

ZUR EFFIZIENZ DES KRAFTFUTTEREINSATZES IN DER MILCHVIEHFÜTTERUNG – EINE ÜBERSICHT

Leonhard GRUBER¹

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Übersichtsarbeit wird der Einfluss der Kraftfuttermenge auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen auf Basis einer zusammenfassenden Auswertung von Fütterungsversuchen in Gumpenstein und auf der Grundlage von Literaturarbeiten (Faverdin et al. 1991, Coulon & Remond 1991) diskutiert. Aus dem Gumpensteiner Datenmaterial kamen 8 Versuche zur Auswertung, mit 39 Datensätzen unterschiedlichen Kraftfutterniveaus (z.T. auch ohne Kraftfutter). Da die Wirkung des Kraftfutters auf die Milchleistung von der Dauer der Fütterung abhängt (Coulon & Remond 1991), wird zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Versuchen unterschieden. Die durchschnittliche Versuchsdauer betrug in diesen drei Kategorien 19, 95 bzw. 305 Tage. Im Durchschnitt repräsentiert ein Gruppenmittelwert (= Datensatz) 23,3 (9 – 64) Tiere.

Mit steigender Kraftfuttermenge ging die Aufnahme an Grundfutter zurück, und zwar im Ausmaß von 0,51 kg TM pro kg TM Kraftfutter (sog. Grundfutterminderung). Die Ursachen für diesen Rückgang der Grundfuttermenge liegen einerseits in der erhöhten Säureproduktion aus der Fermentation der Nichtfaser-Kohlenhydrate des Kraftfutters, welche besonders die auf den Abbau der Gerüstsubstanzen spezialisierten Pansenmikroben schädigt und damit sowohl die Verdaulichkeit als auch die Futteraufnahme des Grundfutters vermindert. Andererseits steigt mit der Kraftfuttermenge auch der Energieversorgungsgrad des Wirtstieres. Bei einer über dem Bedarf liegenden Energieaufnahme tritt verstärkt die physiologische Regulation der Futteraufnahme in Kraft, da die Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Energiebilanz das oberste Regulationsprinzip der Futteraufnahmesteuerung darstellt (Wangness & Muller 1981, Faverdin et al. 1991, Mertens 1994, Gruber et al. 2004). Analog zur Grundfuttermenge ging auch die aus dem Grundfutter mögliche Milchleistung zurück, und zwar im Ausmaß von 0,93 kg ECM. Auf Grund der durch 1 kg TM Kraftfutter um 5,17 MJ NEL erhöhten Energieversorgung lässt sich eine (theoretische) Steigerung der Milchleistung um 1,63 kg ECM ableiten. In der tatsächlich erzielten Steigerung der Milchleistung durch Kraftfutter zeigten sich allerdings sehr große Unterschiede in Abhängigkeit von der Anwendungsdauer eines bestimmten Kraftfutterniveaus. Im Durchschnitt aller Versuche machte der Anstieg an tatsächlicher Milchleistung durch Kraftfutter 0,90 kg Milch bzw. 0,95 kg ECM aus. Bei kurzfristigen Versuchen stieg die Milchleistung nur um 0,45 kg an, bei mittelfristiger Anwendung um 1,07 kg und bei langfristiger Fütterung eines bestimmten Kraftfutterniveaus (über eine ganze Laktation) stieg sie um 1,34 kg ECM pro kg TM Kraftfutter. Dies kommt dem theoretisch möglichen Wert von 1,63 kg ECM nahe. Bei kurzfristiger Anwendung eines Fütterungsniveaus ist es möglich, dass Energieversorgung und Milchleistung nicht vollständig übereinstimmen, weil Kühe versuchen, ihre Milchleistung entsprechend ihrem genetischen Potenzial zu halten. Bei Unterversorgung mobilisieren sie aus den Fettreserven ihres Körpers, bei Überversorgung legen sie Körperreserven an. Wenn die Körperreserven allerdings aufgebraucht sind, wird die Milchleistung der Energieversorgung mehr oder weniger entsprechen.

Auf Grund der großen Bedeutung der Grundfutterminderung für die zu erwartende Wirkung des Kraftfutters auf die Milchleistung wird in dieser Übersichtsarbeit auch ein grundlegender

¹ Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, Gumpenstein, A-8952 Irdning, Österreich, leonhard.gruber@raumberg-gumpenstein.at, 0043 (0)3682 22451 260

Versuch von Favardin et al. (1991) diskutiert, in dem drei Hauptfaktoren der Grundfutterverdrängung untersucht wurden, nämlich die Grundfütterration (Heu, Grassilage, Maissilage), die Kraftfutterart (Stärke, hochverdauliche sowie niedrigverdauliche Faser) und das Kraftfutterniveau. Es wurden Verdrängungsraten von 0,3 bis über 0,8 kg TM pro kg TM Kraftfutter ermittelt, wobei die Energiebilanz hauptverantwortlich für das Ausmaß der Verdrängung war. Die Verdrängung war höher bei Maissilage, bei stärkereichem Kraftfutter und bei hohem Kraftfutterniveau. Die Grundfutterverdrängung ist demnach hauptsächlich über die physiologische Regulation der Futteraufnahme zu erklären.

Coulon & Remond (1991) haben eine Literaturlauswertung zum Einfluss der Energieversorgung auf die Milchleistung auf der Basis von 66 Fütterungsversuchen mit 216 Versuchsgruppen unterschiedlichen Energieniveaus durchgeführt. Auch diese Auswertung hat ergeben, dass der Einfluss der Energieversorgung signifikant von Laktationsstadium und Dauer des Futterniveaus abhängt (12 Versuche in der Frühaktation, 33 Versuche in der Mitte der Aktation, 21 langfristige Versuche). Die Daten wurden ausgewertet, indem sowohl die Unterschiede in der Energieaufnahme als auch in der Milchleistung der unter- bzw. überversorgten Gruppen auf die Normgruppe des jeweiligen Versuches bezogen wurden. Dadurch wurden Unterschiede zwischen den unter verschiedensten Bedingungen durchgeführten Versuchen weitgehend ausgeschaltet. Die Ergebnisse dieser grundlegenden Literaturlauswertung zeigen, dass die Kühe in der Frühaktation linear auf die Energieversorgung reagieren, und zwar erstaktierende Kühe in geringerem Ausmaß als Kühe in höheren Aktationen (0,73 bzw. 1,06 kg FCM pro UFL). Dagegen wirkte sich eine veränderte Energieversorgung bei Kühen in der mittleren Aktation und bei langfristiger Dauer eines Fütterungsregimes in kurvilinearier Form auf die Milchleistung aus. Bei starker Unterversorgung bewirkte eine Erhöhung der Energiezufuhr eine ausgeprägtere Steigerung der Milchleistung (1,5 bzw. 2,6 kg FCM pro UFL bei einer Unterversorgung von 3 UFL, d.h. 21,3 MJ NEL) als bei positiver Energiebilanz (0,4 bzw. 0,3 kg FCM pro UFL bei einer Überversorgung von 3 UFL, d.h. 21,3 MJ NEL). Aus energetischer Sicht bedeuten diese Zahlen, dass die Kühe in der Frühaktation nur 33 bzw. 47 % der zusätzlich zugeführten Energie in Milchenergie umgewandelt haben. Bei einer negativen Energiebilanz von 21 MJ NEL wurden in der Mittellaktation bzw. langfristig 67 bzw. 116 % der zusätzlich aufgenommenen Energie in Milchenergie umgewandelt, bei Überversorgung dagegen nur 18 bzw. 13 %. Die Auswirkungen einer Unter- bzw. Überversorgung an Energie hängen somit in hohem Maß von der Dauer des jeweiligen Fütterungsregimes ab. Diese sind schwächer bei kurzer Dauer, weil die Kühe einer Unterversorgung mit einer Mobilisation ihrer Körperreserven begegnen. Da das Mobilisationsvermögen selbstverständlich begrenzt ist, sinkt die Milchleistung langfristig entsprechend der reduzierten Energiezufuhr. Umgekehrt können Kühe eine über den Bedarf hinausgehende Energieversorgung in immer geringerem Ausmaß in Milch umwandeln, weil das genetisch verankerte Potenzial mehr und mehr ausgeschöpft ist. Eine über den Bedarf hinausgehende Energieaufnahme geht in den Körperansatz. Dies ergibt – über das ganze Spektrum des Versorgung betrachtet – den typischen Verlauf von immer geringer werdendem Anstieg der Milchleistung mit steigender Versorgung (Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses nach Mitscherlich). In der Frühaktation wirkt sich Kraftfutter in linearer Weise auf die Milchleistung aus. Bei erstaktierenden Kühen kann demnach mit 0,8 kg ECM pro kg TM Kraftfutter gerechnet werden, bei Kühen in der Folgelaktation mit 1,2 kg ECM. Mittel- und langfristig ist allerdings von einem kurvilinearen Verlauf der Kraftfutterwirkung auf die Milchleistung auszugehen. Im Falle von Unterversorgung erhöht Kraftfutter die Milchleistung langfristig stärker als bei Kühen in der Mitte der Aktation. Eine Reduktion der Kraftfuttermenge um z.B. 3 kg TM gegenüber bedarfsgerechter Ergänzung senkt die Milchleistung mittelfristig um 2,3 und langfristig um 3,4 kg ECM, die Kraftfuttermenge auf diesem Niveau der Energiebilanz steigert die Milchleistung um 1,4 bzw. 2,3 kg ECM pro kg TM. Entsprechend dem kurvilinearen

Verlauf vermindert sich die Kraftfutterwirkung mit Erhöhung der Energiebilanz. Bei positiver Energiebilanz besteht kaum ein Unterschied der Kraftfutterwirkung bei Kühen in der Mitte der Laktation und langfristig. Bei einer Überversorgung um z.B. 3 kg TM Kraftfutter ist eine um 1,4 – 1,6 kg ECM höhere Milchleistung gegenüber Normversorgung zu erwarten, eine Kraftfutttergabe an diesem Punkt der Energiebilanz erhöht die Milchleistung um etwa 0,5 kg ECM pro kg TM. Die Kraftfutterwirkung im Bereich der Normfütterung lässt eine Milchleistungssteigerung von 0,8 bzw. 1,0 kg ECM pro kg TM Kraftfutter erwarten. Mit steigendem Energieniveau geht die Kraftfutterwirkung von 2,3 auf 0,5 kg ECM pro kg TM Kraftfutter zurück, dementsprechend wird die mit dem Kraftfutter zugeführte Energie zu nahezu 100 bis nur zu 12 % in Milchenergie umgewandelt.

Als Schlussfolgerung aus der Meta-Analyse von Coulon & Remond (1991) und der zusammenfassenden Auswertung der eigenen Versuche in Gumpenstein ist abzuleiten, dass ein steigendes Energieangebot über Kraftfutter zu einer abnehmenden Steigerung der Milchleistung führt. Die Ursache dafür liegt einerseits in der sog. Grundfütterungsverdrängung. Weiters reduziert sich der tatsächliche Energiegehalt einer Ration gegenüber dem theoretischen, wenn das Futterniveau und/oder der Kraftfutteranteil ansteigen (sog. negative associative effects zwischen Grund- und Kraftfutter, INRA 1989). Andererseits kann zusätzlich zugeführte, über den Bedarf hinausgehende Energie nicht vollständig in Milchleistung umgesetzt werden, wenn das genetisch festgelegte Leistungspotenzial ausgeschöpft ist. Somit wird überschüssige Energie in verstärktem Maß als Körperansatz verwertet, was die Kraftfüttereffizienz zusätzlich vermindert. Als ganz entscheidender Einflussfaktor der Kraftfutterwirkung hat sich auch die Dauer eines Fütterungsregimes (Kraftfutterniveaus) erwiesen. Bei kurzfristiger Unterversorgung mit Kraftfutter mobilisieren Kühe ihre Körperreserven. Die dabei festgestellte, nur relativ geringe Verminderung der Milchleistung ergibt dadurch gegenüber normversorgten Tieren eine scheinbar geringe Verwertung der mit dem Kraftfutter zugeführten Energie. Nachdem das Mobilisationsvermögen (bis zum vollständigen Verbrauch der Körperreserven) zeitlich begrenzt, wird die tatsächliche Kraftfutterwirkung erst bei langfristiger Anwendung (bzw. Betrachtung) sichtbar.

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Der Begriff „Kraftfutter“ ist – trotz seiner häufigen Verwendung – nicht klar definiert. In der Fütterung der Wiederkäuer werden unter Kraftfutter konzentrierte und hochverdauliche Futterstoffe mit geringem Gehalt an Gerüstsubstanzen verstanden (im Gegensatz zum Grund- bzw. Grobfutter; Drepper & Rohr 1984). Die Gerüstsubstanzen können nur durch die Symbiose mit den Mikroben des Verdauungstraktes abgebaut werden, allerdings ist das Ausmaß und die Geschwindigkeit des Abbaues wesentlich geringer als bei den Nichtfaser-Kohlenhydraten (u.a. Sniffen et al. 1992; Gruber et al. 2005, 2006a, 2006b). Der hohe Gehalt an Nichtfaser-Kohlenhydraten (Stärke, Zucker etc., Hall 1999) ist ein Hauptcharakteristikum des Kraftfutters (neben einem teilweise hohen Protein- und Fettgehalt) und dieser ist verantwortlich für dessen hohe Verdaulichkeit und Energiekonzentration, allerdings auch für die hohe Säureproduktion im Pansen, welche die Lebensbedingungen der Pansenmikroben durch Absenkung des pH-Wertes verschlechtert und damit auch die Ursache für Pansenazidose darstellt, wenn zu hohe (unphysiologische) Kraftfuttermengen verabreicht werden (Orskov 1986).

Obwohl die Grenzen zwischen Grund- und Kraftfutter als fließend anzusehen sind, beträgt die Verdaulichkeit von Grundfutter 60 – 80 % (Wiesenfutter unterschiedlicher Vegetationsstadien, Silomais) und von Kraftfutter 70 – 90 % (Getreide, Nebenprodukte, Rüben). So weisen einige Grundfutter bisweilen eine höhere Energiekonzentration auf als Kraftfutter (z.B. Grünfutter im Schossen 7.4 MJ NEL, Silomais mit hohem Kolbenanteil 6.7 MJ NEL,

Biertreber 6.2 MJ NEL; DLG 1997). Übliche Werte für Wiesenfutter sind 5.0 – 6.2 MJ NEL und für Getreide 8.0 – 8.4 MJ NEL/kg TM (DLG 1997).

In einer intensiven Milchproduktion mit hoher Milchleistung (USA, West- und Nordeuropa) enthalten die Rationen für die Milchkühe Anteile von bis zu 50 % Kraftfutter, das damit einen wesentlichen Anteil der verdaulichen Nährstoffe aber auch der Futterkosten ausmacht. Neben den Fragen der Strukturversorgung und Wiederkäuergerechtigkeit sind bei hohen Kraftfuttermengen auch ökologische Aspekte zu diskutieren, wenn das Kraftfutter nicht auf dem landwirtschaftlichen Betrieb erzeugt sondern zugekauft wird. Zugekauftes Kraftfutter führt zu Überschüssen in der Nährstoffbilanz des Betriebes (Korevaar 1992, Gruber & Steinwider 1996, Van Horn et al. 1996, Tamminga 1998, Gruber et al. 1999). Beim Einsatz von Kraftfutter in der tierischen Produktion sind auch ethische Fragen zu berücksichtigen (Nahrungsmittelkonkurrenz zum Menschen; Haiger 2005). Die zunehmende Weltbevölkerung und auch die nun verstärkt in Gang kommende Erzeugung von Biosprit lassen einen steigenden Bedarf an Getreide erwarten, der mit einem Kostenanstieg verbunden ist.

Der Einsatz von Kraftfutter muss daher gezielt und leistungsgerecht erfolgen. Dies erfordert eine relativ exakte Kenntnis des Nährstoffgehaltes im Grundfutter (Resch et al. 2006) sowie eine genaue Abschätzung des Futteraufnahmevermögens der Kühe (Gruber et al. 2004). Im folgenden Beitrag wird der Einfluss der Kraftfuttermenge auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen auf Basis einer zusammenfassenden Auswertung diesbezüglicher Fütterungsversuche in Gumpenstein und auf der Grundlage von Literaturarbeiten diskutiert.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 Datenbasis

Um den Einfluss der Kraftfuttermenge auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen zu untersuchen, wurden die Ergebnisse der relevanten Fütterungsversuche am LFZ Raumberg-Gumpenstein herangezogen (Gruber et al. 1991, Gruber et al. 1995, Steinwider et al. 1997, Steinwider et al. 1998, Gruber et al. 2000, Steinwider et al. 2003, Gruber et al. 2007, Urdl et al. 2007). Insgesamt kamen 8 Versuche in die Auswertung, mit 39 Datensätzen unterschiedlichen Kraftfutterniveaus. In diesen Versuchen wurden – neben anderen Fragestellungen – auch Versuchsgruppen mit unterschiedlichen Kraftfutterniveaus geprüft, zum Teil mit Gruppen, in denen sehr niedrige oder gar keine Kraftfuttermengen verabreicht wurden. Die wesentlichen Angaben zu diesen Versuchen finden sich in Tabelle 1; die konkreten Daten sind in der Tabelle 1A im Anhang angeführt. Zur Auswertung gelangten die Mittelwerte der einzelnen Versuchsgruppen bzw. Versuchsuntergruppen (Wechselwirkungen von Kraftfuttergruppen mit weiteren Gruppen je nach Versuchsfrage, z.B. Grundfutterqualität, Rasse etc.). Da die Wirkung des Kraftfutters auf die Milchleistung von der Dauer der Fütterung abhängt (Coulon & Remond 1991), wird zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Versuchen unterschieden. Die durchschnittliche Versuchsdauer betrug in diesen drei Kategorien 19, 95 bzw. 305 Tage. Im Durchschnitt repräsentiert ein Gruppenmittelwert (= Datensatz) 23,3 (9 – 64) Tiere.

Die mittlere Aufnahme an Grundfutter betrug $12,2 \pm 1,9$ kg, an Kraftfutter $4,4 \pm 3,8$ kg und an Gesamtfutter $16,7 \pm 2,9$ kg TM pro Tag. In der Gesamtfutteraufnahme bestand kein wesentlicher Unterschied in Abhängigkeit von der Dauer der Versuche (16,7, 17,3 bzw. 15,2 kg TM in den kurz-, mittel- bzw. langfristigen Versuchen). Die mittlere Milchleistung ($ECM_{\text{tatsächlich}}$) machte $21,4 \pm 5,7$ kg ECM aus, während die nach Energieversorgung theoretisch mögliche Milchleistung etwas geringer war ($20,2 \pm 7,9$ kg ECM_{NEL}). Dies lässt auf eine Energieunterversorgung schließen, die im Durchschnitt $-4,4$ MJ NEL betrug. Aus den Extremwerten (Minimum, Maximum) ist abzuleiten, dass in den Versuchen ein weites Spektrum an Energieversorgung – vor allem verursacht durch unterschiedliche Kraftfutter-

niveaus – vorlag (-36 bis +29 MJ NEL Energiebilanz). Dadurch ist das vorliegende Datenmaterial sehr gut geeignet, den Einfluss der Kraftfuttermenge auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen abzuleiten.

Tabelle 1: Versuchsergebnisse zur Ableitung der Wirkung von Kraftfutter auf Futteraufnahme und Milchleistung

	Futteraufnahme		NEL-Geh.	Deckung	ECM _{tatsächl.} kg	Milchleistung		
	GF kg TM	KF kg TM	GF MJ/kg TM	NEL-Bed. MJ		ECM _{NEL} kg	Fett %	Protein %
Kurzfristige Versuche (19 Tage), n = 15								
x	12,6	4,1	5,67	1,4	20,2	20,7	4,46	3,28
± s	1,9	3,4	0,30	12,8	4,2	6,9	0,23	0,16
<i>min</i>	9,4	0,0	5,04	-21,7	14,1	9,8	4,11	3,04
<i>max</i>	16,6	12,0	6,11	28,7	29,1	35,5	4,80	3,65
Mittelfristige Versuche (95 Tage), n = 18								
x	11,8	5,4	5,28	-8,5	23,2	21,0	4,23	3,24
± s	2,1	4,3	0,44	13,7	6,7	9,3	0,14	0,15
<i>min</i>	9,3	0,0	4,49	-36,1	11,0	5,7	4,04	2,97
<i>max</i>	17,2	12,2	5,88	13,2	33,7	36,5	4,54	3,45
Langfristige Versuche (305 Tage), n = 6								
x	12,8	2,2	5,37	-6,5	18,7	16,4	4,48	3,04
± s	0,7	2,3	0,03	5,0	4,2	5,0	0,19	0,14
<i>min</i>	11,6	0,1	5,34	-11,3	14,6	11,6	4,25	2,87
<i>max</i>	13,5	5,8	5,42	1,8	26,4	25,0	4,68	3,27
Alle Versuche (98 Tage), n = 39								
x	12,2	4,4	5,44	-4,4	21,4	20,2	4,36	3,23
± s	1,9	3,8	0,40	13,0	5,7	7,9	0,22	0,17
<i>min</i>	9,3	0,0	4,49	-36,1	11,0	5,7	4,04	2,87
<i>max</i>	17,2	12,2	6,11	28,7	33,7	36,5	4,80	3,65

2.2 Statistische Auswertung

Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistik-Paket LSMLMW PC-1 Version von Harvey (1987). Das statistische Modell berücksichtigte den fixen Effekt "Dauer der Versuche" [kurz – mittel – lang] und den Einfluss der "Kraftfuttermenge" [kg TM pro Tag] als Regressionsvariable. Weiters wurden die Daten auf gleichen "NEL-Gehalt des Grundfutters" (NEL_{GF}) [MJ/kg TM] und gleichen "Rohproteingehalt der Gesamtration" (XP_{GES}) [g/kg TM] korrigiert, um unterschiedliche Fütterungs- und Rationsbedingungen soweit wie möglich auszuschalten. Datencheck und Summary Statistics wurden mit Statgraphics Plus (2000) durchgeführt.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1. Auswertung der Gumpensteiner Versuche

In Abbildung 1 sind die Daten zu Futteraufnahme und Rationskriterien in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme graphisch dargestellt und in Abbildung 2 die Ergebnisse zur Milchleistung und Energiebilanz.

Mit steigender Kraftfutteraufnahme geht die Aufnahme an Grundfutter zurück ($P < 0,001$), und zwar im Ausmaß von 0,51 kg TM pro kg TM Kraftfutter (sog. Grundfuttermverdrängung)

und mehr oder weniger unabhängig von der Dauer der Kraftfutterfütterung ($P = 0,244$; Bild 1). Die Ursachen für diesen Rückgang der Grundfutteraufnahme liegen einerseits in der erhöhten Säureproduktion aus der Fermentation der Nichtfaser-Kohlenhydrate des Kraftfutters, welche gerade die auf den Abbau der Gerüstsubstanzen spezialisierten Pansenmikroben schädigt und damit sowohl die Verdaulichkeit als auch die Futteraufnahme des Grundfutters vermindert (Orskov 1986). Andererseits steigt mit der Kraftfutteraufnahme auch der Energieversorgungsgrad des Wirtstieres. Bei einer über dem Bedarf liegenden Energieaufnahme tritt verstärkt die physiologische Regulation der Futteraufnahme in Kraft (Mertens 1994, Gruber et al. 2004), da die Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Energiebilanz das oberste Regulationsprinzip der Futteraufnahmesteuerung darstellt (Wangsness & Muller 1981, siehe auch Abschnitt 3.2). Analog zur Grundfutteraufnahme geht auch die aus dem Grundfutter mögliche Milchleistung zurück, und zwar im Ausmaß von 0,93 kg ECM (Bild 2). Dieser Wert lässt sich indirekt auch aus den Daten ableiten $[(0,51 \text{ GF-Verdrängung} \times 5,44 \text{ MJ NEL}_{\text{GF}})/3,17 \text{ MJ NEL-Bedarf}_{\text{MILCH}} = 0,87]$ und ist bei der Interpretation der vom Kraftfutter (theoretisch) zu erwartenden Milchleistung im Auge zu behalten.

Bei einer Verdrängung des Grundfutters im Ausmaß von 0,51 ergibt sich eine Steigerung der Gesamtfutteraufnahme von 0,49 kg TM pro kg TM Kraftfutter, was durch die Berechnungen auch bestätigt wurde (Bild 3). Die damit verbundene Erhöhung der Energieaufnahme beträgt 5,17 MJ NEL (Bild 4). Auch dieser Wert lässt sich indirekt über die Energieaufnahme aus dem Kraftfutter und die Grundfutterverdrängung nachvollziehen $[(1,0 \text{ kg KF} \times 7,94 \text{ MJ NEL}_{\text{KF}}) \text{ minus } (0,51 \text{ GF-Verdrängung} \times 5,44 \text{ MJ NEL}_{\text{GF}}) = 5,17 \text{ MJ}]$.

Aus pansenphysiologischer Sicht ist interessant und wichtig, zu welchem Kraftfutteranteil (% der Gesamtfutteraufnahme) die einzelnen Kraftfuttergaben führen (Bild 5). Aus der regressionsanalytischen Auswertung ergibt sich ein linearer Anstieg des Kraftfutteranteils in der Höhe von 5,2 % der TM pro kg TM Kraftfutter (bei einer durchschnittlichen Grundfutterqualität von 5,44 MJ NEL_{GF} pro kg TM). Dies ist bei der Bewertung einer Ration hinsichtlich Strukturversorgung und Wiederkäuergerechtigkeit zu beachten. Bei höherer Energiekonzentration des Grundfutters erhöht sich die Grundfutteraufnahme und verringert sich der Kraftfutteranteil (und vice versa). Die mit dem Kraftfutter verbundene Erhöhung der Energiekonzentration beträgt im Durchschnitt 0,13 MJ NEL pro kg TM der Gesamtration (Bild 6).

Auf Grund der durch 1 kg TM Kraftfutter um 5,17 MJ NEL erhöhten Energieversorgung lässt sich eine (theoretische) Steigerung der Milchleistung um 1,63 kg ECM ableiten. Dies entspricht sehr gut dem durchschnittlichen Regressionskoeffizienten von 1,57 (Abbildung 3, Bild 1). Der in Milch ausgedrückte Energiewert des Kraftfutters ergibt 2,50 kg ECM (= $7,94 \text{ MJ NEL}/3,17 \text{ MJ NEL-Bedarf}_{\text{MILCH}} = 2,50$). Die Differenz von 0,89 kg ECM (2,50 minus 1,61 kg ECM) ist auf die Grundfutterverdrängung zurückzuführen $[(0,51 \text{ GF-Verdrängung} \times 5,44 \text{ MJ NEL}_{\text{GF}})/3,17 \text{ MJ NEL-Bedarf}_{\text{MILCH}} = 0,88 \text{ kg ECM}]$. Hinsichtlich dieser theoretisch möglichen Milchleistung zeigen sich keine signifikanten Unterschiede bedingt durch verschiedene Versuchsdauer (= Anwendungsdauer des Kraftfutterniveaus).

In der tatsächlich erzielten Steigerung der Milchleistung durch Kraftfutter ($\text{ECM}_{\text{tatsächl.}}$) zeigten sich allerdings sehr große und signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der Anwendungsdauer eines bestimmten Kraftfutterniveaus (Bild 2). Im Durchschnitt aller Versuche machte der Anstieg an tatsächlicher Milchleistung durch Kraftfutter 0,90 kg Milch bzw. 0,95 kg ECM aus. Bei kurzfristigen Versuchen stieg die Milchleistung nur um 0,45 kg an, bei mittelfristiger Anwendung um 1,07 kg und bei langfristiger Fütterung eines bestimmten Kraftfutterniveaus (über eine ganze Laktation) stieg sie um 1,34 kg ECM pro kg TM Kraftfutter. Dies kommt dem theoretisch möglichen Wert von 1,63 kg ECM nahe. Bei kurzfristiger Anwendung eines Fütterungsniveaus ist es möglich, dass Energieversorgung und Milchleistung nicht vollständig übereinstimmen, weil Kühe versuchen, ihre Milchleistung entsprechend ihrem genetischen Potenzial zu halten.

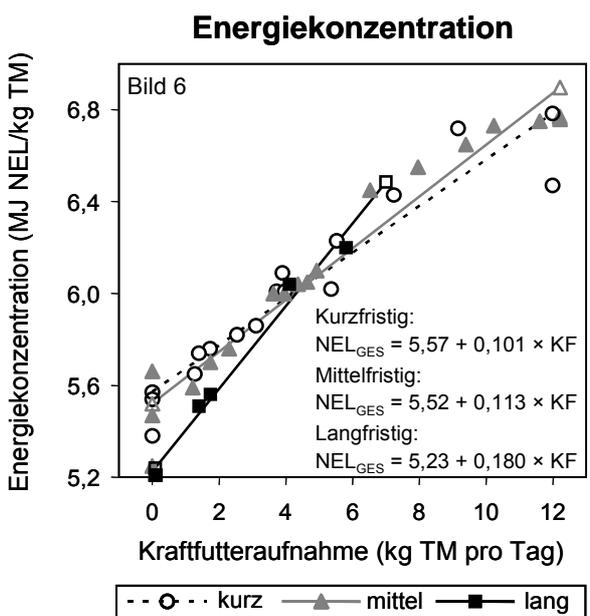
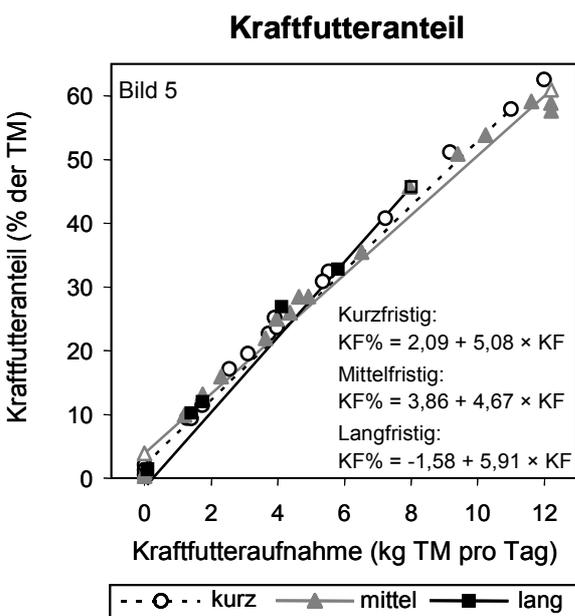
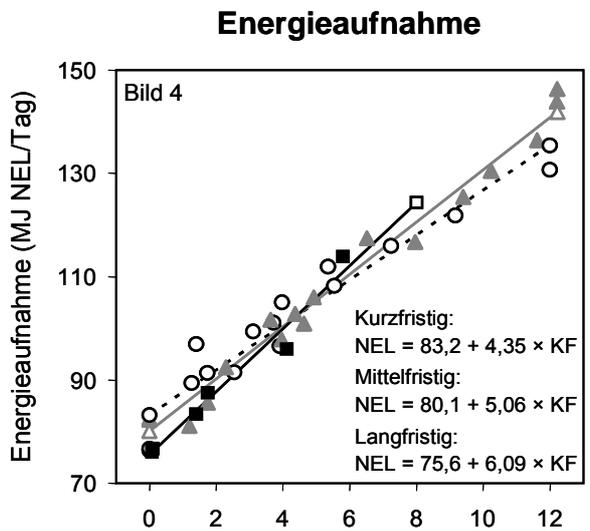
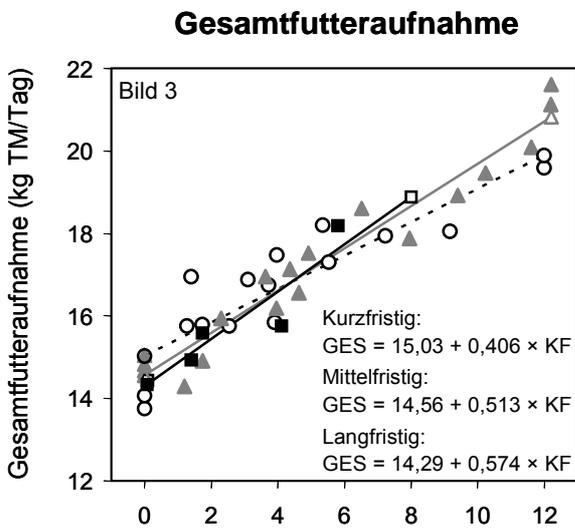
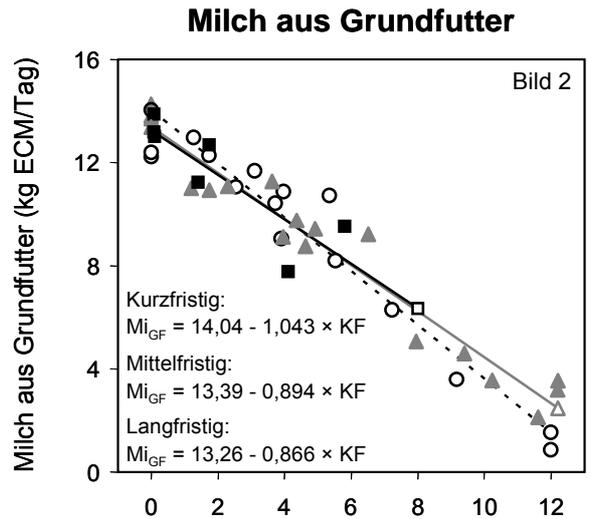
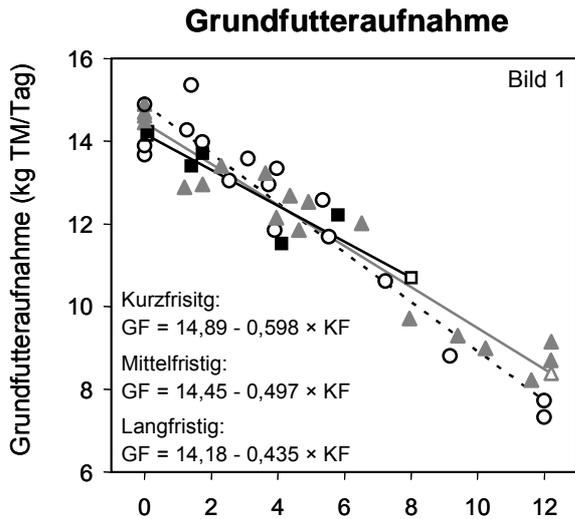


Abbildung 1: Einfluss des Krafftutterniveaus auf Futteraufnahme und Rationskriterien

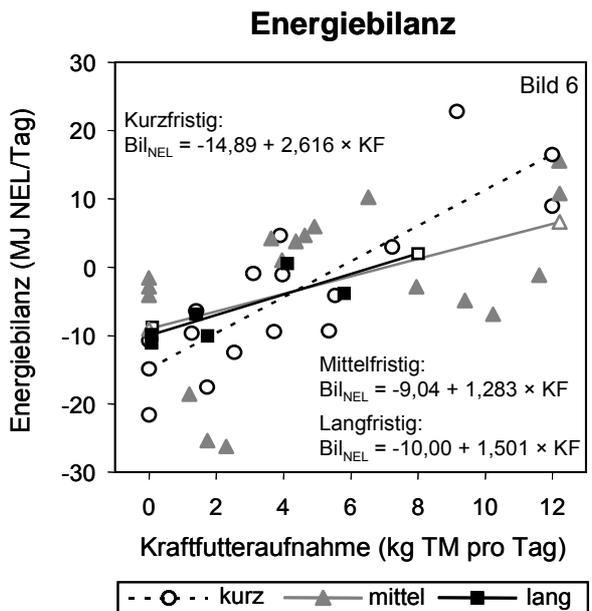
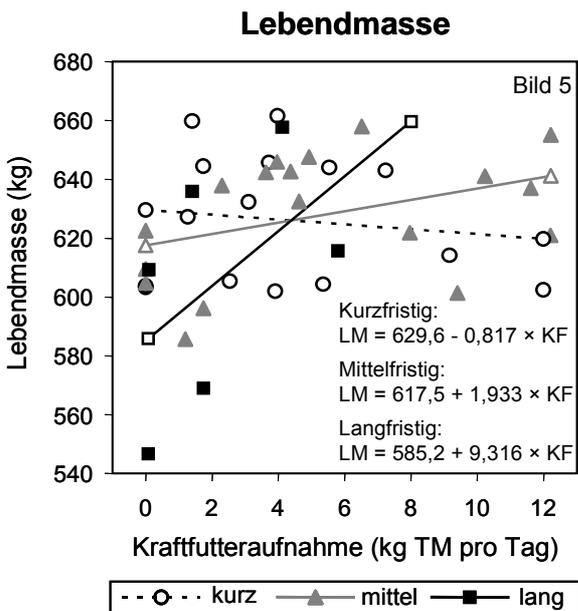
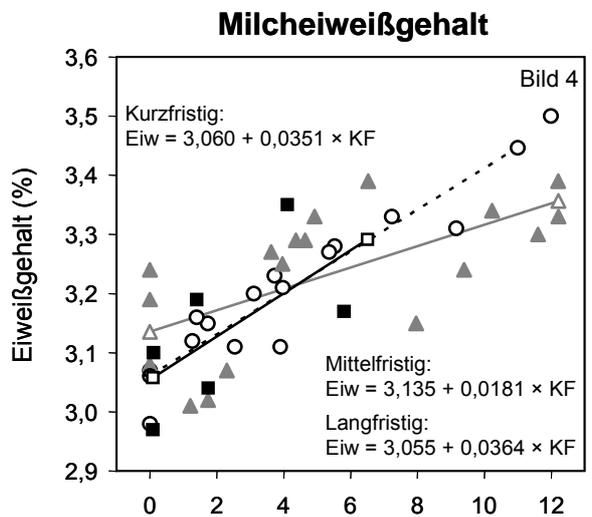
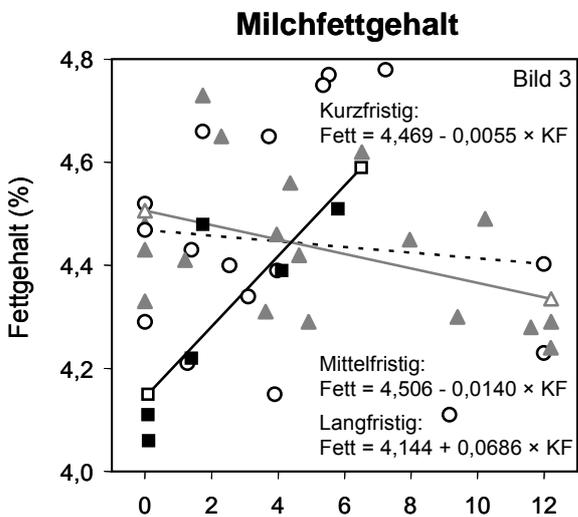
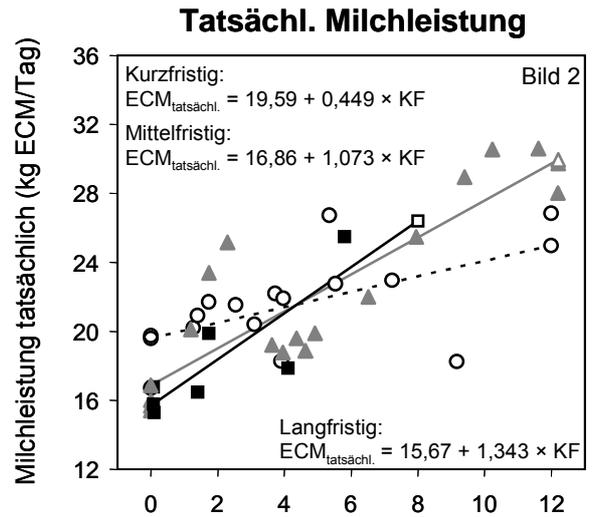
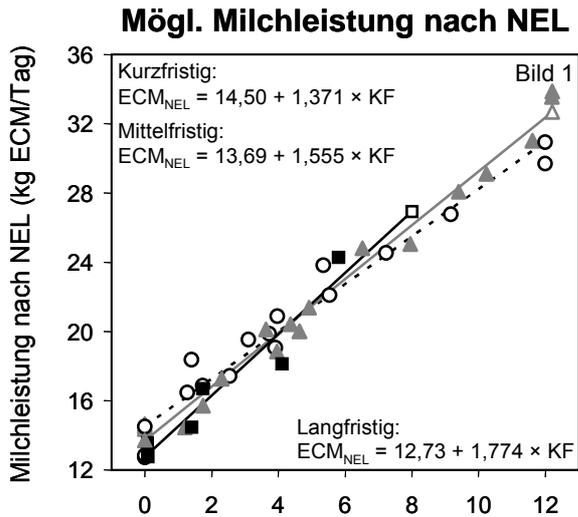


Abbildung 2: Einfluss des Kraftfuttersniveaus auf Milchleistung und Energiebilanz

Bei Unterversorgung mobilisieren sie aus den Fettreserven ihres Körpers, bei Überversorgung legen sie Körperreserven an. Wenn die Körperreserven allerdings aufgebraucht sind, wird die Milchleistung der Energieversorgung mehr oder weniger entsprechen. Und eine zu große Überversorgung wird nach Einstellen eines neuen Energiegleichgewichtes durch die physiologische Steuerung der Futterraufnahme unterbunden (Wangsness & Muller 1981). Haiger & Sölkner (1995) stellten in einem umfangreichen Versuch über bis zu 8 Laktationen eine Steigerung der Milchleistung von 1,15 kg ECM pro kg TM Kraftfutter bei Fleckvieh und von 1,03 kg ECM bei Holstein Friesian fest. In einer zusammenfassenden Literaturauswertung fanden Coulon & Remond (1991), dass die Auswirkungen zusätzlicher Energieversorgung auf die Milchleistung von der Energiebilanz abhängt, in welcher die Kuh sich befindet (siehe Abschnitt 3.3).

Dies wird auch in den vorliegenden eigenen Versuchen bestätigt. In einem langfristigen Versuch über eine ganze Laktation erhielten Kühe der Rassen Fleckvieh (FV) und Holstein Friesian (HF) neben zwei verschiedenen Grundfutterqualitäten drei unterschiedliche Kraftfutterniveaus, nämlich 0, 50 oder 100 % des Kraftfutter-Ergänzungsbedarfs (Gruber et al. 1995). Die Kühe der beiden Nutzungsrichtungen reagierten entsprechend ihrem genetischen Potenzial auf die Kraftfuttergaben sehr unterschiedlich (Abbildung 3). Ausgehend von einer Milchleistung von 4.465 bzw. 4.987 kg ECM von FV bzw. HF bei 0 kg Kraftfutter stieg die Milchleistung der FV-Kühe bei bedarfsgerechter Ergänzung (4,11 kg TM) mit Kraftfutter auf 5.728 kg an, während die HF-Kühe ihre Milchleistung auf 8.052 kg ECM steigerten (bei durchschnittlich 5,80 kg TM), weil sie genetisch dazu in der Lage waren. Die Wirkung des Kraftfutters auf die Milchleistung hängt also ganz entscheidend vom Leistungspotenzial der Kühe ab. Besteht eine große Lücke an Energie zwischen Bedarf und Versorgung (wie im Falle der HF-Kühe), wird Kraftfutter in hohem Ausmaß verwertet (1,76 kg ECM pro kg TM Kraftfutter), bei den FV-Kühen mit geringerem Leistungsvermögen errechnet sich ein Faktor von 1,03. Dies stimmt auch mit dem nicht-linearen Anstieg der Milchleistung mit zunehmender Kraftfuttermenge überein (Abbildung 3). Bei niedriger Kraftfutterraufnahme steigern FV-Kühe die Milchleistung um 1,21 und HF-Kühe um 2,17 kg ECM pro kg TM Kraftfutter, bei höherer Kraftfutterraufnahme nur um 0,95 bzw. 1,59 kg ECM. Es soll auch noch darauf hingewiesen werden, dass die FV- bzw. HF-Kühe in der KF-Stufe Null 934 bzw. 1.113 kg Milch über die Mobilisation von Körperreserven produzierten.

Nach dem gleichen Prinzip kann auch die in den Versuchen von Gruber et al. (2000) beobachtete Wechselwirkung zwischen Kraftfutter und Grundfutterqualität interpretiert werden. Auch in diesem Versuch erhielten die Kühe in einer Gruppe überhaupt kein Kraftfutter und in einer weiteren Gruppe Kraftfutter nach Norm (GEH 1986). In einer dritten Gruppe wurde den Kühen 30 % der Futterration als Kraftfutter zugeteilt (Abbildung 4). Mit steigender Grundfutterqualität (Heu aus einer 2-, 3- bzw. 4-Schnittnutzung des Grünlandes) verminderte sich die Wirkung des Kraftfutters auf die Milchleistung der Kühe (1.11, 0.82 und 0.61 kg ECM pro kg TM Kraftfutter). Selbstverständlich war die Milchleistung bei guter Grundfutterqualität höher, aber die Energiebilanz weniger negativ, was zur geringeren Kraftfutthereffizienz führte (Coulon & Remond 1991).

Es ist auch zu beachten, dass die Milchleistung nicht nur von der aktuellen Fütterung abhängt, sondern auch vom Futterniveau in der Phase davor (z.B. Trockenstehzeit, Laktationsabschnitt). In einem Versuch, in dem der Einfluss der Energieversorgung in der Trockenstehzeit (75, 100, 125 % des Bedarfs) auf Produktionsdaten und Stoffwechsel in der Folgelaktation untersucht wurde, betrug der Unterschied in den ersten 105 Tagen der Laktation nahezu 5 kg (25.4, 28.5 bzw. 30.0 kg ECM), wenn diese in der Laktation energetisch gleich versorgt wurden (Urdl et al. 2007, Abbildung 5). Der positive Einfluss einer hohen Energieversorgung präpartum auf die Milchleistung in der Folgelaktation wird auch in einer umfangreichen Literaturübersicht bestätigt (Lins et al. 2003).

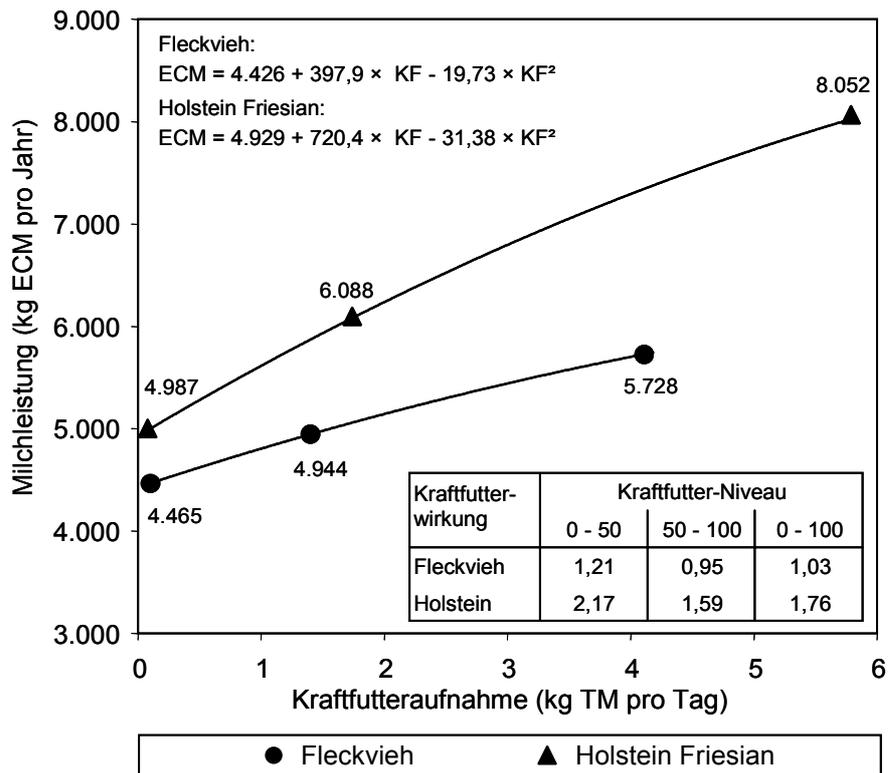


Abbildung 3: Wirkung des Kraftfutters in Abhängigkeit von der Rasse (Milchleistungspotenzial), Gruber et al. (1995)

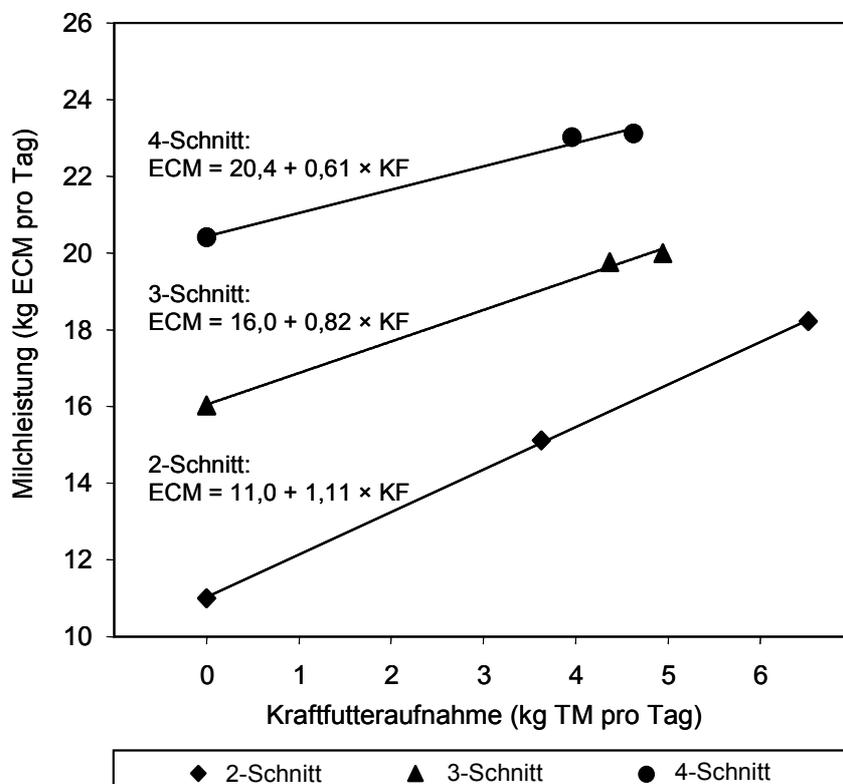


Abbildung 4: Wirkung des Kraftfutters in Abhängigkeit von der Grundfutterqualität (Schnitt-häufigkeit des Grünlandes), Gruber et al. (2000)

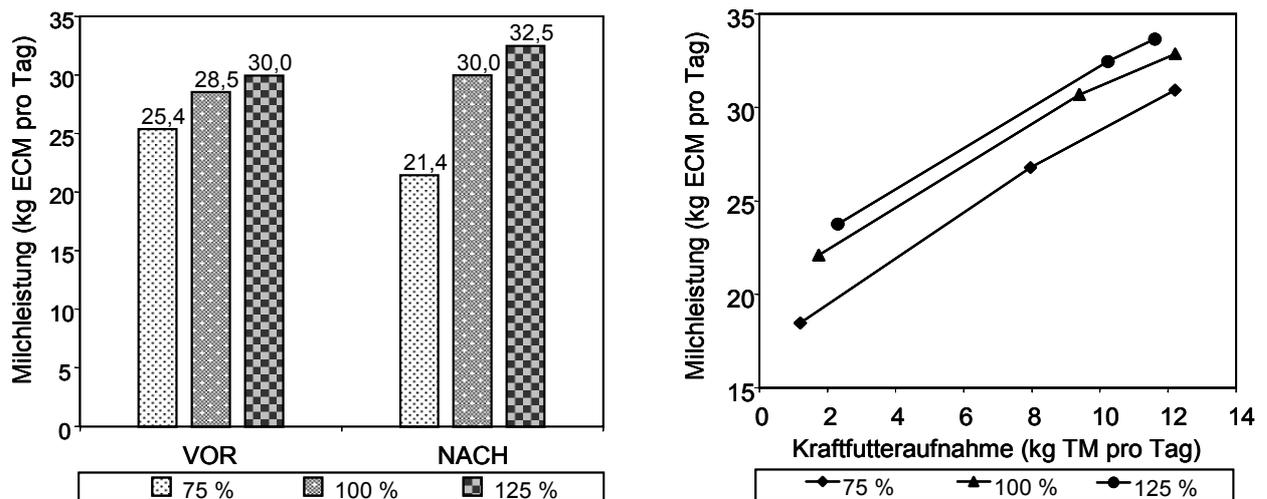


Abbildung 5: Wirkung des Kraftfutters in Abhängigkeit von der Fütterung in der Trockenstehzeit (Urđl et al. 2007)

Selbstverständlich wirkt sich die Energieversorgung in der Laktation selbst stärker auf die Milchleistung aus (21,4, 30,0 und 32,5 kg ECM bei 1,75, 9,20 bzw. 12,01 kg TM Kraftfutter). Allerdings ergibt die Milchleistung pro kg TM Kraftfutter auch in diesem Versuch den üblichen Wert von 1,08. Es überrascht, dass keine Wechselwirkung des Futterniveaus vor und nach der Abkalbung bezüglich Milchleistung auftrat (Abbildung 5).

Kurz- und mittelfristig vermindern steigende Kraftfuttergaben den Milchfettgehalt (Bild 3), da durch Kraftfutter im Wege der Absenkung des pH-Wertes die zellulolytischen Pansenmikroben reduziert werden, deren Stoffwechselprodukt – die Essigsäure – das essentielle Ausgangssubstrat für die Milchfettsynthese darstellt (Kaufmann 1976). Nach Van Soest (1994) ist allerdings der Rückgang des Milchfettgehaltes bei hohen Kraftfuttergaben nicht so sehr auf Mangel an Essigsäure zurückzuführen, sondern auf die antilipogene (d.h. fetttsenkende) Wirkung der Propionsäure. Langfristig führt dagegen der durch zu geringe Kraftfuttergaben hervorgerufene Energiemangel zu einem geringeren Milchfettgehalt (Bild 3). Dies lässt den Schluss zu, dass in den Kraftfuttergruppen des langfristigen Versuches (Gruber et al. 1995) – trotz engerem Verhältnis von Essigsäure/Propionsäure – die absolute Menge an Essigsäure höher war als bei reiner Grundfutter-Fütterung, die höhere Anteile an Essigsäure im Pansen nach sich zieht (Van Houtert 1993). Wenn nicht extremer Energiemangel vorherrscht, ist von einem Rückgang des Milchfettgehaltes um etwa 0,015 % pro kg TM Kraftfutter auszugehen (Bild 3). Die mikrobielle Proteinsynthese ist unmittelbar von der Energieversorgung der Pansenmikroben abhängig. Im Durchschnitt erhöhte sich daher der Milcheiweißgehalt um 0,03 % pro kg TM Kraftfutter (Bild 4).

Bezüglich Lebendmasse führte Kraftfutter in kurzfristigen Versuchen zu keinen nennenswerten Veränderungen. Mittel- und vor allem langfristig ist die Energieunterversorgung klar an einem Rückgang der Lebendmasse zu erkennen (Bild 5). In den langfristigen Versuchen erhöhte sich die Lebendmasse pro kg TM um 9,3 kg. Es ist zu berücksichtigen, dass die Mobilisation und Retention von Körperreserven durch die Veränderung der Lebendmasse nur unzureichend beschrieben werden kann (unterschiedliche Füllung des Verdauungstraktes,

Einlagerung von Wasser in Folge Fetteinschmelzung im Zuge der β -Oxidation, Entwicklung von Fötus und Euter; siehe Fox et al. 1999, Martin & Sauvant 2002, Lins et al. 2003, Kirchgessner 2004, Gruber et al. 2007b). Dies ist auf die bekannten Probleme bei der Feststellung der Lebendmasse zurückzuführen (Füllung des Verdauungstraktes).

Abschließend wird in Bild 6 dargestellt, dass die Energiebilanz einer Milchkuh durch Kraftfutter sehr deutlich verändert wird. Pro kg TM Kraftfutter erhöht sich die Energiebilanz bei langfristiger Betrachtungsweise um 1,9 MJ NEL (kurzfristig um 2,5 MJ NEL, da die Milchleistung nicht so schnell reagiert). Dies zeigt, dass die über Kraftfutter zugeführten Nährstoffe nicht vollständig in Milch umgesetzt werden, bei negativer Energiebilanz allerdings auch nicht in vollem Ausmaß als Rückgang der Milchleistung zum Tragen kommen. Eine ausgeglichene Energiebilanz wurde bei der vorliegenden Grundfutterqualität von durchschnittlich 5,44 MJ NEL/kg TM bei 6,28 kg TM Kraftfutter ermittelt. Es ist auch darauf hinzuweisen, dass die Energieversorgung (d.h. das Kraftfutterniveau) selbst den Energiebedarf mitbestimmt, was in weiterer Folge die Energiebilanz beeinflusst. Hohe Kraftfuttergaben erhöhen die Milchleistung und damit den Bedarf, ein niedriges Kraftfutterniveau senkt den Energiebedarf, weil sich die Kuh an das Energieniveau anpasst (siehe Abbildung 3, Gruber et al. 1995). Pro kg TM Kraftfutter erhöhte sich der Bedarf kurz-, mittel- bzw. langfristig um 1.7, 3.8 bzw. 4.6 MJ NEL.

3.2. Grundlegende Versuche zur Grundfutterverdrängung von Faverdin et al. (1991)

Auf Grund der großen Bedeutung der Grundfutterverdrängung für die zu erwartende Wirkung des Kraftfutters auf die Milchleistung wird in diesem Abschnitt ein grundlegender und umfassender Versuch von Faverdin et al. (1991) zur Diskussion gestellt (Abbildung 6).

Die Verdrängung des Grundfutters durch Kraftfutter hat im wesentlichen zwei Ursachen:

(1) Absenkung des pH-Wertes durch die rasche Fermentation der leichtverdaulichen Kohlenhydrate vorwiegend zu Propionsäure und verminderte Abpufferung der Säuren infolge reduzierter Wiederkautätigkeit und somit auch Speichelbildung. Dieser zu tiefe pH-Wert hemmt die Aktivität gerade der zellulolytischen Pansenmikroben und verlangsamt somit den Abbau des Grundfutters in den Vormägen und in der Folge dessen Aufnahme (Kaufmann 1976, Orskov 1986, Lebzién et al. 1981, Van Houtert 1993, Van Soest 1994).

(2) Nach Untersuchungen von Faverdin et al. (1991) hängt das Ausmaß der Grundfutterverdrängung vor allem vom Stand der Energiebilanz der Kuh ab, d.h. auch in dieser Untersuchung wird die Grundfutterverdrängung hauptsächlich über die physiologische Regulation der Futteraufnahme erklärt. Bei hohen Energieüberschüssen wurden hohe Verdrängungsraten ermittelt und umgekehrt. In dieses Bild fügt sich auch die Literaturübersicht von Coulon & Remond (1991) ein, die bei hohem Energieversorgungsgrad über Kraftfutter eine niedrige Milchleistungssteigerung mit erhöhter Energiezufuhr festgestellt haben und umgekehrt. So ist auch das breite Spektrum an Verdrängungsraten zu erklären, das in der Literatur vorliegt. Exemplarisch dazu haben Faverdin et al. (1991) drei Hauptfaktoren der Grundfutterverdrängung untersucht:

(1) Grundfutterratation (Heu, Grassilage, Maissilage)

(2) Kraftfutterart (stärkereich wie Getreide, hochverdauliche Faser wie Trockenschnitzel und Sojaschalen sowie niedrigverdauliche Faser wie Kleien, Hafer oder Sonnenblumenkuchen)

(3) Kraftfutterniveau (niedrig, mittel, hoch)

In Abhängigkeit von diesen drei Hauptfaktoren wurden Verdrängungsraten von 0,3 bis über 0,8 kg TM pro kg TM Kraftfutter ermittelt, wobei – wie oben ausgeführt – die Energiebilanz hauptverantwortlich für das Ausmaß der Verdrängung war. Die Verdrängung war höher bei Maissilage, bei stärkereichem Kraftfutter und bei hohem Kraftfutterniveau. Im INRA Fill-

unit-System (1989) wird das Ausmaß der Grundfutterverdrängung mit steigender Milchleistung geringer und mit steigendem Futterwert höher, woraus ebenfalls ein Zusammenhang von Grundfutterverdrängung und Energiebilanz sichtbar wird. Dies gilt sinngemäß auch für die Wechselwirkung von Grundfutterqualität und Kraftfutter hinsichtlich der Grundfutterverdrängung. So haben Kleinmans & Potthast (1984) und Piatkowski et al. (1990) bei höherer Grundfutterqualität eine höhere Grundfutterverdrängung ermittelt, weil bei höherer Grundfutterqualität eher eine positive Energiebilanz erzielt wird.

3.3. Meta-Analyse zum Einfluss der Energieversorgung auf die Milchleistung von Coulon & Remond (1991)

Die vorliegenden, eigenen Versuche haben gezeigt, dass die Wirkung des Kraftfutters auf die Milchleistung in starkem Ausmaß von der Dauer des Fütterungsregimes abhängt (siehe Abschnitt 3.1).

Coulon & Remond (1991) haben eine Literaturlauswertung zum Einfluss der Energieversorgung auf Milchleistung (und Milchproteingehalt) auf der Basis von 66 Fütterungsversuchen mit 216 Versuchsgruppen unterschiedlichen Energieniveaus durchgeführt (mindestens 3 Energie-Niveaus pro Versuch, davon eine Kontrollgruppe nahe der Norm). Auch diese Auswertung hat ergeben, dass der Einfluss der Energieversorgung signifikant von Laktationsstadium und Dauer des Futterniveaus abhängt (Abbildung 7). Von den 66 Versuchen liefen 12 in der Früh-laktation (8 – 13 Wochen nach der Abkalbung), 33 in der Mitte der Laktation (4 – 11 Wochen nach der Laktationsspitze) und 21 waren langfristige (18 – 40 Wochen). Das Grundfutter (größtenteils ad libitum) bestand aus Heu, Grassilage und Maissilage in verschiedenen Anteilen. Das Kraftfutter (0 – 80 % der TM, im Mittel 40 % der TM) war überwiegend aus Getreide und Ölkuchen zusammengesetzt. Die Milchleistung wies einen Bereich von 9 – 29 kg FCM auf. Nähere Angaben zu den Versuchen finden sich in Tabelle 2. Die Daten wurden ausgewertet, indem sowohl die Unterschiede in der Energieaufnahme als auch in der Milchleistung der unter- bzw. überversorgten Gruppen auf die Normgruppe (M) des jeweiligen Versuches bezogen wurden. Dadurch wurden Unterschiede zwischen den unter verschiedensten Bedingungen durchgeführten Versuchen weitgehend ausgeschaltet.

Tabelle 2: Angaben zu den in der Literaturlauswertung von Coulon & Remond (1991) ausgewerteten Versuchen (Energieniveau: N = niedrig, M = mittel, H = hoch)

Laktations- Stadium / Dauer	Energie- Niveau	Futtermaufnahme			Bedarf	Milch	LM-	Veränderung zur KG				
		GF kg TM	KF kg TM	NEL MJ	NEL MJ	FCM kg	Änderung g	FCM kg	Fett %	Eiw %	NEL MJ	
Früh- laktation 1. Laktation	N	5,7	5,2	59,0	86,1	17,4	-518	-1,5	0,15	-0,03	-13,5	
	M	5,0	7,6	71,8	90,3	18,8	-300					
	H	5,2	9,2	86,8	97,4	20,9	43	1,1	-0,03	0,03	12,1	
Früh- laktation 2. Laktation	N	8,4	5,0	81,8	99,6	21,1	-474	-2,1	0,08	-0,11	-12,8	
	M	8,3	6,9	91,8	108,1	23,7	-309					
	H	7,9	8,6	100,3	114,5	25,6	-256	1,1	-0,10	0,08	8,5	
Lang- fristige Versuche	N	11,4	3,5	86,1	93,2	18,9	-139	-1,3	0,02	-0,08	-8,5	
	M	11,0	5,4	96,7	97,4	20,2	53					
	H	9,8	7,7	104,6	98,9	20,8	182	0,8	-0,13	0,07	7,8	

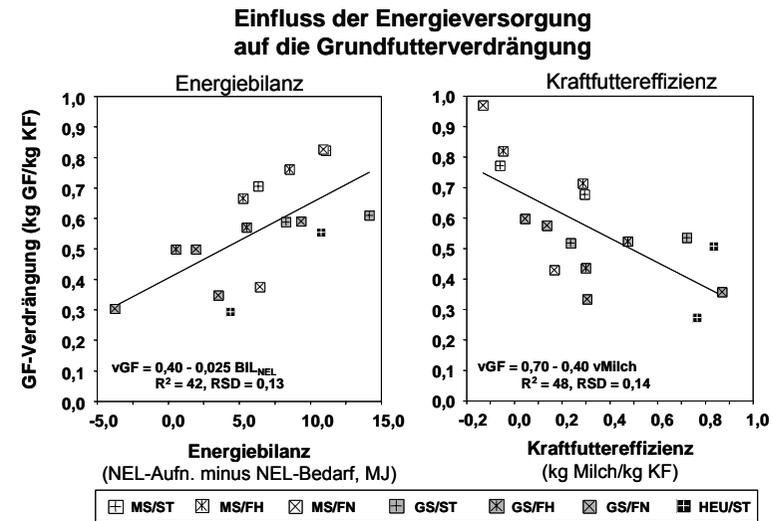
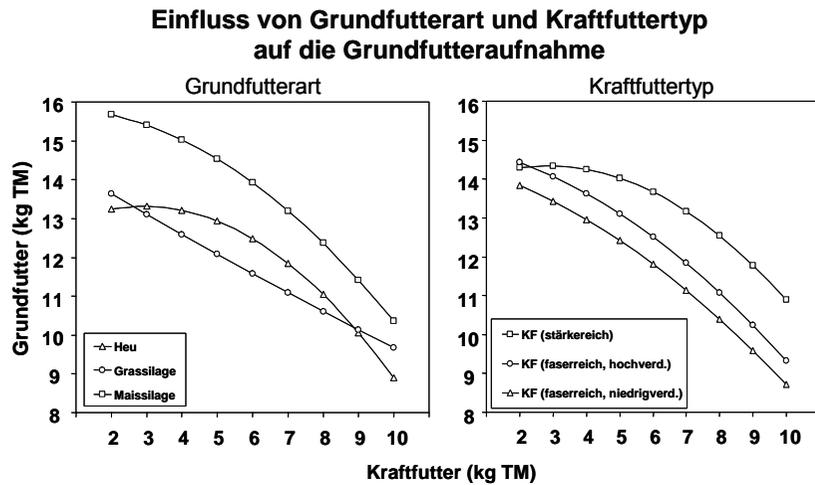
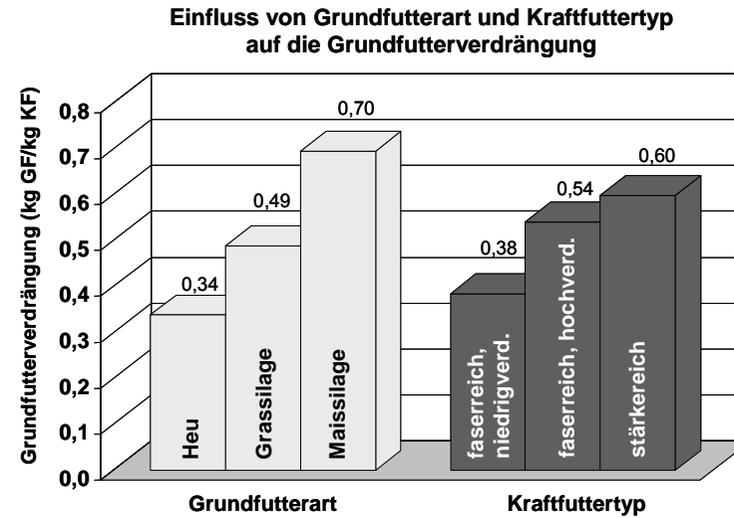
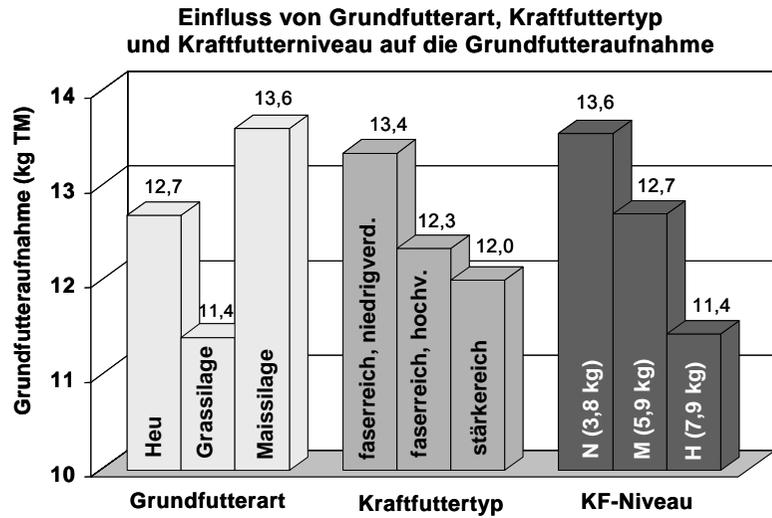


Abbildung 6: Untersuchungen zur Grundfuttermitteldrängung von Faverdin et al. (1991)

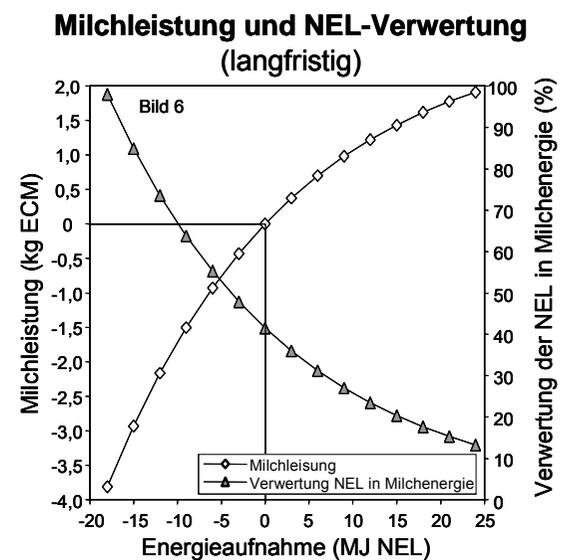
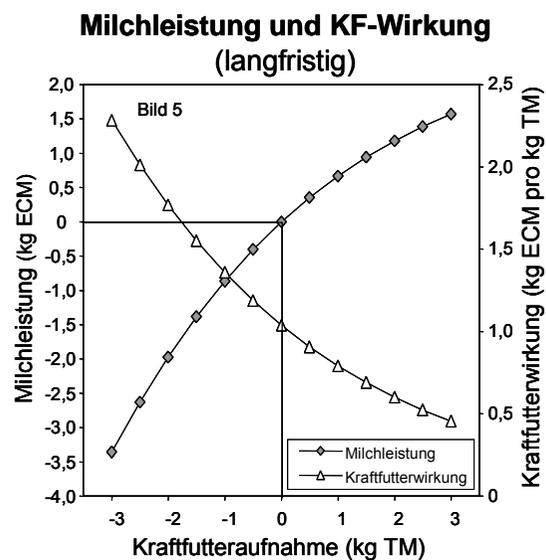
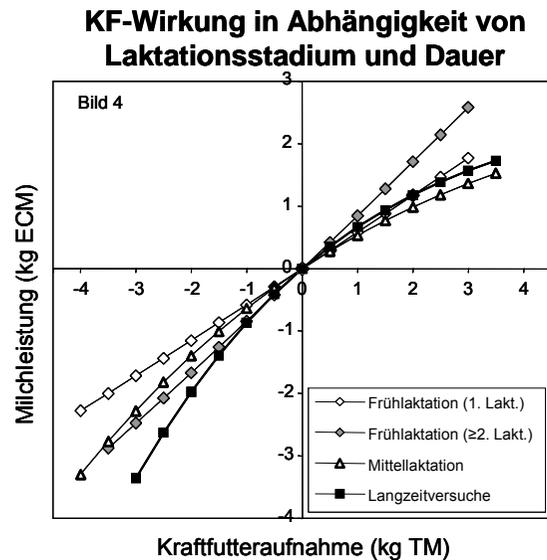
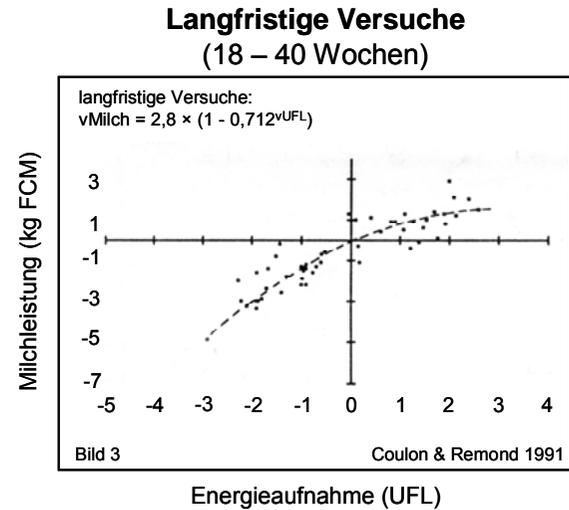
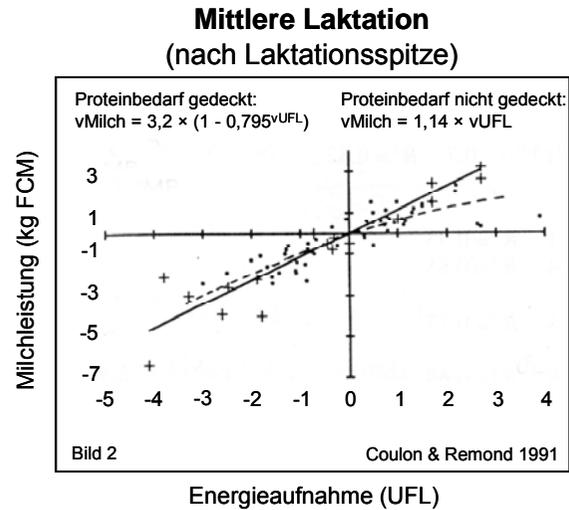
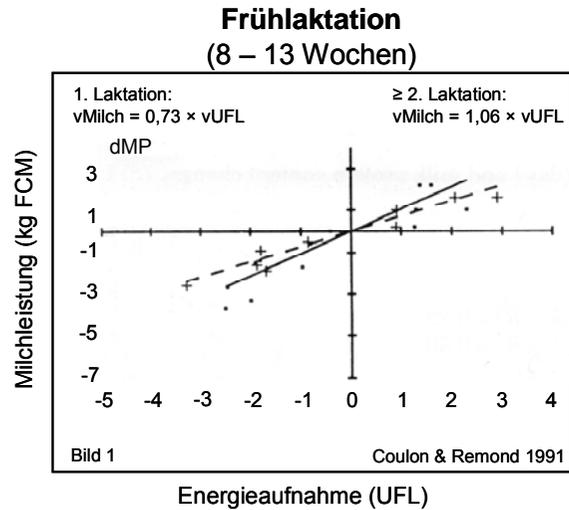


Abbildung 7: Literaturlauswertung zum Einfluss der Energieversorgung auf die Milchleistung (Coulon & Remond 1991)

Die Ergebnisse dieser fundierten Literaturlauswertung sind in Abbildung 7 dargestellt. In Abbildung 7 (oben) sind die Originalgrafiken aus der Publikation von Coulon & Remond (1991) angeführt (auf der Basis des französischen Energiebewertungssystems UFL; 1 UFL = 7,1 MJ NEL). In der Frühaktation reagierte die Milchleistung der Kühe in linearer Weise auf die Energieversorgung, und zwar erstaktierende Kühe in geringerem Ausmaß als Kühe in höheren Aktationen (0,73 bzw. 1,06 kg FCM pro UFL). Dagegen wirkte eine sich verändernde Energieversorgung bei Kühen in der mittleren Aktation und bei langfristiger Dauer eines Fütterungsregimes in kurvilinearer Form auf die Milchleistung aus. Bei starker Unterversorgung bewirkte eine Erhöhung der Energiezufuhr eine ausgeprägtere Steigerung der Milchleistung (1,5 bzw. 2,6 kg FCM pro UFL bei einer Unterversorgung von 3 UFL, d.h. 21,3 MJ NEL) als bei positiver Energiebilanz (0,4 bzw. 0,3 kg FCM pro UFL bei einer Überversorgung von 3 UFL, d.h. 21,3 MJ NEL). Aus energetischer Sicht bedeuten diese Zahlen, dass die Kühe in der Frühaktation nur 33 bzw. 47 % der zusätzlich zugeführten Energie in Milchenergie umgewandelt haben ($0,73 \text{ kg FCM} \times 3,17 \text{ MJ Energiegehalt}_{\text{Milch}} / 7,1 \text{ MJ Energiegehalt}_{\text{UFL}} \times 100 = 32,6 \% \text{ etc.}$). Bei einer negativen Energiebilanz von 21 MJ NEL wurden in der Mittellaktation bzw. langfristig 67 bzw. 116 % der zusätzlich aufgenommenen Energie in Milchenergie umgewandelt, bei Überversorgung dagegen nur 18 bzw. 13 %. Damit werden die in den Abschnitten 3.1 und 3.2 gemachten Aussagen voll bestätigt. Die Auswirkungen einer Unter- bzw. Überversorgung an Energie hängen in hohem Maß von der Dauer des jeweiligen Fütterungsregimes ab. Diese sind schwächer bei kurzer Dauer, weil die Kühe einer Unterversorgung mit einer Mobilisation ihrer Körperreserven begegnen. Da das Mobilisationsvermögen selbstverständlich begrenzt ist, sinkt die Milchleistung langfristig entsprechend der reduzierten Energiezufuhr. Umgekehrt können Kühe eine über den Bedarf hinausgehende Energieversorgung in immer geringerem Ausmaß in Milch umwandeln, weil das genetisch verankerte Potenzial mehr und mehr ausgeschöpft ist. Eine über den Bedarf hinausgehende Energieaufnahme geht in den Körperansatz. Dies ergibt – über das ganze Spektrum des Versorgung betrachtet – den typischen Verlauf von immer geringer werdendem Anstieg der Milchleistung mit steigender Versorgung (Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses nach Mitscherlich). Es sei nochmals betont, dass der „Bedarf“ einer Kuh nicht unbedingt eine fixe Größe ist, sondern sich auch aus einem bestimmten Fütterungsregime in einem davor liegenden Zeitabschnitt ergibt.

Im Sinne der Fragestellung der vorliegenden Arbeit interessiert nun, zu welchen Veränderungen der Milchleistung unterschiedliche Kraftfuttermgaben führen, wenn die von Coulon & Remond (1991) aufgestellten Gesetzmäßigkeiten angewendet werden. Die Ergebnisse dieser Berechnungen finden sich in Abbildung 7 (unten). Dazu wurden – basierend auf dem in INRA (1989) beschriebenen Fütterungssystem – sowohl eine Unter- als auch eine Überversorgung simuliert, indem – ausgehend von einer bedarfsgerechten Fütterung – die Kraftfuttermgaben um bis zu 4,0 kg TM reduziert bzw. um bis zu 3,5 kg TM erhöht wurden. Diese unterschiedlichen Kraftfuttermgaben beeinflussen neben der veränderten Milchleistung die Grundfütteraufnahme (Grundfütterverdrängung) und damit die mit dem Kraftfutter tatsächlich verbundene Änderung der Energieaufnahme. Mit dieser Energieaufnahme wurde die Veränderung der Milchleistung entsprechend den in Abbildung 7 (oben) angegebenen Regressionsgleichungen (d.h. Response-Kurven) von Coulon & Remond (1991) berechnet. Unter diesen Voraussetzungen ist die mit dem Kraftfutter einhergehende Energieaufnahme wegen der Grundfütterverdrängung niedriger als dem Kraftfutter entspricht, somit wird den tatsächlichen Verhältnissen besser Rechnung getragen.

In Bild 4 sind die Auswirkungen unterschiedlicher Kraftfuttermgaben in Abhängigkeit vom Aktationsstadium angeführt. In der Frühaktation wirkt sich Kraftfutter in linearer Weise auf die Milchleistung aus. Bei erstaktierenden Kühen kann demnach mit 0,8 kg ECM pro kg TM Kraftfutter gerechnet werden, bei Kühen in der Folgelaktation mit 1,2 kg ECM. Mittel- und langfristig ist nach Coulon & Remond (1991) allerdings von einem kurvilinearen Verlauf der

Kraftfutterwirkung auf die Milchleistung auszugehen. Im Falle von Unterversorgung erhöht Kraftfutter die Milchleistung langfristig stärker als bei Kühen in der Mitte der Laktation. Eine Reduktion der Kraftfuttergabe um z.B. 3 kg TM gegenüber bedarfsgerechter Ergänzung senkt die Milchleistung mittelfristig um 2,3 und langfristig um 3,4 kg ECM, die Kraftfuttergabe auf diesem Niveau der Energiebilanz (errechnet aus der 1. Ableitung der Produktionsfunktion) steigert die Milchleistung um 1,4 bzw. 2,3 kg ECM pro kg TM. Entsprechend dem kurvilinearen Verlauf vermindert sich die Kraftfutterwirkung mit Erhöhung der Energiebilanz. Bei positiver Energiebilanz besteht kaum ein Unterschied der Kraftfutterwirkung bei Kühen in der Mitte der Laktation und langfristig. Bei einer Überversorgung um z.B. 3 kg TM Kraftfutter ist eine um 1,4 – 1,6 kg ECM höhere Milchleistung gegenüber Normversorgung zu erwarten, eine Kraftfuttergabe an diesem Punkt der Energiebilanz erhöht die Milchleistung um etwa 0,5 kg ECM pro kg TM. Die Kraftfutterwirkung im Bereich der Normfütterung lässt eine Milchleistungssteigerung von 0,8 bzw. 1,0 kg ECM pro kg TM Kraftfutter erwarten. Diese Größenordnungen wurden auch in den eigenen Versuchen (siehe Abschnitt 3.1) und auch weiteren Versuchsstationen (Baum 1984, Leuenberger et al. 1986, Masch 1987) festgestellt. In Bild 5 und 6 sind die Ergebnisse der Kraftfutterwirkung aus langfristiger Sicht separat angeführt. Mit steigendem Energieniveau geht die Kraftfutterwirkung von 2,3 auf 0,5 kg ECM pro kg TM Kraftfutter zurück, dementsprechend wird die mit dem Kraftfutter zugeführte Energie zu nahezu 100 bis nur zu 12 % in Milchenergie umgewandelt.

Als Schlussfolgerung aus der Meta-Analyse von Coulon & Remond (1991) und der zusammenfassenden Auswertung der eigenen Versuche in Gumpenstein ist abzuleiten, dass ein steigendes Energieangebot über Kraftfutter zu einer abnehmenden Steigerung der Milchleistung führt. Die Ursache dafür liegt einerseits in der sog. Grundfutterverdrängung, die umso größer ist, je höher die Energiebilanz einer Kuh ist (Faverdin et al. 1991). Weiters reduziert sich der tatsächliche Energiegehalt einer Ration gegenüber dem theoretischen, wenn das Futterniveau und/oder der Kraftfutteranteil ansteigen (sog. negative associative effects zwischen Grund- und Kraftfutter, INRA 1989). Andererseits kann zusätzlich zugeführte, über den Bedarf hinausgehende Energie nicht vollständig in Milchleistung umgesetzt werden, wenn das genetisch festgelegte Leistungspotenzial ausgeschöpft ist. Somit wird überschüssige Energie in verstärktem Maß als Körperansatz verwertet, was die Kraftfuttereffizienz zusätzlich vermindert. Als ganz entscheidender Einflussfaktor der Kraftfutterwirkung hat sich auch die Dauer eines Fütterungsregimes (Kraftfutterniveaus) erwiesen. Bei kurzfristiger Unterversorgung mit Kraftfutter mobilisieren Kühe ihre Körperreserven. Die dabei festgestellte, nur relativ geringe Verminderung der Milchleistung ergibt dadurch gegenüber normversorgten Tieren eine scheinbar geringe Verwertung der mit dem Kraftfutter zugeführten Energie. Nachdem das Mobilisationsvermögen (bis zum vollständigen Verbrauch der Körperreserven) zeitlich begrenzt ist, wird die tatsächliche Kraftfutterwirkung erst bei langfristiger Anwendung (bzw. Betrachtung) sichtbar.

4. LITERATUR

Publikationen zu Material und Methoden sowie zur Diskussion der Ergebnisse:

- AFRC (Agricultural Food and Research Council), 1993: Energy and Protein Requirements of Ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB International, Wallingford, UK, 159 S.
- Baum, M., 1984: Langfristige Untersuchungen an Milchkühen über Grundfutter-Verzehr und Milchleistung bei Zuteilung unterschiedlicher Kraftfuttermengen. Diss. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Coulon, J.B. und B. Remond, 1991: Variations in milk output and milk protein content in response to the level of energy supply to the dairy cow: a review. *Livest. Prod. Sci.* 29, 31-47.

- DLG-Futterwerttabellen – Wiederkäuer, 1997: Herausgeber Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle. 7. Auflage, DLG-Verlag Frankfurt/Main, 212 S.
- Drepper, K. und K. Rohr, 1984: Grundzüge der Fütterungslehre. 16. Auflage. Pareys Studentexte 43, 143 S.
- Faverdin, P., J.P. Dulphy, J.B. Coulon, R. Verite, L.P. Garel, L. Rouel und B. Marquis, 1991: Substitution of roughage by concentrates for dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 27, 137-156.
- FiM (Feed into Milk Consortium), 2004: Feed into Milk. A new applied feeding system for dairy cows. An advisory manual. Ed. C. Thomas. Nottingham University Press, 68 S.
- Fox, D.G., M.E. Van Amburgh und T.P. Tylutki, 1999: Predicting requirements for growth, maturity and body reserves of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 82, 1968-1977.
- GEH (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie der Haustiere – Ausschuß für Bedarfsnormen), 1986: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere; Nr. 3: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag Frankfurt/Main, 92 S.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere; Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag Frankfurt/Main, 135 S.
- Gruber, L. und A. Steinwider, 1996: Einfluss der Fütterung auf die Stickstoff- und Phosphorausscheidung landwirtschaftlicher Nutztiere – Modellkalkulationen auf Basis einer Literaturübersicht. *Die Bodenkultur* 47, 255-277.
- Gruber, L., A. Steinwider, B. Stefanon, B. Steiner und R. Steinwender, 1999: Influence of grassland management in Alpine regions and concentrate level on N excretion and milk yield of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 61, 155-170.
- Gruber, L., F.J. Schwarz, D. Erdin, B. Fischer, H. Spiekers, H. Steingass, U. Meyer, A. Chassot, T. Jilg, A. Obermaier, T. Guggenberger, 2004: Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. 116. VDLUFA-Kongress, 13.-17. Sept. 2004, Rostock, Kongressband 2004, 484-504.
- Gruber, L., G. Stögmüller, K. Taferner, L. Haberl, G. Maierhofer, B. Steiner, A. Steinwider, A. Schauer, W. Knaus, 2005: Protein- und Kohlenhydrat-Fractionen nach dem Cornell-System sowie ruminaler Trockenmasseabbau *in situ* von energie- und proteinreichen Kraftfuttermitteln. *Übers. Tierernährg.* 33, 129-143.
- Gruber, L., J. Häusler, A. Steinwider, A. Schauer, G. Maierhofer, 2006a: Influence of cutting frequency in Alpine permanent grassland on nutritive value, DM yield and agronomic parameters of milk production. *Slovak J. Anim. Sci.* 39, 26-42.
- Gruber, L., K. Taferner, B. Steiner, G. Maierhofer, M. Urdl, J. Gasteiner, 2006b: Einfluss von Vegetationsstadium, Sorte, Standort und Konservierung von Silomais auf den Gehalt an Rohprotein- und Kohlenhydrat-Fractionen sowie den ruminalen *in situ*-Abbau der Trockenmasse. 118. VDLUFA-Kongress, 19.-22. Sept. 2006, Freiburg i. Bg., D, Kongressband 2006, 226-239.
- Gruber, L., A. Susenbeth, F.J. Schwarz, B. Fischer, H. Spiekers, H. Steingass, U. Meyer, A. Chassot, T. Jilg, A. Obermaier, 2007b: Evaluation of the German NE system for dairy cows on the basis of an extensive data set from feeding trials. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 16, 125.
- Haiger, A. und J. Sölkner, 1995: Der Einfluss verschiedener Futterniveaus auf die Lebensleistung kombinierter und milchbetonter Kühe. *Züchtungskde.* 67, 263-273.
- Haiger, A., 2005: Naturgemäße Tierzucht bei Rindern und Schweinen. avBuch im Öst. Agrarverlag, 144 S.
- Hall, M.B., W.H. Hoover, J.P. Jennings und T.K. Miller Webster, 1999: A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. *J. Sci. Food Agric.* 79, 2079-2086.
- Harvey, W.R., 1987: User's guide for mixed model least-squares and maximum likelihood computer program. Ohio State University, USA.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 1989: Ruminant Nutrition, Recommended Allowances and Feed Tables, 389 S.
- Kaufmann, W., 1976: Influence of the composition of the ration and the feeding frequency on pH-regulation in the rumen and on feed intake in ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 3, 103-114.
- Kirchgessner, M., 2004: Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. DLG-Verlag, 11. Auflage, 608 S.
- Kleinmans, J. und V. Potthast, 1984: Zur „Verdrängung“ von Grundfutter durch Kraftfutter in der Milchviehfütterung. *Übers. Tierernährg.* 12, 165-186.
- Korevaar, H., 1992: The nitrogen balance on intensive Dutch dairy farms: a review. *Livest. Prod. Sci.* 31, 17-27.
- Lebzien, P., K. Rohr und H.J. Oslage, 1981: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Fettsäureproduktion im Pansen von der Rationszusammensetzung. *Arch. Tierernährg.* 31, 685-696.

- Leuenberger, H., P. Kunz und A. Michel, 1986: Die Fütterung der Milchkuh ohne Kraftfutter. Schw. Landw. Monatshefte 64, 221-236.
- Lins, M., L. Gruber und W. Obritzhauser, 2003: Zum Einfluss der Energieversorgung vor der Abkalbung auf Futteraufnahme, Körpermasse und Körperkondition sowie Milchleistung und Stoffwechsel. Übers. Tierernährg. 31, 75-120.
- Martin, O. und D. Sauvant, 2002: Metaanalysis of input/output kinetics in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 85, 3363-3381.
- Masch, E., 1987: Untersuchungen zur reduzierten Kraftfutterfütterung in der Milchviehhaltung. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen.
- Mertens, D.R., 1994: Regulation of forage intake. In: Forage quality, evaluation, and utilization. National Conference on Forage Quality, Evaluation, and Utilization (Eds. G.C. Fahey et al.), 450-493.
- Orskov, E.R., 1986: Starch digestion and utilization in ruminants. J. Anim. Sci. 63, 1624-1633.
- Piatkowski, B., H. Gürtler und J. Voigt, 1990: Grundzüge der Wiederkäuer-Ernährung. 5. Kapitel: Futteraufnahme beim Wiederkäuer, Gustav Fischer Verlag Jena, 133-155.
- Resch, R., T. Guggenberger, L. Gruber, F. Ringdorfer, K. Buchgraber, G. Wiedner, A. Kasal und K. Wurm, 2006: Futterwert für das Grundfutter im Alpenraum. Der fortschrittliche Landwirt 84 (2006, Heft 24), Sonderbeilage 20 S.
- Russell, J.B., J.D. O'Connor, D.G. Fox, P.J. Van Soest und C.J. Sniffen, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. I. Ruminal fermentation. J. Anim. Sci. 70, 3551-3561.
- Sniffen, C.J., J.D. O'Connor, P.J. Van Soest, D.G. Fox und J.B. Russell, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 70, 3562-3577.
- Statgraphics Plus 5, 2000: Manugistics Leveraged Intelligence. User Manual. Maryland, USA.
- Tamminga, S., 1998. The role of nutrition management in the control of environmental pollution. Proc. Conference "Agriculture and Environment", Bled, Slovenia, 12-13 March 1998, 423-432.
- Van Horn, H.H., G.L. Newton und W.E. Kunkle, 1996. Ruminant nutrition from an environmental perspective: Factors affecting whole-farm nutrient balance. J. Anim. Sci. 74, 3082-3102.
- Van Houtert, M.F.J., 1993: The production and metabolism of volatile fatty acids by ruminants fed roughages: A review. Anim. Feed Sci. Technol. 43, 189-225.
- Van Soest, P.J., 1994: Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd ed., Cornell University Press, Ithaca, NY, 476 S.
- Wangness, P.J. and L.D. Muller, 1981: Maximum forage for dairy cows. J. Dairy Sci. 64, 1-13.

Publikationen zur Erarbeitung der Datenbasis:

- Gruber, L., R. Steinwender, K. Krimberger und J. Sölkner, 1991: Roughage intake of Simmental, Brown Swiss and Holstein Friesian cows fed rations with 0, 25 and 50 % concentrates. Livest. Prod. Sci. 27, 123-136.
- Gruber, L., R. Steinwender und W. Baumgartner, 1995: Einfluss von Grundfutterqualität und Kraftfutterniveau auf Leistung, Stoffwechsel und Wirtschaftlichkeit von Kühen der Rasse Fleckvieh und Holstein Friesian. 22. Tierzuchttagung „Aktuelle Forschungsergebnisse und Versorgungsempfehlungen in der Rindermast und Milchviehfütterung“, 9.-10. Mai 1995, Irdning, Bericht BAL Gumpenstein, 1-49.
- Gruber, L., A. Steinwider, T. Guggenberger, A. Schauer, J. Häusler, R. Steinwender und B. Steiner, 2000: Einfluss der Grünlandbewirtschaftung auf Ertrag, Futterwert, Milcherzeugung und Nährstoffausscheidung. 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 6.-8. Juni 2000, Irdning, Bericht BAL Gumpenstein, 41-88.
- Gruber, L., A. Schauer, J. Häusler, T. Guggenberger, 2007a: Einfluss von Rübenmenge und Rübensorte auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen bei unterschiedlicher Grundfutterqualität. 119. VDLUFA-Kongress, Göttingen, 18.-21. Sept. 2007.
- Steinwider, A., F. Hissek, L. Gruber und F. Lettner, 1997: Einfluss der Rationsgestaltung und des Schnittzeitpunktes auf die Grünfutteraufnahme und Nährstoffversorgung von Milchkühen. Wirtschaftseig. Futter 43, 181-204.
- Steinwider, A., P. Schweiger, L. Gruber, F. Lettner und W. Schmid, 1998: Einfluss des Fütterungszeitpunktes sowie der Protein- und Energieversorgung auf den Milchharnstoffgehalt. Agribiol. Res. 51, 314-355.
- Steinwider, A., E. Zeiler, T. Guggenberger, J. Häusler, A. Schauer und L. Gruber, 2003: Einfluss von Partikellänge und Trockenmassegehalt von Grassilage bei unterschiedlichem Kraftfutterniveau auf Pansenparameter, Verdaulichkeit und Futteraufnahme von Rindern. 2. Mitteilung: Ergebnis der Untersuchungen mit Milchkühen und Diskussion der Gesamtergebnisse. Züchtungskde. 75, 190-203.
- Urdl, M., L. Gruber, A. Schauer, G. Maierhofer, J. Häusler, T. Guggenberger und A. Steinwider, 2007: Einfluss der Energieversorgung vor und nach der Abkalbung auf die Stoffwechselsituation von Milchkühen – Teilbereich Produktionsdaten. 34. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 19.-20. April 2007, Irdning, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 15-18.

Tabelle 1A: Daten zur Ableitung der Wirkung von Kraftfutter auf Futteraufnahme und Milchleistung

QUELLE	FUTTERAUFNAHME			DECKUNG NEL _{Bedarf}	RATIONSKRITERIEN			MILCHLEISTUNG					Lebend- masse kg
	GF kg TM	KF kg TM	NEL MJ		NEL _{GF} MJ/kg TM	NEL _{GES} MJ/kg TM	XP _{GES} g/kg TM	Milch kg	Fett %	Protein %	ECM _{tatsächl.} kg	ECM _{NEL} kg	
Kurzfristige Versuche													
Gruber et al. 1991	12,8	0,0	72,1	-6,6	5,62	5,62	117	13,9	4,32	3,04	14,1	11,6	592
	11,7	3,9	96,3	9,6	5,62	6,16	132	16,6	4,17	3,18	16,7	19,1	590
	9,4	9,2	125,5	28,7	5,62	6,77	147	19,4	4,11	3,39	17,7	28,1	602
Steinwider et al. 1997	13,0	0,0	65,5	-21,7	5,04	5,00	148	15,9	4,51	3,06	16,7	9,8	571
	12,1	2,5	80,3	-12,5	5,05	5,45	147	17,7	4,39	3,10	18,5	14,4	573
Steinwider et al. 1998	12,7	1,3	83,9	-4,7	5,86	5,95	88	16,3	4,28	3,20	16,6	14,8	626
	16,6	1,4	103,7	0,0	5,58	5,74	163	20,5	4,42	3,24	21,3	20,7	645
	12,5	3,1	96,5	4,7	5,87	6,15	97	16,9	4,40	3,29	17,5	18,6	631
	14,6	4,0	112,3	5,5	5,59	6,01	164	21,7	4,38	3,29	22,4	23,4	647
Steinwider et al. 2003	14,2	5,4	127,3	1,4	6,11	6,43	143	25,7	4,77	3,42	28,1	28,6	609
	9,6	12,0	149,4	20,4	6,10	6,85	157	27,9	4,24	3,65	29,1	35,5	606
Gruber et al. 2007	13,8	1,7	92,7	-11,6	5,76	5,94	124	19,0	4,69	3,24	20,2	17,3	638
	12,9	3,7	102,7	-3,4	5,76	6,19	125	19,4	4,68	3,32	20,7	20,4	639
	11,7	5,5	110,5	2,1	5,77	6,41	127	19,8	4,80	3,37	21,5	22,9	638
	10,7	7,2	118,5	9,2	5,75	6,59	130	20,0	4,80	3,42	21,8	25,5	636
Mittelfristige Versuche													
Gruber et al. 2000	11,6	0,0	52,9	-17,2	4,53	4,50	111	11,0	4,23	3,13	11,0	5,7	583
	14,5	0,0	76,8	-11,1	5,27	5,23	128	16,1	4,14	3,08	16,0	12,6	621
	17,2	0,0	100,4	-1,7	5,88	5,83	157	20,0	4,28	3,30	20,4	20,0	623
	10,3	3,6	73,1	-11,4	4,49	5,21	118	15,2	4,11	3,16	15,1	11,6	614
	14,4	4,0	113,8	1,7	5,87	6,17	151	22,4	4,27	3,35	23,0	23,6	664
	12,4	4,4	97,6	-3,0	5,27	5,80	130	19,0	4,37	3,30	19,8	18,8	641
	14,1	4,6	116,9	5,4	5,88	6,23	150	22,6	4,23	3,39	23,1	24,7	651
	12,2	4,9	100,6	-0,9	5,27	5,86	129	19,8	4,10	3,34	20,0	19,7	646
	9,3	6,5	90,4	-4,9	4,53	5,68	120	17,6	4,42	3,28	18,2	16,7	631
Urld et al. 2007	11,4	1,2	66,6	-28,7	5,00	5,17	121	18,5	4,22	2,97	18,5	10,1	575
	11,7	1,7	73,2	-34,7	5,08	5,33	121	21,3	4,54	2,99	22,1	11,9	588
	12,1	2,3	79,0	-36,1	5,02	5,35	123	23,0	4,46	3,04	23,8	13,2	628
	10,1	8,0	116,5	-8,3	5,34	6,35	142	26,5	4,25	3,17	26,8	25,0	622
	10,0	9,4	127,3	-9,5	5,39	6,48	145	30,7	4,10	3,27	30,7	28,7	603
	9,8	10,2	132,9	-11,5	5,38	6,55	148	31,6	4,29	3,37	32,5	29,9	642
	9,7	11,6	145,3	-3,3	5,61	6,73	150	33,6	4,08	3,37	33,7	33,7	646
	10,1	12,2	152,0	13,2	5,59	6,74	149	30,8	4,04	3,45	30,9	36,0	630
	10,7	12,2	155,0	8,4	5,56	6,70	154	32,7	4,09	3,39	32,9	36,5	662
Langfristige Versuche													
Gruber et al. 1995	13,5	0,1	74,3	-11,3	5,37	5,36	115	16,3	4,30	2,87	16,4	12,7	559
	13,3	0,1	73,5	-9,3	5,35	5,35	113	14,5	4,25	3,00	14,6	11,6	621
	12,7	1,4	81,4	-7,1	5,34	5,64	119	15,7	4,41	3,09	16,2	13,7	647
	13,3	1,7	87,2	-9,9	5,37	5,70	122	19,0	4,67	2,95	20,0	16,4	581
	11,6	4,1	99,3	1,8	5,42	6,21	131	17,7	4,57	3,27	18,8	19,0	671
	12,3	5,8	116,7	-2,9	5,37	6,33	134	25,0	4,68	3,08	26,4	25,0	627