

Einfluss von Genotyp und Kraftfutterniveau auf die Produktion, Effizienz und Gesundheit von Milchkühen

Impact of genotype and concentrate level on production, efficiency and health of dairy cows

Leonhard Gruber^{1,2*}, Georg Terler¹, Johann Häusler¹, Alfred Haiger², Thomas Guggenberger¹, Margit Velik¹ und Andrea Adelwöhrer¹

Zusammenfassung

Die Leistung der Milchkühe erfährt durch Zuchtmaßnahmen, Intensivierung der Fütterung und Verbesserung der Haltungsbedingungen seit vielen Jahren eine stetige Erhöhung. Andererseits ist die Gesundheit, Fruchtbarkeit und damit die Nutzungsdauer zurückgegangen. Mit der Milchleistung hat sich auch die Körpermasse erhöht und auch der Kraftfutteranteil ist deutlich angestiegen. Dies wirft die Frage auf, bei welcher Milchleistung bzw. welcher Intensität der Milchproduktion das Optimum hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Tiergesundheit und Umweltwirkung erreicht wird.

Um den Einfluss wichtiger Input- und Output-Faktoren zu erfassen, wurde seit 2012 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein ein umfassendes und langfristiges Forschungsprojekt zur Gesamteffizienz des Produktionssystems „Rinderhaltung“ durchgeführt. Es wurden verschiedene Genotypen mit unterschiedlicher Milchbetonung, Körpermasse und Nutzungsdauer verglichen, und zwar bei unterschiedlichen Fütterungsintensitäten. Die Kühe wurden bis zu ihrem Abgehen gehalten, um die Nutzungsdauer zu bestimmen. Auch die produktionstechnisch und ökonomisch wichtige Phase der Rinderaufzucht wurde erfasst. Mit den männlichen Nachkommen wurde die Fleischleistung untersucht (2 Grundfutter-Typen × 2 Kraftfutterniveaus).

Genotypen: Fleckvieh Kombiniert [FV_{KO}], HO Hochleistung [HO_{HL}], HO Neuseeland [HO_{NZ}], HO Lebensleistung [HO_{LL}]

Futterniveau: Vollweide (5 % Kraftfutter) [W05]

5 % Kraftfutter [KF05], 20 % Kraftfutter [KF20], 35 % Kraftfutter [KF35]

Die wichtigsten Ergebnisse für die Haupteffekte sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Versuchsfaktor	Genotyp (Genotype)				Futterniveau (Feeding level)				Experimental factor
	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	Weide	KF05	KF20	KF35	
Körpermasse (kg)	706	644	578	590	607	602	642	667	Body weight (kg)
Futteraufnahme (kg TM)	17,5	17,6	16,1	15,5	15,5	14,7	17,1	19,3	Feed intake (kg DM)
Futterniveau (APL)	2,69	2,90	2,90	2,74	2,64	2,48	2,89	3,23	Animal production level
Milchleistung (kg ECM)	22,1	24,0	21,4	18,7	18,6	17,8	22,9	27,2	Milk yield (kg ECM)
KM-Effizienz (ECM/KM ^{0,75})	0,161	0,187	0,182	0,156	0,152	0,146	0,180	0,207	BW-efficiency (ECM/BW ^{0,75})
Energie-Effizienz (ECM/NEL)	0,204	0,220	0,214	0,194	0,197	0,202	0,213	0,220	Energy efficiency (ECM/NEL)
GGT (U/L)	19,7	21,6	25,5	21,9	22,9	22,0	20,5	23,2	GGT (U/L)
GLDH (U/L)	11,9	14,3	15,8	11,9	14,3	11,8	12,5	15,3	GLDH (U/L)
NEFA (mmol/L)	0,32	0,35	0,36	0,37	0,36	0,38	0,34	0,31	NEFA (mmol/L)
BHB (mmol/L)	0,87	1,26	1,37	1,39	1,31	1,18	1,21	1,18	BHB (mmol/L)
Besamungsindex	2,02	2,42	2,00	1,92	2,10	2,13	2,14	1,98	Inseminations per conception
Non return Rate (90 Tage)	82,8	72,8	90,4	90,5	79,3	82,0	89,4	85,7	Non return Rate (90 days)
Serviceperiode (Tage)	104	122	109	97	110	115	104	103	Days open
Zwischenkalbezeit (Tage)	390	403	388	378	393	396	387	383	Calving interval (days)
Nutzungsdauer (Laktation)	4,15	3,20	4,75	4,74	4,64	3,87	4,66	3,69	Longevity (lactations)
Überlebensrate (3 Laktation)	68,8	52,2	81,1	86,2	64,2	70,8	82,7	70,5	Survival rate (3 lactations)

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

² Universität für Bodenkultur, Institut für Nutztierwissenschaften, Gregor Mendel-Straße 33, A-1180 Wien

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

Faktor Genotyp: Ergebnisse und Schlussfolgerungen in Schlagworten

FV_{KO}: höchste Körpermasse, geringes Futterniveau, mittlere Milchleistung und Effizienz, robuster Stoffwechsel, mittlere Fruchtbarkeit und Nutzungsdauer

HO_{HL}: mittlere Körpermasse, höchste Milchleistung und Effizienz, höchstes Futterniveau, anfälliger Stoffwechsel, geringe Fruchtbarkeit und Nutzungsdauer

HO_{NZ}: niedrige Körpermasse, hohes Futterniveau, mittlere Milchleistung, hohe Effizienz, mittlere Stoffwechsellanfälligkeit, hohe Fruchtbarkeit und Nutzungsdauer

HO_{LL}: niedrige Körpermasse, geringes Futterniveau, geringere Milchleistung und Effizienz, robuster Stoffwechsel, hohe Fruchtbarkeit und Nutzungsdauer

Versuchsfaktor	Genotyp (Genotype)				Futterniveau (Feeding level)				Exp. factor Level
	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	Weide	KF05	KF20	KF35	
Körpermasse	+++	++	+	+	+	+	++	+++	Body weight
Futteraufnahme	+++	+++	++	+	+	+	++	+++	Feed intake
Futterniveau	+	+++	+++	++	+	+	++	+++	Animal prod. level
Milchleistung	++	+++	++	+	+	+	++	+++	Milk yield
Effizienz	++	+++	++	+	+	+	++	+++	Efficiency
Stoffwechsel	+++	+	++	++	++	++	++	++	Metabolism
Fruchtbarkeit	++	+	++	+++	++	++	++	+++	Fertility
Nutzungsdauer	++	+	+++	+++	+++	++	+++	++	Longevity

Faktor Futterniveau: Ergebnisse und Schlussfolgerungen in Schlagworten

Weide und KF05: sehr ähnliche Produktionsdaten (Futteraufnahme, Milchleistung, Körpermasse, Effizienz auf rel. niedrigem Niveau), Weide positiv für Nutzungsdauer

KF05, KF20, KF35: Steigerung der Futteraufnahme und Milchleistung im zu erwartenden Rahmen, keine großen Unterschiede im Stoffwechsel, aber signifikante Wechselwirkung mit Genotyp, mittleres Kraftfutterniveau KF20 am günstigsten

Die Ergebnisse dieses Versuches weisen auf den deutlichen Antagonismus zwischen Milchleistungsniveau und Gesundheitssituation hin. Höher leistende Tiere schneiden in den Gesundheits- und Fruchtbarkeitskriterien schlechter ab, während Tiere mit geringerem Leistungspotenzial hinsichtlich Fitness überlegen sind. Weiters trat auch eine starke Wechselwirkung zwischen Genotyp und Futterniveau bei den meisten Produktions- und Gesundheitskriterien auf. Einerseits reagierten hochleistende Kühe auf zusätzliches Kraftfutterangebot mit einer stärkeren Steigerung der Milchleistung und Futteraufnahme. Andererseits wirkte sich bei Tieren mit geringerem Leistungspotenzial eine niedrige Energieversorgung weniger stark auf eine Verschlechterung der Gesundheit und vor allem der Nutzungsdauer aus. **Die Kühe sollten daher entsprechend ihrem Leistungspotenzial gefüttert werden.** Die Fütterung hochleistender Kühe erfordert ein wesentlich anspruchsvolleres Management, eine hohe Grundfutterqualität und einen hohen Kraftfutteranteil. Dies muss bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden. Der Kraftfuttereinsatz hat pansenphysiologische Grenzen, stellt eine Nahrungsmittelkonkurrenz zur menschlichen Ernährung dar und hat auch negative Auswirkungen auf die Umweltwirkung der Milchproduktion (Nährstoffbilanz des landwirtschaftlichen Betriebes).

Schlagwörter: Milchkuh, Genotyp, Kraftfutter, Milchleistung, Effizienz, Gesundheit

Summary

The performance of dairy cows has increased for many years due to breeding measures, intensification of feeding and improvement of housing conditions. On the other hand, health, fertility and thus longevity have declined. Along with the milk yield, the body weight and the proportion of concentrates have also significantly increased. This raises the question of optimum milk yield or intensity of milk production in terms of profitability, animal health and environmental impact.

In order to examine the influence of important input and output factors, a comprehensive and long-term research project on the overall efficiency of the production system "cattle farming" has been carried out at HBLFA Raumberg-Gumpenstein since 2012. Different genotypes with different emphasis on milk production, body weight and longevity were compared at different feeding intensities. The cows were kept until the end of their productive life in order to determine the longevity. The production-related and economically important phase of cattle rearing was also recorded. Meat performance was studied with the male offspring (2 forage types × 2 concentrate levels).

Genotypes: Fleckvieh Dual purpose [FV_{KO}], HO High Performance [HO_{HL}], HO New Zealand [HO_{NZ}], HO Lifetime Performance [HO_{LL}].

Feeding level: Full pasture (5% concentrates) [W05]

5% concentrates [KF05], 20% concentrates [KF20], 35% concentrates [KF35].

Major results for main effects are summarized in the table (see above):

Factor genotype: results and conclusions in keywords

FV_{KO}: highest body weight, low animal production level, medium milk yield and efficiency, robust metabolism, medium fertility and longevity

HO_{HL}: medium body weight, highest milk yield and efficiency, highest animal production level, susceptible metabolism, low fertility and longevity

HO_{NZ}: low body weight, high animal production level, medium milk yield, high efficiency, medium susceptible metabolism, high fertility and longevity

HO_{LL}: low body weight, low animal production level, lower milk yield and efficiency, robust metabolism, high fertility and longevity

Factor forage level: results and conclusions in keywords

Weide and KF05: similar production results (feed intake, milk yield, body weight, efficiency at relatively low level), pasture positive for longevity

KF05, KF20, KF35: increase in feed intake and milk yield within the expected range, no major differences in metabolism, but significant interaction with genotype, medium level of concentrate (KF20) most favorable

The results of this experiment indicate the clear antagonism between milk yield level and health situation. Higher yielding animals performed worse in health and fertility criteria, while animals with lower performance potential were superior in fitness. Furthermore, a significant interaction between genotype and feeding level occurred for most production and health criteria. On the one hand, high-yielding cows responded to additional concentrate supply with a stronger increase in milk yield and feed intake. On the other hand, in animals with lower performance potential, low energy supply had a weaker effect on deterioration of health and especially of longevity. **Therefore, cows should be fed according to their performance potential.** Feeding high-yielding cows requires much more precise management, a high quality of forage and a high proportion of concentrate. This must be taken into account when assessing profitability. Use of concentrates has limits regarding rumen physiology, represents food competition

with human nutrition and also has negative effects on the environmental impact of milk production (nutrient balance of the farm).

Keywords: Dairy cow, genotype, concentrates, milk yield, efficiency, health

1. Einleitung und Problemstellung

Die Leistung der Milchkühe ist in den vergangenen Jahrzehnten weltweit kontinuierlich gestiegen, was sowohl auf Zuchtmaßnahmen (Selektion und Kreuzung) als auch auf Verbesserung der Fütterung (Kraftfutteranteil, Grundfutterqualität, Fütterungsmanagement etc.) sowie der Haltungsbedingungen (cow comfort, Laufstall, Stallklima) zurückzuführen ist. Durch die genomische Selektion wird das Leistungsniveau noch stärker und rascher erhöht werden (HAYES et al. 2009, BENNEWITZ 2016). In Österreich betrug der jährliche Anstieg zwischen 1950 und 2022 im Durchschnitt 67,6 kg, mit einem deutlich steigenden Trend (mittlere Steigerung des Anstieges 0,93 kg pro Jahr), d. h. die Differenz zum Vorjahr belief sich im Jahr 1950 auf 35 kg und im Jahr 2022 auf 101 kg (RINDERZUCHT AUSTRIA 2022). In Ländern mit hoher Milchleistung, wie z. B. Israel und USA, ist dieser Anstieg mit über 120 kg pro Jahr noch wesentlich höher (ICAR, GRUBER und LEDINEK 2017).

Die Notwendigkeit der Milchleistungssteigerung wird vor allem ökonomisch begründet, weil der Nährstoffaufwand pro kg Milch mit steigender Milchleistung abnimmt (Aufteilung des „unproduktiven“ Erhaltungsbedarfs auf eine größere Produktmenge). Auch bezüglich der Umweltwirkung der tierischen Produktion wird auf ähnliche Weise argumentiert, weil bei höheren Leistungen die Umweltbelastung pro Produkteinheit (z. B. Methan, Carbon footprint) geringer wird (FLACHOWSKY 2000). Die alleinige Betrachtung der Milchleistung zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung ist allerdings nicht ausreichend und zielführend, da zusätzlich zum Output auch der dazu erforderliche Input und auch Flächenbedarf in Rechnung zu stellen ist.

Auf den ersten Blick scheint häufig die Höhe der Milchleistung eines Betriebes („Stalldurchschnitt“) bzw. die Individualleistung der Kühe pro Laktation der wichtigste Gradmesser für die Einkommens- und Wirtschaftlichkeitssituation des Betriebes zu sein. Neben dem Ertrag aus der Milcherzeugung trägt jedoch auch die Fleischleistung (bzw. der Ertrag aus dem Kälberverkauf) und der Altkuh-Erlös sowie der Zucht-Erlös zu einem gewissen Teil zum Einkommen aus der Rinderhaltung bei. Ganz entscheidend auf das landwirtschaftliche Einkommen wirken sich jedoch die Kosten aus. Hier spielen, neben den Fixkosten, die Kosten für Fütterung (57 % der Direktkosten) und Bestandesergänzung (26 % der Direktkosten) eine sehr wichtige Rolle (laut „Ergebnissen und Konsequenzen der Betriebszweigauswertung aus den Arbeitskreisen in Österreich“; BMLRT 2022b). Aus der Relation Output zu Input lässt sich die Effizienz eines Betriebssystems errechnen (BERRY und PRYCE 2014). THOMET et al. (2002) haben folglich die Effizienz als Schlüssel für die wirtschaftliche Milchproduktion bezeichnet und festgestellt, dass die Jahresmilchleistung pro Kuh wenig über die Effizienz aussagt, weil sie die Körpermasse (d. h. den Erhaltungsbedarf) und das Milchproduktionssystem (d. h. die Kosten, z. B. Low input vs. High output) unberücksichtigt lässt. LEDINEK et al. (2022) haben verschiedene Effizienzmerkmale beschrieben, die sich durch die Wahl des Input-Faktors ergeben und nach diesem benannt werden (Körpermasse-, Futter- und Energie-Effizienz). GRUBER und LEDINEK (2017) haben an zwei umfangreichen Datenquellen gezeigt (GRUBER et al. 2004, LEDINEK et al. 2019), dass die Effizienz der Milcherzeugung vom Genotyp (Fleckvieh vs. Holstein) und innerhalb des Genotyps von der Lebendmasse abhängt. Bei alleiniger Betrachtung der Milcherzeugung weisen Holstein eine höhere Effizienz auf (höhere Leistung, geringere Körpermasse). Dem steht allerdings die höhere Fleischleistung kombinierter Rindertypen gegenüber, die in einer gesamtheitlichen Betrachtungsweise natürlich in Rechnung zu stellen ist. Bezüglich der Körpermasse hat sich gezeigt, dass die höchste

Effizienz einer Rinderpopulation bei mittlerer Körpermasse erreicht wird und nicht bei den Tieren mit ganz niedriger oder ganz hoher Körpermasse.

Ein kritischer Aspekt steigender Milchleistungen liegt darin begründet, dass zwischen Milchleistung und anderen relevanten Parametern (Körpermasse, Fleischleistung, Fitnessmerkmale und Gesundheit etc.) vielfältige, zum Teil auch unerwünschte genetische Beziehungen bestehen, welche dem positiven Einfluss steigender Milchleistung auf Wirtschaftlichkeit und Umweltbelastung entgegenwirken (VEERKAMP 1998, LUCY 2001, KNAUS 2009). Besonders auf die intensive Stoffwechselbelastung der Kühe durch hohe Milchleistungen ist hier hinzuweisen. Trotz vieler Diskussionen und Meinungsverschiedenheiten über die Auswirkungen hoher Milchleistung und der damit einhergehenden unzureichenden Energieversorgung auf Immunstatus, Reproduktionsleistung, Stoffwechselsituation und Fitness zeigt sich in den vergangenen Jahrzehnten in vielen Ländern ein eindeutiger Rückgang der Nutzungsdauer der Milchkühe. Dies kann als starker Hinweis auf die negativen Beziehungen zwischen Milchleistung und Fitness angesehen werden (FLEISCHER et al. 2001, MARTENS 2012a, GROSS 2022).

Um den Einfluss dieser wichtigen Input- und Output-Faktoren zu erfassen, wurde seit 2012 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein ein umfassendes und langfristiges Forschungsprojekt zur Gesamteffizienz des Produktionssystems „Rinderhaltung“ durchgeführt. Es wurden verschiedene Genotypen mit unterschiedlicher Milchbetonung, Körpermasse und Nutzungsdauer verglichen bei unterschiedlichen Fütterungsintensitäten, und zwar sowohl bei Milchkühen als auch bei Maststieren. Über die Ergebnisse der Kälber- bzw. Kalbinnen-Aufzucht haben GRUBER et al. (2016) berichtet. Der folgende Beitrag hat die Milcherzeugung zum Inhalt. Die Ergebnisse zur Fleischleistung der männlichen Nachkommen werden von VELIK et al. (2023) dargestellt. Nach Abschluss des Projektes (d. h. wenn alle Versuchskühe abgegangen sind), werden auch Bewertungen zur Nutzungsdauer, zur Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung erfolgen. TERLER et al. (2021) haben die Methanbildung der Kühe in Respirationsanlagen untersucht. Die Relevanz der Fragestellungen des Projektes zeigt sich auch an der wirtschaftlichen Bedeutung der Milch- und Rinderproduktion in Österreich, die mit 1.470 bzw. 833 Mio. Euro einen Anteil von 39,5 bzw. 22,4 % (in Summe also 61,9 %) der gesamten tierischen Erzeugung ausmacht (BMLRT 2022a). Auch der Beitrag dieser Betriebszweige zum Methanausstoß aus der enterischen Fermentation ist mit 45,8 % (Milchkühe) und 48,2 % (andere Rinder), insgesamt also 94 %, sehr hoch (UMWELTBUNDESAMT 2022).

2. Versuchsdesign, Versuchstiere, Fütterung und Methoden

Es war Ziel dieses Projektes, umfassende und ganzheitliche Daten zur Milcherzeugung unter österreichischen Produktionsbedingungen für folgende Gesichtspunkte zu erheben:

1. Produktionstechnische Daten zum Gesamt-Nährstoffaufwand der Milcherzeugung
2. Grundlagen für ökonomische Berechnungen der Milchproduktion
3. Grundlagen für Umweltwirkungen der Milchproduktion
4. Einfluss von Fütterung und Genotyp auf die Milchqualität

Es wurden vor allem drei Aspekte in den Fokus genommen:

- Gegenüberstellung von Hochleistung vs. Nutzungsdauer
- Vergleich von kombinierten und milchbetonten Zweinutzungsrindern
- Effizienz des Kraftfuttereinsatzes

Diese Aspekte sollten mit folgendem Versuchsplan angesprochen werden.

2.1 Versuchsdesign

Der Versuchsplan sah den Vergleich von vier verschiedenen Genotypen bei vier Futter-niveaus in einem zwei-faktoriellen 4×4 -Design vor. Dies ergibt $4 \times 4 = 16$ Untergruppen (Tabelle 1).

Genotypen: Fleckvieh Kombiniert [FV_{KO}], HO Hochleistung [HO_{HL}],
HO Neuseeland [HO_{NZ}], HO Lebensleistung [HO_{LL}]

Futterniveau: Vollweide (5 % Kraftfutter) [W05]
5 % Kraftfutter [KF05], 20 % Kraftfutter [KF20], 35 % Kraftfutter [KF35]

Tabelle 1: Versuchsplan (N = 64 bzw. 98, siehe Text)

Futterniveau bzw. Fütterungssystem	Fleckvieh Kombiniert	Holstein Hochleistung	Holstein Neuseeland	Holstein Lebensleistung
Vollweide 5 % KF	FV_{KO} Weide	HO_{HL} Weide	HO_{NZ} Weide	HO_{LL} Weide
Stall 5 % KF	FV_{KO} KF05	HO_{HL} KF05	HO_{NZ} KF05	HO_{LL} KF05
Stall 20 % KF	FV_{KO} KF20	HO_{HL} KF20	HO_{NZ} KF20	HO_{LL} KF20
Stall 35 % KF	FV_{KO} KF35	HO_{HL} KF35	HO_{NZ} KF35	HO_{LL} KF35

Jede Untergruppe war ursprünglich aus Gründen der Stallkapazität mit 4 Tieren besetzt ($n = 4 \times 4 \times 4 = 64$). Um die Nutzungsdauer und Lebensleistung der Tiere untersuchen zu können, verblieben diese im Versuch, solange sie fruchtbar waren und nicht durch Krankheiten ausfielen. Wenn eine Kuh nicht mindestens drei Laktationen erreichte, wurde sie durch eine weitere Kalbin ersetzt. So kamen schließlich 98 Tiere in den Versuch, was eine durchschnittliche Anzahl von 6,1 Tieren pro Untergruppe ergibt, die bis zum Zeitpunkt März 2023 im Mittel 3,4 Laktationen aufwies. (Der Versuch ist noch nicht abgeschlossen, 7 Tiere stehen noch im Versuch). In Summe kamen bis zum jetzigen Zeitpunkt 333 Laktationen ($98 \times 3,4$) zur Auswertung, d. h. im Durchschnitt 20,8 Laktationen pro Untergruppe.

2.2 Versuchstiere

Der Versuch begann mit der Geburt des ersten Kalbes am 19.12.2010 und wird mit dem Tod der letzten Kuh enden. Mit dem Projekt sollten drei wesentliche Aufwands- und Ertragsbereiche des Systems „Rinderproduktion“ erfasst werden, nämlich die Kälber- und Kalbinnenaufzucht (d. h. die Bestandesergänzung) sowie die Milcherzeugung der Kühe und die Fleischleistung der männlichen Nachkommen.

Die Tiere der Rassen FV_{KO} und HO_{HL} stammen von der Versuchsherde des Institutes für Nutztierforschung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein. Für diese Tiere begann der Versuch mit dem ersten Lebenstag. Die Kälber der Rasse HO_{NZ} wurden zum größeren Teil aus Betrieben mit „Neuseelandkühen“ in der Schweiz gekauft (d. h. keine Daten zur Kälberaufzucht), zum Teil wurden Embryonen aus Neuseeland in Trägerkühe der HBLFA eingesetzt (Versuchsbeginn ebenfalls am ersten Lebenstag). Die Kälber der Rasse HO_{LL} kamen zum Teil von der Versuchsherde des BIO-Institutes der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Versuchsbeginn ebenfalls am ersten Lebenstag) und zum Teil wurden sie von Betrieben mit „Lebensleistungskühen“ eingekauft und nach Abschluss der Aufzuchtphase mit Milchtränke nach Gumpenstein überstellt. Die Aufzucht der Versuchstiere bis zum Beginn der ersten Laktation ist wichtiger Bestandteil dieses Forschungsprojektes, da die Aufzucht einen beträchtlichen Teil des Aufwandes für die gesamte Milcherzeugung ausmacht (Futter, Stallplatz, Arbeit etc.). Und zwar umso mehr, je kürzer die Nutzungsdauer ist. Das gilt im gleichen Sinn für die Beurteilung der Umweltwirkung der Milcherzeugung.

Fleckvieh Kombiniert [FV_{KO}]:

Fleckvieh (FV) ist mit 74,7 % die mit Abstand wichtigste Rinderrasse in Österreich (RINDERZUCHT AUSTRIA 2022). Bei Fleckvieh wurde darauf geachtet, dass möglichst kein Genanteil von Red Holstein (RH) in den Versuchstieren enthalten ist, da es im Projekt

um die Gesamteffizienz der Rinderhaltung ging und auch die Fleischleistung der (männlichen) Versuchstiere geprüft wurde (VELIK et al. 2023), also um die Gegenüberstellung **kombinierte** vs. **milchbetonte** Zweinutzungsrinder im System Rinderproduktion. Der mittlere Genanteil von RH über alle Versuchskühe betrug nur 1,7 % und 73 % der Versuchskühe waren zu 100 % reines Fleckvieh. Die RINDERZUCHT AUSTRIA (2022) weist für Fleckvieh folgende durchschnittliche Leistung aus (273.095 Kühe): 7.742 kg Milch, 4,17 % Fett, 3,44 % Eiweiß, 7.880 kg ECM.

Die Versuchskühe stammten von folgenden Vätern ab: Diadora, GS Safran, GS Schumi, GS Weihum, GS Wilhelm, Mythos, Rau, Rave, Ricki, Roemer, Wal, Waldbrand.

Holstein Hochleistung [HO_{HL}]:

Der Anteil von Holstein (HO) in Österreich beträgt 5,9 % (RINDERZUCHT AUSTRIA 2022). Im globalen Maßstab ist HO jedoch eindeutig die bedeutendste Milchrinderrasse. Nach der Website der World Holstein Friesian Federation (WHFF 2023) werden 23 Länder hinsichtlich ihrer Größe der Holstein-Population und deren Milchleistungsniveau angeführt. Diese Tabelle repräsentiert 25,2 Mio. Holstein-Kühe mit einer durchschnittlichen 305-Tage Leistung von 9.584 (4.764 - 12.558) kg Milch mit 3,99 (3,49 - 4,50) % Fett und 3,37 (3,11 - 3,80) % Eiweiß. Der höchste Bestand an Holstein-Kühen steht demnach in den USA (8,1 Mio.), in Deutschland und Frankreich leben jeweils mehr als 2 Mio. Holstein-Kühe. Wichtige Holstein-Länder in Europa sind weiters Polen, Irland, UK, die Niederlande und Italien mit jeweils mehr als 1 Mio. HO-Kühen. Das Leistungsniveau der zehn besten Länder liegt im Durchschnitt bei etwa 10.500 kg Milch bzw. ECM. Die österreichische Holstein-Population weist im Durchschnitt folgende Leistung auf (42.378 Kühe): 9.064 kg Milch, 4,09 % Fett, 3,33 % Eiweiß, 9.074 kg ECM (RINDERZUCHT AUSTRIA 2022).

Die Versuchskühe stammten von folgenden Vätern ab: Aladdin, Albano Red, Alex, Amylwin, Ashzen, Bogart, Bossman, Confirm, End Story, Gailuron, Gandolf, Hyatt, Legend, Lotto, Manager, McCormick, Scotty, Shot Al, Shout, Sudan, Tom, Tommy, Toystory.

Holstein Neuseeland [HO_{NZ}]:

Die Milcherzeugung in Neuseeland nimmt aus mehreren Gründen eine Sonderstellung ein.

(1) Die Futtergrundlage besteht zum überwiegenden Teil aus Grundfutter, und zwar aus Weidegras (nur sehr wenig Kraftfutter). Dies ist die kostengünstigste Form der Fütterung (keine Konservierungsverluste, keine Transport- und Lagerkosten, hoher Energie- und Proteingehalt). In einem saisonalen Weidesystem werden Futterangebot aus dem Grünland (Graswachstum entsprechend dem Jahresverlauf) und Futterbedarf der Kühe (entsprechend Laktationsverlauf und Trockenstehzeit) optimal aufeinander eingestellt. Voraussetzung dafür ist eine hohe Fruchtbarkeit der Kühe mit geringer Häufigkeit des Umrinderns (hohe Non-Return-Rate). Die wichtigste ökonomische Kennzahl ist die erzeugte Milchmenge bzw. Menge an Milchinhaltsstoffen (*milk solids*) pro Hektar und nicht pro Kuh! (THOMET 1999). Auf Grund des milden, maritimen Klimas ist auch eine Stallhaltung nicht bzw. kaum erforderlich, was eine weitere starke Kostenersparnis bedeutet.

(2) Die Kühe sind an diese Futtersituation genetisch angepasst (geringeres Leistungsniveau, hohe Fruchtbarkeit, hohe Grundfutteraufnahme, hohe Weidetauglichkeit, geringe Körpermasse). Dadurch wird ein starkes Energiedefizit mit dessen bekannten Auswirkungen auf Gesundheit und Fruchtbarkeit einigermaßen verhindert. Im vorliegenden Projekt stellen neuseeländische Holstein-Kühe eine von 4 genetischen Versuchsgruppen dar. In Neuseeland ist jedoch die Kreuzung Holstein × Jersey mit 49,6 % der häufigste Genotyp (berechnet auf Grund der Anzahl an Besamungen, LIC 2021 (Livestock Improvement Corporation)). Holstein Friesian weist in NZ einen Rassenanteil von 32,5 % auf und Jersey 8,2 %. Jersey (JE) dominierte in Neuseeland bis in die späten 1960er Jahre. Seit 1970 war Holstein vorherrschend, entsprechend der internationalen Entwicklung. HARRIS und KOLVER (2001) haben dafür den Begriff „Holsteinization“ geprägt. Zurzeit sind jedoch Holstein × Jersey-Kreuzungen bei weitem vorherrschend, da diese Typen den Produktionsbedingungen in Neuseeland besser entsprechen. Die durchschnittliche Milchleistung pro Kuh in Neuseeland beträgt zurzeit 4.426 kg Milch, 5,02 % Fett, 3,95 %

Eiweiß, 5.100 kg ECM. Die Milchleistung pro Hektar beläuft sich auf 12.649 kg Milch bzw. 14.574 kg ECM (LIC 2021). Zum Vergleich die Milchleistung der Holstein in den USA: 12.558 kg Milch, 3,90 % Fett, 3,12 % Eiweiß, 12.115 kg ECM (WHFF 2023). Die nach Alter gewichtete Körpermasse beträgt für die Rassen HO, JE und HO × JE 497, 409 und 458 kg (LIC 2021). Die Versuchskühe stammten von folgenden Vätern ab: Ddetector, Maxwell Dan Jazzman, Mortensens Gr ARES, Mortensens WE AWE, Sonshine, Sweetdream, Valden Judas, Van Bysterfeldt MO. Der durchschnittliche Genanteil der Versuchskühe an Neuseeland-Holstein-Genen betrug 86,9 %, der Rest sind Jersey-Anteile. Der Anteil von Kühen mit 100 % HO_{NZ} machte 35 % aus, 25 % hatten einen Jersey-Anteil von 12,5 % und 40 % wiesen einen Jersey-Anteil von 25 % auf.

(3) Die Milcherzeugung und Milchindustrie in Neuseeland weisen sehr große Strukturen auf und sind am Weltmarkt orientiert. Auch in Neuseeland findet ein Strukturwandel statt: seit 1975/76 hat sich die Anzahl der Kuhherden von 18.442 auf 11.034 (2020/21) verringert, die Herdengröße hat sich dagegen nahezu vervierfacht (von 113 auf 444 Kühe pro Betrieb). In diesem Zeitraum stieg auch die Anzahl an Kühen im Land um das 2,3-Fache (von 2.091.950 auf 4.903.733 Kühe). Die Leistung je Kuh stieg im Zeitraum 1992/93 - 2020/21 von 259 auf 397 kg Fett und Eiweiß und damit auch die Gesamtproduktion des Landes an Milch (von 6,385 Mio. Tonnen im Jahr 1986/87 auf 21,705 Mio. Tonnen im Jahr 2020/21). Über 90 % der Produktion wird exportiert, zu deutlich niedrigeren Erzeugerpreisen als in der EU (Milchpulver, Käse, Butter).

Holstein Lebensleistung [HO_{LL}]:

Als vierter Genotyp im vorliegenden Projekt wurden die sog. Lebensleistungslinien nach BAKELS (1960) geprüft. Die nachfolgende Beschreibung folgt in gekürzter Form den Ausführungen von HAIGER (1988). Die theoretische Basis der Linienzucht geht auf den Begründer der populationsgenetischen Tierzucht LUSH (1933) zurück. Demnach sind für eine erfolgreiche Linienzucht mindestens drei miteinander nicht verwandte Linien mit zwei folgenden Eigenschaften erforderlich:

- (1) Überragende Leistungseigenschaften (im vorliegenden Fall die Lebensleistung)
- (2) Keine rezessiven Erbanlagen mit schädlichen Wirkungen (Missbildungen, Totgeburten)

Bei dieser Zuchtmethodik wird versucht, die Erbanlagen hervorragender Leistungsvererber durch systematische Verwandtenpaarung in den Nachkommen anzuhäufen und gleichzeitig den Inzuchtgrad niedrig zu halten. In der züchterischen Praxis kommen die drei Linien abwechselnd zum Einsatz (Paarung einer Kuh der Linie A mit Stier der Linie B. Die Nachkommen (AB) haben je 50 % Genanteile von A und B und werden mit Stier der Linie C gepaart; deren Nachkommen (ABC) weisen mittlere Genanteile von 25 % A, 25 % B und 50 % C auf. Das wesentlichste Merkmal dieser Genotypen sind hohe Lebensleistungen bei Geschwistern, Vorfahren und Nachkommen. Eine hohe Lebensleistung ist das Ergebnis einer überdurchschnittlichen Laktationsleistung verbunden mit einer langen Nutzungsdauer. Eine lange Nutzungsdauer hat eine gute Gesundheit und Fruchtbarkeit zur Voraussetzung. Somit ist die hohe Lebensleistung ein umfassendes Merkmal, mit dem sowohl die Milchleistung als auch die Fitness einer Kuh beschrieben wird. Nachfolgend eine kurze Charakteristik der 3 bzw. 4 Linien.

Linie A: Echo-Linie (Herde der Universität New Hampshire, UNH)

Begründerin der Linie ist die Kuh **UNH Perfection Echo** (geboren 1938, Lebensleistung 92.202 kg, 3,86 % Fett. Jede der 7 Töchter mit einer Lebensleistung > 50.000 kg, davon 3 Töchter mit ca. 100.000 kg Lebensleistung (3,7 - 4,2 % Fett).

Merkmale der Linie A: Großer Rahmen, mittlere Spätreife.

Linie B: Patsy-Bar-Pontiac-Linie (Breezewood Farm, Ohio)

Begründerin der Linie ist **Breezewood RA Patsy** (Weltrekord in 1960er Jahren: 16.717 kg Milch, 5,06 % Fett, 847 kg Fett).

Tochter von Patsy: **Barbara** (Lebensleistung 107.054 kg Milch, 4,30 % Fett, 4.603 kg Fett, 9 Laktationen).

Tochter von Barbara: **Patsy Bar Pontiac** (Lebensleistung 193.300 kg Milch, 4,51 % Fett, 8.718 kg Fett, 12 Laktationen, Lebensalter 18,5 Jahre, 1983 gestorben, Weltrekord für Fett-Lebensleistung).

Merkmale der Linie B: niedriger Fettgehalt in den ersten Laktationen, sehr spätreif, wachsen lange, mittelgroße Tiere.

Linie C: Zimmermann-Linie (Zimmermann Farm, Pennsylvania)

Merkmale der Linie C: Die Zimmermann-Linie wurde auf relative Leistungsfrühreife gezüchtet, mit Fettgehalt > 4 % und kleinrahmigen Tieren.

Linie D: Ivanhoe-Linie (Osborndale Ivanhoe, Pennsylvania)

Geboren 1952, 185 cm Widerristhöhe. Mehr als 80 Töchter mit > 90.000 kg Lebensleistung.

Merkmale der Linie D: Nachkommen eher spätreif und sehr groß.

Die Versuchskühe stammten von folgenden Vätern ab: Barbarossa, Emil, Nick, Nordlicht, Panda, Perfekt, Plix-Pietje, Prieß, Prädus.

2.3 Fütterung und Futter

Die Tiere der Futtergruppen KF05, KF20 und KF35 wurden *ad libitum* mit einer Grundfutter-Mischung gefüttert. Diese setzte sich im Durchschnitt aus 27 % Heu, 43 % Grassilage und 30 % Maissilage zusammen (auf TM-Basis). Zur Ermittlung der individuellen Weidefutteraufnahme der Gruppe "Weide" wurde zunächst der Weidefutteraufwuchs jeder Parzelle einer Kuh als Mittelwert zweier Messverfahren bestimmt. Einerseits wurde auf einem angrenzenden Streifen von 1 m Breite außerhalb einer jeden Parzellenfläche der Gras-Ertrag festgestellt, nach Bestimmung des Trockenmasse-Gehaltes der Trockenmasse-Ertrag pro m² berechnet und dieser auch für den Ertrag innerhalb der Weideparzelle angenommen. Andererseits wurde der TM-Ertrag mithilfe einer Regressionsgleichung aus Auswuchshöhenmessungen mit dem Rising-Plate-Meter geschätzt. Vom Weideaufwuchs wurde anschließend der Weiderest abgezogen, der täglich pro Parzelle (d. h. pro Einzeltier) erfasst wurde, woraus sich die tägliche Weidefutteraufnahme ergab. Zudem wurde die kalkulierte Weidefutteraufnahme in Bezug zum NEL-Bedarf und zum BCS gesetzt und bei Bedarf rechnerisch korrigiert. Die Futteraufnahmedaten zwischen zwei Weideversuchs-Perioden wurden durch lineare Interpolation geschätzt. Pro Weidesaison innerhalb eines Jahres fanden in sechs Versuchsjahren (2014 bis 2019) drei Weidefutteraufnahme-Erhebungen statt (in Summe 18 Weideversuche).

Das Kraftfutter wurde nach Versuchsplan über Transponder-Steuerung im Kraftfutter-Automaten angeboten. Das Kraftfutter bestand aus 25 % Körnermais, 24 % Gerste, 8 % Weizen, 8 % Trockenschnitzel, 5 % Weizenkleie, 15 % Sojaextraktionsschrot HP, 15 % Rapsextraktionsschrot. Auch das Mineralfutter (Mineralstoffmischung, Futterkalk, Vihsalz) erhielten die Tiere über den Transponder zur bedarfsgerechten Versorgung mit Mineralstoffen (GfE 2001).

Betrachtet über die gesamte Laktation machte der Kraftfutteranteil 5, 20 bzw. 35 % der Gesamtration in den Futterniveau-Gruppen Weide (W05) und KF05 bzw. KF20 und KF35 aus (auf TM-Basis). Der Anteil des Kraftfutters stieg zu Beginn der Laktation an, verblieb einige Monate auf dem in der jeweiligen Gruppe höchsten Niveau und nahm im letzten Laktationsdrittel deutlich ab, um dem Bedarf der Kühe in der Laktation etwas angepasst zu sein (*Abbildung 1*).

Der Gehalt der Grund- und Kraftfuttermittel des Fütterungsversuches an Nähr- und Mineralstoffen sowie an Energie ist in *Tabelle 2* angeführt. Die Grassilage wies mit 15 % Rohprotein, 25 % Rohfaser, 45 % NDF und 5,8 MJ NEL eine gute Qualität auf. Das Heu hatte einen etwas höheren Gehalt an Gerüstsubstanzen (52 % NDF) und dementsprechend weniger Energie (5,41 MJ NEL). Die Nährstoffgehalte der Maissilage sind durchschnittlich, im Hinblick auf die Maisgrenzlage der Region jedoch als gut zu bezeichnen (6,6 MJ NEL). Die Tiere der Gruppen Weide (W05) und KF05 erhielten Kraftfutter nur in Form eines „Lockfutters“ im Melkstand.

Der Proteingehalt des Kraftfutters für die „Stallration“ wurde so gewählt, dass das Kraftfutter ein ähnliches RDP/Energie-Verhältnis aufwies wie die Grundfuttermischung. Damit wurde erreicht, dass den Tieren aller Kraftfutter-Gruppen, d. h. bei sehr unterschiedlicher Energieversorgung, die relativ gleiche Möglichkeit zur Bildung an Mikrobenprotein gegeben war und der Aspekt der Energieversorgung im vorliegenden Projekt nicht mit dem Einfluss unterschiedlicher Proteinversorgung vermengt war. Dabei wurde von den Grundlagen des nXP-Systems ausgegangen (GfE 2001). Das Verhältnis RDP/ME betrug im Grundfutter 9,9 g/MJ und im Kraftfutter 11,1 g/MJ. Pro MJ ME ist die Bildung von etwa 10,5 g Mikrobenprotein zu erwarten, d. h. diese Menge an abbaubarem Protein sollte den Pansenmikroben bei ausgeglichener ruminaler N-Bilanz zur Verfügung stehen (GfE 2001).

2.4 Erhebungen, Analysen und statistische Auswertung

Die Futtermittelaufnahme und Milchleistung wurden täglich zu jeder Mahlzeit erhoben. Die Trockenmasse der Futtermittel wurde täglich durch Trocknung bei 105 °C bestimmt und die Milch ebenfalls täglich auf Fett, Eiweiß und Laktose untersucht. Die bei der Trocknung entstehenden Stoffverluste im Zuge der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfütter wurden nach den Vorgaben von WEISSBACH und KUHILA (1995) berücksichtigt. Die einzelnen Grundfuttermittel (Heu, Grassilage, Maissilage), die Grundfuttermischung und das Kraftfutter wurden aus monatlichen Sammelproben analysiert.

Die Gehalte an Rohprotein (XP; Methode 4.1.1), Rohfett (XL; Methode 5.1.1), Rohfaser (XF; Methode 6.1.1), Rohasche (XA; Methode 8.1), Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung (aNDFom; Methode 6.5.1), Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung (ADFom; Methode 6.5.2) sowie Säure-Detergenzien-Lignin (ADL; Methode 6.5.3) wurden nach den Methoden des VDLUFA (2012) ermittelt.

Von den Grundfuttermitteln wurde die Verdaulichkeit *in vivo* (mit Hammeln) von jedem Erntejahr nach den Leitlinien der GfE (1991) ermittelt, vom Kraftfutter eine Sammelprobe aus dem ganzen Versuch. Von allen Proben wurden die Weender Nährstoffe (TM, XP, XL, XF, XA), die VAN SOEST-Gerüstsubstanzen (NDF, ADF, ADL) sowie die Mengen- und Spurenelemente (Ca, P, Mg, K, Na sowie Mn, Zn, Cu) untersucht. Die Energie- und Proteinbewertung (NEL, nXP) erfolgte nach den Vorgaben der GfE (2001).

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SAS 9.4 unter Verwendung der Procedure Mixed. In das Modell gingen die fixen Effekte „Genotyp“, „Futterniveau“, „Laktationszahl“, „Laktationsmonat“, signifikante Wechselwirkungen zwischen diesen Effekten sowie der zufällige Effekt „Tier“ ein.

Abbildung 1: Schema des Kraftfutter-Regimes in den Futterniveau-Gruppen KF05, KF20 und KF35

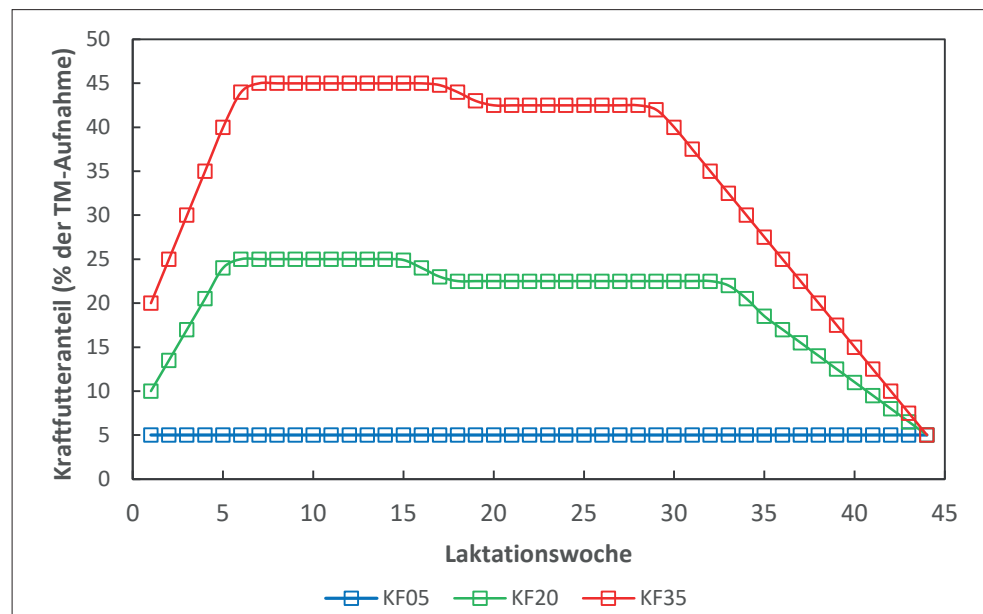


Tabelle 2: Gehalt an Nähr- und Mineralstoffen (g/kg TM) sowie Energiekonzentration (ME und NEL, MJ/kg TM) der Grund- und Kraftfutter des Fütterungsversuches (Mittelwert \pm Standardabweichung)

Inhaltsstoff ¹⁾	Heu	Grassilage	Maissilage	Weidegras	KF 'Stall'	KF 'Weide'
XP	127 \pm 18	150 \pm 18	76 \pm 6	191 \pm 27	204 \pm 47	148 \pm 7
XL	19 \pm 2	31 \pm 3	32 \pm 3	21 \pm 2	25 \pm 7	16 \pm 2
XF	275 \pm 22	248 \pm 21	223 \pm 22	213 \pm 23	69 \pm 43	116 \pm 6
XX	501 \pm 22	465 \pm 32	626 \pm 24	451 \pm 35	660 \pm 23	655 \pm 9
XA	77 \pm 9	107 \pm 26	44 \pm 4	124 \pm 19	42 \pm 26	66 \pm 2
CHO	777 \pm 26	712 \pm 41	848 \pm 9	664 \pm 40	729 \pm 30	770 \pm 8
NDF	520 \pm 39	445 \pm 36	432 \pm 33	443 \pm 35	217 \pm 75	293 \pm 18
ADF	336 \pm 27	308 \pm 24	258 \pm 25	294 \pm 36	100 \pm 50	154 \pm 8
ADL	43 \pm 7	40 \pm 6	27 \pm 4	54 \pm 10	22 \pm 5	19 \pm 2
NFC	257 \pm 30	268 \pm 27	416 \pm 35	222 \pm 39	512 \pm 52	477 \pm 18
nXP	124 \pm 7	130 \pm 5	131 \pm 3	134 \pm 3	190 \pm 25	167 \pm 25
RNB	0,6 \pm 2,02	3,2 \pm 2,4	-8,9 \pm 1,0	9,1 \pm 4,0	2,7 \pm 4,3	-3,1 \pm 4,1
ME	9,23 \pm 0,43	9,79 \pm 0,33	10,92 \pm 0,33	10,15 \pm 0,26	12,54 \pm 0,65	11,86 \pm 0,04
NEL	5,41 \pm 0,30	5,82 \pm 0,23	6,61 \pm 0,25	6,11 \pm 0,19	7,82 \pm 0,42	7,37 \pm 0,02
Ca	7,2 \pm 1,2	8,4 \pm 1,1	2,3 \pm 0,5	9,9 \pm 0,9	2,8 \pm 2,9	5,9 \pm 0,3
P	2,6 \pm 0,3	3,1 \pm 0,4	2,1 \pm 0,3	4,4 \pm 0,4	5,4 \pm 1,8	3,0 \pm 0,5
Mg	3,0 \pm 0,5	3,5 \pm 0,7	1,6 \pm 0,2	4,0 \pm 0,5	2,5 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2
K	18,1 \pm 2,2	22,6 \pm 4,9	10,7 \pm 1,2	21,1 \pm 2,8	9,8 \pm 4,4	12,4 \pm 1,1
Na	0,46 \pm 0,18	0,58 \pm 0,42	0,08 \pm 0,05	0,68 \pm 0,18	0,60 \pm 2,12	2,77 \pm 0,17

XP, XL, XF, XX, XA: Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, N-freie Extraktstoffe, Rohasche (g/kg TM)

CHO, NDF, ADF, ADL, NFC: Kohlenhydrate, Neutral-Detergenzien-Faser, Säure-Detergenzien-Faser, Säure-Detergenzien-Lignin, Nichtfaser-Kohlenhydrate (g/kg TM), nach VAN SOEST (1994)

nXP, RNB, ME, NEL: nutzbar. Rohprotein am Dünndarm, ruminale N-Bilanz (g/kg TM), umsetzbare Energie, Nettoenergie Laktation (MJ/kg TM), nach GfE (2001)

Ca, P, Mg, K, Na: Calcium, Phosphor, Magnesium, Kalium, Natrium (g/kg TM)

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Futteraufnahme, Milchleistung und Effizienz

Die wesentlichen Ergebnisse des Fütterungsversuches sind in *Tabelle 3* (Haupteffekte von Genotyp und Futterniveau) und in *Tabelle 4* (Wechselwirkung Genotyp \times Futterniveau) sowie in *Abbildung 2a* bis *2d*. Angaben zu den Inhaltsstoffen der Ration finden sich in der *Anhangstabelle A1*.

3.1.1 Effekte des Genotyps

Wie erwartet unterschieden sich die Genotypen signifikant in der Körpermasse. Der LS-Mean für Fleckvieh (FV_{KO}) beträgt 706 kg, gefolgt von Holstein Hochleistung (HO_{HL}) mit 644 kg (Mittel aller Futterniveaus, Laktationszahlen und Laktationsstadien). Demgegenüber wiesen die Holstein aus Neuseeland (HO_{NZ}) sowie der Lebensleistungslinien (HO_{LL}) mit 578 bzw. 590 kg wesentlich geringere Gewichte auf.

Auch in der Futteraufnahme traten zwischen den Genotypen signifikante Unterschiede auf. Die Futteraufnahme von HO_{NZ} (16,1 kg TM) und HO_{LL} (15,5 kg TM) war gegenüber FV_{KO} (17,5 kg TM) und HO_{HL} (17,6 kg TM) deutlich niedriger. Bei Berücksichtigung der Körpermasse allerdings zeigten HO_{HL} und HO_{NZ} gegenüber FV_{KO} und HO_{LL} die höchste (relative) Futteraufnahme. Das gilt auch für die auf Körpermasse bezogene Aufnahme von NDF. Ausgehend von einem Maximalwert von 12,5 g NDF je kg Körpermasse (MERTENS 1994) weisen die Werte von FV_{KO} (10,5 g NDF) und HO_{LL} (11,1 g NDF) darauf hin, dass

die Futtermittelaufnahme dieser Tiere gegenüber HO_{HL} (11,7 g NDF) und HO_{NZ} (11,9 g NDF) in höherem Ausmaß physiologisch reguliert war, die NDF-Aufnahme der Genotypen HO_{HL} und HO_{NZ} dagegen bis nahe an die physikalische Limitierung gelangt ist.

Der Grund dafür liegt im höheren Milchleistungspotenzial der Genotypen HO_{HL} und HO_{NZ} verglichen mit FV_{KO} und HO_{LL} . Die höchste Milchleistung erbrachte HO_{HL} mit 23.8 kg/Tag, gefolgt von FV_{KO} , HO_{NZ} und HO_{LL} mit 21.4, 19.6 und 18.6 kg/Tag. Hoch signifikant unterschiedlich waren auch die Gehalte an Milchinhaltsstoffen. Im Milchfettgehalt übertraf HO_{NZ} (4,76 %) die anderen Genotypen (4,26 - 4,29 %) deutlich und erreichte auch den höchsten Gehalt an Milcheiweiß mit 3,59 %, gefolgt von FV_{KO} mit 3,47 % gegenüber den niedrigeren Werten von HO_{LL} (3,26 %) und HO_{HL} (3,21 %). Dies führte zu wesentlich größeren Unterschieden in der energie-korrigierten Milchleistung (22.1, 24.0, 21.4, 18.7 kg ECM/Tag der Genotypen FV_{KO} , HO_{HL} , HO_{NZ} und HO_{LL}), verglichen mit der aktuellen Milchleistung.

Bei der Beurteilung der Milchleistung muss jedoch berücksichtigt werden, bei welcher Körpermasse und mit welcher Futter- bzw. Energie-Aufnahme diese erreicht wird, also mit welcher Effizienz (Output/Input; LEDINEK et al. 2022). An erster Stelle ist hier die unterschiedliche Körpermasse der Genotypen des vorliegenden Projektes zu beachten, die einen entsprechend unterschiedlichen Erhaltungsbedarf nach sich zieht (GfE 2001). Relativ zu Fleckvieh (= 100) betragen die Körpermassen von HO_{HL} , HO_{NZ} und HO_{LL} nur 91, 82 bzw. 84 %, der daraus resultierende Erhaltungsbedarf 40.1, 37.5, 34.5 und 35.1 MJ NEL, das sind 93, 86 und 87 % von FV_{KO} . Es ist auch angebracht, die Futter- und Energie-Aufnahme auf die Körpermasse zu beziehen und daraus das relative Futteraufnahmevermögen abzuleiten. Dies verschiebt das Bild der aktuellen Futtermittelaufnahme deutlich und ist ein wichtiger Hinweis auch auf das Leistungsvermögen der Kühe, die natürlich bestrebt sind, die mit der Milch abgegebene Energie über die Futtermittelaufnahme so weit wie möglich abzudecken (nämlich bis zur physikalischen Limitierung, MERTENS 1994). Auf diese physiologische Steuerung der Futtermittelaufnahme haben schon WANGSNESS und MULLER (1981) hingewiesen. Hinsichtlich der absoluten Futtermittelaufnahme liegen FV_{KO} und HO_{HL} mit etwa 17,5 kg TM sehr ähnlich, ebenso HO_{NZ} und HO_{LL} (16,1 bzw. 15,5 kg TM). Bezogen auf Körpermasse wird jedoch ersichtlich, dass eigentlich HO_{HL} und HO_{NZ} vergleichbar sind, ebenso FV_{KO} und HO_{LL} . Das gleiche Bild ergibt sich, wenn der sog. „Animal production level“ (APL; Energieaufnahme relativ zum Erhaltungsbedarf) betrachtet wird. HO_{HL} und HO_{NZ} liegen mit 2,90 gleichauf, ebenso FV_{KO} und HO_{LL} (ca. 2,70), d. h. die Kühe können das 2,9-fache bzw. das 2,7-fache des Erhaltungsbedarfs aufnehmen. Diese Relationen spiegeln sich auch in der Effizienz wider, sogar noch verstärkt, weil die höher leistenden Genotypen über die erhöhte Futtermittelaufnahme hinaus auch noch eine größere Fähigkeit zur Mobilisation aufweisen. Dies täuscht eine höhere Effizienz vor. Die Körpermasse-Effizienz belief sich auf 0,161 kg, 0,187 kg, 0,182 kg und 0,156 kg ECM je kg metabolischer Körpermasse bei den Genotypen FV_{KO} , HO_{HL} , HO_{NZ} und HO_{LL} , die entsprechende Energie-Effizienz betrug 0,204 kg, 0,220 kg, 0,214 kg bzw. 0,194 kg je MJ NEL Energieaufnahme. Die Zusammenhänge zwischen der Mobilisation und Gesundheit, Fruchtbarkeit sowie Nutzungsdauer werden im Abschnitt 3.2 angesprochen.

Um die Unterschiede zwischen den Genotypen hinsichtlich Milchleistungspotenzial und Mobilisation bzw. Wiederauffüllung von Körperreserven (und damit auch ihrer physiologischen Belastung) klarer zu erkennen, ist die Betrachtung wichtiger Merkmale wie Körpermasse, Futtermittelaufnahme, Milchleistung und Energiebilanz im Verlauf der Laktation hilfreich (siehe *Abbildung 3*). Es zeigt sich, dass bekanntermaßen nach einer Mobilisationsphase von 8 - 12 Wochen die Körpermasse wieder ansteigt. Dies betrifft ganz besonders die Genotypen HO_{LL} und HO_{NZ} , während sich die Körpermasse von HO_{HL} am wenigsten erholt und FV_{KO} zwischen diesen Polen liegt. Die Futtermittelaufnahme steigt zu Laktationsbeginn bei HO_{HL} und FV_{KO} rascher an als bei HO_{NZ} und HO_{LL} . Die Genotypen HO_{LL} und HO_{NZ} zeigen hinsichtlich des Milchleistungsverlaufs eine geringere Persistenz als FV_{KO} und besonders HO_{HL} , was mit dem Verlauf von Körpermasse und Futtermittelaufnahme gut übereinstimmt und in der Folge das entsprechende Bild in der (rechnerischen) Energiebilanz ergibt. Diese kommt bei HO_{HL} erst sehr spät in den positiven Bereich und dies

nur in geringem Ausmaß, im Gegensatz besonders zu HO_{LL} , die früher in der Laktation und zu einem höheren Grad in positive Energiebilanz kommen. Die Genotypen HO_{NZ} und FV_{KO} liegen zwischen diesen Werten. Damit ist auch das Milchleistungspotenzial der Genotypen des vorliegenden Projektes charakterisiert. Da sich im Verlauf der Laktation die Milchleistung im Vergleich zu Körpermasse und Futteraufnahme wesentlich stärker verändert, zeigen auch die Kriterien der Effizienz die typische Abnahme mit dem Fortgang der Laktation. Daher können Effizienz-Parameter nur bei einem definierten Laktationsstadium verglichen werden, am besten jedoch nur über eine gesamte Laktation berechnet werden (LEDINEK et al. 2022).

Die Unterschiede zwischen kombinierten und milchbetonten Zweinutzungsrindern in der Körpermasse, Milchleistung sowie Futteraufnahme und damit auch in der Körpermasse- und Futter-Effizienz sind in vielen Versuchen der vergangenen Jahre unter verschiedensten Produktionsbedingungen dargestellt worden (siehe Übersicht bei GRUBER und STEGFELLNER 2015). Beispielhaft seien die Arbeiten von KÜNZI (1969), ZAUGG (1976), KORVER (1982), OLDENBROEK (1984a und b, 1986, 1988), HAIGER et al. (1987), HAIGER und SÖLKNER (1995), HAIGER und KNAUS (2010), DILLON et al. (2003) und YAN et al. (2006) angeführt.

Bezüglich des Einflusses der Körpermasse auf die Energie-Effizienz innerhalb einer Rasse wurden an der Versuchsherde von Beltsville (ML, USA) schon vor 5 Jahrzehnten durch HOOVEN et al. (1968), MILLER et al. (1969) und DICKINSON et al. (1969) Untersuchungen angestellt. Sie kamen zum Ergebnis, dass die Energie-Effizienz von Milchkühen im Bereich mittlerer Körpermasse einer Population am höchsten ist. In einer zusammenfassenden Auswertung von Fütterungsversuchen mehrerer Universitäten der USA und Kanada mit Holstein und Jersey erreichten die Kühe mit einem Körpermasse-Bereich von 279 - 891 kg die höchste Milchleistung und damit Körpermasse-Effizienz ebenfalls nicht bei höchster Körpermasse, sondern bei 613 kg LM (BROWN et al. 1977). MORRIS und WILTON (1976) werteten in einer Literaturreview 10 relevante Experimente aus und fanden im Durchschnitt eine positive phänotypische (+0,33) und genetische (+0,14) Korrelation zwischen Milchleistung und Körpermasse, während die Korrelation zwischen Energie-Effizienz und Körpermasse negativ war (-0,18 bzw. -0,37). VALLIMONT et al. (2011) fanden in 11 Milchviehherden (970 HF-Kühe) in Pennsylvania (USA) hohe, negative genetische Korrelationen (-0,64 bis -0,66) zwischen Körpermasse mehreren Effizienz-Merkmalen (Trockenmasse-, NEL- und Protein-Effizienz) und schlossen daraus, dass große und fette Kühe weniger effizient sind als kleine und magere Kühe. Die Effizienz dieser Kühe war negativ mit ihrer Fruchtbarkeit (days open) und positiv mit ihrer produktiven Lebenszeit korreliert. Dies zeigt, dass bei einer Züchtung auf hohe Effizienz die Fruchtbarkeitssituation einzubeziehen ist (VALLIMONT et al. 2013). GRUBER und STEGFELLNER (2015) stellten in einer Erhebung an 18 landwirtschaftlichen Fachschulen in Österreich eine partielle phänotypische Korrelation zwischen Milchleistung (ECM) und Körpermasse vom +0,153 und zwischen Körpermasse-Effizienz und Körpermasse von -0,260 fest. Auf die Nachteile zu hoher Körpermasse von Milchkühen (Krankheitshäufigkeit, Ausfallsrate, Effizienz etc.) haben u.a. auch MASON et al. (1957), MAHONEY et al. (1986), HANSEN et al. (1999) und BECKER et al. (2012) hingewiesen. Nach KROGMEIER (2009) sind die Kühe in den letzten Jahrzehnten größer geworden und ihre Nutzungsdauer hat abgenommen. Aus dem Vergleich von älteren mit aktuellen Milchviehversuchen (HAIGER et al. 1987 vs. GRUBER und STEGFELLNER 2015 bzw. LEDINEK et al. 2019) kann abgeleitet werden, dass sich im angesprochenen Zeitraum von etwa 30 Jahren die Milchleistung, jedoch zu einem gewissen Grad auch die Körpermasse, erhöht haben. Wird die Steigerung der Milchleistung 100 gesetzt, so erhöhte sich die Körpermasse um 48 % und die Körpermasse-Effizienz dementsprechend nur um 62 % (GRUBER und STEGFELLNER 2015). Beim Vergleich von HAIGER et al. (1987) mit den Ergebnissen von Efficient Cow (LEDINEK et al. 2019) macht die Steigerung der Körpermasse 35 % bzw. die Steigerung der Körpermasse-Effizienz 71 % gegenüber der Milchleistung (= 100) aus. Es ist also davon auszugehen, dass 30 bis 40 % der Milchleistungssteigerung um den Preis einer höheren Körpermasse erzielt wurden (im Falle von Brown Swiss und Holstein).

Tabelle 3: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Körpermasse, Futter- und Nährstoffaufnahme, Rationskriterien, Milchleistung sowie Effizienz (Haupteffekte von Genotyp und Futterniveau)

Merkmal	Genotyp	Futterniveau					P-Werte						
		FV _{Ko}	HO _{HL}	HO _{Nz}	HO _{LL}	Weide	KF05	KF20	KF35	RSD	G	F	G x F
Körpermasse	kg	706	644	578	590	607	602	642	667	55	<0,001	<0,001	<0,001
Body Condition Score	Punkte (1 - 5)	3,09	2,92	3,15	3,08	2,94	2,92	3,12	3,27	0,47	<0,001	<0,001	<0,001
Futteraufnahme (pro Tag)													
Grundfutter	kg TM	14,4	14,5	13,3	12,8	14,8	13,9	13,7	12,6	1,8	<0,001	<0,001	<0,001
Krautfutter	kg TM	3,1	3,1	2,8	2,7	0,8	0,7	3,4	6,8	0,9	<0,001	<0,001	<0,001
Gesamtfutter	kg TM	17,5	17,6	16,1	15,5	15,5	14,7	17,1	19,3	2,1	<0,001	<0,001	<0,001
% der KM		2,48	2,73	2,79	2,62	2,56	2,44	2,67	2,89	0,37	<0,001	<0,001	<0,001
Gesamtfutter	g/kg ^{0,75} KM	128	138	137	129	127	121	134	147	17	<0,001	<0,001	<0,001
NDF-Aufnahme	g/kg KM	10,5	11,7	11,9	11,1	11,4	11,0	11,1	11,5	1,6	<0,001	<0,001	<0,001
Inhaltsstoffe im Grundfutter und Gesamtfutter													
Rohfaser Grundfutter	g/kg TM	244	246	247	245	234	249	249	250	16	<0,001	<0,001	<0,001
NDF Grundfutter	g/kg TM	461	463	464	462	454	464	465	466	21	<0,001	<0,001	<0,001
Rohprotein Grundfutter	g/kg TM	131	131	130	130	152	123	123	123	21	0,014	<0,001	0,024
nXP Grundfutter	g/kg TM	130	130	130	130	132	129	129	129	3	0,489	<0,001	0,001
ME Grundfutter	MJ/kg TM	9,92	9,94	9,95	9,97	10,01	9,94	9,91	9,92	0,22	<0,001	<0,001	<0,001
NEL Grundfutter	MJ/kg TM	5,91	5,92	5,93	5,94	5,99	5,91	5,90	5,90	0,16	<0,001	<0,001	<0,001
Rohfaser Gesamtfutter	g/kg TM	220	222	221	218	228	240	213	201	16	<0,001	<0,001	<0,001
NDF Gesamtfutter	g/kg TM	427	430	428	424	445	451	415	398	21	<0,001	<0,001	<0,001
Rohprotein Gesamtfutter	g/kg TM	142	141	141	142	152	127	140	146	19	0,331	<0,001	0,031
nXP Gesamtfutter	g/kg TM	138	138	138	139	134	132	141	145	7	<0,001	<0,001	<0,001
ME Gesamtfutter	MJ/kg TM	10,28	10,29	10,32	10,36	10,12	10,07	10,43	10,63	0,22	<0,001	<0,001	<0,001
NEL Gesamtfutter	MJ/kg TM	6,17	6,18	6,20	6,23	6,06	6,01	6,28	6,42	0,16	<0,001	<0,001	<0,001
Nährstoffaufnahme													
nXP Grundfutter	g/Tag	1,875	1,883	1,731	1,660	1,948	1,803	1,772	1,623	239	<0,001	<0,001	<0,001
NEL Grundfutter	MJ/Tag	85,2	85,6	78,9	75,8	88,4	82,4	80,9	74,1	11	<0,001	<0,001	<0,001
Rohfaser Gesamtfutter	g/Tag	3,821	3,877	3,543	3,352	3,537	3,520	3,656	3,881	507	<0,001	<0,001	<0,001
NDF Gesamtfutter	g/Tag	7,434	7,518	6,871	6,527	6,916	6,621	7,122	7,692	911	<0,001	<0,001	<0,001
Rohprotein Gesamtfutter	g/Tag	2,489	2,492	2,278	2,195	2,368	1,867	2,397	2,822	394	<0,001	<0,001	<0,001
nXP Gesamtfutter	g/Tag	2,411	2,424	2,230	2,145	2,085	1,940	2,412	2,804	267	<0,001	<0,001	<0,001
NEL Gesamtfutter	MJ/Tag	108,2	109,0	100,3	96,5	94,3	88,2	107,6	124,0	13,5	<0,001	<0,001	<0,001
Futterniveau (APL)	Vielfaches der Erhaltung	2,69	2,90	2,90	2,74	2,64	2,48	2,89	3,23	0,38	<0,001	<0,001	<0,001
Energie-Bedarf	MJ NEL/Tag	113,1	116,7	105,3	97,0	97,1	94,2	112,9	128,0	13,0	<0,001	<0,001	<0,001
Deckung NEL-Bedarf	MJ/Tag	-4,9	-7,7	-5,0	-0,5	-2,8	-6,0	-5,2	-4,0	14,2	<0,001	<0,001	<0,001
Deckung NEL-Bedarf	% des Bedarfs	95,6	93,3	95,2	99,4	97,2	93,7	95,5	97,1	13,8	<0,001	<0,001	<0,001
Milchleistung													
Milchleistung	kg	21,4	23,8	19,6	18,6	18,2	17,5	21,9	25,7	3,7	<0,001	<0,001	<0,001
Fettgehalt	%	4,29	4,26	4,76	4,28	4,29	4,33	4,47	4,49	0,57	<0,001	<0,001	<0,001
Eiweißgehalt	%	3,47	3,21	3,59	3,26	3,36	3,20	3,42	3,55	0,27	<0,001	<0,001	<0,001
Laktosegehalt	%	4,65	4,63	4,60	4,55	4,62	4,62	4,59	4,59	0,15	<0,001	<0,001	<0,001
Energiegehalt	MJ/kg	3,30	3,22	3,50	3,23	3,27	3,24	3,35	3,38	0,26	<0,001	<0,001	<0,001
Milchleistung	kg ECM	22,1	24,0	21,4	18,7	18,6	17,8	22,9	27,2	3,8	<0,001	<0,001	<0,001
Effizienz													
Körpermasse-Effizienz	kg ECM/kg ^{0,75} KM	0,161	0,187	0,182	0,156	0,152	0,146	0,180	0,207	0,030	<0,001	<0,001	<0,001
Futter-Effizienz	kg ECM/kg TM	1,26	1,36	1,33	1,21	1,20	1,21	1,34	1,41	0,25	<0,001	<0,001	<0,001
Energie-Effizienz	kg ECM/MJ NEL	0,204	0,220	0,214	0,194	0,197	0,202	0,213	0,220	0,041	<0,001	<0,001	<0,001

Tabelle 4: Einfluss von Genotyp und Futtermiveau auf Körpermasse, Futter- und Nährstoffaufnahme, Rationskriterien, Milchleistung sowie Effizienz (Wechselwirkung Genotyp × Futtermiveau)

Merkmal	Weide				KF05				KF20				KF35			
	FV ₁₀₀	HO _{HL}	HO _{RZ}	HO _{LL}	FV ₁₀₀	HO _{HL}	HO _{RZ}	HO _{LL}	FV ₁₀₀	HO _{HL}	HO _{RZ}	HO _{LL}	FV ₁₀₀	HO _{HL}	HO _{RZ}	HO _{LL}
Körpermasse	kg	681	618	559	571	675	613	554	566	719	655	589	748	691	609	622
Body Condition Score	Punkte (1 - 5)	2,98	2,81	3,03	2,95	2,95	2,80	3,00	2,93	3,15	2,98	3,20	3,29	3,09	3,37	3,31
Futteraufnahme (pro Tag)																
Grundfutter	kg TM	15,52	15,33	14,39	13,82	14,61	14,50	13,57	13,04	14,40	14,48	13,28	12,71	13,16	13,56	11,47
Kraffutter	kg TM	0,80	0,82	0,77	0,71	0,79	0,75	0,73	0,67	3,58	3,64	3,30	3,20	7,12	7,27	6,20
Gesamtfutter	kg TM	16,32	16,16	15,16	14,54	15,40	15,24	14,30	13,72	17,98	18,12	16,58	15,91	20,28	20,83	17,67
Gesamtfutter	% der KM	2,40	2,61	2,71	2,55	2,28	2,49	2,58	2,42	2,50	2,77	2,81	2,64	2,71	3,01	2,84
Gesamtfutter	g/kg ^{0,75} KM	122	130	132	124	116	124	125	118	129	140	139	131	142	155	142
NDF-Aufnahme	g/kg KM	10,6	11,7	12,2	11,3	10,3	11,3	11,6	10,9	10,3	11,6	11,7	10,9	10,9	12,0	11,2
Inhaltsstoffe im Grundfutter und Gesamtfutter																
Rohfaser Grundfutter	g/kg TM	231	235	237	233	248	250	249	249	247	250	249	249	251	249	250
NDF Grundfutter	g/kg TM	451	456	458	452	463	466	464	464	463	467	464	465	467	465	465
Rohprotein Grundfutter	g/kg TM	152	152	150	153	123	125	123	122	125	124	122	122	125	123	122
nXP Grundfutter	g/kg TM	132	132	132	132	129	130	130	129	129	129	129	129	129	129	130
ME Grundfutter	MJ/kg TM	10,00	10,00	10,01	10,04	9,93	9,92	9,95	9,94	9,88	9,90	9,95	9,91	9,87	9,93	9,97
NEL Grundfutter	MJ/kg TM	5,98	5,97	5,98	6,01	5,91	5,90	5,92	5,92	5,88	5,89	5,92	5,90	5,87	5,91	5,88
Rohfaser Gesamtfutter	g/kg TM	225	229	230	226	239	242	240	239	212	216	213	212	203	202	201
NDF Gesamtfutter	g/kg TM	442	447	449	442	451	454	450	450	414	419	414	413	401	400	399
Rohprotein Gesamtfutter	g/kg TM	153	153	151	153	127	128	127	127	141	139	139	140	146	145	147
nXP Gesamtfutter	g/kg TM	134	134	134	135	132	132	133	133	141	140	141	141	144	145	146
ME Gesamtfutter	MJ/kg TM	10,11	10,10	10,12	10,16	10,05	10,05	10,09	10,09	10,40	10,41	10,47	10,46	10,56	10,62	10,73
NEL Gesamtfutter	MJ/kg TM	6,06	6,05	6,06	6,09	6,00	5,99	6,03	6,03	6,26	6,26	6,30	6,29	6,37	6,41	6,49
Nährstoffaufnahme																
nXP Grundfutter	g/Tag	2,046	2,023	1,896	1,827	1,890	1,879	1,758	1,686	1,862	1,869	1,716	1,640	1,698	1,755	1,485
NEL Grundfutter	MJ/Tag	92,9	91,6	86,1	83,1	86,4	85,6	80,4	77,2	84,7	85,3	78,6	74,9	77,2	80,2	68,1
Rohfaser Gesamtfutter	g/Tag	3,671	3,703	3,491	3,282	3,685	3,685	3,429	3,280	3,817	3,909	3,531	3,366	4,111	4,212	3,480
NDF Gesamtfutter	g/Tag	7,208	7,225	6,802	6,428	6,947	6,925	6,443	6,170	7,443	7,599	6,869	6,576	8,140	8,323	6,935
Rohprotein Gesamtfutter	g/Tag	2,494	2,465	2,282	2,231	1,954	1,953	1,823	1,739	2,543	2,524	2,299	2,220	2,965	3,024	2,709
nXP Gesamtfutter	g/Tag	2,188	2,164	2,032	1,956	2,032	2,014	1,896	1,818	2,529	2,540	2,334	2,243	2,927	3,011	2,685
NEL Gesamtfutter	MJ/Tag	98,9	97,7	91,9	88,6	92,4	91,3	86,2	82,7	112,5	113,4	104,5	100,1	129,2	133,5	114,7
Futtermiveau (APL)																
Energie-Bedarf	MJ/NEL/Tag	101,9	102,8	95,4	88,3	98,9	99,7	92,5	85,7	118,0	122,2	109,9	101,3	133,8	142,2	123,3
Deckung NEL-Bedarf	MJ/Tag	-3,0	-5,1	-3,5	0,3	-6,5	-8,3	-6,3	-3,0	-5,5	-8,8	-5,4	-1,2	-4,6	-8,7	-4,8
Deckung NEL-Bedarf	% des Bedarfs	97,1	95,0	96,3	100,3	93,4	91,6	93,2	96,4	95,3	92,8	95,1	98,9	96,6	93,9	96,1
Milchleistung																
Milchleistung	kg	18,74	20,27	17,37	16,46	18,05	19,53	16,74	15,86	22,53	25,14	20,58	19,51	26,47	30,33	22,40
Fettgehalt	%	4,19	4,16	4,65	4,18	4,22	4,19	4,69	4,22	4,36	4,33	4,84	4,36	4,38	4,35	4,86
Eiweißgehalt	%	3,45	3,20	3,56	3,24	3,28	3,05	3,39	3,08	3,51	3,24	3,63	3,30	3,64	3,35	3,77
Laktosegehalt	%	4,67	4,64	4,61	4,56	4,67	4,64	4,61	4,56	4,64	4,61	4,58	4,53	4,63	4,61	4,58
Energiegehalt	MJ/kg	3,25	3,18	3,45	3,18	3,23	3,16	3,43	3,16	3,33	3,25	3,54	3,26	3,37	3,28	3,58
Milchleistung	kg ECM	19,06	20,14	18,74	16,38	18,22	19,27	17,93	15,67	23,46	25,56	22,74	19,89	27,88	31,14	26,58
Effizienz																
Körpermasse-Effizienz	kg ECM/kg ^{0,75} KM	0,143	0,162	0,163	0,140	0,138	0,156	0,157	0,135	0,169	0,197	0,190	0,163	0,195	0,231	0,186
Futter-Effizienz	kg ECM/kg TM	1,17	1,25	1,24	1,13	1,18	1,26	1,25	1,14	1,30	1,41	1,37	1,25	1,37	1,50	1,44
Energie-Effizienz	kg ECM/MJ NEL	0,193	0,206	0,204	0,185	0,197	0,211	0,208	0,199	0,209	0,225	0,218	0,199	0,216	0,233	0,224

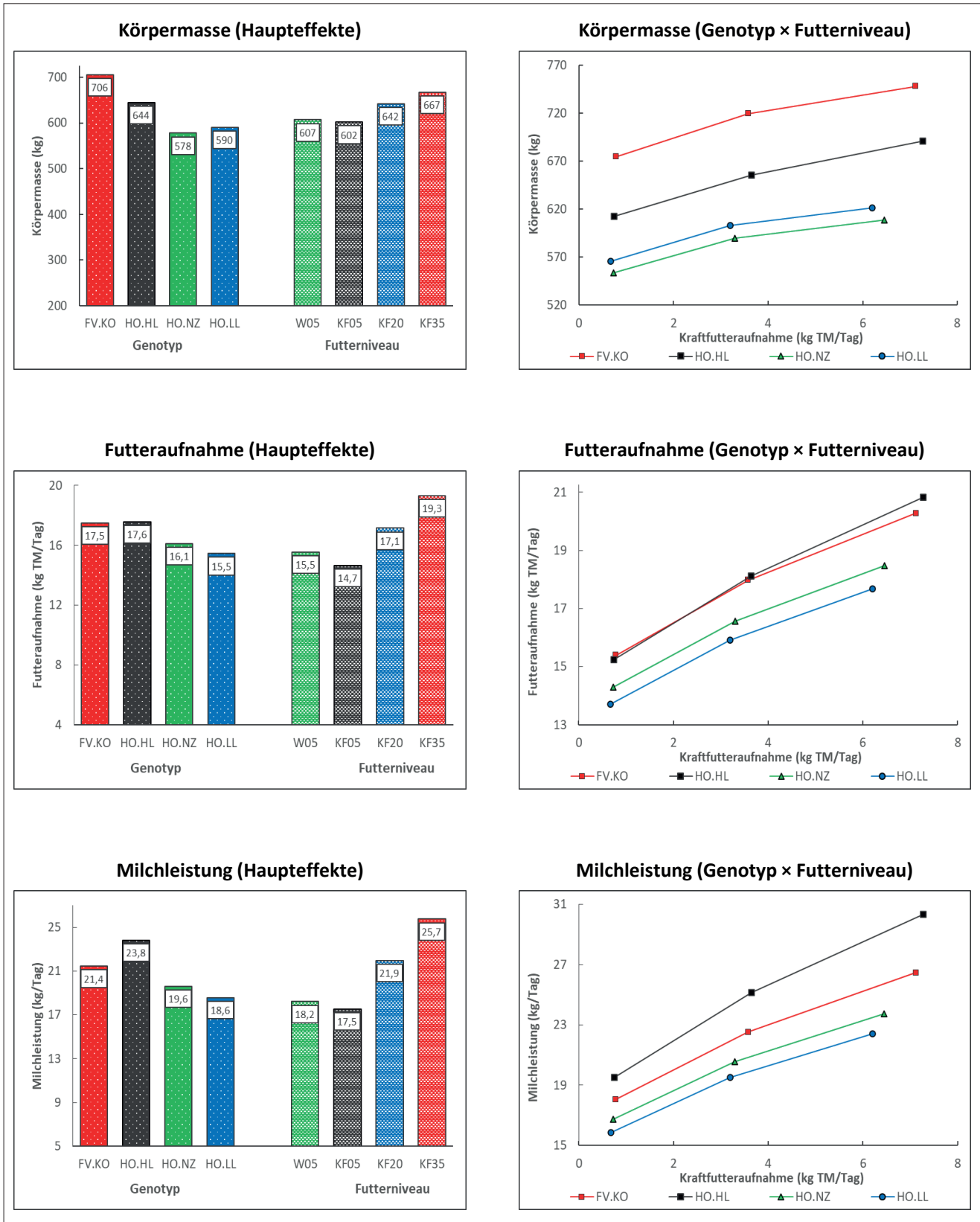


Abbildung 2a: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Körpermasse, Futteraufnahme und Milchleistung

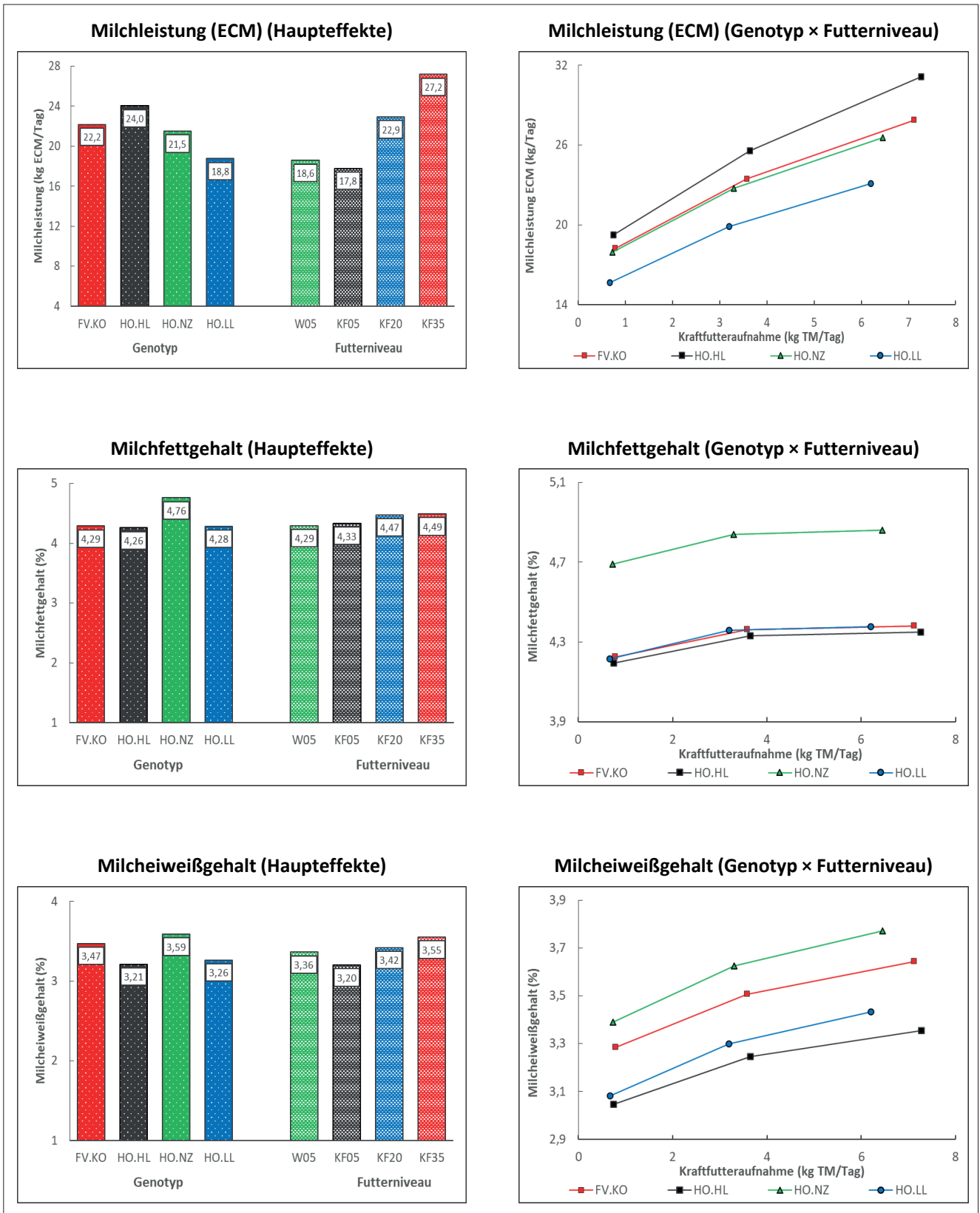


Abbildung 2b: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Milchleistung (ECM) und Milchinhaltsstoffe

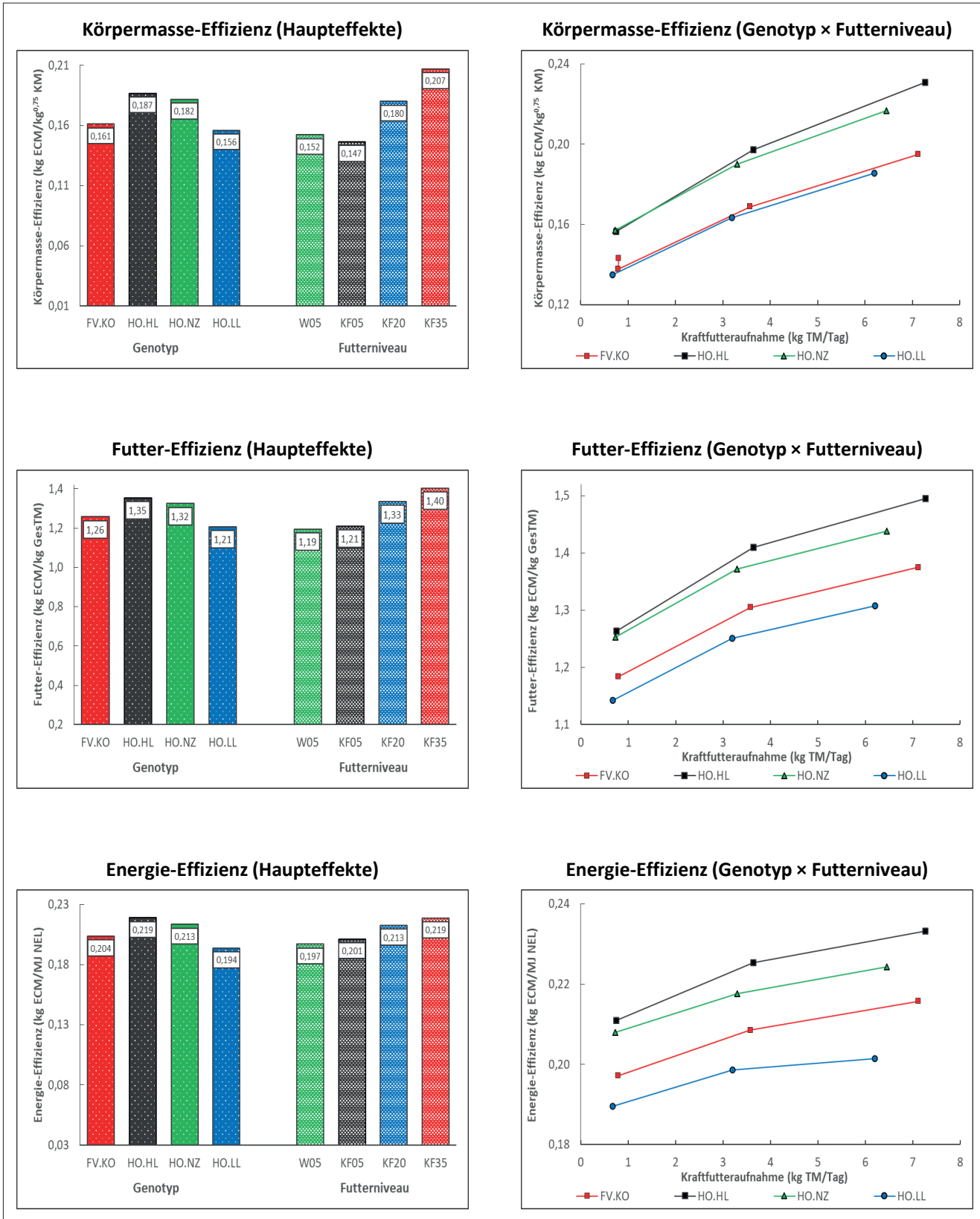


Abbildung 2c: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf die Körpermasse-, Futter- und Energie-Effizienz

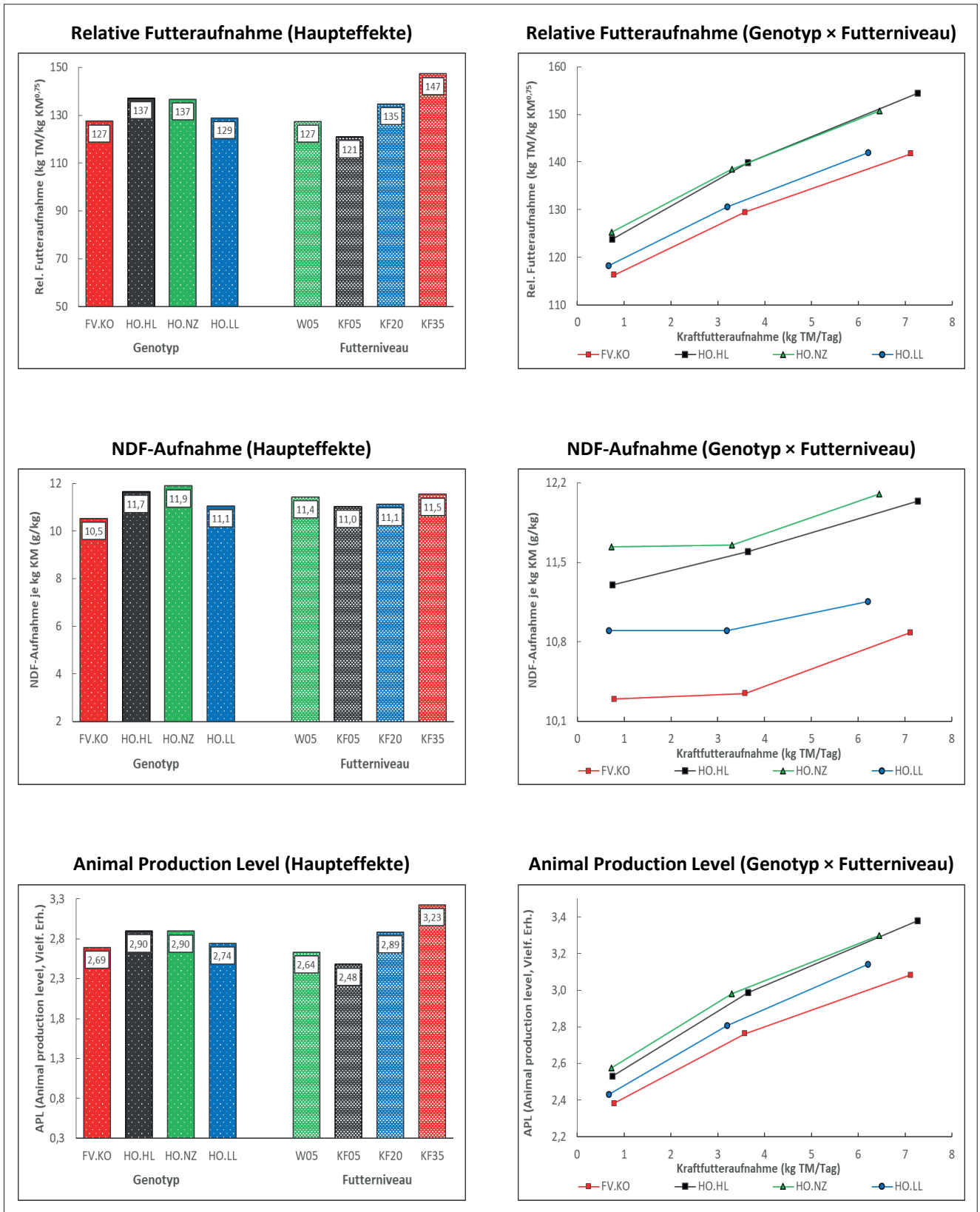


Abbildung 2d: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf relative Futteraufnahme, NDF-Aufnahme und Animal Production Level

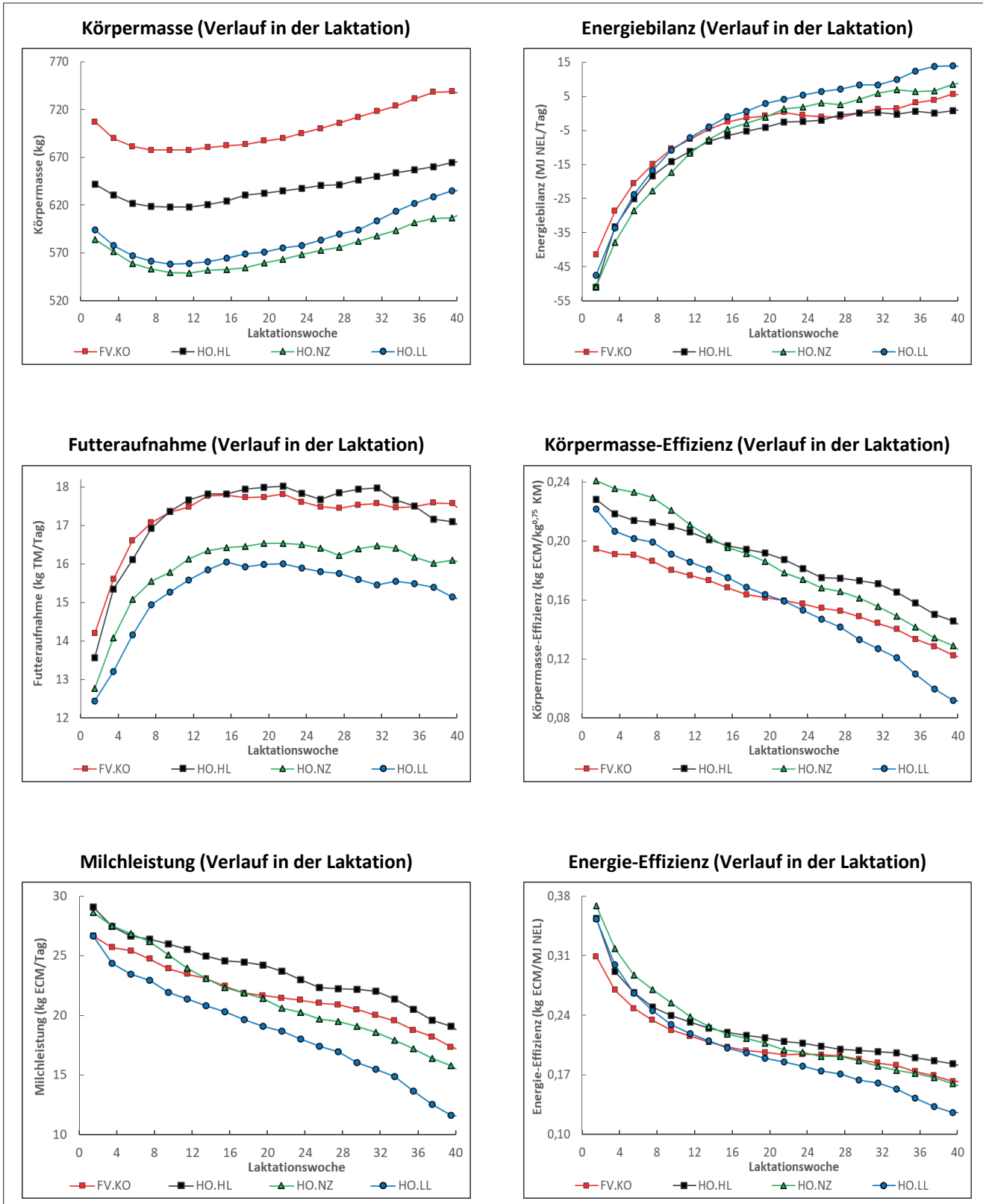
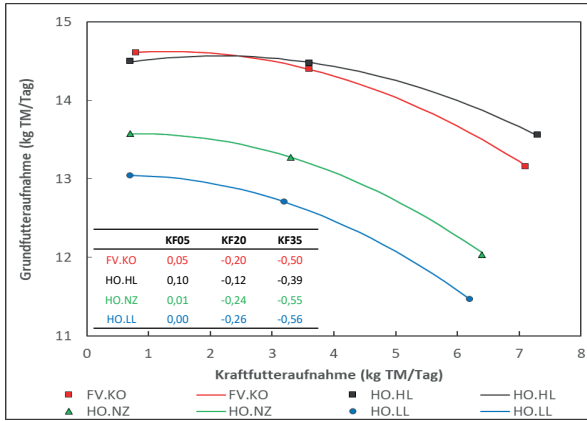
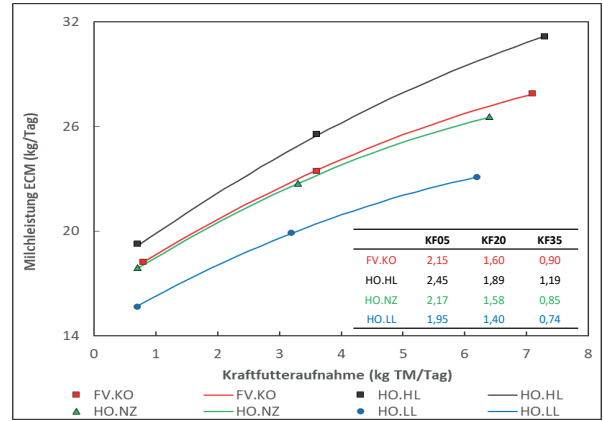


Abbildung 3: Einfluss des Laktationsstadiums auf Körpermasse, Futteraufnahme, Milchleistung, Energiebilanz und Effizienz bei den vier Genotypen (FV_{KO}, HO_{HL}, HO_{NZ}, HO_{LL})

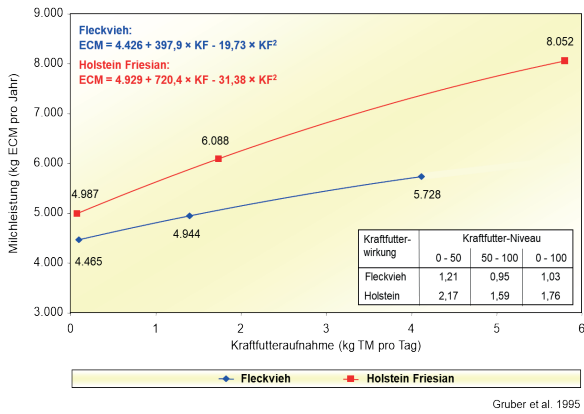
Grundfutterverdrängung [MilchEffizienz]



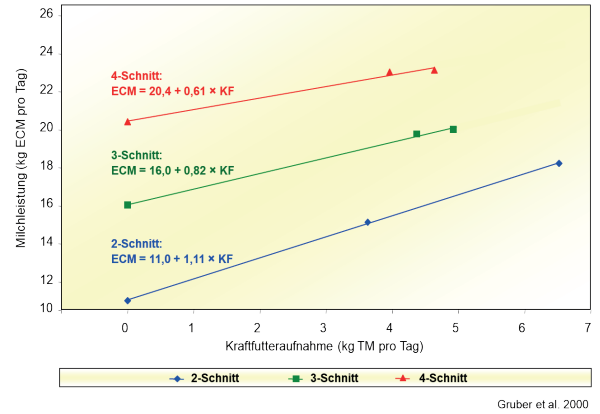
Steigerung der Milchleistung [MilchEffizienz]



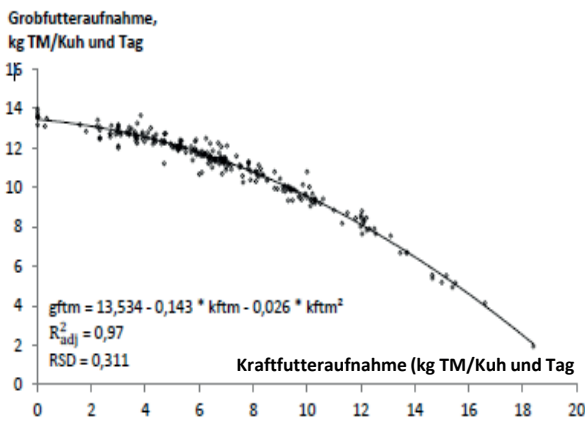
Steigerung der Milchleistung [Grundfutterversuch]



Steigerung der Milchleistung [GrundfutterversuchII]



Grundfutterverdrängung [Gerster 2020]



Steigerung der Milchleistung [Gerster 2020]

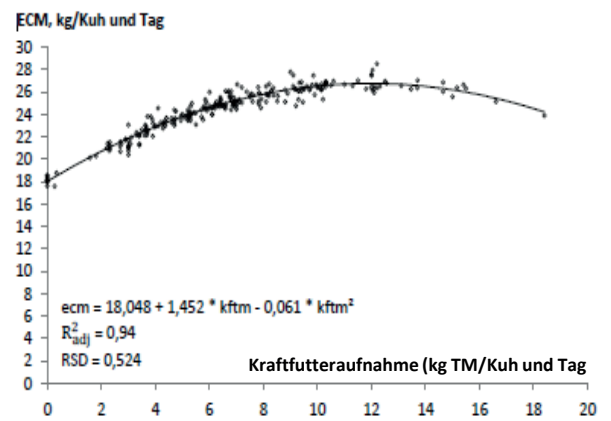


Abbildung 4: Einfluss von Kraftfutter auf die Verdrängung des Grundfutters und die Steigerung der Milchleistung (vorliegende Versuchsergebnisse [MilchEffizienz] und Literaturdaten [GRUBER et al. 1995 und 2000, GERSTER 2020])

Vergleichsversuche mit hochleistenden Holstein aus amerikanischer Zuchtichtung vs. Holstein aus Neuseeland wurden in den vergangenen Jahren besonders in Irland (LINDANE et al. 2004, HORAN et al. 2005 und 2006; McCarthy et al. 2007abc, COLEMAN et al. 2010), Neuseeland (ROCHE et al. 2006, MACDONALD et al. 2008, SHEAHAN et al. 2011) und der Schweiz (PICCAND et al. 2013, THANNER et al. 2014) durchgeführt. Wie HARRIS und KOLVER (2001) feststellten, weisen die Hochleistungstypen aus Nordamerika eine höhere Milchleistung bei niedrigeren Milchinhaltsstoffen auf, sowie auch eine höhere Körpermasse, allerdings verbunden mit verminderter Fruchtbarkeit und Nutzungsdauer. Dies ist im Wesentlichen auch das Ergebnis des vorliegenden Projektes.

3.1.2 Effekte des Futterniveaus

In der vorliegenden Arbeit wird der Aspekt der Weidefütterung nur kurz angesprochen (es ist eine gesonderte Veröffentlichung geplant). Kurz zusammengefasst, wies die Weide-Gruppe eine um knapp 1 kg TM höhere Grund- und Gesamtfutter-Aufnahme auf und die Milchleistung war um 0,7 kg höher als in der hinsichtlich Kraftfutter vergleichbaren Stall-Gruppe KF05.

Die weiteren Ausführungen konzentrieren sich auf den Einfluss des Futterniveaus (d. h. steigender Kraftfutteranteile in der Ration) auf Futteraufnahme, Milchleistung und Effizienz. Die höheren Kraftfutttergaben führten zu höherer Körpermasse (602, 642, 667 kg bei KF05, KF20, KF35) und auch höheren BCS-Werten (2,92 Pkte, 3,12 Pkte, 3,27 Pkte). Diese Zahlen besagen, dass die Kühe (im Mittel aller Genotypen) ohne bzw. mit wenig Kraftfutter energetisch unterversorgt waren, wie auch die rechnerische Energie-Bilanz ausweist. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass dies eine Bilanz über die gesamte Laktation darstellt, die bekanntermaßen sehr stark vom Laktationsstadium beeinflusst wird (siehe *Abbildung 3*). Zu Laktationsende ist die Energiebilanz von HO_{LL} , aber auch von HO_{NZ} , in größerem Ausmaß positiv als jene des Genotyps HO_{HL} , FV_{KO} liegt diesbezüglich im mittleren Bereich.

Durch die im Versuchsplan vorgegebenen Kraftfutteranteile (5, 20 und 35 % der TM) ergaben sich im Mittel aller Genotypen durchschnittliche Kraftfutteraufnahmen von 0,7 kg, 3,4 kg und 6,8 kg TM. Die Gesamtfutter-Aufnahme erhöhte sich dadurch von 14,7 kg auf 17,1 kg bzw. 19,3 kg TM. Gleichzeitig ging die Grundfuttteraufnahme von 13,9 auf 13,7 bzw. 12,6 kg TM zurück. Die Milchleistung (ECM) erhöhte sich von 17,8 kg auf 22,9 kg bzw. 27,2 kg. Der Gehalt der Gesamtration an Faser betrug 240, 213 und 201 g Rohfaser/kg TM bzw. 451, 415 und 398 g NDF/kg TM. Dies wird nach verschiedenen Quellen auch für die hohe Kraftfutter-Gruppe KF35 als noch wiederkäuergerecht (d. h. ausreichend für stabile Pansenfunktionen) bezeichnet (KAUFMANN 1976, VAN HOUTERT 1993, ZEBELI et al. 2012). Die Auswirkungen der steigenden Kraftfutttergaben auf Futteraufnahme und Milchleistung sind in *Übersicht 1* zusammengefasst. Die Grundfuttterverdrängung (pro kg Kraftfutter-TM) ist von der 1. zur 2. Kraftfutter-Stufe mit 0,08 sehr gering, entsprechend die Steigerung der Gesamtfutttermenge (0,92) und der Milchleistung (1,91) relativ hoch. Mit steigendem Kraftfuttterniveau (von der 2. zur 3. Stufe) erhöht sich die Grundfuttterverdrängung (0,35) und verringert sich die Steigerung der Gesamtfuttter-

Übersicht 1: Auswirkungen der Kraftfutttermenge auf Futteraufnahme und Milchleistung (Haupteffekt Futterniveau)

Kraftfutter-Gruppe	KF05	KF20	KF35	KF20-KF05	KF35-KF20	KF35-KF05	KF20-KF05	KF35-KF20	KF35-KF05
Kraftfutter (kg TM)	0,73	3,43	6,76	2,70	3,33	6,03	Veränderung je kg TM Kraftfutter		
Grundfutter (kg TM)	13,93	13,72	12,55	-0,21	-1,16	-1,38	-0,08	-0,35	-0,23
Gesamtfutter (kg TM)	14,67	17,15	19,31	2,48	2,17	4,65	0,92	0,65	0,77
Milchleistung (kg ECM)	17,78	22,94	27,22	5,16	4,28	9,44	1,91	1,28	1,57

aufnahme (0,65) sowie der Milchleistung (1,28). Im Mittel des gesamten Versuches errechnet sich eine durchschnittliche Grundfuttermittelverdrängung von 0,23 sowie eine Steigerung der Gesamtfuttermittelaufnahme von 0,77 und der Milchleistung von 1,57. Dies ist sehr ähnlich den Ergebnissen eines ebenfalls langfristigen Versuches von GRUBER et al. (1995) mit den Rassen Fleckvieh und Holstein bei unterschiedlichen Kraftfutterniveaus und Grundfütterqualitäten.

Eine zusammenfassende Auswertung der Fütterungsversuche an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein aus dem Zeitraum 1983 - 2006 hinsichtlich des Einflusses der Kraftfuttermenge ergab eine durchschnittliche Grundfütterverdrängung von 0,51 kg TM pro kg Kraftfütter-TM und eine Steigerung der Milchleistung von 0,95 kg ECM (GRUBER 2007). Die Ursachen für diesen Rückgang der Grundfütteraufnahme liegen einerseits in der erhöhten Säureproduktion aus der Fermentation der Nichtfaser-Kohlenhydrate des Kraftfütters, welche besonders die auf den Abbau der Faserstoffe spezialisierten Pansenmikroben schädigt und damit sowohl die Verdaulichkeit als auch die Futtermittelaufnahme des Grundfütters vermindert. Andererseits steigt mit der Kraftfütteraufnahme auch der Energieversorgungsgrad des Wirtstieres. Bei einer über dem Bedarf liegenden Energieaufnahme tritt verstärkt die physiologische Regulation der Futtermittelaufnahme in Kraft, da die Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Energiebilanz das oberste Regulationsprinzip der Futtermittelaufnahmesteuerung darstellt (WANGSNESS und MULLER 1981, FAVERDIN et al. 1991, MERTENS 1994, GRUBER et al. 2004). Bei einer über dem Bedarf liegenden Kraftfüttermenge ist daher von einer hohen Verdrängungsrate von bis zu 1,0 auszugehen.

In der Steigerung der Milchleistung durch Kraftfütter zeigten sich allerdings sehr große Unterschiede in Abhängigkeit von der Anwendungsdauer eines bestimmten Kraftfütter-niveaus. Im Durchschnitt aller Versuche machte der Anstieg an Milchleistung durch Kraftfütter 0,90 kg Milch bzw. 0,95 kg ECM aus. Bei kurzfristigen Versuchen stieg die Milchleistung nur um 0,45 kg an, bei mittelfristiger Anwendung um 1,07 kg und bei langfristiger Fütterung eines bestimmten Kraftfütter-niveaus (über eine ganze Laktation) stieg sie um 1,34 kg ECM pro kg Kraftfütter-TM. Dies kommt dem theoretisch möglichen Wert von 1,63 kg ECM nahe. Bei kurzfristiger Anwendung eines Fütter-niveaus ist es möglich, dass Energieversorgung und Milchleistung nicht vollständig übereinstimmen, weil Kühe versuchen, ihre Milchleistung entsprechend dem genetischen Potenzial beizubehalten. Bei Unterversorgung mobilisieren sie aus den Fettreserven ihres Körpers, bei Überversorgung legen sie Körperreserven an. Wenn die Körperreserven allerdings aufgebraucht sind, wird die Milchleistung der Energieversorgung mehr oder weniger entsprechen.

Im vorliegenden Projekt erhöhte sich mit steigendem Kraftfütter-niveau der Energieversorgungsgrad von 94 auf 96 bzw. 97 % des Bedarfs und das Fütter-niveau erreichte einen Wert von 2,48, 2,89 bzw. 3,23 APL. Durch die erhöhte Energieaufnahme steigerte sich auch die Effizienz, allerdings vor allem nur die Körpermasse-Effizienz (100, 123, 142 %), weniger die Futter-Effizienz (100, 110, 116 %) und nur in relativ geringem Ausmaß die Energie-Effizienz (100, 106, 109 %). Daran wird die oben diskutierte, relativ geringe Response der Milchleistung auf Kraftfütter sichtbar. Dies gilt allerdings nur im Mittel aller Genotypen, wie der folgende Abschnitt zeigt. Hinsichtlich Grundfütterverdrängung und Milchleistungssteigerung durch Kraftfütter bestehen deutliche Unterschiede zwischen den Genotypen und außerdem spielt das Kraftfütter-niveau eine bedeutende Rolle.

3.1.3 Effekte der Wechselwirkung Genotyp × Futterniveau

Die vorangegangenen Ausführungen zum Laktationsverlauf haben gezeigt, dass die vier Genotypen des vorliegenden Projektes unterschiedliche Ergebnisse in Abhängigkeit vom Laktationsstadium aufweisen, also eine Wechselwirkung zwischen Genotyp und Laktationsstadium besteht. Eine weitere signifikante Wechselwirkung trat auch zwischen Genotyp und Futterniveau auf, und zwar in allen Merkmalen. Die LS-Means der Wechselwirkungen, also der 16 Untergruppen Genotyp × Futterniveau, sind in *Tabelle 4* sowie in den *Abbildungen 2a bis 2d* (rechte Seite) angeführt.

Der Anstieg an Körpermasse mit dem Kraftfutterniveau ist bei den hochleistenden HO am höchsten, weil diese bei geringer Energieversorgung am stärksten mobilisieren. Die – gemessen am Energiebedarf – zu hohe Energieversorgung der Genotypen HO_{LL} und HO_{NZ} (z. T. auch FV_{KO}) in der zweiten Laktationshälfte führt zu einem Fettansatz, der sich in der Körpermasse nicht so stark abbildet, jedoch im BCS festgestellt wurde. Das steigende Kraftfutterangebot erhöhte die Futter- und Energie-Aufnahme umso mehr, je höher das Milchleistungspotenzial war (HO_{HL} > HO_{NZ} > FV_{KO} > HO_{LL}), was sich mit der physiologischen Steuerung der Futtermittel-Aufnahme bei energiereichen Rationen erklärt (WANGSNESS und MULLER 1981, MERTENS 1994). Die Auswirkungen der steigenden Kraftfuttermengen auf Futteraufnahme und Milchleistung in den 12 Untergruppen sind in *Übersicht 2* zusammengefasst.

Übersicht 2: Auswirkungen der Kraftfuttermenge auf Futteraufnahme und Milchleistung (Wechselwirkung Genotyp × Futterniveau)

	Grundfutteraufnahme (kg TM)				Milchleistung (kg ECM)			
	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}
	Kraftfutteraufnahme (kg TM/Tag)				Kraftfutteraufnahme (kg TM/Tag)			
KF05	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
KF20	3,6	3,6	3,3	3,2	3,6	3,6	3,3	3,2
KF35	7,1	7,3	6,4	6,2	7,1	7,3	6,4	6,2
	Grundfutteraufnahme (kg TM/Tag)				Milchleistung (kg ECM/Tag)			
KF05	14,6	14,5	13,6	13,0	18,2	19,3	17,9	15,7
KF20	14,4	14,5	13,3	12,7	23,5	25,6	22,7	19,9
KF35	13,2	13,6	12,0	11,5	27,9	31,1	26,6	23,1
	Grundfutter-Verdrängung (kg TM GF/kg TM KF)				Steigerung der Milchleistung (kg ECM/kg TM KF)			
KF05	0,05	0,10	0,01	0,00	2,15	2,45	2,17	1,95
KF20	-0,20	-0,12	-0,24	-0,26	1,60	1,89	1,58	1,40
KF35	-0,50	-0,39	-0,55	-0,56	0,90	1,19	0,85	0,74

Bei allen Genotypen führte das zunehmende Kraftfutterangebot zu einem Anstieg der Milchleistung, der allerdings mit der Höhe der Kraftfuttermenge zurückging (abnehmender Ertragszuwachs nach MITSCHERLICH). Bei den Kühen mit dem höchsten Leistungspotenzial (HO_{HL}) zeigte sich die höchste Leistungssteigerung durch das zunehmende Kraftfutterangebot und bei HO_{LL} die geringste Zunahme an Milchleistung. Die Genotypen FV_{KO} und HO_{NZ} lagen zwischen diesen Polen. Die Response-Kurven folgten einer quadratischen Funktion, deren 1. Ableitung den Anstieg der Milchleistung pro kg TM Kraftfutter ausweist (*Abbildung 4* und *Übersicht 2*). Beim niedrigen Kraftfutterniveau (KF05) ist je nach Leistungspotenzial eine Leistungssteigerung von 2,0 bis 2,5 kg ECM zu erwarten, bei mittlerem Kraftfutterniveau (KF20) eine Erhöhung der Milchleistung von 1,4 bis 1,9 kg ECM und beim höchsten Niveau (KF35) eine Steigerung von nur noch 0,7 bis 1,2 kg ECM je kg TM Kraftfutter.

Die Grundfutteraufnahme ist ein komplementäres Spiegelbild dieser Situation. Hochleistende Tiere sind auch bei höheren Kraftfutteranteilen noch energetisch unterversorgt und verdrängen daher weniger Grundfutter, während es bei Kühen mit niedrigerem Leistungspotenzial in der Tendenz zu einem relativ stärkeren Rückgang der Grundfutteraufnahme kommt. Verantwortlich dafür ist die physiologische Regulation der Futteraufnahme. Dennoch führt bei Kühen mit niedrigem Leistungspotenzial eine zu hohe Energiekonzentration (vor allem zu Laktationsende) zu Verfettung. Auch die Grundfutteraufnahme in Abhängigkeit von der Kraftfuttermenge lässt sich durch eine quadratische Funktion darstellen, deren 1. Ableitung die Verdrängung des Grundfutters pro kg TM Kraftfutter ergibt (*Abbildung 4* und *Übersicht 2*). Auf niedrigem Kraftfutterniveau ist die Grundfuttermittelverdrängung unbedeutend. Bei mittlerem Kraftfutterniveau (KF20) beträgt sie

0,12 (HO_{HL}) bis 0,26 (HO_{LL}) und macht auf hohem Kraftfutterniveau (KF35) entsprechend 0,39 (HO_{HL}) bis 0,56 (HO_{LL}) kg TM Grundfutter pro kg TM Kraftfutter aus.

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

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

(2) Nach Untersuchungen von FAVERDIN et al. (1991) hängt das Ausmaß der Grundfutterverdrängung vor allem vom Stand der Energiebilanz der Kuh ab, d. h. auch in jener Untersuchung wird die Grundfutterverdrängung hauptsächlich über die physiologische Regulation der Futterraufnahme erklärt. Bei hohen Energieüberschüssen wurden hohe Verdrängungsraten ermittelt und umgekehrt.

In dieses Bild fügt sich auch die Literaturübersicht von COULON und REMOND (1991) ein, die bei hohem Energieversorgungsgrad über Kraftfutter eine niedrige Milchleistungssteigerung mit zusätzlicher Energiezufuhr festgestellt haben und *vice versa*. So ist auch das breite Spektrum an Verdrängungsraten zu erklären, das in der Literatur vorliegt. Es wurden 66 Fütterungsversuche mit 216 Versuchsgruppen unterschiedlichen Energieniveaus (mindestens 3 Energieniveaus pro Versuch, davon eine Kontrollgruppe nahe der Norm) ausgewertet, indem sowohl die Unterschiede in der Energieaufnahme als auch in der Milchleistung der unter- bzw. überversorgten Gruppen (N,H) auf die Normgruppe (M) des jeweiligen Versuches bezogen wurden. Dadurch wurden Unterschiede zwischen den unter verschiedensten Bedingungen durchgeführten Versuchen weitgehend ausgeschaltet. Auch nach dieser Meta-Analyse hängen die Auswirkungen einer Unter- bzw. Überversorgung an Energie in hohem Maß von der Dauer des jeweiligen Fütterungsregimes ab. Diese sind schwächer bei kurzer Dauer, weil die Kühe einer Unterversorgung mit einer Mobilisation ihrer Körperreserven begegnen. Da das Mobilisationsvermögen selbstverständlich begrenzt ist, sinkt die Milchleistung langfristig entsprechend der reduzierten Energiezufuhr. Umgekehrt können Kühe eine über den Bedarf hinausgehende Energieversorgung in immer geringerem Ausmaß in Milch umwandeln, weil das genetische Potenzial mehr und mehr ausgeschöpft ist. Eine über den Bedarf hinausgehende Energieaufnahme geht in den Körperansatz. Dies ergibt – über das ganze Spektrum der Versorgung betrachtet – den typischen Verlauf von immer geringer werdendem Anstieg der Milchleistung mit steigender Versorgung (MITSCHERLICH-Gesetz). Es sei betont, dass der „Bedarf“ einer Kuh nicht unbedingt eine fixe Größe ist, sondern sich auch aus einem bestimmten Fütterungsregime in einem davorliegenden Zeitabschnitt ergibt.

GERSTER (2020) führte ebenfalls eine Meta-Analyse zum Einfluss des Kraftfuttereinsatzes bei Milchkühen durch, und zwar für den Zeitraum 1984 bis 2018 (101 Versuche, 264 Versuchsgruppen). Die Ergebnisse der Meta-Analyse hinsichtlich Grundfutterverdrängung und Milchleistungssteigerung sind sehr ähnlich den im vorliegenden Projekt erhaltenen Werten (*Abbildung 4*). Wird der Bereich von 0 bis 12 kg Kraftfutter (TM) betrachtet, so ergab die Meta-Analyse – ebenfalls einem quadratischen Verlauf folgend – eine Verdrängung von 0,14 bis 0,70 kg TM und eine Steigerung der Milchleistung von 1,5 bis 0 kg ECM je kg TM Kraftfutter.

Abschließend ist auch auf die Wechselwirkung Genotyp \times Futterniveau hinsichtlich der Effizienz hinzuweisen, in welche die Faktoren Milchleistung (ECM), Körpermasse und Futter- bzw. Energie-Aufnahme einfließen (*Tabelle 4, Abbildung 2c*). Insgesamt ist – wie bei den Haupteffekten bereits besprochen – durch Steigerung des Futterniveaus besonders eine Verbesserung der Körpermasse-Effizienz gegeben, weniger bei der Futter- und besonders der Energie-Effizienz. Wenn die Effizienz von KF05 jeweils 100 gesetzt wird, dann beträgt in KF20 bzw. KF35 die Körpermasse-Effizienz bei FV_{KO} 123 bzw. 142, bei

HO_{HL} 126 bzw. 148, bei HO_{NZ} 121 bzw. 138 und bei HO_{LL} 121 bzw. 137, die Futter-Effizienz bei FV_{KO} 110 bzw. 116, bei HO_{HL} 112 bzw. 118, bei HO_{NZ} 110 bzw. 115 und bei HO_{LL} 109 bzw. 114 und die Energie-Effizienz bei FV_{KO} 106 bzw. 109, bei HO_{HL} 107 bzw. 111, bei HO_{NZ} 105 bzw. 108 und bei HO_{LL} 105 bzw. 106. Während also die Steigerung der auf Körpermasse bezogenen Milchleistung durch Kraftfutter mit durchschnittlich 23 bzw. 41 % (KF20 bzw. KF35) beträchtlich ist, fällt die Erhöhung der auf Futtermittelaufnahme (TM) bezogenen Milchleistung mit durchschnittlich 10 bzw. 16 % (KF20 bzw. KF35) geringer aus und ist bei Bezug auf die Energie-Aufnahme (MJ NEL) relativ bescheiden (durchschnittlich 6 bzw. 9 % in KF20 bzw. KF35). Wie erwartet schneiden diesbezüglich Kühe mit höherem Milchleistungspotenzial günstiger ab (HO_{HL} > HO_{NZ} > FV_{KO} > HO_{LL}).

3.2 Blutanalysen, Fruchtbarkeit und Nutzungsdauer

Die wesentlichen Ergebnisse hinsichtlich Blutanalysen sind in den *Tabellen 5 und 6* sowie in den *Abbildungen 5 bis 8* angeführt. Die Ergebnisse zu Fruchtbarkeit und Nutzungsdauer finden sich in den *Tabellen 7 und 8* sowie in den *Abbildungen 9 und 10*.

3.2.1 Ergebnisse der Blutanalysen

Da die stärkste Stoffwechselbelastung einer Milchkuh zu Laktationsbeginn auftritt, wurde die Auswertung sowohl über die gesamte Laktation (*Tabelle 5a und 6a*) als auch für die ersten drei Laktationsmonate (*Tabelle 5b und 6b*) durchgeführt. Diese Belastung ist auch am Verlauf der einzelnen Analysenkriterien während der Laktation erkennbar (*Abbildung 6a und 6b*). Nach drei Laktationsmonaten ändern sich die Analysenwerte in deutlich geringerem Ausmaß als zu Beginn. Auf Grund der negativen Energiebilanz zu Laktationsbeginn war der Gehalt an Glucose (Gluc) und Triglyceriden (Triglyc) geringer im Vergleich zu den Werten über die gesamte Laktation, ebenso an γ -Glutamyltransferase (GGT) und Glutamatdehydrogenase (GLDH). Die katabole Stoffwechselsituation wird dagegen an den höheren Werten für freie Fettsäuren (NEFA) und Beta-Hydroxy-Butyrat (BHB) im ersten Drittel der Laktation sichtbar. Den niedrigsten Wert an Gluc wiesen HO_{HL} (2,71 mmol/L) auf, den höchsten FV_{KO} (2,87 mmol/L). Hinsichtlich des Versuchsfaktors „Futterniveau“ ergaben sich die niedrigsten Gehalte an Gluc im Blut in der Weidegruppe Weide (2,72 mmol/L), die höchsten erwartungsgemäß in der höchsten Kraftfutterstufe KF35 (2,84 mmol/L).

Wie bei Gluc sind auch die Unterschiede zwischen den Genotypen und Futterniveaus sowie auch deren Wechselwirkung bei den meisten anderen Blutparametern signifikant. Die höchsten Werte an GGT und GLDH, Indikatoren für eine akute bzw. chronische Leberbelastung, zeigten – etwas überraschend – Kühe des Genotyps HO_{NZ}, gefolgt von HO_{HL}. Die niedrigsten Leberwerte wiesen FV_{KO} und HO_{LL} auf. Die Auswertung hinsichtlich Wechselwirkung „Genotyp \times Futterniveau“ brachte das Ergebnis, dass die hohen Werte von GGT und GLDH bei HO_{NZ} und HO_{HL} vor allem bei der hohen Kraftfutter-Stufe (KF35) auftraten, während diese Parameter bei FV_{KO} und HO_{LL} in allen Futterniveaus ähnlich waren. Bei den Triglyceriden wiesen alle Holstein-Typen sehr ähnliche Werte auf (etwa 12,4 mg/dL) und Fleckvieh etwas niedrigere (11,5 mg/dL). Ebenso waren nur bei Weide höhere Triglyc-Werte (etwa 13,4 mg/dL) festzustellen, während die Kraftfutter-Stufen kaum Unterschiede zeigten (etwa 11,8 mg/dL). Fleckvieh (FV_{KO}) und die höchste Kraftfutter-Stufe (KF35) wiesen die geringsten NEFA-Werte auf, was mit der Energieversorgungssituation in Einklang steht. Auch die Konzentration von BHB, einem wesentlichen Indikator für Ketose, war bei FV_{KO} am niedrigsten (0,90 mmol/L) und am höchsten bei HO_{LL} und HO_{NZ} (1,35 mmol/L), die sogar HO_{HL} (1,20 mmol/L) übertrafen. Der – im Vergleich zu den anderen Futter-Varianten – besonders hohe Gehalt an Blutharnstoff (Urea) in Gruppe W05 ist auf die hohen Proteingehalte des Weidefutters bei Kurzrasenweide zurückzuführen, welches das ausschließliche Grundfutter dieser Gruppe im Sommer darstellte (Vollweide-System).

Der zeitliche Verlauf der Blutwerte während der ersten drei Laktationsmonate zeigt (*Abbildung 8a* und *8b*), dass sich der Gehalt an Gluc etwa 3 Wochen hindurch auf sehr niedrigem Niveau befindet (etwa 2,5 mmol/L) und sich danach auf knapp 3,0 mmol/L bewegt. Spiegelbildlich dazu sind die Werte für GGT und GLDH in den ersten Laktationswochen am höchsten, um danach wieder abzufallen. Die Gehalte an NEFA sind am höchsten am Beginn der Laktation und nehmen mit jeder Woche ab. Dagegen werden von BHB die höchsten Werte in der 3. und 4. Woche festgestellt.

KRONSCHNABL et al. (2010) haben auf der Grundlage umfangreicher Daten aus Fütterungsversuchen laktationsspezifische Prognosebereiche zur Beurteilung der Konzentration von Blutparametern ermittelt (Milchkühe der Rasse Fleckvieh und Holstein, mehrere Versuchseinrichtungen in Deutschland, n = 2.527 Kühe). Die Prognosebereiche wurden in Abhängigkeit von Rasse (FV, HO), Anzahl der Abkalbungen (1. Laktation, weitere Laktationen), Laktationswoche (1 - 44) und Energiebilanz (von -40 bis +30 MJ NEL/Tag) erarbeitet. All diese Einflussfaktoren haben sich auch im vorliegenden Projekt als bedeutende Varianzursachen für die Konzentration diverser Blutparameter herausgestellt.

Über die Stoffwechselbelastung von hochleistenden Kühen hat Prof. H. Martens (FU Berlin) in zahlreichen Publikationen hingewiesen (MARTENS 2012a und b, 2013, 2015). Demnach ist die bemerkenswerte Steigerung der Laktationsleistung der Milchkühe das Ergebnis effektiver Zuchtprogramme und guter Fütterung. Die primäre Selektion auf Milchleistung hat jedoch zu der unerwünschten Nebenwirkung einer kürzeren Nutzungsdauer geführt. Die Gesundheit von Hochleistungskühen ist gefährdet durch das Risiko, an Milchfieber, Ketose, Leberverfettung, Nachgeburtsverhalten, Metritis, Mastitis, Lahmheiten, Fruchtbarkeitsstörungen und Labmagenverlagerung zu erkranken und somit vorzeitig aus dem Produktionsprozess auszuschneiden. Auch plötzliche Todesfälle werden vermehrt beobachtet. Viele Faktoren wie Haltung, Fütterung und Management sind an der Pathogenese der Krankheiten beteiligt. Die Diskrepanz zwischen Energiebedarf und Futteraufnahme in der frühen Laktation verursacht eine ausgeprägte und lang andauernde negative Energiebilanz, die bedingt ist durch die homeorhetische Regulation des Energiestoffwechsels.

GROSS (2022) diskutiert die begrenzenden Faktoren für die Leistung von Milchkühen aus der Sicht der Physiologie und Ernährung. Insbesondere limitiert die Verfügbarkeit von Glucose und Aminosäuren die Milchproduktion und die Gesundheit der Kühe. Die Begrenzungen entstehen bereits von Seiten der Futtermittel, existieren aber auch von Seiten des Pansens und des Verdauungstraktes, der Mobilisation von Körpergewebe, des intermediären Stoffwechsels und Transportes sowie der Aufnahme der zirkulierenden Nährstoffe in die Milchdrüse. Die Begrenzungen variieren in Abhängigkeit vom Laktationsstadium und sind bekanntermaßen am ausgeprägtesten in der Früh-laktation und der Transitphase.

Tabelle 5a: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf die Ergebnisse der Blutanalysen (ganze Laktation), Haupteffekte von Genotyp und Futterniveau

Merkmal		Genotyp				Futterniveau				P-Werte				
		FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{Nz}	HO _{LL}	Weide	KF05	KF20	KF35	RSD	G	F	G x F	
Energiestoffwechsel														
Glucose	mmol/L	3,08	2,99	3,08	3,08	2,99	3,10	3,04	3,09	0,36	<0,001	<0,001	<0,001	0,014
AST	U/L	61,6	63,3	57,4	57,5	62,5	55,1	60,2	62,0	14,8	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Gamma-GT	U/L	21,9	23,5	26,7	24,7	24,3	25,5	22,2	24,9	9,6	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
GLDH	U/L	11,0	14,3	13,6	11,6	12,4	11,6	12,1	14,3	8,4	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
NEFA	mmol/L	0,18	0,18	0,18	0,19	0,18	0,19	0,18	0,17	0,15	0,826	0,092	0,092	<0,001
BHB	mmol/L	0,68	0,80	0,87	0,84	0,81	0,71	0,83	0,84	0,83	0,007	0,038	0,038	0,647
Bilirubin	µmol/L	1,09	1,18	1,07	1,25	1,20	1,23	1,14	1,03	1,15	0,086	0,016	0,016	0,044
Fett- und Protein-Stoffwechsel														
Triglyceride	mg/dL	11,8	13,2	13,8	14,3	14,5	13,1	12,8	12,8	2,6	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cholesterin	mg/dL	142	172	172	167	154	169	168	163	29	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Alkalische Phosphatase	U/L	75,5	35,0	47,4	49,8	45,6	52,4	48,2	61,4	54,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Urea	mmol/L	3,65	2,97	3,11	3,44	4,16	2,48	3,15	3,39	1,11	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mineralstoffe														
Calcium	mmol/L	2,28	2,37	2,34	2,35	2,32	2,34	2,35	2,33	0,14	<0,001	0,002	0,002	<0,001
Phosphor	mmol/L	2,02	1,88	1,87	1,93	1,85	1,93	1,91	2,01	0,29	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Magnesium	mmol/L	0,96	1,00	0,98	1,00	0,99	0,97	0,98	1,00	0,09	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Kalium	mmol/L	4,20	4,28	4,16	4,15	4,22	4,24	4,17	4,16	0,41	0,002	0,002	0,002	<0,001
Natrium	mmol/L	132	131	131	130	130	130	132	132	8	0,100	<0,001	<0,001	0,488
Chlorid	mmol/L	97,8	96,1	97,2	96,5	96,5	96,9	97,0	97,2	4,7	<0,001	0,070	0,070	0,010

Tabelle 5b: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf die Ergebnisse der Blutanalysen (Laktationsmonate 1 bis 3), Haupteffekte von Genotyp und Futterniveau

Merkmal	Genotyp						Futterniveau				P-Werte		
	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	Weide	KF05	KF20	KF35	RSD	G	F	G x F	
Energiestoffwechsel													
Glucose	mmol/L	2,87	2,69	2,79	2,75	2,71	2,80	2,76	2,83	0,41	0,003	0,004	0,564
AST	U/L	68,7	70,2	63,9	66,0	71,6	63,8	66,3	67,2	18,8	0,016	<0,001	<0,001
Gamma-GT	U/L	19,7	21,6	25,5	21,9	22,9	22,0	20,5	23,2	9,0	<0,001	<0,001	<0,001
GLDH	U/L	11,9	14,3	15,8	11,9	14,3	11,8	12,5	15,3	10,9	<0,001	<0,001	<0,001
NEFA	mmol/L	0,32	0,35	0,36	0,37	0,36	0,38	0,34	0,31	0,22	0,096	0,007	0,025
BHB	mmol/L	0,87	1,26	1,37	1,39	1,31	1,18	1,21	1,18	1,23	<0,001	0,564	0,458
Bilirubin	µmol/L	1,40	1,66	1,69	2,05	1,83	1,85	1,70	1,42	1,56	<0,001	0,005	0,053
Fett- und Protein-Stoffwechsel													
Triglyceride	mg/dL	11,4	12,6	12,3	12,5	13,5	11,9	11,8	11,6	2,3	<0,001	<0,001	0,119
Cholesterin	mg/dL	127	152	152	157	141	150	149	148	29	<0,001	<0,001	<0,001
Alkalische Phosphatase	U/L	67,4	31,2	43,6	46,0	41,5	44,7	42,3	59,7	53,3	<0,001	<0,001	<0,001
Urea	mmol/L	3,62	2,80	2,81	3,03	4,03	2,39	2,83	3,02	1,00	<0,001	<0,001	<0,001
Mineralstoffe													
Calcium	mmol/L	2,26	2,38	2,32	2,33	2,31	2,33	2,33	2,31	0,15	<0,001	0,606	<0,001
Phosphor	mmol/L	1,88	1,84	1,82	1,88	1,79	1,85	1,84	1,95	0,32	0,185	<0,001	<0,001
Magnesium	mmol/L	0,96	1,04	1,02	1,02	1,01	1,00	1,00	1,03	0,10	<0,001	0,005	0,067
Kalium	mmol/L	4,21	4,24	4,14	4,17	4,24	4,18	4,17	4,17	0,42	0,208	0,111	0,088
Natrium	mmol/L	131	131	130	130	128	131	132	132	9	0,379	<0,001	0,002
Chlorid	mmol/L	97,3	95,5	95,7	95,6	95,9	96,0	96,2	96,2	4,7	0,001	0,829	0,092

Tabelle 6a: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf die Ergebnisse der Blutanalysen (ganze Laktation), Wechselwirkung Genotyp x Futterniveau

Merkmal	Weide				KF05				KF20				KF35				
	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	
Energienstoffwechsel																	
Glucose	mmol/L	3,06	2,91	3,02	2,98	3,09	3,07	3,15	3,09	3,04	2,94	3,02	3,14	3,12	3,03	3,15	3,08
AST	U/L	65,3	67,0	60,8	56,8	59,9	54,3	52,0	54,2	60,0	63,1	58,8	58,9	61,3	68,8	57,9	60,1
Gamma-GT	U/L	24,2	20,5	27,1	25,3	22,0	22,3	29,0	28,8	19,4	23,1	24,5	21,7	22,1	28,1	26,3	23,1
GLDH	U/L	10,8	13,2	14,6	10,9	12,1	13,4	9,4	11,6	10,0	13,6	13,2	11,7	11,2	16,9	17,0	12,3
NEFA	mmol/L	0,19	0,17	0,19	0,17	0,17	0,22	0,18	0,20	0,17	0,16	0,18	0,21	0,17	0,17	0,18	0,17
BHB	mmol/L	0,73	0,75	0,86	0,91	0,58	0,71	0,81	0,75	0,67	0,91	0,86	0,86	0,75	0,83	0,94	0,82
Bilirubin	µmol/L	1,18	1,30	1,05	1,27	1,00	1,41	1,20	1,30	1,13	1,00	1,07	1,36	1,06	1,02	0,97	1,06
Fett- und Protein-Stoffwechsel																	
Triglyceride	mg/dL	12,4	14,8	14,7	16,0	11,5	13,2	13,5	14,0	12,1	12,6	13,3	13,3	11,3	12,4	13,7	14,0
Cholesterin	mg/dL	138	152	156	170	148	179	175	171	140	184	174	174	141	172	183	154
Alkal. Phosphatase	U/L	46,9	33,5	50,6	51,5	76,1	32,9	39,5	61,2	59,6	41,3	47,8	44,2	119,4	32,2	51,8	42,4
Urea	mmol/L	4,92	3,82	3,79	4,10	2,64	2,19	2,36	2,72	3,41	2,97	2,98	3,23	3,64	2,90	3,32	3,71
Mineralstoffe																	
Calcium	mmol/L	2,24	2,39	2,33	2,33	2,28	2,41	2,34	2,34	2,29	2,39	2,34	2,36	2,29	2,31	2,35	2,38
Phosphor	mmol/L	1,97	1,75	1,76	1,90	2,10	1,82	1,83	1,96	1,96	1,84	1,93	1,92	2,03	2,11	1,96	1,96
Magnesium	mmol/L	0,97	1,00	0,97	1,00	0,92	0,99	0,96	1,00	0,97	1,00	0,99	0,99	0,97	1,00	1,01	1,02
Kalium	mmol/L	4,16	4,31	4,19	4,21	4,21	4,32	4,19	4,25	4,26	4,22	4,07	4,14	4,18	4,27	4,18	4,02
Natrium	mmol/L	130	130	130	128	131	130	130	130	133	131	131	131	132	132	132	132
Chlorid	mmol/L	96,9	95,4	96,8	97,0	97,6	96,1	97,7	96,3	98,6	96,1	97,1	96,2	98,0	96,8	97,4	96,5

Tabelle 6b: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf die Ergebnisse der Blutanalysen (Laktationsmonate 1 bis 3), Wechselwirkung Genotyp x Futterniveau

Merkmal	Weide						KF05						KF20						KF35					
	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}				
Energienstoffwechsel																								
Glucose	mmol/L	2,82	2,59	2,74	2,70	2,77	2,83	2,74	2,90	2,65	2,71	2,77	2,91	2,74	2,89	2,80								
AST	U/L	74,3	77,7	71,6	62,7	62,6	58,7	66,0	66,1	66,6	66,2	66,2	66,4	74,1	59,1	69,1								
Gamma-GT	U/L	21,1	19,9	27,0	23,6	20,2	25,0	22,8	18,2	19,8	23,4	20,7	19,4	26,3	26,7	20,6								
GLDH	U/L	12,3	14,7	18,5	11,6	13,6	12,4	9,9	9,9	11,7	16,3	12,3	11,8	18,6	18,5	12,3								
NEFA	mmol/L	0,37	0,35	0,38	0,35	0,31	0,43	0,36	0,30	0,30	0,36	0,41	0,29	0,31	0,34	0,31								
BHB	mmol/L	1,00	1,27	1,31	1,65	0,77	1,23	1,38	0,77	1,39	1,30	1,40	0,93	1,14	1,48	1,18								
Bilirubin	µmol/L	1,59	1,88	1,65	2,20	1,25	2,15	1,95	1,46	1,31	1,73	2,33	1,32	1,31	1,44	1,60								
Fett- und Protein-Stoffwechsel																								
Triglyceride	mg/dL	12,7	13,8	13,3	14,1	11,0	12,7	11,7	11,4	12,0	12,1	11,7	10,8	11,9	12,0	11,8								
Cholesterin	mg/dL	122	135	139	168	136	152	160	122	162	152	162	127	158	159	147								
Alkal. Phosphatase	U/L	37,8	29,6	49,7	48,9	65,3	27,3	34,2	54,0	33,6	41,1	40,6	112,7	34,4	49,3	42,4								
Urea	mmol/L	5,37	3,84	3,59	3,29	2,62	2,04	2,30	3,06	2,68	2,59	2,99	3,43	2,62	2,77	3,26								
Mineralstoffe																								
Calcium	mmol/L	2,24	2,40	2,32	2,30	2,29	2,40	2,32	2,24	2,40	2,33	2,33	2,25	2,31	2,33	2,37								
Phosphor	mmol/L	1,83	1,76	1,68	1,89	1,96	1,76	1,81	1,83	1,78	1,87	1,87	1,90	2,04	1,94	1,91								
Magnesium	mmol/L	0,98	1,03	1,00	1,01	0,94	1,04	1,01	0,95	1,03	1,02	1,01	0,97	1,05	1,06	1,04								
Kalium	mmol/L	4,23	4,31	4,20	4,22	4,19	4,17	4,10	4,25	4,25	4,06	4,13	4,17	4,23	4,21	4,06								
Natrium	mmol/L	128	128	128	126	131	133	130	135	131	129	131	132	130	134	131								
Chlorid	mmol/L	96,5	95,2	95,0	96,7	97,1	95,3	96,1	98,3	95,6	95,8	94,9	97,3	96,0	96,0	95,4								

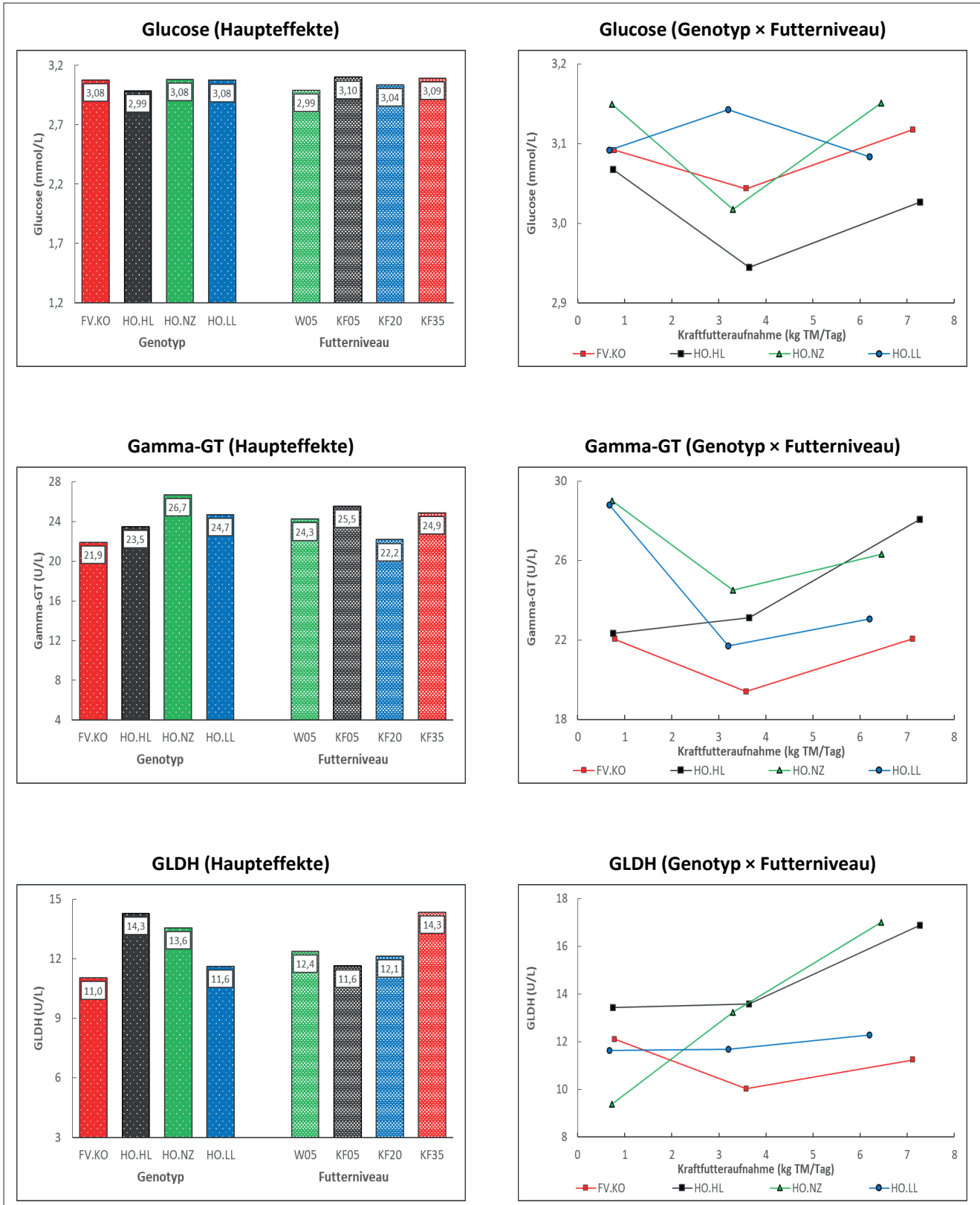


Abbildung 5a: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Ergebnisse der Blutanalysen (Glucose, GGT, GLDH), Ganze Laktation

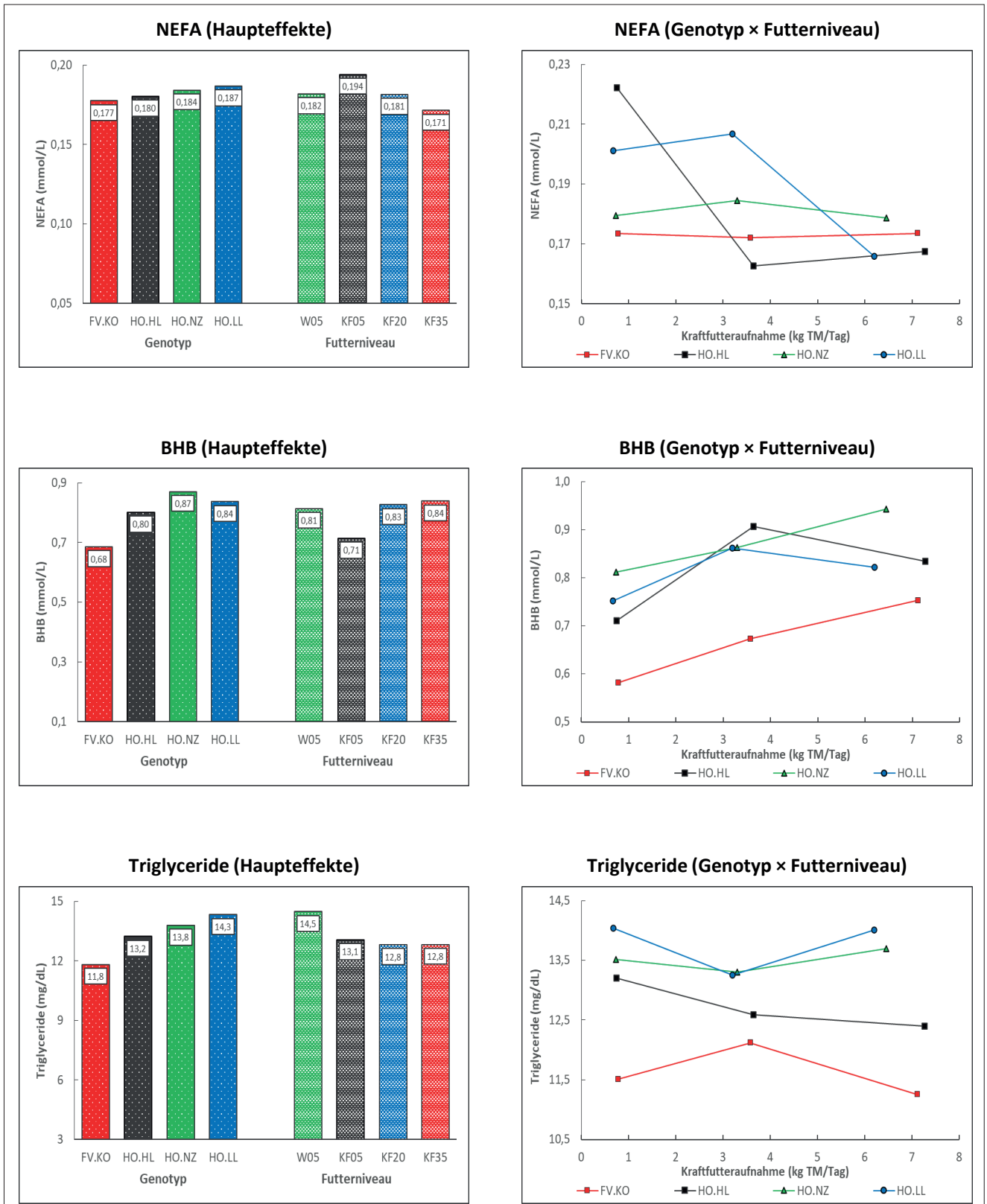


Abbildung 5b: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Ergebnisse der Blutanalysen (NEFA, BHB, Triglyceride), Ganze Laktation

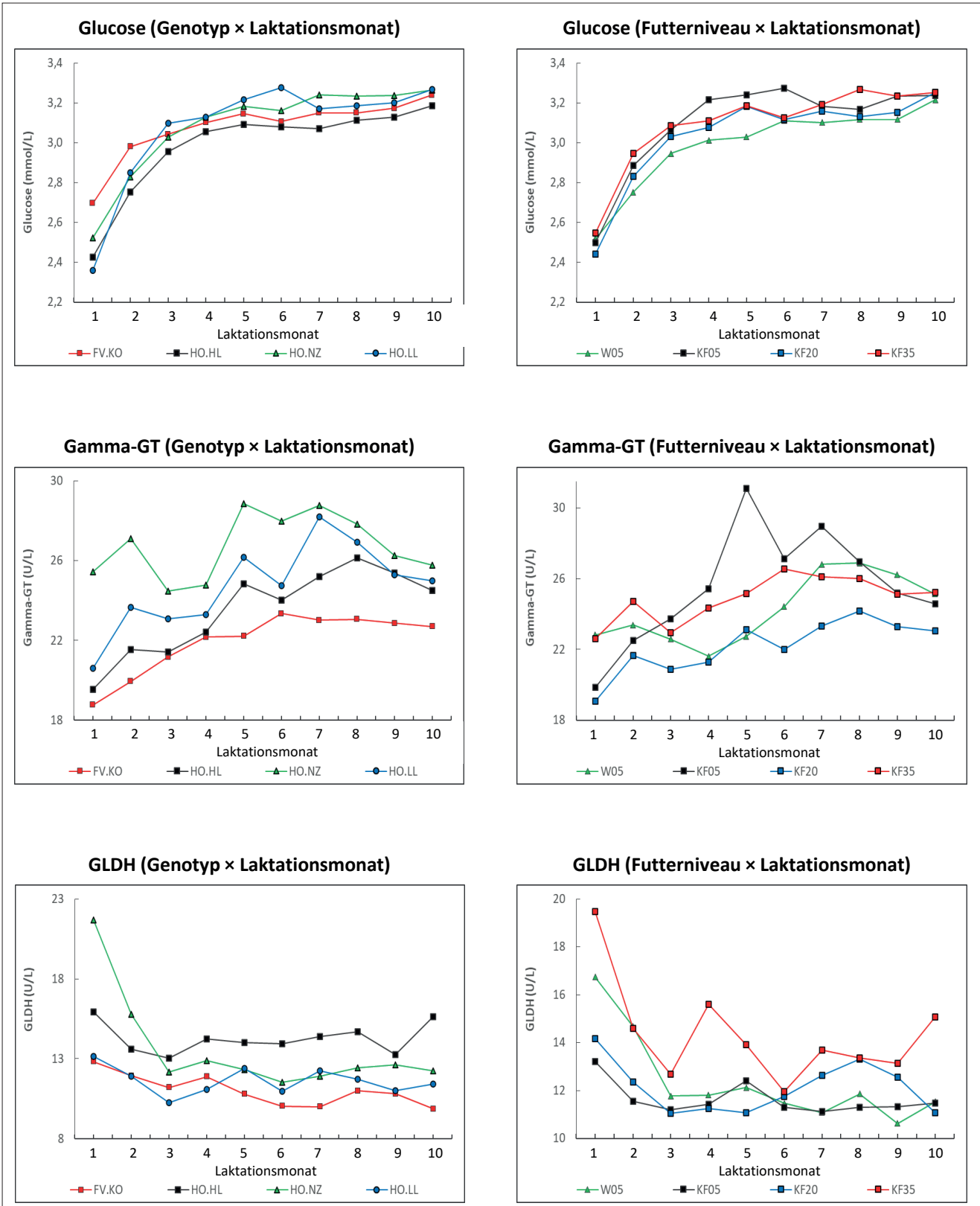


Abbildung 6a: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Ergebnisse der Blutanalysen (Glucose, GGT, GLDH), Ganze Laktation

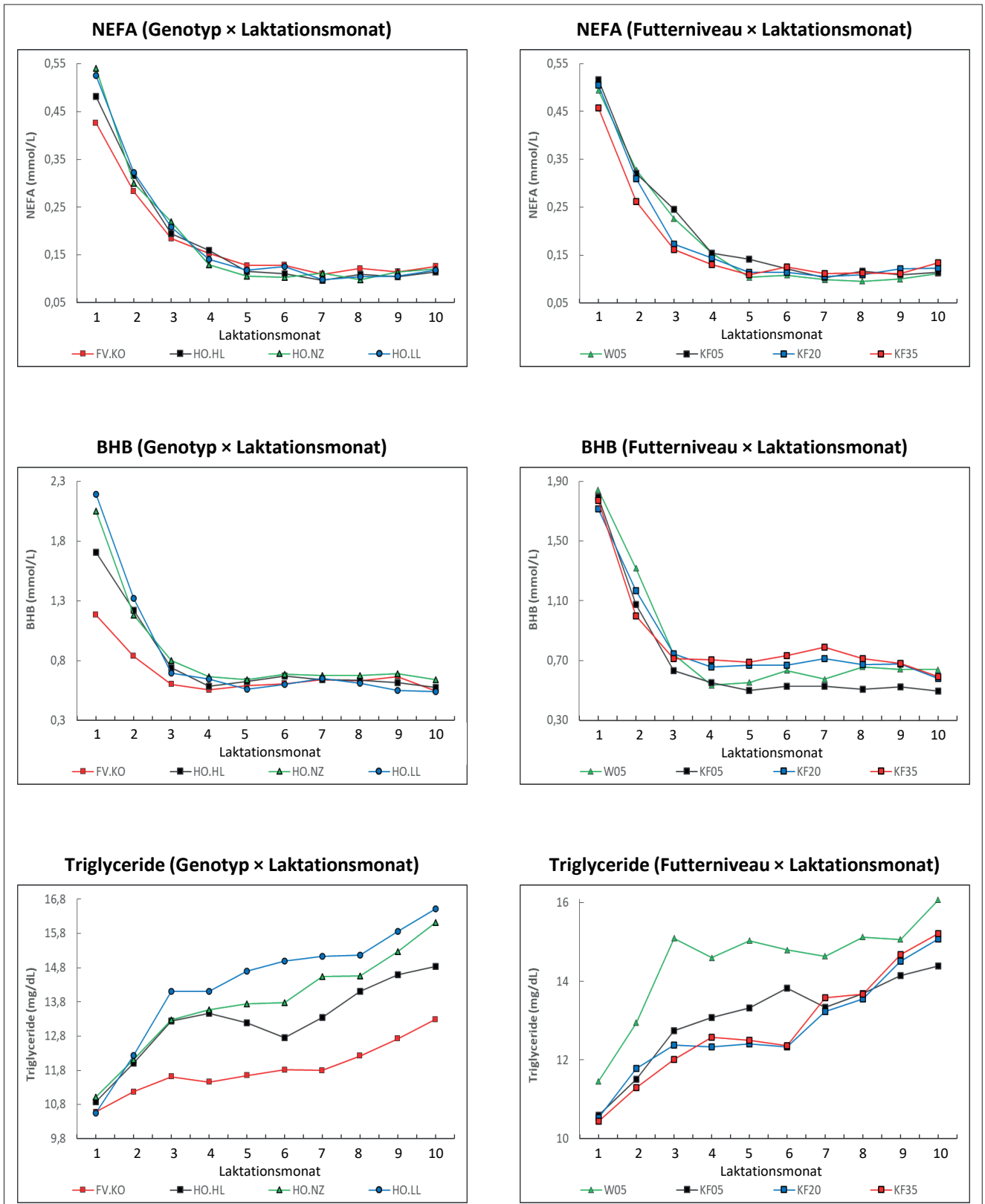


Abbildung 6b: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Ergebnisse der Blutanalysen (NEFA, BHB, Triglyceride), Ganze Laktation

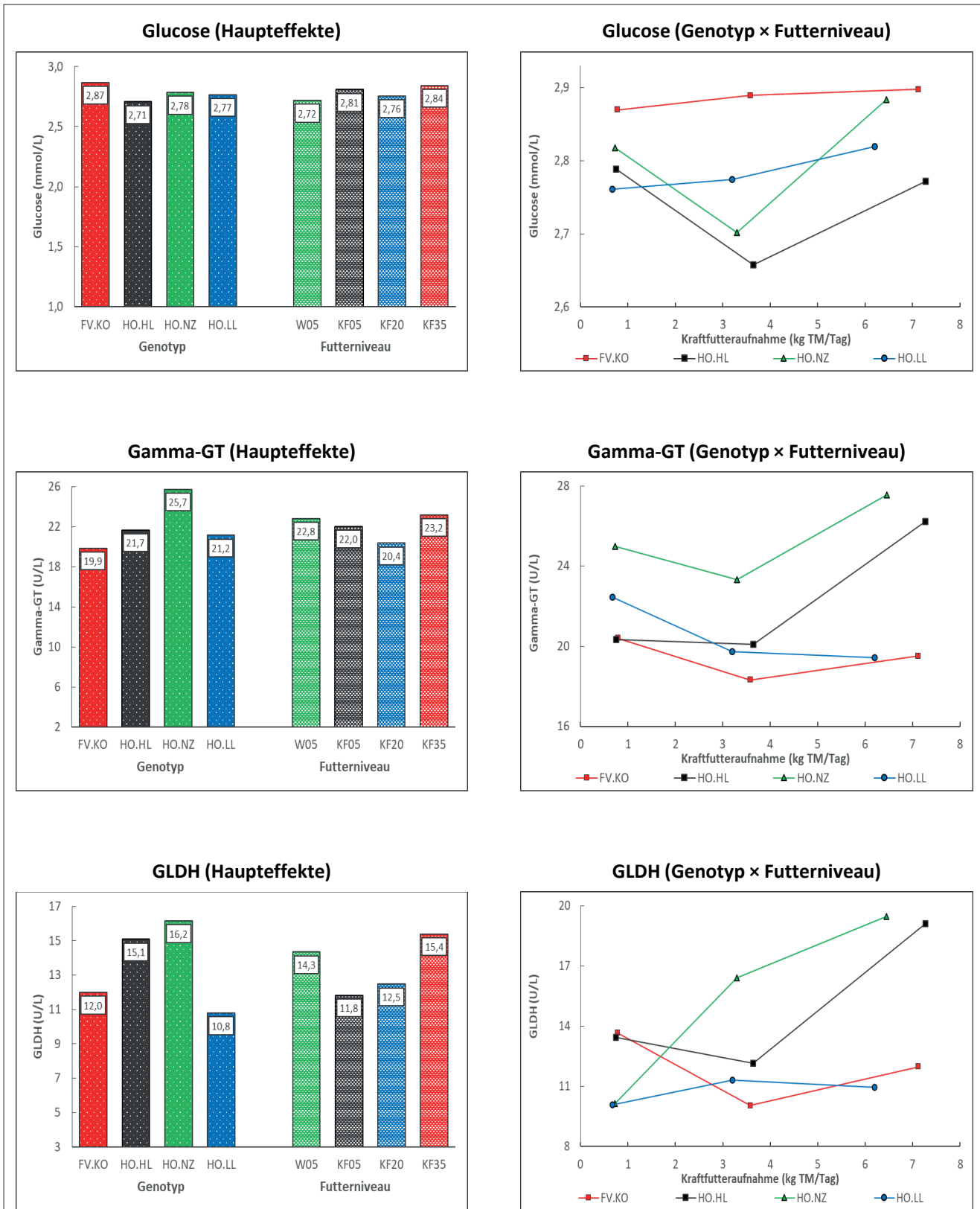


Abbildung 7a: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Ergebnisse der Blutanalysen (Gluc, GGT, GLDH), Laktationsmonat 1 bis 3

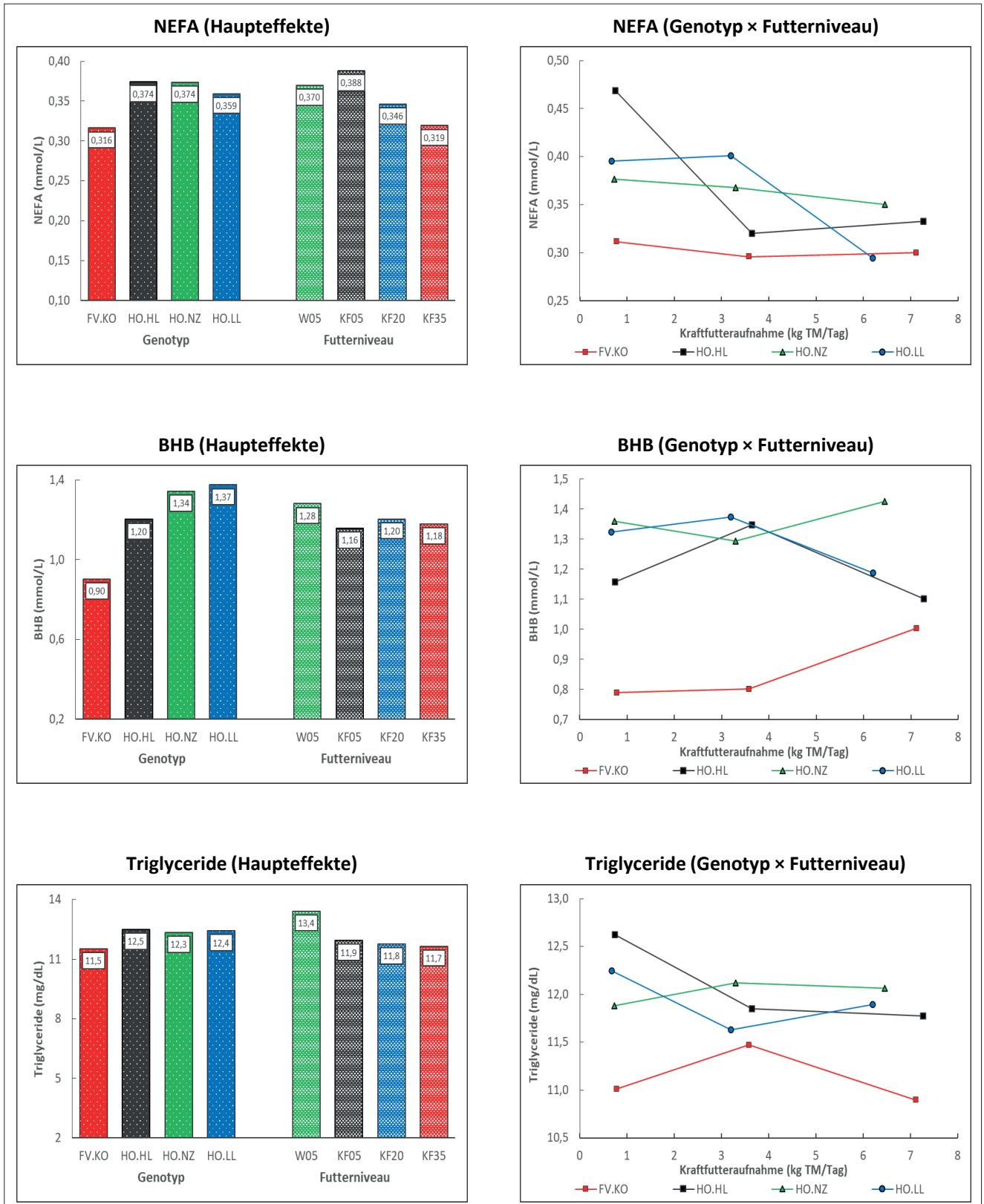


Abbildung 7b: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Ergebnisse der Blutanalysen (NEFA, BHB, Triglyc, Laktationsmonat 1 bis 3

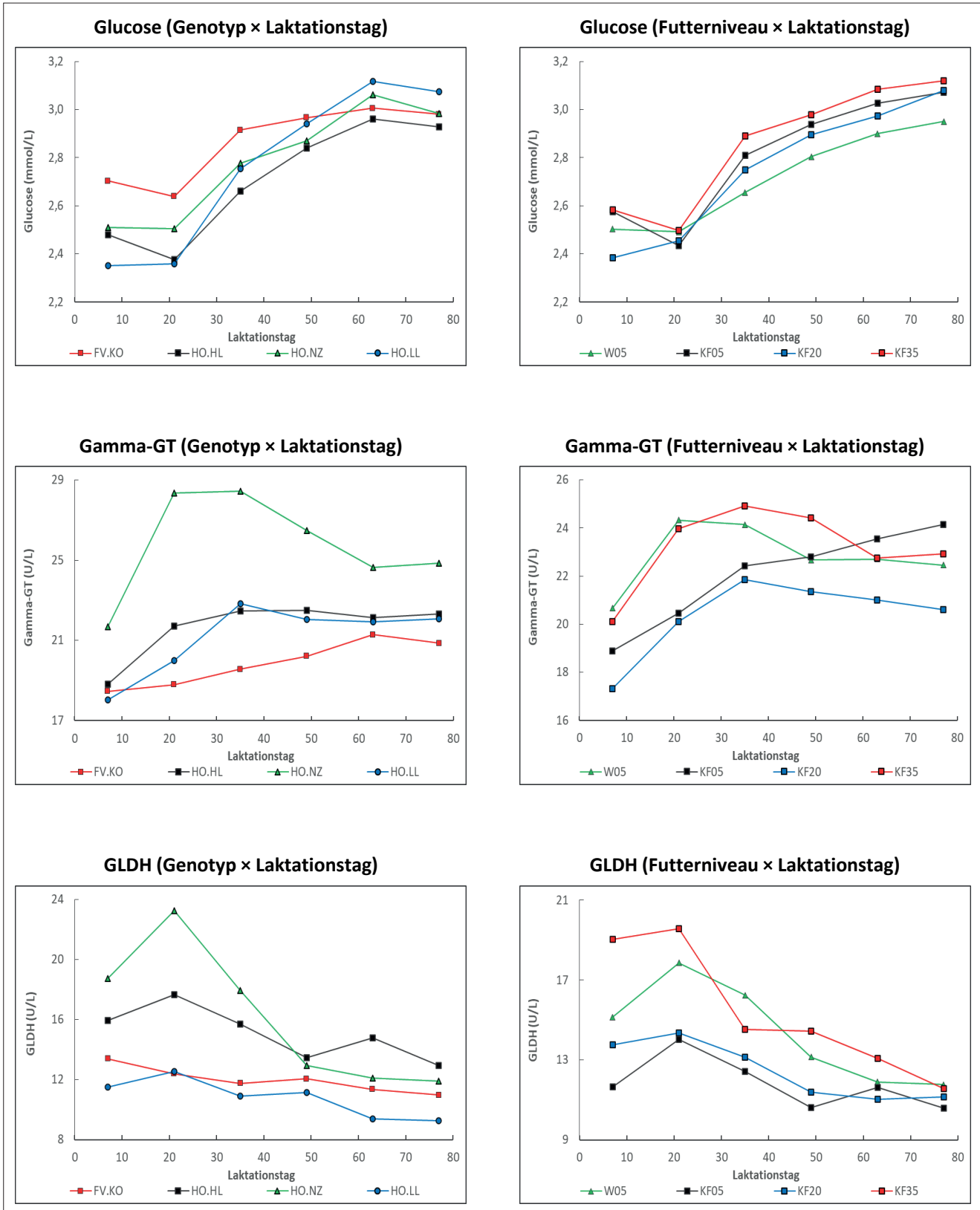


Abbildung 8a: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Ergebnisse der Blutanalysen (Gluc, GGT, GLDH), Laktationsmonat 1 bis 3

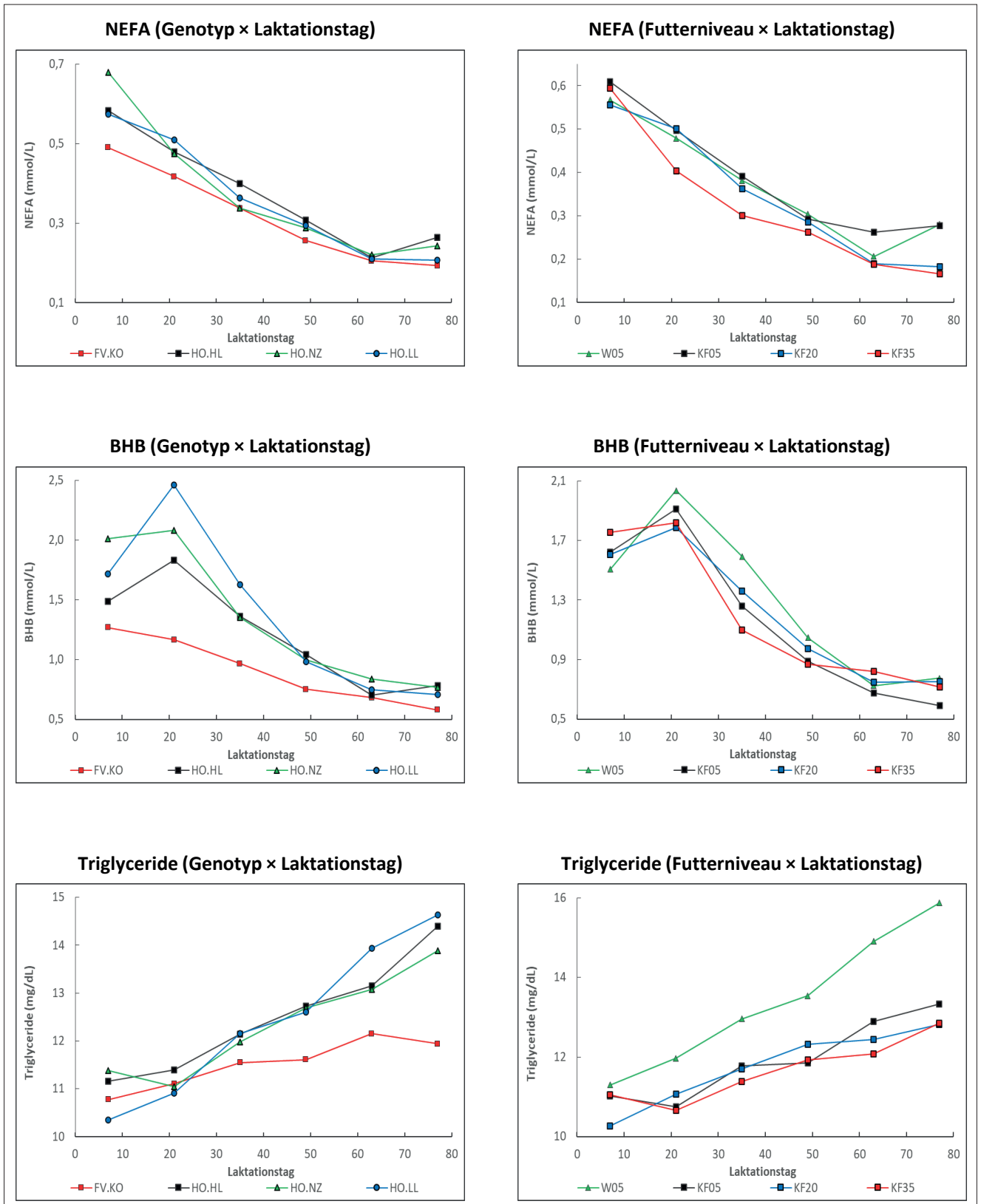


Abbildung 8b: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Ergebnisse der Blutanalysen (NEFA, BHB, Triglyc), Laktationsmonat 1 bis 3

3.2.2 Ergebnisse zur Fruchtbarkeit

Im Gegensatz zu den Ergebnissen bezüglich der Produktionsdaten (Körpermasse, Futteraufnahme, Milchleistung) ergaben sich hinsichtlich Fruchtbarkeit wohl nominelle Unterschiede zwischen den Genotypen, die jedoch auf Grund großer Streuungen und (hinsichtlich Fruchtbarkeit) geringer Tierzahlen statistisch nicht signifikant waren (mit Ausnahme Non-Return-Rate 90 Tage, NRR 90d). Auch NRR 28d und die Rastzeit (Abkalbung bis erste Besamung) zeigten eine Tendenz zu signifikanten Unterschieden. HO_{HL} wies in allen Fruchtbarkeitskriterien die ungünstigsten Ergebnisse auf (Besamungsindex von 2,4 vs. ca. 2,0 der anderen Genotypen). Auch die Serviceperiode (SP; Abkalbung bis erfolgreiche Besamung) und die Zwischenkalbezeit (ZKZ) fiel bei HO_{HL} am ungünstigsten aus (104, 122, 109, 97 Tage SP bzw. 390, 403, 388, 378 Tage ZKZ bei den Genotypen FV_{KO}, HO_{HL}, HO_{NZ}, HO_{LL}). Hinsichtlich Fruchtbarkeit erzielte HO_{LL} tendenziell günstigere Ergebnisse als HO_{NZ} und FV_{KO} (Tabelle 7, Abbildungen 9a und 9b).

Bezüglich des Einflusses des Futterniveaus waren in keinem der Fruchtbarkeitsparameter signifikante Unterschiede gegeben. In den meisten Kriterien wies die höchste Kraftfutterstufe (KF35) die relativ besten Ergebnisse auf (Besamungsindex, Zwischenkalbezeit, Serviceperiode, Non-Return-Raten). Die Tiere der Versuchsgruppen Weide (W05) und die niedrigste Kraftfutterstufe KF05 erzielten sehr ähnliche Fruchtbarkeitsergebnisse (Tabelle 7, Abbildungen 9a und 9b).

Eine signifikante Wechselwirkung Genotyp × Futterniveau wurde in keinem der Fruchtbarkeitsparameter festgestellt (Tabelle 8, Abbildungen 9a und 9b). In der Tendenz zeigte die Untergruppe HO_{HL}|KF35 die ungünstigsten Werte, was nicht unbedingt zu erwarten ist, da Hochleistungstiere bei hohem Kraftfutteranteil die höchste Energieversorgung und damit die relativ günstigste Energiebilanz erreichen.

DILLON et al. (2006) zeigten die Konsequenzen einer genetischen Selektion auf hohe Milchleistung in Irland in den Jahren 1990 bis 2003 auf, die auf saisonalen Weidesystemen basieren. Demnach wurde die Milchleistung deutlich erhöht, gleichzeitig erniedrigte sich jedoch in unerwünschter Weise die Fruchtbarkeitslage und Nutzungsdauer. Die Kühe mit höherem Genanteil aus nordamerikanischen Holsteins wiesen eine höhere negative Energiebilanz auf, geringeren BCS, ein höheres „Partitioning“ der Nährstoffe in Richtung Milchleistung, eine geringere Grasaufnahme auf der Weide sowie einen niedrigeren Gehalt an Glucose und IGF 1 im Blut.

3.2.3 Ergebnisse zur Nutzungsdauer

Abschließend wird die Nutzungsdauer der Versuchstiere angesprochen, im Sinne dieses Projektes neben der Milchleistung das wichtigste Kriterium (Tabelle 7 und 8, Abbildungen 10a und 10b).

Der P-Wert für den Einfluss des Genotyps auf die Nutzungsdauer beträgt 0.057, ist also an der Signifikanzschwelle. Die Nutzungsdauer betrug für die 4 Genotypen (FV_{KO}, HO_{HL}, HO_{NZ}, HO_{LL}) 4.15, 3.20, 4.75 und 4.74 Laktationen. HO_{HL} wies also im Durchschnitt eine um 1 Laktation niedrigere Nutzungsdauer auf als FV_{KO} und die Nutzungsdauer von HO_{NZ} und HO_{LL} war um 0,6 Laktationen höher als jene von FV_{KO}. Der Verlauf des Anteils der Kühe (in Prozent der Kuhanzahl zu Versuchsbeginn) zeigt, dass Kühe des Genotyps HO_{HL} die 2. Laktation nur zu 76 % erreichen, die 3. Laktation zu 52 % und die 4. Laktation zu 37 %. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass nach Laktation 1, 2, 3 und 4 von den Kühen zu Projektbeginn 24, 48, 63 und 68 % ausgeschieden sind. Dagegen haben Kühe des Genotyps HO_{NZ} und HO_{LL} eine wesentlich höhere Überlebensrate. In der 5. Laktation sind noch etwa 50 % der Kühe dieser Genotypen am Leben, bei FV_{KO} sind 50 % in der 4. Laktation noch im Bestand. Zusammenfassend bedeutet dies, dass HO_{NZ} und HO_{LL} eine höhere Nutzungsdauer aufweisen als HO_{HL} und dass FV_{KO} zwischen diesen Polen liegt. Der Vergleich der verschiedenen Holstein-Typen zeigt, dass die höhere Milchleistung auf Kosten der Nutzungsdauer (d. h. Fitness) erfolgt.

Bezüglich des Futterniveaus weisen die Weide-Tiere und das mittlere Kraftfutterniveau (KF20) mit 4,65 Laktationen die höchste Nutzungsdauer auf, während das niedrige und hohe Kraftfutterniveau (KF05 und KF35) mit etwa 3,78 Laktationen deutlich niedriger liegen. Sehr aufschlussreich ist die Analyse der Untergruppen (Wechselwirkung Genotyp \times Futterniveau) in *Abbildungen 10a* und *10b* (rechte Seite). Während HO_{HL} bei niedrigem Kraftfutterniveau mit 2,1 Laktationen eine extrem niedrige Nutzungsdauer erfahren, kommen die anderen Genotypen (besonders FV_{KO} , aber auch HO_{NZ} und HO_{LL}) mit diesem Fütterungsregime hinsichtlich Nutzungsdauer gut zurecht (5.3, 4.3, 3.8 Laktationen). Im Mittel aller Genotypen ergibt das Futterniveau KF20 (und auch Weide) die höchste Nutzungsdauer, wobei HO_{NZ} mit 6,3 Laktationen den höchsten Wert des vorliegenden Projektes erreicht. Gerade dieser Genotyp erfährt bei hohem Kraftfutterniveau (KF35) einen extremen Rückgang der Nutzungsdauer auf den zweitniedrigsten Wert (2,3 Laktationen). Für dieses extreme Ergebnis mögen auch individuelle Unterschiede bei niedriger Tieranzahl eine Rolle spielen, doch es liegt auch der Schluss nahe, dass dieser Genotyp auf Grund der Anpassung an die Produktionsbedingungen in Neuseeland (ganzjährige Weidehaltung, nahezu ohne Kraftfutter) mit höheren Kraftfutteranteil nicht gut umgehen kann. Auch FV_{KO} hat hinsichtlich Nutzungsdauer negativ auf steigende Kraftfutteranteile reagiert, während HO_{LL} eine leichte Erhöhung der Nutzungsdauer erfahren hat.

Die höhere Nutzungsdauer des Genotyps HO_{LL} geht auch aus einer Gegenüberstellung von Ergebnissen aus HO_{LL} -Herden mit den Daten der LKV-Kühe des jeweiligen Bezirks hervor (HAIGER 2023). Die HO_{LL} -Kühe zeichneten sich durch eine wesentlich höhere Nutzungsdauer (+87 %) und Lebensleistung (+64 %) aus, obwohl ihre Milchleistung (-13 %), besonders in der 1. Laktation (-21 %), deutlich geringer war. Die geringere Milchleistung wurde also durch höhere Nutzungsdauer mehr als wettgemacht.

Übersicht 3: Nutzungsdauer und Milchleistung von Kühen aus HO_{LL} -Betrieben verglichen mit den LKV-Kühen aus dem jeweiligen Bezirk (4 Betriebe mit ca. 40 Kühen, 7 Jahre: 2016-2022) (HAIGER 2023)

Merkmal	Einheit	HO_{LL} -Kühe	LKV-Kühe
Nutzungsdauer	Jahre	7,1 (187)	3,8 (100)
Milchleistung [1. Laktation]	kg/Laktation	5.484 (79)	6.973 (100)
Milchleistung [Lebensdurchschnitt]	kg/Laktation	6.830 (87)	7.824 (100)
Milchleistung [Lebensleistung]	kg	48.538 (164)	29.528 (100)

Nach HAIGER (2005) ist die Nutzungsdauer der zweitwichtigste Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion (an erster Stelle steht die Höhe der Milchleistung). Je nach Preis/Kosten-Relationen ergab sich in verschiedenen Ländern (Deutschland, Österreich, Schweiz) die höchste Rentabilität, wenn die Kühe mindestens 6 bis 10 Laktationen erbrachten (ZEDDIES 1972, GANTNER et al. 1992, MISSFELDT 2015). STEINWIDDER und GREIMEL (1999) haben eine ökonomische Bewertung der Lebensleistung unter Berücksichtigung des Milchleistungspotenzials, der Laktationszahl und dem erreichten Lebensalter vorgenommen. Es wurden Laktationsgruppen von allen ab dem Jahr 1975 in Österreich bereits abgegangenen Fleckvieh-Kühen gebildet, die im Laufe ihres Lebens 2, 3, ..., 9 und 10 Laktationsabschlüsse erzielten ($n = 376.947$). Zusätzlich erfolgte eine Gruppierung entsprechend der Milchleistung (Mittelwert, die besten 10.000, 5.000, 1.000, 500 und 50 Kühe). Mit zunehmender Milchleistung pro Laktation verlängerte sich die Laktationsdauer und verringerte sich die Anzahl der geborenen Kälber pro Jahr, was auf negative Zusammenhänge zwischen Milchleistung und Fruchtbarkeit schließen lässt. In der jährlichen Anzahl der zur Bestandesergänzung erforderlichen Kälber ergaben sich große Unterschiede zwischen den Laktationsgruppen. Während für eine Kuh mit einer Nutzungsdauer von 11,1 Jahren nur 0,09 Kalbinnen jährlich für die Bestandesergänzung erforderlich sind, müssen bei einer Nutzungsdauer von 2,5 Jahren 0,4 Kalbinnen pro Jahr veranschlagt werden. Der Gewinn je Kuh und Jahr sowie der erzielte Stunden-

lohn erhöhten sich linear mit steigender Leistung und degressiv mit Verlängerung der Nutzungsdauer. Der Gewinn pro Betrieb stieg degressiv sowohl mit Erhöhung der Milchleistung als auch der Nutzungsdauer. Eine deutliche Verbesserung des Betriebsgewinnes ergab sich vor allem bis zu einer Nutzungsdauer von 6 Laktationen, darüber hinaus in geringerem Ausmaß. Diese umfangreiche und komplexe Feldstudie mit Fleckvieh-Kühen aus der österreichischen Rinderpopulation zeigt, dass vielfältige Aspekte – über die negative Beziehung „Milchleistung vs. Nutzungsdauer“ hinaus – wirksam werden, wenn über den Einfluss steigender Milchleistung diskutiert wird. Vor allem muss auch die Tatsache eines steigenden Kraftfutteranteils bei hohen Milchleistungen bedacht werden (pansenphysiologische Grenzen, Nahrungsmittelkonkurrenz, Nährstoffbilanz des Betriebes, Grünlandbewirtschaftung durch höheren Düngereinsatz) sowie auch Fragen der Arbeitsbelastung und Lebensqualität in einem Betrieb. Eine lange Nutzungsdauer bzw. große Kälberanzahl ist die unbedingt erforderliche Voraussetzung für eine strenge Selektion und senkt die Kosten für die Bestandesergänzung. Schließlich ist auch der Herdendurchschnitt höher, wenn der Anteil von Erstlingskühen in einer Herde geringer ist (HAIGER 2005).

In einer vergleichbaren, nachfolgenden Studie – ebenfalls alle Fleckviehkühe aus dem LKV-Datenpool (2000 bis 2010, n = 44.976), jedoch ausschließlich aus biologischer Bewirtschaftung – kamen HORN et al. (2012) zu ähnlichen Ergebnissen. Methodisch wurde ähnlich vorgegangen wie bei STEINWIDDER und GREIMEL (1999), die ökonomischen Fragestellungen wurden aber erweitert. Als begrenzende Faktoren wurden entweder die Milchquote (150.000 kg/Jahr) oder die Kuhanzahl (25 je Betrieb) festgelegt. Weiters wurde auch der Einfluss der Kraftfutter-Kosten und des Milch-Preises geprüft. In dieser Untersuchung erreichten die Kühe ihre maximale Leistung in der 5. Laktation. Die Gesamtkosten der Milchproduktion verminderten sich mit steigender Nutzungsdauer besonders in Folge sinkender Kosten für die Bestandesergänzung. Der Betriebsgewinn pro Jahr wurde stark von der Milchleistung und der Nutzungsdauer beeinflusst und erreichte sein Maximum in der 6. Laktation. Bei Kühen mit niedriger Nutzungsdauer war eine wesentlich höhere Jahresmilchleistung erforderlich, um den gleichen Gewinn zu erzielen, als bei Kühen mit hoher Nutzungsdauer. Ein interessanter Aspekt dieser Arbeit ist, dass der Effekt der Nutzungsdauer stark von den ökonomischen Rahmenbedingungen abhängt. Wirtschaftlicher Druck, wie hohe Kraftfutterkosten und niedrige Milchpreise, erhöht den wirtschaftlichen Vorteil einer hohen Nutzungsdauer.

Auf Grund der offensichtlich sehr hohen Bedeutung der Nutzungsdauer soll abschließend auf einige genetische Untersuchungen zu diesem Thema eingegangen werden. BRODY (1945) hat festgestellt, dass eine „Verlängerung der Wachstumsperiode mit einer Verlängerung der Lebenszeit“ verbunden ist. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass die Zucht auf Frühreife zu einer Verkürzung der Nutzungsdauer führt bzw. dass Kühe mit hohen Erstlaktationen eine kürzere Lebensdauer aufweisen. In einer grundlegenden ökonomisch-genetischen Studie zeigte ESSL (1982a und b), dass dies tatsächlich der Fall ist. Demnach weist die Entwicklung der Erstlaktation und der Nutzungsdauer in vielen Populationen auf einen deutlichen Antagonismus zwischen diesen Merkmalen hin. Mit rückläufiger Nutzungsdauer nimmt die Wirtschaftlichkeit der Kühe progressiv ab. Der kritische Wert, unter den die mittlere Nutzungsdauer einer Population nicht sinken sollte, liegt bei etwa 4 Laktationen. In einer Feldstudie mit je 550 Kühen der Rasse Fleckvieh, Braunvieh und Pinzgauer, die mindestens vier Laktationen erbrachten, wurden jeweils 200 Kühe (25 %) nach der höchsten Erst-, Zweit- oder Drittlaktation ausgewählt und deren Leistungsverlauf in den Folgelaktationen untersucht. Das Viertel der Kühe mit der höchsten Erstlaktation (d. h. die frühreifsten Tiere) steigerte sich in den Folgelaktationen am wenigsten und wies geringere Leistungen auf als die spätreiferen Kühe mit geringeren Erstlaktationen. Auch deren Ausfallraten von der 4. bis zur 10. Laktation waren höher (21,0, 19,5 und 15,5 %). Daraus wird der Schluss gezogen und die Empfehlung abgeleitet, für die endgültige Selektion der KB-Stiere die 3. Laktation der Töchter und für die Auswahl der Stiermütter ebenfalls die 3. Laktation abzuwarten sowie Fitness-Kriterien

direkt in die Selektion einzubeziehen. Auch SÖLKNER (1989) fand in der österreichischen Fleckviehpopulation negative genetische Beziehungen zwischen der Milchleistung und der Anzahl an Kalbungen (d. h. Nutzungsdauer) sowie der Lebensleistung.

In einer Review zum Thema „Longevity in Dairy Cattle Breeding“ kommt ESSL (1998) auf der Grundlage von Selektionsexperimenten, Felddaten, Monte Carlo-Simulationen und Modellrechnungen zum Schluss, dass zwischen Frühreife und Langlebigkeit ein signifikanter Antagonismus besteht. Die Beziehungen zwischen Milchleistung und Nutzungsdauer sind häufig verfälscht (d. h. zu günstig bewertet) durch die Tatsache, dass niedrig leistende Tiere vorzeitig ausgeschieden werden und andererseits hochleistende Tiere eines Bestandes besser betreut werden. Dadurch kann ihre Nutzungsdauer nicht unverfälscht und objektiv (unter ceteris paribus-Bedingungen) erfasst werden. Das relative wirtschaftliche Gewicht zwischen Nutzungsdauer und Milchleistung liegt bei etwa 1 : 2. In neuerer Zeit wird versucht, Fitness- und Gesundheitsmerkmale im Zuchtziel zu berücksichtigen (FÜRST-WALTL et al. 2023). Dabei stellt der Stoffwechsel-Komplex eine besondere Herausforderung dar. Klinische Erkrankungen weisen in der Regel sehr niedrige Frequenzen und Heritabilitäten auf. Um die Stoffwechselstabilität züchterisch stärker bearbeiten zu können, ist die Erfassung auch der subklinischen Fälle erforderlich. Darüber hinaus können auch Merkmale bzw. Hilfsmerkmale aus der Routineleistungsprüfung aus Automatisierungstechnologien (z. B. Automatische Melksysteme, Sensortechnologie) genutzt werden.

Die Ergebnisse dieses Versuches weisen auf den deutlichen Antagonismus zwischen Milchleistungsniveau und Gesundheitssituation hin. Höher leistende Tiere schneiden in den Gesundheits- und Fruchtbarkeitskriterien schlechter ab, während Tiere mit geringerem Leistungspotenzial hinsichtlich Fitness überlegen sind. Weiters trat auch eine starke Wechselwirkung zwischen Genotyp und Futterniveau bei den meisten Produktions- und Gesundheitskriterien auf. Einerseits reagierten hochleistende Kühe auf zusätzliches Kraftfutterangebot mit einer stärkeren Steigerung der Milchleistung und Futteraufnahme. Andererseits wirkte sich bei Tieren mit geringerem Leistungspotenzial eine niedrige Energieversorgung weniger stark auf eine Verschlechterung der Gesundheit und vor allem der Nutzungsdauer aus. **Die Kühe sollten daher entsprechend ihrem Leistungspotenzial gefüttert werden** (DACCORD 1992). Die Fütterung hochleistender Kühe erfordert ein wesentlich anspruchsvolleres Management, eine hohe Grundfutterqualität und einen hohen Kraftfutteranteil. Dies muss bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden. Der Kraftfuttereinsatz hat pansenphysiologische Grenzen, stellt eine Nahrungsmittelkonkurrenz zur menschlichen Ernährung dar und hat auch negative Auswirkungen auf die Umweltwirkung der Milchproduktion (Nährstoffbilanz des landwirtschaftlichen Betriebes). **Für jede Betriebssituation und jedes Produktionssystem müssen daher sowohl geeignete Genotypen als auch ein optimales Futterniveau gewählt werden.**

Tabelle 7: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf die Ergebnisse der Fruchtbarkeit und Nutzungsdauer (Haupteffekte von Genotyp und Futterniveau)

Merkmal	Genotyp				Futterniveau			P-Werte				
	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	HO _{LL}	Weide	KF05	KF20	KF35	RSD	G	F	G x F
Fruchtbarkeit												
Besamungsindex	2,02	2,42	2,00	1,92	2,10	2,13	2,14	1,98	1,37	0,271	0,915	0,810
Non-Return-Rate 28 Tage	%	64,0	48,9	52,3	57,6	53,0	59,0	62,9	0,5	0,132	0,796	0,383
Non-Return-Rate 56 Tage	%	75,7	64,9	68,9	78,1	69,3	72,9	76,0	0,5	0,391	0,838	0,652
Non-Return-Rate 90Tage	%	82,8	72,8	90,4	90,5	79,3	82,0	85,7	0,4	0,035	0,332	0,297
Rastzeit	Tage	63	70	70	63	66	66	65	21	0,108	0,776	0,639
Verzögerungszeit	Tage	41	52	39	33	44	38	38	54	0,336	0,803	0,369
Serviceperiode	Tage	104	122	109	97	110	104	103	58	0,154	0,691	0,658
Zwischenkalbezeit	Tage	390	403	388	378	393	387	383	58	0,155	0,604	0,716
Trächtigkeitsdauer	Tage	286	281	279	281	283	283	280	8	<0,001	0,123	0,046
Erstkalbealter	Tage	815	815	819	813	817	807	821	136	0,137	0,157	0,231
Erstkalbealter	Monate	26,8	26,8	26,9	26,7	26,9	26,5	27,0	46,9	0,972	0,768	0,706
Nutzungsdauer												
Nutzungsdauer	Anzahl Lakt.	4,15	3,20	4,75	4,74	4,64	4,66	3,69	2,11	0,057	0,322	0,106
Anteil Kühe in 2. Laktation	%	92,2	75,6	91,1	92,4	89,2	93,1	88,2	33,5	0,247	0,687	0,585
Anteil Kühe in 3. Laktation	%	68,8	52,2	81,1	86,2	64,2	82,7	70,5	43,3	0,058	0,565	0,207
Anteil Kühe in 4. Laktation	%	52,1	37,1	65,7	69,4	63,8	68,4	35,9	47,4	0,116	0,152	0,131
Anteil Kühe in 5. Laktation	%	41,5	32,0	50,6	46,3	43,9	37,2	32,1	49,1	0,624	0,393	0,187
Anteil Kühe in 6. Laktation	%	25,0	17,1	40,7	31,6	44,0	40,4	16,6	42,0	0,300	0,039	0,146
Anteil Kühe in 7. Laktation	%	17,4	6,8	25,6	25,4	38,9	13,8	8,8	35,5	0,259	0,032	0,194
Anteil Kühe in 8. Laktation	%	8,4	0,0	15,4	14,9	20,3	4,8	8,7	26,5	0,191	0,188	0,298
Anteil Kühe in 9. Laktation	%	5,0	0,0	4,9	8,2	0,0	5,1	8,2	17,9	0,520	0,517	0,071
Anteil Kühe in 10. Laktation	%	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5	0,241	0,318	0,304

Tabelle 8: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf die Ergebnisse der Fruchtbarkeit und Nutzungsdauer (Wechselwirkung Genotyp x Futterniveau)

Merkmal	Weide			KF05			KF20			KF35				
	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}	FV _{KO}	HO _{HL}	HO _{NZ}		
Fruchtbarkeit														
Besamungsindex	Anz./Kalb	2,12	2,77	1,66	1,87	2,00	1,93	2,29	2,11	2,23	1,91	2,49	1,93	1,57
Non-Return-Rate 28 Tage	%	55	46	62	67	69	61	67	56	52	68	43	59	81
Non-Return-Rate 56 Tage	%	65	56	77	80	71	80	75	65	71	77	59	77	91
Non-Return-Rate 90Tage	%	70	61	92	95	83	95	83	94	86	81	65	98	98
Rastzeit	Tage	64	66	67	67	59	63	70	71	60	62	62	69	68
Verzögerungszeit	Tage	60	63	27	27	45	30	42	38	43	37	63	31	19
Serviceperiode	Tage	124	129	95	93	103	93	112	109	103	99	125	101	87
Zwischenkalbezeit	Tage	411	411	374	377	383	376	396	391	384	384	401	380	367
Trächtigkeitsdauer	Tage	287	282	279	284	280	284	284	282	281	285	276	279	280
Erstkalbealter	Tage	811	834	809	814	808	820	776	818	815	824	817	828	815
Erstkalbealter	Monate	26,7	27,4	26,6	26,7	26,6	27,0	25,5	26,9	26,8	27,1	26,9	27,2	26,8
Nutzungsdauer														
Nutzungsdauer	Anz./Lakt.	3,34	3,34	6,12	5,75	3,83	4,36	3,73	6,28	4,25	3,63	3,67	2,32	5,14
Anteil Kühe in 2. Lakt.	%	87,0	87,0	82,6	100,0	66,7	100,0	74,5	97,4	100,0	83,8	83,3	82,6	100,0
Anteil Kühe in 3. Lakt.	%	44,2	30,0	82,6	100,0	66,7	83,9	74,6	97,4	75,0	69,6	66,7	42,6	100,0
Anteil Kühe in 4. Lakt.	%	44,0	29,7	81,4	100,0	66,7	49,9	50,1	98,6	75,0	56,1	50,0	1,4	35,9
Anteil Kühe in 5. Lakt.	%	15,1	29,4	81,2	50,0	50,0	50,0	50,0	78,8	50,0	42,0	50,0	1,2	35,3
Anteil Kühe in 6. Lakt.	%	14,9	29,2	81,9	50,0	16,7	34,1	24,4	78,1	25,0	13,0	16,7	1,9	34,8
Anteil Kühe in 7. Lakt.	%	14,9	29,2	61,6	50,0	16,7	17,3	0,0	38,4	0,0	0,0	0,0	0,0	34,8
Anteil Kühe in 8. Lakt.	%	14,9	0,0	40,8	25,0	0,0	0,0	0,0	19,2	0,0	0,0	0,0	0,0	34,7
Anteil Kühe in 9. Lakt.	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,2	0,0	0,0	0,0	0,0	32,7
Anteil Kühe in 10. Lakt.	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

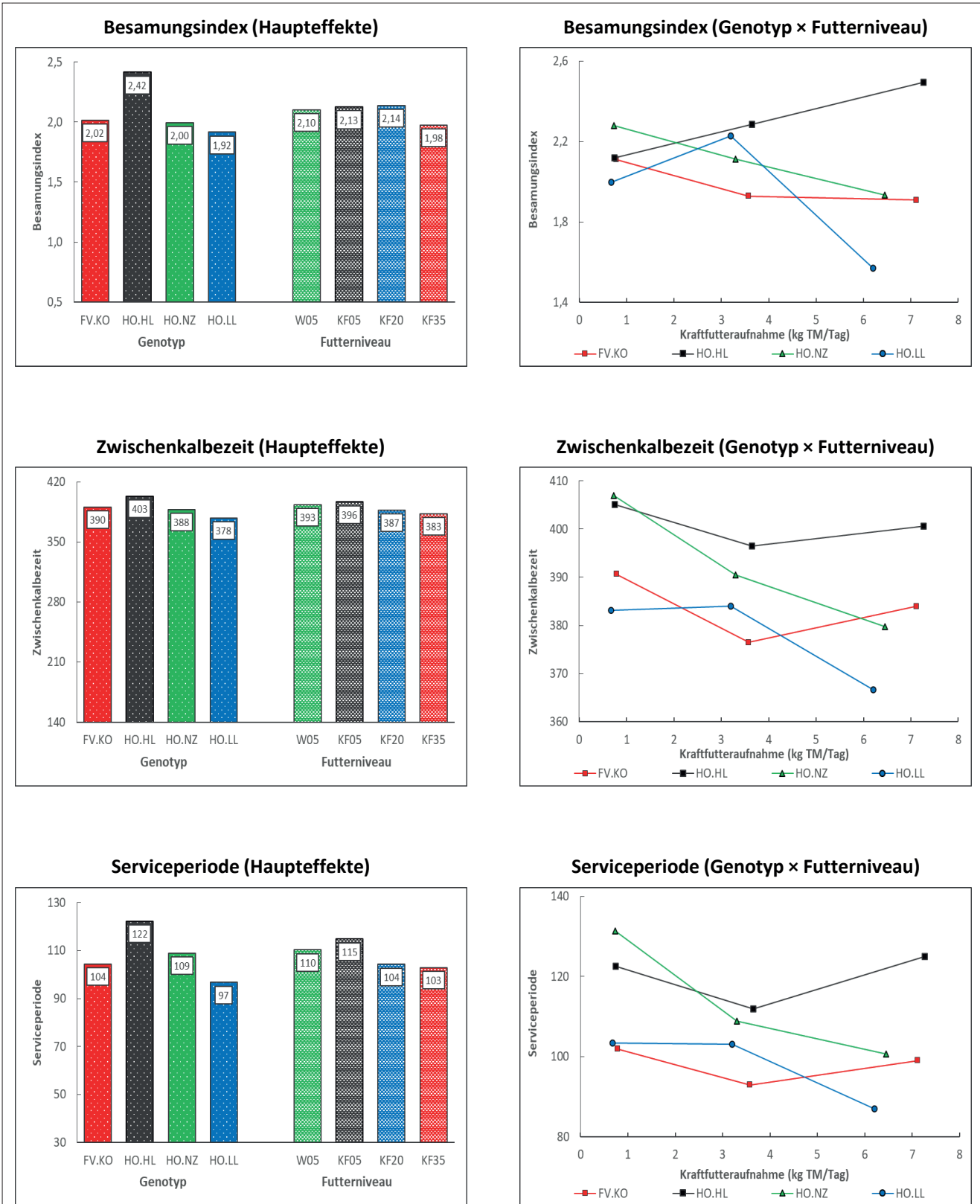


Abbildung 9a: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Ergebnisse der Fruchtbarkeit (Besamungsindex, Zwischenkalbezeit, Serviceperiode)

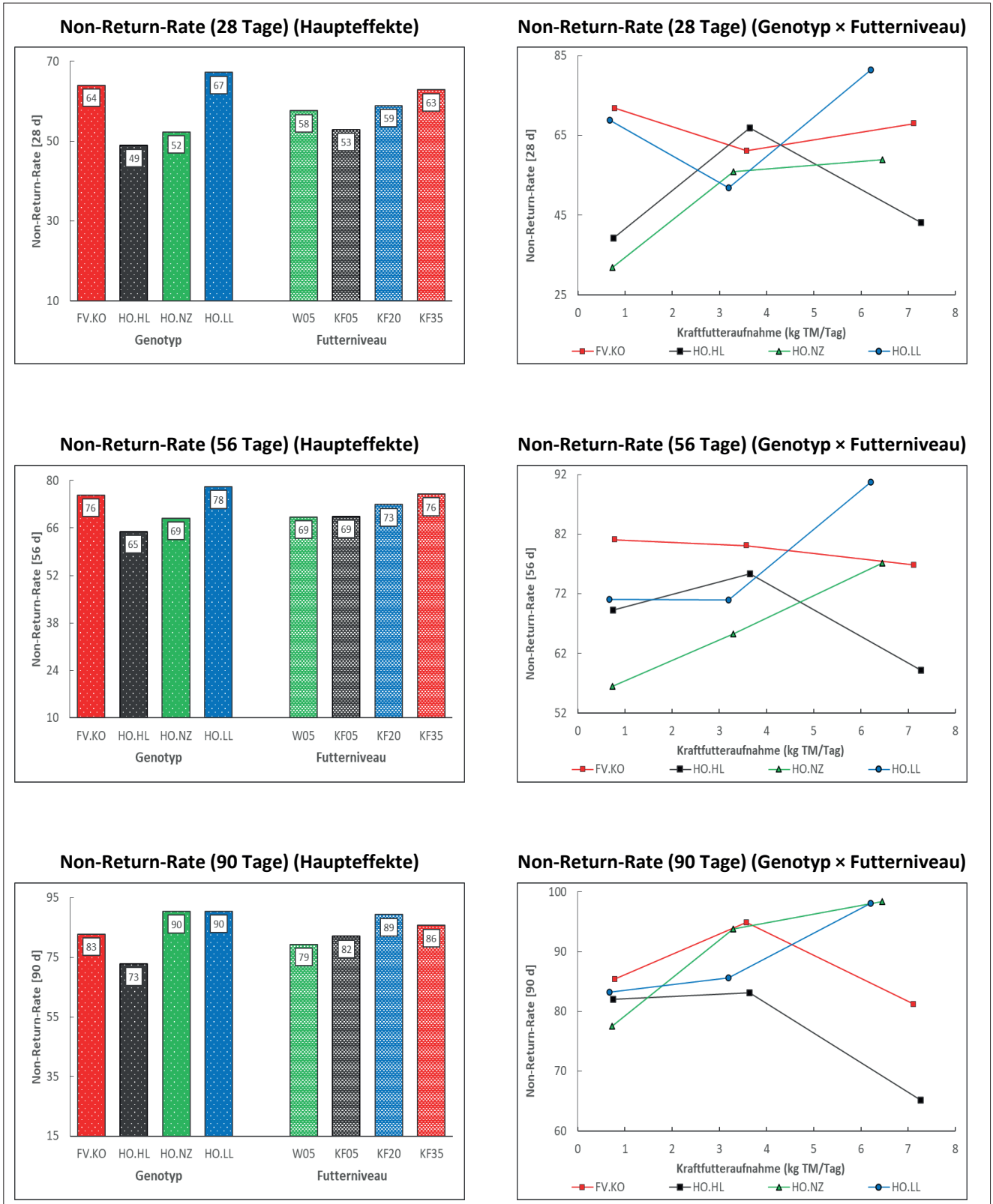
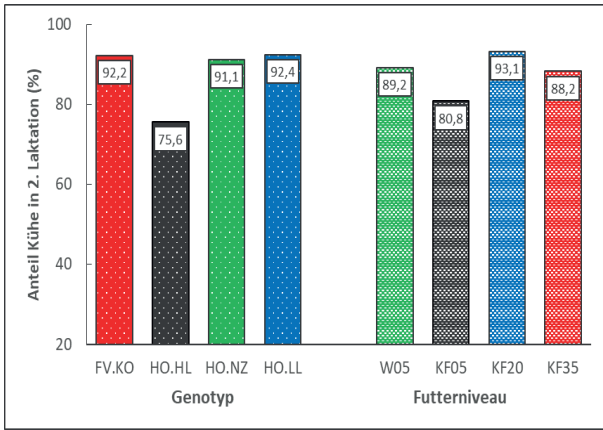
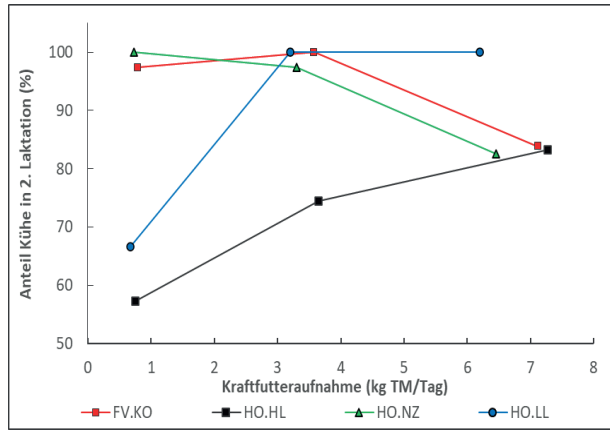


Abbildung 9b: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf Ergebnisse der Fruchtbarkeit (Non-Return-Rate 28, Non-Return-Rate 56, Non-Return-Rate 90)

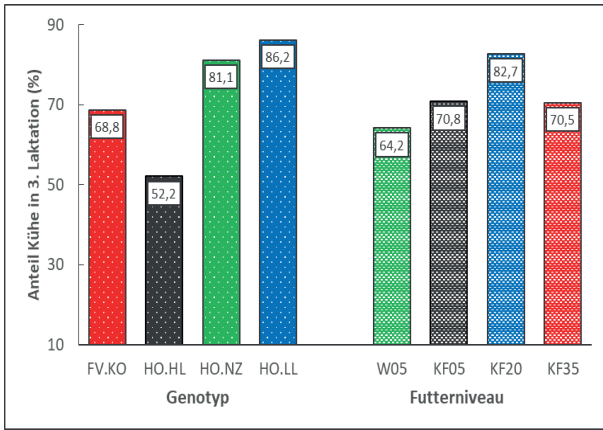
Anteil der Kühe in 2. Laktation (Haupteffekte)



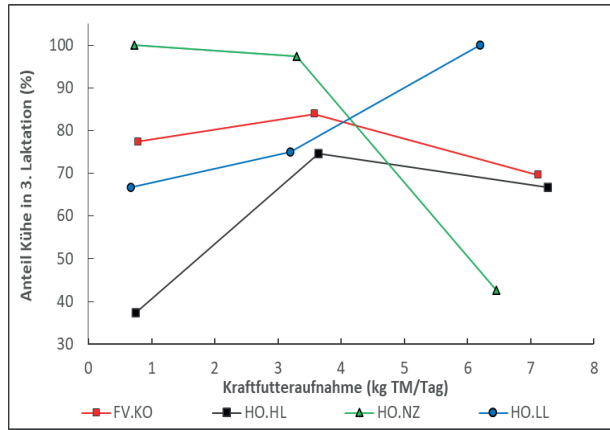
Anteil der Kühe in 2. Lakt. (Genotyp × Futterniveau)



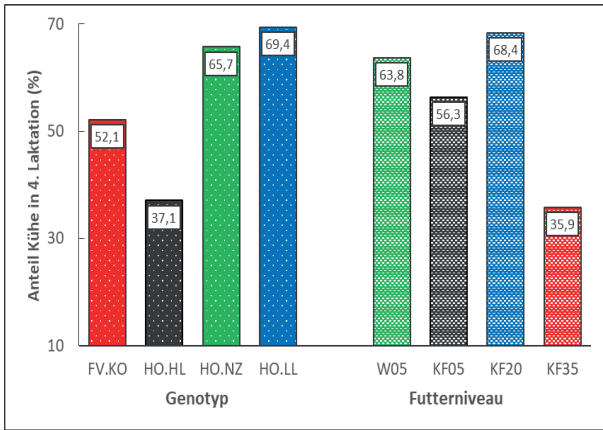
Anteil der Kühe in 3. Laktation (Haupteffekte)



Anteil der Kühe in 3. Lakt. (Genotyp × Futterniveau)



Anteil der Kühe in 4. Laktation (Haupteffekte)



Anteil der Kühe in 4. Lakt. (Genotyp × Futterniveau)

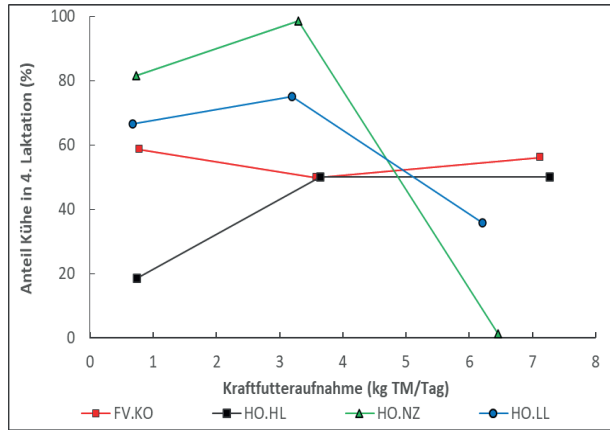
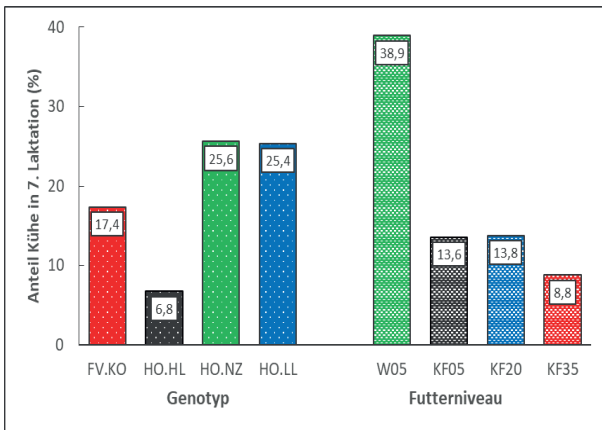
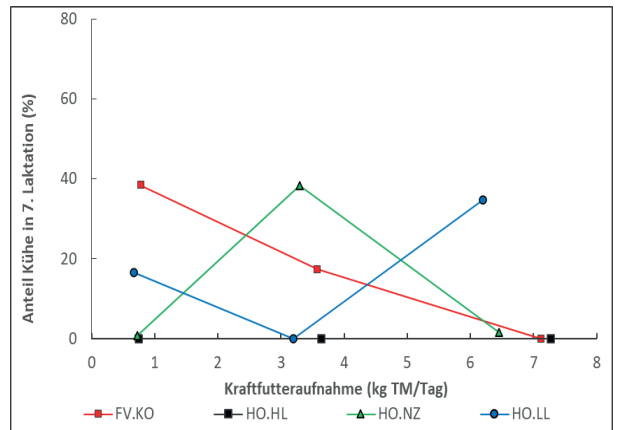


Abbildung 10a: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf die Überlebensrate (2., 3. bzw. 4. Laktation)

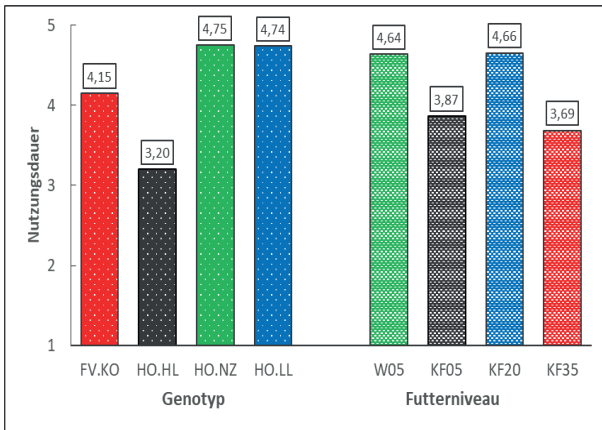
Anteil der Kühe in 7. Laktation (Haupteffekte)



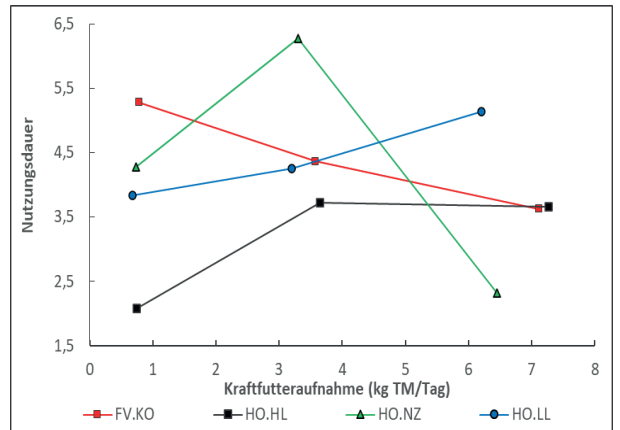
Anteil der Kühe in 7. Lakt. (Genotyp × Futterniveau)



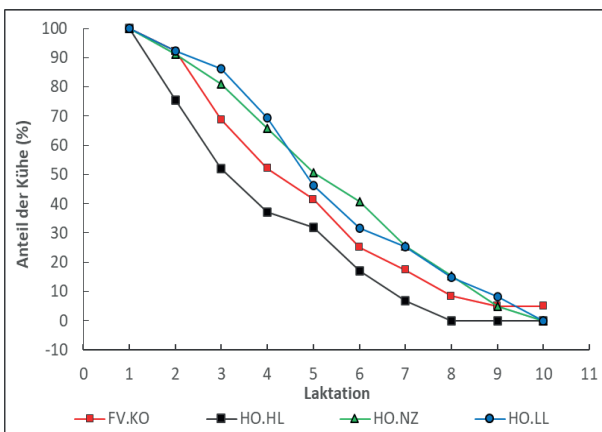
Nutzungsdauer (Haupteffekte)



Nutzungsdauer (Genotyp × Futterniveau)



Survival Rate (Genotyp)



Survival Rate (Futterniveau)

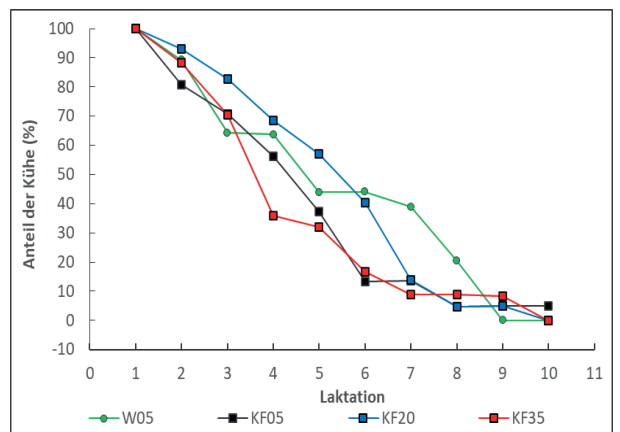


Abbildung 10b: Einfluss von Genotyp und Futterniveau auf die Überlebensrate und Nutzungsdauer

4. Literatur

BAKELS, F., 1960: Ein Beitrag zur tierzüchterischen Beeinflussung der Nutzungsdauer und Lebensleistung des Rindes. Dissertation LMU München.

BECKER, J.C., B.J. HEINS und L.B. HANSEN, 2012: Costs for health care of Holstein cows selected for large versus small body size. *J. Dairy Sci.* 95, 5384-5392.

BENNEWITZ, J., 2016: Potentiale und Herausforderungen der genomischen Selektion in der Tierzucht. 26. Hülseberger Gespräche 2016 "Die postgenomische Ära: Die Renaissance des Phänotyps", 10-14.

BERRY, D.P. und J.E. PRYCE, 2014: Feed efficiency in growing and mature animals. Proceedings of 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, Vancouver 2014.

BMLRT (Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus), 2022a: Grüner Bericht 2022. Die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Herausgeber BMLRT, Wien, 288 S

BMLRT (Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus), 2022b: Milchproduktion 2021 – Ergebnisse und Konsequenzen der Betriebszweigauswertung aus den Arbeitskreisen in Österreich (Gesamtkoordination DI Franz Paller), 43 S.

BRODY, S., 1945: Bioenergetics and Growth. Reinhold Publishing Corporation, New York, USA, 1023 S.

BROWN, C.A., P.T. CHANDLER und B. HOLTER, 1977: Development of predictive equations for milk yield and dry matter intake in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 60, 1739-1754.

COLEMAN, J., D.P. BERRY, K.M. PIERCE, A. BRENNAN und B. HORAN, 2010: Dry matter intake and feed efficiency profiles of 3 genotypes of Holstein-Friesian within pasture-based systems of milk production. *J. Dairy Sci.* 93, 4318-4331.

COULON, J.B. und B. REMOND, 1991: Variations in milk output and milk protein content in response to the level of energy supply to the dairy cow: a review. *Livest. Prod. Sci.* 29, 31-47.

DACCORD, R., 1992: Grenzen der Milchleistung. *Landfreund Heft* 52 (1992), 11-13.

DICKINSON, F.N., B.T. McDANIEL und R.E. McDOWELL, 1969: Comparative efficiency of feed utilization during first lactation of Ayrshire, Brown Swiss and Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 52, 489-497.

DILLON, P., S. SNIJDERS, F. BUCKLEY, B. HARRIS, P. O'CONNOR und J.F. MEE, 2003: A comparison of different dairy cow breeds on a seasonal grass-based system of milk production. 1. Milk production, live weight, body condition score and DM intake. *Livest. Prod. Sci.* 83, 21-33.

DILLON, P., D.P. BERRY, R.D. EVANS, F. BUCKLEY und B. HORAN, 2006: Consequences of genetic selection for increased milk production in European seasonal pasture based systems of milk production, *Livest. Sci.* 99, 141-158.

ESSL, A., 1982a: Untersuchungen zur Problematik einer auf hohe Lebensleistung ausgerichtete Zucht bei Milchkühen. 1. Grundsätzliche Überlegungen und Ergebnisse von Modellrechnungen. *Züchtungskde.* 54, 267-275.

ESSL, A., 1982b: Untersuchungen zur Problematik einer auf hohe Lebensleistung ausgerichtete Zucht bei Milchkühen. Ergebnisse einer Felddatenanalyse. *Züchtungskde.* 54, 361-377.

ESSL, A., 1998: Longevity in dairy cattle: a review. *Livest. Prod. Sci.* 57, 79-89.

FAVERDIN, P., J.P. DULPHY, J.B. COULON, R. VERITE, L.P. GAREL, L. ROUEL und B. MARQUIS, 1991: Substitution of roughage by concentrates for dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 27, 137-156.

FLACHOWSKY, G., 2000: Nährstoffökonomische und ökologische Aspekte bei der Erzeugung von essbarem Eiweiß tierischer Herkunft bei unterschiedlichem Leistungsniveau der Nutztiere. *Landbauforschung Völkenrode* 50, 38-49.

FLEISCHER, P., M. METZNER, M. BEYERBACH, M. HOEDEMAKER und W. KLEE, 2001: The relationship between milk yield and the incidence of some diseases in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 2025-2035.

FÜRST-WALT, B., K. SCHODL, H. SCHWARZENBACHER, A. KÖCK und C. EGGER-DANNER, 2023: Neue Merkmale für die Zucht auf Stoffwechselstabilität. *Rinderzucht Austria Seminar 2023 „Digitalisierung – Herausforderungen und Lösungen in der Rinderwirtschaft“*. 09.03.2023, Hefterhof, Salzburg, 72-78.

GANTNER, U., C. GAZZARIN und E. MEILI, 1992: Wo liegt die wirtschaftlich optimale Nutzungsdauer der Milchkuh. *Landwirtschaft Schweiz* 4, 209-212.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 1991: Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen an Wiederkäuern. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 65, 229-234.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 135 S.

GERSTER, E., 2020: Langfristige Beurteilung der Energieversorgung von Milchkühen bei unterschiedlichem Kraftfuttereinsatz. *Dissertation Universität Hohenheim*, 201 S.

GROSS, J.J., 2022: Limiting factors for milk production in dairy cows: perspectives from physiology and nutrition. *J. Anim. Sci.* 100, 1-11.

GRUBER, L., R. STEINWENDER und W. BAUMGARTNER, 1995: Einfluß von Grundfutterqualität und Kraftfutterniveau auf Leistung, Stoffwechsel und Wirtschaftlichkeit von Kühen der Rasse Fleckvieh und Holstein Friesian. *Bericht 22. Tierzuchttagung, BAL Gumpenstein, Irdning*, 1-49.

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., 2007: Einfluss der Kraftfuttermenge auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen. *Bericht 34. Viehwirtschaftliche Fachtagung HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning*, 35-51.

GRUBER, L. und M. STEGFELLNER, 2015: Effizienz bei Milchkühen – Einfluss von Rasse, Laktationszahl und Laktationsstadium. *Bericht 42. Viehwirtschaftliche Fachtagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal*, 23-40.

GRUBER, L., J. HÄUSLER, A. HAIGER, G. TERLER, D. EINGANG, A. ADELWÖHRER und A. SCHAUER, 2016: Einfluss von Tränkedauer und Fütterungsintensität auf die Aufzuchtleistung von weiblichen Rindern verschiedener Genotypen. *Bericht 43. Viehwirtschaftliche Fachtagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal*, 29-45.

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

HAIGER, A., R. STEINWENDER, J. SÖLKNER und H. GREIMEL, 1987: Vergleichsversuch von Braunvieh mit Brown Swiss- und Holstein Friesian-Kreuzungen, 7. Mitteilung: Milchleistungsvergleich. Die Bodenkultur 38, 273-280.

HAIGER, A., 1988: Zucht. In: Naturgemäße Viehwirtschaft – Zucht, Fütterung, Haltung von Rind und Schwein (A. Haiger, R. Storhas, H. Bartussek). Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 37-93.

HAIGER, A. und J. SÖLKNER, 1995: Der Einfluss verschiedener Futterniveaus auf die Lebensleistung kombinierter und milchbetonter Kühe: 2. bis 8. Laktation. Züchtungskde. 67, 263-273.

HAIGER, A., 2005: Naturgemäße Tierzucht bei Rindern und Schweinen. Verlag AVBUCH (Öst. Agrarverlag), Leopoldsdorf, 142 S.

HAIGER, A. und W. KNAUS, 2010: Vergleich von Fleckvieh und Holstein Friesian in der Milch- und Fleischleistung. 1. Mitteilung: Milchleistungsvergleich ohne Kraftfutter. Züchtungskde. 82, 131-143.

HAIGER, A., 2023: Persönliche Mitteilung.

HANSEN, L.B., J.B. COLE, G.D. MARX und A.J. SEYKORA, 1999: Productive life and reasons for disposal of Holstein cows selected for large versus small body size. J. Dairy Sci. 82, 795-801.

HARRIS, B.L. und E.S. KOLVER, 2001: Review of Holsteinization on intensive pastoral dairy farming in New Zealand. J. Dairy Sci. 84 (E. Suppl.), E56-E61.

HAYES, B.J., P.J. BOWMAN, A.J. CHAMBERLAIN und M.E. GODDARD, 2009: Invited review: Genomic selection in dairy cattle: Progress and challenges. J. Dairy Sci. 92, 433-443.

HOOVEN, N.W., R.H. MILLER und R.D. PLOWMAN, 1968: Genetic and environmental relationships among efficiency, yield, consumption and weight of Holstein cows. J. Dairy Sci. 51, 1409-1419.

HORN, M., W. KNAUS, L. KIRNER und A. STEINWIDDER, 2012: Organic evaluation of longevity in organic dairy cows. Organic Agriculture 2, 127-143.

HORAN, B., P. DILLON, P. FAVERDIN, L. DELABY, F. BUCKLEY und R. RATH, 2005: The interaction of Holstein-Friesian cows and pasture-based feed-systems on milk yield, body weight, and body condition score. J. Dairy Sci. 88, 1231-1243.

HORAN, B., P. FAVERDIN, L. DELABY, M. RATH und P. DILLON, 2006: The effect of strain of Holstein-Friesian dairy cow and pasture-based system on grass intake and milk production. Anim. Sci. 82, 435-444.

ICAR (International Committee for Animal Recording): <http://www.icar.org/index.php/publications-technical-materials/>

KAUFMANN, W., 1976: Influence of the composition of the ration and the feeding frequency on pH-regulation in the rumen and on feed intake in ruminants. Livest. Prod. Sci. 3, 103-114.

KNAUS, W., 2009: Dairy cows trapped between performance demands and adaptability. J. Sci. Food Agric. 89, 1107-1114.

KORVER, S., 1982: Feed intake and production in dairy breeds dependent on the ration. Diss. Wageningen, 139 S.

KROGMEIER, D., 2009: Zusammenhänge zwischen Nutzungsdauer und Körpergröße unter besonderer Berücksichtigung des Stallsystemes bei Braunvieh und Fleckvieh. Züchtungskde. 81, 328-340.

KRONSCHNABL, C., H. SPIEKERS, W. PREISSINGER, M. STANGASSINGER, K. MAHLKOW-MERGE, M. PRIES, T. JILG, B. LOSAND und F. SCHWARZ, 2010: Ermittlung von laktations-spezifischen Prognosebereichen zur Beurteilung der Konzentration von Blutparametern beprobter Milchkühe. 123. VDLUFA-Kongress, Speyer, 13.-16. September 2011, Kongressband 2011, 558-567.

KÜNZI, N., 1969: Beziehungen zwischen Futtermittelverzehr und Milchleistung bei Fleckvieh-, Braunvieh- und Ayrshirekühen. Diss. 4342, ETH Zürich, 122 S.

LEBZIEN, P., K. ROHR und H.J. OSLAGE, 1981: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Fettsäureproduktion im Pansen von der Rationszusammensetzung. Arch. Tierernährg. 31, 685-696.

LIC (Livestock Improvement Corporation Ltd.), 2021: New Zealand Dairy Statistics 2020-21, 60 S.

LEDINEK, M., L. GRUBER, F. STEININGER, B. FUERST-WALTL, K. ZOTTL, M. ROYER, K. KRIMBERGER, M. MAYERHOFER und C. EGGER-DANNER, 2019: Analysis of lactating cows on commercial Austrian dairy farms: Influence of genotype and body weight on efficiency parameters. Arch. Anim. Breed. 62, 491-500.

LEDINEK, M., L. GRUBER, G. THALLER, K.-U. GÖTZ, K.-H. SÜDEKUM und H. SPIEKERS, 2022: Effizienzmerkmale beim Milchrind: Definieren – Einordnen – Anwenden. Züchtungskde. 94, 81-109.

LINNANE, M., B. HORAN, J. CONNOLLY, P. O'CONNOR, F. BUCKLEY und P. DILLON, 2004: The effect of strain of Holstein-Friesian and feeding system on grazing behaviour, herbage intake and productivity in the first lactation. Anim. Sci. 78, 169-178.

LUCY, M.C., 2001: Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? J. Dairy Sci. 84, 1277-1293.

LUSH, J.L., 1933: Linebreeding. Agricultural Experimental Station, Iowa State College of Agriculture. Bulletin No. 301.

MACDONALD, K.A., G.A. VERKERK, B.S. THORROLD, J.E. PRYCE, J.W. PENNO, L.R. McNAUGHTON, L.J. BURTON, A.S. LANCASTER, J.H. WILLIAMSON und C.W. HOLMES, 2008: A comparison of three strains of Holstein-Friesian grazed on pasture and managed under different feed allowances. J. Dairy Sci. 91,1693-1707.

MAHONEY, C.B., L.B. HANSEN, C.W. YOUNG, G.D. MARX und J.K. RENEAU, 1986: Health care of Holsteins selected for large or small body size. J. Dairy Sci. 69, 3131-3139.

MARTENS, H., 2012a: Die Milchkühe – Wenn die Leistung zur Last wird! Bericht 39. Viehwirtschaftliche Fachtagung, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 35-42.

MARTENS, M., 2012b: Energiestoffwechsel und Fruchtbarkeit der Kuh. Tierärztl. Umschau 67, 496-503.

MARTENS, M., 2013: Erkrankungen von Milchkühen in der frühen Laktationsphase – Risikofaktor negative Energiebilanz und Hyperketonämie. Tierärztl. Umschau 68, 463-476.

- MARTENS, M., 2015: Stoffwechselbelastung und Gesundheitsrisiken der Milchkühe in der frühen Laktation. *Tierärztl. Umschau* 70, 496-504.
- MASON, I.L., A. ROBERTSON und B. GJELSTAD, 1957: The genetic connexion between body size, milk production and efficiency in dairy cattle. *J. Dairy Res.* 24, 135-143.
- McCARTHY, S., B. HORAN, M. RATH, M. LINNANE, P. O'CONNOR und P. DILLON, 2007a: The influence of strain of Holstein-Friesian dairy cow and pasture-based feeding system on grazing behaviour, intake and milk production. *Grass and Forage Sci.* 62, 13-26.
- McCARTHY, S., D.P. BERRY, P. DILLON, M. RATH und B. HORAN, 2007b: The influence of Holstein-Friesian strain and feed system on body weight and body condition score lactation profiles. *J. Dairy Sci.* 90, 1859-1869.
- McCARTHY, S., B. HORAN, P. DILLON, P. O'CONNOR, M. RATH and L. SHALLOO, 2007c: Economic comparison of divergent strains of Holstein-Friesian cows in various pasture-based production systems. *J. Dairy Sci.* 90, 1493-1505.
- MERTENS, D.R., 1994: Regulation of forage intake. In: *Forage Quality, Evaluation, and Utilization. National Conference on Forage Quality, Evaluation, and Utilization* (Eds. G.C. Fahey et al.), 450-493.
- MILLER, R.H., N.W. HOOVEN und M.E. CREEGAN, 1969: Weight changes in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 52, 90-94.
- MISSFELDT, F., R. MISSFELDT und K. KUWAN, 2015: Ökonomisch optimale Nutzungsdauer von Milchkühen. *Züchtungskde.* 87, 120-143.
- MORRIS, C.A. und J.W. WILSON, 1976: Influence of body size on the biological efficiency of cows: A review. *Can. J. Anim. Sci.* 56, 613-647.
- RINDERZUCHT AUSTRIA, 2022: Milchleistungsprüfung. *Kuhrier* 9/22, S. 4.
- OLDENBROEK, J.K., 1984a: Holstein Friesians, Dutch Friesians and Dutch Red and Whites on two complete diets with a different amount of roughage: Performance in first lactation. *Livest. Prod. Sci.* 11, 401-415.
- OLDENBROEK, J.K., 1984b: Holstein Friesians, Dutch Friesians and Dutch Red and Whites on two complete diets with a different amount of roughage: Differences in performance between first and second lactation. *Livest. Prod. Sci.* 11, 417-428.
- OLDENBROEK, J.K., 1986: The performance of Jersey heifers and heifers of larger dairy breeds on two complete diets with different roughage contents. *Livest. Prod. Sci.* 14, 1-14.
- OLDENBROEK, J.K., 1988: The performance of Jersey cows and cows of larger dairy breeds on two complete diets with different roughage contents. *Livest. Prod. Sci.* 18, 1-17.
- ORSKOV, E.R., 1986: Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63, 1624-1633.
- PICCAND, V., E. CUTULLIC, S. MEIER, F. SCHORI, P.L. KUNZ, J.R. ROCHE und P. THOMET, 2013: Production and reproduction of Fleckvieh, Brown Swiss, and 2 strains of Holstein-Friesian cows in a pasture-based, seasonal-calving dairy system. *J. Dairy Sci.* 96, 5352-5363.
- ROCHE, J.R., D.P. BERRY und E.S. KOLVER, 2006: Holstein-Friesian strain and feed effects on milk production, body weight, and body condition score profiles in grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89, 3532-3543.

SHEAHAN, A.J., E.S. KOLVER und L.R. ROCHE, 2011: Genetic strain and diet effects on grazing behavior, pasture intake, and milkproduction. *J. Dairy Sci.* 94, 3583-3591.

SÖLKNER, J., 1989: Genetic relationships between level of production in different lactations, rate of maturity and longevity in a dual purpose cattle population. *Livest. Prod. Sci.* 23, 33-45.

STEINWIDDER, A. und M. GREIMEL, 1999: Ökonomische Bewertung der Nutzungsdauer bei Milchkühen. *Die Bodenkultur* 50, 235-249.

TERLER, G., R. HOTSCHNIG, C. FASCHING, D. EINGANG, G. HUBER, S. GAPPMAIER und W. ZOLLITSCH, 2021: Methanemissionen von österreichischen Milchkühen: Wie groß ist der Einfluss von Genotyp und Kraftfutterniveau? Bericht 48. Viehwirtschaftliche Fachtagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 23-39.

THANNER, S., F. SCHORI, R.M. BRUCKMAIER und F. DOHME-MEIER, 2014: Grazing behaviour, physical activity and metabolic profile of two Holstein strains in an organic grazing system. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 98, 1143-1153.

THOMET, P., 1999: Effiziente Milchproduktion vom Grünland – der neuseeländische Ansatz. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau.* 43. Jahrestagung 26.-28.08.1999, Bremen. Band 1. Kurzfassungen der Referate und Poster, 31-36.

THOMET, P., H. RÄTZER und B. DURGIALI, 2002: Effizienz als Schlüssel für die wirtschaftliche Milchproduktion. *Agrarforschung* 9, 404-409.

UMWELTBUNDESAMT, 2022: Klimaschutzbericht 2022, 260 S.

VALLIMONT, J.E., C.D. DECHOW, J.M. DAUBERT, M.W. DEKLEVA, J.W. BLUM, C.M. BARLIEB, W. LIU, G.A. VARGA, A.J. HEINRICHS und C.R. BAUMRUCKER, 2011: Short communication: Heritability of gross feed efficiency and associations with yield, intake, residual intake, body weight, and body condition score in 11 commercial Pennsylvania tie stalls. *J. Dairy Sci.* 94, 2108-2113.

VALLIMONT, J.E., C.D. DECHOW, J.M. DAUBERT, M.W. DEKLEVA, J.W. BLUM, W. LIU, G.A. VARGA, A.J. HEINRICHS und C.R. BAUMRUCKER, 2013: Short communication: Feed utilization and its associations with fertility and productive life in 11 commercial Pennsylvania tie-stall herds. *J. Dairy Sci.* 96, 1251-1254.

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.

VAN HOUTERT, M.F.J., 1993: The production and metabolism of volatile fatty acids by ruminants fed roughages: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 43, 189-225.

VAN SOEST, P.J., 1994: *Nutritional Ecology of the Ruminant.* 2nd Edition, Cornell University Press, Ithaca, New York (USA) and London (UK), 476 S.

VELIK, M., G. TERLER, M. BERGER, R. KITZER, J. HÄUSLER, D. EINGANG, J. KAUFMANN, M. ROYER, A. ADELWÖHRER und L. GRUBER, 2023: Holstein-Genotypen und Fleckvieh in der Stiermast: Tierische Leistungen und Schlachttierwert. Bericht 50. Viehwirtschaftliche Fachtagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 87-114.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungs-*

methodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

WEISSBACH, F. und S. KUHLA, 1995: Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfütter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. Übers. Tierernährg. 23, 189-214.

WANGSNESS, P.J. und L.D. MULLER, 1981: Maximum forage for dairy cows. J. Dairy Sci. 64, 1-13.

www.whff.info (WHFF, World Holstein Friesian Federation). Besucht am 08.02.2023.

YAN, T., C.S. MAYNE, T.W.J. KEADY und R.E. AGNEW, 2006: Effects of dairy cow genotype with two planes of nutrition on energy partitioning between milk and body tissue. J. Dairy Sci. 89, 1031-1041.

ZAUGG, U., 1976: Vergleichsversuch mit Braunvieh, Simmentaler Fleckvieh und Holstein Friesian amerikanischer Herkunft. Diss. 5671, ETH Zürich, 121 S.

ZEBELI, Q., J.R. ASCHENBACH, M. TAF AJ, J. BOGUHN, B.N. AMETAJ und W. DROCHNER, 2012: Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. J. Dairy Sci. 95, 1041-1056.

ZEDDIES, J., 1972: Ökonomische Entscheidungshilfen für die Selektion in Milchviehherden. Züchtungskde. 44, 149-171.

Tabelle A1: Kriterien der Ration (Grundfutter, Kraftfutter, Gesamtfutter) in Abhängigkeit von Genotyp und Futterniveau (in der Trockenmasse)

Merkmal		Genotyp				Futterniveau			
		FV _{K0}	HO _{III}	HO _{NZ}	HO _{II}	Weide	KF05	KF20	KF35
Grundfutter									
Rohprotein	g	131	131	130	130	152	123	123	123
Rohfett	g	27	27	28	27	25	28	28	28
Rohfaser	g	244	246	247	245	234	249	249	250
N-freie Extraktstoffe	g	510	511	511	512	491	519	518	517
Rohasche	g	87	85	85	85	98	81	82	81
Kohlenhydrate	g	754	757	758	758	725	768	767	768
NDF	g	461	463	464	462	454	464	465	466
ADF	g	300	302	303	301	298	302	302	304
ADL	g	39	40	40	39	44	38	38	38
Nichtfaser-Kohlenhydrate	g	293	294	295	296	270	304	302	301
RDP	g	109	108	107	108	130	101	101	101
UDP	g	23	23	22	22	21	23	23	23
nXP	g	130	130	130	130	132	129	129	129
RNB	g	0,22	0,14	-0,08	-0,07	3,17	-0,98	-0,94	-0,96
ME	MJ	9,92	9,94	9,95	9,97	10,01	9,94	9,91	9,92
NEL	MJ	5,91	5,92	5,93	5,94	5,99	5,91	5,90	5,90
Calcium	g	6,6	6,6	6,5	6,6	7,7	6,2	6,2	6,2
Phosphor	g	2,8	2,8	2,8	2,8	3,4	2,6	2,6	2,6
Magnesium	g	3,0	2,9	2,9	3,0	3,3	2,8	2,8	2,8
Kalium	g	18,1	18,4	18,3	18,2	19,2	17,9	17,9	18,0
Natrium	g	0,50	0,49	0,47	0,46	0,57	0,44	0,46	0,44
Mangan	mg	104	101	101	103	119	96	97	96
Zink	mg	35	35	34	35	41	33	33	33
Kupfer	mg	9,4	9,3	9,2	9,3	10,5	8,9	9,0	8,9
Kraftfutter incl. Mineralstoff-Ergänzung									
Rohprotein	g	200	201	202	200	182	207	206	207
Rohfett	g	24	24	24	24	21	25	25	25
Rohfaser	g	73	73	72	72	88	68	67	67
N-freie Extraktstoffe	g	660	659	659	660	658	660	660	661
Rohasche	g	44	44	43	43	51	41	41	40
Kohlenhydrate	g	733	732	731	732	745	728	728	727
NDF	g	222	223	221	222	246	214	214	213
ADF	g	103	104	102	103	121	97	97	96
ADL	g	22	22	22	22	21	22	22	22
Nichtfaser-Kohlenhydrate	g	511	509	510	510	499	514	514	515
RDP	g	136	137	137	136	121	142	142	142
UDP	g	64	64	64	64	61	65	65	65
nXP	g	187	188	188	188	181	190	190	190
RNB	g	1,94	2,06	2,14	2,02	0,12	2,66	2,66	2,73
ME	MJ	12,49	12,50	12,51	12,50	12,27	12,57	12,57	12,59
NEL	MJ	7,78	7,79	7,80	7,79	7,64	7,84	7,83	7,85
Calcium	g	3,0	3,1	3,0	3,0	4,0	2,7	2,7	2,6
Phosphor	g	5,1	5,2	5,3	5,2	4,4	5,5	5,5	5,5
Magnesium	g	2,5	2,5	2,5	2,5	2,4	2,5	2,5	2,5
Kalium	g	10,1	10,2	10,0	10,0	11,0	9,8	9,9	9,8
Natrium	g	0,80	0,79	0,73	0,75	1,49	0,54	0,55	0,48
Mangan	mg	42	42	42	42	46	41	41	41
Zink	mg	41	42	42	41	39	42	42	42
Kupfer	mg	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Gesamtfutter									
Rohprotein	g	142	141	141	142	152	127	140	146
Rohfett	g	27	27	27	27	25	28	27	27
Rohfaser	g	220	222	221	218	228	240	213	201
N-freie Extraktstoffe	g	530	530	532	534	499	526	546	556
Rohasche	g	81	79	79	79	96	79	74	70
Kohlenhydrate	g	750	752	753	752	727	766	759	756
NDF	g	427	430	428	424	445	451	415	398
ADF	g	272	275	273	271	290	292	262	248
ADL	g	37	38	37	37	43	37	35	34
Nichtfaser-Kohlenhydrate	g	323	322	326	328	282	315	344	358
RDP	g	114	113	112	113	129	103	109	112
UDP	g	28	28	28	29	23	25	31	34
nXP	g	138	138	138	139	134	132	141	145
RNB	g	0,64	0,56	0,41	0,46	2,91	-0,80	-0,15	0,15
ME	MJ	10,28	10,29	10,32	10,36	10,12	10,07	10,43	10,63
NEL	MJ	6,17	6,18	6,20	6,23	6,06	6,01	6,28	6,42
Calcium	g	6,1	6,1	6,0	6,1	7,5	6,1	5,5	5,2
Phosphor	g	3,2	3,2	3,2	3,2	3,4	2,8	3,2	3,4
Magnesium	g	2,9	2,9	2,9	2,9	3,3	2,8	2,8	2,7
Kalium	g	17,0	17,3	17,1	17,0	18,8	17,5	16,3	15,8
Natrium	g	0,52	0,52	0,49	0,49	0,61	0,44	0,49	0,49
Mangan	mg	96	93	92	94	116	94	86	81
Zink	mg	36	36	36	36	41	33	35	35
Kupfer	mg	9,0	8,9	8,8	8,9	10,3	8,8	8,4	8,2