

Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz

L. Gruber¹, F.J. Schwarz², D. Erdin³, B. Fischer⁴, H. Spiekers⁵, H. Steingäß⁶, U. Meyer⁷, A. Chassot⁸, T. Jilg⁹, A. Obermaier¹⁰, T. Guggenberger¹:

Einleitung und Fragestellung

Eine möglichst genaue Abschätzung der Futteraufnahme ist Voraussetzung für bedarfsdeckende und realitätsnahe Rationsberechnungen. Die Futteraufnahme hängt von tier- und von futterbedingten Faktoren ab, zusätzlich spielt die Fütterungstechnik eine wesentliche Rolle (Piatkowski et al. 1990). Nach heutigem Kenntnisstand wird die Futteraufnahme über viele, sehr komplizierte und komplexe Vorgänge gesteuert (Forbes 1995). Daher sollten bei der Schätzung der Futteraufnahme die entscheidenden tier- und futterbedingten Parameter beachtet werden. Eine Methode für die Vorhersage der Futteraufnahme besteht in der Ableitung von Regressionsgleichungen über geeignete statistische Modelle. Dafür ist eine repräsentative Datenbasis mit einem ausreichenden Streuungsbereich in den wesentlichen tier- und futterbedingten Kriterien eine entscheidende Voraussetzung.

Grundsätzlich wird die Futteraufnahme der Tiere durch sogenannte physiologische und physikalische Faktoren reguliert. Das Ziel des Organismus ist dabei die Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Energiebilanz (physiologische Steuerung, Wangsness & Muller 1981). Der Organismus verbraucht Energie für Erhaltung und verschiedene Leistungskomponenten (Milch, Trächtigkeit etc.). Dies verursacht den Impuls, die verbrauchten Nährstoffe durch Futteraufnahme wieder aufzufüllen. Die Informationen zur Energiebilanz kommen über die flüchtigen Fettsäuren (Essigsäure, Propionsäure) aus dem Pansenstoffwechsel, aus Stoffwechselprodukten (Buttersäure, freie Fettsäuren aus dem Abbau von Fettdepots) und Hormonen (Östrogen, Progesteron, Leptin). Die Signale werden über das Nervensystem in das Gehirn geleitet und dort verarbeitet.

Für den Wiederkäuer sind neben den physiologischen noch physikalisch-mechanische Steuerungsmechanismen von großer Bedeutung, d.h. die Futteraufnahme wird ganz entscheidend auch von der Füllung des Pansens bestimmt. Je schneller der Panseninhalt abnimmt, desto höher ist die Futteraufnahme. Die Füllung des Pansens wird einerseits durch die mikrobielle Verdauung und andererseits durch die sog. Passage des Futters bestimmt. Der mikrobielle Abbau des Futters wird stark von der Futterqualität (Abbaurrate, Verdaulichkeit) beeinflusst, die Passagegeschwindigkeit hängt neben der Verdaulichkeit vom Zerkleinerungsgrad und der Futterstruktur ab. Die Futterstruktur wirkt über ihren Einfluss auf die Speichelproduktion wieder auf die mikrobielle Verdauung zurück. Die von der Pansenfüllung ausgehenden Signale werden durch sog. Dehnungsrezeptoren ebenfalls über das Nervensystem an das Gehirn weitergeleitet und dort mit den von der physiologischen Steuerung kommenden Impulsen verarbeitet. Das Ergebnis ist je nach dem Stand der Energiebilanz und der Pansenfüllung das Auslösen oder die Beendigung der Futteraufnahme (Van Soest 1994, Forbes 1995, Kirchgeßner 1997).

¹ BAL Gumpenstein, Institut für Viehwirtschaft, A-8952 Irdning, 0043 (0)3682 22451 258, Leonhard.Gruber@bal.bmluwf.gv.at

² TUM München, Department für Tierwissenschaften, D-85350 Freising-Weihenstephan, 0049 (0)8161 71 3696, Schwarzf@wzw.tum.de

³ ETH Zürich, Institut für Nutztierwissenschaften, vormals Gruppe Tierzucht, CH-8092 Zürich, 0041 (0)31 9102 160, Daniel.Erdin@sbv-usp.ch

⁴ LVA Iden, D-39606 Iden, 0049 (0)39390 6325, Bernd.Fischer@llg.mlu.lsa-net.de

⁵ Landwirtschaftskammern Rheinland – Westfalen-Lippe, D-53115 Bonn, Hubert.Spiekers@lfl.bayern.de

⁶ Universität Hohenheim, Institut für Tierernährung, D-70599 Stuttgart, 0049 (0)711 459 2419, Steingas@uni-hohenheim.de

⁷ FAL Braunschweig, Institut für Tierernährung, D-38116 Braunschweig, 0049 (0)531 596 3137, Ulrich.Meyer@fal.de

⁸ ALP Liebefeld-Posieux, Eidgenössische Forschungsanstalt für Nutztiere und Milchwirtschaft, CH-1725 Posieux, 0041 (0)26 407 7279, Andre.Chassot@rap.admin.ch

⁹ LVVG Aulendorf, D-88326 Aulendorf, 0049 (0)7525 942 302, Thomas.Jilg@lvvg.bwl.de

¹⁰ LfL Grub, D-85586 Poing, 0049 (0)89 99141 421, Anton.Obermaier@lfl.bayern.de

Aus diesen Grundsätzen ergibt sich, dass für die Vorhersage der Futtermittelaufnahme sowohl Parameter des Futterwertes der Futtermittel als auch Kriterien des Futtermittelvermögens und des Nährstoffbedarfs der Tiere heranzuziehen sind. Dies ist in vielen Formeln und Modellen zur Vorhersage der Futtermittelaufnahme angewendet worden (Conrad et al. 1964, Brown et al. 1977, Vadivello & Holmes 1979, ARC 1980, Schwarz & Kirchgeßner 1985, DLG 1986, Menke 1987, NRC 1987, INRA 1989, Gruber et al. 1990, Piatkowski et al. 1990, AFRC 1991, Rook et al. 1991, Mertens 1994, Kristensen 1995, Lang 1995, Schwarz et al. 1996, Holter et al. 1997, Roseler et al. 1997, RAP 1999).

Aus diesem Grunde hat sich eine Arbeitsgruppe – bestehend aus 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz – mit dem Ziel gebildet, Futtermittelvermögensschätzformeln für Milchkuhe zu entwickeln. Die Mitglieder dieser Arbeitsgruppe steuerten umfangreiche Daten aus ihren Fütterungsversuchen bei. Damit ist eine repräsentative Datenbasis gegeben, welche die Produktionsbedingungen dieser Länder abdeckt und somit eine breite Anwendung sowie Akzeptanz der Ergebnisse verspricht.

Material und Methoden

In die Datenbasis sind die Ergebnisse vieler Fütterungsversuche der vergangenen Jahre von folgenden 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz eingegangen:

BAL Gumpenstein:

Gruber & Steinwender (1986), Gruber et al. (1991a), Gruber et al. (1991b), Gruber et al. (1992), Steinwender et al. (1992), Gruber et al. (1995), Gruber et al. (1997a), Gruber et al. (1997b), Steinwider et al. (1997), Steinwider et al. (1998), Gruber et al. (2000), Gruber & Schwaiger (2000), Gruber et al. (2001a), Steinwider et al. (2001), Gruber et al. (unveröffentlichte Ergebnisse)

TUM Weihenstephan:

Heinzl et al. (1989), Kirchgeßner et al. (1989), Schwarz et al. (1989), Kirchgeßner et al. (1993), Manusch et al. (1993), Schwarz et al. (1993), Häffner et al. (1993), Schwarz et al. (1995a), Schwarz et al. (1995b), Birkenmaier et al. (1996), Preißinger et al. (1997a), Preißinger et al. (1997b), Preißinger et al. (1998), Gierus et al. (2001), Schwarz et al. (2001), Ettle & Schwarz (2002a), Ettle & Schwarz (2002b), Ettle et al. (2002), Schwarz et al. (unveröffentlichte Ergebnisse)

LfL Grub:

Maierhofer et al. (2000), Maierhofer & Obermaier (2002)

Universität Hohenheim:

Krüber et al. (1999), Diplomarbeit Keller (1999), Drochner et al. (2000), Diss. Scheidemann (2001), Steingaß et al. (2002), Steingaß et al. (unveröffentlichte Ergebnisse)

[Herrn Raoul von Schmettow (Versuchstechniker) wird für die Unterstützung bei der Datenaufbereitung herzlich gedankt.]

LVVG Aulendorf:

Jilg (1996a), Jilg (1996b), Jilg (1999a), Jilg (1999b), Jilg (2002)

LWZ Haus Riswick, Kleve:

Spiekers et al. (1998), Heintges et al. (1999), Wirtz et al. (2004)

FAL Braunschweig:

Daenicke et al. (1999), Daenicke (2000), Diss. Kampf (2001), Meyer et al. (2001), Spolders et al. (2003), Diss. Stemme (2002), Meyer et al. (unveröffentlichte Ergebnisse)

[Herr Dr. D. Gädeken hat wesentlich an der Datenaufbereitung der FAL Braunschweig mitgearbeitet.]

LVA Iden:

Fischer et al. (1997), Engelhard et al. (1999), Fischer et al. (1999), Diss. Thaysen (2001)
[Frau Dipl.agr.Ing.(FH) Elke Riemann wird für die Unterstützung bei der Datenaufbereitung herzlich gedankt.]

ALP Liebefeld-Posieux:

Jans & Münger (1995), Münger (1996), Münger & Jans (1997), Münger (1998), Münger (1999),
Stoll & Jans (2000), Stoll et al. (2001), Stoll et al. (2002)

ETH Zürich:

Diss. Wüest-Lüchinger (1995), Diss. Rätzer (1998), Diss. Schwager-Suter (1999), Diss. Von
Euw (2001), Diss. Reist (2001)

Das gesamte Datenmaterial umfasst 31.865 Datensätze, wobei ein Datensatz den Mittelwert einer Kuh aus 2 Wochen darstellt (in Weihenstephan Mittelwert einer Versuchsperiode von 4 bis 6 Wochen). Diese Daten wurde per Zufallsgenerator zu 80 % für die Schätzung ($n = 25.482$) und zu 20 % für die Validierung ($n = 6.383$) verwendet (Tab. 4 und 5). In vorliegenden Datenmaterial sind die Rassen Fleckvieh, Brown Swiss und Holstein-Friesian mit einer Anzahl von 6.208, 1.649 bzw. 24.008 repräsentiert. In Summe waren in den diversen Versuchen 2.264 verschiedene Kühe vertreten.

Inhaltsstoffe der Futtermittel:

Die Nährstoffgehalte der in den Versuchen bzw. Instituten eingesetzten Futtermittel sind in Tab. 1 bis 3 angeführt (nach Häufigkeit gewichtet). Heu wurde nicht in Riswick und Braunschweig gefüttert, Grünfutter (Gras und Klee) nur in Gumpenstein, Weihenstephan und Zürich. In Weihenstephan und Iden kam auch Getreide-GPS zum Einsatz. Die wesentlichsten Grobfuttermittel Grassilage und Maissilage kamen in allen Instituten vor. Die Krafffutter wurden nach dem Proteingehalt in Energie-, Leistungs- und Proteinkrafffutter unterteilt (<15 % XP, 15 – 25 % XP, > 25 % XP).

Das Heu war in allen Instituten im Durchschnitt von mittelmäßiger Qualität (30,7 % XF, 5,9 MJ NEL), allerdings mit einer großen Streubreite (16 – 49 % XF). Die durchschnittliche Energiekonzentration der Grassilagen betrug 5,80 MJ NEL, mit niedrigen Werten (5,3 MJ NEL) in Gumpenstein und Hohenheim. Dagegen waren die Grassilagen in den anderen Instituten von hoher Energiekonzentration ($\geq 6,0$ MJ NEL). Der NEL-Gehalt des Grünfutters betrug im Mittel $6,2 \pm 0,3$ MJ (5,1 – 7,2 MJ). Der Futterwert der Maissilagen war in Gumpenstein (Maisgrenzlage) signifikant niedriger als in den anderen Instituten. Als Energieträger wurden hauptsächlich die Getreidearten (Weizen, Gerste, Roggen, Mais), Trockenschnitzel und Rüben verwendet. An Proteinträgern kamen vorwiegend Produkte von Soja und Raps zum Einsatz, sowie Nebenprodukte (Biertreber, Mühlennachprodukte) und Harnstoff. Größtenteils kamen (versuchsbedingt) eigene Krafffuttermischungen zum Einsatz, deren Energiekonzentration durchwegs hoch war (im Mittel 7,8 bis 8,0 MJ NEL).

Beschreibung der Datenbasis:

Die für die Futteraufnahme wesentlichen tier- und futterbedingten Parameter sind in den Tab. 4 und 5 angeführt.

Tierbedingte Parameter:

Die Laktationszahl reicht von 1 bis 12 ($2,7 \pm 1,7$). In Gumpenstein, Aulendorf und Posieux waren die Tiere deutlich älter. Der Anteil erstlaktierender Kühe beträgt 27,2 %. Alle Laktationsstadien (früh, mittel, spät) sind abgedeckt, wenn auch die Laktationsmitte etwas häufiger vorkommt (36, 41 %, 23 %). Die Lebendmassen erstrecken sich von 398 – 999 kg (634 ± 75).

Tabelle 1: Inhaltsstoffe der Futtermittel – nach Futtermitteln (je kg TM)

		GROBFUTTER					KRAFTFUTTER		
		Grün-futter	Gras-silage	Heu	Mais-silage	Getreide-GPS	Energie-Kraftfutter	Leistungs-Kraftfutter	Protein-Kraftfutter
Anzahl	n	7.656	44.201	44.459	50.243	443	24.396	36.673	28.837
FM	g	152 ± 18	395 ± 92	876 ± 26	342 ± 52	347 ± 46	696 ± 259	777 ± 227	867 ± 94
XP	g	179 ± 33	153 ± 26	111 ± 38	79 ± 9	105 ± 9	113 ± 23	199 ± 24	438 ± 68
XL	g	35 ± 5	35 ± 7	22 ± 6	31 ± 4	26 ± 2	29 ± 25	41 ± 46	30 ± 22
XF	g	221 ± 35	261 ± 35	307 ± 60	202 ± 25	254 ± 28	65 ± 34	83 ± 36	79 ± 27
XX	g	444 ± 41	437 ± 34	472 ± 28	646 ± 32	543 ± 30	738 ± 51	615 ± 83	374 ± 61
XA		120 ± 31	114 ± 26	88 ± 19	43 ± 7	72 ± 8	54 ± 30	62 ± 28	80 ± 29
dOM	%	75,0 ± 3,7	70,8 ± 5,0	62,3 ± 6,9	72,3 ± 2,5	64,4 ± 2,2	85,1 ± 3,1	83,6 ± 5,7	88,1 ± 3,5
DOMD	g	659 ± 33	627 ± 51	568 ± 57	692 ± 25	598 ± 25	804 ± 32	784 ± 56	811 ± 43
ME	MJ	10,26±0,50	9,76 ± 0,76	8,76 ± 0,83	10,69±0,41	9,34 ± 0,25	12,43 ± 0,63	12,57 ± 1,05	12,92 ± 0,86
NEL	MJ	6,16 ± 0,35	5,80 ± 0,53	5,09 ± 0,58	6,44 ± 0,30	5,48 ± 0,18	7,81 ± 0,42	7,84 ± 0,75	8,01 ± 0,62
UDP	%	85,0 ± 0,2	84,9 ± 0,7	75,4 ± 8,2	74,3 ± 1,7	81,1 ± 2,0	71,2 ± 5,2	68,0 ± 6,8	67,5 ± 5,7
nXP	g	139 ± 9	130 ± 11	116 ± 16	129 ± 5	120 ± 3	157 ± 10	188 ± 12	274 ± 40

Tabelle 2: Energiekonzentration der Futtermittel – nach Instituten (MJ NEL/kg TM)

		GROBFUTTER					KRAFTFUTTER		
		Grün-futter	Gras-silage	Heu	Mais-silage	Getreide-GPS	Energie-Kraftfutter	Leistungs-Kraftfutter	Protein-Kraftfutter
BAL		5,72 ± 0,39	5,31 ± 0,53	5,17 ± 0,59	6,13 ± 0,44	-	7,59 ± 0,26	7,90 ± 0,18	8,30 ± 0,47
WEIH		6,00 ± 0,31	6,05 ± 0,54	5,14 ± 0,23	6,84 ± 0,31	5,63 ± 0,26	7,81 ± 0,64	7,88 ± 0,17	8,56 ± 0,26
GRUB		-	6,04 ± 0,35	5,81 ± 0,02	6,79 ± 0,38	-	-	8,03 ± 0,09	7,54 ± 0,15
HOH		-	5,33 ± 0,51	5,01 ± 0,35	6,36 ± 0,14	-	7,69 ± 0,26	7,74 ± 0,65	7,64 ± 0,51
AUL		-	5,93 ± 0,30	5,48 ± 0,26	6,50 ± 0,16	-	7,80 ± 0,11	8,03 ± 0,14	8,47 ± 0,11
RIS		-	6,04 ± 0,24	-	6,61 ± 0,22	-	7,60 ± 0,00	7,87 ± 0,25	7,11 ± 0,41
FAL		-	5,85 ± 0,56	-	6,37 ± 0,35	-	7,10 ± 0,00	7,96 ± 0,35	7,63 ± 0,73
IDEN		-	6,25 ± 0,23	6,11 ± 0,57	6,42 ± 0,19	5,44 ± 0,13	7,85 ± 0,19	7,29 ± 0,55	8,47 ± 0,29
ALP		-	6,05 ± 0,25	5,49 ± 0,17	6,56 ± 0,10	-	7,83 ± 0,58	11,27* ± 3,3	7,63 ± 0,31
ETH		6,19 ± 0,33	5,80 ± 0,25	4,70 ± 0,59	6,47 ± 0,13	-	8,20 ± 0,17	8,04 ± 0,12	8,07 ± 0,15

*) Fettzusätze, ölhaltige Samen

Tabelle 3: Energiekonzentration der Futtermittel – nach Land x Rasse (MJ NEL/kg TM)

		GROBFUTTER					KRAFTFUTTER		
		Grün-futter	Gras-silage	Heu	Mais-silage	Getreide-GPS	Energie-Kraftfutter	Leistungs-Kraftfutter	Protein-Kraftfutte r
FV [D+Ö]		5,81 ± 0,37	5,64 ± 0,55	5,27 ± 0,52	6,35 ± 0,39	5,63 ± 0,26	7,72 ± 0,25	7,98 ± 0,17	8,38 ± 0,30
BS [D+Ö]		5,73 ± 0,37	5,36 ± 0,39	5,33 ± 0,60	5,88 ± 0,48	-	7,57 ± 0,26	7,74 ± 0,16	8,26 ± 0,51
HF m [D+Ö]		6,00 ± 0,32	6,15 ± 0,27	5,45 ± 0,59	6,53 ± 0,25	5,46 ± 0,15	7,83 ± 0,25	7,62 ± 0,50	8,06 ± 0,71
HF h [D+Ö]		5,73 ± 0,41	5,47 ± 0,58	5,07 ± 0,47	6,30 ± 0,33	-	7,52 ± 0,33	7,85 ± 0,50	7,71 ± 0,66
FV [CH]		6,22 ± 0,33	5,87 ± 0,28	4,50 ± 0,41	6,48 ± 0,10	-	8,32 ± 0,10	7,98 ± 0,10	8,09 ± 0,10
BS [CH]		-	6,03 ± 0,24	5,50 ± 0,17	6,56 ± 0,10	-	7,75 ± 0,46	10,98 ± 3,47	7,61 ± 0,30
HF [CH]		6,18 ± 0,33	5,80 ± 0,25	4,97 ± 0,63	6,48 ± 0,14	-	7,97 ± 0,52	8,52 ± 1,69	7,88 ± 0,33

Die Lebendmassen wurden mit Polynomen höheren Grades nach Laktationsverlauf geglättet, woraus auch die Lebendmasse-Änderungen über die erste Ableitung berechnet wurden. Es gibt auch deutliche Unterschiede im Milchleistungsniveau, was auf Einflüsse von Rasse, Grobfutterqualität, Krafftutterniveau sowie genetisches Potenzial zurückzuführen ist. Niedrige Milchleistungen (um 20 kg) liegen in Gumpenstein, Aulendorf und Zürich vor, während die Milchleistung in Grub, Riswick, Braunschweig, Iden und Posieux im Durchschnitt über 27 kg beträgt ($24,3 \pm 8,1$ kg ECM). Signifikante Unterschiede zwischen den Instituten traten auch bei den Milchinhaltstoffen auf.

Futterbedingte Parameter:

Der Krafftutteranteil bewegt sich von 0 bis 80 % der IT (28 ± 17 %). Die Energiekonzentration im Grobfutter liegt bei $5,09 \pm 0,6$ MJ NEL ($4,1 - 7,4$ MJ NEL). Wie sich schon bei den einzelnen Futtermitteln abzeichnet, liegen deutliche Institutsunterschiede vor ($5,4, 6,4, 6,4, 5,4, 5,9, 6,3, 6,0, 6,4, 5,9$ und $6,0$ MJ NEL in BAL, WEI, GRUB, HOH, AUL, RIS, FAL, IDEN, ALP und ETH). Die entsprechenden Unterschiede gehen auch aus dem Gehalt an Rohprotein, Rohfaser und der Verdaulichkeit hervor. Dagegen ist der Energiegehalt des Krafftutters relativ ähnlich, wenn auch – bedingt durch sehr verschiedene Komponenten und den Einsatz von Futterfett – ebenfalls ein großer Streubereich festzustellen ist ($7,9 \pm 0,6$ MJ NEL; $4,3 - 13,8$ MJ NEL).

Die Gesamtration wies einen Streubereich von $4,1 - 7,7$ MJ NEL auf ($6,4 \pm 0,5$ MJ NEL). Sowohl die Grobfutterqualität als auch der Krafftutteranteil führten zu signifikanten Unterschieden zwischen den Instituten ($5,8, 6,9, 6,8, 6,2, 6,6, 6,8, 6,8, 7,0, 6,5$ und $6,2$ MJ NEL in BAL, WEI, GRUB, HOH, AUL, RIS, FAL, IDEN, ALP und ETH). Auch im Gehalt an Rohprotein (149 ± 21 g XP, $76 - 245$ g XP) ist das Datenmaterial durch eine große Streuung gekennzeichnet und lagen ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Instituten vor ($127, 156, 159, 141, 152, 163, 164, 163, 135$ und 148 g XP in BAL, WEI, GRUB, HOH, AUL, RIS, FAL, IDEN, ALP und ETH).

Bedingt durch unterschiedliche Produktionsbedingungen und Fragestellungen in den Versuchen liegt auch ein großes Spektrum sehr verschiedener Rationstypen (Anteile von Heu, Grassilage, Maissilage, Grünfutter, Getreide-GPS etc.) und Fütterungstechnik vor (konventionelle getrennte Fütterung von GF und KF, Grobfutter-Mischung, aufgewertete GF-Mischung bis zu TMR). Im Gegensatz zu einem früheren Auswertungsmodell (Gruber et al. 2001b), wurde der Einfluss der Rationstypen nicht durch Klassenbildung, sondern über kontinuierliche Variable (Regression) berücksichtigt.

Statistische Auswertung:

Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm SAS (1999) vorgenommen. Unter Verwendung von Procedure GLM bestand das statistische Modell in den fixen Effekten [Land x Rasse] (siehe Ergebnisse), Laktationszahl und Laktationsmonat, dem zufälligen Effekt Tier innerhalb [Land x Rasse] und den Regressionsvariablen Lebendmasse, Milchleistung (Milch, Eiweißmenge), Futterwert des Grobfutters (NEL, dOM, XF) und Krafftutter (kg bzw. %). Darüber hinaus wurde das Modell optional erweitert, indem Parameter der Grobfutterzusammensetzung (Anteil von Heu, Maissilage und Grünfutter am Grobfutter), das Protein/Energie-Verhältnis des Gesamtration (XP/NEL, XP/dOM, XP/XF) sowie die Lebendmasse-Veränderung berücksichtigt wurden (siehe Formel 1 bis 8, Tab. 6). Die Validierung der Schätzformeln wurde nach der von Bibby & Toutenburg (1977) vorgeschlagenen Methode vorgenommen. Dabei wird die Abweichung zwischen geschätzten und tatsächlichen Werten in Bias, Regression und Zufall aufgeteilt. Die lineare Regression zwischen geschätzter und tatsächlicher Futteraufnahme aus der Validierung wird verwendet, um die aus den Schätzformeln erhaltenen Werte zu korrigieren (siehe Tab. 6 und Rechenbeispiel in Tab. 1A).

Tabelle 4: Tier- und futterbedingte Kriterien der Versuchstiere – nach Instituten

		BAL	WEIH	GRUB	HOH	AUL	RIS	FAL	IDEN	ALP	ETH
Anzahl	n	5.669	1.374	266	3.585	1.772	3.774	2.717	4.463	2.237	6.008
Tierfaktoren											
Laktations-	n	3,28	2,67	2,43	2,36	3,57	2,65	2,61	2,11	3,03	2,37
zahl	±	1,81	1,67	1,49	1,40	2,12	2,03	1,50	1,06	1,73	1,36
Laktations-	d	136	129	147	162	143	142	126	140	97	143
tage	±	75	76	63	93	83	75	53	75	61	84
Lebend-	kg	614	634	715	622	702	639	635	615	679	628
masse	±	72	64	79	73	71	72	70	66	69	72
Δ Lebend-	g/d	37	202	426	212	312	257	379	229	-62	181
masse	±	708	776	645	494	850	639	734	644	816	425
Milch-	kg	19,1	23,2	26,6	24,4	21,4	27,7	27,5	27,6	27,8	22,9
leistung	±	7,1	6,7	4,8	7,7	7,6	7,7	6,1	7,0	6,7	8,6
Milch-	%	4,31	3,97	4,00	4,00	4,16	4,08	4,31	4,72	4,34	4,32
fett	±	0,58	0,64	0,43	0,61	0,54	0,57	0,55	0,67	0,51	0,60
Milch-	%	3,16	3,42	3,59	3,30	3,61	3,33	3,31	3,66	3,34	3,36
protein	±	0,35	0,35	0,21	0,33	0,31	0,27	0,26	0,33	0,30	0,38
Futterfaktoren											
Kraffutter-	% TM	19,8	31,3	33,0	35,2	28,9	34,9	42,7	41,2	28,8	9,6
anteil	±	17,9	12,3	6,7	13,0	14,2	9,5	10,1	10,0	9,8	12,8
Heu-	% GF	49,0	7,4	11,3	42,3	25,7	0,0	0,0	0,2	55,4	18,5
anteil	±	29,5	9,3	11,0	14,2	8,9	-	-	0,8	29,2	17,0
Grassilage-	% GF	28,0	18,2	32,8	38,0	47,9	55,3	64,7	45,4	8,1	16,8
anteil	±	19,8	35,0	5,6	16,1	14,7	12,0	41,4	17,9	22,8	23,5
Grünfutter-	% GF	3,4	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,2
anteil	±	16,5	33,2	-	-	-	-	-	-	-	36,3
Maissilage-	% GF	19,6	51,0	55,9	19,7	26,4	44,7	35,3	53,9	36,5	12,0
anteil	±	14,1	41,9	10,3	17,8	14,3	12,0	41,4	17,8	30,4	14,6
XP-Gehalt	g/kg TM	119	115	122	116	115	126	119	120	117	142
Grobfutter	±	20	37	18	20	11	21	35	20	27	20
XF-Gehalt	g/kg TM	284	229	217	258	258	221	270	220	229	234
Grobfutter	±	28	31	16	20	25	16	55	17	23	25
NEL-Gehalt	MJ/kg TM	5,36	6,35	6,39	5,39	5,94	6,31	6,04	6,36	5,92	5,98
Grobfutter	±	0,43	0,55	0,22	0,41	0,21	0,21	0,30	0,14	0,36	0,30
XP-Gehalt	g/kg TM	127	156	159	141	152	163	164	163	135	148
Gesamtfutter	±	19	22	10	17	16	10	15	13	15	19
XF-Gehalt	g/kg TM	241	179	170	188	207	179	184	162	175	217
Gesamtfutter	±	43	29	14	28	39	17	34	16	19	27
NEL-Gehalt	MJ/kg TM	5,84	6,86	6,83	6,23	6,56	6,82	6,83	6,95	6,45	6,19
Gesamtfutter	±	0,54	0,46	0,18	0,50	0,39	0,20	0,22	0,17	0,27	0,33
Futter- und Nährstoffaufnahme (je Tag)											
Grund-	kg TM	12,4	11,8	13,1	11,8	11,9	12,3	11,8	11,0	14,1	16,7
futter	±	2,5	2,2	1,6	2,3	1,8	2,2	2,3	1,9	2,5	3,0
Kraft-	kg TM	3,5	5,6	6,6	6,7	5,3	6,8	9,0	8,1	5,9	2,0
futter	±	3,6	2,5	1,8	3,0	3,0	2,5	2,6	2,5	2,3	2,9
Gesamt-	kg TM	15,9	17,4	19,8	18,6	17,2	19,1	20,8	19,2	20,2	18,7
futter	±	3,2	2,6	2,4	3,3	3,2	3,3	2,8	2,9	2,8	3,4
Netto-	MJ NEL	94,2	119,6	135,5	116,2	113,4	130,7	142,3	133,9	130,6	116,1
energie	±	25,8	21,4	18,0	24,8	25,5	23,6	20,5	21,5	18,8	24,4
Futter-	APL	2,61	3,24	3,36	3,20	2,85	3,52	3,85	3,71	3,36	3,16
niveau	±	0,67	0,58	0,44	0,67	0,63	0,61	0,56	0,58	0,43	0,60
Energie-	MJ NEL	-6,4	+7,3	+6,1	+0,2	+1,1	+2,2	+12,6	-1,7	-2,6	+1,5
bilanz	±	13,2	14,3	11,7	16,4	18,0	16,6	15,7	20,7	13,5	18,0

Tabelle 5: Tier- u. futterbedingte Kriterien der Versuchstiere – Datei Schätzung u. Validierung

			Datei SCHÄTZUNG	Datei VALIDIERUNG	Datei GESAMT
Anzahl			25.482	6.383	31.865
Tierfaktoren					
Laktationszahl	n	$x \pm s$ <i>min - max</i>	2,67 ± 1,66 1 – 12	2,68 ± 1,68 1 – 12	2,67 ± 1,67 1 – 12
Laktationstage	d	$x \pm s$ <i>min - max</i>	138 ± 78 2 – 459	139 ± 79 3 – 434	138 ± 78 2 – 459
Lebendmasse	kg	$x \pm s$ <i>min - max</i>	633 ± 75 398 – 999	635 ± 75 407 – 980	634 ± 75 398 – 999
Δ Lebendmasse	g/d	$x \pm s$ <i>min - max</i>	187 ± 659 -4.500 – 4.410	177 ± 654 -4.417 – 4.363	185 ± 658 -4.500 – 4.410
Milchleistung	kg	$x \pm s$ <i>min - max</i>	24,3 ± 8,1 2,2 – 60,6	24,3 ± 8,2 2,3 – 55,8	24,3 ± 8,1 2,2 – 60,6
Milchfett	%	$x \pm s$ <i>min - max</i>	4,28 ± 0,63 2,38 – 8,08	4,28 ± 0,63 2,51 – 7,61	4,28 ± 0,63 2,38 – 8,08
Milchprotein	%	$x \pm s$ <i>min - max</i>	3,37 ± 0,36 1,28 – 4,89	3,37 ± 0,37 2,17 – 4,91	3,37 ± 0,36 1,28 – 4,91
Futterfaktoren					
Kraffutteranteil	% TM	$x \pm s$ <i>min - max</i>	28,1 ± 17,2 0,0 – 80,3	28,0 ± 17,2 0,0 – 75,6	28,1 ± 17,2 0,0 – 80,3
Heuanteil	% GF	$x \pm s$ <i>min - max</i>	22,7 ± 27,1 0,0 – 100,0	22,7 ± 27,1 0,0 – 100,0	22,7 ± 27,1 0,0 – 100,0
Grassilageanteil	% GF	$x \pm s$ <i>min - max</i>	35,1 ± 28,2 0,0 – 100,0	35,1 ± 28,2 0,0 – 100,0	35,1 ± 28,2 0,0 – 100,0
Grünfutteranteil	% GF	$x \pm s$ <i>min - max</i>	9,5 ± 24,9 0,0 – 100,0	9,4 ± 24,9 0,0 – 100,0	9,5 ± 24,9 0,0 – 100,0
Maissilageanteil	% GF	$x \pm s$ <i>min - max</i>	30,5 ± 26,5 0,0 – 100,0	30,5 ± 26,5 0,0 – 100,0	30,5 ± 26,5 0,0 – 100,0
XP-Gehalt Grobfutter	g/kg TM	$x \pm s$ <i>min - max</i>	123 ± 25 66 – 252	124 ± 25 66 – 251	123 ± 25 66 – 252
XF-Gehalt Grobfutter	g/kg TM	$x \pm s$ <i>min - max</i>	246 ± 36 159 – 382	246 ± 36 160 – 382	246 ± 36 159 – 382
NEL-Gehalt Grobfutter	MJ/kg TM	$x \pm s$ <i>min - max</i>	5,91 ± 0,50 4,07 – 7,35	5,92 ± 0,50 4,08 – 7,35	5,91 ± 0,50 4,07 – 7,35
XP-Gehalt Gesamtfutter	g/kg TM	$x \pm s$ <i>min - max</i>	149 ± 21 76 – 245	149 ± 21 79 – 243	149 ± 21 76 – 245
XF-Gehalt Gesamtfutter	g/kg TM	$x \pm s$ <i>min - max</i>	197 ± 40 101 – 381	198 ± 40 115 – 382	197 ± 40 101 – 382
NEL-Gehalt Gesamtfutter	MJ/kg TM	$x \pm s$ <i>min - max</i>	6,44 ± 0,54 4,09 – 7,69	6,44 ± 0,54 4,11 – 7,66	6,44 ± 0,54 4,09 – 7,69
Futter- und Nährstoffaufnahme (je Tag)					
Grundfutter	kg TM	$x \pm s$ <i>min - max</i>	13,0 ± 3,1 3,6 – 31,3	13,0 ± 3,1 4,1 – 25,8	13,0 ± 3,1 3,6 – 31,3
Kraffutter	kg TM	$x \pm s$ <i>min - max</i>	5,5 ± 3,7 0,0 – 16,3	5,4 ± 3,7 0,0 – 16,4	5,5 ± 3,7 0,0 – 16,4
Gesamtfutter	kg TM	$x \pm s$ <i>min - max</i>	18,5 ± 3,4 6,2 – 31,6	18,5 ± 3,5 5,4 – 30,5	18,5 ± 3,5 5,4 – 31,6
Nettoenergie	MJ NEL	$x \pm s$ <i>min - max</i>	119,8 ± 27,7 33,4 – 219,4	119,9 ± 27,9 33,5 – 215,3	119,8 ± 27,7 33,4 – 219,4
Futterniveau	APL	$x \pm s$ <i>min - max</i>	3,25 ± 0,72 0,86 – 5,71	3,25 ± 0,73 0,90 – 5,67	3,25 ± 0,72 0,86 – 5,71
Energiebilanz	MJ NEL	$x \pm s$ <i>min - max</i>	0,5 ± 17,4 -105,2 – 96,1	0,6 ± 17,3 -113,9 – 56,5	0,5 ± 17,4 113,9 – 96,1

Ergebnisse und Diskussion

Es wurden insgesamt 8 Formeln abgeleitet. Die Formeln unterscheiden sich in mehreren Aspekten:

- Wahl des Futterwertparameters für das Grobfutter: NEL, dOM bzw. XF in Formel 2, 3 und 4
- Berücksichtigung der Grobfutterzusammensetzung sowie des Protein/Energie-Verhältnisses: Formel 1 und 5 gegenüber den weiteren Formeln
- Berücksichtigung des Krafftutereinflusses: Krafftutter-Menge gegenüber Krafftutter-Anteil in Formel 5 und 6 gegenüber den weiteren Formeln
- Berücksichtigung der Milchleistung: Milch-Menge gegenüber Eiweiß-Menge in Formel 7 gegenüber den weiteren Formeln
- Berücksichtigung der Lebendmasse-Veränderung: Formel 8

Die Komponenten der Gleichungen und Schätzwerte für die diversen Einflussfaktoren auf die Futteraufnahme sind in Tab. 6 angeführt. *Es ist vorauszuschicken, dass die in den Formeln angeführten Effekte jeweils nur unter Beachtung und Konstanthaltung aller weiteren Parameter zu interpretieren sind (z.B. Laktationseinfluss bei konstanter Milchleistung, gleichem Krafftutterniveau etc.). Im Anhang (Tab. 1A) ist auch ein Berechnungsbeispiel angeführt, um die Anwendung zu erleichtern.*

Erste Auswertungen haben ergeben, dass zwischen den Instituten große Unterschiede in der Gesamtfutteraufnahme bestehen, wenn wesentliche die Futteraufnahme bestimmende Faktoren (Laktationsstadium, Lebendmasse, Milch, Grobfutterqualität, Krafftutterniveau) im statistischen Modell enthalten sind, d.h konstant gehalten werden (Abb. 1 links oben). Ganz besonders heben sich die beiden Schweizer Institute (ALP, ETH) ab, doch auch zwischen den deutschen Instituten zeigen sich Differenzen von nahezu 2 kg TM (z.B. AUL, FAL). Neben tatsächlich möglichen, systematischen Unterschieden ist dafür jedoch eine Vermengung der Effekte „Institut“ mit dem Effekt „Rasse“ (Abb. 1 rechts oben) und auch dem Effekt „Fütterungssystem“ (Abb1. rechts unten) anzuführen. So waren in den Instituten GRUB und AUL nur Fleckvieh und in HOH, RIS, FAL und IDEN nur Holstein vertreten, der Einfluss von „Institut“ und „Rasse“ somit nicht zu trennen. Ähnliches gilt auch für das Fütterungssystem (GF einzeln, GF in Mischung, AGR, TMR).

Daher wurden in einem ersten Auswertungsschritt alle Kombinationen von [Institut x Rasse] gebildet, da Institute nur verglichen werden können, die gleiche Rassen halten. Abb. 1 (links Mitte) zeigt deutlich, dass bei FLECKVIEH die Institute BAL, WEI, GRUB und AUL innerhalb eines Bereiches von 0,9 kg TM liegen, während ETH eine um mehr als 2 kg TM höhere Futteraufnahme ausweist. Bei BROWN SWISS ist die Datenbasis relativ gering und nur durch die zwei Institute BAL und ALP vertreten, die sich um 1 kg TM unterscheiden. Auch bei HOLSTEIN heben sich die Schweizer Institute deutlich von den übrigen ab, doch die verbleibenden Institute aus Deutschland und Österreich teilen sich in zwei sehr ähnliche Gruppen, nämlich die Institute WEI, RIS und IDEN mit einem Mittelwert von 17,5 kg TM und die Institute BAL, HOH und FAL mit einem Mittelwert von 18,5 kg TM Gesamtfutteraufnahme. Diese Gruppen werden als „HF m“ und „HF h“ („m“ und „h“ für Managementstufe „mittel“ und „hoch“).

Als Konsequenz aus dieser Vorauswertung ergibt sich, dass das vorliegende Datenmaterial hinsichtlich des Einflusses der Effekte von Land, Institut und Rasse in 7 Klassen einzuteilen ist, die vom Anwender der Futteraufnahme-Formeln nach folgenden Kriterien auszuwählen sind (Abb. 1, rechts Mitte):

1. Schritt – Zuteilung zu „Rasse“: Fleckvieh, Brown Swiss bzw. Holstein Friesian
2. Schritt – Zuteilung zu „Land“: Deutschland+Österreich bzw. Schweiz
3. Schritt – Zuteilung zu „Managementstufe“: „mittel“ bzw. „hoch“ (nur bei Holstein)

Die Klassenbezeichnungen sind wie folgt:

FV [D+Ö], BS [D+Ö], HF m [D+Ö], HF h [D+Ö]

FV [CH], BS [CH], HF [CH]

(Diese Unterteilung in Managementstufen ist auch bei den anderen Rassen denkbar bzw. wahrscheinlich, aber im vorliegenden Datenmaterial nicht repräsentiert).

Diese Ergebnisse sind in zweifacher Weise zu interpretieren. Hinsichtlich „RASSE“ ist die höhere Futteraufnahme milchbetonter Kühe gegenüber kombinierten in vielen Versuchen bestätigt worden (Zaugg 1976, Oldenbroek 1979, Bieri 1982, Korver 1982, Gruber et al. 1991a). Jedoch sind in vielen dieser Versuche Krafffutter und Milchleistung auf Grund bedarfsgerechter Krafffutterzuteilung vermengt und die Futteraufnahme durch unterschiedliche Krafffutteranteile somit strenggenommen nicht vergleichbar. Auch wenn, wie im vorliegenden Modell, die wesentlichen Parameter wie Milchleistung, Lebendmasse, Grobfutterqualität und Krafffutterniveau konstant gehalten werden, ergeben sich leicht höhere Futteraufnahmen bei den milchbetonten Kühen. Diese sind die Folge eines etwas höheren Erhaltungsbedarfs auf Grund einer höheren Stoffwechselrate und des hormonellen Status bei höherer Leistung (Fox et al. 1992, Münger 1994). Hinsichtlich „LAND“ ergeben sich die Unterschiede aus den doch deutlich divergierenden Fütterungssystemen und Produktionszielen zwischen Deutschland und der Schweiz (Schlagwort „raufutterbetonte Kuh“ in der Schweiz. Außerdem wird auf viele Publikationen der ALP und ETH zu diesem Thema verwiesen).

Wie in der Auswertung des Gumpensteiner Zahlenmaterials (Gruber et al. 2001b) und vielen weiteren Vorhersagemodellen (Schwarz & Kirchgeßner 1985, INRA 1989, Kristensen 1995, Schwarz et al. 1996, Roseler et al. 1997, RAP 1999) zeigt sich, dass erstlaktierende Kühe ein geringeres Futteraufnahmevermögen aufweisen als Kühe mit mehreren Laktationen. Dies ist mit dem noch nicht voll abgeschlossenen Wachstum und dem folglich kleineren Verdauungsraum dieser Tiere zu erklären. Allerdings ist die Futteraufnahme älterer Kühe (≥ 4 Laktationen) wieder etwas geringer, was von Stoffwechselerkrankungen, Klauenproblemen, Mastitis etc. herrühren könnte (Abb. 1, links unten).

Hochsignifikant und seit langem bekannt ist auch der Einfluss des Laktationsstadiums auf die Futteraufnahme. Das Laktationsstadium wurde als fixer Effekt (10 Stufen) und nicht als Regressionsvariable in das Modell aufgenommen, weil dies die Möglichkeit eröffnet, weitere tier- und futterbedingte Parameter individuell (innerhalb Laktationsmonat) zu berücksichtigen und somit eine Wechselwirkung zwischen Laktationsstadium und diesen Regressionsvariablen zu modellieren. Die Futteraufnahme während der Laktation folgt einem klassischen Verlauf, mit einem steilen Anstieg zu Beginn. Das Maximum wird erst gegen Ende der Laktation erreicht (Abb. 2, links oben). Die tatsächliche Futteraufnahme verringert sich allerdings gegen Laktationsende, da sie von der Milchleistung und Krafffuttermenge mitbeeinflusst wird, die in Richtung abnehmender Futteraufnahme wirken. Der Verlauf der Futteraufnahme während der Laktation ist häufig mit einer logarithmischen Funktion beschrieben worden (z.B. Brown et al. 1977, Menke 1987, Gruber et al. 1990, Kristensen 1995). Roseler et al. (1997) haben den starken Anstieg der Futteraufnahme zu Laktationsbeginn mit einer sog. lag-Phase dargestellt.

Im Hinblick auf eine leichtere Anwendung der Formel wird der Effekt des Laktationsstadiums nicht über die einzelnen 10 Stufen berücksichtigt, sondern über eine exponentielle Gleichung nach dem Modell von Orskov & McDonald 1979 (abgeleitet aus den Werten für die 10 Laktationsmonate), die in Abb. 2 (links oben) dargestellt und auch in Tab. 6 angeführt ist. Außerdem werden so auch „Sprünge“ zwischen den einzelnen Laktationsmonaten vermieden. Sinngemäß gilt dies auch für die Regressionskoeffizienten für Lebendmasse, Milch und Krafffutter, die über Polynome (2. Grades) aus den entsprechenden Schätzwerten innerhalb Laktation abgeleitet wurden. Die auf diese Weise abgeleiteten Gleichungen weisen sehr hohe R^2 -Werte (81 – 99 %) auf. Somit ist diese Vorgangsweise gerechtfertigt und erleichtert außerdem die Anwendung bzw. Programmierung der Futteraufnahme-Formeln erheblich.

Die Regressionskoeffizienten sind in Abb. 2 angeführt. Daraus wird ersichtlich, dass sich diese Koeffizienten während der Laktation in hohem Maße ändern. Außerdem sind deren Werte auch von der Art der Formel, d.h. von den gewählten Parametern abhängig. Als Beispiel werden die Regressionskoeffizienten der Formeln 2, 6 und 7 angeführt, zwischen denen die größten Unterschiede auftraten.

Der Regressionskoeffizient für Lebendmasse beträgt etwa 0,01, d.h. im Durchschnitt steigt die Gesamtfuttermenge pro 100 kg LM um 1,0 kg TM an (Abb. 2, rechts oben). Allerdings ist dieser Regressionskoeffizient stark von der Laktation abhängig, d.h. er verringert sich im Verlauf der Laktation signifikant von etwa 0,013 auf 0,008 (Formel 2). Die Formel 6 (Krafftutteranteil statt Krafftuttermenge) führt zu einem höheren Regressionskoeffizienten für Lebendmasse, die Formel 7 (Eiweißmenge statt Milchmenge) zu etwas geringeren Regressionskoeffizienten für Lebendmasse. Lindner et al. (1981) und Schwarz & Kirchgeßner (1985) haben außerdem einen Einfluss der Laktationszahl auf den Regressionskoeffizienten für Lebendmasse festgestellt. Als physiologische Erklärung für die unterschiedlichen Regressionskoeffizienten kann angeführt werden, dass höhere Lebendmassen bei jüngeren Tieren wesentlich mehr mit einem größeren Rahmen und damit höherer Futtermengekapazität verbunden sind als bei älteren Kühen, bei denen höhere Lebendmasse häufig mit stärkerer Verfettung einhergeht, welche über die physiologische Regulation die Futtermengeaufnahme reduziert. Aus der Literaturübersicht von Schwarz & Gruber (1999) geht hervor, dass die Regressionskoeffizienten für Lebendmasse im Bereich von 0,5 kg TM (Roseler et al. 1997) bis 1,7 kg TM (Mertens 1994) pro Anstieg der LM um 100 kg liegen. Zwischen diesen Werten liegen die Angaben vieler Autoren, was den vorliegenden Ergebnissen gut entspricht (1,2 kg TM – Menke 1987, 1,0 kg TM – INRA 1989, 0,9 kg TM – Holter et al. 1997). Im Mittel der Literaturlauswertung betrug der Regressionskoeffizient für Kühe der ersten Laktation 1,2, für die weiteren Laktationen 0,8 und ohne Berücksichtigung der Laktationszahl 1,3 kg TM pro Anstieg der LM um 100 kg.

Der Regressionskoeffizient für die Lebendmasse-Veränderung (Formel 8, Tab. 6) beträgt 0,36 (kg TM pro kg Lebendmasse-Veränderung). Die Berücksichtigung der Lebendmasse-Veränderung erhöht die Schätzgenauigkeit der Futtermengeaufnahme-Formel nur unwesentlich ($R^2 = 87,0$ bzw. $87,3$ in Formel 2 und 8). Dies ist auf die bekannten Probleme bei der Feststellung der Lebendmasse zurückzuführen (Füllung des Verdauungstraktes). Weiters 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 Kirchgeßner 1997, Fox et al. 1999, Martin & Sauvant 2002, Lins et al. 2003). Die Körperkondition zur Beschreibung des Ernährungszustandes (Edmonson et al. 1989) liegt in diesem Datenmaterial nicht vor.

Der mittlere Regressionskoeffizient für die Milchleistung beträgt 0,17, d.h. die Gesamtfuttermenge erhöht sich durchschnittlich um 0,17 kg TM pro kg Milch (Formel 2). Wenn an Stelle der Krafftuttermenge der Anteil des Krafftutters herangezogen wird (Formel 6), ergeben sich deutlich höhere Regressionskoeffizienten für die Milchleistung (im Mittel 0,27). Die Verwendung der Eiweiß-Menge (Formel 7) anstatt der Milchmenge verbessert die statistischen Parameter der Schätzformel nur unwesentlich (Tab. 6, Abb. 3). Die Berücksichtigung der Lebendmasse-Veränderung (Formel 8) verändert die Regressionskoeffizienten für Milchleistung nicht.

Wie Abb. 2 (links Mitte) zeigt, folgt auch der Regressionskoeffizient für Milchleistung einem von der Laktation abhängigen Verlauf. Der Regressionskoeffizient steigt von Laktationsbeginn bis Laktationsende deutlich von 0,10 auf 0,21 kg TM pro kg Milch an. Diese großen, statistisch gesicherten Unterschiede rechtfertigen nicht die Anwendung eines durchschnittlichen, über alle Laktationsmonate gepoolten Regressionskoeffizienten und erhöhen die Schätzgenauigkeit

bei der Anwendung der Formel wesentlich. Auch diese Ergebnisse können physiologisch interpretiert werden. Der Stoffwechsel der Kuh erfährt während der Laktation grundlegende Veränderungen über die hormonelle Steuerung (Flatt & Moe 1971, Swan 1979, Baumann & Currie 1980, Scheunert & Trautmann 1987, Vernon 1988, INRA 1989, Gruber et al. 1995). Zu Laktationsbeginn liegt ein mehr oder weniger großes Energiedefizit vor, in dem die Kuh je nach Leistungspotenzial und Versorgung über das Futter ihre Körperreserven mobilisiert (katabole Stoffwechsellage). Dies wird in einem besonders niedrigen Regressionskoeffizienten für Milchleistung sichtbar. Im weiteren Verlauf der Laktation nimmt die Mobilisation ab und zwischen Futteraufnahme und Leistung besteht ein relatives Gleichgewicht. Aus diesem Grund sind die Regressionskoeffizienten zu Beginn niedriger – zu Laktationsbeginn kommt ein Teil der Energie aus den Körperreserven (und nicht nur aus dem Futter). Die Beziehung von Futteraufnahme und Milchleistung ist also in dieser Phase von Mobilisationsvorgängen überlagert. Dies ist in der Mitte der Laktation nicht (oder weniger ausgeprägt) der Fall. Somit ergeben sich Regressionskoeffizienten, die sich zwischen 0,10 und 0,21 bewegen (also ein Unterschied von 100 %). Allerdings nimmt der Regressionskoeffizient gegen Laktationsende im Gegensatz zur Auswertung des Gumpensteiner Datenmaterials nicht ab (Gruber et al. 2001b). Dafür gibt es zwei Erklärungen: Erstens liegt das Leistungsniveau der Tiere im nun vorliegenden Datenmaterial deutlich höher und die Kühe benötigen für diese Leistung auch entsprechend Nährstoffe. Zweitens waren die Kühe zu Laktationsbeginn nicht im gleichen Ausmaß energetisch unterversorgt wie in den Gumpensteiner Versuchen und mußten folglich zu Laktationsende auch nicht so viele Körperreserven wieder auffüllen.

In der Literaturschau von Schwarz & Gruber (1999) betragen die Regressionskoeffizienten für Milchleistung im Mittel der Kühe der ersten Laktation 0,36 kg, der weiteren Laktationen 0,31 kg und bei Kühen ohne Unterscheidung der Laktationszahl 0,24 kg TM pro Anstieg der Milchleistung um 1 kg. Relativ niedrige Werte geben Menke (1987) mit 0,13 kg und Lindner et al. (1981) mit 0,15 kg TM an. Im mittleren Bereich der Literaturdaten liegen Vadiveloo & Holmes (1979) mit 0,18 kg, Mertens (1994) mit 0,24 kg, INRA (1989) mit 0,27 kg und Brown et al. (1977) mit 0,28 kg TM pro Anstieg der Milchleistung um 1 kg. Die höchsten Regressionskoeffizienten werden in den amerikanischen Arbeiten von Roseler et al. (1997), Holter et al. (1997) und NRC (1989) berichtet (0,33, 0,36 und 0,39 kg TM pro kg Milch). Damit sind die Literaturwerte teilweise höher als in der vorliegenden Untersuchung bzw. entsprechen eher den Werten ab der Laktationsmitte (siehe Abbildung 3). Das Laktationsstadium dürfte auch die wesentliche Erklärung für die Unterschiede sein, da Fütterungsversuche, aus denen die Formeln abgeleitet werden, vorwiegend im Bereich der Laktationsmitte durchgeführt werden. Das vorliegende Datenmaterial stammt dagegen aus Versuchen, die in vielen Fällen über die ganze Laktation gegangen sind. Ein weiterer Grund für die hohen Regressionskoeffizienten für Milchleistung in den amerikanischen Arbeiten liegt in den hohen Krafftutteranteilen und damit hohen Energieniveaus, bei welchen in jenen Produktionsbedingungen Milch erzeugt wird. In solchen Situationen überwiegt nach Mertens (1994) die physiologische Regulation der Futteraufnahme, die in einer engen Beziehung zwischen Milchleistung und Futteraufnahme (d.h. hoher Regressionskoeffizient für Milchleistung) zum Ausdruck kommt. Daneben spielt natürlich auch das statistische Modell (die Auswahl der die Futteraufnahme beeinflussenden Faktoren) für die Werte der Regressionskoeffizienten eine Rolle.

Der Regressionskoeffizient für Krafftutter beschreibt die Erhöhung der Gesamtfutteraufnahme pro zusätzlichem kg Krafftutter und somit indirekt auch die Grobfutterverdrängung (Abb. 2, rechts Mitte). Im Durchschnitt erhöht sich die Gesamtfutteraufnahme um 0,47 kg pro kg Krafftutter (TM), was einer Grobfutterverdrängung von 0,53 entspricht (Formel 1 und 2). Dies ist nahezu identisch mit dem von Gruber et al. (2001b) angegebenen Wert (0,45) aus dem Gumpensteiner Datenmaterial. Auch der Einfluss des Krafftutters auf die Gesamtfutteraufnahme ist stark laktationsabhängig und nimmt während der Laktation signifikant von 0,64 auf 0,40 ab (Formel 1 und 2). Dies kann ebenfalls aus dem Blickwinkel der physiologischen

Regulation der Futteraufnahme erklärt werden. Die Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Energiebilanz ist das übergeordnete Wirkungsprinzip bei der physiologischen Regulation der Futteraufnahme (Wangness & Muller 1981). So ist es selbstverständlich, wenn die Kühe zu Laktationsbeginn – also in Situationen eines mehr oder weniger starken Energiedefizits – auf Krafftutter besonders deutlich mit einer Erhöhung der Futteraufnahme reagieren, da sie einen hohen Bedarf an Energie haben. Da die Energiebilanz während der Laktation – wie oben gezeigt – auf Grund hormoneller Steuerung mehr und mehr positiv wird, reagiert die Kuh auf Krafftutter zunehmend geringer mit einer Erhöhung der Futteraufnahme, weil dadurch ein zu großer Energieüberschuss entstünde. Der Rückgang der Regressionskoeffizienten für Krafftutter ist in allen Modellen bzw. Formeln festzustellen (Tab. 6). Das Niveau dieser Regressionskoeffizienten wird allerdings stark vom statistischen Modell, d.h. den ausgewählten Parametern bestimmt. Die Verwendung von Rohfaser zur Beschreibung der Grobfutterqualität führt zu einem hohen Regressionskoeffizienten für Krafftutter (im Mittel 0,64 in Formel 4) und die Einbeziehung der Milchprotein-Leistung anstelle der Milch-Menge (Formel 7) ergibt einen etwas geringeren Regressionskoeffizienten für Krafftutter (im Mittel 0,44). Wenn der Krafftutter-Anteil (anstatt der Krafftutter-Menge) – gedacht für die Abschätzung der Futteraufnahme bei TMR – zur Beschreibung der Krafftutterwirkung herangezogen wird, muss mit einer niedrigeren Schätzgenauigkeit gerechnet werden ($R^2 = 87.0$ bzw. 83.8% in Formel 2 und 6, Tab. 6). Für EDV-Lösungen (mit Schleifen) wird daher empfohlen, die Formel 1 oder 2 heranzuziehen und intern bei jedem Schritt aus der Krafftutter-Menge den Krafftutter-Anteil zu rechnen, um optimale TMR zu rechnen.

Die unter anderem von Ekern (1972) festgestellte, höhere Grobfutterverdrängung zu Laktationsbeginn dürfte somit andere Ursachen haben. Kirchgeßner & Schwarz (1984) haben als Erklärung angeführt, dass Kühe zu Laktationsbeginn eine geringere Grobfutteraufnahmekapazität aufweisen und dadurch ein höherer Krafftutteranteil entsteht, der über eine Absenkung des pH-Wertes im Pansen zu einer scheinbar größeren Verdrängung führt, obwohl aus physiologischer Sicht das Gegenteil zu erwarten ist.

Die Verdrängung des Grobfutters durch Krafftutter 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 Speichelbildung. Dieser zu tiefe pH-Wert hemmt die Aktivität gerade der zellulolytischen Pansenmikroben und verlangsamt somit den Abbau des Grobfutters 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 Grobfutterverdrängung vor allem vom Stand der Energiebilanz der Kuh ab, d.h. auch in dieser Untersuchung wird die Grobfutterverdrängung 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 Krafftutter 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 Grobfutterverdrängung untersucht. (1) Grobfutterration (Heu, Grassilage, Maissilage); (2) Krafftutterart (stärkereich wie Getreide, hochverdauliche Faser wie Trockenschnitzel sowie Sojaschalen und niedrigverdauliche Faser wie Kleien, Hafer oder Sonnenblumenkuchen); (3) Krafftutterniveau (niedrig, mittel, hoch). In Abhängigkeit von diesen drei Hauptfaktoren wurden Verdrängungsraten von 0,3 bis über 0,8 kg TM pro kg TM Krafftutter ermittelt, wobei – wie oben ausgeführt – die Energiebilanz hauptverantwortlich für das Ausmaß der Verdrängung war. Die Verdrängung war höher bei Maissilage, bei stärkereichem Krafftutter und bei hohem Krafftutterniveau. Im INRA Fill-unit-System (1989) wird das Ausmaß der Grobfutterverdrängung mit steigender Milchleistung

geringer und mit steigendem Futterwert höher, woraus ebenfalls ein Zusammenhang von Grobfutterverdrängung und Energiebilanz sichtbar wird. Dies gilt sinngemäß auch für die Wechselwirkung von Grobfutterqualität und Krafffutter hinsichtlich der Grobfutterverdrängung. So haben Kleinmans & Potthast (1984) und Piatkowski et al. (1990) bei höherer Grobfutterqualität eine höhere Grobfutterverdrängung ermittelt, weil eben bei höherer Grobfutterqualität eher eine positive Energiebilanz erzielt wird.

Die Grobfutterqualität ist neben dem Krafffutter der zweite entscheidende nutritive Einflussfaktor auf die Futteraufnahme. Als Parameter zur Beschreibung der Grobfutterqualität wurde vorrangig die Energiekonzentration (MJ NEL/kg TM) gewählt, weil dieser Wert auch für die Energieversorgung verwendet wird und somit Grundlage jeder Rationsberechnung ist (Formel 1 und 2). Daneben werden auch die Verdaulichkeit der OM (dOM, %) und die Rohfaser (XF, g/kg TM) in Formel 3 und 4 angeboten. Damit wäre die vorliegende Arbeit auch bei eventuellen Änderungen des Energiebewertungssystems nutzbar. Die Verdaulichkeit ergibt eine mit dem NEL-Gehalt identische Schätzgenauigkeit der Futteraufnahme-Formel, während der Rohfasergehalt sogar eine etwas höhere Vorhersagegenauigkeit ermöglicht (Tab. 6, Abb. 3). Der Regressionskoeffizient für den NEL-Gehalt hängt stark von den übrigen Parametern des Modells ab. Er beträgt 0,86 in Formel 1 (Steigerung der Futteraufnahme pro MJ NEL des Grobfutters). Bei Hereinnahme der Grobfutterzusammensetzung (Anteil von Heu, Maissilage und Grünfutter) sowie des Energie/Protein-Verhältnisses der Gesamtration errechnet sich ein Regressionskoeffizient für den NEL-Gehalt von 0,98 (Formel 2). Die Verwendung des Krafffutteranteils führt zu deutlich niedrigeren Regressionskoeffizienten für NEL_{GF} (0,61 bzw. 0,66 in Formel 5 und 6). Auch die Einbeziehung der Lebendmasse-Veränderung vermindert den Regressionskoeffizienten für NEL_{GF} (0,98 bzw. 0,91 in Formel 2 gegenüber Formel 8).

Insgesamt sind die angeführten Regressionskoeffizienten für NEL_{GF} somit deutlich niedriger als der von Gruber et al. (2001b) ermittelte Wert von 1,2 und ändert sich im Gegensatz zu den anderen bisher diskutierten Regressionskoeffizienten nicht im Laufe der Laktation. Eine sehr wahrscheinliche Erklärung für den niedrigeren Regressionskoeffizienten des NEL-Gehaltes liegt im Grad der Energieversorgung der Kühe in den einzelnen Instituten (Tab. 4). Auf Grund spezieller Fragestellungen war die Energieversorgung der Kühe in Gumpenstein deutlich negativ (im Mittel -6,4 MJ NEL), während sie in den meisten Instituten deutlich positiv war, also Energieüberschuss vorlag (+7, +6 und +13 MJ NEL in Weihenstephan, Grub und Braunschweig). Aus Sicht der physiologischen Regulation der Futteraufnahme muss die Bedeutung der Energiekonzentration für die Futteraufnahme zurückgehen (Mertens 1994), wenn die Kühe in positiver Energiebilanz sind, weil sie „bestrebt“ sind, eine ausgeglichene Energiebilanz zu erreichen (Wangsness & Muller 1981).

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass neben dem grundsätzlichen Parameter der Futtermittel, der die Abbaurate im Pansen beschreibt (NEL, dOM, XF, NDF etc.) natürlich die Konservierungsqualität einen maßgeblichen Einfluss auf die Grobfutteraufnahme ausübt. Diesbezügliche Informationen enthielt das vorliegende Datenmaterial nicht. Mit Hilfe von Korrekturfaktoren aus der Literatur können bzw. sollten gewisse Anpassungen vorgenommen werden. Auch weitere Faktoren wie Zerkleinerungsgrad, Häcksellänge (Preißinger et al. 1997a, 1998) etc. konnten in der Formel nicht berücksichtigt werden.

Die in der Literatur angegebenen Regressionskoeffizienten für NEL_{GF} erstrecken sich über einen weiten Bereich. Nach einer Übersicht von Schwarz & Gruber (1999) wurden von den einzelnen Autoren Werte von 0,5 kg (Roseler et al. 1997), 0,9 kg (Brown et al. 1977, Mertens 1994), 1,7 kg (Gruber et al. 1990) bis 2,3 kg TM (Menke 1987) pro Anstieg des NEL-Gehaltes im Grobfutter um 1 MJ/kg TM ermittelt. Der Durchschnittswert dieser Literatúrauswertung betrug für Kühe der ersten Laktation 0,51 kg, der weiteren Laktationen 0,67 kg und bei Kühen ohne Unterscheidung der Laktationszahl 1,61 kg TM pro Anstieg des NEL-Gehaltes im Grobfutter um 1 MJ/kg TM.

Von den weiteren nutritiven Einflussfaktoren erwiesen sich der Anteil des Heus, der Maissilage und des Grünfutters (% des Grobfutters, TM) als signifikant. Sie besagen, dass die Gesamtfutteraufnahme pro 10 % Heu etwa um 0,12 kg TM, pro 10 % Maissilage um 0,07 und pro 10 % Grünfutter um 0,06 kg TM (Formel 2) ansteigt (Tab. 6, Abb. 2 rechts unten). Aus dem INRA Fill-unit-System (1989) geht hervor, dass den Futtermitteln ein spezifischer Füllwert (fill value) zukommt, der nicht unbedingt parallel zur Verdaulichkeit bzw. Energiekonzentration verläuft. Nach Mertens (1994) wird die Pansenfüllung der Futtermittel (d.h. die physikalische Regulation der Futteraufnahme) am besten durch den Gehalt an NDF beschrieben.

Auch das Protein/Energie-Verhältnis der Gesamtration (g XP/MJ NEL) übte einen signifikanten Einfluss auf die Futteraufnahme aus. Dies ist mit dem N-Stoffwechsel des Pansens zu erklären. Die Pansenmikroben benötigen für ihr Wachstum Stickstoff-Komponenten (NH₃, teilweise Peptide und Aminosäuren), und zwar im Ausmaß der von den Mikroben produzierten Proteinmenge. Dieser Stickstoff kommt aus dem abgebauten Futterprotein und im Falle von N-Mangel zu einem gewissen Grad aus dem N-Recycling über den rumino-hepatischen Kreislauf (Orskov 1982, Russel et al. 1992, Van Soest 1994, GfE 2001). Eine Unterversorgung an N beschränkt die Pansenfermentation nicht, solange dies durch das N-Recycling über den rumino-hepatischen Kreislauf kompensiert wird. Ab einem Proteingehalt von 6 – 8 % ist der N-Bedarf der Mikroben nicht mehr zu decken und Verdaulichkeit sowie Futteraufnahme werden reduziert (Van Soest 1994). Die untere Grenze für ein optimales Mikrobewachstum wird durch einen Gehalt von 5 – 10 mg NH₃-N/100 ml Pansensaft beschrieben (Satter & Roffler 1975, Piatkowski et al. 1990). Diese Zusammenhänge werden eindeutig aus der kurvilinearen Beziehung zwischen Proteingehalt und Futteraufnahme in Abb. 2 (unten links) sichtbar. Ausgehend vom mittleren XP/NEL-Verhältnis des vorliegenden Datenmaterials (23 g/MJ) wird die Futteraufnahme deutlich mehr und in zunehmender Form vermindert, wenn der Proteingehalt abnimmt (-1,1 kg TM) als die Futteraufnahme zunimmt, wenn der Proteingehalt erhöht wird (+0,7 kg TM). Dies stimmt gut mit den oben diskutierten theoretischen Grundlagen des N-Stoffwechsels im Pansen überein und wird bestätigt durch zahlreiche Fütterungsversuche in der Literatur, die zeigen, dass die Futteraufnahme in den Proteinmangel-Gruppen häufig erniedrigt ist (Gruber et al. 1991b, Sutton et al. 1996, Aston et al. 1998, Kröber et al. 1999, NRC 2001, Ettle & Schwarz 2002 a und b, Ruiz et al. 2002, Cabrita et al. 2003). Oldham & Smith (1980) kommen in ihrer Literaturübersicht zum Schluss, dass die Protein-Effekte auf die Futteraufnahme sowohl von der Erhöhung der Verdaulichkeit als auch von der metabolischen Wirkung über verbesserte Versorgung mit Aminosäuren herrühren. FAVERDIN et al. (2003) infundierten Sojaprotein in den Pansen oder in den Dünndarm. Die Infusion in den Dünndarm steigerte die Futteraufnahme in deutlich höherem Maße als in den Pansen. Daraus kann eine metabolische Wirkung über die Verbesserung der Pansenfermentation hinaus abgeleitet werden.

Für die Robustheit und allgemeine Anwendbarkeit einer Gleichung ist wesentlich, dass die in die Regression eingehenden Variablen nicht miteinander korrelieren. Dies ist im vorliegenden Datenmaterial in hohem Ausmaß der Fall, wie nachstehende Aufstellung zeigt (Ausnahme: Beziehung Krafffutter – Milch). Durch diese Unabhängigkeit der Einflussfaktoren untereinander ist gewährleistet, dass bei Variation eines Faktors auch dessen eigentlicher Einfluss erfasst wird und nicht der Effekt eines Parameters, mit dem er korreliert. Somit ist eine entscheidende Voraussetzung für eine robuste Regressionsanalyse gegeben.

Part. Korrelation	LM-Veränderung	Milch	GF _{NEL}	KF
Lebendmasse	0,035	-0,002	0,086	0,042
LM-Veränderung	-	-0,257	0,182	0,196
Milch	-	-	0,264	0,719
GF _{NEL}	-	-	-	-0,086

Abbildung 1: Einfluss von Institut, Land, Rasse, Laktationszahl sowie der Fütterungstechnik auf die Futteraufnahme (kg TM je Tag)

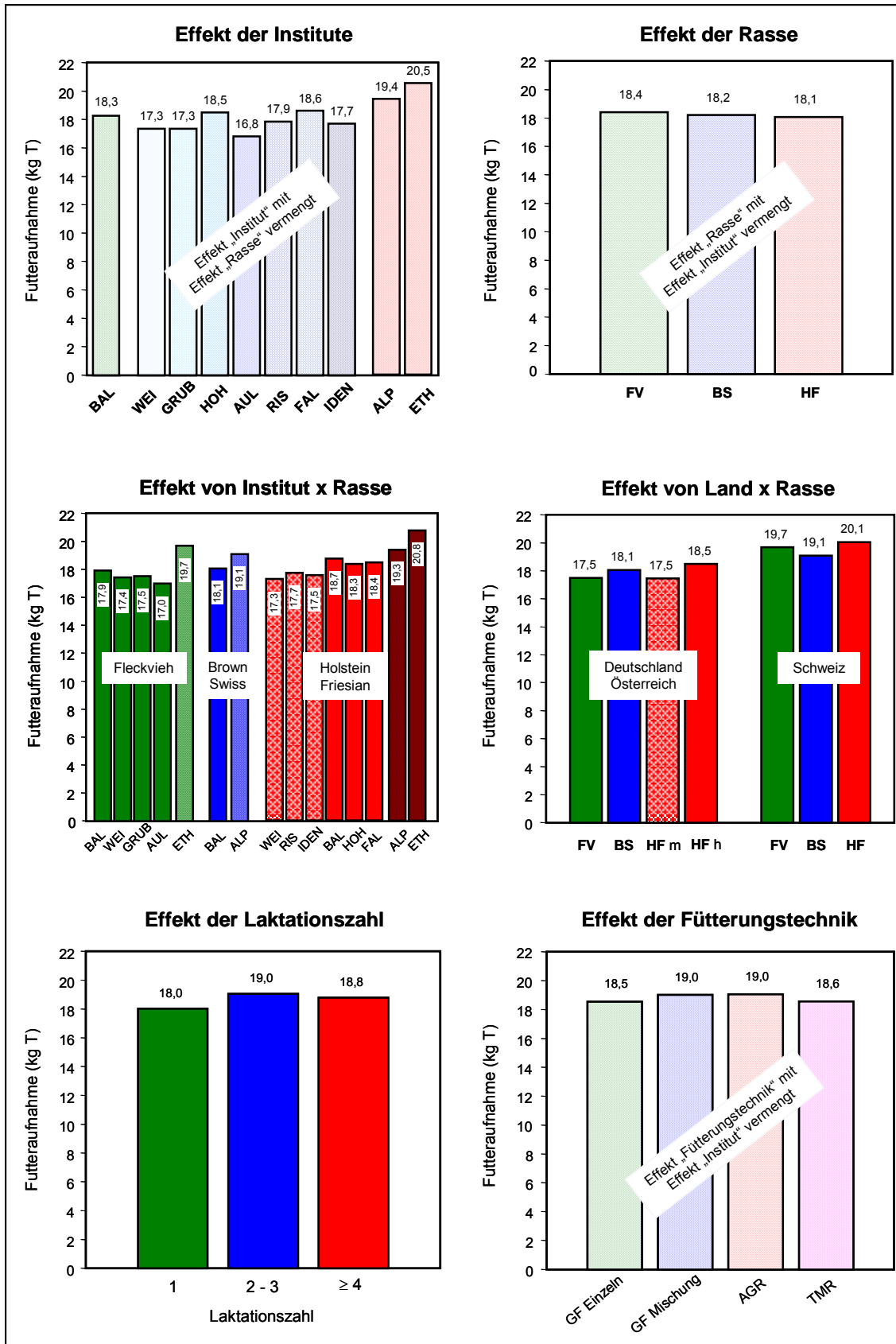


Abbildung 2: Einfluss des Laktationsstadiums sowie Regressionskoeffizienten für Lebendmasse, Milch, Kraftfutter, XP/NEL-Verhältnis und Grobfutteranteile

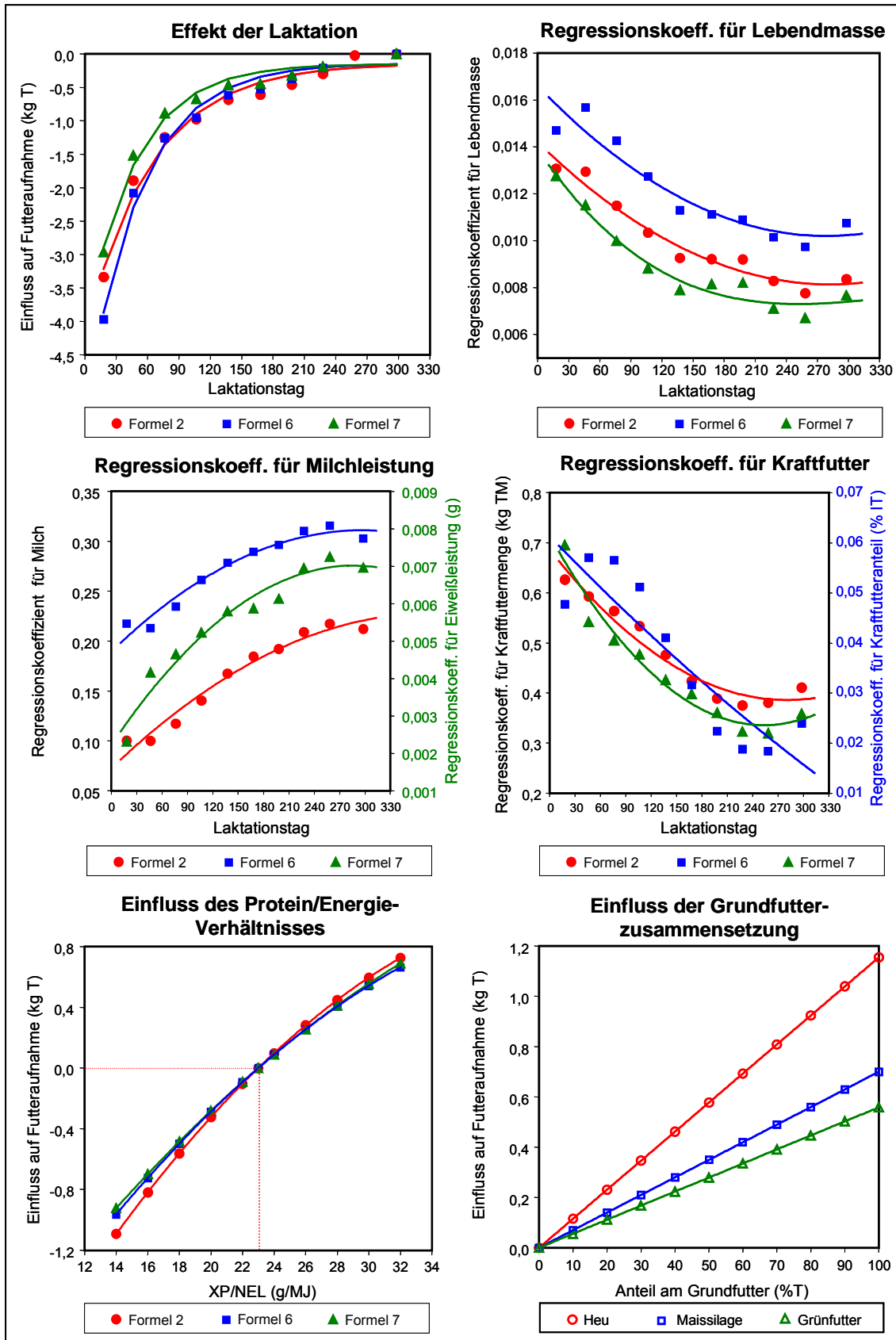


Tabelle 6: Futteraufnahme-Schätzformeln (Gesamtfutteraufnahme, kg TM je Tag), n = 25.482

Parameter	Einheit		Formel 1	Formel 2	Formel 3	Formel 4	Formel 5	Formel 6	Formel 7	Formel 8
Intercept			3,878	-0,557	-2,248	19,071	2,274	-1,669	1,206	-0,388
Effekt Land x Rasse	FV [D+Ö]		-2,631	-2,570	-2,609	-1,957	-2,169	-2,195	-2,589	-2,585
	BS [D+Ö]		-1,826	-2,006	-2,107	-1,653	-1,391	-1,562	-1,928	-1,992
	HF m [D+Ö]		-2,720	-2,604	-2,653	-1,725	-1,999	-2,052	-2,638	-2,581
	HF h [D+Ö]		-1,667	-1,573	-1,680	-0,998	-0,898	-0,911	-1,425	-1,577
	FV [CH]		-0,275	-0,371	-0,344	0,006	-0,315	-0,338	-0,535	-0,445
	BS [CH]		-0,882	-0,959	-0,959	-1,024	-0,593	-0,692	-0,967	-0,946
	HF [CH]		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Effekt der Laktationszahl	n	1	-0,728	-0,767	-0,798	-0,725	-0,658	-0,701	-0,807	-0,768
		2 - 3	0,218	0,261	0,242	0,230	0,236	0,270	0,225	0,255
		≥ 4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Effekt des Laktationstages	d	a	-4,287	-4,224	-4,214	-3,967	-5,445	-5,408	-4,149	-3,796
		b	4,153	4,088	4,097	3,865	5,298	5,274	4,002	3,694
	Modell: $a + b * (1 - \exp(-c * \text{Laktag}))$	c	0,01486	0,01583	0,01537	0,01303	0,01838	0,01928	0,02094	0,01583
Regressionskoeffizient für Lebendmasse	kg	a	0,0148	0,0142	0,0143	0,0122	0,0173	0,0166	0,0136	0,0152
		b ₁	-0,0000474	-0,0000431	-0,0000438	-0,0000401	-0,0000514	-0,0000460	-0,0000531	-0,0000488
	Modell: $a + b_1 * (\text{Laktag}) + b_2 * (\text{Laktag})^2$	b ₂	0,0000000904	0,0000000763	0,0000000783	0,0000000847	0,0000000999	0,0000000826	0,0000001104	0,0000000896
Regressionskoeffizient für Milchleistung	kg	a	0,0825	0,0723	0,0759	0,0767	0,2010	0,1895	-	0,0782
		b ₁	0,0008098	0,0008151	0,0008148	0,0008002	0,0008080	0,0008201	-	0,0007730
	Modell: $a + b_1 * (\text{Laktag}) + b_2 * (\text{Laktag})^2$	b ₂	-0,000000966	-0,000001065	-0,000001107	-0,000000886	-0,000001299	-0,000001385	-	-0,000000892
Regressionskoeffizient für Proteinleistung	kg	a	-	-	-	-	-	-	0,0022	-
		b ₁	-	-	-	-	-	-	0,0000334	-
	Modell: $a + b_1 * (\text{Laktag}) + b_2 * (\text{Laktag})^2$	b ₂	-	-	-	-	-	-	-0,000000058	-
Regressionskoeffizient für Kraftfutter-Menge	kg TM	a	0,6962	0,6856	0,6755	0,9094	-	-	0,7133	0,6435
		b ₁	-0,0023289	-0,0021353	-0,0021406	-0,0027739	-	-	-0,0029795	-0,0018564
	Modell: $a + b_1 * (\text{Laktag}) + b_2 * (\text{Laktag})^2$	b ₂	0,0000040634	0,0000038023	0,0000038790	0,0000049938	-	-	0,0000058761	0,0000031528
Regressionskoeffizient für Kraftfutter-Anteil	% IT	a	-	-	-	-	0,0631	0,0613	-	-
		b ₁	-	-	-	-	-0,0002096	-0,0001743	-	-
	Modell: $a + b_1 * (\text{Laktag}) + b_2 * (\text{Laktag})^2$	b ₂	-	-	-	-	0,0000001213	0,0000000748	-	-
Reg.koeffizient NEL _{GF}	MJ/kg TM	-	0,8580	0,9830	-	-	0,6090	0,6606	0,8046	0,9136
Reg.koeffizient dOM _{GF}	%	-	-	-	0,095663	-	-	-	-	-
Reg.koeffizient XF _{GF}	g/kg TM	-	-	-	-	-0,030218	-	-	-	-
Reg.koeffizient Heu	% GF	-	-	0,01154	0,01176	0,00696	-	0,00848	0,01108	0,01122
Reg.koeff. Maissilage	% GF	-	-	0,00699	0,01018	-0,01403	-	0,00961	0,00603	0,00689
Reg.koeff. Grünfutter	% GF	-	-	0,00558	0,00595	-0,00022	-	0,00324	0,00664	0,00525
Regressionskoeffizient XP/NEL-Verhältnis	g/MJ	XP/NEL	-	0,2053	-	-	-	0,2126	0,1557	0,1717
		XP/NEL ²	-	-0,002266	-	-	-	-0,002404	-0,001437	-0,001544
Regressionskoeffizient XP/dOM-Verhältnis	g/%	XP/dOM	-	-	3,5026	-	-	-	-	-
		XP/dOM ²	-	-	-0,662689	-	-	-	-	-
Regressionskoeffizient XP/XF-Verhältnis	g/g	XP/XF	-	-	-	-2,9112	-	-	-	-
		XP/XF ²	-	-	-	-0,499522	-	-	-	-
Reg.koeffizient Δ LM	kg/Tag	-	-	-	-	-	-	-	-	0,356
R ²	%	-	86,7	87,0	87,0	87,6	83,5	83,8	87,3	87,3
RSD	kg TM	-	1,32	1,30	1,30	1,27	1,46	1,45	1,28	1,28
CV	%	-	7,1	7,0	7,0	6,9	7,9	7,8	7,0	6,9
Korrekturfaktor	$IT_{\text{korr.}} = a + b * IT_{\text{predicted}}$		$0,47+0,930*IT_p$	$0,38+0,932*IT_p$	$0,36+0,930*IT_p$	$-0,44+0,973*IT_p$	$0,71+0,920*IT_p$	$0,67+0,918*IT_p$	$0,60+0,930*IT_p$	$0,58+0,929*IT_p$

Zusammenfassend ergeben die statistischen Analysen, dass je nach Modell (Formel 1 – 8) tierbedingte Faktoren (Lebendmasse, Lebendmasse-Veränderung, Milch) etwa 51 – 54 % der Streuung erklären und der Rest der Streuung (49 – 46 %) auf futterbedingte Einflussfaktoren (Krafftutter, NEL-Gehalt des Grobfutters, Grobfutterzusammensetzung, Energie/Protein-Verhältnis) zurückzuführen ist. Durch die Hereinnahme der Lebendmasse-Veränderung erhöht sich der Prozentsatz tierbedingter Faktoren. Von den tierbedingten Faktoren ist die Milchleistung zu 60 – 68 % beteiligt, bei den futterbedingten Einflussfaktoren gehen etwa 65 % vom Krafftutter aus. Damit ist der Anteil tierbedingter Faktoren etwas höher als in der Auswertung des Gumpensteiner Datenmaterials (Gruber et al. 2001b), was wiederum mit dem Futteraufnahme-Modell (NDF/NEL-System) von Mertens (1994) zu erklären ist. Die vorliegenden, umfangreichen Daten sind im Mittel durch eine ausgeglichene Energiebilanz charakterisiert, während in Gumpenstein eine energetische Unterversorgung von 6,6 MJ NEL vorlag (Tabelle 4 und 5). Je höher die Energieversorgung (relativ zum Bedarf) ist, desto mehr entscheiden physiologische Komponenten (vor allem die Milchleistung) über die Futteraufnahme (physiologische Regulation). Ist dagegen die Energiekonzentration relativ zur Milchleistung zu niedrig, fressen die Tiere das Futter primär in einem Ausmaß, wie es die Pansenfüllung erlaubt (physikalische Regulation). Dies zeigen auch die Regressionskoeffizienten für Milchleistung und NEL-Gehalt des Grobfutters im Verlauf der Laktation.

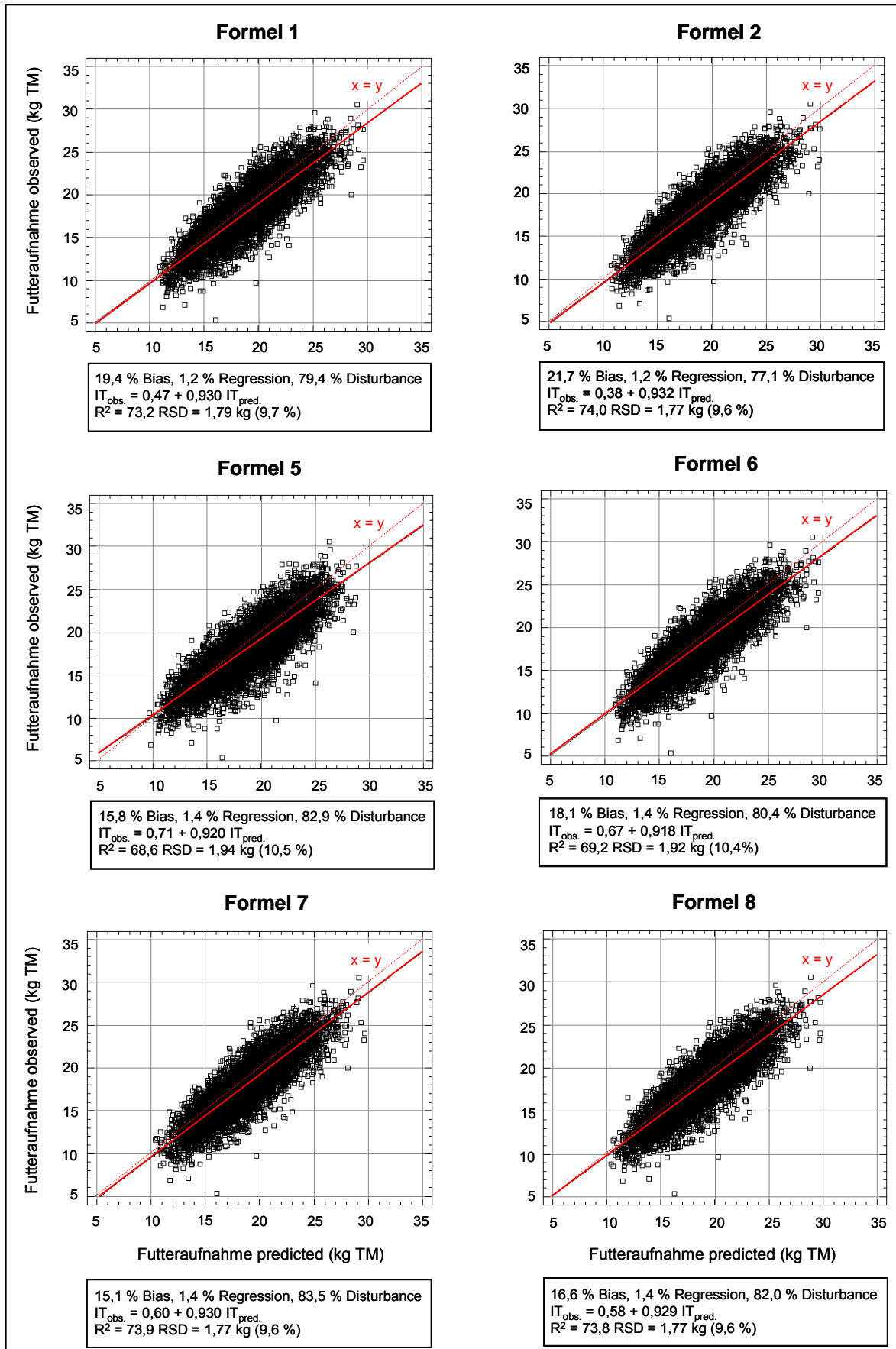
Validierung

Mit dem den Schätzformeln zu Grunde liegenden statistischen Modell waren etwa 83,5 – 83,8 % (Formel 5 und 6, Krafftutter-Anteil) bzw. 86,7 – 87,6 % (übrige Formeln, Krafftutter-Menge) der Varianz der Futteraufnahme zu erklären. Der Restfehler beträgt 1,27 – 1,46 kg TM, was einem Varianzkoeffizienten von 6,9 bis 7,9 % entspricht (Tab. 6). Diese statistischen Parameter zeigen, dass die Art des Futterwertparameters (NEL, dOM, XF), die Art der Milchleistung (Milch, Proteinmenge) sowie die Berücksichtigung der Lebendmasse-Veränderung die Genauigkeit der Futteraufnahme-Schätzformeln kaum beeinflussen. Nur die Verwendung des Krafftutteranteils anstelle der Krafftuttermenge führt zu schlechteren Ergebnissen. Damit weisen die vorliegenden Formeln einen höheren Schätzfehler auf als die von Gruber et al. (2001b) aus einem Institut (BAL Gumpenstein) erarbeiteten Gleichungen, obwohl der Effekt des Institutes bzw. des Landes im statistischen Modell enthalten ist. Die Berücksichtigung des Einflusses der Institute war unbedingt erforderlich, um den Effekt der oben diskutierten physiologischen und nutritiven Einflussfaktoren auf die Futteraufnahme unverfälscht vom jeweiligen Standort zu erhalten.

Die Ergebnisse der Validierung von 6 Schätzgleichungen (Formeln 1, 2, 5, 6, 7, 8) sind in Abb. 3 angeführt. Die statistischen Kennzahlen (R^2 , RSD, CV) der Beziehung zwischen geschätzter und tatsächlicher Futteraufnahme zeigen etwas schlechtere Resultate als die der Schätzformeln selbst, folgen jedoch dem gleichen Trend wie die Schätzgleichungen. Der Grund für die schlechtere Beziehung liegt erstens darin, dass der zufällige Effekt des Tieres im Modell enthalten ist und bei der Anwendung der Formeln nicht berücksichtigt werden kann. Zum anderen bedeutet die Zusammenfassung einzelner Institute zu „Ländern“ doch eine gewisse Ungenauigkeit. Wie schon bei den Schätzformeln selbst, ergibt die Validierung der Formeln mit der Krafftuttermenge bessere Resultate als der Formeln mit dem Krafftutteranteil ($R^2 = 74,0$ bzw. 68,9 %, CV = 9,6 bzw. 10,5 %). Der Restfehler der Beziehung zwischen geschätzter und tatsächlicher Futteraufnahme beträgt 1,73 bis 1,94 kg TM (Variationskoeffizient 9,3 bis 10,5 %).

Die Parameter Krafftuttermenge bzw. Krafftutteranteil sind nicht völlig identisch. Die Verwendung von Krafftutteranteil bedeutet, dass neben dem Krafftutter zugleich auch das Grobfutter miteinfließt, während die Krafftuttermenge (abgesehen von der Grobfutterverdrängung) unabhängig von der Grobfutteraufnahme ist. Dies ist auch die Erklärung für den

Abbildung 3: Validierung der Schätzformeln (n = 6.383)



doch teilweise anderen Verlauf der Regressionskoeffizienten und deren absolutes Niveau (siehe Abb. 2). Die Berücksichtigung der Lebendmasse-Veränderung im statistischen Modell brachte praktisch keine Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit. Dies ist einmal mehr die Bestätigung, dass die Lebendmasse-Veränderung kein geeigneter Parameter für die Mobilisation bzw. Retention von Körperreserven ist. Dies umso mehr, als versucht wurde, die Fehler bei der Bestimmung der Lebendmasse durch Glättung über Polynome abzuschwächen.

Die Analyse der Beziehung von geschätzter und tatsächlicher Futteraufnahme und deren Aufteilung in Bias, Regression und Zufall nach Bibby & Toutenburg (1977) zeigt, dass die Streuung zum überwiegenden Teil (im Mittel 80 %; 75 – 84 %) zufallsbedingt ist. Etwa 19 % der Streuung (15 – 24 %) beruhen auf einer systematischen Abweichung und nur ein geringer Teil (im Mittel 1,2 %; 0,2 – 1,4 %) ist auf eine regressionsbedingte Abweichung zurückzuführen. Eine systematische Abweichung bedeutet eine prinzipielle Verschiebung der Schätzwerte von den tatsächlichen Daten über den ganzen Bereich, während eine regressionsbedingte Abweichung auf eine Über- oder Unterschätzung nur in einem Teil des Datenbereichs (oben oder unten) hinweist. Die Formeln unterscheiden sich in den diesbezüglichen Charakteristika nur unwesentlich. Die regressionsbedingte Abweichung ist zu vernachlässigen, auch der systematische Anteil der Streuung ist gering. *Insgesamt führen die Formeln zu einer leichten Überschätzung der Futteraufnahme im oberen Bereich. Dies wird korrigiert über die Beziehung zwischen geschätzter und tatsächlicher Futteraufnahme (Tab. 6, Abb. 3, Tab. 1A).* Der Restfehler von 6,9 bis 7,9 % (auf Basis der Schätzgleichung) bzw. von 9,3 bis 10,5 % (auf Basis der Validierung) besagt, dass ein gewisser Teil der Futteraufnahme durch nicht im Modell erfasste Faktoren mitbestimmt wird. Allerdings ist auf Grund individueller Unterschiede in jedem Fall mit einer biologisch bedingten „natürlichen“ Streuung (im Ausmaß von etwa 10 %) zu rechnen. Auch die Validierung des NEL-Systems (Gegenüberstellung von NEL-Bedarf und NEL-Aufnahme) ergab eine Variation von 14,1 % (nicht dargestellt).

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass aus den sehr umfangreichen und heterogenen Daten wesentliche und grundlegende Gesetzmäßigkeiten der Futteraufnahme herausgearbeitet werden konnten. Rasse und Produktionsgebiet spielen eine Rolle. Als entscheidende Einflussfaktoren haben sich Laktationszahl und vor allem Laktationsstadium erwiesen. Von den tierbedingten Parametern sind weiters noch Lebendmasse und Milchleistung wesentlich bestimmend für die Futteraufnahme. Als grundlegende nutritive Faktoren sind Grobfutterqualität und besonders Krafftutterniveau zu nennen. Über die Gewichtung der Einflussfaktoren entscheidet die aktuelle Energiebilanz der Kuh. Ist diese positiv, überwiegen eher physiologische Parameter (Milchleistung), während bei energetischer Unterversorgung die Futteraufnahme vorwiegend von der Pansenfüllung bestimmt wird, also eher nutritive Komponenten (Grobfutterqualität, Krafftutter) die Futteraufnahme determinieren. Da sich die Energiebilanz einer Kuh während der Laktation drastisch von negativ zu positiv entwickelt, verändert sich auch die Bedeutung und Gewichtung der die Futteraufnahme bestimmenden Parameter während der Laktation. Dem wurde Rechnung getragen, indem vom Laktationsstadium abhängige Regressionskoeffizienten geschätzt wurden.

Literatur

Die Literaturangaben zu den für die Datenbasis verwendeten Quellen sowie zur Diskussion finden sich unter:

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 – Kooperation von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. Bericht 31. Viehwirtschaftliche Fachtagung der BAL Gumpenstein, 27.-28. April 2004, 21-39.

Danksagung:

Es ist dem Erstautor ein Bedürfnis, allen an der Kooperation beteiligten Kollegen und Instituten für die zur Verfügung gestellten Daten und die jederzeit gewährte, freundschaftliche Hilfestellung bei der Datenaufbereitung herzlich zu danken.

Univ.-Prof. Dr. Johann Sölkner und Dr. Roswitha Baumung (Institut für Nutztierwissenschaften der Universität für Bodenkultur) sei für die Unterstützung in statistischen Fragen herzlich gedankt.

Dank geht auch an die Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft für die finanzielle Unterstützung des Projektes.

Tabelle 1A: Beispiel zur Berechnung der Futteraufnahme (kg TM je Tag)
(siehe Tabelle 5: Futteraufnahme-Schätzformeln)

Beispiel: Rasse HF, Land Deutschland, hohes Managementniveau
 3. Laktation, 140. Laktationstag
 635 kg Lebendmasse, 25 kg Milch
 5 kg TM Krafffutter, 5,9 MJ NEL/ kg TM
 Grobfutterzusammensetzung: 10 % Heu, 35 % Maissilage, 0 % Grünfutter (TM)
 XP/NEL-Verhältnis der Gesamtration: 23 g XP/MJ NEL

→ Formel 2

Parameter	Regressionskoeffizient	Produkt	Wert
Intercept	-	-	-0,557
[Land x Rasse]	-	-	-1,57
Laktationszahl	-	-	+0,26
Laktationstag (L)	-	$-4,224 + 4,088 \cdot (1 - \exp(-0,01583 \cdot 140)) = -0,582$	-0,582
Lebendmasse	$0,0142 - 0,0000431 \cdot L + 0,0000000763 \cdot L^2 = 0,0097$	$0,0097 \cdot 635 = 6,160$	+6,160
Milchleistung	$0,0723 + 0,0008151 \cdot L - 0,000001065 \cdot L^2 = 0,1655$	$0,1655 \cdot 25 = 4,138$	+4,138
Krafffutter	$0,6856 - 0,0021353 \cdot L + 0,0000038023 \cdot L^2 = 0,4612$	$0,4612 \cdot 5 = 2,306$	+2,306
NEL Grobfutter	0,9830	$0,9830 \cdot 5,9 = 5,800$	+5,800
Anteil Heu	0,01154	$0,01154 \cdot 10 = 0,115$	+0,115
Anteil Maissilage	0,00699	$0,00699 \cdot 35 = 0,245$	+0,245
Anteil Grünfutter	0,00558	$0,00558 \cdot 0 = 0,000$	+0,000
XP/NEL-Verh.	0,2053 (linear) & -0,002266 (quadratisch)	$0,2053 \cdot 23 - 0,002266 \cdot 23^2 = 3,523$	+3,523
IT_{predicted}		Summe:	19,84
Futteraufnahme	<i>Korrektur: $0,38 + 0,932 \cdot IT_{predicted}$</i>	$0,38 + 0,932 \cdot 19,838 = 18,869$	18,87
Grobfutteraufn.	<i>Gesamtfutteraufnahme - Krafffutter</i>	$18,869 - 5,0 = 13,869$	13,87