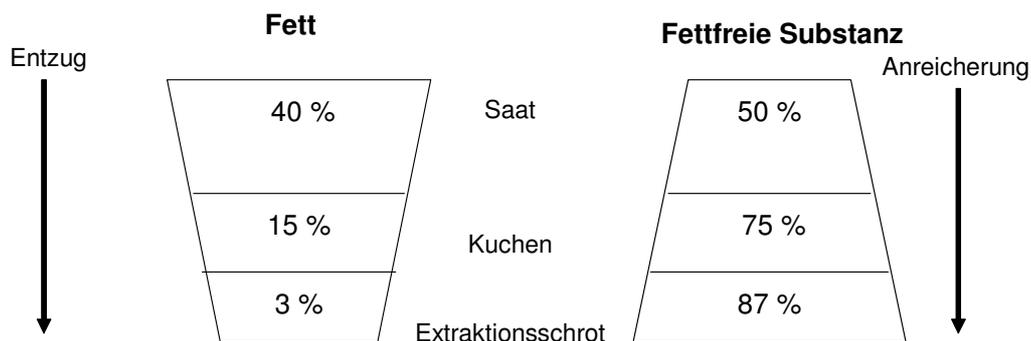


Abbildung 1: Grundlegende Konzentrationsänderungen bei der Ölgewinnung aus Rapssaat:

Das Auspressen des Energieträgers Fett reichert die „Nicht-Fett-Substanz“ an, die energieärmer ist, zumal sie mehr Lignin enthält, das dem Nutztier nicht verfügbar ist. Die Angaben beziehen sich auf 90 % lufttrockene Substanz. Streng genommen ist beim Pressen des Öles auch ein Wasserentzug zu berücksichtigen. Beispiel: Aus 1000 g Rapssamen mit angenommen 400 g Fettgehalt werden 300 g Öl gepresst, dabei 30 g Wasser entzogen. Es bleiben 670 g Pressrückstand mit 100 g Fett; damit enthalten 1000 g Presskuchen bei 895 g Trockenmasse 149 g Fett (SCHÖNE und REINHOLD, 2005).

Rapskuchen schwankt in seiner Zusammensetzung und im Futterwert je nach Presseneinstellung im Fettgehalt und somit im energetischen Futterwert mehr oder weniger stark. Der Tabelle 2 sind die Inhaltsstoffe von Rapskuchen im Vergleich zu Rapsextraktionsschrot, Rapssaat und Sojaextraktionsschrot (SES) zu entnehmen.

Tabelle 2: Rapskuchen im Vergleich, Werte je kg Trockenmasse ((DLG-Futterwerttabelle Schweine (UNIVERSITÄT HOHENHEIM - DOKUMENTATIONSSTELLE, 1991); DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer (UNIVERSITÄT HOHENHEIM - DOKUMENTATIONSSTELLE, 1997); JEROCH et al., 1993; SCHÖNE, 1999))

| | | Rapskuchen | | | RES | Rapssaat | SES |
|------------|----|----------------|-------|-------|-------------------|----------|------|
| | | Fettgehalt (%) | | | | | |
| | | 8-11 | 12-15 | 16-19 | 1-5 ¹⁾ | 40 | 1-3 |
| Rohprotein | g | 370 | 360 | 350 | 392 | 227 | 510 |
| nXP | g | 217 | 210 | 204 | 219 | 100 | 288 |
| Rohfaser | g | 128 | 119 | 111 | 131 | 75 | 67 |
| Lignin | g | 85 | 82 | 80 | 90 | 70 | 28 |
| Lysin | g | 20 | 19 | 18 | 22 | 13 | 30 |
| Met + Cys | g | 17 | 16 | 15 | 19 | 10 | 15 |
| Threonin | g | 17 | 16 | 15 | 18 | 10 | 21 |
| Phosphor | g | 10 | 9 | 9 | 12 | 7 | 7 |
| NEL | MJ | 8,0 | 8,3 | 8,6 | 7,3 | 10,8 | 8,6 |
| ME Rind | MJ | 13,1 | 13,5 | 14,0 | 12,0 | 17,7 | 13,8 |
| ME Schwein | MJ | 12,4 | 13,2 | 14,0 | 11,1 | 19,8 | 14,6 |

¹⁾ nach Zugabe von Rohlecithin; RES: Rapsextraktionsschrot; SES: Sojaextraktionsschrot

nXP = nutzbares Protein: Proteinmenge, die im Dünndarm zur Verfügung steht und sich aus dem im Pansen gebildeten Mikrobenprotein und dem im Pansen nicht abgebauten Futterprotein („Durchflussprotein“, undegraded protein-UDP) zusammensetzt.

NEL = Nettoenergie-Laktation; ME = Umsetzbare Energie

Neben den oben beschriebenen qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffen werden jedoch auch die Glucosinolate im Presskuchen je nach Ausgangsmaterial angereichert. Die wesentlichen Fortschritte bei der Senkung des Glucosinolatgehaltes von Körnerraps konnten zweifellos durch die Züchtung erreicht werden, wobei dies vor allem durch Reduktion des Gehaltes an Alkenylglucosinolaten erreicht wurde. WERTEKER und KRAMREITHER (2002) analysierten und dokumentierten den Gesamtglucosinolatgehalt und das Glucosinolatspektrum von Körnerraps der Ernten 1999, 2000 und 2001. Es konnte ein deutlicher Einfluss des Erntejahres auf den Glucosinolatgehalt beobachtet werden, welcher alle Glucosinolate in etwa gleichem Ausmaß betraf. Wesentlich stärker trat jedoch die Wechselwirkung zwischen Glucosinolatgehalt und Sorte zu Tage, was die Ergebnisse von KRZYMANSKA et al. (1997) bestätigt. Neben den Samen enthalten auch vegetative Pflanzenteile, wie Stängel, Blätter und Wurzel Glucosinolate. Durch Zerstörung der

Pflanzenzelle baut das Enzym β -Thioglucosidase die Glucosinolate unter anderem in Glucose, Isothiocyanate oder Nitrile ab (ROTHER et al., 2004). Gleiche Autoren analysierten die Glucosinolatgehalte im Blatt, Stängel und Wurzel von fünf verschiedenen Rapssorten. Der Glucosinolatgehalt in der Wurzel (52,6 $\mu\text{mol/g}$) war um ein vielfaches höher als in Blatt (1,5 $\mu\text{mol/g}$) und Stängel (15,4 $\mu\text{mol/g}$). Die Glucosinolatgehalte in Rapsextraktionsschroten und Rapskuchen, die in verschiedenen deutschen Untersuchungen ermittelt wurden, sind in der Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Glucosinolat-(GSL)-Gehalte im Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen (SCHUMANN, 2005; WEISS, 2006; DUSEL, 2006)

| Probenherkunft | Proben- anzahl | GSL-Gehalte | Rohfettgehalt |
|-------------------------------|-------------------|---|--------------------------------------|
| | | (mmol/kg TM) Mittelwert (min-max) | (% i. TM) Mittelwert (min-max) |
| Rapsextraktionsschrot | | | |
| 10 deutsche Ölmühlen 2000/03 | 637 | 8,3 (1-20) | |
| UFOP-Monitoring 2005 | 68 | 8,2 (4,4-11,2) | |
| Rapskuchen | | | |
| 6 Anlagen verschiedener Größe | 85 | 22,1 (15-29) | 12,6 (9-17) |
| 31 dezentrale Anlagen | 94 | 15,9 (7-28) | 15,1 (9-28) |
| 22 dezentrale Anlagen | 22 | 13,5 (5-22,4) | 16,9 (12,9-24,3) |

Die Mittelwerte unterscheiden sich in Abhängigkeit von der Art der Anlage. Die Kuchen aus den dezentralen Anlagen weisen Mittelwerte von 15,9 und 13,5 mmol/kg TM auf. Sie liegen damit um 94 bzw. 64 % über den Mittelwerten des Extraktionsschrotes. Auffallend ist die große Streubreite. Es kann davon ausgegangen werden, dass dies in erster Linie auf unterschiedliche Glucosinolatgehalte der verschiedenen Rapssorten zurückzuführen ist, denn bei der so genannten Kaltpressung werden die Glucosinolate, wenn überhaupt, nur in ganz geringem Umfang abgebaut (WEISS und SCHÖNE, 2006). In der Regel enthält der Presskuchen höhere GSL-Gehalte als die verarbeitete Rapssaat. Nach der unten aufgeführten Gleichung kann der maximal im Rapskuchen zu erwartende GSL-Gehalt aus dem GSL-Gehalt der gepressten Saat sowie dem Grad des Fettentzuges errechnet werden (alle Rechnungen auf Basis TM):

$$\text{GSL}_{\text{RKmax}} = \text{GSL}_{\text{Saat}} \times \frac{100 - \text{RF}_{\text{RK}}}{100 - \text{RF}_{\text{Saat}}}$$

Hohe GSL-Gehalte im Samen und niedrige Restfettgehalte (hohe Abpressgrade) im Kuchen führen zu hohen GSL-Gehalten im Pressgut. Der in der Gleichung theoretisch maximal zu erwartende GSL-Gehalt wird nur dann erreicht, wenn während der Verarbeitung der Rapssaat in der Ölmühle kein thermischer oder hydrolytischer GSL-Abbau stattgefunden hat. Ein teilweise thermischer GSL-Abbau tritt erst bei Temperaturen über 100 °C auf. Die normalerweise in dezentralen Anlagen erreichten Temperaturen von bis zu 80 °C verursachen dementsprechend keinen thermischen GSL-Abbau. Ein hydrolytischer Abbau setzt das Vorhandensein von aktiver Myrosinase voraus. Dies ist bei der Verarbeitung von Rapssaat in dezentralen Ölmühlen der Fall, da hier auf eine Saatkonditionierung, bei der die Myrosinase deaktiviert würde, verzichtet wird. Diese Hydrolyse verläuft allerdings nur bei Feuchtegehalten des Presskuchens $\geq 10\%$ mit nennenswerter Geschwindigkeit ab. Wird dagegen Raps mit Saatfeuchten von 7 bis 8 % gepresst, findet kaum ein hydrolytischer GSL-Abbau statt (SCHUMANN und GRAF, 2005). Geht man davon aus, dass die Myrosinase bei 40 bis 70 °C ihre höchste Aktivität besitzt, nimmt die Geschwindigkeit der Hydrolyse mit steigender Temperatur während des Pressvorganges zu. Die üblicherweise während des Pressvorganges auftretenden Temperaturen von bis zu 80 °C (wie oben angeführt) verursachen keinen nennenswerten GSL-Abbau. Sie können jedoch wegen des vergleichsweise hohen Temperaturoptimums der Myrosinase einen hydrolytischen GSL-Abbau begünstigen, sofern genügend Feuchtigkeit vorhanden ist (SCHUMANN, 2005).

2.1.3 Qualitätsmindernde Inhaltsstoffe

Neben den zuvor beschriebenen Glucosinolaten gehören auch Erucasäure, Sinapin, Tannine und Phytinsäure, auch in den 00-Rapssorten zu den qualitätsmindernden Inhaltsstoffen.

Bei den früher vorhandenen Glucosinolatkonzentrationen bestand die Gefahr, dass die Leistung, teilweise sogar die (Schilddrüsen)- Gesundheit der Nutztiere beeinträchtigt wurde (Tabelle 4). Die heute angebauten Doppelnulrapssorten enthalten im Vergleich zu den alten Rapssorten nur noch ein Fünftel der Glucosinolate (SCHÖNE und REINHOLD, 2005).

Tabelle 4: Rapssaar, Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot alten und neuen Typs - Qualitätskriterien und Verwendung (SCHÖNE, 1998)

| Bezeichnung | Qualitätskriterien | | Verwendung |
|------------------------|--------------------|--|---|
| | Erucasäure g/kg | Konzentration Glucosinolate + Abbauprodukte mmol ² /kg | |
| Herkömmlich | | | |
| Saat | 200 ¹⁾ | 75 | Gewinnung technischer Öle |
| Kuchen ³⁾ | < 70 | 105 | } Futter Wiederkäuer bzw. Düngemittel |
| Extraktionsschrot | < 20 | 125 | |
| Einfach (Null)qualität | | | |
| Saat | < 30 ¹⁾ | 75 | Gewinnung Speiseöl, bei Produktions- überschüssen auch technischer Öle |
| Kuchen ³⁾ | < 7 | 105 | } Futter Wiederkäuer bzw. Düngemittel |
| Extraktionsschrot | < 3 | 125 | |
| Doppel(Null)qualität | | | |
| Saat | < 30 ¹⁾ | 18 | Gewinnung Speiseöl, bei Produktions- überschüssen auch technischer Öle |
| Kuchen ³⁾ | < 7 | < 25 ⁴⁾ | Futter, Schwein, Huhn |
| Extraktionsschrot | < 3 | < 15 ⁴⁾ | und Wiederkäuer |

¹⁾ Rapsöl aus herkömmlicher Saat enthält 500 g Erucasäure/kg, das aus Einfach- und Doppelnullqualitätssaat deutlich unter 50 g Erucasäure/kg

²⁾ 1 mmol Glucosinolate als gewogenes Mittel aus den Molgewichten der 8 in Raps vorkommenden Glucosinolaten entspricht etwa 0,45 g

³⁾ Annahme von 135 g Rohfett/kg im Kuchen. Glucosinolanreicherung im Vergleich zur Ausgangssaat entsprechend dem Fettentzug um über ein Drittel.

⁴⁾ Orientierungswerte Tierernährung: Würde kein Glucosinolatabbau bei der Verarbeitung in der Ölmühle angenommen, käme es zur Anreicherung der Glucosinolate um zwei Drittel. Unter den üblichen Verarbeitungsbedingungen bewirken Feuchtigkeit und Hitze während Konditionierung und Toastung einen Abbau der Glucosinolate um bis zu zwei Drittel der Konzentration in der Ausgangssaat (HENKEL u. KALLWEIT, 1993).

Die Glucosinolate, welche vorwiegend den Futtermittelverzehr von monogastrischen Tieren (Schwein, Huhn) hemmen, können bereits in den Ölmühlen durch eine optimierte Temperaturführung und Behandlungsdauer beim „Toasten“ des Extraktionsschrotes nach der Entfernung des Öles um durchschnittlich 65 % auf nur noch ein Drittel des Ausgangsgehaltes der Rapssaat reduziert werden (HENKEL und KALLWEIT, 1993). Die flüchtigen Spaltprodukte ((Iso-) Thiocyanat, Nitril) der Glucosinolate, die den Schilddrüsen- oder

Leberstoffwechsel beeinträchtigen können (GUTZWILLER, 1996), lassen sich ebenfalls durch die zuvor beschriebenen Maßnahmen reduzieren (HENKEL, 1996).

Könnte der Glucosinolatgehalt durch das oben beschriebene Verfahren in Rapsextraktionsschrot auf 5 $\mu\text{mol/g}$ gesenkt werden, so würden dann die Höchstanteile von Rapsextraktionsschrot in Rationen von Schweinen und Geflügel nicht mehr durch den Glucosinolatgehalt, sondern durch die Energiekonzentration und die Nährstoffgehalte und Zusammensetzung (Rohproteinkonzentration, Aminosäurenmuster des Proteins) bestimmt (SÜDEKUM, 2002). Die im Jahre 2000 von SCHUMANN und SCHULZ veröffentlichten Daten für Handelspartien von Rapsextraktionsschrot aus verschiedenen Bundesländern (92 Proben, aus dem Zeitraum 1995-2000) ergaben einen mittleren Glucosinolatgehalt von 13,6 $\mu\text{mol/g}$. Dieser ermittelte Wert lag fast so hoch wie bei den Rapssaaten der in Deutschland im Jahr 2000 in Bundes- und EU-Sortenversuchen geprüften Rapsorten, er betrug knapp 14,8 $\mu\text{mol/g}$ Saat (SAUERMAN und GRONOW, 2001). Die Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass die technisch realisierbare Temperaturführung beim Toasten noch bei weitem nicht überall erreicht ist. Der Anteil der Partien, die den bisherigen EU-Grenzwert für 00-Raps von 25 $\mu\text{mol/g}$ überschritten, lag bei 0,3 %. Der Raps aus deutscher Produktion zeichnet sich somit durch ein vergleichsweise niedriges GSL-Niveau aus, welches nur 2-3 $\mu\text{mol/g}$ über den Werten von Canola-Handelsware (Canadian oil low acid) liegt. Legt man den Fokus auf eine weitere Qualitätsverbesserung, ist die Einführung eines strengeren Qualitätsstandards für Handelspartien von z. B. 18 $\mu\text{mol/g}$ möglich und sinnvoll. Ein erhöhtes Risiko besteht bei importierten Rapssaaten aus einigen osteuropäischen Ländern, in denen hohe GSL-Gehalte von bis zu 60 $\mu\text{mol/g}$ nachgewiesen wurden (SCHUMANN, 2005).

Neben dem positiven Effekt des GSL-Abbaus kann das Toasten bei höheren Temperaturen auch zu unerwünschten Folgen, wie z. B. zur Farbvertiefung der Schrote und zur Abnahme der Eiweiß- und der Lysinverdaulichkeit führen. Insbesondere überhitzte Schrote zeigen häufig eine mehr oder weniger intensive Braunfärbung, die hauptsächlich auf Reaktionen zwischen den Aminogruppen der Proteine und Carbonylgruppen reduzierender Kohlenhydrate zurückzuführen ist (Maillard-Reaktion). Von der Maillard-Reaktion betroffen sind vor allem die aus der Proteinkette herausragenden ϵ -Aminogruppen des Lysins. Das Lysin ist dann durch die Substitution mit dem Zucker enzymatisch nicht mehr umsetzbar und damit für die Resorption nicht mehr „verfügbar“. Folge ist eine erhebliche Verminderung der physiologischen Wertigkeit des Proteins (LUDWIG, 1996). Um die beschriebene Proteinschädigung möglichst gering zu halten, arbeiten moderne Anlagen in Deutschland

deshalb nicht mehr – wie noch vor 15 Jahren üblich – bei Temperaturen von über 110 °C, sondern im Bereich von 102 bis 106 °C (MÜNCH, 2003).

Weiterhin zählt neben den beschriebenen Glucosinolaten das Sinapin in Rapssaat zu den qualitätsmindernden Inhaltsstoffen. Dessen Abbauprodukt Trimethylamin führt bei genetisch entsprechend veranlagten Legehennen zu Fischgeruch im Ei (JEROCH et al., 2008 b). Nach Identifizierung des Gens für den Enzymdefekt bei braunschalig Eier legenden Hennen (HUNKATUKIA et al., 2005) wurden Stämme gezüchtet, die Trimethylamin (TMA)-Oxidase bilden. Seit 2007 können an Braunleger der Herkünfte Lohmann und Hisex & Nelson Rationen mit Rapsfuttermitteln verfüttert werden (POTTGÜTER, 2006). Trimethylamin lässt sich durch eine kombinierte chemisch-physikalische Behandlung (4 % Na₂CO₃, 30x10⁵ Pascal, 90 °C, 45 min) um 98 % reduzieren (TAYARANIAN, 1991). Als weiterer Effekt der beschriebenen Kombinationsbehandlung konnten auch die Glucosinolatgehalte um im Mittel 90 % reduziert werden.

Um die Gehalte an Tanninen und Phytinsäure, welche den Energiegehalt bzw. die Phosphorverfügbarkeit bei Schwein und Geflügel vermindern, zu reduzieren, lässt sich als eine Maßnahme die Schälung der Rapssaat anführen, um eine Qualitätssteigerung des erzeugten Extraktionsschrotes zu erzielen (SÜDEKUM, 2002). Die technische Umsetzung dieser Maßnahme ist gegeben (IKEBUDO et al., 2000), stehen jedoch die Kosten, aufgrund der unzureichenden Verwertungsmöglichkeit der anfallenden Schalen gegenüber (DACCORD, 1996). Mittels Züchtung ist ebenfalls eine Verringerung der Gehalte an Tanninen und Phytinsäure, um eine Qualitätsverbesserung der Rapsverarbeitungsprodukte zu erzielen, möglich und wird auch diskutiert (vgl. LÜHS et al., 2001).

2.1.4 Qualitätsbestimmende Inhaltsstoffe

Zu den qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffen zählen Öl (im Mittel 44 % Rohfett in der TM) und Protein (im Mittel 23 % Rohprotein in der TM). Das Öl dient vor allem der menschlichen Ernährung und die positiven Eigenschaften wurden umfassend charakterisiert (ATTENBERGER et al., 2005). In spezifischen Anwendungen bei landwirtschaftlichen Nutztieren ist das Öl ebenso wirksam (BRINKMANN und MOLNAR, 1998).

In Rationen von Milchkühen, deren Grobfutteranteil aus Winterweizen-Ganzpflanzsilage und Maissilage bestand, konnte durch isoenergetischen und isonitrogenen Austausch von Weizen und Rapsextraktionsschrot gegen 1,3 kg Rapssaat (0,55 kg Rapsfett) pro Tag in unterschiedlicher physikalischer Form ein extrem hartes Milchfett (Jodzahl = 25; Festfettanteil = 66 %) so verändert werden, dass ein Milchfett mit Sommerfettcharakter

erreicht wurde (Jodzahl = 34, Festfettanteil = 51 %) (FREDE et al., 1992). Neben einer Erhöhung des Stearinsäuregehaltes (C 18:0) zeigte sich dieser Effekt im MilCHFettsäurenmuster besonders durch erhöhte Anteile an langkettigen ungesättigten Fettsäuren. Vor allem der Gehalt an Ölsäure (C 18:1) konnte zu Lasten der beiden langkettigen gesättigten Fettsäuren mit 14 und 16 C-Atomen erhöht werden (vgl. PHILIPCZYK, 1990).

STOLL et al. (2001) erzielten gleichgerichtete Effekte auf das MilCHFettsäurenmuster bei Milchkühen bei Verfütterung einer Grundration aus Heu (ad libitum) und Futterrüben (2,2 kg TM) mit Mengen von 1 bzw. 1,5 kg gemahlener Rapssaat im Austausch gegen eine Getreidemischung. Neben den positiven Auswirkungen auf die Streichfähigkeit von Butter sowie auf das MilCHFettsäurenmuster wurden bei Verfütterung von Rapssaat zwischen 1 und 1,5 kg pro Tag im Austausch gegen Getreide oder Getreidemischungen die rheologischen Eigenschaften („Festigkeit“) des Käseteigs für die Produktion von Hartkäse (Emmentaler: STOLL et al. 2001; Appenzeller: JAROS et al. 2001) sowie die Gesamtbenotung des Käses verbessert (STOLL et al., 2001).

2.2 Rapskuchen als Futtermittel

Die Tierernährung verfolgt als ein Hauptziel die Versorgung der Tiere mit Nährstoffen und Energie, um entsprechend hohe Leistungen zu erzielen. Dies bedeutet bei der Milchkuh mehr als 10.000 kg Milch pro Jahr über mehrere Laktationen (vier bis fünf) zu produzieren. An diesem Vermögen, hohe Leistungen bei Erhaltung der Tiergesundheit zu gewährleisten, muss jedes Futtermittel gemessen werden. Zum einen muss der Gehalt an verdaulichen Nährstoffen und zum anderen die dem Nutztier verfügbare Energie hoch sein. Ebenso muss die Akzeptanz als Voraussetzung eines hohen Verzehrs des Futtermittels gegeben sein (SCHÖNE, 1995; SCHÖNE et al., 1997 a). Als nahezu ideales Eiweißfuttermittel erfüllt Sojaextraktionsschrot all diese Anforderungen und behauptet sich als Standard am Eiweißfuttermittelmarkt. Rapskuchen kann aufgrund seiner Inhaltsstoffe als energiereiches Eiweißfuttermittel bezeichnet werden. Er enthält mehr Fett und weniger Unverdauliches (Rapsschalen, Lignin) als das Rapsextraktionsschrot und schneidet auch im energetischen Futtermittelvergleich relativ gut ab (vgl. Tabelle 2). Betrachtet man die qualitätsbestimmenden Bestandteile, wie den Gehalt an Rohprotein und bestimmten Aminosäuren als auch die qualitätsmindernden Bestandteile (wie z. B. den Rohfasergehalt), so lässt sich Rapskuchen „zwischen“ der Rapssaat und dem Rapsextraktionsschrot einordnen (SCHÖNE und REINHOLD, 2005). Die dem Nutztier verfügbare Energie (Milchkuh = NEL, Rind und Schwein = ME) resultiert zum

einen aus dem Gehalt des Fettes als dem energiereichsten und in aller Regel hoch verdaulichen Nährstoff und zum anderen aus der Rohfaser mit einer entsprechend niedrigeren Verdaulichkeit. Aufgrund einer „vorgeschalteten“ Glucosinolataktivierung durch die Pansenmikroorganismen, welche nach heutigem Wissensstand in erster Linie auf Detoxifizierungsfunktionen von Protozoen zurückzuführen ist (BREVES und LEONHARD-MAREK, 2005), tolerieren Wiederkäuer erheblich höhere Glucosinolatanteile im Futter als monogastrische Tiere. Bei Glucosinolatanteilen von 5 mmol/kg Futtertrockenmasse hielten Mastrinder im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Rapsfuttermiteinsatz den Futterverzehr sowie ein hohes Zunahmenniveau aufrecht (SCHWARZ und KIRCHGESSNER, 1989). Bei Wiederkäuern, besonders bei der Milchkuh, ist die Fettzufuhr zu begrenzen. Zu hohe Fettmengen beeinträchtigen die Vormagenverdauung, besonders der Zellwandbestandteile. Ein Überschreiten von 4,5 % Rohfett der Trockenmasse in der Ration – das entspricht bei 20 kg Trockenmasseaufnahme pro Kuh und Tag 700 bis 900 g Gesamtrohfettaufnahme pro Tag – sollte verhindert werden (SCHÖNE und REINHOLD, 2005). Um eine ungestörte Mikrobentätigkeit im Pansen zu gewährleisten, sollte eine Fettbegrenzung eingehalten werden, wobei zwischen geschützten und ungeschützten Fetten differenziert werden muss (MÄNNER, 2002). Der hohe Energiebedarf der Hochleistungskuh und die Rolle des Fettes bzw. der fettreichen Futtermittel als Energieträger soll hierbei betont werden (SCHÖNE und REINHOLD, 2005). Die Verfütterung von Rapskuchen, Rapsöl – überhaupt pflanzenöhlhaltigen Futters – verändert die Milchfett- und damit die Butterzusammensetzung (sie ist aufgrund von einem Mehr an Ölsäure und weniger Palmitinsäure streichfähiger) (SCHÖNE et al., 2000). Diese beschriebenen Unterschiede in der Milchfett- sowie Butterzusammensetzung lassen sich auf eine Hydrierung eines großen Teils der ungesättigten Fettsäuren des Futters im Pansen zurückführen (siehe Kap. 2.7). Einsatzempfehlungen von Rapskuchen in der Wiederkäuerernährung sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Einsatzempfehlungen von Rapskuchen (Ø 20 mmol Glucosinolate/kg). (SCHÖNE und REINHOLD, 2005)

| Tierart | Höchstanteil % der Trockenmasse der Ration | Verzehrmenge g je Tier und Tag |
|-------------|---|-----------------------------------|
| Wiederkäuer | | |
| Kalb | 5 | 50-100 |
| Milchkuh | 10 | 1500-2500 |
| Mastrind | 10 | 600-1200 |
| Mutterschaf | 10 | 100-200 |

¹⁾ Nur in Hochträchtigkeit und Laktation

350 bis 400 g Rapsöläquivalente je Milchkuh und Tag addieren sich etwa mit der gleichen Menge Fett, welches aus dem natürlichen Gehalt von 2 bis 3 % Rohfett aus dem Grob- und Kraftfutter stammt, zu insgesamt 700 bis 900 g Rohfettaufnahme pro Tag. Dies entspricht etwa 4 bis 5 % Rohfett der Trockenmasse der Gesamtration und stellte bis dato die Obergrenze der Gesamtzufuhr dar, bis zu welcher die Pansenmikroorganismen und deren Verdauungsarbeit nicht beeinträchtigt werden sollte (SCHÖNE und REINHOLD, 2005). Bei den entsprechenden Milchkuhversuchen (ABEL et al., 1992; JAHREIS et al., 1993; JAHREIS et al., 1995; JAHREIS et al., 1996; KUDRNA und MAROUNEK, 2006) konnte eine positive Beeinflussung der fettkorrigierten Milch beobachtet werden. JENKINS und JENNY (1992) hingegen beobachteten bei Verfütterung von 5,7 % Rohfett (Fettanteil in der TM) in Form von Rapsöl einen Abfall der Milchleistung. BENCHAAAR et al. (2007) stellen ebenfalls einen Rückgang der Milchleistung bei Verfütterung eines speziellen Ölgemisches (MEO = mixture of essential oil compounds) fest.

2.3 Einfluss von fetthaltigen Futtermitteln auf Milchleistung, Milchinhaltsstoffe und Milchfettzusammensetzung

Wissenschaftlicher Fokus wurde in den letzten Jahren auf Möglichkeiten zur Verbesserung der Milchfettzusammensetzung gelegt, um ernährungsphysiologisch gesündere Milch mit ansteigenden Anteilen an ungesättigten Fettsäuren für den Menschen zu produzieren. Eine Anreicherung der Milch mit ungesättigten Fettsäuren resultiert in einer verbesserten Streichfähigkeit der aus dieser Milch hergestellten Butter (CHOUNARD et al., 1997; McNAMEE et al., 2002). Weiterhin kann hierdurch eine Anpassung des Verhältnisses der n-6/n-3 Fettsäuren und eine Anreicherung so genannter konjugierter Linolsäuren (CLA), welchen positive Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit nachgesagt werden, erfolgen (HELMUT et al., 1994; SCHÖNE et al., 2002; DEWHURST, 2005). Die Verfütterung von Ölsaaten oder Koppelprodukte, welche aufgrund der Verarbeitung der Ölsaaten anfallen, stellen in Rationen von Milchkühen eine Möglichkeit dar, die Milchfettzusammensetzung in gewünschter Weise zu modifizieren. Rapskuchen stellt ein solch fetthaltiges Futtermittel dar. Welche Auswirkungen bei Verfütterung von Rapskuchen an Milchkühe auf die Milchleistung und -inhaltsstoffe zu erwarten sind, wird nachfolgend näher erläutert.

Milchleistung

KUDRNA und MAROUNEK (2006) untersuchten den Einfluss von geschütztem Palmfett (MegalacTM; 2,5 % d. TM der Ration), Rapskuchen (19,2 % d. TM) und extrudierten Sojabohnen (10,8 % d. TM) auf die Leistung und die Milchfettzusammensetzung von laktierenden Kühen. Die Kühe, die mit geschütztem Palmfett versorgt wurden, nahmen weniger Trockenmasse als die beiden Vergleichsgruppen auf, produzierten jedoch mehr fettkorrigierte Milch als die Rapskuchen- oder Sojagruppe (32,9 kg bei geschützten Palmfett; 31,7 kg bei Rapskuchen und 30,7 kg bei extrudierten Sojabohnen). Gleiche Autoren (KUDRNA und MAROUNEK, 2008) verfütterten in einem 2. Versuch geschütztes Palmfett (3,6 % der TM), Sonnenblumensaat (8,1 % der TM) oder extrudierte Leinsaat (8,5 % der TM) an 11 mehrkalbige Holsteinkühe (je Gruppe) und konnten keinen Effekt des Supplements auf die tägliche Trockenmasseaufnahme sowie die täglich produzierte Milchmenge feststellen. Die fettkorrigierte Milchleistung stieg mit der Verabreichung von Sonnenblumensaat sowie extrudierter Leinsaat im Vergleich zu geschütztem Palmfett signifikant an (geschütztes Palmfett: 26,5 kg; Sonnenblumensaat: 28,0 kg; extrudierte Leinsaat: 28,0 kg).

Bei Verfütterung von 600 g Kokos/Palmkernfett in einer rohfaserreichen (20-21 % Rohfaser d. TM) sowie in einer rohfasearmen (14,5 % Rohfaser d. TM) Ration war die gebildete

Milchmenge je Tier und Tag im Vergleich zur Kontrollration (19,9 kg Milch) um 1,1 bzw. 3 kg vermindert (ROHR und OKUBO, 1968). ORTH et al. (1966) verfütterten ebenfalls 600 g Kokos/Palmkernfett pro Tier und Tag und konnten keine Effekte auf die Milchleistung nachweisen. Der Effekt von unterschiedlichen Mengen an Palmöl (0, 500, 1000 und 1500 g Palmöl pro Kuh und Tag) auf Milchleistungsparameter sowie Futteraufnahme untersuchten MOSLEY et al. (2007). Sie konnten mit steigenden Mengen an Palmöl im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant höhere Milchleistungen (30,9 kg; 34,0 kg; 34,2 kg und 34,2 kg) nachweisen. Die steigende Fettsupplementierung hatte keinen negativen Einfluss auf die Trockenmasseaufnahme (23,3 kg; 26,4 kg; 24,7 kg und 23,8 kg). JENTSCH et al. (1972) verfütterten 700 g Rapsöl pro Tier und Tag an Milchkühe mit einem Leistungsniveau von ca. 25 kg Milch und konnten eine um 2 kg verminderte Milchleistung feststellen. Das Verabreichen von 260 bis 600 g Sojaöl pro Kuh und Tag, eingemischt in das Kraftfutter, führte zu keinen signifikanten Veränderungen in den Milchmengen (McLEOD und WOOD, 1972; GOERING et al., 1977; BANKS et al., 1980; CLAPPERTON und STEELE, 1985). Die pro Kuh und Tag gebildeten Milchmengen lagen zwischen 10,0 kg (260-460 g Sojaöl) und 23,0 kg (600 g Sojaöl). Signifikante Milchmengensteigerungen von 18,6 kg auf 23,0 kg bzw. 21,0 kg auf 24,6 kg konnten STEELE et al. (1971 a) und ROHR et al. (1978) beim Verfüttern von 630 g bzw. 180 g bis 450 g Sojaöl nachweisen. EGGER et al. (2007) untersuchten den Einfluss von 1 kg Rapssaat und 1,2 kg extrudierter Leinsaat in einer Heu-basierten Ration auf Milchleistungsparameter und Futteraufnahme. Unterschiede in der täglichen TM-Aufnahme (Kontrolle: 17,7 kg; Rapssaat: 18,0 kg; Leinsaat: 18,2 kg) konnten nicht nachgewiesen werden. Gleiche Ergebnisse wurden bezüglich der Milchleistung ermittelt (Kontrolle: 23,3 kg; Rapssaat: 24,0 kg; Leinsaat: 23,5 kg). Den Einfluss von 3,6 kg TM Rapskuchen im Vergleich zu einer konventionellen Proteinquelle (Unik 50 Eko, 2,4 kg TM) untersuchten JOHANNSON und NADEAU (2006) an je 20 Kühen. Sie konnten eine um 3 kg signifikant höhere Milchleistung bei den mit Rapskuchen gefütterten Kühen messen. Der Einfluss von 1,0 kg Rapssamen, 1,5 kg Sonnenblumenkerne und 1,5 kg Leinsamen auf Milchleistungsparameter war Gegenstand der Studie von STOLL et al. (2003). Die Milchleistung wurde durch die unterschiedlichen Ölsaaten nicht beeinflusst. KHORASANI et al. (1991) verfütterten steigende Anteile behandelte Rapssaat (Jet Sploded whole canola seed, Simonsen Feed Co., Quimby, IA, USA) an Milchkühe. Die Rationsanteile betragen (0; 4,5; 9,0; 13,2 und 17,4 % d. TM), welche in das Kraftfutter eingemischt wurden. Der Rohfettgehalt der Gesamtration erhöhte sich mit steigenden Anteilen an behandelte Rapssaat

(von 2,2 auf 6,7 % d. TM). Statistisch nachweisbare Unterschiede waren weder in Bezug auf die Futteraufnahme noch auf die Milchleistung zu erkennen.

Einige Arbeitsgruppen gingen in den 70iger und 80iger Jahren des letzten Jahrhunderts der Frage nach, wie sich **zellgebundenes** und/oder **freies Öl** auf die tägliche Milchleistung auswirkt. Die Rohfettgehalte in der TM betragen bis zu 7,5 % bei täglichen Milchmengen zwischen 16 und 26 kg pro Tier. Negative Auswirkungen auf die Milchleistung konnten nicht festgestellt werden, wenn die jeweiligen Pflanzenfette in freier Form oder als geschrotete Sojabohnen (LARSON und SCHULTZ, 1970; MOHAMED et al., 1988), geschrotete Sonnenblumensamen (CLAPPERTON und STEELE, 1985), ganze Sonnenblumensamen (WHITE et al., 1987a), Erdnüsse (STEELE, 1984) und Baumwollensamen (MOHAMED et al., 1988) eingesetzt wurden. DELBECCHI et al. (2001) untersuchten den Einfluss von geschützten und ungeschützten Rapsprodukten auf Milchleistungsparameter und konnten bei beiden Varianten eine signifikant verminderte Milchleistung gegenüber der Kontrollgruppe ausweisen.

Die zitierten Untersuchungen bzgl. Milchleistung zeigen eine große Variation in den Ergebnissen, so konnten bei hohen Fettgehalten in den Rationen (bis zu 6,7 % d. TM) höhere sowie geringere Milchleistungen abgeleitet werden. Ein eindeutig gerichteter Zusammenhang zwischen dem Rohfettgehalt in der Ration und der Milchleistung kann somit nicht hergestellt werden.

Milchfettgehalt

In der Literatur werden unterschiedliche Aussagen bei Verfütterung von Futterfetten (in zellgebundener oder freier Form, geschützt oder ungeschützt) bezüglich Auswirkungen auf den Milchfett- sowie Milcheiweißgehalt angetroffen. Eine genaue Betrachtung und Einordnung des jeweilig verfütterten Fettsubstrates (geschützt oder ungeschützt) sollte unbedingt vorgenommen werden, um die in der Literatur ausgewiesenen Ergebnisse kritisch einordnen zu können.

In Abschnitt 2.5 wird der Einfluss von Fett auf die Nährstoffumsetzungen im Ökosystem Pansen einhergehend beschrieben. Der häufig in der Literatur genannte negative Effekt einer verminderten Verdaulichkeit der Zellwandbestandteile bei Verabreichung von Fettzulagen wird hauptsächlich auf zwei Ursachen zurückgeführt:

- a) „Coating“ der Futterpartikel durch das Futterfett und
- b) ein direkt hemmender Einfluss langkettiger Fettsäuren auf das Wachstum der Pansenmikroorganismen (VAN NEVEL und DEMEYER, 1995; MARGARIDA et al., 2007; JENKINS, 1993; JENKINS, 1994)

Die überwiegende Zahl der in der Literatur dargestellten Versuche mit Milchkühen bei Verfütterung von freien Fetten und Ölen führte zu einem deutlichen und teils signifikanten Rückgang im Milchfettgehalt. Der Tabelle 6 sind die Literaturquellen und das jeweils eingesetzte Fettsubstrat zu entnehmen.

Tabelle 6: Versuche mit freiem Fett oder Öl

| Autoren/Jahr | Fettsubstrat |
|--|---------------------|
| PARRY et al. (1964); PAN et al. (1972) | Safloröl |
| ORTH et al. (1966); ROHR und OKUBO (1968) ; ROHR et al. (1978) | Kokos-/Palmkernfett |
| STEELE und MOORE (1968 a und c) | Baumwollsaatöl |
| JENTSCH et al. (1972); FREDE et al. (1992) | Rapsöl |
| STORRY et al. (1974) | Kokosöl |
| STEELE et al. (1971 a); McLEOD und WOOD (1972); ROHR et al., (1978); CLAPPERTON und STEELE (1985) | Sojaöl |

In den zitierten Versuchen konnte fast ausnahmslos eine Reduktion der täglich produzierten Milchmenge durch den Fetteinsatz ausgewiesen werden. Somit nahmen auch die täglich produzierten Milchfettmengen, aufgrund reduzierter Milchfettgehalte zwischen 15 und 40 % ab. Lediglich in den Arbeiten von ROHR et al. (1978) und FREDE et al. (1992) konnte der Milchfettgehaltsabfall je nach eingesetzter Ölmenge (180-450 g pro Tier und Tag) aufgrund steigender Milchleistungen ausgeglichen werden. MOSLEY et al. (2007) verfütterten 0, 500, 1000 und 1500 g Palmöl je Kuh und Tag und konnten signifikant höhere Milchfettgehalte mit steigenden Anteilen an Palmöl analysieren. Aufgrund der gesteigerten Milchleistung lagen auch die täglich produzierten Milchfettmengen (1,02; 1,30; 1,32; 1,41 kg Milchfett) auf einem signifikant höheren Niveau als in der Kontrollgruppe. Neben der Verfütterung von freien wirkt sich der Einsatz von geschützten oder zellgebundenen Fetten und Ölen ebenfalls auf die Milchinhaltsstoffe aus. Da das Rohfett des Rapskuchens weder in vollständig zellgebundener noch in völlig freier Form im Futtermittel vorliegt, kann dieses bezüglich einer Charakterisierung eine Mittelstellung zwischen zellgebundenem und freiem Fett einnehmen.

Keine oder nur geringe Unterschiede zwischen den Vergleichsgruppen konnten bei Verfütterung von geschroteten oder ganzen Sojabohnen abgeleitet werden (MIELKE und SCHINGOETHE, 1981; JILG et al., 1986). Zu gleichen Ergebnissen kamen mehrere Arbeitsgruppen, die geschrotete Rapssaat verfütterten (HANDY und KENNELLY, 1983; MURPHY et al., 1986; MURPHY et al., 1987). DELBECCHI et al. (2001) verfütterten 4,8 % Rapsextraktionsschrot, 3,3 % ungeschützte Rapssaat (Canola-Raps) plus 1,5 % Rapsschrot oder 4,8 % mit Formaldehyd-behandelte Rapssaat an je drei Tiergruppen (je zwei Kühe) und konnten eine signifikant geringere Milchleistung im Vergleich zur Kontrollgruppe feststellen. Bezüglich des Milchfettgehaltes waren dagegen keine Unterschiede zu erkennen. Den Effekt von hydrogeniertem Fett (yellow grease, Schweinefett) auf Futteraufnahme, Verdaulichkeit der Nährstoffe sowie auf Milchleistungsparameter analysierten JENKINS und JENNY (1989). Sie konnten keinen Unterschied zwischen den Rationen mit Fettsupplementierung bezüglich des Milchfettgehaltes und der Kontrollgruppe ableiten. Jedoch war der Milchfettgehalt bei Verfütterung des Schweinefettes in ungeschützter Form signifikant niedriger als in den Vergleichsrationen, in denen das Schweinefett in hydrogenierter Form verfüttert wurde. Die Autoren schlussfolgern, dass die Verabreichung von hydrogeniertem Fett geringere negative Effekte auf Futteraufnahme, Milchfettgehalt und ruminale Fermentation hat, wobei die Verdaulichkeit des Futterfetts aufgrund der Hydrogenierung vermindert war. KHORASANI et al. (1991) konnten keine Veränderungen beim Milchfettgehalt bei Verfütterung von unterschiedlichen Anteilen behandelter Rapssaat in der Gesamtration (Jet Sploded whole canola seed, Simonsen Feed Co., Quimby, IA, USA) feststellen. SCHAUFF et al. (1992) verabreichten ganze Sojabohnen und verschiedene Mengen an Talg je Kuh und Tag. Sie konnten tendenziell höhere Milchfettgehalte und höhere tägliche Milchfettmengen, mit steigenden Anteilen an Talg in den Rationen messen. HARVATINE und ALLEN (2006 a) verfütterten ein Fettsäuresupplement mit gesättigten (hydrogenierte freie Fettsäuren) und mit ungesättigten (Kalziumseifen langkettiger Fettsäuren) Fettsäuren an 16 Milchkühe. Die Behandlung mit gesättigten Fettsäuren hatte keinen Einfluss auf den Milchfettgehalt, die ungesättigten Fettsäuren reduzierten jedoch tendenziell den Milchfettgehalt im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Tabelle 7 zeigt den Einfluss von Rapskuchen, Rapssaat bzw. Rapsöl auf Milchleistungsparameter von in Deutschland durchgeführten Fütterungsversuchen.

Tabelle 7: Versuchsergebnisse mit Rapskuchen, Rapssaat bzw. Rapsöl

| Autoren/Jahr | Kontrollgruppe | Versuchsgruppe | Rapsölaufnahme pro Tier und Tag |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| RÖHRMOSER et al. (1991) | | | |
| Milch kg/Tag | 24,7 | 25,3 | 250 g aus Rapskuchen |
| Fett % | 3,45 | 2,70 | |
| Eiweiß % | 3,20 | 3,10 | |
| FREDE et al. (1992) | | | |
| Milch kg/Tag | 16,0 | 18,6 | 550 g aus Rapsöl |
| Fett % | 4,93 | 4,69 | |
| Eiweiß % | 3,88 | 3,43 | |
| ABEL et al. (1992) | | | |
| Milch kg/Tag | 26,5 | 29,5 | ca. 450 g aus Rapssaat |
| Fett % | 4,31 | 4,12 | |
| Eiweiß % | 3,30 | 3,25 | |
| JAHREIS et al. (1994) | | | |
| Milch kg/Tag | 18,4 | 20,4 | 400 g aus Rapssaat |
| Fett % | 5,19 | 4,60 | |
| Eiweiß % | 3,80 | 3,43 | |
| JILG und MÜLLER (1993) | | | |
| Milch kg/Tag | 26,0 | 27,7 | 490 g aus Rapskuchen |
| Fett % | 4,34 | 3,78 | |
| Eiweiß % | 3,52 | 3,47 | |

Tabelle 7: Fortsetzung

| Autoren/Jahr | Kontrollgruppe | Versuchsgruppe | Rapsölaufnahme pro Tier und Tag |
|---|-----------------------|-----------------------|--|
| JAHREIS et al. (1995) Milch kg/Tag Fett % Eiweiß % | 23,4 4,92 3,37 | 29,2 4,56 3,23 | 400 g aus Rapskuchen |
| GRÜNEWALD et al. (1996) Milch kg/Tag Fett % Eiweiß % | 21,1 4,05 3,19 | 21,3 3,91 3,20 | ca. 460 g aus Rapssaat |
| GRÜNEWALD et al. (1996) Milch kg/Tag Fett % Eiweiß % | 21,1 4,05 3,19 | 23,2 3,53 3,17 | ca. 690 g aus Rapssaat |
| DAYVES (2001) Milch kg/Tag Fett % Eiweiß % | 25,4 4,60 3,82 | 31,8 3,79 3,46 | ca. 350 g aus Rapskuchen |

Die dargestellten Versuchsergebnisse weisen alle, teilweise deutlich höhere Milchleistungen in den Versuchs- gegenüber den Kontrollgruppen aus. Die Milchfettgehalte sowie Milcheiweißgehalte weisen entgegengesetzt zur Milchleistung eine Verminderung in den Versuchsgruppen aus.

Als Ursache für den Rückgang der Milchfettgehalte beim Einsatz von Fett werden Verschiebungen im Fermentationsmuster genannt. Mehrere Autoren stellten schon in früheren Untersuchungen übereinstimmend eine Abnahme der molaren Anteile an Essigsäure und Buttersäure sowie eine Zunahme an Propionsäure bei Verfütterung fetthaltiger Futtermittel fest (McLEOD und WOOD, 1972; STORRY et al., 1974; ROHR et al., 1978), was weniger Azetat und β -Hydroxybutyrat für die Milchfettsynthese erwarten lässt. Da eine gesteigerte Propionsäurebildung mit einer gesteigerten Gluconeogenese und Insulinausschüttung verbunden ist, kann die Gesamtfettsynthese im Stoffwechsel auf Kosten der Milchfettsynthese in Richtung Körperfettsynthese verschoben sein (HAGEMEISTER und KAUFMANN, 1979 a; EMMANUEL und KENNELLY, 1984). Als weitere Ursache für eine Milchfettgehaltsdepression können nach HAGEMEISTER (1990) die im Rahmen der ruminalen Biohydrogenierung von mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA) entstehenden trans-Fettsäuren genannt werden. Zu der Gruppe der trans-Fettsäuren sind auch die konjugierten Linolsäuren (CLA) zu zählen, wobei der Begriff CLA nach COLLOMB et al. (2006) mittlerweile insgesamt 28 verschiedene Positions- und Geometrie-Isomere umfasst. Diese trans-Fettsäuren konnten eindeutig als Inhibitor der Milchfettsynthese bei Milchkühen nachgewiesen werden (GRIINARI et al., 1998; BAUMGARD et al., 2000; BAUMAN und GRIINARI, 2001). Eine weitere Entstehungsquelle dieser trans-Fettsäuren ist die im Euter ablaufende endogene Synthese, siehe Abbildung 2 (GRIINARI et al., 2000; CORL et al., 2001; KAY et al., 2004). PALMQUIST und CONRAD (1980) gehen von einer eingeschränkten de-novo-Synthese von Fettsäuren im Euter, aufgrund einer Hemmung des Enzyms Azetyl-CoA-Karboxylase durch langkettige Fettsäuren aus. Ein weiterer Effekt bei Fettfütterung ist ein erhöhter Transfer und der Einbau von Fettsäuren aus dem Futter in das Milchfett (STORRY, 1981)

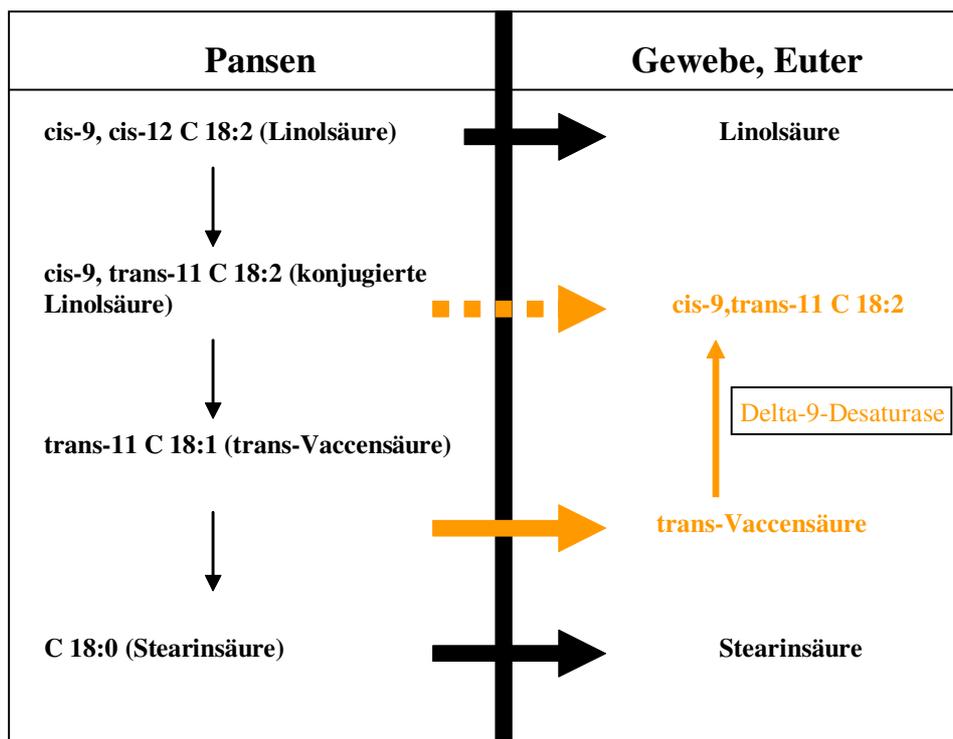


Abbildung 2: Wege der Biohydrogenierung und endogenen Synthese von cis-9, trans-11 CLA durch Δ^9 -Desaturase im Pansen und Gewebe (BAUMAN et. al., 2003)

Milcheiweißgehalt

Die in der Literatur dargestellten Ergebnisse bezüglich des Milcheiweißgehaltes sowie der Milcheiweißmenge bei Verfütterung von pflanzlichen Fetten und Ölen sind sehr unterschiedlich. Wie aus Tabelle 7 ersichtlich wird, kann aus den dargestellten Ergebnissen ein tendenziell vermindernder Effekt auf den Milcheiweißgehalt abgeleitet werden. So weisen die Untersuchungen von RÖHRMOSER et al. (1991), FREDE et al. (1992), ABEL et al. (1992), JAHREIS et al. (1994 und 1995), JILG und MÜLLER (1993), GRÜNEWALD et al. (1996) sowie DAYVES (2001) ausschließlich verringerte Milcheiweißgehalte aus. Lediglich GRÜNEWALD et al. (1996) konnten bei Verfütterung von 1 kg Rapssaat eine leichte Erhöhung im Milcheiweißgehalt erkennen. Interessanterweise lässt sich aus Tabelle 7 erkennen, dass schon bei Verfütterung von relativ geringen Fettmengen je Kuh und Tag teilweise deutlich geringere Milcheiweißgehalte als in der Kontrollgruppe ausgewiesen werden.

Mehrere Autoren stellten in früheren Untersuchungen einen signifikanten Rückgang im Milcheiweißgehalt sowie in der täglich je Tier und Tag produzierten Eiweißmenge, unabhängig von der verabreichten Fettmenge und der Rationszusammensetzung, fest (HAENLEIN et al., 1968; McLEOD und WOOD, 1972; MATTOS und PALMQUIST, 1974; STEELE, 1984). Im Rahmen einer Übersichtsarbeit konnten JILG et al. (1988) aus Literaturdaten eine signifikant negative Korrelation zwischen dem Fettgehalt der Ration und dem Milcheiweißgehalt ableiten (vgl. Abbildung 3).

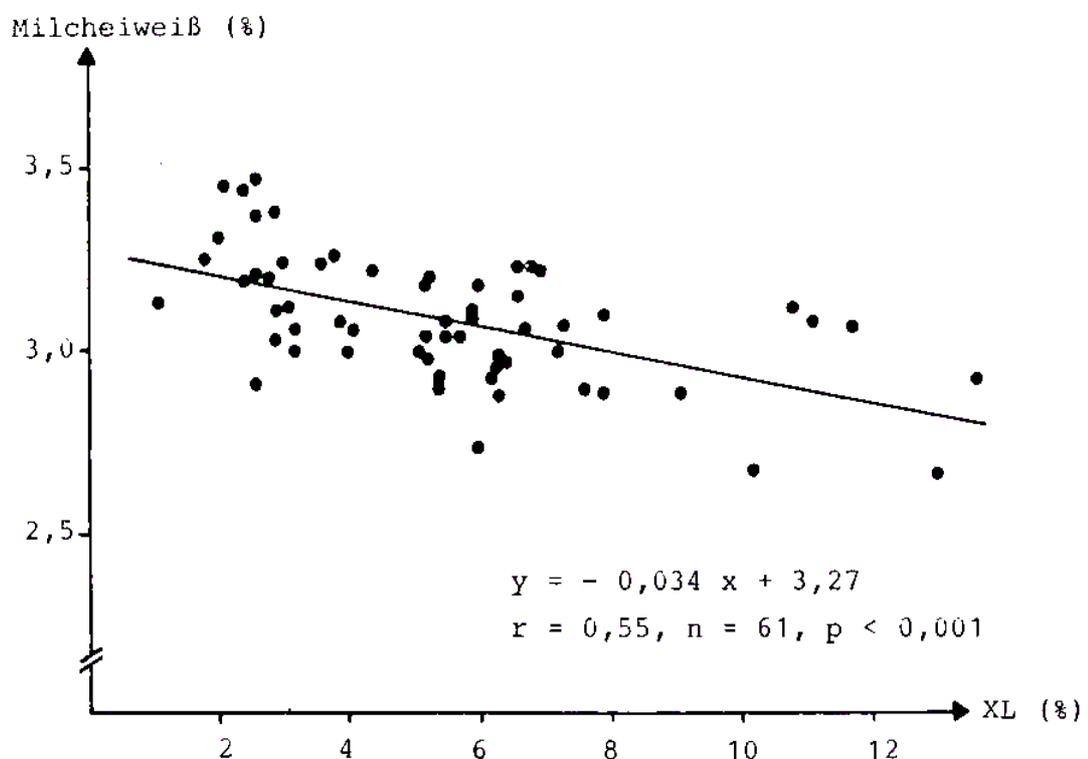


Abbildung 3: Beziehung zwischen dem Fettgehalt der Ration und dem Milcheiweißgehalt beim Einsatz von ungeschützten Fetten (JILG et al. 1988)

WU und HUBER (1994) konnten ebenfalls einen negativen Effekt zwischen dem Fettgehalt der Ration und dem Milcheiweißgehalt ableiten ($y = 101,1 - 0,6381x + 0,0141x^2$; $r^2 = 0,24$). MOSLEY et al. (2007) verfütterten unterschiedliche Mengen an Palmöl und konnten keine Unterschiede im Milchproteingehalt zwischen den Behandlungen und der Kontrollgruppe erkennen. Die täglich produzierte Proteinmenge war in den Versuchsgruppen signifikant höher als in der Kontrollgruppe, was durch eine signifikant höhere Milchleistung in den Versuchsgruppen erklärt werden kann. Bei Verfütterung von unterschiedlichen

Fettsäurensupplementen (gesättigte und ungesättigte Fettsäuren) konnten keine Unterschiede bezüglich der täglich produzierten Proteinmenge sowie des Proteingehaltes festgestellt werden (HARVATINE und ALLEN, 2006 a). Bei Verfütterung von geschützten und ungeschützten Rapsfuttermitteln konnten DELBECCHI et al. (2001) signifikant niedrigere Proteingehalte sowie eine signifikant reduzierte tägliche Proteinmenge in den Versuchsgruppen ermitteln. GRUM et al. (1996) verabreichten Rationen mit unterschiedlichen Konzentrat- und Fettanteilen an acht Milchkühe. Bezüglich der täglich produzierten Proteinmenge gab es keine Unterschiede zwischen den Rationen, jedoch wurde der Milchproteingehalt bei Supplementierung von Fett reduziert und bei höherem Konzentratanteil gesteigert. Keine Unterschiede in den Milchproteingehalten sowie in den täglich gebildeten Proteinmengen konnten KUDRNA und MAROUNEK (2006) sowie EGGER et al. (2007) erkennen, die geschütztes Palmfett, Rapskuchen, Rapssaat und Leinsaat an Milchkühe verfütterten. WARD et al. (2002) verfütterten eine Versuchsration, welche im Vergleich zur Kontrollration mit 3,25 % Rohfett supplementiert wurde. Das supplementierte Fett wurde in Form von Flax, Rapssaat (Canola) oder Linola verabreicht, wobei Linola eine neue Flaxsorte mit 28 % Linolsäure darstellt. Die Versuchstiere zeigten einen reduzierten Milchproteingehalt und produzierten weniger Milchprotein als die Kontrolltiere. Einen signifikant höheren Milchproteingehalt sowie signifikant geringere tägliche Proteinmengen konnte JENKINS (1998) bei Verfütterung von 3,5 % Rapsöl (high oleic canola oil) in der Ration im Vergleich zur Kontrollgruppe (ohne Fettsupplementierung) feststellen.

Die dargestellten verringerten Milcheiweißgehalte begründeten ROHR et al (1978) mit einer reduzierten mikrobiellen Proteinsynthese im Pansen. Da die Verfütterung von Fett häufig im Austausch gegen fermentierbare Energie (Kohlenhydrate) erfolgt und das Fett von den Mikroorganismen nicht zur Deckung ihres Energiebedarfes genutzt werden kann, sind Auswirkungen auf die Pansenfermentation nicht auszuschließen. Zusätzlich verabreichtes Rohprotein (KIM et al., 1989) oder der Einsatz von geschütztem Protein (ENGLING et al., 1990) konnte eine Milchproteindepression nicht nachhaltig vermeiden. Aufgrund der von ENGLING et al. (1990) und KIM et al. (1989) dargestellten Versuchsergebnissen kann eine eingeschränkte mikrobielle Proteinsynthese im Pansen infolge eines Mangels an mikrobiell nutzbarer Energie keine hinreichende Erklärung sein. Nach De PETERS et al. (1989) sind Ursachen auch im Stoffwechselgeschehen der Milchdrüse und in Veränderungen im Hormonhaushalt (THOMAS, 1983) zu suchen. WU und HUBER (1994) haben Versuche mit supplementiertem Fett im Vergleich zur Kontrollration aus den Jahren 1970 bis 1992

zusammengetragen und ausgewertet, wobei folgende Erklärungsansätze bezüglich einer Milchproteindepression diskutiert werden:

- Reduzierte metabolische Glukoseverfügbarkeit (Glucosemangel)
- Verminderung der Insulinsensitivität
- Gesteigerte energetische Effizienz der Milchproduktion
- Reduzierte Plasmakonzentration an Somatotropin
- Reduzierte Aminosäurenverfügbarkeit für die Milchdrüse

Glukosemangel

Da Laktose den am meisten osmotisch wirksamen Bestandteil der Milch darstellt, wird hierüber die Milchleistung bestimmt. Werden 3 % der Rationstrockenmasse an Getreide durch Fett ersetzt, hat dies keinen Einfluss auf die Milchproteinsynthese (WU und HUBER, 1994). CANALE et al. (1990 b) verfütterten Kalziumseifen an Milchkühe und konnten verminderte Milchproteingehalte erkennen unabhängig von der verfütterten Konzentratmenge.

Wird Fett im Austausch gegen schnell fermentierbare Kohlenhydrate eingesetzt, ist von einer verminderten mikrobiellen Proteinsynthese auszugehen (CANALE et al., 1990 a; CHOW et al., 1990), was den Aminosäurenpool im Tier (per se) vermindert. Aufgrund eines zusätzlich auftretenden Mangels an Glucosevorstufen im Pansen (z. B. Propionsäure) werden verstärkt glukoplastische Aminosäuren für die Gluconeogenese herangezogen, die dann nicht mehr für die Milchproteinsynthese zur Verfügung stehen (GROPPEL, 1994; HAGEMEISTER und VOIGT, 1997).

Verminderte Insulinsensitivität

PALMQUIST und MOSER (1981) diskutieren eine induzierte reduzierte Insulinsensitivität bei Kühen, die mit fetthaltigen Rationen (zwischen 480 g und 1640 g Rohfett/Kuh/Tag) versorgt wurden. Eine reduzierte Insulinsensitivität würde zugleich die Aminosäureaufnahme der Milchdrüse vermindern. Die Frage, die in diesen Zusammenhang geklärt werden muss, um diese Hypothese zu bestätigen, lautet: Steigt die Plasmainsulinkonzentration bei Fettsupplementierung immer an und welche Auswirkungen sind im Milchdrüsengewebe zu erwarten?

Veränderungen der Plasmainsulinkonzentration bei Verfütterung von Fett sind in der Literatur nicht einheitlich beschrieben (HORNER et al., 1986; CUMMINS und SARTIN, 1987; KENNEDY et al., 1987; MOHAMED et al., 1988; GRIINARI et al., 1997).

GAGLIOSTRO et al. (1991) infundierten Rapsöl in den Dünndarm und konnten keine Veränderungen in der Plasmainsulin- sowie der Plasmaglukosekonzentration erkennen. Wenn durch Fett eine verminderte Insulinsensitivität induziert werden sollte, schlussfolgern LAARVELD et al. (1981) hieraus einen eher geringen Effekt auf die Aminosäureaufnahmekapazität der Milchdrüse aufgrund einer verringerten Sensitivität des Milchdrüsengewebes gegenüber Insulin. BROCKMAN und LAARVELD (1986) vermuten, dass Insulin keinen direkten Einfluss auf den Aminosäurenstoffwechsel der Milchdrüse hat, reguliert jedoch den Aminosäurenmetabolismus in diversen anderen Geweben. Folglich könnte eine reduzierte Insulinsensitivität die Aminosäurenverfügbarkeit für die Milchdrüse erhöhen.

Gesteigerte energetische Effizienz der Milchproduktion

De PETERS und CANT (1992) erklären einen verringerten Milchproteingehalt mit einer verbesserten Nutzung der zur Verfügung stehenden Energie. Bei Fettfütterung ist aufgrund eines Einbaus der diätetischen Fettsäuren die de-novo Milchfettsynthese reduziert (JENKINS und McGUIRE, 2006), was den Bedarf an Azetat verringert und die Glukoseverfügbarkeit zur Laktosesynthese verbessert und schließlich zu einer gesteigerten Milchleistung oder effizienteren Milchproduktion führt. Resultierend hieraus konnten De PETERS und CANT (1992), CANT et al. (1993 a) einen reduzierten mammären Blutfluss feststellen. Ein reduzierter Blutfluss führt unweigerlich zu einem reduzierten Aminosäureangebot für die Milchproteinsynthese. CANT et al. (1993 a) vermuten, dass der Blutfluss durch den Bedarf an Energiemetaboliten gesteuert wird und nicht aufgrund des Bedarfs an Aminosäuren der Milchdrüse. CANT et al. (1993 a) konnten zwar einen geringeren Blutvolumenfluss ausweisen, jedoch keinen Unterschied bezüglich des gesamten Blutflusses der Milchdrüse erkennen.

Reduzierte Plasmakonzentration an Somatotropin

CASPER und SCHINGOETHE (1989) leiteten ein Modell aus eigenen Versuchen und Literaturdaten ab und vermuten, dass die Freisetzung von Somatotropin aus der Hypophyse aufgrund einer erhöhten Konzentration freier Fettsäuren im Blutplasma reduziert sein könnte. Somit ist die Aminosäureaufnahme der Milchdrüse aus dem Blut zur Produktion von

Milchprotein vermindert. Folgeuntersuchungen gleicher Autoren zwei Jahre später konnten diese Hypothese jedoch nicht stützen (AUSTIN et al., 1991).

Reduzierte Aminosäurenverfügbarkeit in der Milchdrüse

Nach MEPHAM (1982) und BEQUETTE et al. (1998) beeinflussen die Aminosäureaufnahme aus dem Blut sowie der Metabolismus in den Zellen der Milchdrüse entscheidend die Milchproteinsynthese. Die Aminosäureaufnahme wird von folgenden Faktoren beeinflusst: Aminosäurenkonzentration im arteriellen Blut, Blutflussrate zur Milchdrüse und dem Transfer der Aminosäuren in die Zellen der Milchdrüse. Um verminderte Milchproteingehalte zu vermeiden, diskutieren WU und HUBER (1994) folgende Möglichkeiten:

- Erhöhung des intermediären Aminosäurenangebotes
- Postruminale Supplementierung von Aminosäuren
- Einsatz von geschützten Proteinen
- Einsatz von Niacin zur Verbesserung der mikrobiellen Proteinsynthese

Die in der Literatur dargestellten Ergebnisse bezüglich einer Supplementierung der Ration mit Fetten in der Milchviehfütterung zeigen überwiegend geringere Milchproteingehalte. Teilweise können die verminderten Milchproteingehalte auf einen Verdünnungseffekt zurückgeführt werden, wobei der Hauptgrund in einer unzureichenden Aminosäurenverfügbarkeit bei Fettfütterung zu suchen ist. Eine optimierte Rationsgestaltung, um die Verfügbarkeit von limitierenden Aminosäuren sowie deren Absorption zu verbessern und um eine gesteigerte mikrobielle Proteinsynthese zu erlangen, sind hier von vorrangiger Bedeutung.

Milchfettzusammensetzung

Fettsäuren mit einer Kettenlänge von bis zu 14 (-16) C-Atomen werden in der Milchdrüse *de-novo* synthetisiert. Für die *de-novo* Fettsynthese im Euter stehen als Ausgangsprodukt primär das im Pansen gebildete Azetat zur Verfügung, sowie das β -Hydroxybutyrat (BHB), welches in der Pansenwand aus dem zuvor im Pansen gebildeten Butyrat entsteht (BLUM, 2004).

BALDWIN et al. (1980) und RULQUIN (1986) weisen darauf hin, dass auf dem Niveau der Milchdrüse lineare Korrelationen für Azetat und BHB zwischen den arteriovenösen (A-V) Differenzen und den arteriellen Konzentrationen, solange die arteriellen Konzentrationen im physiologischen Bereich liegen, bestehen. Dies hat zur Folge, dass Azetat und BHB von der Milchdrüse unter physiologischen Bedingungen sehr effizient verwertet werden. Die Verwertung von BHB durch die Laktozyten ist aber limitiert und bei pathologisch erhöhten arteriellen Konzentrationen von BHB (z. B. bei Ketose) ungenügend. In dem beschriebenen Fall wird BHB dann unter anderem über die Milch ausgeschieden (BALDWIN et al., 1980).

Die Fettsäuren der Triacylglycerine des Milchfettes stammen aus zwei Quellen:

- aus der *de-novo*-Synthese aus Azetat und BHB unter Beteiligung des Fettsäuresynthetase-Komplexes und
- aus Lipoproteinen sehr niedriger Dichte (very low density lipoproteins, VLDL) sowie Chylomikronen des Blutplasmas (STORRY, 1970; GÜRTLER und SCHWEIGERT, 2005)

Unterteilt man die in der Milch vorhandenen Fettsäuren in kurz-, mittel- und langkettige und ordnet sie einer dieser beiden Quellen zu, so ergibt sich nach MOORE und CHRISTIE (1984) folgende Zuordnung:

- C 4 stammt zu 50 % direkt aus BHB, die andere Hälfte wird im Euter aus C 2-Einheiten synthetisiert.
- Alle C 6 bis C 12, ein Teil von C 14 und ca. 60 % von C 16 werden im Euter synthetisiert. Der Rest von C 14, C 16 und alle \geq C 18 stammen direkt aus den Lipidfraktionen im Blutplasma.

Demnach ergibt sich unter normalen Fütterungsbedingungen (fettarme Ration, ausgeglichene Energiebilanz) eine Milchfettzusammensetzung des Milchfettes, wo ca. 50 % der Fettsäuren *de-novo* synthetisiert werden, ca. 40 bis 45 % aus dem Futterfett stammen und der Rest aus dem Körperfett beigesteuert wird (PALMQUIST und JENKINS, 1980).

Das Milchfett setzt sich aus einem breiten Spektrum an Fettsäuren zusammen. An ihrer Gesamtzahl sind weit über 400 einzelne Fettsäuren beteiligt, wobei nur ein geringer Anteil

einen Mengenanteil von 1 % übersteigt (LIERMANN, 2008). Aufgrund der oben beschriebenen Milchfettsynthese und deren Quellen, ist es möglich die Milchfettzusammensetzung über entsprechende Fütterungsmaßnahmen zu beeinflussen (MANSBRIDGE und BLAKE, 1997; ASHES et al. , 1997; JENKINS und McGUIRE, 2006). So zielt eine Modifizierung der Milchfettzusammensetzung auf die Herstellung einer Milch, welcher positive gesundheitliche Wirkungen nachgesagt werden (O`DONNEL, 1993; WALL et al., 1997; STANTON, 2000; PSZCZOLA et al., 2000; MASON, 2001; KAO et al., 2006; TYBURCZY et al., 2008). Diese so genannten „functional foods“ müssen nach ROBERFROID (1999) positive Effekte auf die Gesundheit und das Wohlbefinden ausüben oder eine Minderung verschiedener Gesundheitsrisiken bewirken. So konnte in zahlreichen Studien eine positive physiologische Wirkung von ungesättigten Fettsäuren, wie z. B. CLA (krebshemmend, antioxidative Wirkung, Beeinflussung des Glukose- und Fettstoffwechsels, Wirkungen auf das Fruchtbarkeitsgeschehen) nachgewiesen werden (PARIZA, 1999; WHIGHAM et al., 2000; BELURY, 2002; PARODI, 2002; WAHLE et al., 2004, PARK und PARIZA, 2007; GARNSWORTHY et al., 2008 a). GRUMMER (1991) beschreibt nach dem Milk Board von 1988 in Wisconsin die ideale Milchfettzusammensetzung wie folgt: 10 % mehrfach ungesättigte Fettsäuren (PUFA), 8 % gesättigte Fettsäuren (SFA) und 82 % einfach ungesättigte Fettsäuren (MUFA). Weiterhin zeigt er Möglichkeiten auf, mit welchen Futtermitteln die Milchfettzusammensetzung beeinflusst werden kann. PALMQUIST et al. (1993) nennen die Menge und die Zusammensetzung des Rohfettes in der Ration als den wichtigsten Einflussfaktor bezüglich der Milchfettzusammensetzung. Bei Verfütterung von 0; 2,5; 5,0; 7,3 und 9,6 % Rohfett in Form von Rapssaat (Jet Sploded whole canola seed) an 15 Kühe, welche eine Ration bestehend aus 60 % Konzentrat- und 40 % Grobfutteranteil erhielten, konnten KHORASANI et al. (1991) eine Reduktion der kurz- und mittellangkettigen sowie einen 65%igen Anstieg der Ölsäure im Milchfett ausweisen. In einem Fütterungsversuch von WARD et al. (2002) wurden 3,25 % Fett in Form von Solin, Flax oder Rapssaat an 12 Kühe verabreicht und mit einer unsupplementierten Kontrollgruppe verglichen. Die Autoren konnten verringerte Anteile der Fettsäuren C 6 bis C 16 und signifikant höhere Anteile an Linolen- (C 18:3), Linolsäure (C 18:2) sowie Ölsäure (C 18:1) in den mit Fett supplementierten Gruppen ermitteln. Zu gleichen Ergebnissen kommen DELBECCHI et al. (2001), die ungeschützte sowie geschützte Rapssaat an Milchkühe verfütterten.

Zu gegenläufigen Ergebnissen der zuvor genannten Autoren kommen MOSLEY et al. (2007), die unterschiedliche Mengen an Palmöl an 18 Milchkühe verfütterten. Mit steigendem

Palmölanteil in der Ration wurden die gesättigten Fettsäuren (SFA) signifikant gegenüber der Kontrollgruppe erhöht. Bei den mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA) konnten signifikant niedrigere Gehalte im Milchfett im Vergleich zur Kontrolle analysiert werden. KUDRNA und MAROUNEK (2008) gingen der Frage nach, welchen Einfluss geschütztes Palmfett, Sonnenblumensaat und extrudierte Leinsaat auf die Milchfettzusammensetzung von Milchkühen hat. Bezüglich der gesättigten Fettsäuren gab es keine Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen. Die Gruppe, die mit extrudierter Leinsaat versorgt wurde, wies im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen einen signifikant höheren Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA) auf. Gleiche Autoren kamen in einer früheren Studie (KUDRNA und MAROUNEK, 2006), wo sie geschütztes Palmfett, Rapskuchen oder extrudierte Sojabohnen einsetzten, zu gleichen Ergebnissen. Bezüglich der SFA waren keine Unterschiede nachweisbar. Die Gruppe mit extrudierten Sojabohnen wies einen signifikant höheren Gehalt an PUFA auf. EGGER et al. (2007) stellten eine signifikante Reduzierung der SFA bei Fütterung von Rapssat oder Leinsaat gegenüber der Kontrollgruppe fest. Beide Versuchsgruppen besaßen auch signifikant höhere Anteile an einfach ungesättigten Fettsäuren (MUFA) im Milchfett. In der Leinsaatgruppe wurde der höchste Gehalt an PUFA ausgewiesen, welcher auch im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen signifikant war. Den Effekt von Rapsöl und eines Gemisches aus Leinsaat und Fischöl auf die Milchfettzusammensetzung von laktierenden Milchschaafen analysierten SZUMACHER-STRABEL et al. (2008) und konnten keine Differenzen bezüglich der SFA, MUFA sowie PUFA ableiten. Signifikante Differenzen wurden bei einigen cis-trans-Isomeren (z. B. C 18:2 cis 9, trans 11) ausgewiesen.

2.4 Futtermittel aus Raps und deren Einfluss auf die Tiergesundheit

In den letzten Jahren ist ein bedeutender Anstieg im Verbrauch von Futtermitteln aus Raps, wie Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen, in der EU und vor allem in Deutschland zu verzeichnen. Gründe hierfür sind nicht zuletzt eine bessere Kenntnis des Futterwertes der genannten Futtermittel (SPIEKERS und SÜDEKUM, 2004) sowie eine in Europa noch vorhandene Freiheit von gentechnisch veränderten Rapssorten (SCHÖNE et al., 2001; SCHÖNE et al., 2002). Weiterhin konnte der Glucosinolatgehalt aufgrund von intensiven Züchtungsfortschritten in den Rapssorten (ROTHER et al., 2004) deutlich reduziert werden, wodurch Futtermittel aus Raps erst zu Futtermitteln für monogastrische Tiere geworden sind (HENKEL und MOSENTHIN, 1989). Futtermittel aus Raps liefern hochwertiges Eiweiß und Fett (oder Öl), enthalten aber auch qualitätsmindernde Inhaltsstoffe wie die Glucosinolate,

welche sich nachteilig auf Futterraufnahme, biologische Leistungsparameter sowie Schilddrüsengesundheit und Schilddrüsenstoffwechsel auswirken können. Dieser negative Effekt ist bei monogastrischen Tieren wie Schwein und Geflügel (JEROCH et al., 2008 a und b) deutlich ausgeprägter als bei Wiederkäuern. Die beschriebenen Effekte konnten in vielen Untersuchungen an Schweinen und Geflügel nachgewiesen werden. In älteren Fütterungsversuchen wurde Rapsextraktionsschrot mit unterschiedlichen Gehalten an Glucosinolaten (100-150 mmol/kg) an Ferkel verfüttert und es konnte ein Einfluss auf die Futterraufnahme, das Wachstum sowie reduzierte Gehalte an Schilddrüsenhormonen im Blutserum ermittelt werden (McKINNON und BOWLAND, 1977). SCHÖNE et al. (1990 b) verfütterten Rapsextraktionsschrot mit hohen Gehalten an Glucosinolaten (10 mmol/kg Futter ohne Jodsupplementierung) an Ferkel und konnten einen rapiden Verbrauch des in der Schilddrüse gespeicherten Jods erkennen, verbunden mit den bekannten Jodmangelsymptomen wie Kretinismus und Kropfbildung (LÜDKE et al., 1985). Als Folgen eines Jodmangelsyndroms nennen SCHÖNE et al. (1989) auch Auswirkungen auf den Vitamin A Status sowie auf weitere Mikronährstoffe. Der Einfluss von Glucosinolaten und deren Grenzwerte bei Verfütterung an monogastrische Tiere ist hinreichend untersucht und gut erforscht. Beim Wiederkäuer geht man aufgrund einer „vorgeschalteten“ Glucosinolinaktivierung durch die Pansenmikroorganismen, von einem geringeren Einfluss als bei Monogastern aus (BREVES und LEONHARD-MAREK, 2005). JAHREIS et al. (1995) stellten bei Rapskuchenfütterung erhöhte Gehalte an Thiocyanat im Serum sowie in der Milch von Kühen fest. Die Korrelationen zwischen dem Serum- und dem Milchthiocyanatgehalt waren signifikant. ZECH (1993) fanden bei Verfütterung von rapsreichen Rationen deutlich höhere Thiocyanatgehalte im Blutserum als in der Milch. EMANUELSON et al. (1991) verfütterten 1,65 bzw. 3 kg TM aus fettfreien Rapsprodukten mit Glucosinolatgehalten zwischen 7 und 36 µmol je Gramm Substanz an Milchkühe und konnten bei beiden Einsatzmengen signifikant erhöhte Thiocyanatgehalte in der Milch feststellen. DAYVES (2001) verfütterte 2,01 kg TM Rapsextraktionsschrot, 2,29 kg TM Rapskuchen an je neun Milchkühe und konnte im Vergleich zur Kontrollgruppe (1,58 kg TM Sojaextraktionsschrot, n = 9) verringerte Gehalte an Tetrajodthyronin (Thyroxin, T₄) im Blutserum analysieren. Nach JAHREIS et al. (1995) wird die Konzentration an Schilddrüsenhormonen durch die Verfütterung von Rapskuchen nicht beeinflusst. PAPAS et al. (1979) verfütterten 25 % Rapsextraktionsschrot im Kraftfutter mit einem hohen und einem niedrigen Gehalt an Glucosinolaten an Milchkühe. Beide Rationen reduzierten den Jodgehalt der Milch sowie tendenziell den Thyroxingehalt (T₄) im Blutplasma. FRANKE et al. (2009)

verfütterten 16,5 % Rapsextraktionsschrot (i. d. TM) oder Trockenschlempe an vier Gruppen mit je acht Kühen der Rasse Deutsche Holstein. Neben den beiden unterschiedlichen Eiweißfuttermitteln in der Ration wurden verschiedene Mengen an Jod (0; 0,5; 1; 2; 3, 4 und 5 mg/kg TM) verabreicht. Im eingesetzten Rapsextraktionsschrot wurde ein Glucosinolatgehalt von 3,5 mmol/kg TM analysiert. Die Autoren konnten signifikant niedrigere Milchjodgehalte ($\mu\text{g/kg}$) in der Gruppe, die mit Rapsextraktionsschrot versorgt wurde, im Vergleich zu den Tieren, welche die Trockenschlempe erhalten haben, ausweisen. Zwischen den Gehalten der Schilddrüsenhormone (T_3 und T_4 ; nmol/l) im Blutplasma konnten keine Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (Rapsextraktionsschrot versus Trockenschlempe) ermittelt werden.

2.5 Einfluss von Rapskuchen auf Nährstoffumsetzungen in den Vormägen

Milchkühe sind aufgrund ihres Verdauungstraktes in der Lage Raufutter effizient zu verwerten. Bei ausschließlichem Raufutterangebot kann durchaus eine mittlere Leistung erzielt werden. Hochleistende Milchkühe benötigen, besonders zu Beginn der Laktation, jedoch zusätzlich Energie und Rohprotein. Als Energiequelle wird häufig Stärke in Form von Getreide verwendet. Stärkereiche Rationen können jedoch zu einer intensiven Pansenfermentation und zu einem Abfall des ruminalen pH-Wertes führen, welches nachfolgend negative Einflüsse auf die Futteraufnahme, die Faserverdauung und den Milchfettgehalt haben kann (DOHME, 2005). Um hohe Energiekonzentrationen in Rationen zu erreichen, könnten Futterfette eine Alternative zu stärkereichen Futterkomponenten bieten. Ihr Gehalt an umsetzbarer Energie ist im Vergleich zu Getreide dreimal, an Netto-Energie-Laktation sogar viermal höher (GARNSWORTHY, 1997). Weiterhin bietet der Einsatz von Futterfetten eine Möglichkeit, die Milchfettzusammensetzung hinsichtlich der Produktqualität positiv zu beeinflussen (DOHME, 2005). Rapskuchen stellt, abhängig vom Verarbeitungsprozess mit schwankenden Rohfettgehalten, solch ein fettreiches Futtermittel dar. Rapskuchen enthalten je nach Ausgangsmaterial und Abpressgrad unterschiedliche Mengen an Restfett. In Rationen von Wiederkäuern können hohe Mengen an Futterfett den Stoffwechsel der Pansenmikroorganismen (MACZULAK et al., 1981; SUTTON et al., 1983; PALMQUIST, 1984; MOORE und CHRISTIE, 1984; VAN DER HONING et al., 1981; ABEL und IMMIG, 1991), die Kinetik des Futter- und Flüssigkeitsumschlages im Pansen (IKWUEGBU und SUTTON, 1982) und die Motorik der Vormägen (NICHOLSON und OMER, 1983) beeinflussen. Eine Vielzahl von Versuchen zeigen bei fettreicher Fütterung einen verminderten Gerüstsubstanzaabbau, welcher nach Ansicht verschiedener Autoren

hauptsächlich auf der Wirkung freier Fettsäuren durch „coating“ von Futterpartikeln und Mikroben beruht. Des Weiteren können spezifische toxische Wirkungen von freien Fettsäuren den mikrobiellen Stoffwechsel beeinträchtigen (GALBRAITH et al., 1971; DEMEYER, 1973; DEVENDRA und LEWIS, 1974; PALMQUIST und JENKINS, 1980; BROUDISCOU et al., 1990; IMMIG et al., 1991; VAN NEVEL und DEMEYER, 1995). HENDERSON (1973) sowie JENKINS und PALMQUIST (1982) konnten zeigen, dass durch die Verfütterung von Fett die Verfügbarkeit der Energie für die Pansenmikroorganismen reduziert wurde und zu einer verringerten mikrobiellen Proteinsynthese sowie der flüchtigen Fettsäuren (Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure) führte. Durch eine Reduktion der Synthese der flüchtigen Fettsäuren im Pansen können Auswirkungen auf die Milchhaltsstoffe nicht ausgeschlossen werden (SMITH et al., 1978). Aus weiteren Untersuchungen geht hervor, dass die lipolytische Freisetzung von Fettsäuren aus komplexen Lipiden durch Zulage leicht fermentierbarer Kohlenhydrate herabgesetzt wird (DEMEYER, 1973; GERSON et al., 1985; COENEN et al., 1988), so dass sich der negative Effekt von Fett auf den Gerüstsubstanzaabbau bei optimaler Kombination mit Kohlenhydraten in gewissen Grenzen vermeiden lässt (HAGEMEISTER und VOIGT, 1997). Einen anderen Ansatzpunkt stellt die Verseifung der Fettsäuren dar, dadurch werden diese pansenverträglich gemacht und liegen dann oberhalb pH 6,0 in undissoziierter, weitgehend inerte Form vor (PALMQUIST, 1984; JENKINS und PALMQUIST, 1984; CHALUPA et al., 1986). Dieser zuvor beschriebene negative Effekt von Futterfett auf den Gerüstsubstanzaabbau ist jedoch nicht alleine von der Bindungsform abhängig, sondern wird darüber hinaus vom Sättigungsgrad bestimmt und nimmt mit der Anzahl der Doppelbindungen im Fettsäuremolekül zu (GIESECKE, 1978). Der Mechanismus, wie Fette die Pansenfermentation beeinflussen ist als sehr komplex einzustufen. Hierzu sind Effekte wie Reaktionen der Fette mit der mikrobiellen Zellmembrane, die Fähigkeit und das Ausmaß der Fette mikrobielle Membrane sowie zelluläre Funktionen zu beeinträchtigen, zu nennen. Die physikalische Anhaftung der Mikroben an die Oberfläche der Pflanzenzelle sowie die Ausprägung und Aktivität der mikrobiellen hydrolytischen Enzyme können ebenfalls als Einflussgrößen beschrieben werden (JENKINS, 1993).

In früheren Studien (HARFOOT (1978), HARFOOT und HAZLEWOOD (1988), PALMQUIST und JENKINS (1980)) konnten zwei wichtige mikrobielle Transformationswege von Futterfetten im Pansen von Wiederkäuern identifiziert werden:

- Lipolyse und
- Biohydrogenierung

Die Lipolyse mündet in der Freisetzung von freien Fettsäuren (FFA) aus veresterten Pflanzenlipiden und die Biohydrogenierung reduziert die Anzahl der Doppelbindungen in ungesättigten Fettsäuren. Nachfolgend werden die beschriebenen Mechanismen (Lipolyse und Biohydrogenierung) näher beleuchtet.

2.6 Lipolyse

Futterfette, welche von Wiederkäuern in Form von Triglyceriden, Galactolipiden und Phospholipiden in den Pansen gelangen, werden durch mikrobielle Lipasen in Galaktose und Glycerin sowie in Fettsäuren gespalten. *Anaerovibrio lipolytica* soll an dieser Stelle als bekanntes Beispiel für deren mikrobielle Lipaseaktivität genannt werden und produziert darüber hinaus noch eine zellgebundene Esterease (HARFOOT, 1978). Triglyceride gelangen nur bei hohem Kraftfuttereinsatz in größeren Mengen in den Pansen, wo sie nach GARTON et al. (1961) einer schnellen Hydrolyse unterliegen. Mit ca. 70 bis 80 % stellen Galactolipide den Hauptbestandteil der Lipidfraktion der Grünpflanzen und somit das normale Fettsubstrat für die Pansenmikroorganismen dar. DAWSON und HEMINGTON (1974) konnten zeigen, dass Galactolipide durch die Pansenmikroorganismen in Fettsäuren, Galaktose und Glycerin gespalten werden. Die Galactolipase ist für die Esterspaltung verantwortlich, danach erfolgt die Freisetzung von Galaktose aus Digalaktosylglycerin und Monogalaktosylglycerin durch Galaktosidasen. Die gebildeten Diglyceride können sodann durch Bakterienlipasen weiter hydrolysiert werden (MOORE und CHRISTIE, 1984). FARUQUE et al. (1974) sind der Ansicht, dass neben den mikrobiellen auch pflanzliche Lipasen beteiligt sind. HARFOOT (1981) hingegen postuliert, aufgrund einer raschen Hydrolyse auch bei konserviertem Grünfutter, wobei von einer weitgehenden Inaktivierung der pflanzlichen Lipasen ausgegangen werden muss, dass den pflanzlichen Lipasen eine eher unbedeutende Wirkung beigemessen werden kann. Nach ROUGHAN und BATT (1969) entfallen etwa 15 bis 30 % der Lipidfraktion grüner Pflanzen auf die Phospholipide. HAZLEWOOD und DAWSON (1975) konnten zeigen, dass nur eine kleine Gruppe von Bakterien, u. a. *Butyrivibrio*

fibrisolvens, befähigt ist, Phospholipide zu hydrolisieren. Schon im Jahre 1969 konnte in Untersuchungen von DAWSON und KEMP, die Versuche mit defauniertem Pansensaft durchführten, eine rasche Hydrolyse von Phosphatidylcholin beobachtet werden, was auf eine untergeordnete Bedeutung der Protozoen bei der Hydrolyse von Phospholipiden hindeutet. Galaktose und Glycerol, welche aufgrund der beschriebenen Bedeutung der Galaktolipide den größten Anteil bei der Lipolyse ausmachen, werden in flüchtige Fettsäuren umgewandelt (JENKINS 1993; BEAM et al. 2000), wohingegen ungesättigte Fettsäuren vornehmlich durch Bakterien hydrogeniert (gesättigt) werden (siehe Abbildung 4) (DOHME, 2005). GARTON et al. konnten schon im Jahre 1961 zeigen, dass Glycerol sehr schnell im Pansen fermentiert wird und überwiegend zu Propionsäure als Endprodukt abgebaut wird. Zu gleichen Ergebnissen kamen HAESE et al. (2008). Unter normalen Bedingungen erfolgen die Hydrolyse und die nachfolgende Hydrogenierung sehr schnell und nahezu vollständig. Jedoch konnte *in vitro* gezeigt werden, dass bei steigendem Fettanteil in der Ration nicht nur der Anteil an anflutenden Triglyceriden sondern auch der an ungesättigten Fettsäuren im Dünndarm ansteigen kann (DOHME et al., 2003). Hierbei wird häufig die Herkunft der im Dünndarm anflutenden ungesättigten Fettsäuren wenig betrachtet und davon ausgegangen, dass diese aus dem Futterfett stammen. Darüber hinaus sind Bakterien als auch Protozoen in der Lage, langkettige und einfach ungesättigte Fettsäuren *de novo* zu synthetisieren (JENKINS, 1993; MOORE und CHRISTIE, 1984). Die hierzu benötigten Bausteine stellen in erster Linie die im Pansen gebildeten flüchtigen Fettsäuren dar. Hierbei gilt es zu erwähnen, dass die mikrobiellen Lipide einen verhältnismäßig hohen Anteil an ungeradzahligen oder verzweigten Fettsäuren aufweisen. HARFOOT und HAZLEWOOD (1997) erklären dies durch die Verlängerung von Propionsäure bzw. von iso-Buttersäure oder iso-Valeriansäure. Die Existenz von mehrfach ungesättigten Fettsäuren in mikrobiellen Lipiden konnte bisher nur in wenigen Studien nachgewiesen werden, somit ist es wahrscheinlich, dass diese nicht von den Mikroorganismen selbst synthetisiert, sondern aus dem Milieu aufgenommen werden (HARFOOT und HAZLEWOOD, 1997).

2.7 Biohydrogenierung ungesättigter Fettsäuren

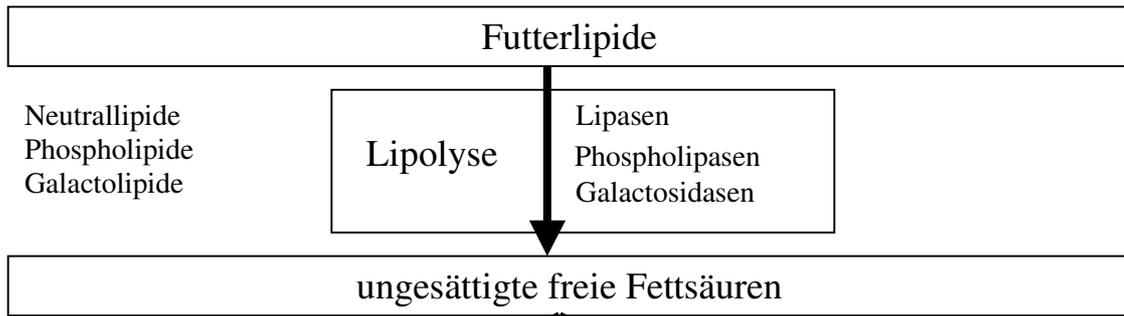
Die zuvor beschriebene Lipolyse führt zu freien (ungesättigten und gesättigten) Fettsäuren im Pansen. Diese haben jedoch aufgrund der folgenden Hydrogenierung eine nur kurze Halbwertszeit. Diese ungesättigten Fettsäuren werden im Pansen an Futterpartikel adsorbiert und dann durch die Pansenmikroorganismen zu einem Großteil hydrogeniert, was zu mehr gesättigten freien Fettsäuren führt (JENKINS, 1993). DAWSON und KEMP (1969) konnten

mit defauniertem Pansensaft eine kaum verringerte Hydrogenierungsrate beobachten, um dadurch die untergeordnete Bedeutung der Protozoen bei diesem Prozess zu belegen. Welche wichtige Rolle die Futterpartikel beim Hydrogenierungsvorgang spielen, konnten HARFOOT et al. (1973 a) an Hand von *in-vitro* Studien belegen. Sie inkubierten filtrierten Pansensaft mit Linolensäure und fraktionierten anschließend das Gemisch in Futterpartikel, Protozoen, Bakterien und zellfreien Überstand. 80 % der Hydrogenierung fand in Verbindung mit den Futterpartikeln statt. Daraus wurde von den Autoren geschlussfolgert, dass die extrazellulären Enzyme, welche von Pansenbakterien stammen, am Hauptort der Hydrogenierung wirken, nämlich an den Futterpartikeln. Die dargelegten Ergebnisse konnten von HARFOOT et al. (1974) gestützt werden. Sie untersuchten, ob langkettige Fettsäuren bevorzugt an Bakterien oder Futterpartikeln adsorbiert werden. Sie konnten zeigen, dass das Ausmaß einer Adsorption an Bakterien mit abnehmendem Sättigungsgrad der Fettsäuren geringer wurde und das Vorhandensein von Futterpartikeln die Adsorption reduzierte. Der Vorgang der Hydrogenierung läuft nur an nichtveresterten Fettsäuren mit freien Carboxylgruppen ab (HAWKE und SILCOCK, 1969; HAGEMEISTER, 1990; JENKINS, 1993; BERGNER und SOMMER, 1994; DOREAU und CHILLIARD, 1997; COLLOMB et al., 2000).

In einer Mehrzahl von Versuchen konnte eine hemmende oder gar toxische Wirkung langkettiger, vor allem ungesättigter Fettsäuren, insbesondere auf grampositive Pansenbakterien nachgewiesen werden (GALBRAITH et al., 1971; DEMEYER, 1973; DEVENDRA und LEWIS, 1974; PALMQUIST und JENKINS, 1980; KABARA, 1984; BROUDISCOU et al., 1990; IMMIG et al., 1991; VAN NEVEL und DEMEYER, 1995). Somit kann die Hydrogenierung nach KEMP et al. (1984 b) als ein Entgiftungsmechanismus gegenüber toxisch wirkenden Fettsäuren angesehen werden, was bezüglich fetthaltiger Futtermittel gegenüber monogastrischer Tiere als vorteilhaft zu werten ist. Das Ausmaß der ruminalen Biohydrogenierung bestimmt das Fettsäuremuster der Dünndarmdigesta. Unter ruminal physiologischen Bedingungen unterliegen ca. 70-90 % der ungesättigten Fettsäuren der mikrobiellen Hydrogenierung (HAGEMEISTER, 1990; BERGNER und SOMMER, 1994; ABU GAZALEH et al., 2002), so dass vor allem unveresterte gesättigte Fettsäuren, wie Stearin-(18:0), Öl- oder Palmitinsäure in den Dünndarm gelangen. Das Ausmaß der ruminalen Biohydrogenierung kann mit Hilfe der Veränderung des Verhältnisses von C 18:0, C 18:1, C 18:2 und C 18:3 in der Dünndarmdigesta verglichen mit dem Verhältnis der beschriebenen Fettsäuren im Futtermittel, abgeschätzt werden (WU et al., 1991), unter der Annahme, dass keine anderen Faktoren außer der Biohydrogenierung eine signifikante Rolle spielen (WU und PALMQUIST, 1991). Erfolgt die Hydrogenierung unvollständig, gelangen

durch den gesteigerten Bypass von Ausgangs- und Intermediärsubstraten vermehrt ungesättigte Fettsäuren, konjugierte Linolsäuren (CLA) und trans-Fettsäuren in den Dünndarm und werden dort intestinal resorbiert (GAYNOR et al., 1994 und 1995; BEAM et al., 2000). Die beschriebenen Intermediärprodukte entstehen während der einzelnen Schritte der Biohydrogenierung von mehrfach ungesättigten Fettsäuren, wobei es zu erwähnen gilt, dass diese Intermediärprodukte selbst eine biologische Wirkungspotenz besitzen. Abbildung 4 zeigt die Schritte während der ruminalen Biohydrogenierung. So entsteht bei der Sättigung von Linolsäure (C 18:2n6 cis9, 12) konjugierte Linolsäure (CLA = conjugated linoleic acid; C 18:2n7 cis9, trans11) und Transvaccensäure (TVA = trans vaccenic acid; C 18:1n7 trans11). Die konjugierte Linolsäure (CLA, C 18:2 trans 10, cis 12) ist in der Lage die *de-novo* Milchfettsynthese zu hemmen (BAUMGARD, et al. 2000; BAUMGARD et al., 2001). Die genannten konjugierten Linolsäuren (CLA) wurden in der jüngeren Literatur aufgrund ihrer antikanzerogenen (PARODI, 1997; PARODI, 1999; BANNI et al., 1999; IP et al., 1999; BELURY, 2002) und antiatherosklerotischen (NICOLOSI et al., 1993; LEE et al., 1994) Wirkungen beziehungsweise wegen der Förderung einer verminderten Insulinsensitivität (SALMERON et al., 2001; BRAY et al., 2002) viel beachtet.

I. Lipolyse



II. Biohydrogenierung

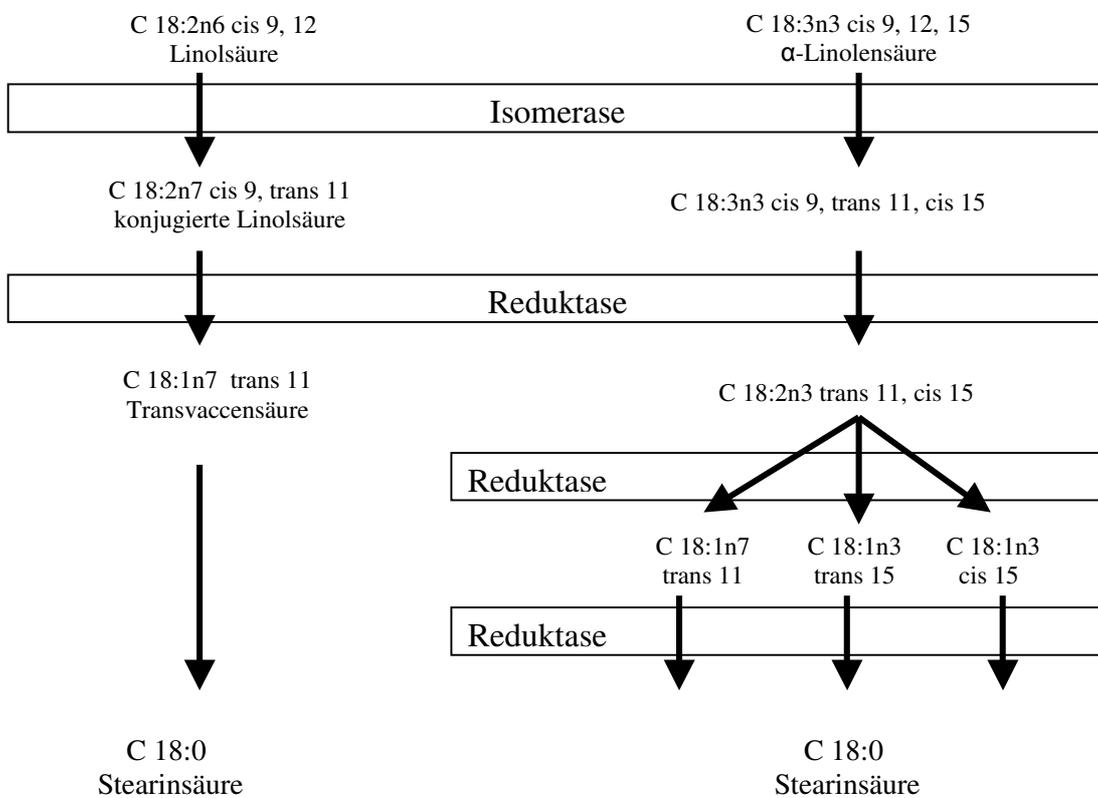


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Lipolyse und der ruminalen Biohydrogenierung ungesättigter Fettsäuren beim Rind

(in Anlehnung an: HARFOOT und HAZLEWOOD, 1988; HAGEMEISTER, 1990; JENKINS, 1993; BERGNER und SOMMER, 1994; HARFOOT und HAZLEWOOD, 1997; IP et al., 1999; CORL et al., 2001; ABU GAZALEH et al., 2002; KENELLY und BELL, 2007)

2.8 Schilddrüsenstoffwechsel

Jod ist ein essentielles Spurenelement und spielt eine zentrale Rolle in der Physiologie der Schilddrüse. Es ist zum einen Bestandteil der Schilddrüsenhormone (T_3 und T_4) und andererseits ein Regulator der Schilddrüsenfunktion. Das Element Jod wurde 1811 von Bernhard Courtois bei der Veraschung von Seetang entdeckt. Der Name Jod leitet sich vom griechischen „iodes“ = „violett“ ab, da beim Erhitzen violette Dämpfe entstehen (LEVER, 1995). ^{127}I ist das natürlich vorkommende Jod. Das erste radioaktive Jodisotop war ^{128}I und wurde 1934 durch Enrico Fermi hergestellt (SILVER, 1962). Die wesentlichen Erkenntnisse wurden mit radioaktiven Jodisotopen (vor allem mit ^{131}I) erarbeitet (FÜGER et al., 2002).

Die Mehrzahl der an landwirtschaftliche Nutztiere verfütterten Futtermittel weisen nur geringe Jodgehalte auf ($< 20\text{-}50 \mu\text{g}/\text{kg TM}$). Der Jodgehalt im Wasser kann mit $2\text{-}7 \mu\text{g}/\text{l}$ ebenfalls als gering bezeichnet werden. Da die Futtermittel sowie Rationen in Zusammensetzung und Trockenmassegehalt schwanken, werden die Jodgehalte auf 1 kg Trockenmasse bezogen. Empfehlungen von $120\text{-}250 \mu\text{g Jod}/\text{kg TM}$ werden für wachsende Schweine und Fresser empfohlen (GfE, 2001). Für laktierende landwirtschaftliche Nutztiere liegen die Empfehlungen auf höherem Niveau ($500\text{-}600 \mu\text{g}/\text{kg TM}$), woraus Jodgehalte in der Milch von $> 100 \mu\text{g}/\text{l}$ resultieren, was zu einer optimalen Versorgung der Neugeborenen mit dem essentiellen Spurenelement Jod führt. Des Weiteren kann hierüber die humane Versorgung mit Jod in tierischen Lebensmitteln erhöht werden, wobei die Bundesrepublik Deutschland nicht zu den Mangelgebieten der Welt zählt (SCHÖNE und RAJENDRAM, 2009).

Jodaufnahme im Organismus

Jod gelangt über die Nahrung in den Magen, anschließend in den Dünndarm, wo es als anorganisches Jodid rasch und nahezu vollständig resorbiert wird. Bei Wiederkäuern mit ausgereifter Pansenfunktion wird das mit der Nahrung aufgenommene Jod zum überwiegenden Teil bereits im Pansen absorbiert (GfE, 2001). Dieses enteral resorbierte Jodid stellt die Hauptquelle des Jodpools im Extrazellularraum dar. Neben der Schilddrüse nehmen auch andere Gewebe, wie Speichel- und Tränendrüsen, Magenschleimhaut, Plexus choroideus, Brustdrüsen und die Plazenta Jodid auf. Im Gegensatz zur Schilddrüse reichert sich Jodid dort jedoch nicht an (FÜGER et al., 2002). Im Speichel und im Magensaft wird Jodid wieder sezerniert und gelangt im enterischen Kreislauf in den Dünndarm zur Reabsorption. Die Ausscheidung erfolgt überwiegend über die Nieren (CAVALIERE, 1997).

Thyreoidale Jodidaufnahme – der Na^+/I^- - Symporter

Die Verfügbarkeit von Jod sowie der Funktionszustand der Schilddrüse sind entscheidend für die thyreoidale Jodkonzentration, welche unter physiologischen Bedingungen 20-50 mal höher ist als im Plasma. Die Anreicherung des aus der Nahrung resorbierten Jodids in der Schilddrüse erfolgt über einen aktiven Transport durch den Natrium-Jodid (Na^+/I^-) – Symporter (vgl. Abbildung 5, JOSEFSSON et al., 2002).

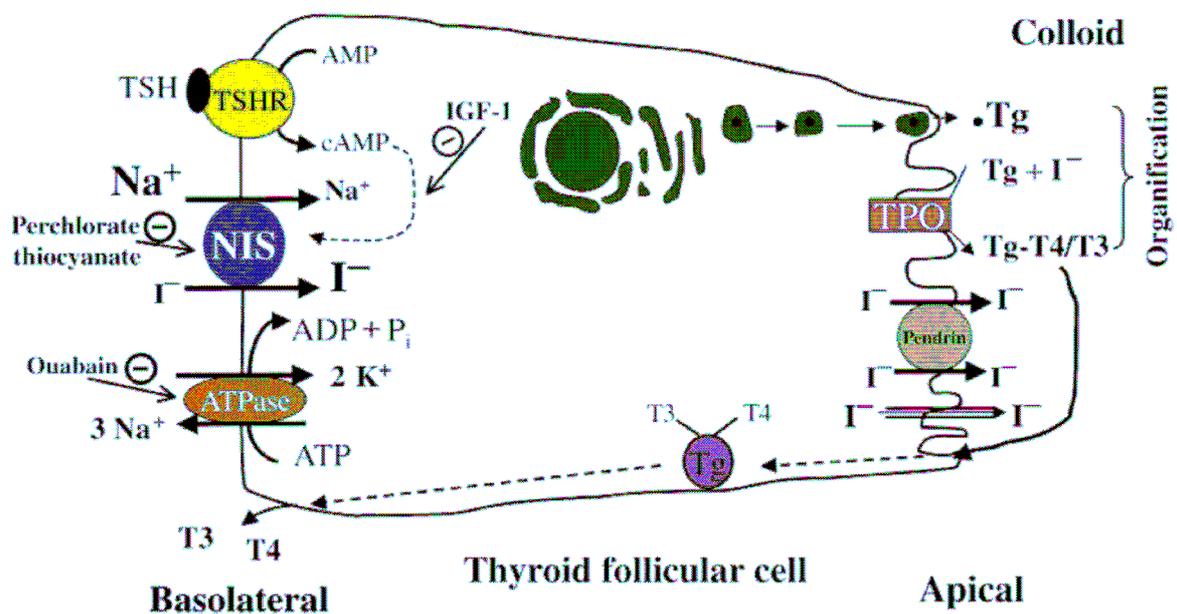


Abbildung 5: Jodidtransport in die Schilddrüse und Schilddrüsenhormonproduktion (SPITZWEG und MORRIS, 2002)

Außer in der Schilddrüse wird der Na^+/I^- - Symporter in deutlich geringerem Ausmaß auch im Plexus choroideus, in der Plazenta und überall dort, wo der Körper Kontakt mit der Umwelt hat, exprimiert. Die Aktivität des Na^+/I^- - Symporters wird durch Perchlorat und Thiocyanat kompetitiv gehemmt. Die Schilddrüsenhormonsynthese erfolgt in der Schilddrüsenfollikelzelle und besteht aus fünf Einzelschritten (Trapping, Jodination, Jodisation, Koppelung, Speicherung) (vgl. FÜGER et al., 2002).

Effekt von Jodantagonisten (Glucosinolate) auf den thyreoidalen Jodstatus

Zu den Jodantagonisten zählen neben dem genannten Perchlorat auch Glucosinolate, welche in unterschiedlichen Anteilen in Futtermitteln aus Raps (Rapssaat, Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen) enthalten sind. Daneben wirken Abbauprodukte dieser Glucosinolate ebenfalls antagonistisch auf die Jodaufnahme und –stoffwechsel der Schilddrüse. Bei Verfütterung von glucosinolathaltigen Futtermitteln an monogastrische Tiere und an ruminierende Wiederkäuer können Effekte auf den Schilddrüsenstoffwechsel (Strumabildung) und somit Auswirkungen auf biologische Leistungsmerkmale nicht ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund wird für Milchkühe eine Verdopplung der Versorgung mit Jod von 0,5 mg/kg TM auf 1 mg/kg TM bei Verfütterung von glucosinolathaltigen Futtermitteln von der GfE (2001) empfohlen.

3 Eigene Untersuchungen

3.1 Versuchsanlage, Versuchtiere und Haltung

Der dieser Arbeit zugrundeliegende Fütterungsversuch wurde an der Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung (LVAV), Hofgut Neumühle in Münchweiler an der Alsenz (Rheinland-Pfalz) durchgeführt. Zu Versuchsbeginn (August 2007) wurden an der LVAV etwa 85 Milchkühe der Rasse Deutsche Holstein gehalten. Die laktierenden Kühe befanden sich in einem dreireihigen Boxenlaufstall mit 60 Liegeboxen (Hoch- und Tiefboxen). Für den Fütterungsversuch standen alle laktierenden Tiere der Herde zur Verfügung, d. h. in der Regel befanden sich je nach Anteil an trockenstehenden Tieren 60 bis 65 laktierende Tiere im Versuch. Die abgekalbten Tiere wurden nach etwa 14 Tagen, sofern sie keine klinischen Auffälligkeiten (erhöhte Temperatur, Ketose, usw.) zeigten, in die Versuchsherde integriert. Bei Einstellung von frisch laktierenden Tieren in die Versuchsgruppe wurden entsprechend altmelkende Tiere ausgestallt. Der Versuch gliederte sich in sieben Versuchsabschnitte zu je sieben Wochen. Die ersten 14 Tage dienten der Adaptation der Tiere an die Ration. Die folgenden fünf Versuchswochen dienten der Datenerhebung. In Abbildung 6 ist der Versuchsaufbau schematisch dargestellt.

Aus den im Fütterungsversuch stehenden Tiere wurden zu Versuchsbeginn 20 Tiere (Abkalbung kurz vor Versuchsbeginn, Juli 2007) ausgewählt, die den gesamten Versuchszeitraum durchlaufen sollten. Von diesen Tieren wurden in jedem Versuchsabschnitt entsprechende Proben für spezielle Untersuchungen (vgl. Kapitel 3.4, 3.6 und 3.7) gezogen, so dass immer die gleichen Tiere beprobt wurden.

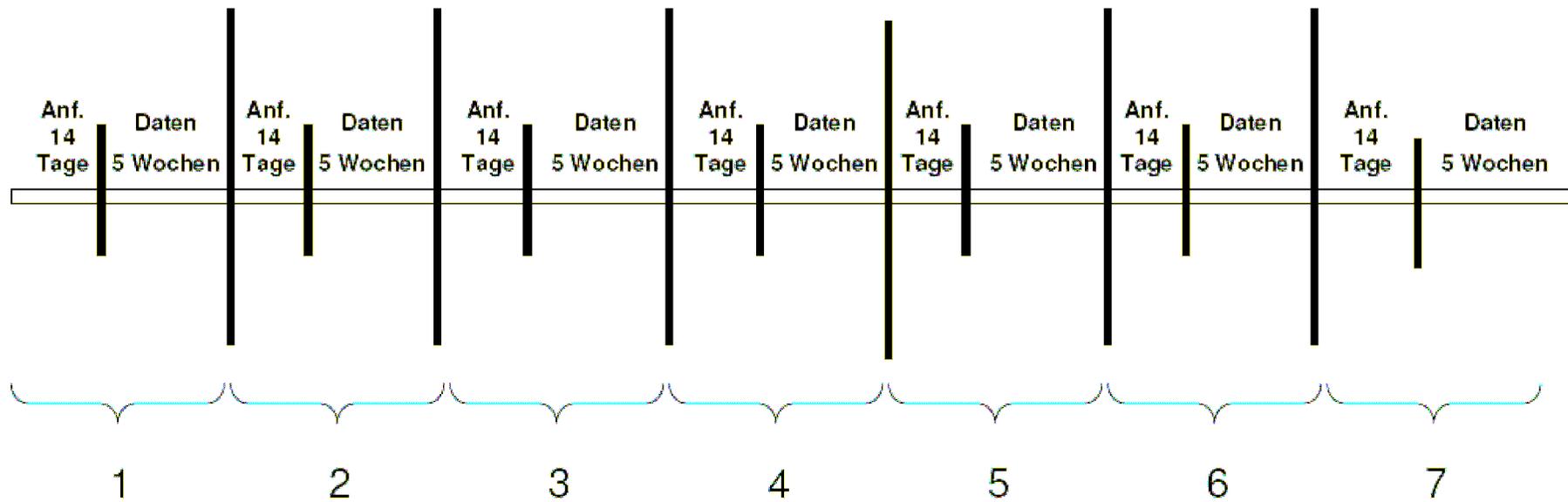


Abbildung 6: Versuchsaufbau (Anf.: Anfütterung; Daten: Datenerfassung)

Die gesamte Herde war entweder Kontroll- oder Versuchsgruppe (jedoch zeitversetzt), d. h. der Versuch gliederte sich wie folgt:

1. Abschnitt: Kontrolle (ohne Rapsprodukte, mit Harnstoff)
2. Abschnitt: Versuch (mit Rapskuchen, ohne Harnstoff)
3. Abschnitt: Kontrolle (ohne Rapsprodukte, mit Harnstoff)
4. Abschnitt: Versuch (mit Rapskuchen , mit Harnstoff)
5. Abschnitt: Kontrolle (ohne Rapsprodukte, mit Harnstoff)
6. Abschnitt: Versuch (mit Rapskuchen, mit Rapsextraktionsschrot, mit Harnstoff)
7. Abschnitt: Kontrolle (ohne Rapsprodukte, mit Harnstoff)

Die Tiere wurden zweimal täglich in einem Fischgrätenmelkstand mit fünf Plätzen sowie in einem Tandemmelkstand mit drei Plätzen, gemolken. An den Melkplätzen waren Melksteuergeräte (Metatron 12, Westfalia Surge GmbH, Bönen) installiert, kombiniert mit Melkzeugabnahme und Milchmengenmessung.

Gefüttert wurden die Tiere zweimal täglich in 28 Fress-Wiegetrögen, wobei morgens (05.30 Uhr) etwa 40 % und nachmittags (15.30 Uhr) circa 60 % der Tagesmenge der Gesamtmischung (TMR) ausdosiert wurde. Die Wiegetröge wurden täglich vor der Morgen- sowie vor der Nachmittagsfütterung gereinigt, wobei die Futterreste entfernt und quantifiziert wurden. Zum Anmischen der TMR wurden die Rationskomponenten mit Hilfe von Schnecken über Kraftfutter-Silos bzw. manuell (Futterkalk, Mineralfutter, Natriumchlorid und Futterharnstoff) oder mittels der Entnahmefräse (Grassilage, Maissilage und Heu) des Futtermischwagens in den Mischbehälter mit 10 m³ Mischvolumen gefüllt. Der selbstfahrende Horizontalmischwagen Typ R.M.H. 350-CS (Lachish Industries, Israel) war mit vier horizontalen Mischschnecken ausgestattet.

Im Versuch eingesetzte Futtermittel und Rationszusammensetzung (* Kalkulierte Gehalte)

Tabelle 8: Rationszusammensetzung der jeweiligen Versuchsabschnitte

| Komponente (% d. TM) | Gruppe | | | | | | |
|-----------------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|
| | 1: Kontrolle | 2: Versuch | 3: Kontrolle | 4: Versuch | 5: Kontrolle | 6: Versuch | 7: Kontrolle |
| Maissilage | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 32,1 |
| Grassilage | 18,2 | 18,2 | 18,2 | 18,2 | 18,2 | 18,2 | 18,2 |
| Heu | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 1,5 | 6,9 |
| Wintergerste | 17,1 | 9,2 | 17,1 | 9,2 | 17,1 | 9,2 | 17,1 |
| Rapsextraktionsschrot | -- | -- | -- | -- | -- | 8,3 | -- |
| Sojaextraktionsschrot | 6,9 | 1,8 | 6,9 | 1,8 | 6,9 | -- | 6,9 |
| Rapskuchen | -- | 16,5 | -- | 16,5 | -- | 10,6 | -- |
| Körnermais | 17,4 | 13,8 | 17,4 | 13,8 | 17,4 | 13,8 | 17,4 |
| NEL/kg TM* | 7,0 | 7,2 | 7,0 | 7,2 | 7,0 | 7,2 | 7,0 |
| XP g/kg TM* | 159 | 159 | 159 | 159 | 159 | 159 | 159 |
| nXP g/kg TM* | 155 | 150 | 155 | 150 | 155 | 150 | 155 |
| XF g/kg TM* | 156 | 153 | 156 | 153 | 156 | 159 | 156 |
| XL g/kg TM* | 34 | 63 | 34 | 63 | 34 | 49 | 34 |
| RNB g/kg TM* | 0,6 | 1,5 | 0,6 | 3,3 | 0,6 | 3,3 | 0,6 |

Alle Tiere erhielten täglich 100 g Futterkalk, 70 g Mineralfutter und 100 g Futterharnstoff. In Versuchsabschnitt 2 wurde kein Futterharnstoff an die Tiere verfüttert.

Von den im Fütterungsversuch eingesetzten Futtermitteln wurden während der 5-wöchigen Datenerfassungsperiode wöchentlich je 1 kg Futtermittel als repräsentative Probe gezogen, gekennzeichnet und bei -18° C tiefgefroren. Von der gefütterten TMR wurden Wochenproben aus 7-tägigen Einzelproben erstellt und ebenfalls tiefgefroren.

3.2 Rationszusammensetzung

Vor Versuchsbeginn im Juli 2007 wurden nach den Empfehlungen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie GfE (2001) die Versuchsrationen konzipiert, wobei folgende Empfehlungen, für ein Lebendgewicht von 650 kg bei 4 % Fett und 3,4 % Eiweiß Beachtung fanden:

Erhaltung: 37,7 MJ NEL/Tag und 440 g nXP/Tag

Leistung: 3,4 MJ NEL/kg Milch und 85 g nXP/kg Milch

Die Inhaltsstoffe der im Fütterungsversuch eingesetzten Grobfuttermittel wurden im Juli 2007 durch die LUFASpeyer (VDLUFASpeyer, 2007) analysiert und für die Rationsberechnung zugrunde gelegt. In regelmäßigen Abständen sowie bei einem Grobfutterwechsel wurden die neuen Futterinhaltsstoffe in der Rationsplanung berücksichtigt, wobei die Qualität (wertgebenden Inhaltsstoffe) der verfütterten Futtermittel als hoch einzustufen war.

Die Inhaltsstoffe der weiteren Futtermittel (Wintergerste, Sojaextraktionsschrot, Körnermais und Rapsextraktionsschrot) wurden der DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer (UNIVERSITÄT HOHENHEIM – DOKUMENTATIONSSTELLE, 1997) entnommen, um die Rationen zu konzipieren, sodass die in Tabelle 8 dargestellten Rationskennzahlen (NEL/kg TM; XP g/kg TM; nXP g/kg TM; XF g/kg TM; XL g/kg TM, RNB g/kg TM) als die angestrebten Werte zu interpretieren sind. Die jeweils verfütterte Charge Rapskuchen wurde vor jedem Versuchsabschnitt auf die wertgebenden Inhaltsstoffe (TM; XP; XL, XF) untersucht. Die verfütterte Rapskuchenmenge wurde auch bei sich variierenden Inhaltsstoffen nicht verändert.

3.3 Untersuchung der Futtermittel

Von den im Fütterungsversuch eingesetzten Futtermitteln wurden während der 5-wöchigen Datenerfassungsperiode wöchentlich je 1 kg Futtermittel als repräsentative Probe gezogen, gekennzeichnet und bei -18° C tiefgefroren. Von der gefütterten TMR wurden Wochenproben aus 7-tägigen Einzelproben erstellt und ebenfalls tiefgefroren. Aus den Wochenproben der Einzelfuttermittel wurde durch Poolung eine homogene Gesamtprobe erstellt und hieraus zwei repräsentative Futterproben entnommen und eine an der LUFA Speyer auf die Variablen in Tabelle 9 analysiert.

Die Rohnährstoffe wurden nach den Methoden des VDLUFA (2007) bestimmt. Neben den genannten Futtermitteluntersuchungen wurde der Rapskuchen in der LUFA Speyer auf Glucosinolate mittels HPLC (Hochleistungsflüssigkeitschromatographie) (EG-Methode 1864/90) analysiert.

Tabelle 9: Analysierte Variablen der eingesetzten Futtermittel

| Parameter | Methode VDLUFA (2007) |
|---|------------------------------|
| Trockenmasse (TM) | 3.1/2/5 |
| Rohprotein (XP) | 4.1.2 |
| Rohfett (XL) | 5.1.1/3 |
| Rohfaser (XF) | 6.1.1 |
| Rohasche (XA) | 8.1/4 |
| Rohstärke (XS) [#] | 7.2.1 |
| nutzbares Rohprotein (nXP) ⁺ | NIRS - Verfahren |
| Neutral-Detergenzien-Faser, aschefrei (NDF _{org}) | 6.5.1 |
| Säure-Detergenzien-Faser, aschefrei (ADF _{org}) | 6.5.2 |

⁺: Grassilage, Maissilage, Heu; [#]: Maissilage, Wintergerste und Körnermais

3.4 Futteraufnahme, Milchmenge und Milchinhaltsstoffe

Futteraufnahme

Die tägliche tierindividuelle Futteraufnahme wurde über 28 elektronische Wiegetröge erfasst. Jedes Tier hatte zu jedem Wiegetrog ganztägig freien Zugang. Der Zugang zu den Wiegetrögen erfolgt durch elektromagnetisch verriegelte Tore, Calan Gates (American Calan, New Hampshire, USA). Diese wurden durch den Transponder am Halsband des Tieres entriegelt und die Tiere konnten so bei Tiererkennung durch das System Futter aufnehmen. Die aufgenommene Futtermenge pro Besuch wurde per Differenz des Troggewichtes vor und nach einem Besuch ermittelt. Nach der Futteraufnahme wurde das Tor wieder verriegelt. Die über 24 Stunden erfasste Frischmasse (FM)-Aufnahme wurde addiert und in einer tierindividuellen Liste für jeden Tag gespeichert. Die Daten wurden mit der Herdenmanagement-Software DairyPlan C21 aufgearbeitet um schließlich der statistischen Auswertung zugänglich zu machen. Um die TM-Aufnahme bestimmen zu können, wurden täglich TMR-Proben gezogen und zu einer repräsentativen Wochenprobe zusammengefasst. Anhand dieser Wochenproben wurde der Trockenmassegehalt (TM-Gehalt) durch Trocknung über 18 Stunden bei 100° C im Trockenschrank der LVAV, Hofgut Neumühle ermittelt.

Milchmenge und -inhaltsstoffe

Die tägliche tierindividuelle Milchmenge wurde mit Hilfe der Herdenmanagement-Software DairyPlan C21 erhoben und in täglichen Listen abgespeichert. Neben den monatlich vom Landeskontrollverband Rheinland-Pfalz (LKV RLP, 2008) durchgeführten Milchkontrollen wurden während der 5-wöchigen Datenerfassungsperiode wöchentliche (Sonntag Abend und Montag Morgen) Milchproben von den laktierenden Tieren gezogen. Die Milchprobennahme erfolgte analog der offiziellen Milchleistungsprüfung des LKV RLP mit geeichten Tru-Testern (Milchmengenmessgeräte), die zur Milchprobenabtrennung zwischen Melkzeug und Milchleitung angebracht wurden. Aus je einem Abend- und einem Morgengemelk wurde eine aliquote tierindividuelle Milchprobe gewonnen und zeitnah in das Labor des LKV nach Thalfang verbracht und dort auf folgende Milchinhaltsstoffe analysiert: Fettgehalt (%), Eiweißgehalt (%), Anzahl somatische Zellen, fettfreie TM (%), Harnstoff (mg/l: Milcoscan, FTIR-Technologie (FOSS GmbH, Rellingen) sowie per Autoanalyzer (LKV RLP, 2008)). Weiterhin wurde am Institut für Tierernährung der Universität Hohenheim die Milchfettsäurezusammensetzung bestimmt. Hierzu wurden die aliquoten Proben der 20 ausgewählten Tiere (aus dem 1. und 2. Versuchsabschnitt) aufgetaut und jeweils 10 g pro

Probe in ein Zentrifugengefäß überführt und bei 12000 rpm und 4° C für eine halbe Stunde abzentrifugiert. Das Gemisch aus Fett und anderen Milchbestandteilen setzte sich als Kuchen oben im Zentrifugengefäß ab und wurde dann zur weiteren Aufarbeitung abgeschöpft. Die Gewinnung des Milchfettes aus den Proben erfolgte wie bei HARA und RADIN (1978) beschrieben:

- 18 ml/g Fettkuchen der Hexan-Isopropanol-Mischung (Verhältnis 3:2 Vol/Vol) zugeben und 1 Min. mixen
- 12 ml/g Fettkuchen Natriumsulfatlösung (6,7 % in H₂O) zugeben und 1 Min. mixen
- Phasentrennung abwarten
- die obere Phase (Hexan) in ein Probengefäß mit 1 g wasserfreies Na₂SO₄ überführen und 1 Min. mixen
- bei 4° C für 10 Min. abzentrifugieren
- erneut die Hexanphase überführen und dann bei 40° C unter Stickstoffbegasung das Hexan abdampfen.

Die abgedampften Milchfettproben wurden wie bei CHOUINARD et al. (1999) und CHRISTIE (1982) beschrieben methyliert und mittels eines Gaschromatographen hp 6890 mit Probengeber und Flammenionisationsdetektor analysiert. Bei der Analyse diente Helium als Trägergas und Stickstoff als „makeup-Gas“. Als Säule zur Trennung wurde eine 30 Meter lange Supelco SP 2380 mit einem Querschnitt von 0,25 mm und einer Filmdicke von 0,2 µm verwendet. Die Proben wurden mit Split injiziert und durchliefen ein Temperaturprogramm von 50° C bis 250° C über eine Dauer von 78 Minuten.

3.5 Energetische Futterwertbestimmung von Rapskuchen für Wiederkäuer

Eine genaue Methode zur Ermittlung des Energiegehaltes von Futtermitteln ist der Verdauungsversuch an Hammeln (Hammeltest). Dieser wird seit mehr als 25 Jahren durch die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen im Landwirtschaftszentrum Haus Riswick durchgeführt (SPIEKERS und POTTHAST, 2004). Um die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und so den energetischen Futterwert (ME- und NEL-Gehalt) von Rapskuchen bestimmen zu können, wurde im September 2008 in Haus Riswick eine Verdaulichkeitsmessung der Rohnährstoffe am Hammel mit dem im Fütterungsversuch an der LVAV, Hofgut Neumühle eingesetzten Rapskuchen durchgeführt.

Hierzu wurden unterschiedliche Mengen an Rapskuchen (siehe Tabelle 10) im gestaffelten Austauschversuch (nach den Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen an Wiederkäuern; AfBN (1991)) an fünf Gruppen mit jeweils vier Hammeln getestet, wobei in einer Gruppe die Verdaulichkeit der Roh Nährstoffe des Heus bestimmt wurde. Für den Verdauungsversuch wurde eine Trockenmasseaufnahme von 900 g je Hammel und Tag unterstellt.

Tabelle 10: Fütterungsregime Hammeltest

| Gruppe | Rapskuchen in % der TM | Menge (g FM/Tag) | | | Menge (g TM/Tag) | |
|----------|---------------------------|------------------|------------|-------|------------------|------------|
| | | Heu | Rapskuchen | Summe | Heu | Rapskuchen |
| Gruppe 1 | 0 | 1059 | 0 | 1059 | 900 | 0 |
| Gruppe 2 | 15 | 900 | 150 | 1050 | 765 | 135 |
| Gruppe 3 | 30 | 741 | 300 | 1041 | 630 | 270 |
| Gruppe 4 | 45 | 582 | 450 | 1032 | 495 | 405 |
| Gruppe 5 | 60 | 424 | 600 | 1024 | 360 | 540 |

Nach einer 14-tägigen Anfütterungsperiode, zur Adaptation der Hammel an das Futter, wurde über sieben Tage der gesamte tierindividuelle Kot gesammelt und quantifiziert. 20 % der Gesamtkotmenge wurden eingefroren. Die Wasseraufnahme erfolgte ad libitum. Die Durchführung der Weender Analysen in Futter und Kot fanden in der LUFA in Münster nach den Vorschriften des VDLUFA (2007) statt.

3.6 Jodgehalt in der Milch, im Blutserum sowie Schilddrüsenhormone T₃ und T₄ im Blutserum

Glucosinolate können eine negative Wirkung auf den thyreoidalen Jodstatus ausüben. Um den Effekt der im Rapskuchen befindlichen Glucosinolate zu analysieren, wurde von allen im Fütterungsversuch eingesetzten Futtermitteln der Jodgehalt bestimmt. Weiterhin wurde in der Milch sowie im Blutserum von den 20 ausgewählten Tieren der Jodgehalt gemessen. Die Schilddrüsenhormone T₃ und T₄ wurden ebenfalls im Blutserum bestimmt. Alle Untersuchungen wurden an der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) in Jena, durchgeführt.

Der Jodgehalt in den Futtermitteln wurde nur in den ersten beiden Versuchsabschnitten (1.: Kontrolle, 2.: Rapskuchen), um eventuelle Langzeiteffekte der Glucosinolate auszuschließen, ermittelt. Hierzu wurden Futterproben von allen Futtermitteln in der siebten Versuchswoche des jeweiligen Versuchsabschnittes gezogen, dokumentiert und bei -18 °C tiefgefroren. Der Probenahmezeitpunkt wurde so gewählt, dass der Termin mit der Milchprobe- und der Blutprobenahme identisch war. Die Futterproben wurden im gefrorenen Zustand zur TLL nach Jena transportiert. Um die Futtermittel auf den Jodgehalt analysieren zu können, wurden die Futterproben fein gemahlen, wobei die Silageproben (Gras- und Maissilage) vorher einer Gefriertrocknung unterzogen wurden. 500 mg Futterprobe wurden sodann mit 100 ml einer 0,5%igen Ammoniaklösung [hergestellt aus Ammoniak-Hydroxyd, 25 % NH₃ (Merck, Darmstadt) und destilliertem deionisiertem Wasser] in einem abgedichteten Behälter über Nacht gelagert. Danach wurden die Proben geschüttelt und die festen Betsandteile abfiltriert (vgl. VDLUFA, 2003). Neben des Jodgehaltes wurde der Gehalt an TM, XP, XL, XF und XA in den Futtermitteln bestimmt (BASSLER und BUCHHOLZ, 2006). Der NEL-Gehalt wurde mit Hilfe der Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe aus der DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer (UNIVERSITÄT HOHENHEIM-DOKUMENTATIONSSTELLE, 1997) und der empfohlenen Formel der GfE (2001) berechnet. Für die Bestimmung des Jodgehaltes in der Milch lagen aliquote Milchproben von den ausgewählten 20 Tieren vor, welche in der siebten Versuchswoche des ersten und zweiten Versuchsabschnittes gezogen wurden. Jeweils 100 ml (Röhrchen aus Polypropylen; 50 ml; 114x28 mm; Fa. Sarstedt, Nümbrecht) aliquote Milch wurden tierindividuell gekennzeichnet und bis zur Analyse bei -18°C tiefgefroren. Die Milchproben wurden an der TLL in Jena gefriergetrocknet und gemahlen. Zur Herstellung des Lyophylisats wurden 500 mg mit 1 ml Tetra-Methyl-Ammoniak-Hydroxyd (TMAH) (TAMA Chemicals, Kawasaki Laboratory, Osaka, Japan) und 5 ml destilliertem deionisiertem Wasser in einem 50 ml Röhrchen aus Polypropylen gasdicht verschlossen. Die Proben wurden für die Jodanalyse über 3 Stunden auf 90°C erhitzt. Nachdem die Proben wieder auf Raumtemperatur abgekühlt waren, wurden 19 ml destilliertes deionisiertes Wasser zugegeben und die wässrige Schicht für 15 Minuten bei 15 °C bei einer Beschleunigung von 4000 g abzentrifugiert.

Die Blutproben (Röhrchen für Serum; 10 ml; 101x16,5 mm; Fa. Sarstedt, Nümbrecht) wurden ca. fünf Stunden nach der Morgenfütterung aus der Schwanzvene gezogen. Das Blut wurde nach der Entnahme und nach vollständiger Koagulation 10 min bei einer Beschleunigung von 3000 g zentrifugiert (EBA 12, Hettich Zentrifugen, Tuttlingen). Das so gewonnene Serum

wurde in Probenröhrchen (10 ml; 95x16,8 mm; Fa. Sarstedt, Nümbrecht) bei -18°C bis zur Jodanalyse tiefgefroren.

Die Jodgehalte in den Futtermitteln, der Milch sowie im Blutserum wurden mit Hilfe des ICP-MS-Verfahrens (inductively coupled plasma-mass spectrometry; Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma; ICP-MS; SCIEX ELAN® DRC-e, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA) (FECHER et al., 1998; LEITERER et al., 2001; SCHÖNE et al. 2009) bestimmt (vgl. <http://www.icp-ms.de>).

Die Bestimmung der Schilddrüsenhormone T_3 und T_4 im Blutserum erfolgte mit einem Radioimmunoassay (RIA) mit folgenden Kits: DSL TT3 RIA, DSL 3100, DSL TT4 RIA, DSL 3200 (Beckman Coulter GmbH, Sinsheim).

3.7 Gewicht, Körperkonditionsmerkmale und Kenngrößen zum Stoffwechsel der Tiere

Die Tiere wurden während der 5-wöchigen Datenerfassungsperioden im 14-tägigen Abstand gewogen (3., 5. und 7. Woche des jeweiligen Versuchsabschnittes). Zeitgleich mit der tierindividuellen Wiegung wurde die Körperkondition der Tiere mittels Body-Condition-Score (BCS) ermittelt (EDMONSON et al., 1989). Ebenfalls 14-tägig wurde die tierindividuelle Rückenfettdicke (RFD) nach der Methode von STAUFENBIEL (1997) per Ultraschall (Aloka SSD 500, 48 mm breiter Linearschallkopf, UST 5820, 5 MHz, Fa. ALOKA GmbH, Meerbusch) gemessen.

Von den zu Versuchsbeginn ausgewählten 20 Tieren wurden zweimal Blutproben (3. Versuchswoche und 7. Versuchswoche) während der sieben Versuchsabschnitte gezogen. Die Blutprobenahme erfolgte jeweils um 10.00 Uhr (Montag Morgen, ca. fünf Stunden nach der Morgenfütterung) aus der Schwanzvene. Bei jeder Blutprobenentnahme wurden 10 ml venöses Blut mit Hilfe von Serumröhrchen (Röhrchen für Serum; 10 ml; 101x16,5 mm; Fa. Sarstedt, Nümbrecht) gesammelt. Das Blut wurde nach der Entnahme und nach vollständiger Koagulation 10 min bei einer Beschleunigung von 3000 g zentrifugiert (EBA 12, Hettich Zentrifugen). Das so gewonnene Serum wurde in Probenröhrchen (10 ml; 95x16,8 mm; Fa. Sarstedt, Nümbrecht) bei -18°C bis zur Analyse tiefgefroren. Der Tabelle 11 sind die Blutparameter zu entnehmen, welche an der Tierärztlichen Hochschule Hannover (TiHo) analysiert wurden.

Tabelle 11: Analysierte Blutparameter

| Parameter | Einheit |
|---------------------------|----------------|
| Triglyceride | mmol/l |
| Gesamteiweiß | g/l |
| Gesamtbilirubin | µmol/l |
| Aspartat-Aminotransferase | U/l |
| Gamma-Glutamyltransferase | U/l |
| Glutamat-Dehydrogenase | U/l |
| Freie Fettsäuren | µmol/l |
| β-Hydroxybutyrat | mmol/l |
| Harnstoff | mmol/l |

Harn

Neben den beschriebenen Blutparametern wurden von den gleichen 20 Tieren in der 6. Versuchswoche eines jeden Versuchsabschnittes Harnproben zur Bestimmung der Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (NSBA) sowie des pH-Wertes gezogen. Die Harnproben wurden über Spontanurin in Probenröhrchen (50 ml; 114x28 mm; Fa. Sarstedt, Nümbrecht) gefüllt, tierindividuell gekennzeichnet und sodann bei -18 °C bis zur Analyse tiefgefroren. Die Harnproben wurden in der TiHo Hannover auf die relevanten Parameter (NSBA und pH-Wert) analysiert.

3.8 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der erhobenen Daten des Fütterungsversuches erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS (Statistical Analysis System) für Windows, Version 9.1. In die Auswertung wurden alle Tiere einbezogen, die mindestens zwei Wochen entweder in der Kontroll- oder Versuchsgruppe waren. Nachfolgendes statistisches Modell wurde benutzt:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \lambda_l + \varepsilon_{ijkl}$$

wobei:

Y_{ijkl} Beobachtungswert der abhängigen Variablen

μ Mittelwert

α_i fixer Effekt der Versuchsphase; $i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$

β_j zufälliger Effekt des Tieres; $j=1, \dots, 95$

γ_k fixer Effekt der Laktationsnummer; $k=1, 2, 3, 4$

λ_l fixer Effekt des Laktationsmonats; $l=1, \dots, 10$

ε_{ijkl} zufällige Resteffekte

Zur Analyse wurde die SAS-Prozedur MIXED angewendet. Die Signifikanzprüfung erfolgte mit Hilfe des Tukey-Kramer-Tests. Unterschiede zwischen den Gruppen wurden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($p < 0,05$) als signifikant, bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit zwischen 5 und 10 % ($0,1 > p > 0,05$) als tendenziell angenommen.

4 Ergebnisse

4.1 Inhaltsstoffe der Futtermittel

Als Grobfuttermittel wurden Grassilagen des 1. und 2. Schnittes des Jahres 2007 sowie des 1. Schnittes 2008 verfüttert. Die verabreichte Maissilage stammte aus der Jahrernte 2006 und 2007. Heu wurde aus dem Jahre 2007 verfüttert. Alle eingesetzten Grobfuttermittel wurden auf den Flächen der Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung, Hofgut Neumühle geerntet. Die Handelsfuttermittel wurden von umliegenden Landhändlern zugekauft. Der Rapskuchen stammte aus der Ölmühle Pfälzer Naturenergie in Zweibrücken. Tabelle 12 zeigt die Roh Nährstoffgehalte der verfütterten Rapskuchen. Die Roh Nährstoffgehalte der in den jeweiligen Versuchsabschnitten (1-7) eingesetzten weiteren Futtermittel (Maissilage, Grassilage, Heu, Wintergerste, Körnermais, Sojaextraktionsschrot und Rapsextraktionsschrot) sind den Tabellen A2 bis A8 im Anhang zu entnehmen. Weiterhin wurden im Rahmen eines Rapskuchenmonitorings 12 Rapskuchen aus dezentralen Ölmühlen aus Rheinland-Pfalz und dem Saarland auf die wertgebenden Inhaltsstoffe analysiert. Die Ergebnisse sind Tabelle A 1 im Anhang zu entnehmen.

Inhaltsstoffe des verfütterten Rapskuchens

Während des gesamten Fütterungsversuches wurden drei Chargen Rapskuchen von der Ölmühle Pfälzer Naturenergie in Zweibrücken verfüttert.

Tabelle 12: Kenngrößen der verfütterten Rapskuchen

| Kenngrößen | Rapskuchen 1* | Rapskuchen 2* | Rapskuchen 3* |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| NEL (MJ/kg TM) ^a | 8,6 | 8,6 | 8,6 |
| XP (g/kg TM) | 327 | 325 | 326 |
| nXP (g/kg TM) ^a | 204 | 204 | 204 |
| XL (g/kg TM) | 206 | 180 | 201 |
| XF (g/kg TM) | 115 | 119 | 117 |
| ADF _{org} (g/kg TM) | 180 | 201 | 182 |
| NDF _{org} (g/kg TM) | 210 | 219 | 159 |
| NFC (g/kg TM) | 193 | 213 | 247 |
| RNB (g/kg TM) ^a | 23 | 23 | 23 |

* Charge: 1 wurde im Versuchsabschnitt 2 verfüttert; 2 wurde im Versuchsabschnitt 4 verfüttert; 3 wurde im Versuchsabschnitt 6 verfüttert; ^a Rapskuchen „00“ Typ, 12-20 % Fett (DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer, UNIVERSITÄT HOHENHEIM-DOKUMENTATIONSSTELLE, 1997)

Neben den Inhaltsstoffen wurde der Glucosinolatgehalt (GSL-Gehalt) der Rapskuchen analysiert. Tabelle 13 stellt die Ergebnisse dar.

Tabelle 13: GSL-Gehalt der verfütterten Rapskuchen und des Rapsextraktionsschrotes

| Futtermittel | GSL (mmol/kg) |
|-----------------------|--------------------------|
| Rapskuchen 1 | 18 (25,53 [*]) |
| Rapskuchen 2 | 16,9 |
| Rapskuchen 3 | 18,1 |
| Rapsextraktionsschrot | 5,9 |

*: analysiert an der TLL in Jena, andere Werte von der LUFA Speyer

Die Rapskuchen weisen deutlich höhere GSL-Gehalte als das Rapsextraktionsschrot auf, was auf den unterschiedlichen Herstellungsprozess zurückzuführen ist.

Vom Rapskuchen 1 wurden an der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft die Anteile der einzelnen Glucosinolate bestimmt, welche der Tabelle 14 zu entnehmen sind.

Tabelle 14: Glucosinolate des Rapskuchen 1 (wurde im 2. Versuchsabschnitt verfüttert)

| Glucosinolate | mmol/kg |
|-------------------------|----------------|
| Progoitrin | 8.54 |
| Gluconapoleiferin | 0.62 |
| Gluconapin | 4.35 |
| 4-Hydroxyglucobrassicin | 6.25 |
| Glucobrassicinapin | 1.92 |
| Glucobrassicin | 0.45 |
| Gluconasturtiin | 0.48 |
| 4-Methoxyglucobrassicin | 2.66 |
| Neoglucobrassicin | 0.26 |
| Gesamt: | 25.53 |

4.2 Futteraufnahme, Milchmenge und Milchinhaltsstoffe

In Tabelle 15 sind die mittleren Futteraufnahmen sowie die biologischen Leistungsdaten der Tiere im Fütterungsversuch in den sieben Versuchsabschnitten dargestellt.

Tabelle 15: Futteraufnahme, Milchmenge und Milchinhaltsstoffe

| Versuchsabschnitte | 1 K | 2 RK | 3 K | 4 RK | 5 K | 6 RK+RES | 7 K |
|---------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-----------------|------------|
| Milch (kg) | 28,6 | 29,1 | 29,1 | 31,2 * | 28,6 | 32,3 * | 30,9 |
| ECM (kg) | 29,2 | 28,4* | 29,3 | 30,5 * | 28,2 | 30,6 * | 28,8 |
| TM-Aufnahme (kg) | 21,0 | 20,7 | 19,8 | 21,0* | 19,5 | 20,9 * | 20,4 |
| Fett (%) | 4,20 | 3,85* | 4,10 | 3,87* | 3,99 | 3,72* | 3,60 |
| Eiweiß (%) | 3,55 | 3,45* | 3,47 | 3,36 | 3,22 | 3,20 | 3,26 |
| Fett (kg) | 1,18 | 1,10* | 1,18 | 1,22* | 1,14 | 1,19* | 1,09 |
| Eiweiß (kg) | 0,99 | 0,98 | 0,99 | 1,03* | 0,91 | 1,02* | 0,98 |
| kg ECM/kg TM | 1,38 | 1,34* | 1,45 | 1,44 | 1,44 | 1,47* | 1,41 |

K: Kontrolle, RK: Rapskuchen, RES: Rapsextraktionsschrot

*: signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen Versuchsration und dem Durchschnitt der vor- und nachgelagerten Kontrollphase

Futteraufnahme

Im zweiten Versuchsabschnitt haben die Tiere im Mittel 20,7 kg TM gefressen. Bezüglich der Futteraufnahme war im Vergleich zum Versuchsabschnitt eins (21,0 kg TM) und drei (19,8 kg TM) kein Unterschied vorhanden. Im Versuchsabschnitt vier (21,0 kg TM) sowie sechs (20,9 kg TM) war die mittlere TM-Aufnahme der Tiere, die mit Rapskuchen bzw. Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot versorgt wurden, signifikant höher als im Vergleich zu der vor- und nachgelagerten Kontrollphase.

Milchmenge

Die Milchmenge im zweiten Versuchsabschnitt weist keine Unterschiede zum Durchschnitt der vor- und nachgelagerten Kontrolle auf. Im vierten Versuchsabschnitt produzierten die Tiere mit 31,2 kg eine höhere Milchmenge ($p < 0,05$) als im Vergleich zur vor- und nachgelagerten Kontrolle. Im sechsten Versuchsabschnitt, wo Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot verfüttert wurden, lag die Milchleistung ebenfalls höher ($p < 0,05$) als in der vor- und nachgelagerten Kontrollphase. Die auf 4 % Fett und 3,4 % Eiweiß korrigierte Milch (ECM) weist den gleichen Verlauf wie bei der natürlichen Milchmenge auf. Lediglich im zweiten Versuchsabschnitt produzierten die Tiere mit 28,4 kg eine geringere energiekorrigierte Milchmenge ($p < 0,05$) im Vergleich zur vor- und nachgelagerten Kontrollphase. Im vierten und sechsten Versuchsabschnitt wurde eine höhere Milchmenge ($p < 0,05$) als in den relevanten Kontrollphasen gemessen, wobei mit 30,6 kg ECM im sechsten Versuchsabschnitt die Tiere die höchste energiekorrigierte Milchleistung über den gesamten Versuchszeitraum erzielten.

Fett- und Eiweißgehalt (%)

Der Milchfettgehalt im zweiten (3,85 %), im vierten (3,87 %) sowie im sechsten Versuchsabschnitt (3,72 %) war niedriger ($p < 0,05$) als in der jeweiligen vor- und nachgelagerten Kontrollphase. Der prozentuale Milcheiweißgehalt lag mit 3,45 % im zweiten Versuchsabschnitt auf einem niedrigeren Niveau ($p < 0,05$) als in den relevanten Kontrollen. Im vierten und sechsten Versuchsabschnitt konnte mit einem Milcheiweißgehalt von 3,36 % bzw. 3,20 % kein Unterschied zum Durchschnitt zur vor- und nachgelagerten Kontrolle abgeleitet werden.

Fett- und Eiweißmengen (kg)

Die im zweiten Versuchsabschnitt produzierte mittlere Fettmenge mit 1,10 kg, war niedriger ($p < 0,05$) als in der vor- und nachgelagerten Kontrollphase. Im vierten sowie sechsten Versuchsabschnitt wurde mit 1,22 kg bzw. 1,19 kg Fett eine höhere Fettmenge ($p < 0,05$) im Vergleich zu den relevanten Kontrollen ausgewiesen.

Im zweiten Versuchsabschnitt konnte mit einer Eiweißmenge von 0,98 kg kein Unterschied bzgl. der vor- und nachgelagerten Kontrollphase abgeleitet werden. Im vierten und sechsten Versuchsabschnitt wurden mittlere Eiweißmengen von 1,03 kg bzw. 1,02 kg produziert, die im Vergleich zu den relevanten Kontrollen auf einen höheren Niveau ($p < 0,05$) lagen.

4.3 Fettsäurezusammensetzung der TMR und der Milch

Da Rapskuchen je nach Ölmühle und Auspressgrad unterschiedliche Rohfettgehalte aufweisen, sollte die jeweils zu verfütternde Charge auf die wertgebenden Inhaltsstoffe untersucht werden. Neben dem Rohfettgehalt weisen Rapskuchen eine im Vergleich zu anderen Futtermitteln (z. B. Maissilage, Körnermais, Getreide) veränderte Fettsäurezusammensetzung auf. Somit verändert sich bei Rapskuchenfütterung auch das Fettsäuremuster in der Gesamtmischung. Abbildung 7 zeigt im Vergleich zu Rapsöl die Fettsäurenverteilung anderer bedeutender Pflanzenöle.

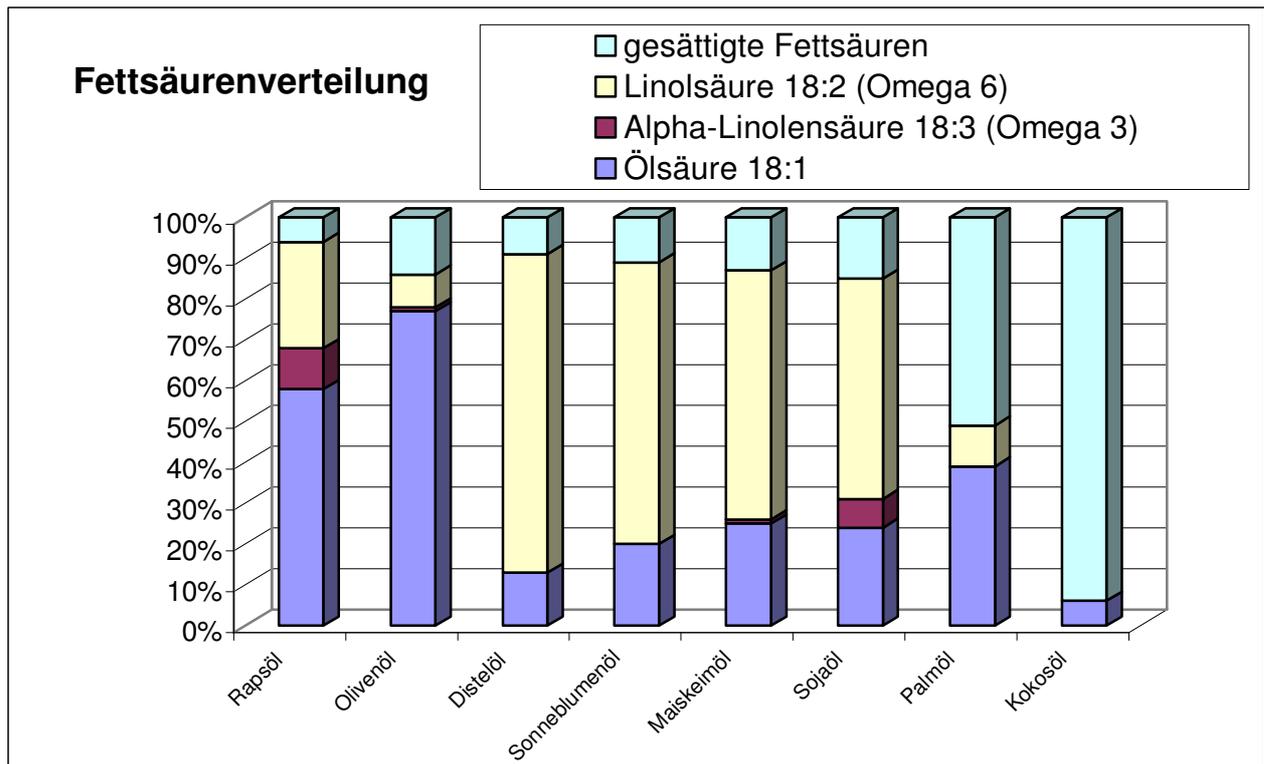


Abbildung 7: Typische Qualität (Fettsäurenmuster) von modernem Körnerölraps (00-Qualität) im Vergleich zu anderen bedeutenden Pflanzenölen (FRIEDT, 2007)

Die Fettsäurenverteilung zeigt deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Pflanzenöle. Rapsöl enthält neben Olivenöl den größten Anteil an einfach ungesättigter Ölsäure C 18:1, wobei die anderen Pflanzenöle sehr geringe Anteile an C 18:1 enthalten. Rapsöl besitzt daneben den höchsten Anteil an der Omega-3 Fettsäure Alpha-Linolensäure. Linolsäure C 18:2 ist außer im Kokosöl in unterschiedlichen Anteilen in allen dargestellten Pflanzenölen enthalten. Kokosöl weist den geringsten Anteil an Ölsäure und den höchsten Gehalt an gesättigten Fettsäuren auf. Bei Verfütterung von Pflanzenölen an Milchkühe können Veränderungen in der Fettsäurenzusammensetzung der Gesamtmischung sowie Veränderungen in der Milchfettsäurenzusammensetzung nicht ausgeschlossen werden.

In Abbildung 8 ist die Fettsäurenverteilung der Gesamtmischung (TMR) aus dem ersten (Kontrolle) und zweiten (Rapskuchen) Versuchsabschnitt dargestellt.

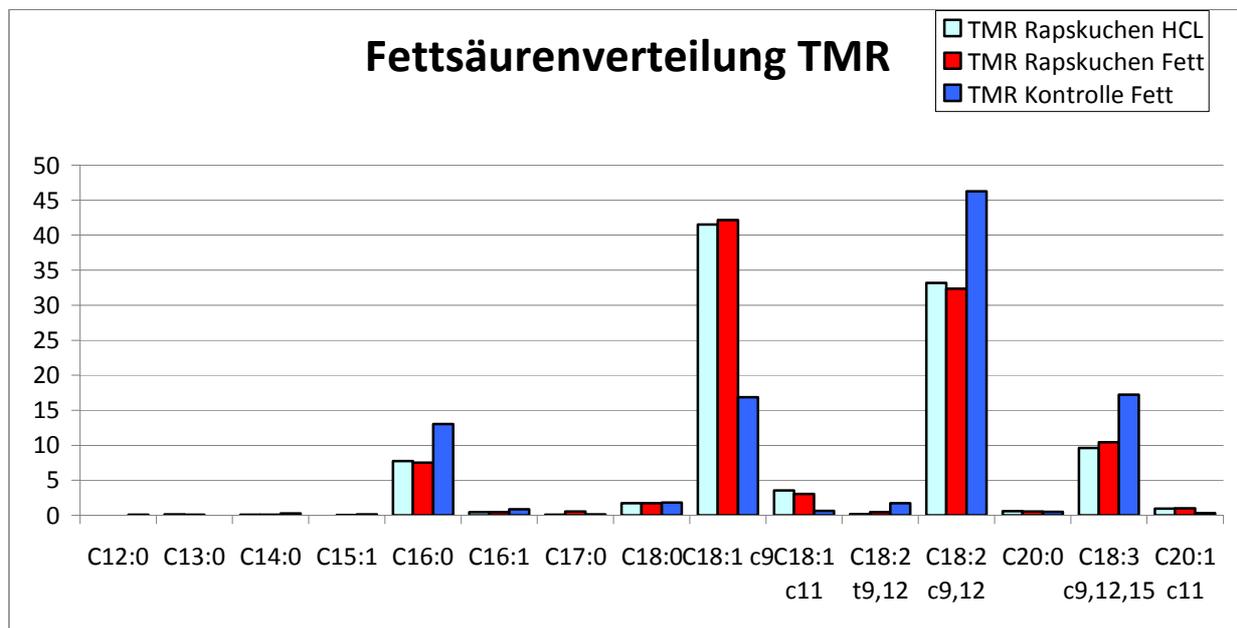


Abbildung 8: Fettsäurenverteilung in der Gesamtmischung (TMR)

Die Kontrollration weist im Vergleich zur Versuchsration mit Rapskuchen einen höheren relativen Gehalt an Palmitinsäure (C 16:0) auf. Ein deutlich höherer Gehalt der einfach ungesättigten Ölsäure (C 18:1 c9 und C 18:1 c11) wurde in der Versuchsration mit Rapskuchen analysiert. Weitere Unterschiede sind in den Gehalten der Linol- und Linolensäure (C 18:2 c9,12 und C 18:3 c9, 12, 15) zugunsten der Kontrollration abzuleiten.

Milchfettzusammensetzung

Nachfolgend werden die Auswirkungen von Rapskuchen auf die Milchfettzusammensetzung vorgestellt.

Kurz- und mittelkettige Fettsäuren

In Tabelle 16 sind die Ergebnisse der analysierten Fettsäuren von C 4 bis C 15 zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 16: Fettsäurenmuster der analysierten Milchfettproben, bezogen auf 100 % der analysierten FS im Milchfett

| Fettsäure | Versuchsabschnitt 1 | Versuchsabschnitt 2 |
|--|---------------------|---------------------|
| | (Kontrolle) | (Rapskuchen) |
| C 4:0 | 5,57 ^a | 4,72 ^b |
| C 6:0 | 2,44 ^a | 1,85 ^b |
| C 8:0 | 1,29 ^a | 0,94 ^b |
| C 10:0 | 3,42 ^a | 2,30 ^b |
| C 11:0 | 0,10 ^a | 0,07 ^b |
| C 12:0 | 4,16 ^a | 2,80 ^b |
| C 13:0 | 0,16 ^a | 0,11 ^b |
| C 14:0 | 12,51 ^a | 10,12 ^b |
| C 14:1 | 1,70 | 1,60 |
| C 15:0 | 1,48 ^a | 1,07 ^b |
| Summe der <i>de novo</i> synthetisierten FS | 32,83 ^a | 25,58 ^b |
| C 4:0 – C 15:0 | | |

unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$)

Bei der Betrachtung der kurz- und mittelkettigen Fettsäuren kann in jeder Fettsäure von C 4:0 bis C 15:0 (mit Ausnahme von C 14:1) eine deutliche Reduktion ($p < 0,05$), jedoch in unterschiedlichem Ausmaß, im Vergleich zur Kontrollration festgestellt werden. Die Verfütterung von Rapskuchen führt zu einer Reduzierung ($p < 0,05$) der im Euter *de novo* synthetisierten kurz- und mittelkettigen Fettsäuren, von 32,83 % in der Kontrollration zu 25,58 % in der Versuchsration. Die mittelkettige Fettsäure C 16:0 (Palmitinsäure) wurde nicht in die Summenbildung einbezogen, da deren Herkunft nicht sicher quantifiziert werden kann, da ein Teil im Euter *de novo* synthetisiert wird und der andere Anteil aus dem Futterfett sowie der Mobilisierung von Körperfett stammt.

Langkettige Fettsäuren

Tabelle 17 zeigt die Ergebnisse Fettsäurenanalyse von C 16:0 bis C 20:1.

Tabelle 17: Fettsäurenmuster der analysierten Milchfettproben, bezogen auf 100 % der analysierten FS im Milchfett.

| Fettsäure | Versuchsabschnitt 1 | Versuchsabschnitt 2 |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| | (Kontrolle) | (Rapskuchen) |
| C 16:0 | 33,62 ^a | 22,86 ^b |
| C 16:1 | 2,17 ^a | 1,95 ^b |
| C 17:0 | 0,82 ^a | 0,72 ^b |
| C 17:1 | 0,04 | 0,04 |
| C 18:0 | 8,39 ^a | 13,09 ^b |
| C 18:1 t6 | 0,04 | 0,05 |
| C 18:1 t9 | 0,28 ^a | 0,89 ^b |
| C 18:1 t11+c6+c7 | 1,31 ^a | 2,79 ^b |
| C 18:1 c9 | 16,55 ^a | 26,98 ^b |
| C 18:1 c11 | 0,58 ^a | 1,22 ^b |
| C 18:1 c12 | 0,28 ^a | 0,37 ^b |
| C 18:2 t9 t12 | 0,27 ^a | 0,55 ^b |
| C 18:2 c9 c12 | 1,88 | 1,86 |
| C 18:2 c9 t11 | 0,41 ^a | 0,85 ^b |
| C 18:2 t9 c11 | 0,04 | 0,05 |
| C 18:3 c6 c9 c12 | 0,04 | 0,02 |
| C 18:3 c9 c12 c15 | 0,39 | 0,44 |
| C 20:0 | 0,12 | 0,20 |
| C 20:1 c11 | 0,04 ^a | 0,10 ^b |
| <hr/> | | |
| Summe der FS ≥ C 18:0 | | |
| (werden direkt aus dem | 30,62 ^a | 49,46 ^b |
| Futterfett übernommen) | | |

unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05)

Die Milch der Tiere, die die Kontrollration erhielten, weist mit 33,62 % einen höheren Gehalt (p<0,05) an Palmitinsäure (C 16:0) als die der Tiere in der Versuchsgruppe mit

22,86 % auf. Die Fettsäure C 18:0 (Stearinsäure) welche aus der ruminalen Biohydrogenierung stammt, liegt bei den Versuchstieren mit einem prozentualen Anteil von 13,09 der analysierten Fettsäuren im Milchfett um 4,7 % höher ($p < 0,05$), als in der Kontrollration, was die direkte Inkorporation langkettiger Fettsäuren aus dem Pansen belegt. Deutliche Unterschiede sind in der einfach ungesättigten Ölsäure (C 18:1 c9) zu erkennen. Die Milch der Versuchstiere enthält mit 26,98 % einen um 10,43 % höheren Gehalt ($p < 0,05$) im Vergleich zu den Kontrolltieren. Betrachtet man das ungesättigte Isomer C 18:1 t 11 (trans-Vaccensäure), welches bzgl. der Bildung des CLA Isomers C 18:2 c9t11 von Bedeutung ist, so liegt der Gehalt bei den Versuchstieren um 1,48 % höher ($p < 0,05$) als bei den Kontrolltieren.

Gesättigte und ungesättigte Fettsäuren

Aufgrund der Rapskuchenfütterung, werden durch die Tiere höhere Mengen an ungesättigten Fettsäuren vor allem der einfach ungesättigten Ölsäure (C 18:1 c9), aufgenommen, was auf eine veränderte Fettsäurezusammensetzung der Gesamtmischung (vgl. Abbildung 8) zurückzuführen ist. Ob das veränderte Fettsäuremuster in der Gesamtmischung Auswirkungen auf die Milchfettzusammensetzung hat, zeigen die nachfolgenden Tabellen. In Tabelle 18 sind die Anteile der ungesättigten Fettsäuren im Milchfett dargestellt.

Tabelle 18: Ungesättigte Fettsäuren der analysierten Milchfettproben, bezogen auf 100 % der analysierten FS im Milchfett

| Fettsäure | Versuchsabschnitt 1 | Versuchsabschnitt 2 |
|--|---------------------|---------------------|
| | (Kontrolle) | (Rapskuchen) |
| C 14:1 | 1,70 | 1,60 |
| C 16:1 | 2,17 ^a | 1,95 ^b |
| C 17:1 | 0,04 | 0,04 |
| C 18:1 t6 | 0,04 ^a | 0,05 ^b |
| C 18:1 t9 | 0,28 ^a | 0,89 ^b |
| C 18:1 t11+c6+c7 | 1,31 ^a | 2,79 ^b |
| C 18:1 c9 | 16,55 ^a | 26,98 ^b |
| C 18:1 c11 | 0,58 ^a | 1,22 ^b |
| C 18:1 c12 | 0,28 | 0,37 |
| C 18:2 t9 t12 | 0,27 ^a | 0,55 ^b |
| C 18:2 c9 c12 | 1,88 | 1,86 |
| C 18:2 c9 t11 | 0,41 ^a | 0,85 ^b |
| C 18:2 t9 c11 | 0,04 | 0,05 |
| C 18:3 c6 c9 c12 | 0,04 | 0,02 |
| C 18:3 c9 c12 c15 | 0,39 | 0,44 |
| C 20:1 c11 | 0,04 ^a | 0,10 ^b |
| Summe der ungesättigten Fettsäuren (C 14:1 – C 20:1) | 26,02 ^a | 39,76 ^b |

unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$)

Der Anteil der Summe der ungesättigten Fettsäuren (C 14:1–C 20:1) liegt in der Milch der Versuchstiere mit 39,76 % höher ($p < 0,05$) als im Vergleich zu den Kontrolltieren (26,02 %).

Tabelle 19 zeigt die Anteile der gesättigten Fettsäuren im Milchfett.

Tabelle 19: Gesättigte Fettsäuren der analysierten Milchfettproben, bezogen auf 100 % der analysierten FS im Milchfett

| Fettsäure | Versuchsabschnitt 1 | Versuchsabschnitt 2 |
|---|---------------------|---------------------|
| | (Kontrolle) | (Rapskuchen) |
| C 4:0 | 5,57 ^a | 4,72 ^b |
| C 6:0 | 2,44 ^a | 1,85 ^b |
| C 8:0 | 1,29 ^a | 0,94 ^b |
| C 10:0 | 3,42 ^a | 2,30 ^b |
| C 11:0 | 0,10 ^a | 0,07 ^b |
| C 12:0 | 4,16 ^a | 2,80 ^b |
| C 13:0 | 0,16 ^a | 0,11 ^b |
| C 14:0 | 12,51 ^a | 10,12 ^b |
| C 15:0 | 1,48 ^a | 1,07 ^b |
| C 16:0 | 33,62 ^a | 22,86 ^b |
| C 17:0 | 0,82 ^a | 0,72 ^b |
| C 18:0 | 8,39 ^a | 13,09 ^b |
| C 20:0 | 0,12 | 0,20 |
| Summe der gesättigten Fettsäuren (C 4:0 – C 20:0) | 74,08 ^a | 60,85 ^b |

unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$)

Durch die Verfütterung von Rapskuchen im vorliegenden Fütterungsversuch konnte der Anteil an gesättigten Fettsäuren bei den Tieren, die Rapskuchen erhalten haben (60,85 %) im Vergleich zur Kontrolle (74,08 %) reduziert werden ($p < 0,05$).

Fasst man die Ergebnisse der analysierten Fettsäuren im Milchfett zusammen, so lässt sich erkennen, dass die Verfütterung von Rapskuchen eine Veränderung in der Milchfettzusammensetzung nach sich zieht. Im vorliegenden Fütterungsversuch wurde durch Rapskuchen die Summe der im Euter *de novo* synthetisierten Fettsäuren (C 4:0-C 15:0) reduziert ($p < 0,05$). Dagegen wurde der Anteil der langkettigen Fettsäuren (FS \geq C 18:0) im Milchfett durch Rapskuchen erhöht ($p < 0,05$). Der Anteil der ungesättigten Fettsäuren (C 14:1-C 20:1) wurde durch Rapskuchen ebenfalls erhöht ($p < 0,05$) und der Anteil der gesättigten Fettsäuren (C 4:0-C 20:0) im Milchfett reduziert ($p < 0,05$).

Tabelle 20 zeigt die mittleren täglich produzierten und über die Milch abgegebenen Fettsäuremengen.

Tabelle 20: Fettsäurenmenge bezogen auf den Gesamtfettgehalt der Milch in Abhängigkeit von der Fütterung (in g/Tag)

| Fettsäure | Versuchsabschnitt 1 (Kontrolle) | Versuchsabschnitt 2 (Rapskuchen) |
|-------------------------|--|---|
| Fettgehalt in % | 4,20 ^a | 3,85 ^b |
| Fettmenge in kg | 1,18 ^a | 1,10 ^b |
| bis C 16:0 | 859,6 ^a | 578,5 ^b |
| ab C 17:0 | 390,9 ^a | 563,1 ^b |
| gesättigte Fettsäuren | 927,9 ^a | 699,8 ^b |
| ungesättigte Fettsäuren | 322,6 ^a | 441,8 ^b |

unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,05$)

Der Milchfettgehalt (%) bei den Tieren, die mit Rapskuchen versorgt wurden, liegt auf einem geringeren Niveau ($p < 0,05$) als bei den Tieren, die die Kontrollration erhielten. Aufgrund der geringeren ($p < 0,05$) energiekorrigierten Milchmenge (ECM) produzierten die Versuchstiere (Rapskuchen) weniger Milchfett ($p < 0,05$) pro Tag. Betrachtet man die kurz- und mittelkettigen Fettsäuren (C 4:0 bis C 16:0) und geht davon aus, dass alle Fettsäuren mit einer Kettenlänge von C 4 bis C 15 in der Milchdrüse *de novo* synthetisiert werden, so produzieren die Tiere im Versuchsabschnitt 2 (Rapskuchen) mit 579 g/Tag kurz- und mittelkettige Fettsäuren signifikant weniger ($p < 0,05$) als im Versuchsabschnitt 1 (Kontrolle) mit 860 g/Tag. Da der Anteil der Fettsäure C 16:0, der aus der *de novo* Synthese und den Fettsäuren des Futterfettes stammt, nicht quantifiziert werden kann, wurde diese Fettsäure zu den kurz- und mittelkettigen Fettsäuren hinzugezählt. Der Anteil der täglich produzierten langkettigen Fettsäuren ab einer Kettenlänge von C 17 liegt in der vorliegenden Studie mit 563 g in der Versuchsgruppe um 172 g höher ($p < 0,05$) als in der Kontrollgruppe. Gleichgerichtete Effekte werden bei den täglich gebildeten ungesättigten Fettsäuremengen von 442 g im Versuch im Vergleich zur Kontrolle mit 323 g ermittelt. Somit produzierten die Tiere im Versuch im Mittel täglich 119 g ungesättigte Fettsäuren mehr ($p < 0,05$), was auf eine gesündere Milch für den Menschen hindeuten könnte. Analysiert man die täglich produzierten gesättigten Fettsäuren im Milchfett, so synthetisieren die Tiere, welche Rapskuchen erhielten, mit 700 g eine um 228 g geringere tägliche Menge an gesättigten Fettsäuren im Vergleich zu den Kontrolltieren (928 g) ($p < 0,05$).

4.4 Energetische Futterwertbestimmung von Rapskuchen für Wiederkäuer

Die Rohnährstoffgehalte des Heus und des Rapskuchens, die im gestaffelten Austauschversuch verfüttert wurden, sind der Tabelle 21 zu entnehmen.

Tabelle 21: Rohnährstoffe des Heus und des Rapskuchens

| Futtermittel | TM | Roh- asche | Roh- protein | Roh- fett (HCl) | Roh- faser | Organ. Rest | NDF org | ADF org | NFC |
|--------------|------|---------------|-----------------|-----------------------|---------------|----------------|------------|------------|-----|
| | g/kg | | | | g/kg TM | | | | |
| Heu | 859 | 108 | 126 | 21 | 274 | 598 | 588 | 320 | 166 |
| Rapskuchen | 903 | 63 | 329 | 188 | 111 | 638 | 224 | 186 | 196 |

NDF_{org}: Neutral-Detergenzienfaser; ADF_{org}: Säure-Detergenzienfaser; NFC: Nicht-Faser-Kohlenhydrate

Im gestaffelten Austauschversuch wurden Rapskuchenanteile von 15 %, 30 %, 45 % sowie 60 % verfüttert. Die mittleren Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe bei variierenden Rapskuchenanteilen sind der Tabelle 22 zu entnehmen.

Tabelle 22: Mittlere Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe von Rapskuchen

| Anteil Rapskuchen | DOM | DXP | DXL | DXF |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 15 % | 80,1 | 84,7 | 94,8 | 32,6 |
| SD | 1,2 | 1,0 | 2,7 | 19,9 |
| 30 % | 81,0 | 85,7 | 90,1 | 45,4 |
| SD | 0,2 | 1,4 | 0,3 | 2,5 |
| 45 % | 73,2 | 82,3 | 79,8 | 17,8 |
| SD | 2,1 | 1,3 | 4,9 | 3,4 |
| 60 % | 74,8 | 81,7 | 85,8 | 21,1 |
| SD | 2,9 | 1,9 | 3,1 | 4,5 |

DOM: Verdaulichkeit der organischen Masse; DXP: Verdaulichkeit des Rohproteins; DXL: Verdaulichkeit des Rohfettes; DXF: Verdaulichkeit der Rohfaser; SD: Standardabweichung

Die Verdaulichkeit der organischen Masse beträgt bei Verfütterung von 15 % bzw. 30 % Rapskuchen 80,1 % bzw. 81,0 %. Gleichgerichtete Effekte sind bei den Verdaulichkeiten von Rohprotein (XP), Rohfett (XL) und Rohfaser (XF) zu erkennen, sodass bei Anteilen von 30 % Rapskuchen in der Ration keine Reduktion der Verdaulichkeiten abzuleiten ist. Werden die Rationsanteile auf 45 % bzw. 60 % Rapskuchen erhöht, sind verminderte Verdaulichkeiten der organischen Masse, beim Rohprotein und Rohfett zu konstatieren. Eine überaus deutliche Verminderung der Verdaulichkeit ist bei der Rohfaser zu erkennen, die bei 45 % bzw. 60 % Rapskuchen bei 17,8 % bzw. 21,1 % liegt. Somit ist die Verdaulichkeit der Rohfaser bei 45 % Rapskuchen um 60 % schlechter als bei Verfütterung von 30 % Rapskuchen. Die Ergebnisse zeigen eine deutlich verminderte Verdaulichkeit der Rohnährstoffe bei Verfütterung von mehr als 30 % Rapskuchen in der Ration, was erkennen lässt, dass die Tiere eine Verträglichkeitsgrenze besitzen, d. h. werden höhere Anteile an Rapskuchen verfüttert, sind Verdaulichkeitsdepressionen und damit verbundene schlechtere biologische Leistungen die Folge.

Abbildung 9 zeigt die Verdaulichkeiten der organischen Masse von Rapskuchen bei steigenden Rapskuchenanteilen sowie Rohfettgehalten in der Ration.

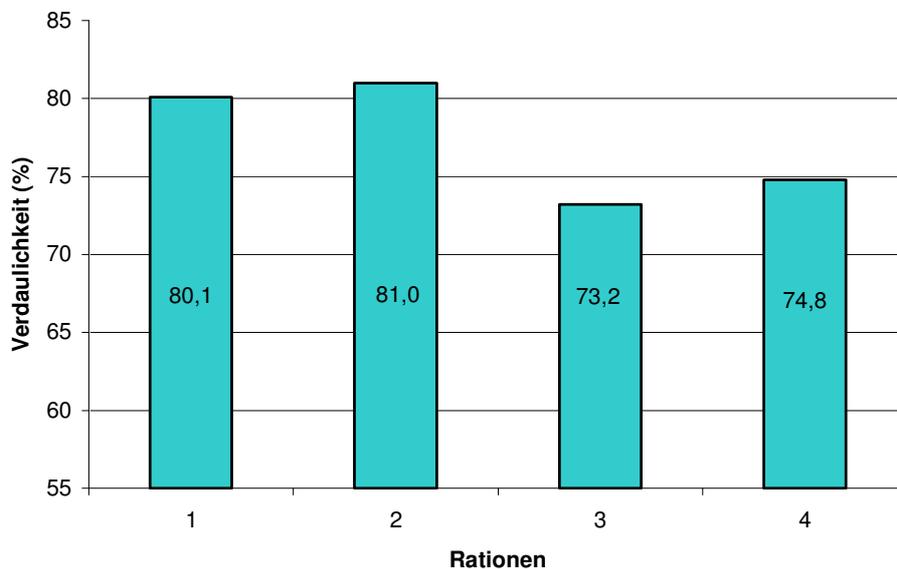


Abbildung 9: Verdaulichkeit (%) der organischen Masse des Rapskuchens in Abhängigkeit vom Rapskuchenanteil und des Rohfettgehaltes in der Ration;

Zulage Rapskuchen (%) / Rohfettgehalt (XL) % i. TM: 1 = 15 % / 4,6 % XL; 2 = 30 % / 7,1 % XL; 3 = 45 % / 9,6 % XL; 4 = 60 % / 12,1 % XL

Mit steigenden Rapskuchenanteilen in der Ration steigt in Abhängigkeit vom Rohfettgehalt des verfütterten Rapskuchens der Rohfettgehalt in der Ration. Die Ergebnisse zeigen bei Verfütterung von mehr als 7,1 % Rohfett in der Ration eine deutlich reduzierte Verdaulichkeit der organischen Masse.

Im Rahmen der in Haus Riswick durchgeführten Verdaulichkeitsbestimmung der Rohnährstoffe von Rapskuchen an Hammeln, wo Einsatzmengen von 15, 30, 45 und 60 % Rapskuchen geprüft wurden, konnten bei der Verdaulichkeit der organischen Masse bei den Zulagestufen von 15 und 30 % Rapskuchen keine Unterschiede festgestellt werden. Bei den beiden hohen Zulagestufen (45 und 60 % Rapskuchen) reduzierte sich die Verdaulichkeit der organischen Masse von im Mittel 80,5 % (15 und 30 % Rapskuchen) auf im Mittel 74 %. Betrachten wir die Verdaulichkeit des Rohproteins (XP) sind vergleichbare Ergebnisse wie bei der Verdaulichkeit der organischen Masse abzuleiten. Bei den beiden niedrigen Zulagestufen konnte im Mittel eine Verdaulichkeit des Rohproteins von 85,2 % im Gegensatz zu 82,0 % bei den beiden hohen Zulagestufen ermittelt werden. Das Rohfett gilt in der Regel als hoch verdaulich und dies wird auch bei einer mittleren Verdaulichkeit in beiden niedrigen Zulagestufen von 92,5 % deutlich. Werden jedoch 45 und 60 % Rapskuchen verfüttert fällt die mittlere Verdaulichkeit des Rohfettes auf 82,8 % ab. Die Verdaulichkeit der Rohfaser (XF) war bei Verfütterung von 45 und 60 % Rapskuchen deutlich reduziert. In den beiden niedrigen Zulagestufen wurde eine mittlere Verdaulichkeit von 39 % ermittelt. Bei 45 bzw. 60% Rapskuchen in der Ration wurde im Mittel eine Verdaulichkeit der Rohfaser (XF) von lediglich 19,5 % erzielt. Legt man die dargestellten ermittelten Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe zugrunde und kalkuliert den Energiegehalt des Rapskuchens so liegt der mittlere Energiegehalt bei Verfütterung von 15 bzw. 30 % Rapskuchen in der Ration bei 14,7 MJ ME/kg TM Rapskuchen. Werden die beiden hohen Zulagestufen (45 bzw. 60 % Rapskuchen in der Ration) zur energetischen Futterwertbestimmung von Rapskuchen für die Kalkulation zugrunde gelegt, ergibt sich ein mittlerer Energiegehalt von 13,5 MJ ME/kg TM Rapskuchen. Da das Bestimmtheitsmaß R^2 bei Einbeziehung der beiden niedrigen Zulagestufen (15 und 30 % Rapskuchen) im Vergleich aller Zulagestufen ausreichend hoch ist ($R^2 = 0,99$), ist zur Bestimmung des energetischen Futterwerts von Rapskuchen für Wiederkäuer die Betrachtung der beiden niedrigen Zulagestufen als ausreichend zu bezeichnen.

4.5 Jodgehalt in der Milch, im Blutserum sowie der Gehalt von T₃ und T₄ im Blutserum

Der Tabelle 23 sind die Milchjodkonzentrationen, die Jodaufnahme pro Tag sowie die Jodmenge, welche über die Milch pro Tag abgegeben wird, zu entnehmen.

Tabelle 23: Konzentration der Milch an Jod, Jodaufnahme pro Tag, Jod in der Tagesmilchmenge absolut und prozentual an der Jodaufnahme (n=21, Mittelwert \pm Standardabweichung)

| Rapskuchen Glucosinolate (mmol/kg T) | ohne < 0,1 | mit 25,5 |
|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Jodkonzentration ($\mu\text{g/kg}$ Milch) | 182 ^a \pm 92 | 62 ^b \pm 28 |
| Aufnahme (mg pro Tag) | 14,6 \pm 4,0 | 15,2 \pm 3,6 |
| Jod in Tagesmilchmenge (mg) | 5,8 ^a \pm 3,2 | 1,8 ^b \pm 0,7 |
| Anteil an der Aufnahme (%) | 39,7 ^a \pm 9,4 | 11,8 ^b \pm 2,7 |

unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05)

Die Jodkonzentration der Milch lag bei den Tieren, die ohne Rapskuchen versorgt wurden, mit 182 μg Jod/kg Milch um 120 μg höher (p<0,05), als bei den Tieren, die die Rapskuchenration erhielten (62 μg Jod/kg Milch). Zu erwähnen gilt hierbei, dass die Tiere in beiden Gruppen mit 14,6 mg bzw. 15,2 mg gleiche mittlere Jodmengen pro Kuh und Tag aufnahmen. Die täglich über die Milch ausgeschiedenen Jodmengen unterschieden sich mit 5,8 mg gegenüber 1,8 mg pro Tag voneinander (p<0,05). Der Anteil des Jods, welcher über das Futter aufgenommen und von den Tieren mit der Milch wieder ausgeschieden wurde, liegt in der Kontrollration mit 39,7 % höher (p<0,05) als in der Versuchsration (11,8 %).

In Tabelle 24 werden die Jodgehalte sowie die Schilddrüsenhormone im Blutserum dargestellt.

Tabelle 24: Gehalt des Blutserums an Jod und Schilddrüsenhormonen (T₃ und T₄) und Anteil des Hormonjods am Serumjodgehalt (n=21, Mittelwert ± Standardabweichung)

| Rapskuchen | ohne | mit |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Glucosinolate (mmol/kg T) | < 0,1 | 25,5* |
| Jod (µg/l) | 78 ^a ± 11 | 129 ^b ± 24 |
| T ₄ (nmol/l) | 80 ± 36 | 100 ± 42 |
| T ₃ (nmol/l) | 1,26 ± 0,29 | 1,22 ± 0,08 |
| Hormonjod (µg/l) | 41 ± 18 | 51 ± 24 |
| Anteil am Gesamtjod (%) | 52 ± 20 | 41 ± 18 |

unterschiedliche Hochbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05)

Die Ergebnisse zeigen, dass die Verfütterung des Rapskuchens den Jodgehalt im Blutserum signifikant (78 µg/l versus 129 µg/l) erhöht hat (p<0,05). Bezüglich der Schilddrüsenhormone T₃ und T₄, dem Hormonjodgehalt sowie dem Anteil am Gesamtjod sind keine Unterschiede zwischen den Gruppen zu erkennen.

4.6 Gewicht, Körperkonditionsmerkmale sowie Kenngrößen zum Stoffwechsel der Tiere

Um Effekte des Rapskuchens auf das Körpergewicht sowie die Entwicklung der Körperkondition erkennen zu können, wurden die beschriebenen Parameter in regelmäßigen Abständen über den gesamten Versuchszeitraum von allen Versuchstieren erfasst. Tabelle 25 zeigt die Gewichte, die Einstufung der Körperkondition mittels BCS sowie die Rückenfettdicken (RFD) der Tiere in den jeweiligen Versuchsabschnitten.

Tabelle 25: Gewicht und Körperkonditionsbeurteilung über den gesamten Versuchszeitraum

| Versuchsphase | Gewicht in kg (SD) | BCS (SD) | RFD in mm (SD) |
|---------------|--------------------|------------------|--------------------|
| 1 K | 641 (\pm 73) | 3,4 (\pm 0,4) | 10,2 (\pm 0,4) |
| 2 RK | 645 (\pm 81) | 3,4 (\pm 0,4) | 11,4 (\pm 0,5) |
| 3 K | 632 (\pm 82) | 3,4 (\pm 0,4) | 11,8 (\pm 0,5) |
| 4 RK | 635 (\pm 83) | 3,4 (\pm 0,4) | 12,5* (\pm 0,5) |
| 5 K | 636 (\pm 88) | 3,5 (\pm 0,5) | 16,0 (\pm 0,7) |
| 6 RK + RES | 632 (\pm 86) | 3,5 (\pm 0,4) | 13,8 (\pm 0,5) |
| 7 K | 602 (\pm 74) | 3,4 (\pm 0,4) | 11,9 (\pm 0,5) |

*: signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zum Durchschnitt der vor- und nachgelagerten Kontrolle

Die Entwicklung der Körpermasse in kg über den gesamten Versuchszeitraum weist keine Unterschiede zwischen Kontrolle und den mit Rapskuchen oder Rapskuchen und Rapsextraktionsschrote supplementierten Tieren aus. Bezüglich der Rückenfettdicke sind mit Ausnahme in Versuchsabschnitt vier keine Unterschiede zu erkennen.

Die Tabelle 26 zeigt die erhobenen Stoffwechselfparameter der Tiere. Die Blutproben stammen ausschließlich von klinisch unauffälligen Tieren. Deshalb wurden die Stoffwechselfparameter keiner statistischen Auswertung unterzogen.

Tabelle 26: Kenngrößen zum Stoffwechsel der Tiere

| Versuchsphase | Triglyc (SD) | GsEw (SD) | GB (SD) | AST (SD) | GGT (SD) | GLDH (SD) | FRFS (SD) | B-HBS (SD) | HST (SD) |
|---------------|---------------|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-----------|---------------|-------------|
| 1 K | 0,059 (0,013) | 70,1 (7,7) | 3,98 (1,33) | 73,8 (19,1) | 26,9 (14,3) | 20,7 (25,8) | 205 (141) | 0,810 (0,288) | 4,97 (0,71) |
| 2 RK | 0,079 (0,016) | 71,9 (3,5) | 3,32 (0,97) | 91,9 (42,2) | 53,8 (52,6) | 73,7 (80,0) | 180 (33) | 0,759 (0,242) | 4,17 (0,66) |
| 3 K | 0,209 (0,038) | 72,2 (4,6) | 2,91 (1,31) | 112,4 (51,7) | 56,0 (24,1) | 52,2 (50,0) | 164 (30) | 0,705 (0,267) | 4,95 (0,97) |
| 4 RK | 0,241 (0,041) | 71,8 (4,6) | 3,24 (1,28) | 100,3 (33,8) | 47,5 (13,2) | 42,8 (28,8) | 183 (70) | 0,640 (0,249) | 5,15 (0,83) |
| 5 K | 0,220 (0,043) | 68,8 (2,8) | 2,83 (0,76) | 103,5 (33,7) | 44,5 (13,8) | 32,1 (18,2) | 209 (46) | 0,748 (0,169) | 3,57 (0,53) |
| 6 RK + RES | 0,226 (0,046) | 66,6 (2,8) | 3,75 (1,16) | 84,0 (27,6) | 38,1 (8,3) | 23,6 (16,6) | 189 (41) | 0,745 (0,143) | 4,72 (0,67) |
| 7 K | 0,067 (0,018) | 70,7 (3,8) | 3,48 (1,14) | 80,3 (16,0) | 34,5 (9,8) | 21,4 (11,2) | 207 (61) | 0,785 (0,166) | 4,65 (0,64) |

Erläuterungen der Abkürzungen und Einheiten:

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin (µmol/l); AST: Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren (µmol/l); B-HBS: β-Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

4.7 pH-Wert im Harn und Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (NSBA)

Tabelle 27 zeigt die Ergebnisse der pH-Wert-Messungen im Harn der 20 ausgewählten Tiere. Der pH-Wert wurde im Labor der Tierärztlichen Hochschule Hannover bestimmt.

Tabelle 27: Harn-pH-Werte (gemessen an der TiHo Hannover)

| Versuchsphase | Mittelwert | SD | Minimum | Maximum |
|---------------|------------|------|---------|---------|
| 1 K | 8,53 | 0,22 | 7,88 | 8,79 |
| 2 RK | 8,22* | 0,19 | 7,89 | 8,46 |
| 3 K | 8,34 | 0,67 | 5,49 | 8,72 |
| 4 RK | 8,23 | 0,69 | 5,42 | 8,62 |
| 5 K | 8,45 | 0,12 | 8,23 | 8,63 |
| 6 RK + RES | 8,34 | 0,14 | 7,90 | 8,52 |
| 7 K | 8,72 | 0,14 | 8,49 | 9,06 |

SD: Standardabweichung; *: signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zum Durchschnitt der vor- und nachgelagerten Kontrolle

Die Harn-pH-Werte in den sieben dargestellten Versuchsphasen weisen keine Unterschiede (Ausnahme Versuchsabschnitt zwei) zwischen den relevanten Gruppen aus. Neben der Messung des pH-Wertes im Harn wurde auch die Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (NSBA) an der TiHo Hannover in den gleichen Harnproben analysiert. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 28.

Tabelle 28: NSBA-Werte in mmol/l (analysiert durch die TiHo Hannover)

| Versuchsphase | Mittelwert | SD | Minimum | Maximum |
|---------------|------------|----|---------|---------|
| 1 K | 122 | 57 | 13 | 228 |
| 2 RK | 98 | 53 | 15 | 230 |
| 3 K | 108 | 46 | 10 | 175 |
| 4 RK | 74* | 39 | 12 | 122 |
| 5 K | 169 | 49 | 71 | 257 |
| 6 RK + RES | 80* | 36 | 19 | 164 |
| 7 K | 143 | 67 | 5 | 221 |

SD: Standardabweichung; *: signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zum Durchschnitt der vor- und nachgelagerten Kontrolle

Die NSBA ist die Summe aller im Harn ausgeschiedenen Säuren und Basen und kann als Maß für die Reaktion des Körpers auf Belastungen des Säure-Basen-Haushaltes (GELFERT und

STAUFENBIEL, 2002) zur Einschätzung der Strukturversorgung im Pansen herangezogen werden. Neben Störungen der Pansenfermentation lässt die NSBA daneben Rückschlüsse auf Abweichungen im Intermediärstoffwechsel zu. GELFERT und STAUFENBIEL (2002) geben einen Wertebereich für physiologische NSBA-Werte von 103-197 mmol/l an, wogegen FÜRLL (2004) Toleranzgrenzen von 83-215 mmol/l definiert. Bei kraftfutterreich versorgten Milchkühen kann sich nach FÜRLL (2004) der Toleranzbereich von 0 mmol/l bis 60 mmol/l bewegen.

Die mit Rapsprodukten versorgten Tiere zeigen außer in Versuchsabschnitt zwei (Rapskuchen) niedrigere NSBA-Werte ($p < 0,05$) im Vergleich zu den vor- und nachgelagerten Kontrollphasen, wobei die große Streubreite in allen Gruppen betont werden muss. Werden die gemessenen NSBA-Werte mit den Grenzwerten von GELFERT und STAUFENBIEL (2002) verglichen, liegen die mittleren NSBA-Werte bei allen Tieren, die Rapsprodukte erhalten haben im nicht physiologischen Bereich. Somit deuten diese Ergebnisse auf azidotische Pansenverhältnisse oder eine metabolische Azidose hin. Legt man die Grenzwerte von FÜRLL (2004) zugrunde, weisen außer der zweiten, alle Versuchsgruppen (Abschnitt 4 und 6) einen unterhalb der Toleranzgrenze liegenden mittleren NSBA-Wert aus.

5 Diskussion

5.1 Futteraufnahme, Milchmenge und Milchhaltsstoffe

Futteraufnahme

Die Tiere, die Rapskuchen erhielten, weisen gleiche oder höhere ($p < 0,05$) mittlere Trockenmasseaufnahmen als im Vergleich zu den vor- und nachgelagerten Kontrollphasen auf (vgl. Tabelle 15). KUDRNA und MAROUNEK (2006) verfütterten eine Ration mit 19,2 % Rapskuchen (i. d. TM) und die Befunde bzgl. der Futteraufnahme werden durch die eigenen Ergebnisse bestätigt. In einer weiteren Studie verfütterten KUDRNA und MAROUNEK (2008) geschütztes Palmfett (3,6 % d. TM), Sonnenblumensaat (8,1 % d. TM) oder extrudierte Leinsaat (8,5 % d. TM) und konnten keine Effekte des Supplements auf die tägliche Trockenmasseaufnahme feststellen. Zu gleichen Ergebnissen kommen EGGER et al. (2007), die 1 kg Rapssaat oder 1,2 kg extrudierte Leinsaat in einer Heu-basierten Ration verfütterten. MOSLEY et al. (2007) konnten bei Verfütterung steigender Anteile an Palmöl ebenfalls keinen negativen Einfluss auf die Trockenmasseaufnahme erkennen. KHORASANI et al. (1991) verfütterten steigende Anteile behandelte Rapssaat, so dass der Rohfettgehalt der Gesamtmischung von 2,2 % auf 6,7 % d. TM anstieg und konnten keinen Unterschied in der Futteraufnahme erkennen. Der Rohfettgehalt in den Rapskuchenrationen lag im Mittel bei 6,3 % der TM. Die eigenen Ergebnisse bestätigen die Versuchsergebnisse von KHORASANI et al. (1991). JOHANNSON und NADEAU (2006) verfütterten 3,6 kg TM Rapskuchen im Vergleich zu einer konventionellen Proteinquelle an je 20 Milchkühe und konnten keinen Einfluss der Proteinquelle auf die Futteraufnahme ableiten. Da in den eigenen Untersuchungen ebenfalls im Mittel 3,6 kg TM Rapskuchen verfüttert wurde, bestätigen die eigenen Ergebnisse diese Befunde. In der Literatur wird der Einfluss von zellgebundenem oder freiem Öl (Fett) als Erklärung für unterschiedliche Trockenmasseaufnahmen diskutiert. So konnten in Untersuchungen mit freien pflanzlichen Fetten und Ölen im Kraftfutter für Milchkühe verminderte Trockenmasseaufnahmen gemessen werden (ROHR und OKUBO, 1968; JENTSCH et al., 1972; STORRY et al., 1974). Mehrere Arbeiten, die den Einsatz von zellgebundenem Fett in Rationen mit einem Rohfettgehalt von > 5 % d. TM untersuchten, zeigten übereinstimmend, dass solch hohe Rohfettgehalte keinen negativen Einfluss auf die Futteraufnahme haben (PERRY und McLEOD, 1968; SMITH et al., 1981; DE PETERS et al., 1989).

Zu anderen Ergebnissen kommt STEELE (1984), der 320 g Sojafett pro Tier und Tag in Form von geschroteten Sojabohnen oder als Sojaöl verfütterte. Bei einem Rohfettgehalt von 5,2 %

und einem Grobfutteranteil von 80 % in der TM der Ration war die TM-Aufnahme aus Grassilage im Vergleich zur Kontrollration bei der Ration der geschroteten Sojabohnen um 1,8 kg und bei Sojaöl um 1,1 kg verringert. Die in der Literatur ausgewiesenen Versuche mit zellgebundenem im Vergleich zu freiem Öl (Fett) zeigen, dass bei Verfütterung von zellbundenen Ölen bzw. Fetten deutlich höhere Rohfettgehalte in der Rations-TM möglich sind, ohne negative Auswirkungen auf biologische Leistungsparameter (Milchmenge, TM-Aufnahme) der Tiere zu haben.

Milchleistung

Die energiekorrigierte Milchleistung der Tiere, die Rapskuchen erhalten haben, war außer im zweiten Versuchsabschnitt (Rapskuchen) auf einem höheren Niveau als zum Durchschnitt der jeweils vor- und nachgelagerten Kontrolle. Die Verfütterung von im Mittel 3,6 kg TM Rapskuchen je Tier und Tag hat die Milchleistung (ECM) erhöht. Bei gleicher Rapskuchenmenge konnten JOHANNSON und NADEAU (2006) eine um 3 kg höhere Milchleistung im Vergleich zu den mit einer konventionellen Proteinquelle versorgten Tieren ableiten. MOSLEY et al. (2007) konnten mit steigenden Anteilen an Palmöl (0 bis 1500 g Palmöl pro Kuh und Tag) steigende Milchleistungen feststellen. Gleiche Versuchsergebnisse zeigen die in Tabelle 7 in Deutschland durchgeführten Fütterungsversuche. Hierbei wurden 250 bis 690 g Rapsöl je Kuh und Tag in Form von Rapskuchen, Rapssaat oder Rapsöl verfüttert. Es wurden im Vergleich zur Kontrollgruppe ausschließlich höhere Milchleistungen in den Versuchsgruppen ermittelt (RÖHRMOSER et al., 1991; FREDE et al., 1992; ABEL et al., 1992; JAHREIS et al., 1994); JILG und MÜLLER, 1993; JAHREIS et al., 1995; GRÜNEWALD et al., 1996 und DAYVES, 2001). JENTSCH et al. (1972) verfütterten 700 g Rapsöl pro Tier und Tag an Milchkühe und konnten eine um 2 kg verminderte Milchleistung messen. Im Gegensatz hierzu führte die Verabreichung von 260 bis 600 g Sojaöl (eingemischt in das Kraftfutter) pro Kuh und Tag zu keinen Unterschieden in den produzierten Milchmengen (McLEOD und WOOD, 1972; GOERING et al., 1977; BANKS et al., 1980; CLAPPERTON und STEELE, 1985).

Die eigenen Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Verfütterung von 3,6 kg TM Rapskuchen an hochleistende Milchkühe zu steigenden Milchleistungen (ECM) geführt hat. Hierbei soll auf den hohen Energiegehalt von fetthaltigen Futtermittel hingewiesen werden (GARNSWORTHY, 1997), wobei das Rohfett auch beim Wiederkäuer im Dünndarm als hochverdaulich anzusehen ist. Fett kann unter Bedingungen einer negativen Energiebilanz zu Beginn der Laktation dazu beitragen, das vorhandene Energiedefizit zu minimieren. Der

Einfluss von speziellen Fettsäuren auf die Pansenfermentation von Wiederkäuern muss unbedingt Beachtung finden, um fetthaltige Futtermittel sinnvoll in wiederkäuergerechte Rationen integrieren sowie etablieren zu können. In vielen in der Literatur ausgewiesenen Untersuchungen werden bei Fettfütterung höhere Milchleistungen erzielt. Bei Fettfütterung ist aufgrund eines Einbaus der diätetischen Fettsäuren die *de-novo* Milchfettsynthese reduziert, was den Bedarf an Azetat verringert und die Glukoseverfügbarkeit zur Laktosesynthese verbessert und schließlich zu einer gesteigerten Milchleistung oder effizienteren Milchproduktion führt (JENKINS und McGUIRE, 2006).

Milchfettgehalt und -menge

Die Milchfettgehalte der Milchkühe die mit Rapsprodukten (Rapskuchen, Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot) gefüttert wurden, liegen im Vergleich zu den relevanten Kontrollen alle auf niedrigerem Niveau. Gleiche Versuchsergebnisse konnten mehrere Autoren (vgl. Tabelle 7) bestätigen. HARVATINE und ALLEN (2006 a) verfütterten ein Fettsäuresupplement an Milchkühe welches aus gesättigten und eines aus ungesättigten Fettsäuren bestand. Die Behandlung mit gesättigten Fettsäuren hatte keinen Einfluss auf den Milchfettgehalt, wobei die ungesättigten Fettsäuren den Milchfettgehalt im Vergleich zur Kontrollgruppe tendenziell reduzierten. Die Ergebnisse bestätigen den Einfluss des Fettsubstrates auf den Milchfettgehalt. Als weiterer Punkt gilt es zu diskutieren, in wie weit das Futterfett und dessen Zusammensetzung Einfluss auf die Nährstoffumsetzungen im Ökosystem Pansen nimmt. In der Literatur wird eine verminderte Verdaulichkeit der Zellwandkohlenhydrate genannt, was auf das so genannte „Coating“ der Futterpartikel durch das Futterfett sowie auf einen direkt hemmenden Einfluss langkettiger Fettsäuren auf das Wachstum der Pansenmikroorganismen zurückgeführt wird (JENKINS, 1993; JENKINS, 1994; VAN NEVEL und DEMEYER, 1995; MARGARIDA et al., 2007). So konnten HENDERSON (1973) sowie JENKINS und PALMQUIST (1982) zeigen, dass durch die Verfütterung von Fett die Verfügbarkeit der Energie für die Pansenmikroorganismen reduziert wurde und zu einer verringerten mikrobiellen Proteinsynthese sowie der flüchtigen Fettsäuren (Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure) führte. Essigsäure und β -Hydroxybutyrat stehen als Ausgangsprodukt für die *de novo* Milchfettsynthese im Euter zur Verfügung. Eine Reduktion dieser Ausgangssubstrate kann zu einem verminderten Milchfettgehalt führen (BLUM, 2004). STORRY et al. (1974) konnten bei Fettfütterung ebenfalls eine Abnahme der molaren Anteile an Essigsäure und Buttersäure sowie eine Zunahme an Propionsäure

feststellen und bestätigen eine verminderte Substratmenge zur Milchfettsynthese. HAGEMEISTER und KAUFMANN (1979 a) sowie EMMANUEL und KENELLY (1984) diskutieren, dass eine gesteigerte Propionsäurebildung mit einer gesteigerten Gluconeogenese und Insulinausschüttung verbunden ist und somit die Gesamtfettsynthese im Stoffwechsel auf Kosten der Milchfettsynthese in Richtung Körperfettsynthese verschoben sein kann. Die mit dem Futterfett verabreichten ungesättigten Fettsäuren unterliegen einer ruminalen Hydrierung. Unter physiologischen Pansenbedingungen werden ca. 70-90 % der ungesättigten Fettsäuren hydriert (HAGEMEISTER, 1990; BERGNER und SOMMER, 1994; ABU GAZALEH et al., 2002). Bei unvollständiger Hydrierung gelangen vermehrt ungesättigte Fettsäuren, konjugierte Linolsäuren (CLA) und trans-Fettsäuren in den Dünndarm und werden dort resorbiert (GAYNOR et al., 1994; BEAM et al., 2000). Diese Fettsäuren sind in der Lage die *de-novo* Milchfettsynthese im Euter zu hemmen (BAUMGARD et al., 2000; BAUMGARD et al., 2001), was die geringeren Milchfettgehalte ($p < 0,05$) in den Versuchsgruppen der eigenen Untersuchungen erklären kann.

Milchfettmenge

Die von den Tieren produzierten Milchfettmengen können in allen Versuchsabschnitten in denen Rapsprodukte verabreicht wurden, im Vergleich zu den relevanten Kontrollen als signifikant verschieden ($p < 0,05$) eingestuft werden. Im zweiten Versuchsabschnitt (Rapskuchen) war die täglich produzierte Milchfettmenge geringer ($p < 0,05$) als in der vor- und nachgelagerten Kontrolle. Im weiteren Versuchsverlauf wurden in den Versuchsrationen (Rapskuchen, Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot) höhere tägliche Milchfettmengen ($p < 0,05$) von den Tieren produziert. Interessanterweise wurden im vierten Versuchsabschnitt (Rapskuchen) mit 1,22 kg die höchste mittlere Milchfettmenge über den gesamten Versuch ermittelt, obwohl sich der Milchfettgehalt auf einem geringeren Niveau ($p < 0,05$) als in der vor- und nachgelagerten Kontrolle bewegte. Die in den entsprechenden Versuchsabschnitten höheren Milchfettmengen können über die gestiegene Milchleistung erklärt werden.

Milcheiweißgehalt und -menge

Die prozentualen Milcheiweißgehalte waren im zweiten Versuchsabschnitt (Rapskuchen) geringer im Vergleich zum Durchschnitt der vor- und nachgelagerten Kontrollphase. Im weiteren Versuchsverlauf waren keine Unterschiede zwischen Versuch und den Kontrollen abzuleiten. JILG et al. (1988) konnten im Rahmen einer Literaturlauswertung einen linearen Zusammenhang zwischen dem Fettgehalt der Ration und dem Milcheiweißgehalt ableiten, mit steigendem Rohfettgehalt in der Ration sinkt der Milcheiweißgehalt ab. Die in Tabelle 7 zitierten Fütterungsversuche bestätigen die von JILG et al. (1988) zusammengetragenen Ergebnisse und weisen alle verminderte Milcheiweißgehalte in den Versuchsgruppen aus. HARVATINE und ALLEN (2006 a), die ein Fettsäuresupplement mit gesättigten und eines mit ungesättigten Fettsäuren an Milchkühe verfütterten, konnten keine Unterschiede im Milcheiweißgehalt erkennen. Einen signifikant höheren Milchproteingehalt konnte JENKINS (1998) bei Verfütterung von 3,5 % Rapsöl in der Ration im Vergleich zur Kontrollgruppe (ohne Fettsupplementierung) feststellen. ROHR et al. (1978) erklären verringerte Milcheiweißgehalte mit einer reduzierten mikrobiellen Proteinsynthese im Pansen. Da die Verfütterung von Fett häufig im Austausch gegen fermentierbare Energie (Kohlenhydrate) erfolgt und die Pansenmikroorganismen nicht in der Lage sind, dieses Fett als Energiequelle zu nutzen (JENKINS und PALMQUIST, 1982), führt dies zu einer verringerten mikrobiellen Proteinsynthese.

WU und HUBER (1994) diskutieren aufgrund einer Literaturlauswertung folgende Erklärungsansätze bezüglich einer Milchproteindepression:

- Reduzierte metabolische Glukoseverfügbarkeit
- Verminderung der Insulinsensitivität
- Gesteigerte energetische Effizienz der Milchproduktion
- Reduzierte Plasmakonzentration an Somatotropin
- Reduzierte Aminosäurenverfügbarkeit für die Milchdrüse

Milcheiweißmenge

Bezüglich der täglich produzierten Milcheiweißmenge konnten im vierten (Rapskuchen) und sechsten (Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot) Versuchsabschnitt signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) im Vergleich zu den relevanten Kontrollgruppen ermittelt werden. Die Tiere haben bei Verfütterung von Rapskuchen und gleichen Milcheiweißgehalten höhere

Milcheiweißmengen ($p < 0,05$) pro Tag produziert, was auf eine steigende Milchleistung zurückzuführen ist.

5.2 Milchfettzusammensetzung

Rapskuchen veränderte die Milchfettzusammensetzung dahingehend, dass die Summe der im Euter *de novo* synthetisierten Fettsäuren (C 4:0-C 15:0) verringert wurde (siehe Tabelle 16). Die langkettigen Fettsäuren im Milchfett wurden durch Rapskuchenfütterung erhöht. Der Anteil der Fettsäuren mit einer Kettenlänge \geq C 18:0, welche direkt aus dem Futterfett stammen, wurde durch den Rapskuchen ebenfalls angehoben ($p < 0,05$) (vgl. Tabelle 17). Die Summe der ungesättigten Fettsäuren (C 14:1-C 20:1) im Milchfett konnte durch Rapskuchen erhöht werden (siehe Tabelle 18), was auf eine für den Menschen ernährungsphysiologisch gesündere Milch hindeutet. Die gesättigten Fettsäuren (C 4:0-C 20:0) wurden bei den Tieren, die Rapskuchen erhalten haben vermindert (vgl. Tabelle 19). PALMQUIST et al. (1993) nennen die Menge und die Zusammensetzung des Rohfettes in der Ration als den wichtigsten Einflussfaktor auf die Milchfettzusammensetzung, was die eigenen Ergebnisse bestätigen. Das Rapsfett enthält einen hohen Anteil an Ölsäure (C 18:1), welcher auch im Milchfett durch die Rapskuchenfütterung erhöht werden konnte. KHORASANI et al. (1991) verfütterten verschiedene Mengen an Rapssaat und konnten eine Reduktion der kurz- und mittellangkettigen Fettsäuren sowie einen 65%igen Anstieg der Ölsäure im Milchfett ausweisen. Die Ergebnisse stimmen sehr gut mit den eigenen Ergebnissen überein. Gleiche Ergebnisse erzielten DELBECCHI et al. (2001), die geschützte sowie ungeschützte Rapssaat an Milchkühe verfütterten. Diese Ergebnisse konnten von WARD et al. (2002) durch Verfütterung von Fett in Form von Solin, Flax oder Rapssaat an Milchkühe bestätigt werden. EGGER et al. (2007) stellten ebenfalls eine Reduktion der kurzkettigen Fettsäuren im Milchfett fest, wenn die Tiere mit Rapssaat oder Leinsaat gefüttert wurden. KUDRNA und MAROUNEK (2006) verabreichten verschiedene Fettsupplemente und konnten keine Veränderung bzgl. der kurzkettigen Fettsäuren gegenüber der Kontrollgruppe erkennen. Der Anteil der mehrfach ungesättigten Fettsäuren war in der mit extrudierter Leinsaat versorgten Gruppe gegenüber den anderen signifikant erhöht. Zu gegenläufigen Ergebnissen der zuvor genannten Autoren kommen MOSLEY et al. (2007), die unterschiedliche Mengen an Palmöl an Milchkühe verfütterten und mit steigendem Palmölanteil in der Ration signifikant höhere Gehalte an gesättigten Fettsäuren im Milchfett erhielten. Hierbei soll auf den deutlich höheren Gehalt an gesättigten Fettsäuren im Palmöl im Vergleich zu Rapsöl hingewiesen werden, worüber die Ergebnisse teilweise erklärt werden können. Die diskutierten Versuchsergebnisse

aus der Literatur sowie die eigenen machen deutlich, dass der Einfluss des Futterfettes auf die Milchfettzusammensetzung von mehreren Faktoren abhängt. Zum einen soll in diesem Zusammenhang die Fettsäurezusammensetzung des Futterfettes als wichtiger Faktor genannt werden. Die Fettsäurezusammensetzung der verschiedenen sich am Markt befindlichen Pflanzenöle (vgl. Abbildung 7), sowie der beim Herstellungsprozess anfallenden Nebenprodukte (z. B. Rapskuchen) ist von fundamentaler Bedeutung. Nicht zu vernachlässigen ist hierbei der Effekt der Fettsäurezusammensetzung des Futtermittels und dessen Auswirkungen auf die Nährstoffumsetzungen in den Vormägen (Lipolyse, Biohydrogenierung). Zum anderen spielt die verabreichte Menge der fetthaltigen Futtermittel eine grundlegende Rolle, um die Milchfettzusammensetzung in eine gewünschte Richtung zu verschieben. Die zitierten Fütterungsversuche variieren neben dem verfütterten Futtermittel und der Einsatzmenge auch in der Fettsäurezusammensetzung. Deshalb ist eine Interpretation der Ergebnisse sinnvollerweise nur mit Kenntnis des eingesetzten Fettsupplements und der Einsatzmenge möglich.

5.3 Energetische Futterwertbestimmung von Rapskuchen für Wiederkäuer

Neben des Fütterungsversuches an der Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung, Hofgut Neumühle, sollte eine futtermittelkundliche Bewertung von Rapskuchen für Milchkühe vorgenommen werden. Neben den wertgebenden Inhaltsstoffen (XP, XF, XL und NfE) ist der Energiegehalt von Bedeutung, um Futtermittel sinnvoll in Rationen von hochleistenden Milchkühen einzusetzen. Hierbei sollen Rationen konzipiert werden, die sich am Bedarf der Tiere orientieren und wiederkäuergerecht sind, um hohe biologische Leistungen bei Erhalt der Tiergesundheit zu erfüllen. Eine genaue Methode, um den energetischen Futterwert von Futtermitteln zu bestimmen, ist die Bestimmung der Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe am Hammel. Dieser wurde nach den Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit der Rohnährstoffe an Wiederkäuern (AfBN, 1991) im Landwirtschaftszentrum Haus Riswick durchgeführt. Hierzu wurden 15, 30, 45 und 60 % Rapskuchen in der Ration an Hammel verfüttert. Die Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe zeigen eine deutliche Reduktion mit steigenden Anteilen Rapskuchen in der Ration. So konnten keine Unterschiede in den Verdaulichkeiten der organischen Masse (OM), des Rohproteins (XP) und des Rohfettes (XL) bei Rapskuchenanteilen von 15 und 30 % festgestellt werden. Bei Verfütterung von 45 % Rapskuchen in der Ration sinkt die Verdaulichkeit der OM von Rapskuchen um 7,8 % auf 73,2 % im Vergleich zur Ration, die nur 30 % Rapskuchen enthält (vgl. Abbildung 9). Somit

ist eine Verträglichkeitsgrenze bei den Tieren zu erkennen, d. h. wird mehr als 30 % Rapskuchen in der Ration eingesetzt, so kann dies verminderte Rohrnährstoffverdaulichkeiten nach sich ziehen. Zu erwähnen gilt, dass der Rohfettgehalt des verfütterten Rapskuchens von entscheidender Bedeutung ist. Im vorliegenden Verdauungsversuch enthielt der Rapskuchen 18,8 % Rohfett in der TM, dies entsprach bei Verfütterung von 30 % Rapskuchen 7,1 % Rohfett in der TM der Ration. Wurde mehr als 7 % Rohfett in der Trockenmasse gefüttert, hatte dies deutlich reduzierte Rohrnährstoffverdaulichkeiten zur Folge. Somit vermindert sich beim Einsatz von 45 % Rapskuchen auch der ermittelte Energiegehalt des Rapskuchens um 1,02 MJ NEL/kg TM im Vergleich zu 30 % Rapskuchen in der Ration. Ob die ermittelten Ergebnisse eins zu eins auf Milchkühe übertragbar sind, wurde in den letzten Jahren viel diskutiert. Unterschiede in den Verdaulichkeiten zwischen Schaf und Milchkuh wurden untersucht und teilweise auch bestätigt (KIRCHGESSNER et al., 1989; STEINGASS et al., 1994). Die bei 15 und 30 % Rapskuchen ermittelten Verdaulichkeiten der organischen Masse (OM) von 80,1 bzw. 81,0 % bestätigen die Verdaulichkeit der OM in der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer (UNIVERSITÄT HOHENHEIM - DOKUMENTATIONSSTELLE, 1997).

Eine Anhebung des Rohfettgehaltes in Rationen von hochleistenden Milchkühen ist möglich und sollte in die Beratungspraxis Eingang finden.

5.4 Jodgehalt in der Milch sowie im Blutserum

Um die Effekte der Glucosinolate im Rapskuchen auf die Physiologie der Milchkuh quantifizieren zu können, wurde der Jodgehalt im Futter, in der Milch und im Blutserum analysiert. Weiterhin wurden die Schilddrüsenhormone T₃ und T₄ im Blutserum bestimmt. Der mittlere Jodgehalt in der Gesamtmischration (TMR) lag bei 0,7 mg/kg TM. Der Jodgehalt in der Milch war in der Rapskuchengruppe signifikant niedriger (p<0,05) als in der Kontrolle. Dieser Unterschied kann auf einen hemmenden Einfluss der Glucosinolate sowie deren Spaltprodukte auf den Na⁺/I⁻-Symporter (SPITZWEG und MORRIS, 2002) zurückgeführt werden. Das mit der Nahrung aufgenommene Jod kann nicht in ausreichendem Maß in die Zellen der Schilddrüse sowie der Laktozyten transportiert und schließlich mit der Milch ausgeschieden werden. Die Carry-Over-Rate lag in der Rapskuchengruppe mit 11,8 % im Vergleich zur Kontrolle (39,7 %) auf einem niedrigeren Niveau (p<0,05). Der Jodgehalt im Blut lag dagegen in der mit Rapskuchen versorgten Gruppe mit 129 µg/l höher (p<0,05) als in der Kontrolle (78 µg/l). Das Jod kann nicht durch die entsprechenden Gewebe (z. B.

Schilddrüse, Milchdrüse und Speicheldrüsen) aufgenommen werden und reichert sich im Blut an. Effekte auf die Schilddrüsenhormone (T_3 und T_4) waren nicht zu erkennen. Zu gleichen Ergebnissen kommen FRANKE et al. (2009), sie konnten verminderte Milchjodgehalte beim Einsatz von Rapsextraktionsschrot (16,5 % d. TM; 3,5 mmol GSL/kg TM) in der Fütterung von Milchkühen ableiten. Unterschiede in den Schilddrüsenhormonen zwischen den Gruppen konnten nicht festgestellt werden. SCHÖNE et al. (2009) fütterten verschiedene Jodgehalte (0,2; 1,3; 5,1 und 10,1 mg Jod/kg TM) in der Ration an je vier Milchkühe. Mit steigender Jodsupplementierung stieg auch die Jodausscheidung über die Milch an. Der täglich mit der Milch ausgeschiedene Jodanteil entsprach 30-40 % der Menge die mit dem Futter täglich aufgenommen wurde. Der mit der Milch ausgeschiedene Jodanteil in der vorliegenden Studie lag in der Kontrollgruppe (ohne Rapsprodukte) bei 39,7 %. Somit bestätigen die eigenen Ergebnisse die Ergebnisse von SCHÖNE et al. (2009). Die Autoren (SCHÖNE et al., 2009) schlussfolgern, dass ein Jodgehalt von 0,5-1,5 mg kg/TM in der Ration dem Bedarf der Milchkuh entspricht. Hieraus resultiert ein Milchjodgehalt von 100-300 µg Jod/kg Milch, was sehr gut mit dem Jodangebot in der Milch für die menschliche Ernährung übereinstimmt. FRANKE et al. (2009) konnten bei Verfütterung von unterschiedlichen Jodgehalten in der Ration (0,5; 1; 2; 3; 4; 5 mg/kg TM) an Milchkühe feststellen, dass die Jodausscheidung über den Harn und den Kot mit steigender Supplementierung ebenfalls angestiegen ist. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass der Einsatz von glucosinolathaltigen Futtermitteln in Rationen von Milchkühen zu signifikant geringeren Milchjodgehalten führt, was bestätigt werden konnte. Um die für die Humanernährung wünschenswerten Milchjodgehalte von 100-330 µg/kg zu erreichen (SCHÖNE und RAJENDRAM, 2009), müssen höhere Jodgehalte im Futter erzielt werden, als der von der GfE (2001) empfohlene Gehalt von 0,5 mg Jod/kg Futter-TM. Die Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 2001) empfiehlt beim Einsatz von Futtermitteln, die höhere Gehalte an Thyreostatika enthalten, eine Verdopplung der Empfehlung von 0,5 mg Jod/kg Futter-TM, um negative Effekte auf die Schilddrüsengesundheit zu vermeiden.

In der vorliegenden Studie wurden 16,5 % Rapskuchen (i. d. TM) an hochleistende Milchkühe verfüttert. Es wurde keine Verdopplung der Empfehlung der GfE (2001) bzgl. des Jodgehaltes in der Ration vorgenommen. Die reduzierten Milchjodgehalte ($p < 0,05$) in der Rapskuchengruppe bestätigen den negativen Effekt der Glucosinolate. Aufgrund der dargestellten Ergebnisse können die Empfehlungen der GfE (2001) bestätigt werden.

5.5 pH-Wert im Harn und Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (NSBA)

Lediglich der pH-Wert im Harn im zweiten Versuchsabschnitt (Rapskuchen, vgl. Tabelle 27) lag auf einem geringeren Niveau als in der vor- und nachgelagerten Kontrolle. In allen anderen Versuchsabschnitten waren keine Unterschiede zu erkennen. Die NSBA-Werte waren im vierten (Rapskuchen) und im sechsten Versuchsabschnitt (Rapskuchen + Rapsextraktionsschrot) geringer als in den relevanten Kontrollen. Die Ergebnisse zeigen einen ähnlichen Verlauf wie die pH-Werte im Pansen saft (Ergebnisse nicht dargestellt). Rapskuchen besitzt das Potenzial den pH-Wert im Pansen saft zu vermindern, was die NSBA-Werte ebenfalls andeuten. Nach FÜRL (1993) reagiert der pH-Wert wesentlich träger als die NSBA, was die Ergebnisse bestätigen. Somit gilt die NSBA als unverzichtbarer Parameter im Rahmen der Bestandsdiagnostik, da der Wiederkäuer aufgrund verdauungsphysiologischer Besonderheiten für Störungen des Säure-Basen-Haushalts prädisponiert ist. Die analysierten NSBA-Werte deuten in allen Versuchsabschnitten, wo Rapsprodukte den Tieren verfüttert wurden, nach FÜRL (2004) sowie GELFERT und STAUFENBIEL (2002) auf eine Pansenazidose oder metabolische Azidose hin. SCHOLZ et al. (2010) konnten im Rahmen einer Auswertung verschiedener Fütterungsversuche der LLFG I den Einfluss der DCAB (Dietary-Cation-Anion-Balance) der Futtermischung auf die NSBA im Harn laktierender Milchkühe bestätigen. Mit Hilfe des DCAB-Konzeptes werden die Verhältnisse zwischen den Anionen Chlorid sowie Sulfat und den Kationen Natrium sowie Kalium in der Futtermischung ermittelt. Die DCAB kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$\text{DCAB (meq/kg TM)} = (\text{Na}\% \times 435 + \text{K}\% \times 256) - (\text{Cl}\% \times 282 + \text{S}\% \times 624)$$

(OETZEL, 2002)

Da die eingesetzten Futtermittel unterschiedliche Kationen sowie Anionen enthalten, bestimmt die Rationszusammensetzung deren DCAB-Gehalt. Sojaextraktionsschrot, Grünfütter und deren Konservate (z. B. Grassilage) besitzen hohe Kationen-Gehalte. Rapsextraktionsschrote, Biertreber und Körnermais dagegen hohe Gehalte an Anionen. Die Kühe, die mit erhöhtem Anteil (10,1-10,7 % i. d. TM) an Rapsextraktionsschrot gefüttert wurden, wiesen mittlere NSBA-Werte von 90 mmol/l auf. Die mittleren NSBA-Werte bei den mit Sojaextraktionsschrot versorgten Tieren lagen bei 163 mmol/l (SCHOLZ et al., 2010). Die DCAB in der Ration besitzt somit einen signifikanten Einfluss auf die NSBA-Werte im Harn der Milchkühe. Kritisch zu betrachten ist, dass bei Rationen mit einer DCAB im physiologischen Bereich (>100 meq/kg TM) sich die NSBA-Werte bereits unterhalb des

angegebenen Toleranzbereiches von 103 mmol/l (GELFERT und STAUFENBIEL, 2002) bewegen können (SCHOLZ, et al. 2010). STAUFENBIEL et al. (2004) konnten eine signifikante und lineare Korrelation ($r = 0,62$) zwischen der DCAB der Ration und der NSBA im Harn von Milchkühen ableiten. Obwohl in den eigenen Rationen (Kontroll- und Versuchsrationen) die DCAB nicht berechnet wurde, kann der ausschließliche Einsatz von Rapsprodukten (Rapskuchen, Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot) in den Versuchsrationen die teilweise signifikant geringeren NSBA-Werte erklären. Nach GELFERT und STAUFENBIEL (2002) weisen NSBA-Werte unterhalb von 103 mmol/l auf Pansenazidosen hin. Da in allen Versuchsrationen niedrigere NSBA-Werte gemessen wurden, muss die Gefahr einer Pansenazidose bei Verfütterung von 3,6 TM Rapskuchen je Kuh und Tag diskutiert werden. Neben dem Effekt der DCAB auf die NSBA-Werte, hatte in verschiedenen Untersuchungen die DCAB (im Bereich zwischen 120 und 464 meq/kg TM) einen positiven Effekt auf die Futteraufnahme von laktierenden Milchkühen (WEST et al., 1992; BEEDE, 2005; APPER-BOSSARD et al., 2006).

6 Schlussfolgerungen

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden Anteile von Sojaextraktionsschrot, Wintergerste und Körnermais in einer Ration von hochleistenden Milchkühen durch Rapskuchen ersetzt. Bezüglich der biologischen Leistungsmerkmale waren keine negativen Auswirkungen zu erkennen. Die Futterraufnahmen und Milchleistungen waren bei den mit Rapskuchen supplementierten Gruppen tendenziell, teilweise signifikant erhöht. Der Milchfettgehalt war in den Rapskuchengruppen signifikant erniedrigt. Die Milchfettzusammensetzung wurde ebenfalls verändert, wodurch sich positive Effekte auf die Gesundheit des Menschen ergeben könnten. Aufgrund der gestiegenen Milchmenge bei Rapskuchenfütterung konnten in den täglich produzierten Milchfettmengen in Versuchsabschnitt vier und sechs signifikant höhere Fettmengen abgeleitet werden. Die Effekte der im Rapskuchen befindlichen Glucosinolate auf den Schilddrüsenstoffwechsel, Jodgehalt in der Milch und im Blutserum wurden ebenfalls untersucht. Rapskuchen reduzierte signifikant die Milchjodkonzentration sowie das Jod in der Tagesmilchmenge. Der Jodgehalt im Blutserum wurde durch Rapskuchen signifikant erhöht. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Rapskuchen Anteile von Sojaextraktionsschrot, Wintergerste und Körnermais in einer Ration von hochleistenden Milchkühen ohne Leistungseinbußen ersetzen kann. Da Rapskuchen je nach Abpressgrad unterschiedliche Rohfettgehalte aufweist sind weitere Studien, um den Effekt hoher Mengen an Rohfett auf Fruchtbarkeit und Tiergesundheit zu untersuchen, wünschenswert. Eventuelle Langzeitauswirkungen bei Verfütterung hoher Fettmengen auf den Stoffwechsel der Tiere gilt es weiter zu erforschen. Untersuchungen zum Einfluss von fetthaltigen Futtermitteln auf den pH-Wert im Pansen und nachfolgende Effekte auf Milchinhaltsstoffe sollten durchgeführt werden.

7 Anhang

Tabelle A 1: Rohnährstoffe der 12 Rapskuchen

| Rohnährstoffe | TS | XA | XL | XP | XF | NfE | ADF org | NDF+asche | NDForg | ADF+asche | ADL |
|----------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| Ölmühle | % | % i.TS | % i. TS | % i.TS | % i.TS | % i.TS | % i.TS |
| 1 | 90,53 | 6,46 | 19,16 | 31,13 | 12,58 | 30,67 | 16,44 | 31,40 | 24,89 | 22,90 | 9,62 |
| 2 | 91,69 | 6,85 | 18,95 | 28,91 | 13,39 | 31,90 | 19,22 | 34,44 | 26,05 | 26,07 | 11,02 |
| 3 | 92,00 | 6,45 | 20,49 | 31,02 | 13,61 | 28,43 | 17,46 | 32,14 | 24,75 | 23,91 | 9,89 |
| 4 | 92,56 | 6,29 | 27,15 | 30,16 | 14,53 | 21,87 | 17,99 | 32,69 | 28,40 | 24,28 | 10,01 |
| 5 | 90,95 | 7,33 | 16,50 | 34,10 | 12,41 | 29,66 | 14,56 | 27,77 | 22,76 | 21,89 | 8,48 |
| 6 | 90,26 | 6,60 | 19,43 | 31,06 | 13,08 | 29,83 | 17,68 | 30,81 | 23,98 | 24,28 | 9,23 |
| 7 | 90,79 | 6,75 | 16,47 | 32,71 | 13,10 | 30,97 | 14,08 | 27,83 | 22,98 | 20,83 | 8,12 |
| 8 | 91,24 | 6,97 | 17,64 | 30,70 | 13,07 | 31,62 | 14,53 | 29,83 | 23,71 | 21,50 | 8,84 |
| 9 | 91,01 | 6,99 | 18,98 | 32,45 | 12,73 | 28,85 | 16,63 | 31,57 | 25,54 | 23,62 | 9,20 |
| 10 | 91,90 | 7,37 | 21,35 | 31,13 | 12,81 | 27,34 | 13,11 | 30,69 | 25,30 | 20,48 | 8,30 |
| 11 | 93,21 | 6,49 | 15,72 | 31,63 | 12,30 | 33,86 | 16,26 | 30,11 | 23,10 | 22,75 | 9,65 |
| 12 | 90,97 | 6,54 | 17,04 | 34,42 | 12,06 | 29,94 | 15,47 | 27,59 | 23,08 | 22,01 | 9,37 |
| Mittelwerte | 91,43 | 6,76 | 19,07 | 31,62 | 12,97 | 29,58 | 16,12 | 30,57 | 24,55 | 22,88 | 9,31 |
| SD | 0,87 | 0,35 | 3,07 | 1,58 | 0,67 | 2,98 | 1,82 | 2,10 | 1,64 | 1,63 | 0,82 |

Anhang

Für alle Tabellen von A2 bis A8 gilt:

*: DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer (Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle (1997));

^a: Rapskuchen „00“ Typ, 12-20 % Fett, DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer (Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle (1997))

Tabelle A 2: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 1. Versuchsabschnittes (Kontrolle)

| Futtermittel | NEL | XP | nXP | XL | XF | ADF _{org} | NDF _{org} | XS | RNB |
|-----------------------|------------------|---------|------------------|-----------|---------|--------------------|--------------------|---------|-----------------|
| | MJ/kg TM | g/kg TM | g/kg TM | g/kg TM | g/kg TM | g/kg TM | g/kg TM | g/kg TM | g/kg TM |
| Maissilage | 7,2 | 66 | 137 | 36 | 164 | 193 | 336 | 363 | -11 |
| Grassilage | 6,7 | 179 | 147 | 40 | 218 | 258 | 440 | n.a. | 5 |
| Heu | 5,2 | 99 | 115 | 18 | 313 | 355 | 613 | n.a. | -3 |
| Wintergerste | 8,1 [*] | 152 | 164 [*] | 39 | 47 | 54 | 229 | 583 | -6 [*] |
| Sojaextraktionsschrot | 8,6 [*] | 543 | 324 [*] | 28 | 44 | 68 | 83 | n.a. | 36 [*] |
| Körnermais | 8,4 [*] | 95 | 164 [*] | 47 | 25 | 33 | 86 | 760 | -9 [*] |
| TMR | 6,8 | 146 | n.a. | 42 | 192 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |

n.a.: nicht analysiert

Tabelle A 3: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 2. Versuchsabschnittes (Rapskuchen)

| Futtermittel | NEL | XP | nXP | XL | XF | ADF _{org} | NDF _{org} | XS | RNB |
|-------------------------|------------------|---------|------------------|------------|---------|--------------------|--------------------|---------|-----------------|
| | MJ/kg TM | g/kg TM | g/kg TM | g/kg TM | g/kg TM | g/kg TM | g/kg TM | g/kg TM | g/kg TM |
| Maissilage | 7,0 | 76 | 137 | 33 | 182 | 209 | 363 | 294 | -10 |
| Grassilage | 7,0 | 172 | 157 | 40 | 208 | 236 | 401 | n.a. | 2 |
| Heu | 5,3 | 103 | 118 | 18 | 321 | 356 | 628 | n.a. | -2 |
| Wintergerste | 8,1 [*] | 140 | 164 [*] | 38 | 48 | 64 | 218 | 583 | -6 [*] |
| Sojaextraktionsschrot | 8,6 [*] | 534 | 324 [*] | 30 | 46 | 60 | 82 | n.a. | 36 [*] |
| Körnermais | 8,4 [*] | 94 | 164 [*] | 48 | 24 | 29 | 94 | 759 | -9 [*] |
| Rapskuchen ^a | 8,6 [*] | 327 | 204 [*] | 206 | 115 | 180 | 210 | n.a. | 23 [*] |
| TMR | 6,2 | 165 | n.a. | 67 | 182 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |

Tabelle A 4: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 3. Versuchsabschnittes (Kontrolle)

| Futtermittel | NEL MJ/kg TM | XP g/kg TM | nXP g/kg TM | XL g/kg TM | XF g/kg TM | ADF _{org} g/kg TM | NDF _{org} g/kg TM | XS g/kg TM | RNB g/kg TM |
|-----------------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------|
| Maissilage | 6,8 | 74 | 134 | 30 | 204 | 227 | 385 | 275 | -10 |
| Grassilage | 6,8 | 178 | 151 | 41 | 211 | 245 | 423 | n.a. | 4 |
| Heu | 5,0 | 96 | 111 | 17 | 332 | 373 | 631 | n.a. | -2 |
| Wintergerste | 8,1* | 141 | 164* | 37 | 53 | 71 | 227 | 585 | -6* |
| Sojaextraktionsschrot | 8,6* | 549 | 324* | 30 | 42 | 72 | 72 | n.a. | 36* |
| Körnermais | 8,4* | 94 | 164* | 52 | 23 | 36 | 90 | 760 | -9* |
| TMR | 6,8 | 146 | n.a. | 44 | 196 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |

Tabelle A 5: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 4. Versuchsabschnittes (Rapskuchen)

| Futtermittel | NEL MJ/kg TM | XP g/kg TM | nXP g/kg TM | XL g/kg TM | XF g/kg TM | ADF _{org} g/kg TM | NDF _{org} g/kg TM | XS g/kg TM | RNB g/kg TM |
|-------------------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------|
| Maissilage | 6,8 | 68 | 133 | 31 | 206 | 230 | 390 | 280 | -10 |
| Grassilage | 6,8 | 180 | 156 | 40 | 208 | 244 | 419 | n.a. | 4 |
| Heu | 4,2 | 91 | 98 | 16 | 356 | 410 | 705 | n.a. | -1 |
| Wintergerste | 8,1* | 148 | 164* | 36 | 47 | 76 | 238 | 585 | -6* |
| Sojaextraktionsschrot | 8,6* | 556 | 324* | 29 | 37 | 58 | 68 | n.a. | 36* |
| Körnermais | 8,4* | 89 | 164* | 44 | 27 | 35 | 95 | 756 | -9* |
| Rapskuchen ^a | 8,6* | 325 | 204* | 180 | 119 | 201 | 219 | n.a. | 23* |
| TMR | 6,5 | 169 | n.a. | 65 | 171 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |

Anhang

Tabelle A 6: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 5. Versuchsabschnittes (Kontrolle)

| Futtermittel | NEL MJ/kg TM | XP g/kg TM | nXP g/kg TM | XL g/kg TM | XF g/kg TM | ADF _{org} g/kg TM | NDF _{org} g/kg TM | XS g/kg TM | RNB g/kg TM |
|-----------------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------|
| Maissilage | 6,9 | 71 | 135 | 30 | 190 | 213 | 359 | 299 | -10 |
| Grassilage | 5,4 | 114 | 120 | 29 | 270 | 324 | 496 | n.a. | -1 |
| Heu | 4,1 | 87 | 96 | 17 | 365 | 411 | 703 | n.a. | -1 |
| Wintergerste | 8,1* | 137 | 164* | 36 | 54 | 73 | 271 | 561 | -6* |
| Sojaextraktionsschrot | 8,6* | 555 | 324* | 28 | 38 | 76 | 84 | n.a. | 36* |
| Körnermais | 8,4* | 89 | 164* | 43 | 27 | 36 | 89 | 750 | -9* |
| TMR | 6,8 | 132 | n.a. | 46 | 185 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |

Tabelle A 7: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 6. Versuchsabschnittes (Rapskuchen + Rapsextraktionsschrot)

| Futtermittel | NEL MJ/kg TM | XP g/kg TM | nXP g/kg TM | XL g/kg TM | XF g/kg TM | ADF _{org} g/kg TM | NDF _{org} g/kg TM | XS g/kg TM | RNB g/kg TM |
|-------------------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------|
| Maissilage | 6,9 | 71 | 134 | 31 | 192 | 217 | 366 | 300 | -10 |
| Grassilage | 5,9 | 138 | 130 | 36 | 244 | 287 | 457 | n.a. | 1 |
| Heu | 4,2 | 87 | 97 | 17 | 355 | 405 | 690 | n.a. | -2 |
| Wintergerste | 8,1* | 137 | 164* | 36 | 56 | 81 | 242 | 571 | -6* |
| Rapsextraktionsschrot | 7,3* | 395 | 219* | 41 | 143 | 229 | 262 | n.a. | 29 |
| Körnermais | 8,4* | 88 | 164* | 45 | 28 | 338 | 108 | n.a. | -9* |
| Rapskuchen ^a | 8,6* | 326 | 204* | 201 | 117 | 182 | 159 | n.a. | 23* |
| TMR | 6,9 | 175 | n.a. | 54 | 182 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |

Tabelle A 8: Inhaltsstoffe der eingesetzten Futtermittel sowie der TMR des 7. Versuchsabschnittes (Kontrolle)

| Futtermittel | NEL MJ/kg TM | XP g/kg TM | nXP g/kg TM | XL g/kg TM | XF g/kg TM | ADF _{org} g/kg TM | NDF _{org} g/kg TM | XS g/kg TM | RNB g/kg TM |
|-----------------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------|
| Maissilage | 6,9 | 73 | 135 | 30 | 192 | 212 | 368 | 298 | -10 |
| Grassilage | 5,5 | 109 | 118 | 30 | 274 | 324 | 505 | n.a. | -1 |
| Heu | 4,2 | 87 | 96 | 16 | 362 | 408 | 702 | n.a. | -1 |
| Wintergerste | 8,1* | 138 | 164* | 34 | 57 | 80 | 265 | 562 | -6* |
| Sojaextraktionsschrot | 8,6* | 556 | 324* | 27 | 35 | 31 | 80 | n.a. | 36* |
| Körnermais | 8,4* | 88 | 164* | 43 | 24 | 35 | 97 | 753 | -9* |
| TMR | 6,8 | 130 | n.a. | 41 | 190 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |

Tabelle A 9: Probe 1 Versuchsabschnitt 1 (Versuchsbeginn; Kontrolle)

| Kuh | Triglyc. (mmol/l) | Gs. Ew. (g/l) | GB (μmol/l) | AST (U/l) | GGT (U/l) | GLDH (U/l) | FRFS (μmol/l) | β-HBS (mmol/l) | HAST (mmol/l) |
|-------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---|--|--------------------------|
| 129 | 0,07 | 73 | 4,70 | 68 | 22 | 8,7 | 238 | 0,56 | 5,18 |
| 300 | 0,05 | 70 | 3,04 | 70 | 25 | 11,7 | 137 | 0,59 | 4,68 |
| 320 | 0,07 | 65 | 3,37 | 90 | 31 | 29,9 | 99,6 | 0,60 | 4,40 |
| 326 | 0,06 | 75 | 5,82 | 74 | 25 | 13,5 | 557 | 1,38 | 5,13 |
| 341 | 0,07 | 71 | 8,57 | 75 | 52 | 30,3 | 412 | 1,38 | 4,51 |
| 400 | 0,08 | 62 | 8,65 | 106 | 10 | 11,4 | 541 | 0,51 | 2,98 |
| 404 | 0,06 | 73 | 2,45 | 65 | 24 | 6,0 | 130 | 1,07 | 5,69 |
| 408 | 0,08 | 70 | 6,03 | 66 | 21 | 9,6 | 467 | 0,65 | 3,88 |
| 411 | 0,04 | 71 | 7,28 | 75 | 16 | 6,0 | 183 | 1,16 | 5,27 |
| 415 | 0,06 | 71 | 4,81 | 88 | 27 | 23,0 | 115 | 0,60 | 5,62 |
| 425 | 0,07 | 71 | 5,08 | 79 | 20 | 17,3 | 766 | 1,52 | 4,26 |
| 507 | 0,07 | 64 | 2,04 | 65 | 16 | 9,0 | 103 | 0,80 | 4,63 |
| 511 | 0,05 | 69 | 2,43 | 61 | 28 | 8,2 | 85 | 0,83 | 4,18 |
| 516 | 0,05 | 71 | 5,13 | 75 | 24 | 21,2 | 131 | 0,63 | 4,24 |
| 524 | 0,06 | 75 | 3,90 | 61 | 18 | 12,7 | 114 | 1,40 | 5,18 |
| 525 | 0,06 | 75 | 4,55 | 50 | 18 | 6,9 | 138 | 0,59 | 6,13 |
| 526 | 0,06 | 74 | 5,00 | 98 | 32 | 64,1 | 127 | 0,72 | 6,11 |
| 527 | 0,06 | 27 | 3,97 | 52 | 25 | 8,6 | 125 | 0,58 | 5,77 |
| 2208 | 0,09 | 74 | 2,54 | 63 | 29 | 10,6 | 162 | 0,75 | 5,99 |
| 2331 | 0,05 | 76 | 6,04 | 60 | 14 | 7,4 | 169 | 0,45 | 4,75 |
| Mittelwert | 0,06 | 69 | 4,77 | 72 | 23,85 | 15,8 | 240 | 0,84 | 4,93 |
| SD | 0,01 | 11 | 1,92 | 15 | 8,81 | 13,6 | 196 | 0,35 | 0,83 |

Tabelle A 10: Probe 2 Versuchsabschnitt 1 (Versuchsende, Kontrolle)

| Kuh | Triglyc. | Gs. Ew. | GB | AST | GGT | GLDH | FRFS | β-HBS | HST |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 129 | 0,07 | 67 | 2,49 | 91 | 28 | 20,10 | 178 | 0,51 | 5,00 |
| 300 | 0,05 | 74 | 3,37 | 76 | 31 | 23,20 | 127 | 0,63 | 3,92 |
| 320 | 0,05 | 67 | 3,26 | 111 | 39 | 34,40 | 115 | 0,72 | 6,31 |
| 326 | 0,06 | 81 | 3,89 | 56 | 31 | 15,10 | 290 | 0,57 | 4,81 |
| 341 | 0,05 | 69 | 3,09 | 54 | 31 | 9,72 | 207 | 0,63 | 5,39 |
| 400 | 0,09 | 70 | 3,36 | 70 | 33 | 8,55 | 274 | 1,03 | 4,51 |
| 404 | 0,05 | 75 | 4,11 | 77 | 35 | 25,40 | 112 | 1,07 | 5,01 |
| 408 | 0,04 | 61 | 2,99 | 54 | 10 | 11,30 | 115 | 0,78 | 4,61 |
| 411 | 0,05 | 70 | 3,25 | 73 | 24 | 9,20 | 172 | 1,07 | 5,06 |
| 415 | 0,06 | 67 | 4,40 | 93 | 21 | 37,60 | 124 | 0,40 | 4,30 |
| 425 | 0,04 | 74 | 3,94 | 68 | 32 | 11,70 | 459 | 1,30 | 4,33 |
| 507 | 0,05 | 64 | 4,07 | 59 | 18 | 11,70 | 136 | 0,93 | 4,83 |
| 511 | 0,03 | 70 | 2,43 | 66 | 25 | 15,60 | 110 | 1,02 | 4,91 |
| 516 | 0,05 | 77 | 2,97 | 82 | 19 | 15,30 | 117 | 0,54 | 4,41 |
| 524 | 0,07 | 75 | 2,69 | 67 | 23 | 19,80 | 123 | 0,82 | 4,98 |
| 525 | 0,07 | 72 | 2,60 | 67 | 24 | 22,90 | 153 | 0,63 | 5,80 |
| 526 | 0,07 | 72 | 2,29 | 155 | 109 | 184,00 | 120 | 0,80 | 5,65 |
| 527 | 0,05 | 73 | 1,69 | 56 | 22 | 14,40 | 121 | 0,87 | 5,56 |
| 2208 | 0,05 | 71 | 4,19 | 61 | 23 | 10,70 | 179 | 0,70 | 5,63 |
| 2331 | 0,05 | 78 | 2,55 | 73 | 20 | 12,50 | 157 | 0,60 | 5,01 |
| Mittelwert | 0,06 | 71 | 3,18 | 75 | 30 | 25,66 | 169 | 0,78 | 5,00 |
| SD | 0,01 | 5 | 0,74 | 24 | 20 | 38,13 | 85 | 0,23 | 0,59 |

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin (μmol/l); AST:Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren (μmol/l); B-HBS: β-Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

Tabelle A 11: Probe 1 Versuchsabschnitt 2 (Versuchsbeginn; Rapskuchen)

| Kuh | Triglyc. | Gs. Ew. | GB | AST | GGT | GLDH | FRFS | β-HBS | HST |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 129 | 0,06 | 72 | 4,77 | 100 | 36 | 29,0 | 131 | 0,46 | 4,22 |
| 300 | 0,09 | 71 | 5,39 | 69 | 35 | 25,0 | 170 | 0,48 | 3,86 |
| 320 | 0,09 | 67 | 4,29 | 132 | 55 | 130,0 | 163 | 0,59 | 4,68 |
| 326 | 0,09 | 75 | 4,54 | 71 | 21 | 27,7 | 185 | 0,49 | 5,42 |
| 341 | 0,07 | 66 | 4,01 | 60 | 31 | 38,1 | 143 | 0,75 | 4,19 |
| 400 | 0,09 | 73 | 2,62 | 74 | 37 | 36,9 | 132 | 1,37 | 3,30 |
| 404 | 0,07 | 71 | 3,51 | 62 | 31 | 12,2 | 144 | 1,20 | 4,88 |
| 408 | 0,06 | 66 | 3,48 | 62 | 25 | 16,9 | 102 | 1,04 | 3,73 |
| 411 | 0,04 | 70 | 2,30 | 83 | 25 | 18,7 | 115 | 0,96 | 5,27 |
| 415 | 0,10 | 70 | 2,91 | 127 | 31 | 109,0 | 122 | 0,49 | 4,55 |
| 425 | 0,06 | 66 | 3,47 | 64 | 31 | 18,9 | 168 | 0,91 | 5,22 |
| 507 | 0,09 | 65 | 3,99 | 264 | 110 | 474,0 | 163 | 0,64 | 4,35 |
| 511 | 0,08 | 68 | 2,35 | 65 | 34 | 15,6 | 161 | 0,97 | 3,43 |
| 516 | 0,07 | 70 | 3,17 | 143 | 28 | 67,7 | 174 | 0,55 | 3,82 |
| 524 | 0,09 | 72 | 3,24 | 136 | 83 | 133,0 | 114 | 0,75 | 4,49 |
| 525 | 0,10 | 72 | 3,03 | 92 | 31 | 95,2 | 163 | 0,90 | 5,39 |
| 526 | 0,08 | 71 | 1,60 | 137 | 79 | 93,9 | 110 | 0,74 | 5,70 |
| 527 | 0,06 | 67 | 3,65 | 49 | 25 | 21,7 | 125 | 0,63 | 5,13 |
| 2208 | 0,09 | 68 | 4,80 | 54 | 26 | 10,6 | 144 | 0,81 | 4,61 |
| 2331 | 0,09 | 73 | 2,11 | 61 | 23 | 10,9 | 191 | 0,59 | 4,14 |
| Mittelwert | 0,08 | 70 | 3,46 | 95 | 40 | 69,3 | 146 | 0,77 | 4,52 |
| SD | 0,02 | 3 | 1,00 | 51 | 24 | 103,8 | 26 | 0,25 | 0,69 |

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin (μmol/l); AST:Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren (μmol/l); B-HBS: β-Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

Tabelle A 12: Probe 2 Versuchsabschnitt 2 (Versuchsende; Rapskuchen)

| Kuh | Triglyc. | Gs. Ew. | GB | AST | GGT | GLDH | FRFS | β-HBS | HST |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 129 | 0,10 | 72 | 2,55 | 82 | 44 | 42,7 | 271 | 0,61 | 3,37 |
| 300 | 0,08 | 73 | 2,22 | 70 | 68 | 64,1 | 223 | 0,56 | 3,08 |
| 320 | 0,08 | 73 | 3,52 | 143 | 76 | 137,0 | 271 | 0,70 | 4,13 |
| 326 | 0,06 | 80 | 2,76 | 55 | 39 | 26,7 | 212 | 0,91 | 2,96 |
| 341 | 0,06 | 69 | 2,54 | 64 | 46 | 105,0 | 182 | 0,65 | 4,00 |
| 400 | 0,10 | 73 | 3,07 | 82 | 35 | 84,1 | 181 | 1,28 | 4,77 |
| 404 | 0,06 | 73 | 2,36 | 59 | 46 | 25,7 | 173 | 0,93 | 4,03 |
| 408 | 0,07 | 72 | 3,29 | 92 | 45 | 77,1 | 152 | 0,48 | 3,04 |
| 411 | 0,07 | 77 | 2,53 | 88 | 52 | 47,2 | 231 | 0,65 | 4,26 |
| 415 | 0,11 | 74 | 2,89 | 101 | 72 | 128,0 | 240 | 0,66 | 3,12 |
| 425 | 0,06 | 74 | 5,47 | 77 | 38 | 54,2 | 244 | 0,65 | 3,57 |
| 507 | 0,07 | 71 | 4,69 | 142 | 399 | 228,0 | 170 | 0,55 | 3,44 |
| 511 | 0,07 | 68 | 3,89 | 49 | 42 | 12,6 | 268 | 1,11 | 2,75 |
| 516 | 0,06 | 71 | 2,78 | 103 | 42 | 55,9 | 268 | 0,47 | 3,89 |
| 525 | 0,09 | 80 | 4,69 | 72 | 32 | 58,9 | 233 | 0,85 | 4,82 |
| 526 | 0,09 | 76 | 2,22 | 145 | 91 | 185,0 | 215 | 0,60 | 4,65 |
| 527 | 0,07 | 73 | 3,80 | 22 | 38 | 31,1 | 153 | 1,17 | 4,20 |
| 2208 | 0,10 | 81 | 2,69 | 119 | 45 | 60,3 | 206 | 0,69 | 4,25 |
| 2331 | 0,10 | 83 | 2,31 | 116 | 50 | 65,8 | 203 | 0,76 | 3,94 |
| Mittelwert | 0,08 | 74 | 3,17 | 88 | 68 | 78,4 | 216 | 0,75 | 3,80 |
| SD | 0,02 | 4 | 0,94 | 34 | 82 | 56,2 | 39 | 0,23 | 0,63 |

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin ($\mu\text{mol/l}$); AST: Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren ($\mu\text{mol/l}$); B-HBS: β -Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

Tabelle A 13: Probe 1 Versuchsabschnitt 3 (Versuchsbeginn, Kontrolle)

| Kuh | Triglyc. | Gs. Ew. | GB | AST | GGT | GLDH | FRFS | β-HBS | HST |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 129 | 0,23 | 70 | 1,96 | 118 | 45 | 35,6 | 149 | 0,75 | 4,74 |
| 220 | 0,23 | 70 | 2,89 | 84 | 34 | 30,9 | 168 | 0,76 | 4,89 |
| 300 | 0,24 | 72 | 3,52 | 106 | 71 | 53,0 | 176 | 0,44 | 2,94 |
| 320 | 0,17 | 70 | 1,04 | 149 | 77 | 84,4 | 152 | 0,62 | 6,63 |
| 326 | 0,20 | 75 | 2,00 | 64 | 34 | 19,1 | 187 | 0,42 | 5,21 |
| 341 | 0,19 | 67 | 9,31 | 65 | 36 | 20,7 | 153 | 0,72 | 4,79 |
| 400 | 0,15 | 71 | 1,68 | 95 | 38 | 37,5 | 153 | 1,88 | 5,22 |
| 404 | 0,21 | 70 | 2,34 | 67 | 42 | 11,0 | 129 | 0,83 | 5,58 |
| 408 | 0,15 | 79 | 3,42 | 119 | 75 | 67,9 | 128 | 0,55 | 3,39 |
| 411 | 0,30 | 75 | 3,01 | 85 | 53 | 22,7 | 185 | 0,79 | 5,55 |
| 415 | 0,23 | 69 | 2,25 | 87 | 61 | 39,3 | 143 | 0,41 | 3,99 |
| 425 | 0,18 | 82 | 2,64 | 75 | 41 | 24,6 | 188 | 0,41 | 3,22 |
| 507 | 0,23 | 63 | 2,51 | 65 | 181 | 25,0 | 118 | 0,94 | 5,54 |
| 511 | 0,17 | 67 | 1,84 | 71 | 41 | 20,2 | 126 | 0,70 | 3,67 |
| 516 | 0,14 | 71 | 3,64 | 216 | 45 | 118,0 | 187 | 0,47 | 5,02 |
| 524 | 0,20 | 65 | 3,34 | 160 | 97 | 91,6 | 136 | 0,65 | 5,23 |
| 525 | 0,19 | 69 | 1,48 | 91 | 31 | 48,5 | 159 | 0,72 | 6,54 |
| 526 | 0,25 | 69 | 2,35 | 300 | 89 | 335,0 | 156 | 0,41 | 5,66 |
| 527 | 0,18 | 68 | 1,90 | 67 | 35 | 24,9 | 129 | 0,52 | 4,19 |
| 2331 | 0,22 | 77 | 1,57 | 126 | 50 | 50,2 | 151 | 0,51 | 4,57 |
| Mittelwert | 0,20 | 71 | 2,73 | 111 | 59 | 58,0 | 154 | 0,68 | 4,83 |
| SD | 0,04 | 5 | 1,71 | 59 | 35 | 70,9 | 22 | 0,33 | 1,02 |

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin (μmol/l); AST: Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren (μmol/l); B-HBS: β-Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

Tabelle A 14: Probe 2 Versuchsabschnitt 3 (Versuchsende; Kontrolle)

| Kuh | Triglyc. | Gs. Ew. | GB | AST | GGT | GLDH | FRFS | β-HBS | HST |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 129 | 0,21 | 72 | 3,81 | 101 | 47 | 26,6 | 187 | 0,71 | 4,68 |
| 220 | 0,28 | 72 | 4,04 | 103 | 45 | 31,5 | 191 | 0,73 | 5,14 |
| 300 | 0,21 | 69 | 2,55 | 90 | 63 | 36,8 | 176 | 0,52 | 3,46 |
| 320 | 0,21 | 73 | 3,71 | 155 | 69 | 64,3 | 187 | 0,39 | 6,15 |
| 326 | 0,25 | 80 | 5,46 | 87 | 40 | 33,1 | 280 | 0,51 | 5,46 |
| 341 | 0,21 | 70 | 3,41 | 70 | 36 | 26,5 | 152 | 0,93 | 4,82 |
| 400 | 0,19 | 71 | 3,29 | 97 | 45 | 36,8 | 186 | 1,12 | 6,89 |
| 404 | 0,24 | 75 | 3,49 | 54 | 39 | 11,7 | 149 | 0,81 | 5,42 |
| 408 | 0,17 | 82 | 2,12 | 73 | 55 | 42,6 | 120 | 0,83 | 4,67 |
| 411 | 0,29 | 71 | 4,19 | 130 | 64 | 53,2 | 153 | 0,70 | 4,73 |
| 415 | 0,25 | 72 | 3,09 | 85 | 44 | 22,5 | 203 | 0,71 | 4,83 |
| 425 | 0,19 | 78 | 3,28 | 84 | 49 | 32,7 | 196 | 0,85 | 5,33 |
| 507 | 0,28 | 68 | 2,53 | 74 | 64 | 15,7 | 150 | 0,86 | 5,91 |
| 511 | 0,19 | 72 | 1,98 | 144 | 55 | 58,3 | 157 | 0,98 | 3,64 |
| 516 | 0,15 | 78 | 1,15 | 168 | 47 | 55,1 | 160 | 0,42 | 3,39 |
| 524 | 0,22 | 68 | 3,23 | 229 | 67 | 141,0 | 187 | 1,13 | 5,76 |
| 525 | 0,24 | 72 | 3,01 | 112 | 33 | 50,0 | 236 | 0,63 | 5,98 |
| 526 | 0,21 | 73 | 2,50 | 182 | 84 | 87,5 | 126 | 0,65 | 5,13 |
| 527 | 0,19 | 67 | 3,25 | 86 | 35 | 25,9 | 177 | 0,79 | 5,90 |
| 2331 | 0,22 | 83 | 2,76 | 125 | 50 | 35,6 | 143 | 0,52 | 4,45 |
| Mittelwert | 0,22 | 73 | 3,14 | 112 | 52 | 44,4 | 176 | 0,74 | 5,09 |
| SD | 0,04 | 5 | 0,92 | 44 | 13 | 29,0 | 37 | 0,21 | 0,92 |

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin (μmol/l); AST:Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren (μmol/l); B-HBS: β-Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

Tabelle A 15: Probe 1 Versuchsabschnitt 4 (Versuchsbeginn, Rapskuchen)

| Kuh | Triglyc. | Gs. Ew. | GB | AST | GGT | GLDH | FRFS | β-HBS | HST |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 129 | 0,20 | 73 | 3,83 | 103 | 41 | 21,9 | 186 | 0,41 | 4,59 |
| 220 | 0,23 | 70 | 4,89 | 66 | 43 | 25,1 | 199 | 0,51 | 5,92 |
| 300 | 0,21 | 66 | 1,07 | 72 | 54 | 31,9 | 144 | 0,82 | 3,94 |
| 320 | 0,19 | 72 | 3,55 | 99 | 61 | 29,1 | 219 | 0,22 | 5,24 |
| 326 | 0,23 | 75 | 3,55 | 87 | 40 | 51,2 | 145 | 0,70 | 5,95 |
| 341 | 0,23 | 73 | 1,87 | 90 | 38 | 22,9 | 147 | 0,42 | 3,57 |
| 400 | 0,20 | 73 | 1,93 | 110 | 40 | 26,6 | 148 | 0,94 | 4,68 |
| 404 | 0,25 | 73 | 2,59 | 66 | 30 | 12,3 | 165 | 0,52 | 3,46 |
| 408 | 0,19 | 79 | 3,70 | 82 | 43 | 39,4 | 132 | 0,67 | 5,88 |
| 411 | 0,32 | 73 | 1,78 | 108 | 54 | 36,9 | 175 | 0,56 | 5,17 |
| 415 | 0,27 | 73 | 2,88 | 125 | 35 | 53,0 | 192 | 0,53 | 4,62 |
| 425 | 0,18 | 72 | 3,51 | 108 | 55 | 50,7 | 158 | 0,42 | 5,17 |
| 507 | 0,29 | 67 | 3,74 | 95 | 35 | 26,8 | 120 | 0,54 | 4,90 |
| 511 | 0,21 | 72 | 5,95 | 110 | 55 | 34,0 | 139 | 0,62 | 4,49 |
| 516 | 0,18 | 83 | 5,74 | 83 | 33 | 34,3 | 322 | 0,30 | 5,22 |
| 524 | 0,25 | 69 | 4,12 | 208 | 61 | 99,5 | 180 | 0,79 | 6,70 |
| 525 | 0,31 | 75 | 3,02 | 127 | 32 | 68,0 | 204 | 0,84 | 7,49 |
| 526 | 0,28 | 73 | 3,06 | 132 | 60 | 47,0 | 187 | 0,45 | 6,02 |
| 527 | 0,24 | 73 | 1,63 | 91 | 35 | 28,8 | 155 | 0,67 | 5,48 |
| 2331 | 0,30 | 80 | 2,50 | 124 | 30 | 20,2 | 157 | 0,73 | 5,51 |
| Mittelwert | 0,24 | 73 | 3,25 | 104 | 44 | 38,0 | 174 | 0,58 | 5,20 |
| SD | 0,04 | 4 | 1,31 | 31 | 11 | 19,8 | 44 | 0,19 | 0,99 |

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin (μmol/l); AST:Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren (μmol/l); B-HBS: β-Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

Tabelle A 16: Probe 2 Versuchsabschnitt 4 (Versuchsende; Rapskuchen)

| Kuh | Triglyc. | Gs. Ew. | GB | AST | GGT | GLDH | FRFS | β-HBS | HST |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 129 | 0,23 | 77 | 3,63 | 86 | 37 | 25,2 | 267 | 0,31 | 4,59 |
| 220 | 0,20 | 80 | 6,11 | 107 | 83 | 147,0 | 564 | 1,81 | 4,18 |
| 300 | 0,22 | 68 | 3,19 | 71 | 52 | 41,3 | 126 | 0,42 | 3,79 |
| 320 | 0,21 | 69 | 4,25 | 106 | 60 | 33,3 | 211 | 0,47 | 6,01 |
| 326 | 0,27 | 74 | 3,23 | 75 | 40 | 33,1 | 162 | 0,56 | 6,20 |
| 341 | 0,23 | 70 | 4,12 | 82 | 47 | 40,4 | 145 | 0,72 | 4,98 |
| 400 | 0,20 | 70 | 2,34 | 97 | 64 | 33,5 | 168 | 0,70 | 5,61 |
| 404 | 0,25 | 70 | 2,47 | 55 | 40 | 9,6 | 199 | 0,78 | 5,17 |
| 408 | 0,23 | 76 | 2,90 | 92 | 76 | 57,5 | 146 | 0,75 | 5,33 |
| 411 | 0,33 | 72 | 3,14 | 100 | 57 | 38,5 | 204 | 0,71 | 5,61 |
| 415 | 0,23 | 69 | 4,44 | 94 | 36 | 16,6 | 143 | 0,34 | 4,56 |
| 425 | 0,20 | 57 | 1,63 | 110 | 54 | 51,1 | 159 | 0,62 | 5,08 |
| 507 | 0,31 | 63 | 1,71 | 108 | 40 | 56,8 | 141 | 0,90 | 5,07 |
| 511 | 0,22 | 65 | 4,35 | 82 | 53 | 21,2 | 162 | 0,81 | 4,37 |
| 516 | 0,22 | 73 | 1,71 | 97 | 39 | 53,6 | 216 | 0,46 | 4,16 |
| 524 | 0,30 | 70 | 1,81 | 232 | 84 | 152,0 | 158 | 0,86 | 5,94 |
| 525 | 0,26 | 71 | 5,33 | 98 | 36 | 53,7 | 157 | 0,69 | 5,79 |
| 526 | 0,24 | 68 | 1,84 | 109 | 53 | 50,6 | 186 | 0,60 | 5,55 |
| 527 | 0,27 | 69 | 3,00 | 74 | 42 | 18,3 | 158 | 0,71 | 4,78 |
| 2331 | 0,27 | 77 | 3,36 | 51 | 33 | 18,6 | n,a, | 0,72 | 5,09 |
| Mittelwert | 0,24 | 70 | 3,23 | 96 | 51 | 47,6 | 193 | 0,70 | 5,09 |
| SD | 0,04 | 5 | 1,26 | 36 | 16 | 37,8 | 96 | 0,31 | 0,67 |

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin (μmol/l); AST: Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren (μmol/l); B-HBS: β-Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

Tabelle A 17: Probe 1 Versuchsabschnitt 5 (Versuchsbeginn; Kontrolle)

| Kuh | Triglyc. | Gs. Ew. | GB | AST | GGT | GLDH | FRFS | β-HBS | HST |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 300 | 0,23 | 69 | 2,68 | 88 | 42 | 37,6 | 213 | 0,60 | 2,38 |
| 320 | 0,21 | 71 | 1,71 | 120 | 60 | 30,1 | 146 | 0,48 | 3,70 |
| 326 | 0,24 | 73 | 2,87 | 81 | 33 | 26,8 | 162 | 0,76 | 3,28 |
| 341 | 0,22 | 70 | 2,53 | 89 | 36 | 24,8 | 177 | 0,60 | 2,23 |
| 400 | 0,18 | 70 | 1,23 | 98 | 43 | 27,3 | 142 | 0,92 | 3,96 |
| 408 | 0,20 | 71 | 2,45 | 82 | 55 | 22,8 | 134 | 0,97 | 3,19 |
| 411 | 0,36 | 72 | 2,99 | 109 | 50 | 34,8 | 160 | 0,73 | 3,64 |
| 415 | 0,25 | 70 | 2,26 | 93 | 35 | 25,7 | 191 | 0,70 | 2,29 |
| 425 | 0,20 | 70 | 3,09 | 123 | 53 | 40,7 | 139 | 0,67 | 2,87 |
| 507 | 0,27 | 62 | 2,20 | 100 | 48 | 34,7 | 120 | 1,06 | 3,41 |
| 511 | 0,21 | 70 | 1,60 | 60 | 38 | 18,6 | 130 | 0,65 | 2,08 |
| 524 | 0,27 | 72 | 1,90 | 210 | 76 | 115,0 | 129 | 0,60 | 2,81 |
| 525 | 0,21 | 66 | 2,49 | 72 | 31 | 24,2 | 171 | 0,83 | 3,40 |
| 526 | 0,24 | 66 | 3,01 | 125 | 48 | 62,2 | 203 | 0,43 | 2,62 |
| 527 | 0,26 | 68 | 2,75 | 97 | 41 | 24,7 | 174 | 0,67 | 2,92 |
| Mittelwert | 0,24 | 69 | 2,38 | 103 | 46 | 36,7 | 159 | 0,71 | 2,99 |
| SD | 0,04 | 3 | 0,56 | 35 | 12 | 24,1 | 28 | 0,17 | 0,59 |

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin (μmol/l); AST:Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren (μmol/l); B-HBS: β-Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

Tabelle A 18: Probe 2 Versuchsabschnitt 5 (Versuchsende; Kontrolle)

| Kuh | Triglyc. | Gs. Ew. | GB | AST | GGT | GLDH | FRFS | β-HBS | HST |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 300 | 0,21 | 67 | 4,19 | 95 | 49 | 29,7 | 244 | 0,72 | 3,92 |
| 320 | 0,15 | 66 | 3,89 | 143 | 48 | 32,0 | 245 | 0,57 | 4,78 |
| 326 | 0,20 | 74 | 1,80 | 94 | 32 | 21,9 | 226 | 0,61 | 4,26 |
| 341 | 0,18 | 69 | 4,11 | 96 | 35 | 19,6 | 238 | 0,64 | 3,59 |
| 400 | 0,20 | 69 | 4,31 | 84 | 38 | 15,7 | 245 | 0,81 | 3,81 |
| 408 | 0,17 | 69 | 2,85 | 83 | 40 | 15,9 | 206 | 0,73 | 3,89 |
| 411 | 0,33 | 70 | 1,96 | 117 | 48 | 29,9 | 255 | 0,76 | 4,08 |
| 415 | 0,20 | 71 | 2,45 | 82 | 30 | 15,6 | 473 | 0,61 | 3,52 |
| 425 | 0,17 | 69 | 3,50 | 125 | 75 | 35,5 | 255 | 0,91 | 4,78 |
| 507 | 0,22 | 63 | 1,64 | 85 | 35 | 19,3 | 213 | 0,96 | 4,08 |
| 511 | 0,20 | 68 | 4,61 | 75 | 62 | 36,0 | 220 | 0,98 | 3,43 |
| 524 | 0,22 | 64 | 3,73 | 183 | 55 | 57,0 | 269 | 0,95 | 4,37 |
| 525 | 0,20 | 69 | 3,03 | 73 | 29 | 21,3 | 290 | 0,95 | 4,41 |
| 526 | 0,23 | 70 | 3,91 | 148 | 58 | 45,5 | 266 | 0,56 | 4,71 |
| 527 | 0,18 | 66 | 3,06 | 74 | 12 | 16,6 | 230 | 1,01 | 4,73 |
| Mittelwert | 0,20 | 68 | 3,27 | 104 | 43 | 27,4 | 258 | 0,78 | 4,16 |
| SD | 0,04 | 3 | 0,96 | 33 | 16 | 12,2 | 63 | 0,16 | 0,47 |

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin (μmol/l); AST:Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren (μmol/l); B-HBS: β-Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

Tabelle A 19: Probe 1 Versuchsabschnitt 6 (Versuchsbeginn; Rapskuchen + Rapsextraktionsschrot)

| Kuh | Triglyc. | Gs. Ew. | GB | AST | GGT | GLDH | FRFS | β-HBS | HST |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 300 | 0,19 | 67 | 2,33 | 84 | 55 | 25,8 | 214 | 0,92 | 5,27 |
| 320 | 0,20 | 66 | 3,52 | 61 | 45 | 14,6 | 222 | 0,47 | 4,86 |
| 326 | 0,22 | 71 | 1,99 | 57 | 34 | 10,2 | 181 | 0,77 | 5,95 |
| 341 | 0,22 | 63 | 1,95 | 55 | 37 | 15,7 | 145 | 0,61 | 3,56 |
| 400 | 0,23 | 67 | 4,13 | 52 | 29 | 15,1 | 188 | 0,75 | 5,20 |
| 408 | 0,19 | 66 | 5,66 | 68 | 34 | 14,8 | 168 | 0,79 | 4,57 |
| 411 | 0,32 | 67 | 2,20 | 68 | 40 | 12,0 | 194 | 0,76 | 4,27 |
| 415 | 0,23 | 65 | 2,40 | 68 | 33 | 19,1 | 197 | 0,51 | 3,70 |
| 425 | 0,20 | 65 | 4,64 | 103 | 49 | 26,4 | 193 | 0,83 | 5,24 |
| 507 | 0,21 | 66 | 3,43 | 86 | 28 | 17,5 | 208 | 0,69 | 5,20 |
| 511 | 0,23 | 69 | 3,70 | 81 | 45 | 15,9 | 140 | 0,84 | 4,73 |
| 524 | 0,24 | 63 | 3,77 | 136 | 52 | 57,3 | 241 | 0,84 | 6,14 |
| 525 | 0,24 | 63 | 4,75 | 139 | 54 | 48,0 | 239 | 0,81 | 5,69 |
| 526 | 0,27 | 67 | 4,34 | 102 | 51 | 30,1 | 174 | 0,69 | 4,77 |
| 527 | 0,24 | 63 | 2,74 | 56 | 31 | 16,3 | 214 | 0,89 | 5,05 |
| Mittelwert | 0,23 | 66 | 3,44 | 81 | 41 | 22,6 | 195 | 0,74 | 4,95 |
| SD | 0,03 | 2 | 1,14 | 28 | 10 | 13,5 | 30 | 0,13 | 0,73 |

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin (μmol/l); AST:Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren (μmol/l); B-HBS: β-Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

Tabelle A 20: Probe 2 Versuchsabschnitt 6 (Versuchsende; Rapskuchen + Rapsextraktionsschrot)

| Kuh | Triglyc. | Gs. Ew. | GB | AST | GGT | GLDH | FRFS | β-HBS | HST |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 300 | 0,20 | 70 | 4,07 | 97 | 45 | 24,0 | 141 | n.b. | n.b. |
| 320 | 0,33 | 68 | 2,48 | 83 | 41 | 17,0 | 149 | 0,73 | 4,13 |
| 326 | 0,22 | 71 | 2,38 | 61 | 34 | 14,4 | 147 | 0,79 | 4,94 |
| 341 | 0,23 | 64 | 5,63 | 60 | 32 | 20,8 | 124 | 0,75 | 4,13 |
| 400 | 0,20 | 70 | 3,89 | 71 | 32 | 11,3 | 283 | 0,83 | 4,57 |
| 408 | 0,21 | 68 | 3,15 | 81 | 32 | 14,9 | 157 | 0,96 | 4,37 |
| 411 | 0,34 | 69 | 2,73 | 78 | 36 | 18,1 | 173 | 0,68 | 4,33 |
| 415 | 0,27 | 68 | 3,48 | 98 | 32 | 23,3 | 216 | 0,61 | 4,24 |
| 425 | 0,17 | 67 | 3,58 | 83 | 39 | 12,5 | 179 | 0,78 | 4,48 |
| 507 | 0,25 | 67 | 4,20 | 78 | 26 | 9,6 | 174 | 1,03 | 5,13 |
| 511 | 0,12 | 68 | 4,92 | 63 | 26 | 3,1 | 294 | 0,47 | 2,79 |
| 524 | 0,22 | 62 | 6,30 | 149 | 46 | 68,3 | 216 | 0,82 | 5,33 |
| 525 | 0,21 | 62 | 4,97 | 146 | 47 | 68,8 | 213 | 0,76 | 5,11 |
| 526 | 0,16 | 73 | 5,33 | 89 | 29 | 41,5 | 133 | 0,48 | 4,72 |
| 527 | 0,22 | 64 | 3,71 | 67 | 30 | 21,8 | 160 | 0,75 | 4,54 |
| Mittelwert | 0,22 | 67 | 4,05 | 87 | 35 | 24,6 | 184 | 0,75 | 4,49 |
| SD | 0,06 | 3 | 1,17 | 27 | 7 | 19,8 | 51 | 0,16 | 0,62 |

n.b.: nicht bestimmt

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin (μmol/l); AST: Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren (μmol/l); B-HBS: β-Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

Tabelle A 21: Probe 1 Versuchsabschnitt 7 (Versuchsbeginn; Kontrolle)

| Kuh | Triglyc. | Gs. Ew. | GB | AST | GGT | GLDH | FRFS | β-HBS | HST |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 301 | 0,07 | 73 | 2,40 | 66 | 31 | 14,1 | 280 | 0,79 | 5,48 |
| 304 | 0,07 | 78 | 2,45 | 82 | 34 | 22,1 | 226 | 0,75 | 4,61 |
| 344 | 0,07 | 73 | 3,09 | 72 | 21 | 9,4 | 501 | 0,90 | 4,77 |
| 408 | 0,07 | 70 | 3,29 | 69 | 44 | 16,1 | 192 | 0,90 | 4,76 |
| 409 | 0,04 | 70 | 5,58 | 75 | 40 | 34,9 | 176 | 0,45 | 5,18 |
| 411 | 0,07 | 68 | 2,80 | 74 | 37 | 17,1 | 271 | 0,61 | 4,21 |
| 412 | 0,05 | 72 | 3,45 | 67 | 41 | 18,1 | 251 | 0,84 | 4,38 |
| 413 | 0,07 | 72 | 2,60 | 62 | 24 | 10,7 | 245 | 0,89 | 4,10 |
| 415 | 0,07 | 69 | 3,13 | 70 | 29 | 15,6 | 216 | 0,53 | 3,65 |
| 517 | 0,05 | 66 | 2,97 | 76 | 28 | 14,1 | 357 | 1,32 | 5,64 |
| 526 | 0,08 | 69 | 2,71 | 111 | 61 | 26,4 | 171 | 0,61 | 4,81 |
| 527 | 0,08 | 65 | 2,27 | 63 | 27 | 21,8 | 270 | 0,88 | 5,44 |
| 535 | 0,05 | 66 | 3,90 | 102 | 40 | 46,7 | 176 | 0,88 | 5,25 |
| Mittelwert | 0,06 | 70 | 3,13 | 76 | 35 | 20,5 | 256 | 0,80 | 4,79 |
| SD | 0,01 | 4 | 0,87 | 15 | 11 | 10,4 | 90 | 0,22 | 0,60 |

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin (μmol/l); AST:Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren (μmol/l); B-HBS: β-Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

Tabelle A 22: Probe 2 Versuchsabschnitt 7 (Versuchsende; Kontrolle)

| Kuh | Triglyc. | Gs. Ew. | GB | AST | GGT | GLDH | FRFS | β-HBS | HST |
|-------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 301 | 0,07 | 77 | 4,50 | 93 | 42 | 21,3 | 202 | 0,63 | 3,97 |
| 304 | 0,07 | 77 | 3,48 | 87 | 31 | 20,5 | 180 | 0,65 | 3,09 |
| 344 | 0,05 | 76 | 4,51 | 66 | 25 | 7,1 | 229 | 0,76 | 3,97 |
| 408 | 0,09 | 71 | 2,36 | 87 | 31 | 14,5 | 152 | 0,80 | 4,06 |
| 409 | 0,12 | 72 | 2,76 | 81 | 48 | 27,8 | 115 | 0,62 | 3,95 |
| 411 | 0,07 | 73 | 3,47 | 62 | 29 | 14,5 | 152 | 0,68 | 5,04 |
| 412 | 0,06 | 72 | 3,00 | 89 | 35 | 21,2 | 138 | 0,84 | 4,38 |
| 413 | 0,09 | 69 | 2,33 | 65 | 25 | 14,2 | 129 | 0,92 | 4,94 |
| 415 | 0,06 | 71 | 3,79 | 103 | 52 | 36,8 | 140 | 0,72 | 5,31 |
| 517 | 0,02 | 71 | 4,78 | 80 | 25 | 11,2 | 149 | 0,94 | 5,50 |
| 526 | 0,09 | 67 | 4,40 | 87 | 28 | 21,3 | 147 | 0,76 | 4,70 |
| 527 | 0,06 | 64 | 7,65 | 76 | 28 | 27,0 | 135 | 0,81 | 4,53 |
| 535 | 0,06 | 67 | 2,91 | 123 | 41 | 52,5 | 189 | 0,92 | 5,17 |
| Mittelwert | 0,07 | 71 | 3,84 | 85 | 34 | 22,3 | 158 | 0,77 | 4,51 |
| SD | 0,02 | 4 | 1,42 | 17 | 9 | 12,0 | 32 | 0,11 | 0,69 |

Triglyc: Triglyceride (mmol/l); GsEw: Gesamteiweiß (g/l); GB: Gesamtbilirubin (μmol/l); AST:Aspartat-Aminotransferase (U/l); GGT: Gamma-Glutamyltransferase (U/l); GLDH: Glutamat-Dehydrogenase (U/l); FRFS: Freie Fettsäuren (μmol/l); B-HBS: β-Hydroxybutyrat (mmol/l); HAST: Harnstoff (mmol/l); SD: standard deviation

Tabelle A 23: Konzentration des Jods in der Milch bezogen auf das Lyophilisat (Lyo) und die Frischsubstanz, Tagesmilchmenge pro Kuh und Gesamtmenge Jod in der Tagesmilch; (Versuchsabschnitt I: Kontrolle)

| Probennr. | Jod in Lyo (µg/kg) | Lyo (g/g Frischsubstanz) | Jod (µg/kg Milch) | Milch (kg/Tag) | Gesamtjod in der Milch (mg) |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------|--|
| 129 I | 2100 | 0,14 | 293,6 | 33,0 | 9,7 |
| 300 I | 908 | 0,14 | 131,1 | 29,0 | 3,8 |
| 320 I | 992 | 0,12 | 122,8 | 36,0 | 4,4 |
| 324 I | 2159 | 0,15 | 325,4 | 27,8 | 9,0 |
| 326 I | 2192 | 0,13 | 292,0 | 45,8 | 13,4 |
| 341 I | 1045 | 0,14 | 141,3 | 38,4 | 5,4 |
| 400 I | 712 | 0,13 | 89,3 | 25,2 | 2,3 |
| 404 I | 2658 | 0,15 | 398,2 | 28,6 | 11,4 |
| 408 I | 1216 | 0,13 | 164,0 | 34,0 | 5,6 |
| 411 I | 948 | 0,13 | 121,5 | 37,8 | 4,6 |
| 415 I | 1712 | 0,14 | 244,5 | 35,2 | 8,6 |
| 425 I | 896 | 0,13 | 113,3 | 38,6 | 4,4 |
| 507 I | 1076 | 0,13 | 144,6 | 26,4 | 3,8 |
| 511 I | 832 | 0,14 | 112,6 | 25,8 | 2,9 |
| 516 I | 1108 | 0,13 | 144,4 | 28,2 | 4,1 |
| 524 I | 1030 | 0,14 | 142,4 | 27,6 | 3,9 |
| 525 I | 988 | 0,14 | 137,0 | 28,4 | 3,9 |
| 526 I | 1600 | 0,14 | 221,2 | 27,2 | 6,0 |
| 527 I | 2488 | 0,13 | 335,5 | 27,4 | 9,2 |
| 2208 I | 553 | 0,13 | 73,6 | 33,0 | 2,4 |
| 2331 I | 612 | 0,13 | 79,2 | 34,4 | 2,7 |
| Mittelwert | 1325 | 0,14 | 182,3 | 31,8 | 5,8 |
| SD | 638 | 0,01 | 94,7 | 5,4 | 3,2 |

Tabelle A 24: Konzentration des Jods in der Milch bezogen auf das Lyophilisat (Lyo) und die Frischsubstanz, Tagesmilchmenge pro Kuh und Gesamtmenge Jod in der Tagesmilch; (Versuchsabschnitt II: Rapskuchen)

| Probennr. | Jod in Lyo ($\mu\text{g}/\text{kg}$) | Lyo (g/g Frischsubstanz) | Jod ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Milch) | Milch (kg/Tag) | Gesamtjod in Milch (mg) |
|-------------------|---|-----------------------------|---|-------------------|----------------------------|
| 129 II | 696 | 0,13 | 87,32 | 33,0 | 2,9 |
| 300 II | 544 | 0,13 | 72,94 | 30,4 | 2,2 |
| 320 II | 277 | 0,13 | 36,96 | 35,2 | 1,3 |
| 324 II | 262 | 0,15 | 39,51 | 25,2 | 1,0 |
| 326 II | 358 | 0,14 | 49,46 | 47,0 | 2,3 |
| 341 II | 600 | 0,13 | 76,56 | 31,0 | 2,4 |
| 400 II | 512 | 0,11 | 58,26 | 42,2 | 2,5 |
| 404 II | 922 | 0,14 | 130,32 | 26,6 | 3,5 |
| 408 II | 291 | 0,13 | 37,74 | 28,2 | 1,1 |
| 411 II | 373 | 0,12 | 46,52 | 34,8 | 1,6 |
| 415 II | 246 | 0,13 | 31,50 | 37,0 | 1,2 |
| 425 II | 394 | 0,13 | 49,98 | 45,8 | 2,3 |
| 507 II | 277 | 0,13 | 36,06 | 23,2 | 0,8 |
| 511 II | 629 | 0,14 | 85,01 | 24,8 | 2,1 |
| 516 II | 692 | 0,13 | 89,00 | 24,6 | 2,2 |
| 524 II | 178 | 0,14 | 24,44 | 27,6 | 0,7 |
| 525 II | 552 | 0,14 | 76,12 | 27,2 | 2,1 |
| 526 II | 323 | 0,14 | 43,68 | 24,0 | 1,0 |
| 527 II | 366 | 0,13 | 46,49 | 25,6 | 1,2 |
| 2208 II | 472 | 0,13 | 59,81 | 38,4 | 2,3 |
| 2331 II | 960 | 0,13 | 121,91 | 15,0 | 1,8 |
| Mittelwert | 473 | 0,13 | 61,89 | 30,80 | 1,83 |
| SD | 218 | 0,01 | 28,77 | 8,03 | 0,74 |

Tabelle A 25: Gehalt des Blutserums an Jod insgesamt und an Schilddrüsenhormonen, sowie die auf die Schilddrüsenhormone entfallenen Jodanteile (Versuchsabschnitt I, Kontrolle)

| Probennr. | Gesamtjod [µg/l] | T4 [nmol/l] | T3 [nmol/l] | T4 Jod [µg/l] | T3 Jod[µg/l] | T4 + T3 Jod [µg/l] | T4+T3 Jod [%] |
|-------------------|---------------------|-------------|-------------|---------------|--------------|-----------------------|------------------|
| 129/I | 66,2 | 62,5 | 1,2 | 31,8 | 0,47 | 32,23 | 48,69 |
| 300/I | 96,8 | 133,7 | 1,0 | 67,9 | 0,38 | 68,27 | 70,55 |
| 320/I | 77,1 | 113,6 | 1,5 | 57,7 | 0,56 | 58,24 | 75,59 |
| 324/I | 76,0 | 46,8 | 1,4 | 23,7 | 0,53 | 24,28 | 31,96 |
| 326/I | 63,6 | 46,3 | 1,6 | 23,5 | 0,63 | 24,15 | 37,97 |
| 341/I | 88,6 | 132,1 | 0,9 | 67,1 | 0,36 | 67,44 | 76,11 |
| 400/I | 61,6 | 76,7 | 0,9 | 39,0 | 0,34 | 39,31 | 63,78 |
| 404/I | 76,1 | 50,2 | 0,8 | 25,5 | 0,32 | 25,82 | 33,95 |
| 408/I | 77,7 | 63,8 | 1,1 | 32,4 | 0,41 | 32,84 | 42,24 |
| 411/I | 66,1 | 40,9 | 1,1 | 20,8 | 0,43 | 21,22 | 32,12 |
| 415/I | 89,1 | 73,6 | 1,5 | 37,4 | 0,56 | 37,92 | 42,57 |
| 425/I | 63,4 | 38,2 | 0,8 | 19,4 | 0,31 | 19,73 | 31,12 |
| 507/I | 91,2 | 75,8 | 1,7 | 38,5 | 0,66 | 39,18 | 42,96 |
| 511/I | 92,8 | 98,3 | 1,5 | 49,9 | 0,59 | 50,51 | 54,41 |
| 516/I | 77,3 | 163,7 | 1,7 | 83,1 | 0,67 | 83,80 | 108,48 |
| 524/I | 72,0 | 68,3 | 1,2 | 34,7 | 0,45 | 35,16 | 48,85 |
| 525/I | 85,3 | 111,5 | 1,3 | 56,6 | 0,48 | 57,12 | 66,97 |
| 526/I | 91,5 | 105,2 | 1,3 | 53,4 | 0,48 | 53,91 | 58,92 |
| 527/I | 77,2 | 52,7 | 1,4 | 26,8 | 0,52 | 27,28 | 35,32 |
| 2208/I | 71,8 | 49,9 | 1,3 | 25,3 | 0,48 | 25,81 | 35,92 |
| 2331/I | kein Serum | kein Serum | kein Serum | kein Serum | kein Serum | kein Serum | kein Serum |
| Mittelwert | 78,1 | 80,2 | 1,3 | 40,7 | 0,48 | 41,21 | 51,92 |
| SD | 10,9 | 35,9 | 0,3 | 18,2 | 0,11 | 18,26 | 20,09 |

Tabelle A 26: Gehalt des Blutserums an Jod insgesamt und an Schilddrüsenhormonen, sowie die auf die Schilddrüsenhormone entfallenen Jodanteile (Versuchsabschnitt II, Rapskuchen)

| Probenr. | Gesamtjod [µg/l] | T4 [nmol/l] | T3 [nmol/l] | T4 Jod [µg/l] | T3 Jod [µg/l] | T4 + T3 Jod [µg/l] | T4 + T3 Jod [%] |
|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| 129/II | 116,4 | 121,9 | 1,3 | 61,9 | 0,48 | 62,38 | 53,61 |
| 300/II | 121,4 | 111,8 | 1,0 | 56,8 | 0,40 | 57,19 | 47,09 |
| 320/II | 120,5 | 35,3 | 1,0 | 17,9 | 0,37 | 18,30 | 15,18 |
| 324/II | 105,6 | 101,1 | 1,4 | 51,4 | 0,53 | 51,89 | 49,14 |
| 326/II | 124,7 | 34,0 | 1,6 | 17,3 | 0,59 | 17,88 | 14,34 |
| 341/II | 122,7 | 125,4 | 1,2 | 63,7 | 0,46 | 64,17 | 52,28 |
| 400/II | 118,8 | 145,2 | 1,0 | 73,8 | 0,36 | 74,13 | 62,39 |
| 404/II | 116,9 | 25,1 | 1,1 | 12,8 | 0,43 | 13,19 | 11,28 |
| 408/II | 113,0 | 151,3 | 1,1 | 76,9 | 0,43 | 77,30 | 68,43 |
| 411/II | 99,5 | 53,5 | 0,9 | 27,2 | 0,35 | 27,52 | 27,65 |
| 415/II | 203,1 | 111,5 | 1,1 | 56,6 | 0,41 | 57,05 | 28,09 |
| 425/II | kein Serum | kein Serum | kein Serum | kein Serum | kein Serum | kein Serum | kein Serum |
| 507/II | 110,2 | 127,6 | 1,2 | 64,8 | 0,47 | 65,27 | 59,24 |
| 511/II | 144,3 | 158,4 | 1,5 | 80,5 | 0,56 | 81,02 | 56,16 |
| 516/II | kein Serum | kein Serum | kein Serum | kein Serum | kein Serum | kein Serum | kein Serum |
| 524/II | 130,3 | 122,3 | 1,3 | 62,1 | 0,48 | 62,59 | 48,02 |
| 525/II | 148,4 | 97,5 | 1,2 | 49,6 | 0,45 | 50,00 | 33,69 |
| 526/II | 149,5 | 71,5 | 1,6 | 36,3 | 0,62 | 36,94 | 24,72 |
| 527/II | 146,6 | 109,7 | 1,4 | 55,7 | 0,52 | 56,23 | 38,36 |
| Mittelwert | 128,9 | 100,2 | 1,2 | 50,9 | 0,47 | 51,36 | 40,57 |
| SD | 24,3 | 41,8 | 0,2 | 21,2 | 0,08 | 21,24 | 17,92 |

Anhang

Tabelle A 27: Fettsäuremuster der analysierten Milchfettproben, bezogen auf 100 % der analysierten Fettsäuren im Milchfett (Versuchsabschnitt 1)

| KW | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kuh | 129 | 129 | 300 | 300 | 320 | 320 | 324 | 324 | 326 | 326 |
| interne Nr. | 1a | 1b | 2a | 2b | 3a | 3b | 4a | 4b | 5a | 5b |
| C4:0 | 5,59 | 6,28 | 5,96 | 5,87 | 4,71 | 4,69 | 5,97 | 5,77 | 5,34 | 5,58 |
| C6:0 | 2,37 | 2,35 | 2,79 | 2,68 | 2,13 | 2,12 | 2,68 | 2,54 | 2,31 | 2,48 |
| C8:0 | 1,17 | 1,05 | 1,53 | 1,45 | 1,29 | 1,31 | 1,43 | 1,35 | 1,17 | 1,29 |
| C10:0 | 3,00 | 2,92 | 3,65 | 3,57 | 4,03 | 4,00 | 4,03 | 3,88 | 3,22 | 3,38 |
| C11:0 | u.B. | u.B. | 0,04 | u.B. | 0,14 | 0,14 | 0,12 | u.B. | u.B. | 0,10 |
| C12:0 | 3,78 | 3,67 | 4,23 | 4,16 | 5,31 | 5,29 | 5,03 | 4,99 | 3,84 | 3,97 |
| C13:0 | 0,13 | 0,13 | 0,11 | 0,10 | 0,22 | 0,22 | 0,14 | 0,13 | 0,16 | 0,17 |
| C14:0 | 11,98 | 11,77 | 13,25 | 13,21 | 15,03 | 14,89 | 12,14 | 12,20 | 12,72 | 12,81 |
| C14:1 | 2,02 | 1,94 | 1,83 | 1,81 | 2,39 | 2,36 | 1,54 | 1,54 | 1,72 | 1,75 |
| C15:0 | 1,57 | 1,53 | 1,14 | 1,13 | 1,75 | 1,75 | 1,30 | 1,33 | 1,49 | 1,51 |
| C16:0 | 36,42 | 36,43 | 31,75 | 31,93 | 30,28 | 30,25 | 35,28 | 35,73 | 32,20 | 31,75 |
| C16:1 | 2,35 | 2,30 | 1,57 | 1,63 | 1,90 | 1,97 | 42,49 | 2,52 | 2,31 | 2,31 |
| C17:0 | 0,82 | 0,77 | 0,80 | 0,79 | 0,79 | 0,80 | 0,73 | 0,73 | 0,80 | 0,80 |
| C18:0 | 7,20 | 7,28 | 9,60 | 9,71 | 7,32 | 7,37 | 7,50 | 7,55 | 7,91 | 7,75 |
| C18:1 t6 | u.B. | u.B. | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,04 |
| C18:1 t9 | 0,37 | 0,34 | 0,35 | 0,36 | 0,32 | 0,39 | 0,25 | 0,25 | 0,31 | 0,31 |
| C18:1 t11+c6+c7 | 1,16 | 1,18 | 1,19 | 1,19 | 2,35 | 2,23 | 0,82 | 0,83 | 1,13 | 1,12 |
| C18:1 c9 | 16,22 | 16,38 | 16,48 | 16,65 | 15,25 | 15,38 | 15,05 | 15,15 | 18,81 | 18,46 |
| C18:1 c11 | 0,64 | 0,47 | 0,36 | 0,41 | 0,72 | 0,77 | 0,47 | 0,45 | 1,03 | 1,02 |
| C18:1 c12 | 0,27 | 0,25 | 0,30 | 0,31 | 0,33 | 0,34 | 0,23 | 0,23 | 0,25 | 0,27 |
| C18:2 t9,12 | 0,28 | 0,27 | 0,28 | 0,31 | 0,34 | 0,35 | 0,25 | 0,25 | 0,26 | 0,25 |
| C18:2 c9,12 | 1,67 | 1,72 | 1,72 | 1,68 | 2,13 | 2,13 | 1,73 | 1,71 | 2,03 | 1,99 |
| C18:3 c6,9,12 | u.B. | u.B. | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | u.B. | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| C20:0 | 0,09 | 0,10 | 0,13 | 0,13 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,09 |
| C18:3 c9,12,15 | 0,36 | 0,36 | 0,41 | 0,40 | 0,39 | 0,39 | 0,36 | 0,36 | 0,35 | 0,34 |
| C20:1 c11 | 0,03 | u.B. | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | u.B. | u.B. | 0,04 | 0,03 |
| C18:2 c9,t11 | 0,51 | 0,50 | 0,39 | 0,39 | 0,63 | 0,63 | 0,33 | 0,33 | 0,42 | 0,41 |

u.B.: unter Bestimmungsgrenze

Anhang

Fortsetzung Tabelle A 27

| KW | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kuh | 341 | 341 | 400 | 400 | 404 | 404 | 408 | 408 | 411 | 411 |
| Interne Nr. | 6a | 6b | 7a | 7b | 8a | 8b | 9a | 9b | 10a | 10b |
| C4:0 | 6,04 | 6,15 | 5,28 | 5,45 | 5,79 | 5,90 | 5,85 | 5,76 | 5,79 | 5,86 |
| C6:0 | 2,54 | 2,69 | 2,43 | 2,29 | 2,56 | 2,66 | 2,78 | 2,71 | 2,39 | 2,54 |
| C8:0 | 1,27 | 1,37 | 1,33 | 1,14 | 1,32 | 1,38 | 1,54 | 1,52 | 1,20 | 1,30 |
| C10:0 | 3,20 | 3,28 | 3,40 | 3,26 | 3,68 | 3,79 | 3,88 | 3,86 | 3,38 | 3,53 |
| C11:0 | u.B. | u.B. | 0,15 | 0,13 | 0,11 | 0,12 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,08 |
| C12:0 | 3,70 | 3,73 | 3,75 | 3,68 | 4,48 | 4,55 | 4,56 | 4,53 | 4,13 | 4,21 |
| C13:0 | 0,10 | 0,10 | 0,22 | 0,21 | 0,17 | 0,18 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,14 |
| C14:0 | 11,29 | 11,25 | 11,23 | 11,22 | 12,84 | 12,94 | 12,42 | 13,41 | 13,01 | 13,12 |
| C14:1 | 1,67 | 1,67 | 1,26 | 1,24 | 1,33 | 1,34 | 1,66 | 1,66 | 1,33 | 1,35 |
| C15:0 | 1,04 | 1,07 | 1,52 | 1,51 | 1,55 | 1,56 | 1,16 | 1,17 | 1,33 | 1,33 |
| C16:0 | 31,10 | 30,85 | 25,50 | 25,85 | 36,35 | 36,14 | 32,91 | 32,97 | 37,57 | 37,22 |
| C16:1 | 2,47 | 2,47 | 2,20 | 2,22 | 2,68 | 2,67 | 1,83 | 1,84 | 1,91 | 1,92 |
| C17:0 | 0,76 | 0,75 | 1,03 | 0,98 | 0,72 | 0,71 | 0,76 | 0,76 | 0,75 | 0,77 |
| C17:1 | u.B. | u.B. | 0,05 | u.B. | u.B. | u.B. | 0,05 | 0,05 | u.B. | u.B. |
| C18:0 | 9,22 | 9,17 | 7,68 | 7,83 | 8,31 | 8,22 | 9,30 | 9,34 | 7,94 | 7,84 |
| C18:1 t6 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | u.b. | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| C18:1 t9 | 0,24 | 0,25 | 0,48 | 0,50 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,23 | 0,21 | 0,22 |
| C18:1 t11+c6+c7 | 0,91 | 0,89 | 5,46 | 5,49 | 0,87 | 0,86 | 0,92 | 0,91 | 0,90 | 0,90 |
| C18:1 c9 | 20,63 | 20,47 | 20,28 | 20,62 | 13,66 | 13,48 | 15,51 | 15,57 | 14,33 | 14,11 |
| C18:1 c11 | 0,65 | 0,66 | 1,41 | 1,18 | 0,27 | 0,25 | 0,45 | 0,43 | 0,39 | 0,43 |
| C18:1 c12 | 0,21 | 0,21 | 0,54 | 0,55 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,25 | 0,24 |
| C18:2 t9,12 | 0,20 | 0,21 | 0,51 | 0,49 | 0,25 | 0,24 | 0,21 | 0,21 | 0,22 | 0,22 |
| C18:2 c9,12 | 1,81 | 1,82 | 2,67 | 2,71 | 1,77 | 1,74 | 1,71 | 1,74 | 1,88 | 1,84 |
| C18:3 c6,9,12 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | u.B. | u.B. | u.B. | u.B. | 0,04 | u.B. | u.B. |
| C20:0 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,11 |
| C18:3 c9,12,15 | 0,38 | 0,39 | 0,53 | 0,52 | 0,39 | 0,39 | 0,39 | 0,39 | 0,40 | 0,39 |
| C20:1 c11 | 0,06 | 0,06 | 0,10 | 0,07 | u.B. | u.B. | 0,03 | 0,03 | u.B. | u.B. |
| C18:2 c9,t11 | 0,32 | 0,32 | 0,77 | 0,74 | 0,31 | 0,30 | 0,31 | 0,30 | 0,32 | 0,33 |

Anhang

Fortsetzung Tabelle A 27

| KW | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kuh | 415 | 415 | 425 | 425 | 507 | 507 | 511 | 511 | 516 | 516 |
| Interne Nr. | 11a | 11b | 12a | 12b | 13a | 13b | 14a | 14b | 15a | 15b |
| C4:0 | 5,28 | 5,35 | 6,21 | 6,15 | 5,94 | 6,02 | 4,99 | 5,32 | 5,16 | 4,58 |
| C6:0 | 2,14 | 2,37 | 2,40 | 2,45 | 2,66 | 2,65 | 2,11 | 2,11 | 1,92 | 1,93 |
| C8:0 | 1,04 | 1,21 | 1,15 | 1,16 | 1,45 | 1,40 | 1,08 | 1,04 | 1,02 | 1,03 |
| C10:0 | 2,93 | 3,07 | 2,70 | 2,76 | 3,54 | 3,54 | 2,73 | 2,67 | 2,70 | 2,70 |
| C11:0 | 0,11 | 0,13 | u.B. | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,04 | u.B. | 0,16 | 0,16 |
| C12:0 | 3,74 | 3,84 | 3,03 | 3,08 | 4,23 | 4,23 | 3,36 | 3,33 | 3,57 | 3,56 |
| C13:0 | 0,18 | 0,19 | 0,08 | 0,09 | 0,14 | 0,13 | 0,09 | 0,09 | 0,25 | 0,25 |
| C14:0 | 11,97 | 12,04 | 11,66 | 11,76 | 13,26 | 13,27 | 12,07 | 11,98 | 12,01 | 12,03 |
| C14:1 | 1,89 | 1,94 | 1,09 | 1,10 | 1,57 | 1,56 | 1,75 | 1,72 | 2,56 | 2,57 |
| C15:0 | 1,88 | 1,90 | 0,97 | 0,99 | 1,28 | 1,27 | 1,11 | 1,09 | 2,47 | 2,47 |
| C16:0 | 37,00 | 37,37 | 32,43 | 32,39 | 32,40 | 32,47 | 34,88 | 34,95 | 37,35 | 37,46 |
| C16:1 | 3,21 | 3,21 | 1,94 | 1,94 | 1,80 | 1,79 | 2,61 | 2,60 | 3,30 | 3,35 |
| C17:0 | 0,86 | 0,89 | 0,79 | 0,79 | 0,73 | 0,70 | 0,80 | 0,76 | 1,00 | 1,02 |
| C17:1 | u.B. | u.B. | 0,05 | 0,04 | 0,03 | u.B. | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,04 |
| C18:0 | 7,11 | 6,95 | 11,09 | 10,99 | 8,41 | 8,42 | 7,47 | 7,49 | 5,53 | 5,57 |
| C18:1 t6 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,02 |
| C18:1 t9 | 0,23 | 0,23 | 0,25 | 0,25 | 0,30 | 0,28 | 0,24 | 0,24 | 0,27 | 0,30 |
| C18:1 t11+c6+c7 | 0,94 | 0,91 | 1,07 | 1,05 | 0,96 | 1,01 | 0,86 | 0,90 | 1,60 | 1,60 |
| C18:1 c9 | 15,42 | 15,06 | 18,89 | 18,71 | 17,05 | 17,05 | 19,51 | 19,50 | 14,92 | 15,07 |
| C18:1 c11 | 0,53 | 0,65 | 0,61 | 0,65 | 0,43 | 0,40 | 0,52 | 0,48 | 0,63 | 0,71 |
| C18:1 c12 | 0,24 | 0,21 | 0,28 | 0,27 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,26 | 0,23 | 0,26 |
| C18:2 t9,12 | 0,29 | 0,27 | 0,24 | 0,24 | 0,32 | 0,32 | 0,34 | 0,29 | 0,35 | 0,37 |
| C18:2 c9,12 | 1,36 | 1,32 | 2,13 | 2,13 | 2,04 | 2,02 | 1,98 | 1,98 | 1,96 | 1,96 |
| C18:3 c6,9,12 | u.B. | 0,03 | u.B. | u.B. | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| C20:0 | 0,11 | 0,10 | 0,13 | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,10 | 0,11 | 0,08 | 0,08 |
| C18:3 c9,12,15 | 0,31 | 0,30 | 0,42 | 0,42 | 0,45 | 0,46 | 0,46 | 0,46 | 0,34 | 0,35 |
| C20:1 c11 | u.B. | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| C18:2 c9,t11 | 0,39 | 0,40 | 0,32 | 0,32 | 0,43 | 0,42 | 0,47 | 0,47 | 0,52 | 0,52 |

Anhang

Fortsetzung Tabelle A 27

| KW | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 | 41/07 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kuh | 524 | 524 | 525 | 525 | 526 | 526 | 527 | 527 | 2208 | 2208 |
| Interne Nr. | 16a | 16b | 17a | 17b | 18a | 18b | 19a | 19b | 20a | 20b |
| C4:0 | 5,59 | 5,60 | 5,11 | 5,14 | 4,75 | 4,78 | 5,93 | 5,88 | 5,65 | 5,64 |
| C6:0 | 2,64 | 2,40 | 2,42 | 2,48 | 2,31 | 2,18 | 2,61 | 2,47 | 2,64 | 2,47 |
| C8:0 | 1,42 | 1,23 | 1,37 | 1,36 | 1,29 | 1,16 | 1,36 | 1,28 | 1,47 | 1,37 |
| C10:0 | 3,38 | 3,24 | 3,68 | 3,60 | 3,40 | 3,41 | 3,35 | 3,23 | 3,75 | 3,67 |
| C11:0 | 0,10 | 0,11 | 0,22 | 0,22 | 0,16 | 0,16 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,08 |
| C12:0 | 4,13 | 4,01 | 4,65 | 4,58 | 4,18 | 4,19 | 4,02 | 3,92 | 4,40 | 4,35 |
| C13:0 | 0,16 | 0,15 | 0,30 | 0,30 | 0,23 | 0,22 | 0,13 | 0,13 | 0,15 | 0,15 |
| C14:0 | 12,19 | 12,10 | 12,41 | 12,31 | 11,46 | 11,53 | 12,48 | 12,34 | 12,53 | 12,58 |
| C14:1 | 1,73 | 1,68 | 1,94 | 1,93 | 1,52 | 1,51 | 1,53 | 1,49 | 1,81 | 1,81 |
| C15:0 | 1,44 | 1,43 | 2,26 | 2,26 | 1,79 | 1,79 | 1,33 | 1,32 | 1,44 | 1,44 |
| C16:0 | 35,11 | 35,55 | 34,53 | 34,49 | 31,33 | 31,49 | 36,89 | 37,10 | 32,31 | 32,55 |
| C16:1 | 1,76 | 1,76 | 2,04 | 2,05 | 1,70 | 1,68 | 1,66 | 1,64 | 2,19 | 2,16 |
| C17:0 | 0,81 | 0,77 | 0,97 | 0,99 | 0,96 | 0,96 | 0,73 | 0,74 | 0,84 | 0,82 |
| C17:1 | 0,03 | u.B. | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | u.B. |
| C18:0 | 8,77 | 8,95 | 7,66 | 7,71 | 10,71 | 10,73 | 8,49 | 8,62 | 9,47 | 9,51 |
| C18:1 t6 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| C18:1 t9 | 0,24 | 0,23 | 0,25 | 0,25 | 0,35 | 0,34 | 0,21 | 0,22 | 0,25 | 0,24 |
| C18:1 t11+c6+c7 | 0,86 | 0,88 | 1,10 | 1,13 | 1,54 | 1,56 | 0,85 | 0,86 | 0,96 | 0,96 |
| C18:1 c9 | 16,00 | 16,34 | 15,40 | 15,50 | 17,42 | 17,46 | 14,83 | 15,06 | 16,72 | 16,81 |
| C18:1 c11 | 0,44 | 0,40 | 0,61 | 0,61 | 0,64 | 0,66 | 0,42 | 0,40 | u.B. | 0,63 |
| C18:1 c12 | 0,24 | 0,23 | 0,25 | 0,25 | 0,32 | 0,32 | 0,24 | 0,23 | 0,65 | 0,22 |
| C18:2 t9,12 | 0,23 | 0,23 | 0,27 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,20 | 0,21 | 0,24 | 0,19 |
| C18:2 c9,12 | 1,78 | 1,80 | 1,61 | 1,64 | 2,39 | 2,38 | 1,76 | 1,77 | 1,54 | u.B. |
| C18:3 c6,9,12 | 0,03 | u.B. | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | u.B. | 0,03 | 0,12 |
| C20:0 | 0,12 | 0,13 | 0,11 | 0,11 | 0,15 | 0,15 | 0,11 | 0,11 | 0,13 | 0,36 |
| C18:3 c9,12,15 | 0,42 | 0,43 | 0,32 | 0,32 | 0,43 | 0,43 | 0,36 | 0,37 | 0,36 | u.B. |
| C20:1 c11 | 0,02 | u.B. | u.B. | u.B. | 0,03 | u.B. | 0,02 | 0,10 | 0,03 | 0,31 |
| C18:2 c9,t11 | 0,33 | 0,32 | 0,40 | 0,41 | 0,52 | 0,52 | 0,32 | 0,34 | 0,31 | u.B. |

Fortsetzung Tabelle A 27

| KW | 41/07 | 41/07 |
|-----------------|-------|-------|
| Kuh | 2331 | 2331 |
| Interne Nr. | 21a | 21b |
| C4:0 | 5,49 | 5,54 |
| C6:0 | 2,51 | 2,62 |
| C8:0 | 1,47 | 1,55 |
| C10:0 | 4,20 | 4,32 |
| C11:0 | 0,09 | 0,09 |
| C12:0 | 5,23 | 5,31 |
| C13:0 | 0,14 | 0,15 |
| C14:0 | 14,29 | 14,36 |
| C14:1 | 1,69 | 1,71 |
| C15:0 | 1,28 | 1,28 |
| C16:0 | 31,88 | 31,60 |
| C16:1 | 1,58 | 1,57 |
| C17:0 | 0,74 | 0,75 |
| C17:1 | 0,04 | 0,03 |
| C18:0 | 9,43 | 9,31 |
| C18:1 t6 | 0,03 | 0,03 |
| C18:1 t9 | 0,26 | 0,26 |
| C18:1 t11+c6+c7 | 1,09 | 1,07 |
| C18:1 c9 | 15,04 | 14,88 |
| C18:1 c11 | 0,36 | 0,39 |
| C18:1 c12 | 0,27 | 0,27 |
| C18:2 t9,12 | 0,20 | 0,18 |
| C18:2 c9,12 | 1,80 | 1,80 |
| C18:3 c6,9,12 | 0,05 | 0,04 |
| C20:0 | 0,13 | 0,13 |
| C18:3 c9,12,15 | 0,40 | 0,40 |
| C20:1 c11 | u.B. | 0,02 |
| C18:2 c9,t11 | 0,34 | 0,34 |

Anhang

Tabelle A 28: Fettsäurenmuster der analysierten Milchfettproben, bezogen auf 100 % der analysierten Fettsäuren im Milchfett (Versuchsabschnitt 2)

| KW | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kuh | 129 | 129 | 300 | 300 | 320 | 320 | 324 | 324 |
| Interne Nr. | 22a | 22b | 23a | 23b | 24a | 24b | 25a | 25b |
| C4:0 | 4,32 | 4,27 | 4,21 | 4,18 | 4,70 | 4,68 | 4,93 | 4,81 |
| C6:0 | 1,43 | 1,43 | 1,46 | 1,47 | 1,92 | 1,93 | 2,15 | 2,08 |
| C8:0 | 0,65 | 0,65 | 0,67 | 0,66 | 1,00 | 1,04 | 1,20 | 1,19 |
| C10:0 | 1,63 | 1,62 | 1,62 | 1,59 | 2,44 | 2,49 | 3,09 | 3,06 |
| C11:0 | 0,04 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,07 |
| C12:0 | 2,26 | 2,25 | 2,12 | 2,09 | 2,91 | 2,97 | 3,66 | 3,61 |
| C13:0 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,11 | 0,12 | 0,11 | 0,11 |
| C14:0 | 10,06 | 10,04 | 9,06 | 8,95 | 10,34 | 10,45 | 10,63 | 10,56 |
| C14:1 | 2,30 | 2,31 | 1,74 | 1,73 | 1,53 | 1,53 | 1,34 | 1,33 |
| C15:0 | 1,22 | 1,20 | 1,00 | 0,98 | 1,04 | 1,04 | 1,00 | 0,99 |
| C16:0 | 24,42 | 24,42 | 19,13 | 18,87 | 20,70 | 20,68 | 22,51 | 22,52 |
| C16:1 | 2,43 | 2,43 | 1,92 | 1,87 | 1,73 | 1,75 | 1,75 | 1,75 |
| C17:0 | 0,67 | 0,68 | 0,78 | 0,79 | 0,70 | 0,70 | 0,64 | 0,64 |
| C17:1 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| C18:0 | 9,78 | 9,81 | 13,80 | 13,64 | 14,84 | 14,72 | 13,56 | 13,64 |
| C18:1 t6 | 0,04 | 0,04 | u.B. | u.B. | 0,06 | u.B. | 0,04 | 0,05 |
| C18:1 t9 | 0,77 | 0,78 | 1,17 | 1,11 | 0,99 | 0,93 | 0,88 | 0,89 |
| C18:1 t11+c6+c7 | 3,89 | 3,91 | 3,44 | 3,45 | 3,59 | 3,75 | 2,32 | 2,41 |
| C18:1 c9 | 27,77 | 27,81 | 32,23 | 31,86 | 25,45 | 25,21 | 25,09 | 25,15 |
| C18:1 c11 | 1,27 | 1,27 | 1,53 | 1,51 | 1,17 | 1,34 | 1,09 | 1,10 |
| C18:1 c12 | 0,35 | 0,35 | 0,42 | 0,42 | 0,39 | 0,35 | 0,36 | 0,37 |
| C18:2 t9,12 | 0,76 | 0,76 | 0,70 | 0,71 | 0,56 | 0,54 | 0,50 | 0,51 |
| C18:2 c9,12 | 1,90 | 1,90 | 1,92 | 1,92 | 2,02 | 1,96 | 1,46 | 1,53 |
| C18:3 c6,9,12 | u.B. | u.B. | 0,02 | 0,02 | u.B. | u.B. | u.B. | u.B. |
| C20:0 | 0,15 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,23 | 0,23 | 0,22 | 0,23 |
| C18:3 c9,12,15 | 0,43 | 0,42 | 0,46 | 0,45 | 0,48 | 0,50 | 0,34 | 0,36 |
| C20:1 c11 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,13 | 0,14 | 0,09 | 0,09 |
| C18:2 c9,t11 | 1,12 | 1,11 | 0,06 | 1,15 | 0,81 | 0,81 | 0,93 | 0,93 |

Anhang

Fortsetzung Tabelle A 28

| KW | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kuh | 326 | 326 | 341 | 341 | 400 | 400 | 404 | 404 | 408 | 408 |
| Interne Nr. | 26a | 26b | 27a | 27b | 28a | 28b | 29a | 29b | 30a | 30b |
| C4:0 | 6,05 | 6,26 | 4,59 | 4,73 | 4,74 | 4,70 | 5,24 | 5,25 | 5,35 | 5,06 |
| C6:0 | 2,32 | 2,27 | 1,92 | 1,82 | 1,46 | 1,48 | 2,29 | 2,29 | 2,34 | 2,40 |
| C8:0 | 1,14 | 1,12 | 1,01 | 0,95 | 0,60 | 0,64 | 1,18 | 1,20 | 1,28 | 1,32 |
| C10:0 | 2,53 | 2,46 | 2,43 | 2,39 | 1,60 | 1,62 | 2,99 | 3,00 | 3,19 | 3,23 |
| C11:0 | 0,02 | u.B | 0,09 | 0,09 | u.B. | u.B. | 0,11 | 0,11 | 0,08 | 0,09 |
| C12:0 | 2,79 | 2,76 | 3,03 | 2,97 | 1,96 | 1,96 | 3,44 | 3,46 | 3,72 | 3,75 |
| C13:0 | 0,06 | 0,06 | 0,15 | 0,15 | 0,08 | 0,08 | 0,16 | 0,16 | 0,13 | 0,13 |
| C14:0 | 9,74 | 9,75 | 10,55 | 10,52 | 7,82 | 7,81 | 11,72 | 11,78 | 11,61 | 11,68 |
| C14:1 | 1,29 | 1,27 | 2,13 | 2,13 | 1,00 | 1,00 | 1,17 | 1,18 | 1,57 | 1,58 |
| C15:0 | 0,70 | 0,69 | 1,34 | 1,33 | 0,87 | 0,88 | 1,27 | 1,27 | 1,11 | 1,12 |
| C16:0 | 20,37 | 20,41 | 22,00 | 22,09 | 17,84 | 17,76 | 24,23 | 24,21 | 24,66 | 24,53 |
| C16:1 | 1,84 | 1,83 | 2,12 | 2,12 | 1,69 | 1,70 | 1,93 | 1,92 | 1,56 | 1,55 |
| C17:0 | 0,67 | 0,66 | 0,69 | 0,69 | 0,78 | 0,79 | 0,62 | 0,61 | 0,63 | 0,66 |
| C17:1 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| C18:0 | 14,34 | 14,40 | 11,26 | 11,30 | 17,38 | 17,34 | 13,46 | 13,40 | 13,89 | 13,76 |
| C18:1 t6 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 |
| C18:1 t9 | 0,92 | 0,92 | 0,87 | 0,98 | 1,04 | 1,01 | 0,87 | 0,88 | 0,82 | 0,83 |
| C18:1 t11+c6+c7 | 2,58 | 2,82 | 3,09 | 3,16 | 4,75 | 4,59 | 2,41 | 2,41 | 2,10 | 1,91 |
| C18:1 c9 | 26,45 | 26,32 | 26,57 | 26,50 | 29,81 | 30,03 | 22,02 | 21,93 | 21,67 | 21,64 |
| C18:1 c11 | 1,22 | 1,21 | 1,31 | 1,31 | 1,65 | 1,66 | 0,81 | 0,86 | 0,69 | 1,06 |
| C18:1 c12 | 0,45 | 0,44 | 0,40 | 0,39 | 0,41 | 0,42 | 0,32 | 0,32 | 0,34 | 0,34 |
| C18:2 t9,12 | 0,46 | 0,42 | 0,63 | 0,62 | 0,61 | 0,63 | 0,43 | 0,43 | 0,39 | 0,42 |
| C18:2 c9,12 | 2,16 | 2,11 | 1,98 | 0,97 | 2,12 | 2,11 | 1,68 | 1,68 | 1,48 | 1,52 |
| C18:3 c6,9,12 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | u.B. | u.B. | u.B. | u.B. | u.B. | u.B. | 0,02 |
| C20:0 | 0,19 | 0,19 | 0,18 | 0,18 | 0,25 | 0,25 | 0,22 | 0,22 | 0,21 | 0,21 |
| C18:3 c9,12,15 | 0,49 | 0,49 | 0,46 | 0,46 | 0,50 | 0,50 | 0,41 | 0,40 | 0,37 | 0,36 |
| C20:1 c11 | 0,11 | 0,11 | 0,13 | 0,12 | 0,14 | 0,14 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,07 |
| C18:2 c9,t11 | 0,96 | 1,00 | 0,90 | 0,91 | 0,80 | 0,79 | 0,86 | 0,85 | 0,67 | 0,67 |

Fortsetzung Tabelle A 28

| KW | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kuh | 411 | 411 | 415 | 415 | 425 | 425 | 507 | 507 | 511 | 511 |
| Interne Nr. | 31a | 31b | 32a | 32b | 33a | 33b | 34a | 34b | 35a | 35b |
| C4:0 | 4,91 | 4,89 | 5,28 | 5,18 | 4,49 | 4,51 | 5,32 | 5,30 | 4,19 | 4,33 |
| C6:0 | 2,14 | 2,16 | 1,89 | 1,93 | 1,26 | 1,19 | 1,95 | 1,95 | 1,47 | 1,49 |
| C8:0 | 1,16 | 1,15 | 0,88 | 0,87 | 0,46 | 0,43 | 0,92 | 0,91 | 0,67 | 0,69 |
| C10:0 | 3,02 | 3,00 | 2,08 | 2,09 | 1,00 | 0,99 | 2,20 | 2,25 | 1,63 | 1,67 |
| C11:0 | 0,09 | 0,09 | 0,04 | 0,04 | u.B. | u.B. | u.B. | u.B. | u.B. | u.B. |
| C12:0 | 3,71 | 3,69 | 2,44 | 2,47 | 1,17 | 1,15 | 2,69 | 2,75 | 2,09 | 2,13 |
| C13:0 | 0,15 | 0,16 | 0,09 | 0,10 | 0,02 | u.B. | 0,10 | 0,10 | 0,06 | 0,06 |
| C14:0 | 12,27 | 12,23 | 10,21 | 10,31 | 5,99 | 5,97 | 10,27 | 10,42 | 9,48 | 9,51 |
| C14:1 | 1,72 | 1,71 | 1,51 | 1,53 | 0,54 | 0,54 | 1,46 | 1,48 | 1,43 | 1,44 |
| C15:0 | 1,29 | 1,29 | 1,08 | 1,10 | 0,51 | 0,51 | 1,02 | 1,02 | 0,85 | 0,85 |
| C16:0 | 26,01 | 26,00 | 23,63 | 23,65 | 24,93 | 24,93 | 21,91 | 21,92 | 25,38 | 25,31 |
| C16:1 | 2,00 | 2,00 | 2,09 | 2,10 | 2,51 | 2,48 | 1,61 | 1,61 | 2,17 | 2,17 |
| C17:0 | 0,65 | 0,65 | 0,73 | 0,74 | 1,09 | 1,08 | 0,62 | 0,63 | 0,68 | 0,68 |
| C17:1 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| C18:0 | 8,80 | 8,84 | 13,40 | 13,28 | 16,42 | 16,49 | 12,65 | 12,58 | 12,32 | 12,26 |
| C18:1 t6 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,06 |
| C18:1 t9 | 0,95 | 0,95 | 0,81 | 0,89 | 0,46 | 0,46 | 0,91 | 0,90 | 0,94 | 0,95 |
| C18:1 t11+c6+c7 | 2,50 | 2,47 | 3,07 | 2,77 | u.B. | 1,13 | 2,02 | 1,98 | u.B. | u.B. |
| C18:1 c9 | 22,51 | 22,59 | 25,67 | 25,66 | 33,47 | 32,52 | 28,21 | 28,07 | 31,12 | 30,94 |
| C18:1 c11 | 0,97 | 0,98 | 1,03 | 1,20 | 1,23 | 1,24 | 1,21 | 1,20 | 1,11 | 1,11 |
| C18:1 c12 | 0,45 | 0,44 | 0,35 | 0,34 | 0,24 | 0,25 | 0,43 | 0,43 | 0,41 | 0,40 |
| C18:2 t9,12 | 0,62 | 0,61 | 0,58 | 0,57 | 0,29 | 0,25 | 0,58 | 0,59 | 0,56 | 0,58 |
| C18:2 c9,12 | 2,11 | 2,13 | 1,57 | 1,60 | 2,62 | 2,61 | 2,05 | 2,03 | 1,71 | 1,70 |
| C18:3 c6,9,12 | u.B. | 0,03 | u.B. | u.B. |
| C20:0 | 0,14 | 0,14 | 0,21 | 0,20 | 0,18 | 0,17 | 0,21 | 0,21 | 0,19 | 0,19 |
| C18:3 c9,12,15 | 0,46 | 0,46 | 0,38 | 0,38 | 0,51 | 0,51 | 0,52 | 0,52 | 0,47 | 0,47 |
| C20:1 c11 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,07 |
| C18:2 c9,t11 | 1,21 | 1,22 | 0,78 | 0,77 | 0,37 | 0,37 | 0,96 | 0,95 | 0,90 | 0,88 |

Anhang

Fortsetzung Tabelle A 28

| KW | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kuh | 516 | 516 | 524 | 524 | 525 | 525 | 526 | 526 | 527 | 527 |
| Interne Nr. | 36a | 36b | 37a | 37b | 38a | 38b | 39a | 39b | 40a | 40b |
| C4:0 | 3,22 | 3,26 | 4,71 | 4,55 | 5,12 | 4,98 | 4,21 | 4,15 | 5,11 | 5,06 |
| C6:0 | 1,16 | 1,17 | 2,06 | 2,04 | 2,15 | 2,13 | 1,81 | 1,80 | 2,18 | 2,16 |
| C8:0 | 0,58 | 0,58 | 1,13 | 1,12 | 1,12 | 1,12 | 0,96 | 0,96 | 1,17 | 1,15 |
| C10:0 | 1,58 | 1,57 | 2,72 | 2,71 | 2,51 | 2,49 | 2,35 | 2,39 | 2,75 | 2,74 |
| C11:0 | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,05 |
| C12:0 | 2,30 | 2,29 | 3,33 | 3,33 | 2,83 | 2,82 | 2,82 | 2,87 | 3,21 | 3,18 |
| C13:0 | 0,12 | 0,12 | 0,16 | 0,15 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,10 | 0,10 |
| C14:0 | 10,26 | 10,27 | 10,54 | 10,54 | 10,18 | 10,20 | 9,66 | 9,74 | 10,66 | 10,61 |
| C14:1 | 2,97 | 2,97 | 1,63 | 1,63 | 1,53 | 1,54 | 1,56 | 1,57 | 1,23 | 1,22 |
| C15:0 | 1,48 | 1,48 | 1,26 | 1,27 | 1,18 | 1,18 | 1,12 | 1,14 | 0,98 | 0,98 |
| C16:0 | 27,02 | 27,02 | 25,99 | 26,06 | 22,21 | 22,29 | 21,11 | 21,12 | 25,89 | 25,93 |
| C16:1 | 3,71 | 3,72 | 1,73 | 1,72 | 1,52 | 1,52 | 1,67 | 1,66 | 1,31 | 1,29 |
| C17:0 | 0,68 | 0,68 | 0,72 | 0,72 | 0,76 | 0,78 | 0,77 | 0,77 | 0,67 | 0,68 |
| C17:1 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,03 |
| C18:0 | 8,69 | 8,69 | 11,19 | 11,22 | 13,54 | 13,59 | 13,96 | 13,90 | 15,93 | 16,00 |
| C18:1 t6 | u.B. | u.B. | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,05 | u.B. | u.B. | 0,05 | 0,05 |
| C18:1 t9 | 0,70 | 0,84 | 0,85 | 0,84 | 0,97 | 0,93 | 1,13 | 1,06 | 0,66 | 0,65 |
| C18:1 t11+c6+c7 | 3,41 | 3,22 | u.B. | u.B. | u.B. | u.B. | u.B. | u.B. | 1,51 | 1,36 |
| C18:1 c9 | 25,81 | 25,84 | 26,27 | 26,38 | 28,33 | 28,44 | 30,40 | 30,40 | 22,18 | 22,45 |
| C18:1 c11 | 1,43 | 1,43 | 1,17 | 1,17 | 1,34 | 1,34 | 1,41 | 1,40 | 0,92 | 0,92 |
| C18:1 c12 | 0,32 | 0,32 | 0,35 | 0,36 | 0,46 | 0,45 | 0,37 | 0,37 | 0,26 | 0,26 |
| C18:2 t9,12 | 0,77 | 0,78 | 0,50 | 0,50 | 0,58 | 0,58 | 0,55 | 0,57 | 0,33 | 0,32 |
| C18:2 c9,12 | 2,13 | 2,13 | 1,89 | 1,89 | 1,62 | 1,58 | 1,96 | 1,97 | 1,63 | 1,63 |
| C18:3 c6,9,12 | u.B. | u.B. | u.B. | u.B. | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | u.B. | u.B. |
| C20:0 | 0,14 | 0,14 | 0,18 | 0,18 | 0,22 | 0,22 | 0,23 | 0,23 | 0,24 | 0,24 |
| C18:3 c9,12,15 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,35 | 0,35 | 0,40 | 0,40 | 0,37 | 0,38 |
| C20:1 c11 | 0,12 | 0,12 | 0,08 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,12 | 0,12 | 0,06 | 0,06 |
| C18:2 c9,t11 | 0,76 | 0,75 | 0,92 | 0,92 | 1,05 | 1,05 | 1,17 | 1,16 | 0,50 | 0,49 |

Fortsetzung Tabelle A 28

| KW | 47/07 | 47/07 | 47/07 | 47/07 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| Kuh | 2208 | 2208 | 2331 | 2331 |
| Interne Nr. | 41a | 41b | 42a | 42b |
| C4:0 | 4,73 | 4,59 | 4,16 | 4,12 |
| C6:0 | 1,97 | 1,90 | 1,58 | 1,58 |
| C8:0 | 1,06 | 1,02 | 0,85 | 0,83 |
| C10:0 | 2,56 | 2,53 | 2,39 | 2,40 |
| C11:0 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,05 |
| C12:0 | 3,08 | 3,05 | 3,18 | 3,19 |
| C13:0 | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,11 |
| C14:0 | 10,33 | 10,30 | 11,03 | 11,01 |
| C14:1 | 2,12 | 2,10 | 1,81 | 1,80 |
| C15:0 | 1,13 | 1,12 | 1,07 | 1,06 |
| C16:0 | 20,40 | 20,46 | 19,81 | 19,81 |
| C16:1 | 2,11 | 2,12 | 1,69 | 1,70 |
| C17:0 | 0,73 | 0,73 | 0,73 | 0,73 |
| C17:1 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,04 |
| C18:0 | 12,31 | 12,39 | 13,50 | 13,49 |
| C18:1 t6 | u.B. | u.B. | u.B. | u.B. |
| C18:1 t9 | 1,08 | 0,91 | 0,88 | 0,90 |
| C18:1 t11+c6+c7 | 3,04 | 3,30 | 2,74 | 2,74 |
| C18:1 c9 | 27,44 | 27,58 | 28,70 | 28,75 |
| C18:1 c11 | 1,35 | 1,36 | 1,28 | 1,28 |
| C18:1 c12 | 0,34 | 0,35 | 0,30 | 0,30 |
| C18:2 t9,12 | 0,65 | 0,63 | 0,58 | 0,59 |
| C18:2 c9,12 | 1,68 | 1,66 | 1,93 | 1,95 |
| C18:3 c6,9,12 | u.B. | u.B. | 0,02 | u.B. |
| C20:0 | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,20 |
| C18:3 c9,12,15 | 0,44 | 0,45 | 0,45 | 0,45 |
| C20:1 c11 | 0,14 | 0,14 | 0,12 | 0,12 |
| C18:2 c9,t11 | 0,85 | 0,86 | 0,75 | 0,75 |

Anhang

Tabelle A 29: Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe und Energiegehalte von Rapskuchen bei unterschiedlichen Rapskuchenanteilen

| Hammel Nr. | DOM | DXP | DXL | DXF | DNDForg | DADForg | DOR | GE | ME, kg | q | NEL, kg | NEL, MJ kg/TM | ME, MJ kg/TM |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------------|-----------------|
| 15 % Rapskuchen* | | | | | | | | | | | | | |
| 327 | 81,4 | 84,1 | 96,7 | 53,3 | -9,8 | 16,7 | 81,7 | 20,75 | 13,47 | 64,88 | 8,33 | 9,23 | 14,91 |
| 331 | 79,8 | 84,1 | 91,8 | 13,7 | -19,3 | 13,8 | 87,7 | 20,75 | 13,17 | 63,47 | 8,11 | 8,98 | 14,59 |
| R27 | 79,0 | 85,8 | 96,0 | 30,8 | -3,5 | 14,4 | 82,4 | 20,75 | 13,18 | 63,52 | 8,12 | 8,99 | 14,60 |
| × | 80,1 | 84,7 | 94,8 | 32,6 | -10,9 | 15,0 | 83,9 | 20,75 | 13,27 | 63,96 | 8,19 | 9,07 | 14,70 |
| +/-s | 1,2 | 1,0 | 2,7 | 19,9 | 7,9 | 1,6 | 3,3 | | 0,17 | 0,80 | 0,13 | 0,14 | 0,18 |
| 30 % Rapskuchen* | | | | | | | | | | | | | |
| R24 | 81,2 | 87,4 | 90,4 | 43,0 | 25,6 | 29,0 | 85,1 | 20,75 | 13,28 | 63,97 | 8,19 | 9,07 | 14,70 |
| R12 | 80,8 | 84,8 | 89,8 | 47,9 | 28,6 | 31,7 | 83,9 | 20,75 | 13,21 | 63,64 | 8,13 | 9,01 | 14,63 |
| 332 | 81,0 | 85,0 | 90,1 | 45,3 | 30,7 | 32,9 | 84,5 | 20,75 | 13,25 | 63,82 | 8,16 | 9,04 | 14,67 |
| × | 81,0 | 85,7 | 90,1 | 45,4 | 28,3 | 31,2 | 84,5 | 20,75 | 13,24 | 63,81 | 8,16 | 9,04 | 14,67 |
| +/-s | 0,2 | 1,4 | 0,3 | 2,5 | 2,6 | 2,0 | 0,6 | | 0,04 | 0,17 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| 45 % Rapskuchen | | | | | | | | | | | | | |
| R16 | 73,8 | 82,0 | 85,5 | 12,7 | 12,7 | 14,0 | 81,0 | 20,75 | 12,25 | 59,04 | 7,41 | 8,21 | 13,57 |
| R20 | 71,3 | 81,8 | 73,5 | 19,5 | 11,6 | 13,8 | 79,7 | 20,75 | 11,60 | 55,91 | 6,93 | 7,68 | 12,85 |
| R21 | 75,9 | 84,2 | 79,5 | 20,0 | 16,5 | 24,9 | 84,6 | 20,75 | 12,34 | 59,47 | 7,48 | 8,28 | 13,67 |
| 323 | 71,9 | 81,2 | 80,6 | 18,9 | 20,7 | 16,9 | 78,6 | 20,75 | 11,88 | 57,23 | 7,13 | 7,90 | 13,15 |
| × | 73,2 | 82,3 | 79,8 | 17,8 | 15,4 | 17,4 | 81,0 | 20,75 | 12,02 | 57,91 | 7,24 | 8,02 | 13,31 |
| +/-s | 2,1 | 1,3 | 4,9 | 3,4 | 4,1 | 5,2 | 2,6 | | 0,34 | 1,65 | 0,25 | 0,28 | 0,38 |
| 60 % Rapskuchen | | | | | | | | | | | | | |
| 329 | 73,5 | 81,5 | 81,8 | 18,3 | 23,0 | 16,6 | 80,7 | 20,75 | 12,11 | 58,37 | 7,31 | 8,09 | 13,41 |
| 325 | 78,6 | 84,5 | 89,1 | 26,9 | 33,5 | 59,8 | 84,4 | 20,75 | 12,93 | 62,32 | 7,92 | 8,78 | 14,32 |
| 335 | 75,4 | 80,3 | 87,1 | 22,2 | 21,8 | 17,9 | 81,2 | 20,75 | 12,49 | 60,17 | 7,59 | 8,40 | 13,83 |
| R23 | 71,7 | 80,7 | 85,4 | 16,7 | 17,5 | 10,8 | 77,2 | 20,75 | 11,98 | 57,74 | 7,21 | 7,98 | 13,27 |
| × | 74,8 | 81,7 | 85,8 | 21,1 | 24,0 | 26,3 | 80,9 | 20,75 | 12,38 | 59,65 | 7,51 | 8,31 | 13,71 |
| +/-s | 2,9 | 1,9 | 3,1 | 4,5 | 6,8 | 22,6 | 3,0 | | 0,43 | 2,06 | 0,32 | 0,36 | 0,47 |

8 Literaturverzeichnis

- ABEL, H.J. und I. IMMIG (1991): Einfluss von verseiften, veresterten und freien Fettsäuren auf die Fermentation den Flüssigkeitsumschlag und die Motorik im Pansen von Schafen. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 66, 80-88
- ABEL, H., W. VAITIEKUNAS und E. MASCH (1992): Fette und Kohlenhydrate als Energieträger in Milchleistungsfutter. *Kraftfutter* 75, 44-46
- ABU GAZALEH, A. A., D. J. SCHINGOETHE, A. R. HIPPEN, K. F. KALSCHUR und L. A. WHITLOCK (2002): Fatty acid profiles of milk and rumen digesta from cows fed fish oil, extruded soybeans or their blend. *J. Dairy Sci.* 85, 2266-2276
- AfBN (1991): Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen an Wiederkäuern. *Journal of Anim. Physiol. a. anim. Nutr.* 65, 229-234
- ANONYM (2008): Das geltende Futtermittelrecht. Aktuelle Gesetze und Verordnungen aus Bundes- und Gemeinschaftsrecht. – Stand Dezember 2007 - Grüne Broschüre TE 2008, S. 34
- APPER-BOSSARD, E., J.L. PEYRAUD, P. FAVERDIN und F. MESCHY (2006): Changing dietary cation-anion difference for dairy cows fed with two contrasting levels of concentrate in diets. *J. Dairy Sci.* 89, 749-760
- ASHES, J.R., S.K. GULATI und T.W. SCOTT (1997): Potential to alter the content and composition of milk fat through nutrition. *J. Dairy Sci.* 80, 2204-2212
- ATTENBERGER, A., B. MATTHÄUS, L. BRÜHL und E. REMMELE (2005): Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards. http://www.ufop.de/downloads/Bericht_speiseoel.pdf
- AUSTIN, C.L., D.J. SCHINGOETHE und D.P. CASPER (1991): Influence of bovine somatotropin and nutrition on production and composition of milk from dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74, 3920-3932
- BALDWIN, R.L., SMITH N.E., TAYLOR J. und M. SHARP (1980): Manipulating metabolic parameters to improve growth rate and milk secretion. *J. Anim. Sci.* 51, 1416-1428
- BANKS, W., J.L. CLAPPERTON und M.E. KELLY (1980): Effect of oil-enriched diets on the milk yield and the composition, and on the composition and physical properties of the milk fat, of dairy cows receiving a basal ration of grass silage. *J. Dairy Res.* 47, 277-285

- BANNI, S., E. ANGIONI, V. CASU, M.P. MELS, G. CARTA, F.P. CORONGIU, H. THOMPSON und C. IP (1999): Decrease in linoleic acid metabolites as a potential mechanism in cancer risk reduction by conjugated linoleic acid. *Carcinogenesis* 20, 1019-1024
- BASSLER, R. und H. BUCHHOLZ (2006): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Band II, III, eingeschlossen Ergänzungslieferungen. VDLUFA Verlag, Darmstadt, 1993-2006, 309 pp
- BAUMAN, D.E., B.A. CORL und D.G. PETERSON (2003): The biology of conjugated linoleic acids in ruminants. In: J-L. Sebedio, W.W. Christie, R.O. Adlof (eds.). *Advances in conjugated linoleic acid research*. AOCS Press, Champaign, IL, Volume, 2, 146-173
- BAUMAN, D.E. und J.M. GRIINARI (2001): Regulation and nutritional manipulation of milk-fat: Low fat milk syndrome. *Livest. Prod. Sci.* 70, 15-29
- BAUMGARD, L.H., B.A. CORL, D.A. DWYER und D.A. BAUMAN (2000): Identification of the conjugated linoleic acid isomer that inhibits milk fat synthesis. *Am. J. Physiol.* 278: R179-R184
- BAUMGARD, L.H., J.K. SANGSTER und D.E. BAUMAN (2001): Milk fat synthesis in dairy cows is progressively reduced by increasing supplemental amounts of trans 10, cis 12 conjugated linoleic acid (CLA). *J. Nutr.* 131: 1764-1769
- BEAM T. M., T. C. JENKINS, P. J. MOATE, R. A. KOHN und D. L. PALMQUIST (2000): Effects of amount and source of fat on the rates of lipolysis and biohydrogenation of fatty acids in ruminal contents. *J. Dairy Sci.* 83, 2564-2573
- BEEDE, D.K. (2005): Formulation of rations with optimal cations and anions (DCAB) for lactation. *Proc. Tri-State Dairy Nutr. Conf.*, 93-112
- BELURY, M.A. (2002): Dietary conjugated linoleic acid in health: Physiological effects and mechanisms of action. *Annu. Rev. Nutr.* 22, 505-531
- BENCHAAR, C., H.V. PETIT, R. BERTHIAUME, D.R. QUELLET, J. CHIQUETTE und P.J. CHOUINARD (2007) : Effects of essential oils on digestion, ruminal Fermentation, rumen microbial populations, milk production and milk composition in dairy cows fed alfalfa silage or corn silage. *J. Dairy Sci.* 90, 886-897
- BEQUETTE, B.J., F.R.C. BACKWELL und L.A. CROMPTON (1998): Current concepts of amino acid and protein metabolism in the mammary gland of the lactating ruminant. *J. Dairy Sci.* 81, 2540-2559

- BERGNER, H. und A. SOMMER (1994): Einsatz von freien Fettsäuren in der Tierernährung. Arch. Anim. Nutr. 46, 217-236
- BLUM, J.W. (2004): Stoffwechsellleistungen der Milchdrüse des Rindes. Übers. Tierernährg. 32, 183-201
- BRAY, G.A., J.C. LOVEJOY, S. R. SMITH, J.P. DELANY, M. LEFEVRE, D. HWANG, K.H. RYAN und D.A. YORK (2002): The influence of different fats and fatty acids on obesity, insulin resistance and inflammation. J. Nutr. 132, 2488-2491
- BREVES, G. und S. LEONHARD-MAREK (2005): Physiologie des Magen-Darm-Kanals. Verdauungsvorgänge in den Vormägen. In: Physiologie der Haustiere (v. Engelhardt, W. und G. Breves, Hrsg.), 2., völlig neu bearbeitete Auflage, Stuttgart, Enke-Verlag 357-366
- BROCKMAN, R.P. und B. LAARVELD (1986): Hormonal regulation of metabolism in ruminants: A review. Livest. Prod. Sci. 14, 313-334
- BROUDISCOU, L., C.J. NEVEL und D.I. VAN DEMEYER (1990): Effect of soya oil hydrolyzate on rumen digestion in defaunated and refaunated sheep. Anim. Feed. Sci. Technol. 30, 51-67
- BRINKMANN, G. und S. MOLNAR (1998): Einfluss von Futterfetten und -lecithinen auf Parameter der Infektionsabwehr beim Absatzferkel. 1. Mitteilung. Der Einfluss von Soja- oder Rapsöl. Fett/Lipid 100, 12-16
- CANALE, C.J., P.L. BURGESS, L.D. MULLER und G.A. VARGA (1990 b): Calcium salts of fatty acids in diets that differ in neutral detergent fibre: Effect of lactation performance and nutrient digestibility. J. Dairy Sci. 73, 1031-1038
- CANALE, C.J., L.D. MULLER, M.A. McCAHON, T.J. WHITSEL, G.A. VARGA und M.J. LORMORE (1990 a): Dietary fat and ruminally protected amino acids for high producing dairy cows. J. Dairy Sci. 73, 135-141
- CANT, J.P., E.J. DePETERS und R.L. BALDWIN (1993 a): Mammary amino acid utilization in dairy cows fed fat and its relationship to milk protein depression. J. Dairy Sci. 76, 762-774
- CASPER, D.P. und D.J. SCHINGOETHE (1989): Model to describe and alleviate milk protein depression in early lactation dairy cows fed a high fat diet. J. Dairy Sci. 72, 3327-3335
- CAVALIERE R.R. (1997): Iodine metabolism and thyroid physiology: current concepts. Thyroid 7, 177-181

- CHALUPA, W., W. VECCHIARELLI, A.E. ELSER, D.S. KRONFELD, D. SKLAN und D.L. PALMQUIST (1986): Ruminale Fermentation in vivo als beeinflusst durch langkettige Fettsäuren. *J. Dairy Sci.* 69, 1293-1301
- CHOUINARD, P.Y., L. CORNEAU, D.M. BARBANO, L.E. METZGER und D.E. BAUMAN (1999): Konjugierte Linolensäuren verändern die Fettsäurezusammensetzung der Milch und hemmen die Milchfettsekretion bei Milchkuhen. *Journal of Nutrition* 129 (8), 1579-1584
- CHOUINARD, P.J., V. GIRARD und G.J. BRISSON (1997): Performance und Profile von Milchfettsäuren bei Kühen, die mit Vollfettsojabohnen, die unterschiedlich verarbeitet wurden, gefüttert wurden. *J. Dairy Sci.*, 80, 334-342
- CHOW, J.M., E.J. DEPETERS und R.L. BALDWIN (1990): Wirkung von rumenprotektiver Methionin- und Lysinergänzung auf den Casein- und Lysin-gehalt der Milch bei Kühen, die mit einer hohen Konzentration an Futter gefüttert wurden. *J. Dairy Sci.* 73, 1051-1061
- CHRISTIE, W.W. (1982): Eine einfache Methode zur raschen Transmethylierung von Glycerolipiden und Cholesterylestern. *Journal of Lipid Research* 23 (7), 1072-1075
- CLAPPERTON, J.L. und W. STEELE (1985): Wirkung von unterschiedlichen Fettsäuremischungen, die mit Gerste oder Sojabohnenmehl gemischt sind, auf die Futteraufnahme und Milchproduktion bei Milchkuhen. *J. Dairy Sci.* 68, 2908-2913
- COENEN, G., I. RYANTO, I. IMMIG und HJ ABEL (1988): *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 60, 27-28 noch einfügen
- COLLOMB, M., H. EYER und R. SIEBER (2000): Chemische Struktur und physiologische Bedeutung der Fettsäuren und anderer Bestandteile des Milchfettes. FAM-Information November 2004/410P/W; Eidg. Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Liebefeld CH-3003 Bern
- COLLOMB, M., A. SCHMID, R. SIEBER, D. WECHSLER und E.-L. RYHÄNEN (2006): Konjugierte Linolensäuren in Milchfett: Variation und physiologische Wirkungen. *Int. Dairy J.* 16, 1347-1361
- CORL, B. A., L. H. BAUMGARD, D. A. DWYER, J. M. GRIINARI, B. S. PHILPS und D. E. BAUMAN (2001): Die Rolle von Δ^9 -Desaturase bei der Produktion von cis-9, trans-11 CLA. *J. Nutr. Biochem.* 12, 622-630
- CUMMINS, K.A. und J.L. SARTIN (1987): Reaktion von Insulin, Glucagon und Wachstumshormon auf eine intravenöse Glucose-Herausforderung bei Kühen, die mit einer hohen Fettkonzentration gefüttert wurden. *J. Dairy Sci.* 70, 277-283
- DACCORD, R. (1996): Den Nährwert von Rapsschrot beim Wiederkäuer verbessern. *Agrarforschung* 3, 207-210

- DAWSON, R.M.C. und N., HEMINGTON (1974): Digestion of grass lipids and pigments in the sheep rumen. *Br. J. Nutr.* 32, 327-340
- DAWSON, R.M.C. und P. KEMP (1969): The effect of defaunation on the phospholipids and on the hydrogenation of unsaturated fatty acids in the rumen. *Biochem. J.* 115, 351-352
- DAYVES, J. R. (2001): Studien zum Einsatz von Rapskuchen aus der Biodieselproduktion in der Milchviehfütterung. Diss. agr. Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig, 82 S.
- DELBECCHI, L., C.E. AHNADI, J.J. KENNELLY und P. LACASSE (2001): Milk fatty acid composition and mammary lipid metabolism in Holstein cows fed protected or unprotected canola seeds. *J. Dairy Sci.* 84, 1375-1381
- DEMEYER, D. (1973): Lipidstoffwechsel im Pansen. In: *Biologie und Biochemie der mikrobiellen Verdauung* (Hrsg. D. Giesecke/H.K. Henderickx). BLV-Verlagsgesellschaft, München, Bern, Wien, 209-233
- DePETERS, E.J. und J.P. CANT (1992): Nutritional factors influencing the nitrogen composition of bovine milk: A review. *J. Dairy Sci.* 75, 2043-2070
- DePETERS, E.J., S.J. TAYLOR und R.L. BALDWIN (1989): Effect of dietary fat in isocaloric rations on the nitrogen content of milk from Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 72, 2949-2957
- DEVENDRA, C. und D. LEWIS (1974): The interaction between dietary lipids and fibre in the sheep. *Anim. Prod.* 19, 67-76
- DEWHURST, R.J. (2005): Targets for milk fat research: Nutrient, nuisance or nutraceutical? *J. Agr. Sci.* 143, 359-367
- DOHME, F. (2005): Fetteinsatz in der Milchviehfütterung und Einfluss auf die Produktqualität. 32. viehwirtschaftliche Fachtagung, 13. – 14. April 2005, 15-21
- DOHME, F., V. FIEVEZ, K. RAES und D.I. DEMEYER (2003): Increasing levels of two different fish oils lower ruminal biohydrogenation of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid in vitro. *Anim. Res.* 52, 309-320
- DOREAU, M. und Y. CHILLIARD (1997): Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *Br. J. Nutr.* 78, (Suppl 1) 15
- DUSEL, G. (2006): Qualitätsschwankungen im Rapskuchen. *Veredelungsproduktion* 3/4/2006, 34-36
- EDMONSON, A.J., I.J. LEAN, L.D. WEAVER und T. FARVER (1989): A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72, 68-78

- EGGER, P., G. HOLZER, S. SEGATO, E. WERTH, F. SCHWIENBACHER, G. PERATONER, I. ANDRIGHETTO und A. KASAL (2007): Effects of oilseed supplements on milk production and quality in dairy cows fed a hay-based diet. *Ital. J. Anim. Sci.* 6, 395-405
- EMANUELSON, M., K.A. AHLIN und H. WIKTORSSON (1991): Rapeseed products of cultivars to dairy cows. Effects of longterm feeding on animal performance. *GCIRC Congress*, 430-435
- EMMANUEL, B., und J.J. KENNELLY (1984): Effect of propionic acid on kinetics of acetate and oleate and on plasma and milk fatty acid composition of goats. *J. Dairy Sci.* 67, 1199-1208
- ENGLING, F.-P., K. ROHR, H.P. SALLMANN und G. BREVES (1990): Zum Einfluss verseifeter Fettsäuren auf Leistungs- und Stoffwechselfparameter von Milchkühen. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 64, 59
- FARUQUE, A.J.M.O., B.D.W. JARVIS und J.C. HAWKE (1974): Studies on rumen metabolism: IX. Contribution of plant lipases to the release of free fatty acids in the rumen. *J. Sci. Fd. Agric.* 25, 1313-1328
- FECHER, P.A., I. GOLDMANN, und A. NAGENGAST (1998): Determination of iodine in food samples by inductively coupled plasma mass spectrometry after alkaline extraction. *J. Anal. Atom. Spectrom* 13, 977-982
- FRANKE, K., U. MEYER, H. WAGNER, H.O. HOPPEN und G. FLACHOWSKY (2009): Effect of various iodine supplementations, rapeseed meal application and two different iodine species on the iodine status and iodine excretion of dairy cows. *Livestock Science*, doi:10.1016/j.livsci.2009.04.012
- FREDE, E., D. PRECHT, K. PABST und D. PHILPCZYK (1992): Über den Einfluss der Menge und technischen Behandlung von Rapssaat im Futter der Kuh auf die Härteeigenschaften des Milchfettes. *Milchwissenschaften* 47, 505-511
- FRIEDT, W. (2007): Biotechnologie, Züchtung und Saatgut. Abstammung, Systematik. In: *Winterraps. Das Handbuch für Profis*. 17-19
- FÜGER, B.J., R. DUDCZAK, C.H. PIRICH und G. ZETTINIG (2002): Jodstoffwechsel. *Journal für Ernährungsmedizin* 4 (2) 7-9
- FÜRLI, M. (1993): Diagnostik und Therapie chronischer Störungen des Säuren-Basen-Haushaltes (SBH) bei Rindern. *Prakt. Tierarzt* 75, colleg. Vet. XXIV, 49-54
- FÜRLI, M. (2004): Stoffwechselkontrollen und Stoffwechselüberwachungen bei rindern. *Nutztierpraxis Aktuell* 9, 8-17

- GAGLIOSTRO, G., Y. CHILLIARD und M.J. DAVICCO (1991): Duodenal rapeseed oil infusion in early and midlactation cows. 3. Plasma hormones and mammary apparent uptake of metabolites. *J. Dairy Sci.* 74, 1893-1903
- GALBRAITH, H., T. B. MILLER, A. M. PATTON und J. K. THOMPSON (1971): Antibacterial activity of long chain fatty acids and the reversal with Ca, Mg, ergocalciferol and cholesterol. *J. appl. Bacteriol.* 34, 803-813
- GARNSWORTHY, P.C. (1997): Fats in dairy cow diets. In: *Recent Advances in animal nutrition*, (eds. P.C. Garnsworthy, J. Wiseman). Nottingham, UK, Nottingham University Press, 87-104
- GARNSWORTHY, P.C., A. LOCK, G.E. MANN, K.D. SINCLAIR und R. WEBB (2008 a): Nutrition, metabolism, and fertility in dairy cows: 2. Dietary fatty acids and ovarian function. *J. Dairy Sci.* 91, 3824-3833
- GARTON, G.A., A.K. LOUGH und E. VIOQUE (1961): Glyceride hydrolysis and glycerol fermentation by sheep rumen contents. *J. gen. Microbiol.* 25, 215-225
- GAYNOR, P. J., R. A. ERDMAN, B. B. TETER, J. SAMPUGNA, A. V. CAPUCO, D. R. WALDO und M. HAMOSH (1994): Milk fat yield and composition during abomasal infusion of cis or trans octadecenoates in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 77, 157-165
- GAYNOR, P. J., D. R. WALDO, A. V. CAPUCO, R. A. ERDMAN, L. W. DOUGLAS und B. B. TETER (1995): Milk fat depression, the glucogenic theory and trans-C_{18:1}-fatty acids. *J. Dairy Sci.* 78, 2008-2019
- GELFERT, C.C. und R. STAUFENBIEL (2002): Überprüfung des Einsatzes saurer Salze mittels Harnuntersuchung oder DCAB? *Veterinärspiegel* 3, 199-202
- GERSON, R., A. JOHN und A.S.D. KING (1985): The effect of dietary starch and fibre on the in vitro rates of lipolysis and hydrogenation by sheep rumen digesta. *J. agric. Sci. Cambr.*, 105, 27-30
- GfE (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Frankfurt am Main, DLG-Verlag
- GIESECKE, D. (1978): Fette, Seifen, Anstrichmittel 80 (Sonderheft), 503-506
- GOERING, H.K., T.R. WRENN, L.F. EDMONDSON, J.R. WEYANT, D.L. WOOD und J. BITMAN (1977): Feeding polyunsaturated vegetable oils to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 60, 739-747
- GRIINARI, J.M., B.A. CORL, S.H. LACY, P.Y. CHOUINARD, K.V.V. NURMELA und D.E. BAUMAN (2000): Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by Λ^9 -Desaturase. *J. Nutr.* 130, 2285-2291

- GRIINARI, J.M., D.A. DWYER, M.A. McGUIRE, D.E. BAUMAN, D.L. PALMQUIST und K.V.V. NURMELA (1998): Trans-octadecenoic acids and milk fat depression in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 81, 1251-1261
- GRIINARI, J.M., M.A. McGUIRE, D.A. DWYER, D.E. BAUMAN, D.M. BARBANO und W.E. HOUSE (1997): The role of insulin in the regulation of milk protein synthesis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 2361-2371
- GROPPEL, B. (1994): Einfluss der Fütterung der Milchkühe auf die Milchqualität. Ratgeber für Tierernährung, Tierzucht und Management, 1. Jahrgang, Heft 2, 3-6
- GRUM, D.E., J.K. DRACKLEY, L.R. HANSEN und J.D. CREMIN JR. (1996): Production, digestion, and hepatic lipid metabolism of dairy cows fed increased energy from fat or concentrate. *J. Dairy Sci.* 79, 1836-1846
- GRUMMER, R.R. (1991): Effect of feed on the composition of milk. *J. Dairy Sci.* 74, 3244-3257
- GRÜNEWALD, K.-H., B. SPANN und A. OBERMAIER (1996): Einsatz von Rapssaat in der Milchviehfütterung. *Das Wirtschaftseigene Futter* Band 42, Heft 2, Seite 101-114
- GÜRTLER, H. und F.J. SCHWEIGERT (2005): Synthese des Milchfetts. In: *Physiologie der Haustiere*, (v. Engelhardt, W. und G. Breves, Hersg.), 2., völlig neu bearbeitete Auflage, 560-563
- GUTZWILLER, A. (1996): Einwirkungen von Rapsinhaltsstoffen auf den Organismus. *Agrarforschung* 3: 204-207
- HAENLEIN, G.F.W., L.H. SCHULTZ und L.R. HANSEN (1968): Relation of milk fat-depressing rations and subclinical mastitis to milk proteins. *J. Dairy Sci.* 51, 535-542
- HAESE, E., G. KNEER, H. STEINGASS und W. DROCHNER (2008): Untersuchungen zur ruminalen Fermentation von Glycerin *in vivo* und *in vitro*. 120. VDLUFA Kongress, Jena, Kurzfassungen der Referate, S. 37
- HAGEMEISTER, H. (1990): Fetteinsatz in der Milchviehfütterung unter besonderer Berücksichtigung der im Pansen entstehenden trans-Fettsäuren. *Kiel. Milchw. Forschungsber.* 42, 271-280
- HAGEMEISTER, H. und W. KAUFMANN (1979 a): Mikrobielle Synthese nicht flüchtiger Fettsäuren in den Vormägen von Milchkühen. *Kieler Milchw. Forschungsber.* 31, 11-29
- HAGEMEISTER, H. und J. VOIGT (1997): Physiologische Aspekte der Fütterung hochleistender Milchkühe.: Lipide in der Ration. *Arch. Tierzucht, Dummerstorf* 40, Sonderheft, 80-88

- HANDY, K.W. und J.J. KENNELLY (1983): Influence of feeding whole canola seed, ground canola seed and a protected lipid supplement on milk yield and composition. *Agriculture and Forestry Bulletin, Special Issue*, 83-85
- HARA, A. und N.S. RADIN (1978): Lipid extraction of tissues with a low toxicity solvent. *Analytical Biochemistry* 90 (1), 420-426
- HARFOOT, C.G. (1978): Lipid metabolism in the rumen *Prog. Lipid Res.* 17:21
- HARFOOT, C.G. (1981): Lipid metabolism in the rumen. In: *Lipid metabolism in ruminant animals* (W.W. Christie ed.). Pergamon press, Oxford, 21-55
- HARFOOT, C.G., M.L. CROUCHMAN, R.C. NOBLE und J.H. MOORE (1974): Competition between food particles and rumen bacteria in the uptake of long-chain fatty acids and triglycerides. *J. Appl. Bact.* 37, 633-641
- HARFOOT, C. G., und G. P. HAZLEWOOD (1988): Lipid metabolism in the rumen. In: P. N. HOBSON (Hrsg.): *The rumen microbial ecosystem*. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, The Netherlands, S. 285-322
- HARFOOT, C.G. und G.P. HAZLEWOOD (1997): Lipid metabolism in the rumen. In : *The Rumen Microbial Ecosystem*, (P.N. Hobson and C.S. Stewart, eds.), Blackie Academic & Professional, London, 2nd Ed.: 382-426
- HARFOOT, C.G., R.C. NOBLE und J.H. MOORE (1973 a): Food particles as a site for biohydrogenation of unsaturated fatty acids in the rumen. *Biochem. J.* 132, 829-832
- HARVATINE, K.J. und M.S. ALLEN (2006a): Effects of fatty acid supplements on milk yield and energy balance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89, 1081-1091
- HAWKE, J. C. und W. R. SILCOCK (1969): Lipolysis and hydrogenation in the rumen. *Biochem. J.* 112, 131-132
- HAZLEWOOD, G.P. und R.M.C. DAWSON (1975): Isolation and properties of a phospholipid-hydrolysing bacterium from ovine rumen fluid. *J. gen. Microbiol.* 89, 163-174
- HELMUT, F., U. ERBERSDOBLER und E.A. TRAUTWEIN (1994): 2. Jenaer Rapstag Heft 11, 102-110
- HENDERSON, C. (1973): The effects of fatty acids on pure cultures of rumen bacteria. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 81: 107-112
- HENKEL, H. (1996): Beim Toasten in Ölmühlen werden Glucosinolate abgebaut. Zitiert nach Verband Deutscher Ölmühlen, Berlin, Februar 2002: <http://www.oelmuehlen.de>. Link Futtermittel.

- HENKEL, H. und E. KALLWEIT (1993): Ergebnisse und Untersuchungen über den Abbau der Glucosinolate bei der Rapsverarbeitung. Vortrag Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen, Bonn, 4. Okt. 1993.
- HENKEL, H. und R. MOSENTHIN (1989): Rapssaat und Rapsprodukte in der Tierernährung. Übers. Tierernährg. 17, 139-190
- HUNKATUKIA, M., K. REESE, R. PREISINGER, M. TUISKULA-HAAVISTO, S. WEIGEND, J. ROITO, A. MÄKI-TANILA und J. VILKKI (2005): Fishy taint in chicken eggs is associated within a conserved motif of the FMO3 gene. Genomics 86, 225-232.
- HORNER, J.L., C.E. COPPOCK, G.T. SCHELLING, J.M. LaBORE und D.H. NAVE (1986): Influence of niacin and whole cottonseed on intake, milk yield and composition, and systemic responses of dairy cows. J. Dairy Sci. 69, 3087-3093
- IKEBUDO, J.A., S. SOKHANSANJ, R.T. TYLER, B.J. MILNE und N.S. THAKOR (2000): Grain conditioning for dehulling of canola. Can. Agric. Eng. 42, 27-32
- IKWUEGBU, O.A. und J.D. SUTTON (1982): The effect of varying the amount of linseed oil supplementation on rumen metabolism in sheep. Br. J. Nutr. 48, 365-375
- IMMIG, I., S.J. WIRTH, G.A. WOLF und H.J. ABEL (1991): Quantifizierung der Cellulaseaktivität und Nachweis von Fettsäure-Coating-Effekten im Pansen von Schafen. J. Anim. Physiol. A. Anim. Nutr. 66, 45-52
- IP, C., S. BANNI, E. ANGIONI, G. CARTA, J. MCGINLEY, H.J. THOMPSON, D. BARBANO und D. BAUMANN (1999): Conjugated linoleic acid-enriched butter alters mammary gland morphogenesis and reduces cancer risk in rats. J. Nutr. 129, 2135-2142
- JAHREIS, G., G.H. RICHTER, H. HARTUNG, G. FLACHOWSKY und F. LÜBBE (1995): Einsatz von Rapskuchen in der Milchkuhfütterung und Einfluss auf die Milchqualität. Z. Das wirtschaftseigene Futter Band 41, Heft 1, 99-114
- JAHREIS, G., G.H. RICHTER, W. OCHRIMENKO, G. FLACHOWSKY, H. STEINHART, A. PFALZGRAF, R. und M. LEITERER (1994): Einsatz von Rapskuchen in der Milchviehfütterung und Einfluss auf die Milchqualität. 2. Jenaer Rapstag. Schriftenreihe Heft 11, 59-76
- JAHREIS, G., G.H. RICHTER, W. OCHRIMENKO, H. HARTUNG und G. BREITSCHUH (1993): Auswirkungen von Rapssaat in der Milchkuhfütterung auf die Leistung, die Inhaltsstoffe und Eigenschaften der Milch sowie Serummetaboliten. Z. Das wirtschaftseigene Futter Band 39, Heft 2, 168-179

- JAHREIS, G., H. STEINHART, A. PFALZGRAF, G. FLACHOWSKY und G. SCHÖNE (1996): Zur Wirkung von Rapsölfütterung an Milchkühe auf das Fettsäurespektrum des Butterfettes. *Ernährungswissenschaft* 35, 185-190
- JAROS, D., W. GINZINGER, E. TSCHAGER, R. LEITGEB und H. ROHM (2001): Application of oilseed feeding to reduce firmness of hard cheeses produced in the winter feeding period. *Int. Dairy J.* 11, 611-619
- JENKINS, T.C. (1993): Symposium: Advances in ruminant lipid metabolism: Lipid metabolism in the rumen *J. Dairy Sci.* 76, 3851-3863
- JENKINS, T.C. (1994): Regulation of lipid metabolism in the rumen. *J. Nutr.* 124, 1372S-1376S
- JENKINS, T.C. (1998): Fatty acid composition of milk from holstein cows fed oleamide or canola oil. *J. Dairy Sci.* 81, 794-800
- JENKINS, T.C. und B.E. JENNY (1989): Effect of hydrogenated fat on feed intake, nutrient digestion, and lactation performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72, 2316-2324
- JENKINS, T.C. und B.E. JENNY (1992): Nutrient digestion and lactating performance of dairy cows fed combinations of prilled fat and canola oil. *J. Dairy Sci.* 75, 796-803
- JENKINS, T.C. und M.A. McGUIRE (2006). Major advances in nutrition: Impact on milk composition. *J. Dairy Sci.* 89, 1302-1310
- JENKINS, T. C. und D. L. PALMQUIST (1982): Effect of added fat calcium on in vitro formation of insoluble fatty acids soaps and cell wall digestibility. *J. Anim. Sci.* 55, No 4, 957-963
- JENKINS, T. C. und D.L. PALMQUIST (1984): Effect of fatty acids or calcium soaps on rumen and total nutrient digestibility of dairy rations. *J. Dairy Sci.* 67, 978-986
- JENTSCH, W., H. WITTENBURG und R. SCHIEMANN (1972): Die Verwertung der Futterenergie für die Milchproduktion. 4. Mitteilung: Untersuchungen über die Verwertung der Futterenergie bei Rapsöleinsatz. *Arch. Tierernährg.*, 22,697-720
- JEROCH, H., G. FLACHOWSKY und F. WEISSBACH (Hrsg.) (1993): *Futtermittelkunde*. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart
- JEROCH, H., J. JANKOWSKI und F. SCHÖNE (2008 b): Rapsfuttermittel in der Broiler- und Legehennenfütterung. *Arch. Geflügelk.* 72, (2), 49-55
- JEROCH, H., F. SCHÖNE und J. JANKOWSKI (2008 a): Inhaltsstoffe von Rapsfuttermitteln und Futterwert für das Geflügel. *Arch. Geflügelk.* 72 (1), 8-18
- JILG, T., K.P. AIPLE und H. STEINGASS (1988): Fettstoffwechsel und Wirkungen von Futterfetten beim Wiederkäuer. *Übers. Tierernährg.* 16, 109-152

- JILG, T. und W. MÜLLER (1993): Einsatz von Rapssaat in der Milchviehfütterung. Staatl. Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft, Aulendorf, Nr. 3
- JILG, T., A. SUSENBETH, H. STEINGASS und K.H. MENKE (1986): Wirkungen unterschiedlich behandelter Sojavollbohnen und Sojaextraktionsschrote auf den Energie- und Proteinstoffwechsel sowie auf die Pansengärung und Milchezusammensetzung bei Kühen. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 56, 149-150
- JOHANNSON, B. und E. NADEAU (2006): Performance of dairy cows fed an entirely organic diet containing cold-pressed rapeseed cake. *Acta Agriculturae Scand Section A* 56, 128-136
- JOSEFSSON, M., T. GRUNDITZ, T. OHLSSON und E. EKBLAD (2002): Sodium/iodide-symporter: distribution in different mammals and role in entero-thyroid circulation of iodide. *Acta Phys. Scand.* 175 (2), 129-137
- KABARA, J. J. (1984): Antimicrobial agents derived from fatty acids. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 61, 397-403
- KAO, B.T., K.A. LEWIS, E.J. DePETERS und A.L. VAN EENENNAAM (2006): Endogenous production and elevated levels of long-chain ω -3 fatty acids in the milk of transgenic mice. *J. Dairy Sci.* 89, 3195-3201
- KAY, J.K., T.R. MACKLE, M.J. AULDIST, N.A., THOMSON und D.E. BAUMAN (2004): Endogenous synthesis of cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid in dairy cows fed fresh pasture. *J. Dairy Sci.* 87, 369-378
- KEMP, P., D. J. LANDER und R. T. HOLMAN (1984 b): The hydrogenation of the series of methylene interrupted cis, cis-octadecenoic acids by pure cultures of six rumen bacteria. *Br. J. Nutr.* 52, 171-177
- KENNELLY, J.J. und A.B. Bell (2007): Conjugated linoleic acid: Incorporation into bovine milk fat and effects on human health. http://www.feedenergy.com/Conjugated_Linoleic_Acid.pdf: 1-14 [Stand: 31.03.09]
- KENNEDY, A.D., F.R. TEKPETEY, J.R. INGALS und W.M. PALMER (1987): Effect of stage of lactation and diet on serum insulin level and mononuclear leukocyte insulin receptor characteristics in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 67,721-733
- KHORASANI, G.R., P.H. ROBINSON, G. DE BOER und J.J. KENNELLY (1991): Influence of canola fat on yield, fat percentage, fatty acid profile and nitrogen fractions in Holstein milk. *J. Dairy Sci.* 74, 1904-1911

- KIM, Y.K., D.J. SCHINGOETHE, D.P. CASPER und F.C. LUDENS (1989): Lactational response of dairy cows to diets containing increased amounts of crude protein with increased amounts of energy from added fat. *J. Anim. Sci.* 67 (Suppl. 1), 548
- KIRCHGESSNER, M., W.K. HEIMBECK und F.J. SCHWARZ (1989): Schaf und rind als Versuchstiere zur Bestimmung der Nährstoffverdaulichkeit von Maissilage mit steigendem Ganzkornanteil. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 61, 111-119
- KRZYMANSKA, J., E. LISIECKA und D. NAWROT (1997): The content and composition of glucosinolates in genetically different varieties of Oilseed Rape (*Brassica napus L.*). *Journal of Plant Protection Research* 37, (1-2), 104-108
- KUDRNA, V. und M. MAROUNEK (2006): The influence of feeding rapeseed cake and extruded soyabean on the performance of lactating cows and the fatty acid pattern of milk. *J. Anim. Feed Sci.* 15,361-370
- KUDRNA, V. und M. MAROUNEK (2008): Influence of feeding whole sunflower seed and extruded linseed on production of dairy cows, rumen and plasma constituents, and fatty acid composition of milk. *Arch. Anim. Nutr.* 62, 60-69
- LAARVELD, B., D.A. CHRISTENSEN und R.P. BOCKMAN (1981): The effect of insulin on net metabolism of glucose and amino acids by the bovine mammary gland. *Endocrinol.* 108, 2217-2221
- LARSON, S.A. und L.H. SCHULTZ (1970): Effect of soybeans compared to soybean-oil and meal in the ration of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 53, 1233-1240
- LEE, K.N., D. KRITCHEVSKY und M.W. PARIZA (1994): Conjugated linoleic acid and atherosclerosis in rabbits. *Atherosclerosis* 108, 9-25
- LEITERER, M., D. TRUCKENBRODT und K. FRANKE (2001): Determination of iodine species in milk using ion chromatographic separation and ICP-MS detection. *Eur. Food Res. Technol.* 213, 150-153
- LEVER, J.R. (1995): Radioionated compounds. In: Wagner HN, Szabo Z., Buchanan J.W. (eds.). *Principles of nuclear medicine*. WB Saunders, Philadelphia, 199-202
- LIERMANN, T. (2008): Einfluss einer Zulage von pansengeschützter konjugierter Linolsäure (CLA) in Kombination mit Propylenglykol oder pansengeschütztem Fett auf Leistungsmerkmale, Stoffwechselfparameter und den Energiestatus frischlaktierender Milchkühe. Diss., TU München, 166 S.
- LKV Rheinland-Pfalz (2008): Skalar-Methode, Analyse: Harnstoff; Messbereich: 10 – 500 ppm CH₄N₂O; Matrix : Milch. Persönliches Infomaterial., 1-6

- Leitfaden zur Routinemessung von Milchinhaltsstoffen mit dem Infrarot-Gerät.
Persönliches Infomaterial., 1-9
- LUDWIG, E. (1996): Aminosäuren, Peptide, Proteine. In: C. FRANZKE (Hrsg.):
Allgemeines Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Behr's Verlag, Hamburg, 9-56
- LÜDKE, H., F. SCHÖNE, und A. HENNIG (1985): Der Einfluss von Jod-, Kupfer- und
Zink-Zulagen zu Rationen mit hohem Rapsextraktionsschrotanteil auf Wachstum und
Schilddrüsenfunktion des Mastschweines. 1. Mitt.: Einfluss auf die Mastleistung. Arch.
Anim. Nutr. 35, 835-845
- LÜHS, W., R. BAETZEL und W. FRIEDT (2001): Züchtung gelbsamiger Rapsformen. Raps
19, 210-212
- MACZULAK, A.E., B.A. DEHORITY und D.L. PALMQUIST (1981): Effects of long-chain
fatty acids on growth of rumen bacteria. Appl. Environ. Microbiol. 42, 856
- MANSBRIDGE, R.J. und J.S. BLAKE (1997): Nutritional factors affecting the fatty acid
composition of bovine milk. Brit. J. Nutr. 78, Suppl. 1, 37-47
- MARGARIDA R.G.M, L.C. MAIA, L. FIGUERES und R.J. WALLACE (2007): Metabolism
of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. Antonie
van Leeuwenhoek 91, 303-314
- MASON, S. (2001): Manipulating milk composition. ProLivestock. www.afns.ualberta.ca.
- MATTOS, W. und D.L. PALMQUIST (1974): Increased polyunsaturated fatty acids yields in
milk of cows fed protected fat. J. Dairy Sci. 57, 1050-1054
- McKINNON, P.J. und J.P. BOWLAND (1977): Comparison of low glucosinolate – low
erucic acid rapeseed meal (cv. Tower), commercial rapeseed meal and soybean meal as
sources of protein for starting, growing and finishing pigs and young rats. Can. J. Anim.
Sci. 57, 663-678
- McLEOD, G.K. und A.S. WOOD (1972): Influence of amount and degree of saturation of
dietary fat on yield and quality of milk. J. Dairy Sci. 55, 439-445
- McNAMEE, B.F., A.M. FEARON und J. PEARCE (2002): Effect of feeding oilseed
supplements to dairy cows on ruminal and milk fatty acid composition. J. Sci. Food Agr.
82, 677-684
- MEPHAM, T.B. (1982): Amino acid utilization by lactating mammary gland. J. Dairy Sci. 65,
287-298
- MIELKE C.D. und D.J. SCHINGOETHE (1981): Heat-treated soybeans for lactating cows. J.
Dairy Sci. 64, 1579-1585

- MOHAMED, O.E., L.D. SATTER, R.R. GRUMMER und F.R. EHLE (1988): Influence of dietary cottonseed and soybean on milk production and composition. *J. Dairy Sci.* 71, 2677-2688
- MOORE, J.H. und W.W. CHRISTIE (1984): Digestion, absorption and transport of fats in ruminant animals. In: *Fats in animal nutrition*, (ed. J. Wiseman). London, Butterworths, 123-149
- MOSLEY S.A., E.E. MOSLEY, B. HATCH, J.I. SZASZ, A. CAROTO, N. ZACHARIAS, D. HOWES und M.A. McGUIRE (2007): Effect of varying levels of fatty acids from palm oil on feed intake and milk production in holstein cows. *J. Dairy Sci.* 90, 987-993
- MURPHY, J.J., P.A. GLEESON und G.P. MCNEILL (1986): Oil seeds for dairy cows. Softer fat for softer butter. *Farm and Food Research* 17, 190-192
- MURPHY, M., P. UDEN, D.L. PALMQUIST und H. WIKTORSSON (1987): Rumen and total diet digestibilities in lactating cows fed diets containing fullfat rapeseed. *J. Dairy Sci.* 70, 1572-1582
- MÄNNER, K. (2002): Einsatz geschützter Fette bei Kühen mit hoher Leistung. In: *Tagungsbericht 2002 über das 6. Symposium zu fragen der Fütterung von Kühen mit hohen Leistungen am 01.02.2002 in Neuruppin.* 36-49
- MÜNCH, E. (2003): Rapssaatverarbeitung in den Ölmühlen – Einflussmöglichkeiten auf die Qualität des Schrotes. UFOP Statusseminar „Glucosinolate in Raps und Rapsfuttermitteln“. Berlin, 27. Mai (www.ufpo.de)
- NICHOLSON, T. und S.A. OMER (1983): The inhibitory effect of intestinal infusions of unsaturated long-chain fatty acids on forestomach motility of sheep. *Br. J. Nutr.* 50, 141-149
- NICOLOSI, R.J, K. V. COURTEMANCE, L. LAITINEN, J. A. SCIMECA und P. J. HUTH (1993): Effects of feeding diets enriched in conjugated linoleic acid on lipoproteins and aortic atherogenesis in hamsters. *Circulation* 88 (Suppl.), 1-457 (Abstract)
- O'DONNELL, J.A. (1993): Future of milk fat modification by production or processing: Integration of nutrition, food science and animal science. *J. Dairy Sci.* 76, 1797-1801
- OETZEL, G. (2002): The dietary cation-anion difference concept in dairy cattle nutrition. *World Buiatrics Congress*, 198-208
- ORTH, A., W. Kaufmann und K. ROHR (1966): Beitrag zur Frage des Einflusses höherer und verschiedenartiger Fettgaben auf die Leistung von Milchkühen und die Verdauungsvorgänge im Pansen. *Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelkunde* 21, 83-96

- PALMQUIST, D.L. (1984): Use of fats in diets of lactating dairy cows. In: Fats in animal nutrition, (ed. J. Wiseman). London, Butterworths, 357-381
- PALMQUIST, D.L., A.D. BEAULIEU und D.M. BARBANO (1993): Feed and animal factors influencing milk fat composition. *J. Dairy Sci.* 76, 1753-1771
- PALMQUIST, D.L. und H.R. CONRAD (1980): High fat rations for dairy cows: tallow and hydrolyzed blended fat at two intakes. *J. Dairy Sci.* 63, 391-395
- PALMQUIST, D. L. und T. C. JENKINS (1980): Fat in lactation rations: review. *J. Dairy Sci.* 63, 1-14
- PALMQUIST und MOSER (1981): Dietary fat effects on blood insulin, glucose utilisation, and milk protein content of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 64, 1664-1670
- PAN, Y.S., L.J. COOK und T.W. SCOTT (1972): Formaldehyde-treated casein-safflower oil supplement for dairy cows. I. Effect on milk composition. *J. Dairy Res.* 39, 203-210
- PAPAS, A., J.R. INGALLS und L.D. CAMPBELL (1979): Studies on the effects of rapeseed meal on thyroid status of cattle, glucosinolate and iodine content of milk and other parameters. *J. Nutr.* 109, 1129-1139
- PARIZA, M.W. (1999): The biological activities of conjugated linoleic acid. In: *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*, (M.P. Yurawecz, M.M. Mossoba, J.K.G. Kramer, M.W. Pariza und G.J. Nelson, eds.), AOCS Press, Champaign, IL. Vol. 1: 12-20
- PARK, Y. und M.W. PARIZA (2007): Mechanisms of body fat modulation by conjugated linoleic acid (CLA). *Food Research International* 40, 311-323
- PARODI, P. W. (1997): Cow`s milk fat components as potential anticarcinogenic agents. *J. Nutr.* 127, 1055-1060
- PARODI, P. W. (1999): Conjugated linoleic acid and other anticarcinogenic agents of bovine milk fat. *J. Dairy Sci.* 82, 1339-1349
- PARODI, P.W. (2002) : Health benefits of conjugated linoleic acid. *Food Industry J.* 5, 222-259
- PARRY, R.M. JR, J. SAMPUGNA und R.G. JENSEN (1964): Effect of feeding safflower oil on the fatty acid composition of milk. *J. Dairy Sci.* 47, 37-40
- PERRY, F.G und G.K. McLEOD (1968): Effects of feeding raw soyabeans on rumen metabolism and mik composition of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 51, 1233-1238
- PHILPCZYK, D. (1990): Einfluss der Menge und Behandlung von Rapssaat auf die Grundfutteraufnahme und Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe sowie die Milchleistung und –zusammensetzung bei Milchkühen. Dissertation Christians-Albrechts-Universität zu Kiel, 116 S.

- POTTGÜTER, R. (2006): New prospects for using rape seed (canola) in layer rations. Lohmann Information 41, 51-56.
- PSZCZOLA, D.E., F. KATZ und J. GIESE (2000): Research trends in healthful foods. Food Technol. 54, 45-52
- ROBERFROID, M. (1999): Concepts in functional foods: The case of insulin and oligofructose. J. Nutr. 129, 1398S-1401S
- ROHR, K., R. DAENICKE und H.J. OSLAGE (1978): Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Fettbeimischungen zum Futter auf Stoffwechsel und Leistung von Milchkühen. Landbauforsch. Völkenrode 28, 139-150
- ROHR, K. und M. OKUBO (1968): Über den Einfluss höherer Mengen an Kokos- und Palmkernfett auf die Leistung von Milchkühen. Milchwissenschaft 23, 608-614
- RÖHRMOSER, G., C. RINDLE und J. ZWICKL (1991): 00-Rapskuchen aus der Rapsölgewinnung im Milchviehfutter. 103. VDLUFA Kongress, Kurzfassung der Referate Nr.131
- ROTHE, R., H. HARTUNG, G. MARKS, H. BERGMANN, R. GÖTZ und F. SCHÖNE (2004): Glucosinolate contents in vegetative tissues of winter rape cultivars. J. Appl. Bot. 78, 41-47
- ROUGHAN, P.G. und R.D. BATT (1969): The glycerolipid composition of leaves. Phytochemistry 8, 363-369
- RULQUIN, H. (1986): Utilisation des produits terminaux de la digestion par la mamelle chez la vache laitière. Reprod. Nutr. Dev. 26, 583-588
- SALMERON, J., F.B. HU, J.E. MANSON, M. J. STAMPFER, G.A. COLITZ, E.B. RIMM und W.C. WILLETT (2001) : Dietary fat intake and risk of type 2 diabetes in women. Am. J. Clin. Nutr. 73, 1019-1026
- SAUERMAN, W. und J. GRONOW, (2001): Bundes- und EU- Sortenversuch Winterraps 1999/2000. UFOP-Schriften Heft 16, 11-42
- SCHAUFF, D.J., J.P. ELLIOTT, J.H. CLARK und J.K. DRACKLEY (1992): Effects of feeding lactating dairy cows diets containing whole soybeans and tallow. J. Dairy Sci. 75, 1923-1935
- SCHOLZ, H., T. FISCHER, T. DÖHLER und T. ENGELHARD (2010): Einfluss der Zusammensetzung und unterschiedlicher Gehaltswerte von Futtermitteln auf die NSBA im Harn laktierender Milchkühe. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 44-48
- SCHÖNE, F. (1995): Glucosinolatoleranz der Nutztiere. Kraftfutter 6, 244-247

- SCHÖNE, F. (1998): Rapssaat und Rapsprodukte im Nahrungsbereich und als Futtermittel – Qualitätssicherung und Entwicklung am Beispiel Thüringen. Berichte über Landwirtschaft 76, 441-457
- SCHÖNE, F. (1999): Futterwert und Preis von Pressrückständen/Expellern der Ölsaatenverarbeitung. 2. Fachseminar „Dezentrale Gewinnung und Verwertung von Pflanzenöl“. Gemeinnützige Bildungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH „Schiebener Land“, Hohenbucko, 65-85
- SCHÖNE, F., D. GEINITZ, H. LÜDKE, G. RICHTER und A. HENNIG (1989): Einfluss der Verabreichung von Rapsextraktionsschroten mit unterschiedlichem Thyreostatikaanteil auf den Vitamin-A-Status des wachsenden Schweines unter Berücksichtigung der Jodversorgung. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 61, 57-67
- SCHÖNE, F., B. GROPPPEL, A. HENNIG, G. JAHREIS und R. LANGE (1997 a): Rapeseedmeals, methimazole, thiocyanate and iodine affect growth and thyroid. Investigations into glucosinolate tolerance in the pig. J. Sci. Food, Agric. Elsevier 74, 69-80
- SCHÖNE, F., K. HUMMERT, H. HARTUNG, B. MEIXNER, U. KIRCHHEIM, A. GREILING und G. BREITSCHUH (2000): Qualitätskette zur Erzeugung eines ernährungsphysiologisch hochwertigen Milchfettes und der entsprechenden Butter. Züchtungskunde 72, 359-370
- SCHÖNE, F., G. JAHREIS, R. LANGE, W. SEFFNER, B. GROPPPEL, A. HENNIG und H. LÜDKE (1990 b): Effect of varying glucosinolate and iodine intake via rapeseed meal diets on serum thyroid hormone level and total iodine in the thyroid in growing pigs. Endocrinologia Experimentalis 24, 415-427
- SCHÖNE, F., M. LEITERER, P. LEBZIEN, D. BEMMANN, M. SPOLDERS und G. FLACHOWSKY (2009): Iodine concentration of milk in a dose-response study with dairy cows and implications for consumer iodine intake. J. Trace Elements Med Biol., doi:10.1016/j.jtemb.2009.02.004
- SCHÖNE, F. und RAJENDRAM R. (2009): Iodine in farm animals. In: V.R. Preedy, G.N. Burrow und R.R. Watson (eds.). Comprehensive Handbook of Iodine. Nutritional, Biochemical, Pathological and Therapeutic Aspects, 151-170
- SCHÖNE, F. und G. REINHOLD (2005): Verwendungsmöglichkeiten der Presskuchen. In: Dezentrale Ölsaatenverarbeitung, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) Darmstadt, Schrift 427, 85-100

- SCHÖNE, F., F. TISCHENDORF, U. KIRCHHEIM, W. REICHARDT und J. BARGHOLZ (2002): Effects of high fat rapeseed press cake on growth, carcass, meat quality and body fat composition of leaner and fatter pig crossbreeds. *Animal Science* 74, 285-297
- SCHÖNE, F., F. TISCHENDORF, M. LEITERER, H. HARTUNG und J. BARGHOLZ (2001): Effects of rapeseed-press cake glucosinolates and iodine on the performance, the thyroid gland and the liver vitamin A status of pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 55, 333-350
- SCHUMANN, W. (2005): Untersuchungen zum Glucosinolatgehalt von in Deutschland erzeugten und verarbeiteten Rapssaaten und Rapsfuttermitteln. *UFOP-Schriften*, Heft 27, 69 S.
- SCHUMANN, W. und T. GRAF (2005): Anforderungen an die Rapssaat im Hinblick auf Qualitätsoptimierung. In: *Dezentrale Ölsaatenverarbeitung*, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) Darmstadt, Schrift 427, 21-30
- SCHUMANN, W. und R.-R. SCHULZ (2000): Entwicklung des Glucosinolatgehaltes in Raps-Handelspartien. *Raps* 18, 202-205
- SCHWARZ, F.J. und M. KIRCHGESSNER (1989): Verfütterung von Samen verschiedener Leguminosen (Ackerbohne, Erbse, Lupine) und Rapsextraktionsschrot aus 0- und 00-Sorten in der Bullenmast. *Züchtungskunde* 61, 71-82
- SILVER, A.J. (1962): The thyroid gland and radioactive iodine. In: Wagner HN, Szabo Z., BUCHANAN J.W. (eds.). *Radioactive isotopes in medicine and biology Vol 1 Medicine*. Lea & Febiger, Philadelphia, 15-29
- SMITH, N.E., L.S. COLLAR, D.L. BATH, W.L. DUNKLEY und A.A. FRANKE (1981): Digestibility and effects of whole cottonseed fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 64, 2209-2215
- SMITH, N. E., W. L. DUNKLEY und A. A. FRANKE (1978): Effects of feeding protected tallow to dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 61, 747-756
- SPIEKERS, H. und V. POTTHAST (2004): Futtermittel – Bewertung und Beschreibung In: *Erfolgreiche Milchviehfütterung*, 86-88
- SPIEKERS, H. und K.-H. SÜDEKUM (2004): Einsatz von 00-Rapsextraktionsschrot beim Wiederkäuer. *UFOP-Praxisinformation*, Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V., Berlin
- SPITZWEG C. und J.C. MORRIS (2002): The sodium iodide symporter: its physiological and therapeutic implications. *Clinical Endocrinology* 57, 559-574

- STANTON, C. (2000): "CLA: A Health-Promoting component of animal and milk fat. End of project report." The Dairy Products Research Centre Moorepark, Fermoy, Co. Cork. DPRC No. 26, 1-13
- STAUFENBIEL, R. (1997): Konditionsbeurteilung von Milchkühen mit Hilfe der sonographischen Rückenfettdickenmessung. *Prakt. Tierarzt, Coll. Vet.* 27, 87-92
- STAUFENBIEL R., GELFEERT, C.C. und LÖPTIEN, A. (2004): Labordiagnostische Überwachung von Anionenrationen in der Prophylaxe der subklinischen Hypokalzämie und der Gebärpause der Milchkuh. 29. Fortbildungsveranstaltung für Klinische Labordiagnostik, Leipzig. 18.06.2004
- STEELE, W. (1984): Lipid supplementation of dairy cow diets. *J. Dairy Sci.* 67, 1716-1724
- STEELE, W. und J.H. MOORE (1968 a): The effect of mono-unsaturated fatty acids in the diet on milk-fat secretion in the cow. *J. Dairy Res.* 35, 353-360
- STEELE, W. und J.H. MOORE (1968 c): Further studies on the effects of dietary cottonseed oil on milk-fat secretion in the cow. *J. Dairy Res.* 35, 343-352
- STEELE, W., R.C. NOBLE und J.H. MOORE (1971 a): The effects of 2 methods of incorporating soybean oil into the diet on milk yield and composition in the cow. *J. Dairy Res.* 38, 43-48
- STEINGASS, H., A. HAAS, R. STETTER, T. JILG und A. SUSENBETH (1994): *Z: Das Wirtschaftfeigene Futter* Band 40, Heft 2 + 3, 215-228
- STOLL, W., H. SOLLBERGER, M. COLLOMB und W. SCHAEREN (2003): Raps- und Leinsamen sowie Sonnenblumenkerne in der Milchviehfütterung. *AGRAR Forschung* 10 (9): 354-359
- STOLL, W., H. SOLLBERGER und W. SCHAEREN (2001):
Rapssamen in der Milchviehfütterung. *Agrarforschung* 8, 426-431
- STORRY, J.E. (1970): Reviews of the progress of dairy science, Section A, Physiology. Ruminant metabolism in relation to the synthesis and secretion of milk fat. *J. Dairy Res.* 37, 139-164
- STORRY, J.E. (1981): The effect of dietary fat on milk composition. In: *Recent advances in animal nutrition* (W. HARESIGN ed.). Butterworths, London, 3-33
- STORRY, J.E., P.E. BRUMBY, A.J. HALL and V.W. JOHNSON (1974): Response of the lactating cow to different methods of incorporating casein and coconut oil in the diet. *J. Dairy Sci.* 57, 61-67

- SÜDEKUM, K.-H. (2002): Qualitätskriterien für Rapsprodukte als Futtermittel. Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel. Heft 95, 211-219
- SUTTON, D.J., R. KNIGHT, A.B. McALLAN und R.H. SMITH (1983): Digestion and synthesis in the rumen of sheep given diets supplemented with free and protected oils. Br. J. Nutr. 49, 419-432
- SZUMACHER-STRABEL, M., A. CIESLAK, A. NOWAKOWSKA und A. POTKANSKI (2008): The effect of rapeseed oil and a combination of linseed and fish oils in the diets for sheep on milk fatty acid profile. Züchtungskunde 80, 412-419
- TAYARANIAN, H.R. (1991): Entwicklung eines technischen Verfahrens zur Reduktion von unerwünschten Stoffen (Sinapin u. Glucosinolate) in Rapsaaten und Rapsprodukten der 00-Qualität. Diss. sc. agr., Christian-Albrechts-Universität, Kiel, 108 S.
- THOMAS, P.C. (1983): Milk protein. Proc. Nutr. Soc. 42, 407-418
- TYBURCZY, C., A.L. LOCK, D.A. DWYER, F. DESTAILLATS, Z. MOULOINGUI, L. CANDY und D.E. BAUMAN (2008): Uptake and utilization of trans octadecenoic acids in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 91, 3850-3861
- UFOP (2009): http://www.ufop.de/presse_grafiken_agrar.php (Stand: 12.12.2009)
- UNIVERSITÄT HOHENHEIM – DOKUMENTATIONSSTELLE (Hrsg.) (1991): DLG-Futterwerttabellen Schweine, DLG-Verlag, Frankfurt a. Main
- UNIVERSITÄT HOHENHEIM – DOKUMENTATIONSSTELLE (Hrsg.) (1997): DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer, DLG-Verlag, Frankfurt a. Main
- VAN DER HONING, Y., B.J. WIEMAN, A. STEG und B. VAN DOESELAAR (1981): The effect of fat supplementation of concentrates on digestion and utilisation of energy by productive dairy cows. Neth. J. Agric. Sci. 29, 79-92
- VAN NEVEL, C. und D.I. DEMEYER (1995): Lipolysis and biohydrogenation of soybean oil in vitro: Inhibition by antimicrobials. J. Dairy Sci. 78, 2797-2806
- VDLUFA (2003): Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Methodenbuch Band VII Umweltanalytik. 2. Auflage, Methode 2.2.2.3.: Bestimmung des Gehaltes an extrahierbarem Jod in Futtermitteln mittels ICP-MS. VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- VDLUFA (2007): Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische

- Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl. inkl. 1. – 7. Ergänzungslieferung. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- WAHLE, K.W.J., S.D. HEYS und D. ROTONDO (2004): Conjugated linoleic acids: are they beneficial or detrimental to health? *Progress in Lipid Research* 43, 553-587
- WALL,R.J., D.E. KERR, und K.R. BONDIOLI (1997): Transgenic dairy cattle: Genetic engineering on a large scale. *J. Dairy Sci.* 80, 2213-2224
- WARD, A.T., K.M. WITTENBERG und R. PRZYBYLSKI (2002): Bovine milk fatty acid profiles produced by feeding diets containing solin, flax and canola. *J. Dairy Sci.* 85, 1191-1196
- WEISS, J. (2006): Rapskuchen in der Milchviehfütterung. *Veredlungsproduktion* 1/2006, 10-11
- WEISS, J. und SCHÖNE, F. (2006): UFOP – Praxisinformationen, Rapskuchen in der Schweinefütterung.
- WERTEKER, M. und G. KRAMREITHER (2002): Sorten- und Umwelteinflüsse auf das Glucosinolspektrum von Körnerraps. *Bodenkultur* 53, 153-160
- WEST, J.W., K.D. HAYDON, B.G. MULLINIX und T.G. SANDIFER (1992): Dietary cation-anion balance and cation source effects on production and acid-base status of heat-stressed cows. *J. Dairy Sci.* 75, 2776-2786
- WHIGHAM, L.D., M.E. COOK und R.L. ATKINSON (2000): Conjugated linoleic acid: Implications for human health. *Pharmacol. Res. Vet. Sci.* 42, 503-510
- WHITE, B.G., J.R. INGALLS und H.R. SHARMA (1987a): The addition of whole sunflower seeds and sodium bicarbonate to fat depressing diets for lactating cows. *Can. J. Anim. Sci.* 67, 437-445
- WU, Z. und J.T. HUBER (1994): Relationship between dietary fat supplementation and milk protein concentration in lactating cows: A review. *Livestock Prod. Sci.* 39, 141-155
- WU, Z., O. A. OHAJURUKA und D. L. PALMQUIST (1991): Ruminal synthesis, biohydrogenation, and digestibility of fatty acids by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74, 3025-3034
- WU, Z. und D.L. PALMQUIST (1991): Synthesis and biohydrogenation of fatty acids by ruminal microorganisms in vitro. *J. Dairy Sci.* 74, 3035-3046
- ZECH, K. (1993): Auswirkungen von Kraftfuttergaben mit hohem Anteil an Rapsextraktionsschrot (30 % 00-Raps) auf den Stoffwechsel und die Fruchtbarkeit von Milchkühen. *Diss. Tierärztl. Hochschule Hannover*
- ZMP (2009): Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle. <http://www.zmp.de/agrarmarkt/>

ackerbau.asp. [Stand: 06.04.09]

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben danken.

Mein besonderer Dank gilt dem Bezirksverband Pfalz, mit dessen finanzieller Unterstützung mir die Möglichkeit zur Promotion sowie zum Berufseinstieg in einem praxis- und wissenschaftlich orientierten Unternehmen, der Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung, Hofgut Neumühle eröffnet wurde.

Ich danke ganz ausdrücklich dem Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Westpfalz für die Finanzierung des Versuchsvorhabens.

Von Herzen möchte ich Herrn Prof. Dr. Karl-Heinz Südekum für die Überlassung des interessanten Themas und die immer gewährte Unterstützung sowie Diskussionen danken. Danke für die freundschaftliche Aufnahme als externer Doktorand im Institut für Tierwissenschaften, Abteilung Tierernährung der Universität Bonn.

Danken möchte ich auch Frau Prof. Dr. Dr. Helga Sauerwein für die Übernahme des Korreferates.

Besonderer Dank gilt Herrn Dr. Karl Landfried für den Einsatz zur Etablierung einer finanzierten Doktorandenstelle an der Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung, Hofgut Neumühle. Danke für die vielen hilfreichen Diskussionen und Anregungen zur Fertigstellung der Arbeit.

Herzlichster Dank gilt Herrn Dr. Franz-Josef Romberg vom DLR Westpfalz für die tatkräftige Unterstützung bei der statistischen Auswertung sowie Herrn Dr. Herbert Steingaß vom Institut für Tierernährung der Universität Hohenheim, bei der Analyse der Milchfettzusammensetzung, *in situ*, *in vivo* Untersuchungen sowie den vielen fachlichen Diskussionen und Anregungen.

Besonderer Dank gilt Frau Annette Menke und Herrn Dr. Martin Pries von der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen und den Hammeln aus Haus Riswick sowie

von Herzen Herrn Ludger Steevens für die praktische Durchführung der Energetischen Futterwertprüfung des Rapskuchens.

Weiterhin möchte ich mich ganz besonders bei Herrn Dr. habil. Friedrich Schöne von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft in Jena für die Analysen zum Jodstatus der Kühe sowie die konstruktive Kritik bedanken.

Herzlicher Dank gilt Herrn Dr. Jochen Kühl von der LUFA Speyer für die Analysen der Futtermittel sowie Sonderwünsche meinerseits und die konstruktiven Anregungen und fachlichen Diskussionen.

Der Union zur Förderung der Öl- und Proteinpflanzen gilt mein herzlichster Dank für die gewährte finanzielle Unterstützung.

Den Mitarbeitern der Lehrwerkstätte Milchviehhaltung gilt ebenfalls besonderer Dank für die exakte praktische Durchführung des Fütterungsversuches.

Meinen Eltern möchte ich an dieser Stelle von ganzem Herzen für die Ermöglichung meiner Ausbildung bis hin zur Promotion und für die uneingeschränkte und immer gewährte Unterstützung danken.

Liebe Marina und lieber Linus! Herzlichen Dank für die tolle Unterstützung und Aufbauarbeit in zweifelnden Momenten. Danke für die vielen Entbehrungen während der Entstehung der Arbeit.

