

Untersuchungen zur Futteraufnahme und zum Energieaufwand von Aufzuchttrindern der Rasse Fleckvieh und Holstein von der Geburt bis 220 kg Lebendmasse

Investigations into feed intake and energy costs of rearing Simmental and Holstein cattle from birth to 220 kg liveweight

Leonhard Gruber^{1,5*}, Thomas Ettle², Frieder J. Schwarz³, Andreas Susenbeth⁴, Martin Royer⁵, Martin Pries⁶, Bernd Fischer⁷, Thomas Jilg⁸, Christian Koch⁹, Georg Terler⁵, Ulrich Meyer¹⁰, Harald M. Hammon¹¹, Hans-Jürgen Kunz¹² und Thomas Guggenberger⁵

Zusammenfassung

Sowohl bei der Rasse Holstein als auch bei Fleckvieh wurde die Milchleistung in den letzten Jahren bzw. Jahrzehnten laufend gesteigert, besonders auch durch züchterische Maßnahmen. Die dadurch bedingte Veränderung des Genotyps in Richtung „Milchleistung“ hat – auf Grund der negativen genetischen Korrelation zwischen Milchleistung und Fleischleistung – auch Auswirkungen auf die Körperzusammensetzung, damit auch auf die Zusammensetzung des täglichen Zuwachses (d. h. dessen Fett- und Proteingehalt) und daher auch auf den Energie- und Proteinbedarf. Aus diesem Grund ergibt sich die Notwendigkeit, Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Aufzucht- und Mastrindern zu überarbeiten und den geänderten genetischen Verhältnissen anzupassen. Diese Arbeiten werden in einer Arbeitsgruppe im Rahmen des Ausschusses für Bedarfsnormen der GfE durchgeführt. Im vorliegenden Beitrag wird über die Futteraufnahme und den Energieaufwand von männlichen und weiblichen Aufzuchttrindern der Rasse Fleckvieh und Holstein von der Geburt bis 220 kg Lebendmasse berichtet.

¹ Universität für Bodenkultur, Institut für Nutztierwissenschaften, Gregor Mendelstraße 33, A-1180 Wien

² Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub, Prof.-Dürrwaechter-Platz 3, D-85586 Poing

³ Technische Universität München, Lehrstuhl für Tierernährung, Liesel-Beckmann-Straße 2, D-85354 Freising-Weihenstephan

⁴ Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie, Hermann-Rodewald-Straße 9, D-24118 Kiel

⁵ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

⁶ Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft, Haus Riswick, Elsenpaß 5, D-47533 Kleve

⁷ Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Zentrum für Tierhaltung und Technik, Lindenstraße 18, D-39606 Iden

⁸ Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg, Fachbereich Rinderhaltung, Atzenbergerweg 99, D-88326 Aulendorf

⁹ Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung, Hofgut Neumühle, Neumühle 1, D-67728 Münchweiler an der Alsenz

¹⁰ Friedrich-Loeffler-Institut, Institut für Tierernährung, Bundesallee 37, D-38116 Braunschweig

¹¹ Leibniz-Institut für Nutztierbiologie, Institut für Ernährungsphysiologie, Wilhelm-Stahl-Allee 2, D-18196 Dummerstorf

¹² Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Tierzucht und Tierhaltung, Hermann-Rodewald-Straße 6, D-24118 Kiel

* Ansprechpartner: Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber, email: Dr.Leonhard.Gruber@gmx.at

An der Untersuchung waren 10 Forschungsinstitutionen aus Deutschland und Österreich beteiligt. Insgesamt wurden 1.744 Datensätze aus 40 verschiedenen Aufzuchtversuchen für die Auswertungen kompiliert (Fleckvieh und Holstein, männliche und weibliche Kälber, $n = 2.732$ Tiere, im Durchschnitt 18,1 Tiere je Gruppe, mittlere Dauer der Erhebungsperiode einer Datenzeile 8,0 Tage). Die Tiere erhielten zum Teil Milchtränke und die Futtermation bestand überwiegend aus Heu, Maissilage sowie Kraftfutter.

Im Durchschnitt (LS-Means) waren die Tiere 97 ± 44 Tage alt und wiesen eine Lebendmasse von 130 ± 45 kg auf. Die mittleren Tageszunahmen betragen 1.013 ± 274 g. Die Tiere nahmen $1,69 \pm 1,25$ kg Grobfutter und $1,59 \pm 0,51$ kg Kraftfutter auf, in Summe $3,28 \pm 1,45$ kg Gesamtfutter (TM-Basis). Im Durchschnitt bestand die Ration aus 60 % Kraftfutter und wies eine Konzentration an 175 g Rohprotein, 280 g NDF sowie 12,5 MJ ME auf (in der TM). Der mittlere Energieaufwand pro kg Lebendmasse-Zuwachs belief sich auf $16,8 \pm 6,8$ MJ ME (nach Abzug des Erhaltungsbedarfes). Die Futteraufnahme stieg während des Untersuchungszeitraumes (Geburt bis 220 kg LM) von 0,9 auf 5,4 kg TM an, ebenso der Energieaufwand pro kg Zuwachs (nach Anzug des Erhaltungsbedarfs) von 9,2 auf 26,6 MJ ME. Für die Rasse Holstein ergaben sich gegenüber Fleckvieh etwas höhere Werte der Futteraufnahme und des Energieaufwandes, ebenso für weibliche gegenüber männlichen Tieren. Aus den Daten wurden Gleichungen zur Vorhersage der Futteraufnahme sowie zur Abschätzung des Energiebedarfs abgeleitet, und zwar spezifisch für die einzelnen Rassen (Fleckvieh, Holstein) und Geschlechter (männlich, weiblich). Die Haupteinflussfaktoren sind jeweils die Lebendmasse und die Lebendmasse-Zunahme sowie im Falle der Futteraufnahme auch das Kraftfutterniveau.

Schlagwörter: Rinderaufzucht, Rasse, Geschlecht, Lebendmasse, Futteraufnahme, Energieversorgung

Summary

In recent years or rather decades the milk yield has continuously been increased both at the breed Holstein and at Fleckvieh, especially by means of the breeder's activities. Caused by the negative genetic correlation between milk yield and fattening performance, the genotype's change heading for milk yield shows effects on the body composition and therefore on the composition of daily weight gain (i. e. fat and protein content) and on energy and protein requirements, as well. Therefore, it is necessary to revise the recommendations for energy and nutrient supply of rearing and fattening cattle, in order to adapt them to the altered genetic conditions. These operations are carried out by a working group within the "Commission for requirement standards" of GfE. In the present work the feed intake and energy costs for liveweight gain in the rearing period of Fleckvieh and Holstein cattle from birth to 220 kg liveweight are reported.

Ten research institutions from Germany and Austria participated in this investigation. For this analysis, a total of 1,744 data were compiled from 40 different rearing experiments (Simmental and Holstein, male and female calves, $n = 2,732$ animals, on average 18.1 animals per group, a mean of 8.0 days of investigation per data line). The animals were partly fed with milk and the diet consisted predominantly of hay, maize silage as well as concentrates.

On average (LS-Means) the animals were 97 ± 44 days old and obtained a mean live weight of 130 ± 45 kg. The mean daily gains amounted to $1,013 \pm 274$ g. The mean feed intake accounted for 1.69 ± 1.25 kg forage, 1.59 ± 0.51 kg concentrates and 3.28 ± 1.45 kg DM feed in total, consequently. On average the diet consisted

of 60% concentrates and showed a content of 175 g crude protein, 280 g NDF as well as 12.5 MJ ME (per kg DM). The mean energy costs per kg liveweight gain was 16.8 ± 6.8 MJ ME (after subtracting the maintenance requirements). During the investigation period (from birth to 220 kg LW) feed intake increased from 0.9 to 5.4 kg DM, as well as the energy cost per kg liveweight gain (after subtracting the maintenance requirements) from 9.2 to 26.6 MJ ME. Holsteins showed a slightly higher feed intake and energy costs compared to the Simmental breed, also female animals compared to their male counterparts. From these data equations were derived for the prediction of feed intake as well as for the estimation of energy requirements, to be specific for both the individual breeds (Simmental, Holstein) and the sexes (male, female).

Keywords: cattle rearing, breed, sex, liveweight, feed intake, energy supply

1. Einleitung

Sowohl bei der Rasse Holstein als auch bei Fleckvieh wurde die Milchleistung in den letzten Jahren bzw. Jahrzehnten laufend gesteigert (BRS 2020, ZuchtData 2020), ganz besonders auch durch züchterische Maßnahmen. Die dadurch bedingte Veränderung des Genotyps in Richtung „Milchleistung“ hat – auf Grund der negativen genetischen Korrelation zwischen Milchleistung und Fleischleistung (PIRCHNER 1979, ALPS und AVERDUNK 1984, HAIGER 2005) – auch Auswirkungen auf die Körperzusammensetzung und damit auch auf die Zusammensetzung des täglichen Zuwachses, d. h. dessen Fett- und Proteingehalt. Weiters führte die Züchtung auf höhere Milchleistung auch zu Tieren mit höherer Körpergröße und Körpermasse (GRUBER und LEDINEK 2017), und zwar auf Grund der positiven genetischen Korrelation zwischen Milchleistung und Lebendmasse (VEERKAMP 1998). Dies heißt auch, dass sich das physiologische Alter und damit die Körperzusammensetzung bei einer bestimmten Lebendmasse verändert hat und auch von höheren Mastendgewichten auszugehen ist.

Aus diesen Zusammenhängen ergibt sich, dass die „Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastrinder“ (GfE 1995) sowie die „Empfehlungen zur Energieversorgung von Aufzuchtältern und Aufzuchtrindern“ (GfE 1997) einer Überarbeitung und Anpassung an die geänderten genetischen Verhältnisse bedürfen. Diese Arbeiten werden in einer Arbeitsgruppe im Rahmen des Ausschusses für Bedarfsnormen der GfE durchgeführt. Im vorliegenden Beitrag wird über die Futtermittelaufnahme und den Energieaufwand von Aufzuchtrindern der Rasse Fleckvieh und Holstein von der Geburt bis 220 kg Lebendmasse berichtet.

2. Material und Methoden

2.1 Herkunft der Daten

An der Untersuchung waren die in *Tabelle 1* angeführten Institutionen beteiligt. Überdurchschnittliche Anteile am Datenumfang kamen aus den Forschungseinrichtungen Riswick, Grub, Iden und Weihenstephan. Die Verteilung der Geschlechter (männlich, weiblich) auf die Institute war relativ günstig, d. h. es waren pro Institut überwiegend beide Geschlechter vertreten. Nur in Weihenstephan gab es ausschließlich männliche Tiere sowie in Iden und Braunschweig nur weibliche Tiere. Dagegen folgt die Verteilung der Tiere auf Rassen (Fleckvieh (FV), Holstein (HO)) den tatsächlichen Produktionsbedingungen, d. h. FV im Süden und HO im Norden. Nur in Raumberg-Gumpenstein waren beide Genotypen vertreten, und zwar sowohl männlichen als auch weiblichen

Tabelle 1: Beteiligte Institutionen und Datenumfang – Verteilung von Rasse und Geschlecht

Institutionen ¹⁾	Anzahl Versuche	Datensätze	Anzahl Tiere		Anzahl Versuchstage		Rasse ⁴⁾	Geschlecht ⁵⁾
			Summe	pro VG ²⁾	Summe	pro DS ³⁾		
Gumpenstein	2	100	71	5,9	76	7,0	FV, HO	m, w
Grub	14	351	660	19,4	83	14,1	FV	m, w
Weihenstephan	10	190	774	19,4	111	10,7	FV	m
Aulendorf	4	138	153	12,8	109	7,0	FV	m, w
Neumühle	2	126	120	8,6	77	7,0	HO	m, w
Riswick	2	460	255	10,6	149	6,7	HO	m, w
Iden	2	230	398	15,9	79	7,0	HO	w
Braunschweig	1	80	72	18,0	203	7,0	HO	w
Dummerstorf	1	46	28	3,5	63	7,0	HO	m, w
Kiel	2	23	201	67,0	60	7,0	HO	m, w
Summe/Mittelwert	40	1.744	2.732	18,1	101	8,0	FV, HO	m, w

¹⁾ Genaue Institutsbezeichnung siehe unter Autoren

²⁾ VG = Versuchsgruppe

³⁾ DS = Datensatz (Datenzeile)

⁴⁾ FV = Fleckvieh, HO = Holstein

⁵⁾ m = männlich, w = weiblich

Geschlechts. Insgesamt wurden 1.744 Datensätze aus 40 verschiedenen Aufzuchtversuchen kompiliert. In diesen Untersuchungen waren insgesamt 2.732 Tiere vertreten (38,9 % FV, 61,1 % HO und 48,6 % männlich, 51,4 % weiblich). Die Dauer eines Versuches betrug im Durchschnitt 101 ± 39 Tage (Minimum 28 Tage, Maximum 203 Tage).

2.2 Beschreibung des Datenmaterials

2.2.1 Inhaltsstoffe der Futtermittel

Der durchschnittliche Gehalt der Futtermittel an Inhaltsstoffen findet sich in *Tabelle 2*. Als Grundfutter wurden vorwiegend Heu, Maissilage und Grassilage, in einigen Versuchen jedoch auch Luzernesilage und Stroh (Trocken-TMR) herangezogen, welche durchschnittliche Werte aufwiesen; allerdings mit großen Streubereichen zwischen den Institutionen bzw. zwischen den Versuchen. Das Heu wies im Durchschnitt 125 g XP, 294 g XF, 551 g NDF sowie 9,3 MJ ME auf (in der TM). Die entsprechenden Werte der Maissilage betragen 77 g XP, 195 g XF, 415 g NDF sowie 11,0 MJ ME. Der Proteingehalt des Kraftfutters zeigte auf Grund diverser Fragestellungen in den Versuchen einen großen Streubereich von 81 bis 534 g XP (im Mittel 217 g XP und 12,45 MJ ME). Nähere Angaben zu Streuungsparametern der Inhaltsstoffe der einzelnen Futter finden sich in der *Anhangs-Tabelle A1*.

2.2.2 Kriterien der Versuchstiere hinsichtlich Alter, Lebendmasse und Fütterung

Wesentliche Kriterien der Versuchstiere hinsichtlich Alter, Lebendmasse sowie Futter- und Nährstoff-Aufnahme sind in *Tabelle 3* angeführt. Im Mittel aller Untersuchungen waren die Tiere im Versuchszeitraum 83 ± 44 Tage alt, bei einer Spannweite von 4 bis 221 Tagen. Dies entsprach einer Lebendmasse (LM) von 115 ± 45 kg (41–220 kg LM).

Tabelle 2: Durchschnittlicher Gehalt der Futtermittel an Inhaltsstoffen (in der TM)

Inhaltsstoffe	Einheit	Heu (n = 128)	Grassilage (n = 94)	Luzernesilage (n = 32)	Maissilage (n = 171)	Stroh (n = 30)	Kraftfutter (n = 220)	Milch / MAT ⁴⁾ (n = 79)
Rohnährstoffe¹⁾								
TM	g/kg FM	884	369	306	371	884	886	593
XP	g	125	160	193	77	42	217	244
XL	g	21	38	28	33	13	34	242
XF	g	294	257	296	195	461	74	9
XX	g	490	443	386	659	429	605	429
XA	g	71	102	96	35	56	70	76
Gerüstsubstanzen und Nichtfaser-Kohlenhydrate²⁾								
CHO	g	784	700	682	854	889	679	438
NDF	g	551	487	437	415	823	222	11
ADF	g	326	299	348	217	494	102	9
ADL	g	37	36	68	21	74	27	4
NFC	g	233	213	246	440	66	457	427
Proteinwert und Energiekonzentration³⁾								
deg	%	79,4	85,0	79,4	75,0	55,1	69,4	95,0
nXP	g	124	133	135	133	75	190	170
RNB	g	0,17	4,36	9,26	-8,87	-5,41	4,20	11,93
ME	MJ	9,27	9,91	8,99	11,02	6,44	12,45	17,63

¹⁾ TM, XP, XL, XF, XX, XA = Trockenmasse, Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, N-freie Extraktstoffe, Rohasche

²⁾ CHO, NDF, ADF, ADL, NFC = Kohlenhydrate, Neutral-Detergenzienfaser, Säure-Detergenzienfaser, Säure-Detergenzienlignin, Nichtfaser-Kohlenhydrate

³⁾ deg, nXP, RNB, ME = ruminale Abbaubarkeit des XP, nutzbares XP im Dünndarm, ruminale N-Bilanz, umsetzbare Energie (nach GfE 2001)

⁴⁾ MAT = Milchaustauschfutter

Die Aufnahme an Grobfutter, Kraftfutter und Gesamtfutter belief sich im Mittel auf $1,26 \pm 1,25$ (0,00–5,63 kg), $1,57 \pm 0,51$ (0,55–3,33 kg) sowie $2,83 \pm 1,45$ (0,55–6,50 kg) kg Trockenmasse (TM). Der Kraftfutteranteil (inklusive Milch) machte im Durchschnitt $66,6 \pm 24,1$ % (13,0–100,0) % der TM aus.

Als Grobfutter wurde vorwiegend Heu, Maissilage und Grassilage verwendet (in einigen Versuchen auch Luzernesilage), aber auch Stroh (in Kälber-TMR). Im Mittel aller Versuche wies die Grobfutter-Ration 274 g XF, 516 g NDF, 102 g XP und 9,64 MJ ME auf (in der TM). Die Gesamt-Ration hatte im Durchschnitt folgende Gehalte (111 g XF, 239 g NDF, 181 g XP und 12,90 MJ ME), mit einem beachtlichen Streubereich (Tabelle 3). Der Energieaufwand für das Wachstum (nach Abzug des Erhaltungsbedarfes) betrug $15,1 \pm 6,8$ MJ ME pro kg Lebendmasse-Zunahme (-3,3–36,7 MJ ME).

Tabelle 3: Kriterien der Versuchstiere hinsichtlich Alter, Lebendmasse und Fütterung (n = 1.744)

Parameter	Einheit	Mittelwert	Standard- abweichung	Variations- koeffizient	Minimum	Maximum
Alter und Lebendmasse						
Alter	Tage	83,3	44,3	53,2	3,5	221,0
Lebendmasse	kg	115,2	45,3	39,3	40,8	219,8
Lebendmasse-Zunahme	g/Tag	979	274	27,9	156	1.782
Futter- und Nährstoffaufnahme (pro Tag)						
Milch bzw. MAT (> 0, n = 903)	kg TM	0,70	0,33	47,0	0,001	1,68
Heu (> 0, n = 1.094)	kg TM	0,30	0,34	113,9	0,001	3,75
Maissilage (> 0, n = 1.068)	kg TM	1,05	0,86	81,9	0,001	3,36
Grassilage (> 0, n = 693)	kg TM	0,91	0,82	90,3	0,001	4,62
Grundfutter	kg TM	1,26	1,25	99,4	0,00	5,63
Kraftfutter (inkl. Milch)	kg TM	1,57	0,51	32,3	0,55	3,33
Gesamtfutter	kg TM	2,83	1,45	51,3	0,55	6,50
Rohprotein	g XP	475	196	41,3	103	1.201
Nutzbares Rohprotein	g nXP	451	216	47,9	88	1.146
Energie	MJ ME	39,9	14,1	41,5	8,7	74,1
Kraftfutteranteil	% der TM	66,6	24,1	36,2	13,0	100,0
Energieaufwand (ME)	MJ/kg Zuwachs	15,1	14,9	45,4	-3,3	36,7
Nährstoffkonzentration des Grobfutters (in der TM, GF > 0 kg TM)						
XF	g	274	71	25,9	147	511
NDF	g	516	109	21,1	361	917
ADF	g	302	75	24,7	187	546
ADL	g	39	23	59,1	14	120
Energie	MJ ME	9,64	1,14	11,8	6,26	11,45
XP	g	102	30	29,1	27	178
nXP	g	122	16	13,1	69	142
Nährstoffkonzentration des Kraftfutters (in der TM, inkl. Milch)						
XF	g	52	32	60,5	0	151
NDF	g	150	90	59,8	0	370
ADF	g	71	48	68,4	0	221
ADL	g	20	19	95,8	0	90
Energie	MJ ME	13,76	1,91	13,9	11,34	20,16
XP	g	221	28	12,8	125	382
nXP	g	183	13	7,3	141	233
Nährstoffkonzentration der Gesamtration (in der TM)						
XL	g	80	67	83,5	15	325
XF	g	111	61	55,5	0	262
NDF	g	239	124	51,8	0	499
ADF	g	129	70	54,7	0	278
ADL	g	21	12	55,7	0	42
NFC	g	431	62	14,5	210	566
CHO	g	670	94	14,0	362	826
Energie	MJ ME	12,90	2,11	16,3	9,80	19,35
XP	g	181	32	17,6	103	299
nXP	g	163	10	6,1	129	228
RNB	g	1,96	4,68	238,5	-19,66	15,53
XP/ME-Verhältnis	g/MJ	14,06	1,58	11,2	10,51	18,33

2.3 Statistische Auswertung

Da die Erhebung der Grobfutter-Aufnahme pro Einzeltier in den meisten Versuchseinrichtungen technisch nicht möglich war, sondern nur pro Gruppe, wurde die Futter- und Nährstoffaufnahme sowie alle weiteren Daten (bes. Lebendmasse und Lebendmasse-Zunahme) pro Gruppe zusammengefasst. Weiteres wurden die täglich ermittelten Daten auch zeitlich aggregiert, in vielen Fällen pro Woche, zum Teil in kürzeren und auch längeren Zeiteinheiten. Die mittlere Dauer dieser Erhebungszeiträume betrug $9,1 \pm 3,5$ (6,0–22,2) Tage. Die Anzahl der Tiere je Gruppe unterschied sich je nach Institution und auch Versuch. Die mittlere Gruppengröße belief sich auf $15,5 \pm 11,3$ (1,0–98,0) Tiere. Für die Unterteilung in Gruppen war nicht nur die Versuchsfrage des jeweiligen Versuches maßgeblich, sondern auch die Zugehörigkeit der Tiere zu einer Rasse (FV, HO) bzw. zu einem Geschlecht (männlich, weiblich). Ein auf Gruppe und Zeiteinheit aggregierter Wert ergibt die Versuchseinheit, d. h. eine Zeile in der Datenbank ($n = 1.744$).

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm Statgraphics 19 (2020). Die Daten wurden mit der Prozedur GLM als Meta-Analyse unter Ausschaltung des zufälligen Einflusses von Institut nach folgendem Modell ausgewertet (ST-PIERRE 2001):

$$y = \text{LEBENDMASSE} + \text{RASSE} + \text{GESCHLECHT} + \text{INSTITUT} + \\ \text{RASSE} \times \text{GESCHLECHT} \times \text{LEBENDMASSE}$$

y = abhängige Variable

LEBENDMASSE =
Lebendmasse-Abschnitte (40-60, 60-80, 80-100, 100-120, ..., 160-180, 180-200, 200-220 kg LM)

RASSE = Fleckvieh, Holstein

GESCHLECHT = männlich, weiblich

INSTITUT =
Gumpenstein, Grub, Weihenstephan, Aulendorf, Neumühle, Riswick, Iden, Braunschweig,
Dummerstorf, Kiel

Zur Abschätzung des Energieaufwandes (IME, MJ/Tag) wurden darüber hinaus die metabolische Lebendmasse (LM, $\text{kg}^{0,75}$), die Lebendmasse-Zunahme (LMZ, kg/Tag) und die Interaktion (LM \times LMZ) als Regressionsvariable herangezogen. Zur Abschätzung der Futtermittelaufnahme galt im Prinzip das gleiche Modell, es wurde nur um die nutritive Variable „Kraftfutter“ erweitert.

$$\text{IME} = \text{RASSE} + \text{GESCHLECHT} + \text{RASSE} \times \text{GESCHLECHT} + \text{INSTITUT} + \\ \text{LM} (\text{kg}^{0,75}) + \text{LMZ} (\text{kg}) + (\text{LM} (\text{kg}) \times \text{LMZ} (\text{kg}))$$

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Alter, Lebendmasse, Futter- und Nährstoffaufnahme, Nährstoffkonzentration sowie Energieaufwand im Mittel des Untersuchungszeitraumes

In *Tabelle 4* sind wesentliche Versuchsergebnisse als Gesamtmittelwert (LS-Mean (LSM)) sowie für die Versuchsfaktoren Rasse (Fleckvieh (FV), Holstein (HO)) und Geschlecht (männlich, weiblich) angeführt. Im Durchschnitt waren die Tiere 97 Tage alt und wiesen eine Lebendmasse von 130 kg auf. Die mittleren Tageszunahmen betragen 1.013 g. Die Tiere nahmen 1,7 kg Grobfutter und 1,6 kg Kraftfutter auf (TM-Basis). Im Durchschnitt bestand die Ration aus 60 % Kraftfutter und wies eine Konzentration an 175 g Rohprotein, 280 g NDF sowie 12,5 MJ ME auf (in der TM). Der mittlere Energieaufwand pro kg Lebendmasse-Zuwachs belief sich auf 16,8 MJ ME (nach Abzug des Erhaltungsbedarfes von 530 kJ ME pro $\text{kg}^{0,75}$ Lebendmasse (GfE 1995)).

Tabelle 4: Alter, Lebendmasse, Futteraufnahme sowie Nährstoffaufnahme, Nährstoffkonzentration und Energieaufwand in Abhängigkeit von Rasse und Geschlecht

Faktor	Variable	Einheit	LS-Mean	Rasse			Geschlecht			Rasse x Geschlecht			P-Werte			
				FV	HO	Männl.	Weibl.	FVw	HOw	RMSE	R	G	R x G	R ²		
	Anzahl	n	1.744	678	1.066	848	896	477	201	371	695					
	Alter	Tage	97	94	99	93	101	91	98	94	104	8	<0,001	<0,001	0,109	96,9
	Lebendmasse	kg	130	130	129	130	130	131	130	129	130	6	0,219	0,707	0,223	98,5
	Lebendmasse-Zunahme	g/d	1.013	1.038	988	1.053	973	1.084	992	1.021	955	137	0,003	<0,001	0,264	75,0
	Grundfutter-Aufnahme	kg TM/d	1,69	1,59	1,80	1,64	1,75	1,55	1,63	1,72	1,87	0,29	<0,001	<0,001	0,224	94,6
	Kraftfutter-Aufnahme	kg TM/d	1,59	1,68	1,50	1,65	1,53	1,76	1,59	1,53	1,46	0,28	<0,001	<0,001	0,038	69,0
	Gesamtfutter-Aufnahme	kg TM/d	3,28	3,27	3,30	3,29	3,28	3,31	3,23	3,26	3,33	0,30	0,489	0,868	0,002	95,7
	Kraftfutter-Anteil	% der TM	59,7	62,2	57,2	60,8	58,6	63,0	61,4	58,6	55,9	7,2	<0,001	0,005	0,364	91,0
	Rohprotein-Aufnahme	g XP/d	535	530	540	536	533	537	524	536	543	58	0,185	0,634	0,037	91,1
	Energie-Aufnahme	MJ ME/d	38,1	38,2	37,9	38,4	37,7	39,1	37,4	37,7	38,1	3,4	0,437	0,055	<0,001	94,1
	XP-Konzentration	g/kg TM	175	173	176	176	174	174	173	177	175	13	0,066	0,413	0,393	83,2
	NDF-Konzentration	g/kg TM	280	271	288	276	284	270	273	282	295	41	<0,001	0,061	0,171	88,9
	ME-Konzentration	MJ/kg TM	12,49	12,51	12,47	12,53	12,45	12,52	12,49	12,54	12,40	0,81	0,718	0,348	0,430	85,3
	ME-Aufwand	MJ/kg Zuwachs	16,8	16,4	17,3	16,3	17,3	16,4	16,4	16,3	18,2	3,4	0,031	0,006	0,001	76,0

3.1.1 Einfluss der Rasse

Tiere der Rasse Holstein waren bei gleicher Lebendmasse etwa 5 Tage älter ($P < 0,001$) und zeigten folglich geringere Tageszunahmen ($P = 0,003$). Ihre Futtermittelaufnahme unterschied sich jedoch im Mittel des Untersuchungszeitraumes nicht (3,27 vs. 3,30 kg TM), wohl aber ihre Rationszusammensetzung (62,2 vs. 57,2 % Kraftfutter). Dies ist auf das Fütterungsregime in den einzelnen Forschungsinstitutionen zurückzuführen. Die gleich hohe Futter- und Energie-Aufnahme bei höheren Tageszunahmen ergibt einen signifikant günstigeren Energieaufwand der Fleckvieh-Tiere (16,4 vs. 17,3 MJ ME/kg Zuwachs). Dieser genetische Unterschied zwischen milchbetonten und fleischbetonten bzw. kombinierten Genotypen ist vielfach belegt und eine Folge des unterschiedlichen Fett- und Proteinansatzes im Körper dieser Tiere (z. B. INRA 1989, SCA 1990, GfE 1995).

3.1.2 Einfluss des Geschlechtes

Ähnlich dem Vergleich der Genotypen unterscheiden sich auch die beiden Geschlechter. Männliche Tiere sind durch höhere Tageszunahmen und geringeres Alter (bei gleicher Lebendmasse) gekennzeichnet ($P < 0,001$). Auch ihre Futter- und Energie-Aufnahme ist sehr ähnlich (3,29 vs. 3,28 kg TM; 38,4 vs. 37,7 MJ ME), sodass sich ein signifikant ungünstigerer Energieaufwand der weiblichen Tiere ergibt (16,3 vs. 17,3 MJ ME/kg Zuwachs). Auch diese Zusammenhänge ergeben sich aus dem unterschiedlichen Fett- und Protein-Ansatzvermögen männlicher und weiblicher Tiere und sind durch zahlreiche Versuchsergebnisse in der Literatur bestätigt (KIRCHGESSNER et al. 1994, GfE 1995, SCHWARZ et al. 1995, STEINWIDDER et al. 2002 und 2007).

3.2 Alter, Lebendmasse, Lebendmasse-Zunahme, Futter- und Nährstoffaufnahme, Nährstoffkonzentration sowie Energieaufwand im Verlauf des Untersuchungszeitraumes

Nachfolgend werden die unter 3.1 angesprochenen Kriterien in Abhängigkeit von der Entwicklung der Lebendmasse diskutiert. In *Tabelle 5* werden die Ergebnisse als Mittelwerte (LS-Mean) für die Lebendmasse-Abschnitte 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170, 190 sowie 210 kg angeführt, und zwar als Gesamtmittel bzw. als Rassen-Mittelwerte für FV und HO sowie als Geschlechts-Mittelwerte für männlich und weiblich. In *Abbildung 1a* und *1b* sind die Mittelwerte für die Untergruppen FVm, FVw, HOm und HOw dargestellt, also die LS-Means aus der Wechselwirkung Rasse \times Geschlecht.

Wie zu erwarten übt der Faktor Lebendmasse einen hoch-signifikanten Einfluss auf alle Kriterien aus. Die Lebendmasse-Zunahme steigt für alle Gruppen – ausgehend von einem relativ niedrigen Niveau von knapp 600 g/Tag – bis 110 kg LM auf über 1.000 g/Tag an. Erst ab dieser Phase differenzieren sich die einzelnen Gruppen in der zu erwartenden Weise, d. h. FV weist höhere Lebendmasse-Zunahmen auf als HO, ebenso männliche Tiere gegenüber weiblichen. Aus diesem Grund tritt auch eine signifikante Wechselwirkung zwischen LM und Rasse bzw. LM und Geschlecht auf (*Tabelle 5*).

Diese Wechselwirkungen waren auch in den allermeisten anderen Kriterien festzustellen (*Abbildung 1a* und *1b*). Die Aufnahme an Grobfutter folgte einem S-förmigen Verlauf und stieg von 0,03 auf 3,08 kg TM pro Tag an. Die Form der Kurve erklärt sich aus der sehr geringen Grobfutter-Aufnahme in der ersten Phase nach der Geburt. Ähnlich verläuft auch die Gesamtfutter-Aufnahme, da die Kraftfutter-Aufnahme üblicher Weise ab 2,0 bis 2,5 kg limitiert wurde. Der Kraftfutteranteil nahm von 97,4 auf 28,1 % ab. Der Kraftfutteranteil war bei FV gegen Ende des Untersuchungszeitraumes höher, da diese Tiere nach der Aufzucht in die Mast mit intensiver Fütterung überstellt wurden.

Tabelle 5: Alter, Lebendmasse-Zunahme, Futteraufnahme sowie Nährstoffaufnahme, Nährstoffkonzentration und Energieaufwand in Abhängigkeit von der Lebendmasse

Faktor Variable	Einheit	Lebendmasse-Gruppe										P-Werte				
		Faktor	Gruppe	50	70	90	110	130	150	170	190	210	RMSE	LM	LM x R	R ²
Anzahl (Alle)	n	1.744	191	280	301	230	191	211	153	125	62					
Alter	Tage	Alle	17	41	63	81	100	117	133	149	168	8	<0,001			96,9
Rasse	FV		14	38	61	80	98	116	132	146	163					0,026
	HO		21	44	64	83	101	119	135	153	172					
Geschlecht	Männl.		16	40	61	79	97	113	128	143	155					<0,001
	Weibl.		18	42	64	83	103	121	138	156	181					
Lebendmasse	kg	Alle	54	71	90	109	129	149	169	189	208	6	<0,001			98,5
Rasse	FV		55	72	91	109	130	150	169	189	207					0,350
	HO		54	70	89	109	129	149	169	189	208					
Geschlecht	Männl.		55	71	90	110	129	150	169	189	207					0,486
	Weibl.		54	71	89	109	129	149	169	189	209					
Lebendmasse-Zunahme	g/d	Alle	563	755	913	1.059	1.137	1.150	1.184	1.207	1.151	137	<0,001			75,0
Rasse	FV		631	792	867	1.039	1.173	1.177	1.233	1.276	1.152					<0,001
	HO		494	718	959	1.078	1.101	1.123	1.135	1.137	1.151					
Geschlecht	Männl.		545	746	908	1.076	1.191	1.230	1.265	1.295	1.220					<0,001
	Weibl.		581	764	918	1.041	1.082	1.071	1.103	1.119	1.083					
Futteraufnahme	kg TM GES/d	Alle	0,90	1,32	1,88	2,77	3,55	4,19	4,58	5,00	5,36	0,30	<0,001			95,7
Rasse	FV		0,86	1,30	1,81	2,70	3,61	4,27	4,62	5,02	5,24					<0,001
	HO		0,95	1,34	1,96	2,83	3,49	4,11	4,54	4,97	5,48					
Geschlecht	Männl.		0,91	1,35	1,82	2,66	3,46	4,15	4,61	5,07	5,53					<0,001
	Weibl.		0,90	1,28	1,95	2,87	3,64	4,22	4,54	4,93	5,19					
Kraffutteranteil	% der TM	Alle	97,4	90,3	80,8	67,1	55,6	47,0	38,0	33,1	28,1	7,2	<0,001			91,0
Rasse	FV		98,7	88,5	76,5	64,7	57,7	53,0	47,7	42,8	30,1					<0,001
	HO		96,0	92,1	85,0	69,5	53,5	40,9	28,4	23,4	26,1					
Geschlecht	Männl.		97,0	90,8	81,7	68,2	57,0	46,7	38,2	34,6	32,6					0,002
	Weibl.		97,7	89,8	79,8	66,0	54,2	47,2	37,8	31,5	23,6					

Proteinaufnahme	g XP/d Alle	213	277	371	501	602	669	694	725	761	58	<0,001	91,1
	FV	220	282	359	484	603	677	704	728	716			
	Rasse												<0,001
	HO	206	272	383	518	602	662	684	723	807			
	Geschlecht												<0,001
	Männl.	214	285	358	478	587	661	698	743	804			
	Weibl.	212	269	383	524	618	678	690	707	719			
Energieaufnahme	MJ ME/d Alle	15,4	19,7	24,3	32,6	40,2	46,7	50,5	55,0	58,3	3,4	<0,001	94,1
	FV	15,6	19,4	23,0	31,8	40,9	48,1	51,8	56,3	57,3			
	Rasse												<0,001
	HO	15,2	20,0	25,6	33,4	39,4	45,4	49,2	53,7	59,3			
	Geschlecht												<0,001
	Männl.	15,4	19,9	23,8	31,8	39,7	46,7	51,2	56,2	61,1			
	Weibl.	15,4	19,4	24,9	33,4	40,7	46,8	49,8	53,8	55,5			
XP-Konzentration	g/kg TM Alle	228	207	194	179	168	159	151	146	141	13	<0,001	83,2
	FV	241	210	191	173	163	155	150	144	134			
	Rasse												<0,001
	HO	214	205	197	184	174	162	153	149	148			
	Geschlecht												0,175
	Männl.	228	207	196	179	169	158	151	147	145			
	Weibl.	228	208	192	179	168	160	152	146	138			
NDF-Konzentration	g/kg TM Alle	26	123	210	293	336	357	378	388	406	41	<0,001	88,9
	FV	5	134	219	292	329	342	354	366	399			
	Rasse												<0,001
	HO	47	112	201	293	343	372	402	410	414			
	Geschlecht												<0,001
	Männl.	25	116	198	288	335	364	382	386	385			
	Weibl.	27	130	222	297	337	350	374	390	427			
ME-Konzentration	MJ/kg TM Alle	17,16	15,03	13,19	11,89	11,32	11,12	10,97	10,94	10,79	0,81	<0,001	85,3
	FV	18,00	15,05	13,06	11,78	11,15	11,03	10,95	10,92	10,61			
	Rasse												<0,001
	HO	16,31	15,01	13,32	12,01	11,48	11,21	10,99	10,96	10,96			
	Geschlecht												0,039
	Männl.	17,21	15,09	13,41	12,00	11,37	11,09	10,92	10,90	10,77			
	Weibl.	17,10	14,96	12,97	11,79	11,27	11,15	11,02	10,98	10,80			
Energieaufwand	MJ ME/kg Zuw. Alle	9,1	8,9	9,5	14,0	17,8	21,3	21,9	23,6	25,6	3,4	<0,001	76,0
	FV	7,9	7,3	8,3	13,4	18,0	22,0	22,2	23,5	25,0			
	Rasse												<0,001
	HO	10,2	10,5	10,7	14,5	17,6	20,6	21,5	23,6	26,1			
	Geschlecht												<0,001
	Männl.	9,2	9,3	8,9	13,0	16,7	19,9	21,1	22,9	26,3			
	Weibl.	8,9	8,6	10,1	14,9	19,0	22,7	22,6	24,2	24,9			

Die Ergebnisse zur Entwicklung der Nährstoffaufnahme und Nährstoffkonzentration der Ration finden sich in *Abbildung 1b*. Die Nährstoffaufnahme ist das Produkt von Trockenmasse-Aufnahme sowie der in den verschiedenen Futtermitteln enthaltenen Nährstoffe und folgt daher nicht vollständig der Futteraufnahme. So ist die relativ starke Abflachung des Anstiegs der Proteinaufnahme vor allem das Ergebnis des zunehmenden Anteils der eiweißarmen Maissilage im vorliegenden Datenmaterial. Im Gegensatz dazu führt deren hohe Energiekonzentration (*Tabelle 2*) zu einem stetigen Anstieg der Energieaufnahme. Weiters wirken noch die Zusammensetzung und Nährstoffkonzentration des Kraftfutters hinein. Diese Zusammenhänge bilden sich auch in der Nährstoffkonzentration der Ration ab. Sowohl der Gehalt an Protein als auch an Energie nimmt während der Aufzuchtphase deutlich ab (von 228 auf 141 g XP sowie von 17,2 auf 10,8 MJ ME), während der Gehalt an Faser deutlich ansteigt (von 11 auf 197 g XF bzw. von 26 auf 406 g NDF). Dies ist das Ergebnis abnehmender Milchtränke-Aufnahme und zunehmender Grobfutter-Aufnahme mit steigender Lebendmasse.

Der Energieaufwand für das Wachstum erhöht sich von 9,1 auf 25,6 MJ ME/kg Zuwachs. Dabei sind die Unterschiede im Energieaufwand zwischen den Rassen bzw. zwischen den Geschlechtern in allen Lebendmasse-Abschnitten sichtbar (siehe Abschnitt 3.1). Diese Werte des Energieaufwandes für das Wachstum fügen sich sehr gut ein in theoretische Modellberechnungen von SUSENBETH (pers. Mitteilung). Je nach dem Gehalt an Protein und Fett im täglichen Ansatz der Tiere ist von einem Energieansatz von 5,2 bis 19,3 MJ RE (retained energy) pro kg Zuwachs zu rechnen. Bei einer Verwertung der ME für den Ansatz von 60 % ist daher von einem ME-Bedarf von 8,7 bis 32,2 MJ pro kg Zuwachs auszugehen. Die hier unterstellte Verwertung der ME für den Ansatz von 60 % ist höher ist der bei GfE (1995) angenommene k_{pf} -Wert von 40 bis 43 %. Nach SUSENBETH (pers. Mitteilung) sprechen sowohl methodische als auch physiologische Gründe für eine höhere Verwertung der ME für den Ansatz von Protein und Fett.

Übersicht: Protein- und Fettansatz von Rindern und daraus abgeleitete Faktoren des Energiebedarfs für das Wachstum (nach SUSENBETH, persönliche Mitteilung)

Protein (g/kg ΔW)	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
Fett (g/kg ΔW)	409	364	318	273	227	182	136	91	45	0
RE MJ/kg ΔW	19,3	17,8	16,2	14,6	13,1	11,5	9,9	8,4	6,8	5,2
k_{pf}	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
ME _g MJ/kg ΔW	32,2	29,6	27,0	24,4	21,8	19,2	16,6	13,9	11,3	8,7

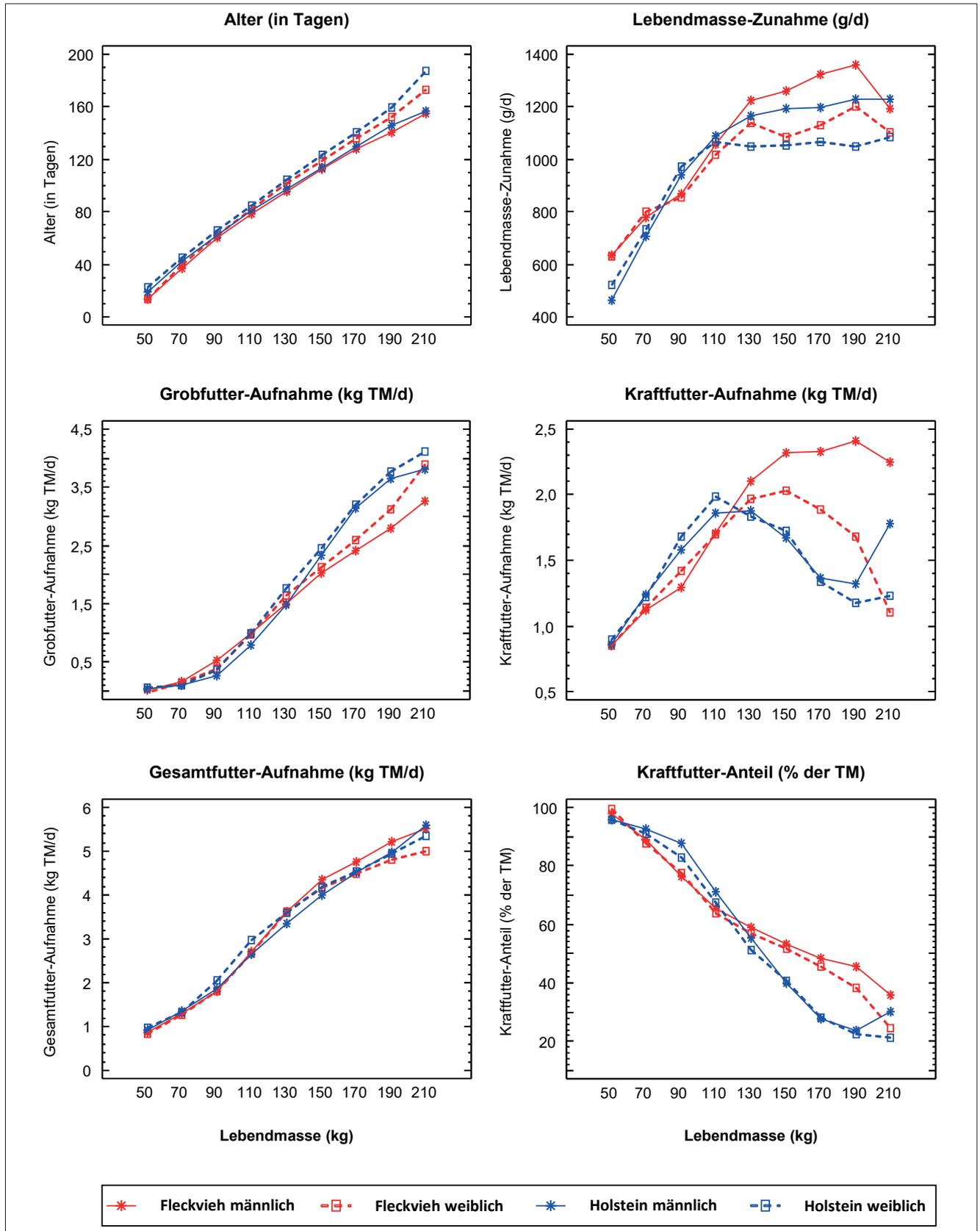


Abbildung 1a: Entwicklung von Lebendmasse, Futteraufnahme sowie Krafffutteranteil von Jungrindern bis 220 kg Lebendmasse (Rasse FV und HO, männlich und weiblich)

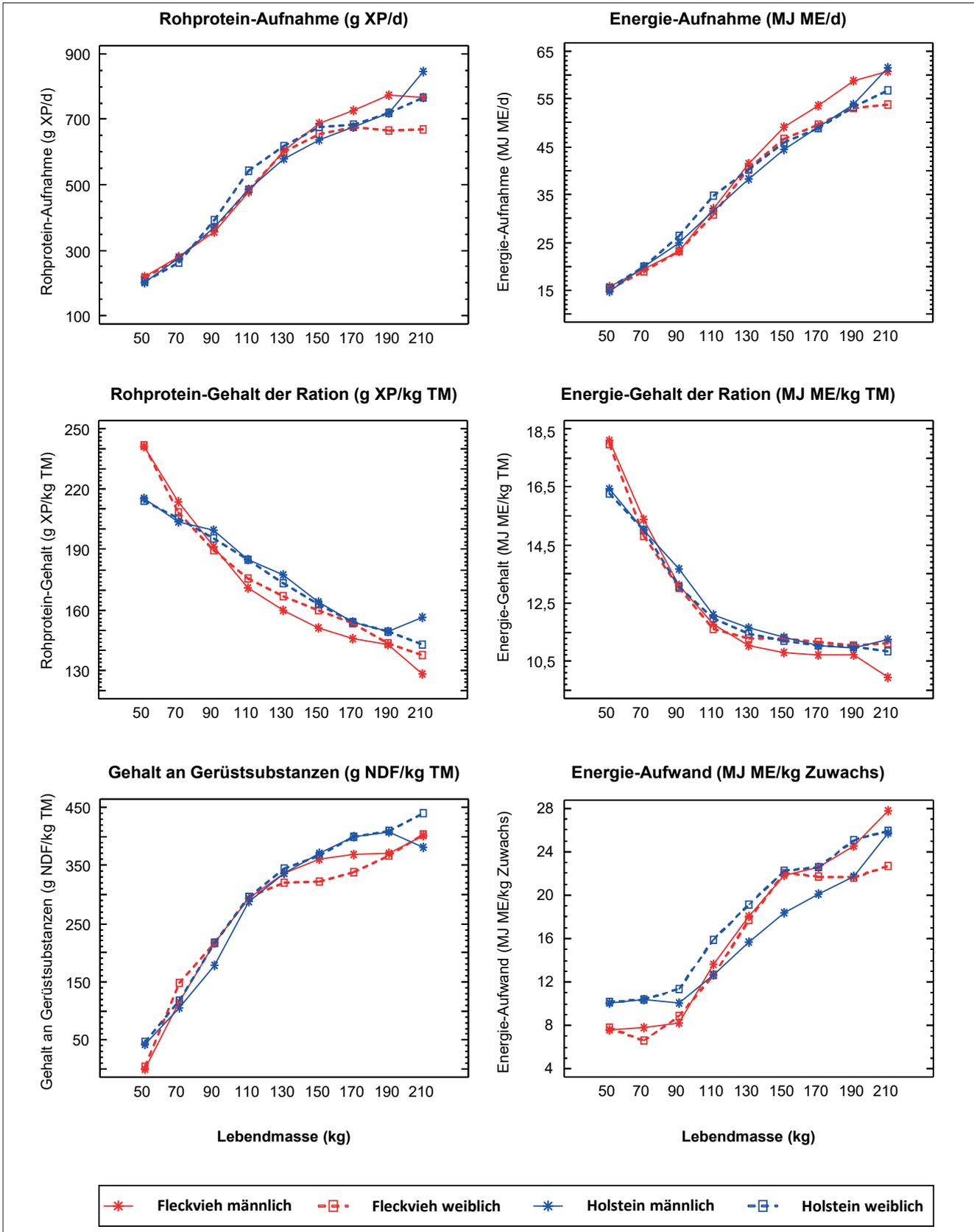


Abbildung 1b: Entwicklung der Aufnahme und Konzentration von Nährstoffen in der Ration sowie des Energieaufwandes für das Wachstum von Junggrindern bis 220 kg Lebendmasse (Rasse FV und HO, männlich und weiblich)

3.3 Ableitung des Energieaufwandes

3.3.1 Ableitung des Energieaufwandes aus der Gesamtenergie-Aufnahme

Aus den vorliegenden Daten wurden in einem weiteren Schritt Gesetzmäßigkeiten zum Energiebedarf der Jungtiere abgeleitet. Wie unter Abschnitt 2.3 beschrieben, wurden dazu über das statistische Grundmodell hinaus (Rasse, Geschlecht, Institut) die Effekte von Lebendmasse (LM, kg^{0,75}) und Lebendmasse-Zunahme (LMZ, kg) sowie dem Produkt [LM × LMZ] als Regressionsvariablen herangezogen. Die Ergebnisse sind in Formel (1) angeführt:

$$\text{IME}_{(\text{Total})} \text{ (MJ/d)} = 33,56 + R + G + 0,781 \times (\text{LM} - 34,66) [\text{kg}^{0,75}] + 0,126 \times (\text{LMZ} - 0,979) [\text{kg}] + 0,08675 \times ((\text{LM} \times \text{LMZ}) - 121,6) [\text{kg}] \quad (1)$$

R = -0,53 für FV und +0,53 für HO
G = -0,31 für männlich und +0,31 für weiblich

Hinweis: für Untergruppen R × G sind die Effekte zu addieren: z. B.
FVm = -0,53 + -0,31 = -0,84
FVmännl = -0,84, FVweibl = -0,22, HOMännl = +0,22, HOweibl = +0,84
RMSE = 3,19 MJ ME (9,4 %), R² = 94,9 %

Abbildung 2 zeigt, dass die Beziehung zwischen Lebendmasse und dem Energiebedarf sehr eng ist, zwischen Lebendmasse-Zunahme und Energiebedarf dagegen recht lose. Das deutet darauf hin, dass erstens dieser Parameter in seiner Feststellung mit relativ großer Ungenauigkeit behaftet ist und dass zweitens der Energiegehalt pro kg Lebendmasse-Zunahme recht unterschiedlich ausfallen kann. Eine signifikante Erhöhung der Schätzgenauigkeit bringt die Interaktion [LM × LMZ], welche besagt, dass der Energiebedarf für die Lebendmasse-Zunahme abhängig von der Lebendmasse ist. Die Beziehung zwischen Energiebedarf und der Interaktion [LM × LMZ] ist folglich wesentlich enger als zwischen Energiebedarf und Lebendmasse-Zunahme (Abbildung 2). In Abbildung 2 (unten) ist die Energie-Aufnahme aus Tabelle 5 für die Haupteffekte Rasse bzw. Geschlecht in Abhängigkeit von der Lebendmasse in Form von Punkten dargestellt. Die Linien geben die mit Formel (1) errechneten Schätzwerte des Energiebedarfs für die einzelnen Varianten über den gesamten Lebendmasse-Bereich und der jeweils gegebenen Lebendmasse-Zunahme an. Wie aus der Grafik und aus den statistischen Kennwerten (R² = 94,9 %, relative Residualstandardabweichung 9,4 %) zu erwarten, ist die Schätzgenauigkeit durchaus zufriedenstellend.

3.3.2 Ableitung des Energieaufwandes aus der Gesamtenergie-Aufnahme minus Energie-Erhaltungsbedarf

Nach GfE (1995) beträgt der Energiebedarf für Erhaltung 0,530 MJ ME je kg metabolischer Körpermasse (LM, kg^{0,75}). Der in Formel (1) abgeleitete Wert von 0,781 MJ ME/ LM (kg^{0,75}) ist wesentlich höher und auf den ersten Blick physiologisch nicht plausibel. Tatsächlich lässt sich im vorliegenden Datenmaterial aus vielen, unterschiedlichen Versuchen (n = 40) der Energie-Aufwand für Erhaltung und Wachstum mit statistischen Methoden nicht trennen. Bei der faktoriellen Ableitung des Energiebedarfes für Erhaltung und Leistung muss der Erhaltungsbedarf durch stark unterschiedliche Futterniveaus und durch die Extrapolation der Energieaufnahme auf eine Energie-Retention von Null rechnerisch bestimmt werden (BLAXTER 1989). Unterschiede in der Energieaufnahme von einem solchen Ausmaß waren in keinem der vorliegenden Versuche vorhanden. Vielmehr ist von einem Fütterungsregime auf *ad libitum*-Niveau auszugehen. Weiters ist festzuhalten, dass der Faktor Lebendmasse aus bereits diskutierten Gründen (siehe 3.3.1) auch im Wechselwirkungs-Term [LM × LMZ] enthalten ist und somit auch einen Teil des Erhaltungsbedarfs

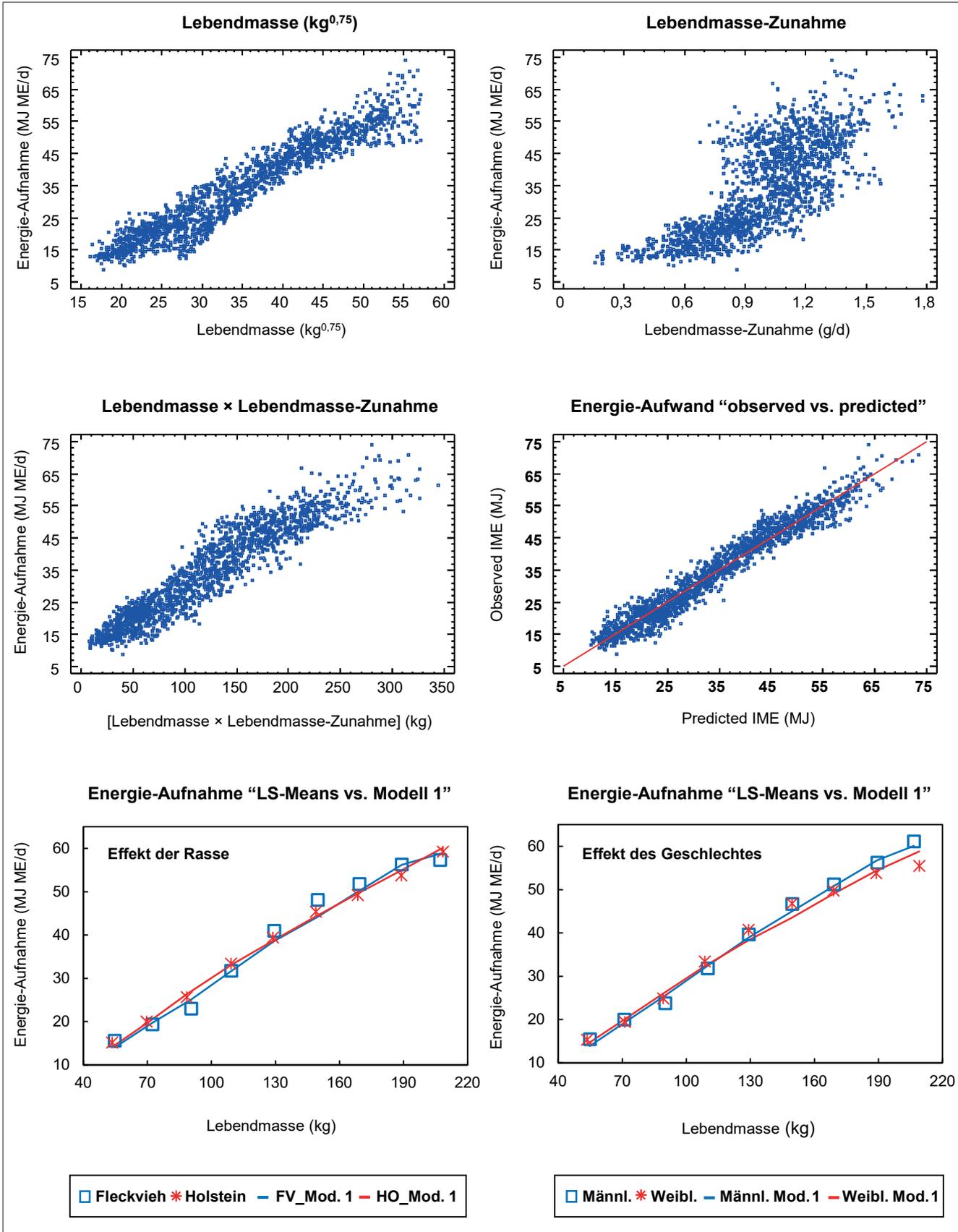


Abbildung 2: Darstellung der Ableitung des Energieaufwandes aus der Gesamt-Energieaufnahme (Formel (1))

übernimmt. Die Tatsache eines hohen Wertes des Regressionskoeffizienten für LM [$\text{kg}^{0,75}$] („Erhaltungsbedarf“) hat zur Konsequenz, dass der Regressionskoeffizient für LMZ [kg] („Leistungsbedarf“) bei einer gegebenen Energie-Aufnahme niedrig ausfallen muss. Ein weiterer Grund für den hohen Regressionskoeffizienten für LM [$\text{kg}^{0,75}$] und den niedrigen Regressionskoeffizienten für LMZ [kg] liegt in der Tatsache begründet, dass bei einer gegebenen Tierpopulation hohe Tageszunahmen offensichtlich auch durch eine entsprechende Änderung der Zusammensetzung des Zuwachses in Richtung eines geringeren Energiegehaltes erreicht werden (d. h. geringerer Fett- und höherer Fleischanteil mit höherem Wassergehalt). Dagegen sind niedrige Lebendmasse-Zunahmen in der Tendenz offensichtlich mit hohem Energiegehalt des Zuwachses verbunden. Dies zeigt sich jedenfalls in *Abbildung 3*, in welcher der Verlauf des Aufwandes an MJ ME je kg Zuwachs in Abhängigkeit von der Lebendmasse-Zunahme für die einzelnen Lebendmasse-Bereiche dargestellt ist. Daraus geht hervor, dass der Energieaufwand je kg Zuwachs mit steigender Lebendmasse, wie zu erwarten, ansteigt (und zwar von 8,9 auf 25,5 MJ ME, siehe 3.2), jedoch dieser Energieaufwand innerhalb einer Lebendmasse-Kategorie bezogen auf die Lebendmasse-Zunahme abnimmt. Diese Abnahme beträgt im Durchschnitt des vorliegenden Lebendmasse-Bereichs $-4,5$ MJ ME/kg Lebendmasse-Zunahme (siehe Gleichung (2)), erhöht sich jedoch mit steigender Lebendmasse (von $-4,2$ auf $-11,1$ MJ ME/kg LMZ). Allerdings ergab die Berücksichtigung der Lebendmasse-Zunahme innerhalb der Lebendmasse-Kategorien nur eine sehr geringe Verbesserung der Schätzgenauigkeit und zum Teil unplausible Werte für die fixen Effekte Rasse und Geschlecht. Daher wurde in Gleichung (2) von einem gemeinsamen (d. h. durchschnittlichen) Regressionskoeffizienten für den Effekt der Lebendmasse-Zunahme ausgegangen. Mit Gleichung (2) kann der Energiebedarf für den Zuwachs (MJ ME/kg Lebendmasse-Zunahme) ohne Erhaltungsbedarf geschätzt werden, d. h. zur Ermittlung des Gesamtbedarfes ist der Erhaltungsbedarf zu addieren ($0,530$ MJ ME je kg metabolischer Körpermasse (LM, $\text{kg}^{0,75}$). Dadurch wurde das Problem der Schätzung des Erhaltungsbedarfes umgangen. Mit den von der Lebendmasse abhängigen Faktoren LM, R(FV.HO) und G werden die Effekte von Lebendmasse, Rasse und Geschlecht berücksichtigt:

$$\text{IME}_{(\text{Zuwachs})} (\text{MJ/kg Zuwachs}) = 16,99 + \text{LM} + \text{R}(\text{FV.HO}) + \text{G} - 4,513 \times (\text{LMZ} - 0,979) [\text{kg}] \quad (2)$$

$$\text{LM} = -76,46 + 15,99 \times \ln(\text{LM}), \text{ for } +9,36 < \text{LM} > -9,81$$

$$\text{R}(\text{FV}) = -6,19 + 1,224 \times \ln(\text{LM}), \text{ for } +0,32 < \text{R}(\text{FV}) > -1,37$$

$$\text{R}(\text{HO}) = 6,12 - 1,213 \times \ln(\text{LM}), \text{ for } -0,34 < \text{R}(\text{FV}) > +1,37$$

$$\text{G} = -0,29 \text{ für männlich und } +0,29 \text{ für weiblich}$$

Hinweis: für Untergruppen R × G sind die Effekte zu addieren: z. B.

$$\text{FV, männl., 150 kg LM, 800 g LMZ}$$

$$\text{FV.männl.150kgLM.800gLMZ} = 16,99 + 3,686 - 0,051 - 0,29 - 4,513 \times (0,800 - 0,979) = 21,14 \text{ MJ ME}$$

$$\text{RMSE} = 3,30 \text{ MJ (21,9 \%), } R^2 = 76,8 \%$$

Die Beziehung zwischen Energieaufwand pro kg Zuwachs und Lebendmasse-Zunahme ist sehr lose und außerdem scheinbar positiv. Dies kommt aber nur dadurch zustande, dass die höheren Tageszunahmen bei höherer Lebendmasse auftreten, die ihrerseits mit höherem Energiegehalt einhergehen. Wie in *Abbildung 3* dargestellt geht der Energiebedarf pro kg Zuwachs in Wirklichkeit mit höheren Tageszunahmen zurück. Üblicherweise wird bzw. wurde der Einfluss der Tageszunahmen auf den Energiebedarf durch Erhöhung der Energiezufuhr bei genetisch ähnlich veranlagten Tieren ermittelt. In einer solchen Fütterungssituation ist zu erwarten, dass steigende Zunahmen zu einem höheren Fettansatz und damit Energiebedarf führen. Dagegen ist im Datenmaterial der vorliegenden Untersuchung offensichtlich davon auszugehen, dass höhere Zunahmen vor allem bzw. auch durch ein höheres, genetisch veranlagtes Wachstumspotenzial der Tiere erfolgt sind. Dies führt zu einer Situation, dass mit steigenden Tageszunahmen der

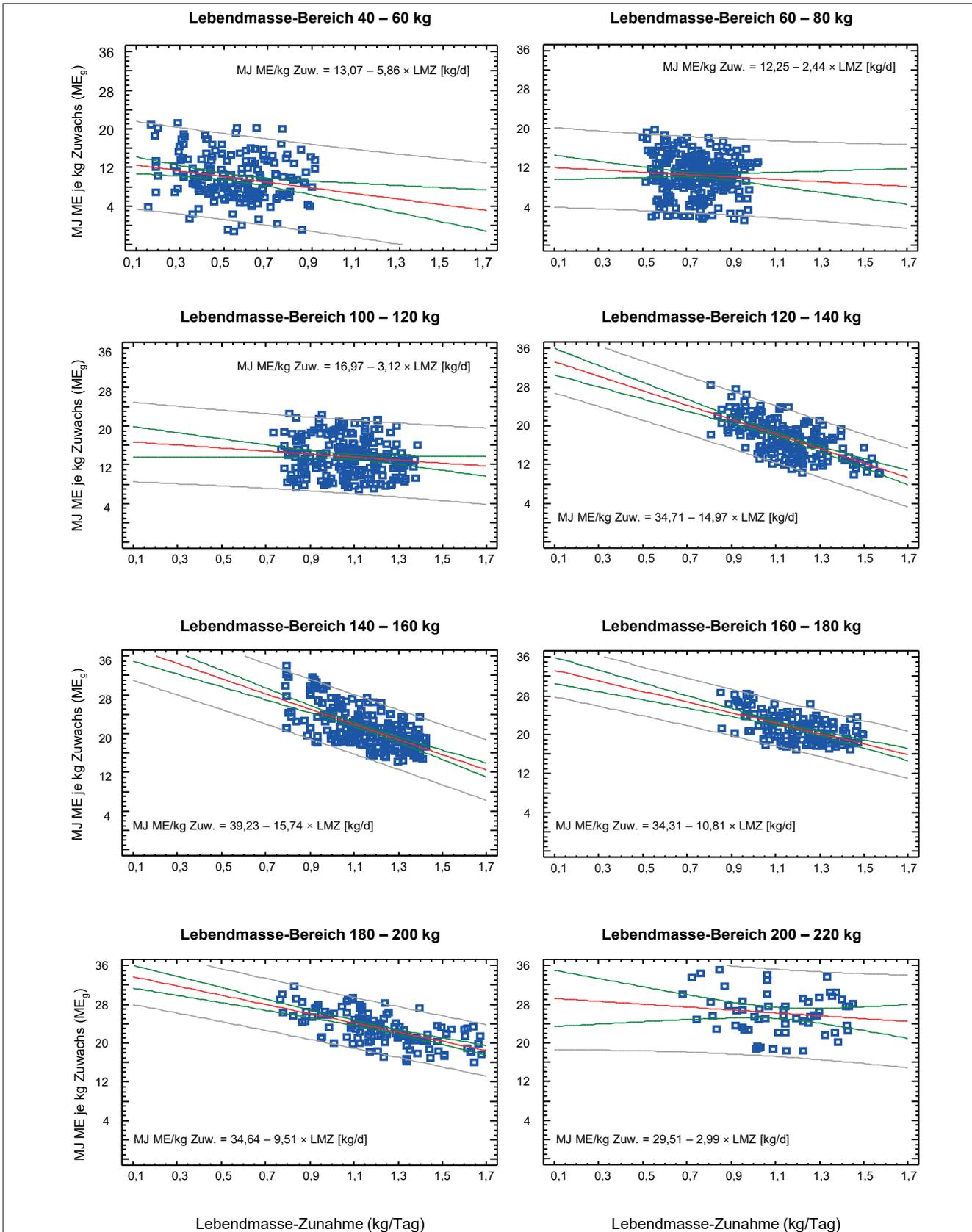


Abbildung 3: Beziehungen zwischen dem Energieaufwand pro kg Lebendmasse-Zuwachs und der Lebendmasse-Zunahme bei unterschiedlicher Lebendmasse

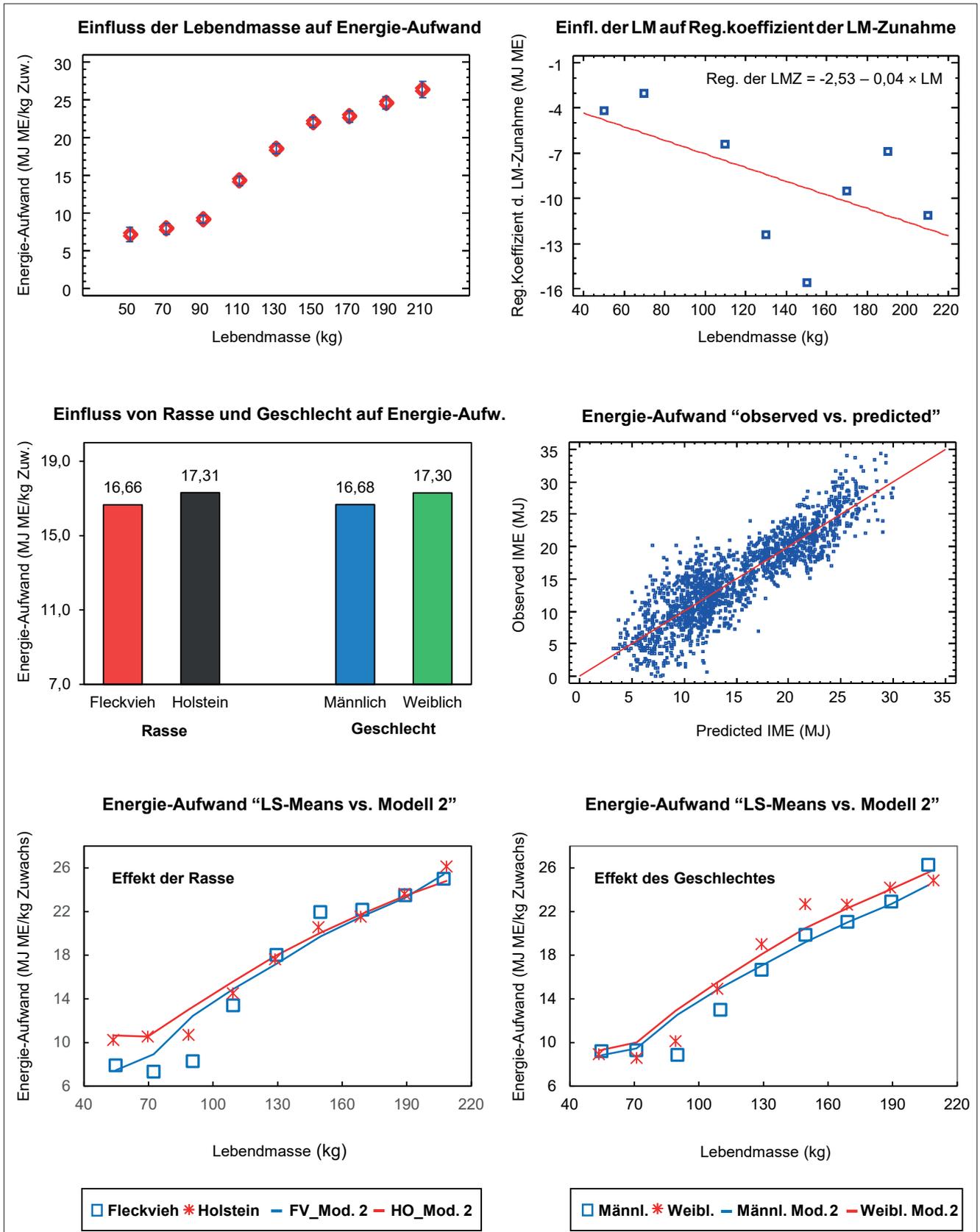


Abbildung 4: Darstellung der Ableitung des Energieaufwandes aus der Gesamt-Energieaufnahme minus Energie-Erhaltungsbedarf (Formel (2))

Energiebedarf – absolut betrachtet – nur relativ gering ansteigt und – bezogen auf 1 kg Zuwachs – sogar abnimmt. Die vorliegende Situation kommt den Bedingungen in der landwirtschaftlichen Praxis nahe, wogegen unter speziellen Versuchsbedingungen zur Ermittlung des Bedarfes selbstverständlich mit Tieren möglichst homogener genetischer Veranlagung gearbeitet wird. Obwohl die Formel (2) einen höheren relativen Schätzfehler (21,9 % RMSE%) und ein geringeres Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 76,8 \%$) aufweist, ist sie der Formel (1) mit einem Schätzfehler von 3,3 gegenüber 3,2 MJ ME relativ ähnlich, wenn auch geringfügig ungenauer. Da bei dem in Formel (2) gewählten Verfahren mit dem Abzug des Erhaltungsbedarfes die Höhe der Werte deutlich (etwa um die Hälfte) vermindert wird, treten Fehler relativ stärker in Erscheinung, sind aber absolut betrachtet mehr oder weniger gleich. Insgesamt zeigt sich, dass Formel (2) den Energiebedarf im unteren Lebendmasse-Bereich überschätzt und bei höheren Lebendmassen in der Tendenz unterschätzt. Dies ist eine Folge der vorliegenden Ergebnisse mit einem etwa gleichbleibenden Bedarf in den ersten Lebendmasse-Abschnitten, welche nur schwer zu modellieren sind (Abbildung 4 unten).

3.4 Vorhersage der Futteraufnahme

Die Futter- und Energieaufnahme von Aufzucht- und Mastrindern wird – neben nutritiven Faktoren wie Kraftfutterniveau und Grobfutterqualität (d. h. von der Energiekonzentration) – vor allem von der Lebendmasse und dem Niveau der Lebendmasse-Zunahme physiologisch gesteuert (MENKE 1987, INRA 1989). Die Anwendung dieser biologischen Gesetzmäßigkeiten führte – analog zum Modell für die Ableitung des Energieaufwandes (Abschnitt 3.3) – zu einem Modell, in dem neben dem Grundmodell (Lebendmasse, Rasse, Geschlecht, Institut) die Lebendmasse-Zunahme (LMZ, kg/Tag) als tierspezifischer und das Kraftfutterniveau als nutritiver Einflussfaktor auf die Futteraufnahme herangezogen wurden. (Der Faktor Grobfutterqualität (ausgedrückt als Energiekonzentration, MJ ME/kg TM) erwies sich nicht als signifikant, da die Streuung des Datenmaterials hinsichtlich dieses Faktors zu gering war). Die Lebendmasse wurde einerseits als Regressionsvariable (d. h. als quantitativer Faktor, metabolische Lebendmasse, LM [$\text{kg}^{0,75}$]), andererseits als fixer Effekt (Lebendmasse-Klassen 50, 70, ..., 190, 210 kg) in der Analyse berücksichtigt. Wie die statistischen Parameter (R^2 und RMSE) zeigen, ist die Schätzgenauigkeit beider Formeln gleich und auf einem hohen Niveau. Mit beiden Formeln werden 97 % der Varianz der Futteraufnahme des vorliegenden Datenmaterials erklärt ($R^2 = 97,0 \%$). Auch der Schätzfehler (Root Mean Square Error) ist gleich und beträgt 0,25 kg TM bzw. 8,3 % der mittleren Futteraufnahme. Die Futteraufnahme beträgt im Mittel 2,53 % der Lebendmasse, beginnend mit 1,67 % bei 50 kg LM und ansteigend auf 2,80 % bei 150 kg LM bzw. 2,58 % bei 210 kg LM.

3.4.1 Vorhersage der Futteraufnahme

(Berücksichtigung der Lebendmasse als Regressionsvariable)

Analog zu Formel (1) wurde für die Futteraufnahme (DMI, dry matter intake, kg/d) folgende Beziehung abgeleitet:

$$\text{DMI (kg/d)} = 2,836 + R + G + 0,098 \times (\text{LM} - 34,66) [\text{kg}^{0,75}] - 0,635 \times (\text{LMZ} - 0,979) [\text{kg}] + 0,007 \times ((\text{LM} \times \text{LMZ}) - 121,6) [\text{kg}] + 0,408 \times (\text{KF} - 1,567) [\text{kg TM}] \quad (3)$$

R = -0,065 für Fleckvieh und +0,065 für Holstein

G = -0,032 für männlich und +0,032 für weiblich

RMSE = 0,25 kg TM (8,3 %), $R^2 = 97,0 \%$

Hinweis: für Untergruppen R × G sind die Effekte zu addieren: z. B.

FV_m = -0,065 + -0,032 = -0,097

FV_{männl} = -0,097, FV_{weibl} = -0,033, HO_{männl} = +0,033, HO_{weibl} = +0,097

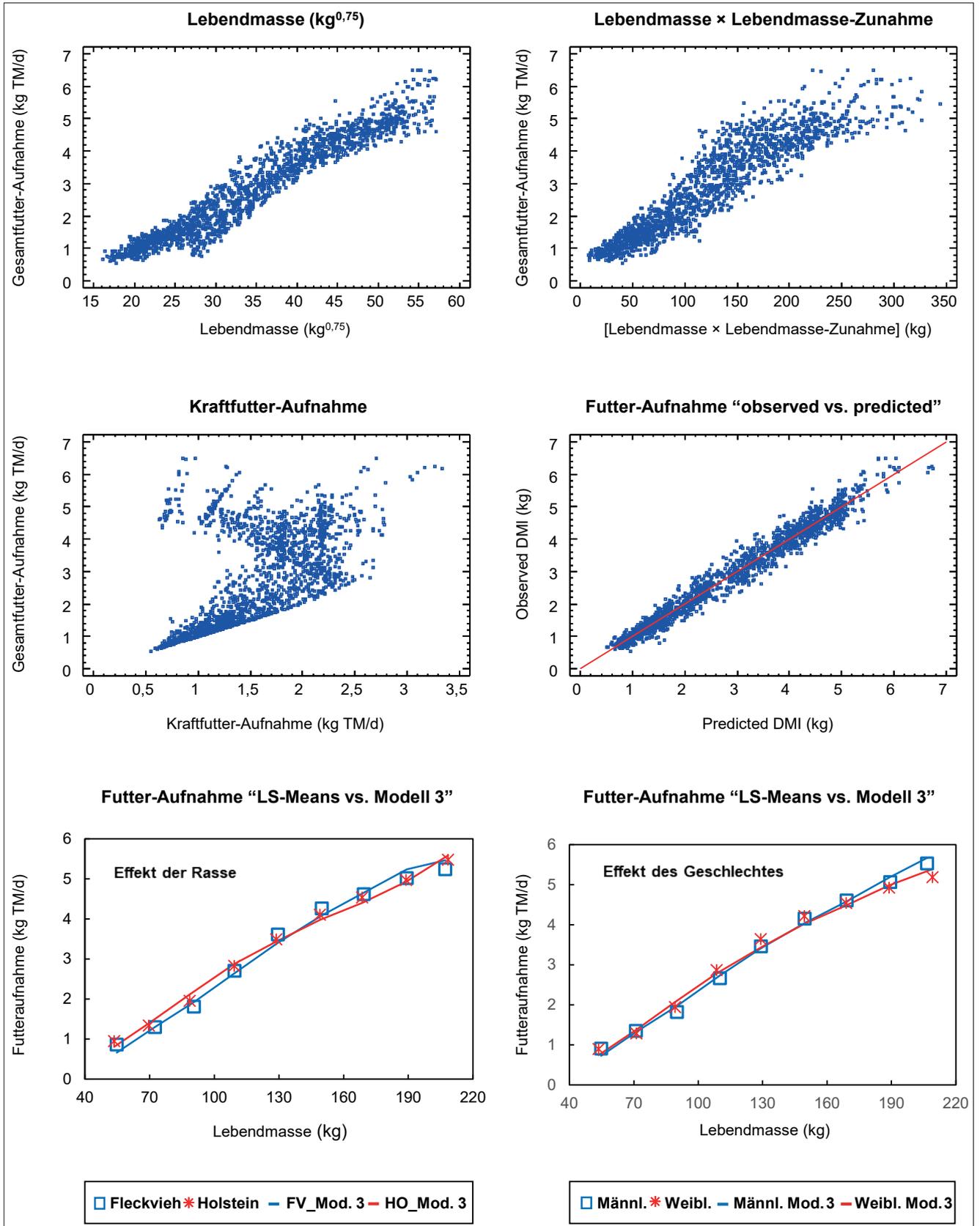


Abbildung 5: Darstellung der Ableitung der Futteraufnahme-Vorhersage (Berücksichtigung der Lebendmasse als Regressionsvariable, Formel (3))

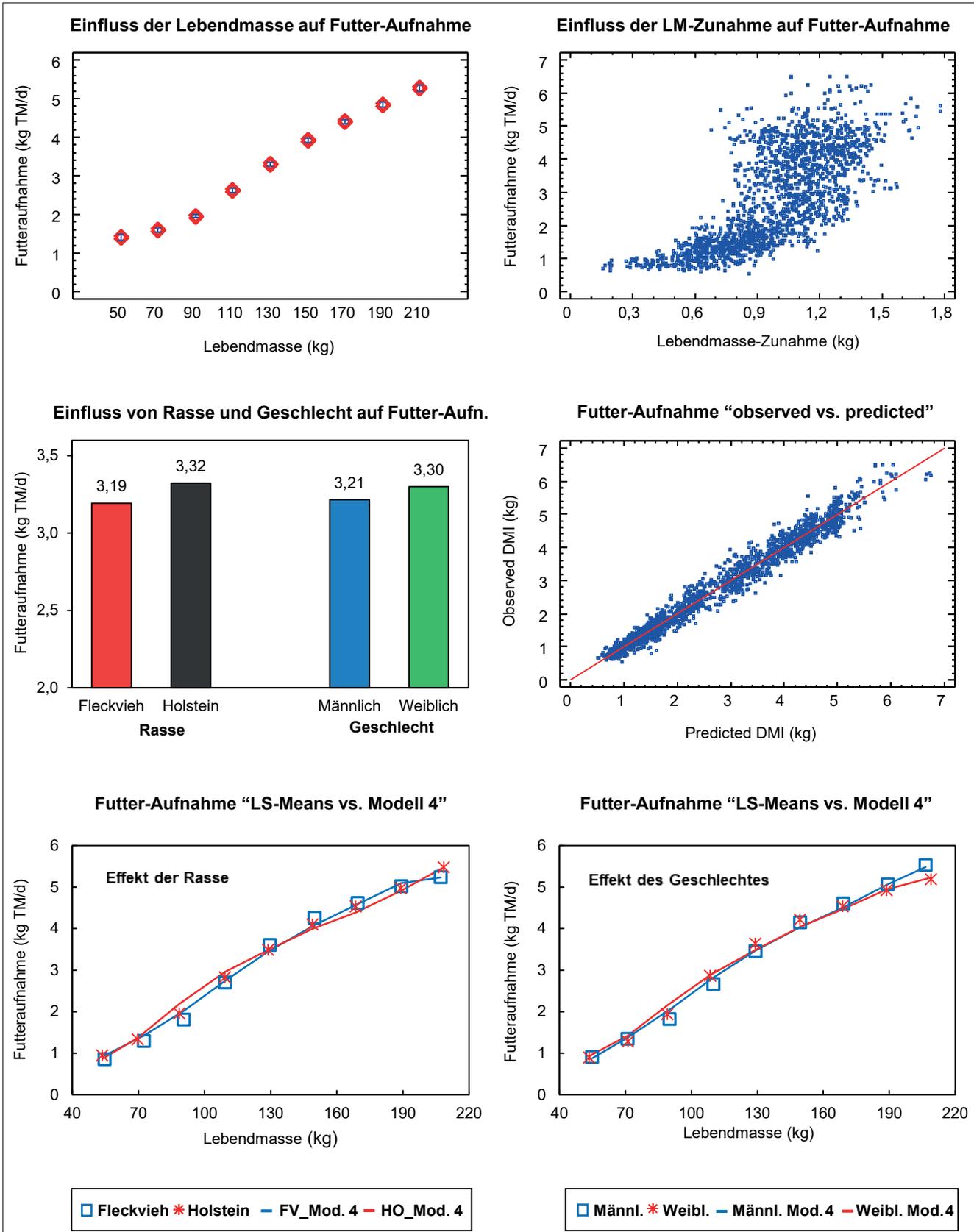


Abbildung 6: Darstellung der Ableitung der Futteraufnahme-Vorhersage (Berücksichtigung der Lebendmasse als fixer Effekt, (Formel (4)))

Einige Zusammenhänge sind in *Abbildung 5* dargestellt. Wie auch bei der Energieaufnahme bestehen zwischen Futteraufnahme und Lebendmasse sowie dem Produkt [Lebendmasse × Lebendmasse-Zunahme] recht enge Beziehungen; nicht jedoch zur Lebendmasse-Zunahme selbst (nicht dargestellt; siehe *Abbildung 2*). Auch die Gegenüberstellung „Observed vs. Predicted“ zeigt, dass die Futteraufnahme mit dem vorliegenden Modell (Formel (3)) relativ genau geschätzt werden kann. Dies geht auch aus den beiden Darstellungen *Abbildung 5* unten hervor, in denen die tatsächliche Futteraufnahme der Rassen (FV vs. HO) sowie der Geschlechter (männlich vs. weiblich) in Form von Punkten und die geschätzte Futteraufnahme in Form von Linien über den gesamten Lebendmasse-Bereich angeführt sind. Auch aus dieser Darstellung ist die gute Anpassung der Gleichung an die tatsächlichen Werte sichtbar.

3.4.2 Vorhersage der Futteraufnahme (Berücksichtigung der Lebendmasse als fixer Effekt)

Die Formel (4) unterscheidet sich methodisch dadurch, dass der Einfluss der Lebendmasse auf die Futteraufnahme aus den Werten der einzelnen Lebendmasse-Klassen abgeleitet wurde (siehe *Abbildung 6* oben) und über eine eigene Subgleichung berechnet wird. Ebenso wird der Effekt von Rasse und Geschlecht auf die Futteraufnahme in Abhängigkeit von der Lebendmasse durch eigene Gleichungen berücksichtigt und additiv in der Hauptgleichung ermittelt. Wie bereits angesprochen, weist die Gleichung (4) die gleich hohe Schätzgenauigkeit auf wie Gleichung (3), mit dem leichten Vorteil, dass die Effekte für Rasse und Geschlecht nicht konstant sind wie in Gleichung (3), sondern abhängig von der Lebendmasse. Dadurch ergibt sich eine leicht bessere Anpassung an den beiden Endpunkten des Lebendmasse-Bereiches, d. h. bei sehr niedriger und auch hoher Lebendmasse (siehe *Abbildung 6* unten). Allerdings ist der Einfluss von Rasse und Geschlecht – obwohl signifikant – mit einem Wert von etwa 0,13 bzw. 0,09 kg TM eher gering (siehe *Abbildung 6* Mitte).

In den „Empfehlungen zur Energieversorgung von Aufzuchtälbern und Aufzuchtrindern“ (GfE 1997) werden keine Angaben zur Futteraufnahme gemacht.

$$\begin{aligned}
 \text{DMI (kg/d)} &= 3,257 + \text{LM} + \text{R(FV.HO)} + \text{G(M.W)} + 0,448 \times (\text{LMZ} - 0,979) [\text{kg}] + \\
 & 0,460 \times (\text{KF} - 1,567) [\text{kg TM}] \quad (4) \\
 \text{LM} &= -3,50 + 0,0270 \times \text{LM}, \text{ for } +2,02 < \text{LM} > -1,85 \\
 \text{R(FV)} &= 0,0775 - 0,00111 \times \text{LM} \\
 \text{R(HO)} &= -0,0689 + 0,00102 \times \text{LM} \\
 \text{G(M)} &= 0,0004 - 0,00035 \times \text{LM} \\
 \text{G(W)} &= 0,0021 + 0,00030 \times \text{LM} \\
 \text{RMSE} &= 0,25 \text{ kg TM (8,3 \%), } R^2 = 97,0 \% \\
 \text{Hinweis:} & \text{ für Untergruppen R} \times \text{G sind die Effekte zu addieren: z. B.} \\
 & \text{FV, männl., 150 kg LM, 800 g LMZ, 2,0 kg KF(TM)} \\
 & \text{FV.männl.150kgLM.800gLMZ.2kgKF} = 3,257 + 0,544 - 0,090 - 0,051 + \\
 & 0,448 \times (0,800 - 0,979) + 0,460 \times (2,000 - 1,567) = 3,779 \text{ kg TM}
 \end{aligned}$$

Die Auswertungen zeigen, dass mit dem vorliegenden Datenmaterial Futteraufnahme und Energieaufwand von Jungtieren mit zufriedenstellender Genauigkeit abgeschätzt werden können. Dabei werden auch Effekte von Rasse (Fleckvieh, Holstein) und Geschlecht (männlich, weiblich) berücksichtigt. Ein direkter Vergleich mit den „Empfehlungen zur Energieversorgung von Aufzuchtälbern und Aufzuchtrindern“ (GfE 1997) ist nicht möglich, da der Bereich der Lebendmasse-Zunahme in dieser Quelle mit 400 bis 800 g/Tag deutlich niedriger ist als im vorliegenden Datenmaterial.

4. Literatur

ALPS, H. und G. AVERDUNK, 1984: Ein Beitrag zur Frage der Abhängigkeit von Merkmalen der Milchleistung und der Fleischleistung beim Fleckvieh. *J. Anim. Breed. Genet.* 101, 350-358.

BLAXTER, K., 1989: *Energy Metabolism in Animals and Man.* Cambridge University Press, 336 S.

BRS (Bundesverband Rind und Schwein), 2020: *Rinder- und Schweineproduktion in Deutschland 2019.* Herausgeber: Bundesverband Rind und Schwein e.V. Adenauerallee 174, 53113 Bonn.

Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) – Ausschuss für Bedarfsnormen, 1995: *Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastrinder.* DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 85 S.

Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) – Ausschuss für Bedarfsnormen, 1997: *Empfehlungen zur Energieversorgung von Aufzuchtältern und Aufzuchtrindern.* *Proc. Soc. Nutr. Nutr.* 6 (1997), 201-215.

GRUBER, L., F.J. SCHWARZ, D. ERDIN, B. FISCHER, H. SPIEKERS, H. STEINGASS, U. MEYER, A. CHASSOT, T. JILG, A. OBERMAIER und T. GUGGENBERGER, 2004: *Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz.* 116. VDLUFA-Kongress, Rostock, 13.-17. September 2004, Kongressband 2004, 484-504.

GRUBER, L. und M. LEDINEK, 2017: *Effizienz der Milcherzeugung in Abhängigkeit von Genotyp und Lebendmasse.* 44. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 23-39.

HAIGER, A., 2005: *Naturgemäße Tierzucht bei Rindern und Schweinen.* Öst. Agrarverlag, A-2333 Leopoldsdorf, ISBN 3-7040-2073-7, 144 S.

INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 1989: *Ruminant Nutrition. Recommended Allowances and Feed Tables* (Ed. R. Jarrige). John Libbey Eurotext London-Paris-Rome. 389 S.

KIRCHGESSNER, M., F.J. SCHWARZ, W. REIMANN, U. HEINDL und R. OTTO, 1994: *Untersuchungen zum Energie- und Nährstoffansatz sowie zur Verwertung der Energie für das Wachstum bei Mastrindern der Rasse Deutsches Fleckvieh.* *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 71, 208-222.

MENKE, K.H., 1987: *Richtzahlen für die praktische Fütterung.* In: *Tierernährung und Futtermittelkunde* (K.H. Menke und W. Huss), 3. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 115f.

PIRCHNER, F., 1979: *Genetischer Antagonismus bei Rindern.* *Züchtungskunde* 51, 423-433.

SCHWARZ, F.J., M. KIRCHGESSNER und U. HEINDL, 1995: *Zum Energiebedarf wachsender Bullen, Färsen und Ochsen der Rasse Deutsches Fleckvieh.* *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 73, 27-37.

ST-PIERRE, N.R., 2001: *Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model technology.* *J. Dairy Sci.* 84, 741-755.

Statgraphics Centurion 19, 2020: *Statistical Analysis and Data Visualization Software.*

STEINWIDDER, A., J. FRICKH, K. LUGER, T. GUGGENBERGER, A. SCHAUER, J. HUBER und L. GRUBER, 2002: *Einfluss von Rationsgestaltung, Geschlecht und Mastendmasse auf Futteraufnahme und Mastleistung bei Fleckvieh-Tieren.* *Züchtungskunde* 74, 104-120.

STEINWIDDER, A., T. GUGGENBERGER, A. SCHAUER, A. RÖMER, G. IBI und J. FRICKH, 2007: Einfluss von Rationsgestaltung, Geschlecht und Genetik auf die Mastleistung von Jungrindern aus der Mutterkuhhaltung. Züchtungskde. 79, 128-141.

VEERKAMP, R.F., 1998: Selection for economic efficiency of dairy cattle using information on live weight and feed intake: A review. J. Dairy Sci. 81, 1109-1119.

ZuchtData, 2020: ZuchtData Jahresbericht 2019. ZuchtData EDV-Dienstleistungen GmbH (Egger-Danner et al.), 78 S.

Tabelle A1: Gehalt der Futtermittel an Inhaltsstoffen in der TM (Mittelwert und Streuungsparameter)

Inhaltsstoffe	Statist. Parameter	Heu (n = 128)	Grassilage (n = 94)	Luzernesilage (n = 32)	Maissilage (n = 171)	Stroh (n = 30)	Kraftfutter (n = 220)	Milch MAT (n = 79)
XP (g)	Mittelwert	125	160	193	77	42	217	244
	Stabw	23	18	26	7	5	62	24
	Minimum	77	116	143	57	25	81	184
	Maximum	183	202	241	90	46	534	299
XL (g)	Mittelwert	21	38	28	33	13	34	242
	Stabw	5	5	5	4	3	12	76
	Minimum	9	27	15	23	5	2	66
	Maximum	39	56	33	39	18	71	335
XF (g)	Mittelwert	294	257	296	195	461	74	9
	Stabw	30	26	33	33	29	36	3
	Minimum	240	190	236	127	390	18	0
	Maximum	397	352	376	294	500	202	11
XA (g)	Mittelwert	71	102	96	35	56	70	76
	Stabw	15	20	13	7	15	24	14
	Minimum	40	62	82	20	35	19	54
	Maximum	114	164	130	54	79	131	100
CHO (g)	Mittelwert	784	700	682	854	889	679	438
	Stabw	33	26	34	11	15	79	84
	Minimum	694	635	621	829	865	362	361
	Maximum	848	751	759	887	932	859	659
NDF (g)	Mittelwert	551	487	437	415	823	222	11
	Stabw	48	42	52	55	16	72	0
	Minimum	454	378	330	300	734	104	0
	Maximum	682	599	522	557	837	517	2
ADF (g)	Mittelwert	326	299	348	217	494	102	9
	Stabw	30	29	42	36	16	51	0
	Minimum	270	235	245	132	456	37	0
	Maximum	408	374	428	320	546	241	2
NFC (g)	Mittelwert	233	213	246	440	66	457	427
	Stabw	38	34	29	61	15	115	84
	Minimum	126	146	223	281	63	124	361
	Maximum	304	328	324	560	131	717	659
nXP (g)	Mittelwert	124	133	135	133	75	190	170
	Stabw	8	6	7	4	3	21	9
	Minimum	103	114	119	120	67	140	155
	Maximum	142	147	144	140	78	301	223
ME (MJ)	Mittelwert	9,27	9,91	8,99	11,02	6,44	12,45	17,63
	Stabw	0,50	0,42	0,41	0,33	0,10	0,49	1,53
	Minimum	7,47	8,68	7,96	9,84	6,25	11,34	13,90
	Maximum	10,42	11,05	9,92	11,73	6,62	13,79	21,00