

Evaluierung von Modellen zur Schätzung der Futteraufnahme von Milchkühen

Evaluation of feed intake prediction models for dairy cows

Leonhard Gruber^{1*}

Zusammenfassung

Die möglichst genaue Abschätzung der Futteraufnahme von Milchkühen ist Voraussetzung für eine physiologisch und ökonomisch optimale Rationsgestaltung. Darunter wird allgemein die maximale Grundfutteraufnahme in Verbindung mit jenem Kraftfutteranteil verstanden, der den Energiebedarf der Tiere deckt und wiederkäuergerechte Verdauungsabläufe in den Vormägen sicherstellt. Futteraufnahme-Modelle sind heute die Grundlage von EDV-gestützten Programmen zur Rationsoptimierung und der daraus abgeleiteten Kraftfutterzuteilung. Das Ziel sind hohe Milchleistungen, geordnete Pansenfunktionen, niedrige Futterkosten und eine geringe Umweltbelastung.

Die Futteraufnahme hängt entscheidend von tier- und futterbedingten Faktoren ab. Der Organismus verbraucht Energie für Erhaltung und verschiedene Leistungskomponenten (Milch, Trächtigkeit etc.). Dies verursacht den Impuls, die verbrauchten Nährstoffe durch Futteraufnahme wieder aufzufüllen. Das Ziel des Organismus ist die Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Energiebilanz. Neben dieser physiologischen Steuerung wird die Futteraufnahme ganz wesentlich auch von der Füllung des Pansens über Dehnungsrezeptoren physikalisch reguliert. Die maßgeblichen Einflussgrößen auf die Futteraufnahme sind einerseits der Energiebedarf der Kühe und andererseits die Futterqualität (Verdaulichkeit, Abbaurate). Welcher der beiden Einflusskomplexe stärker zum Tragen kommt, hängt von der spezifischen Tier/Futter-Konstellation ab.

Auf dieser theoretischen Grundlage werden seit Jahren Futteraufnahme-Vorhersagesysteme entwickelt. Für 15 ältere Gleichungen (seit 1981) werden die Regressionskoeffizienten der für die Vorhersage wichtigen Parameter (Lebendmasse (LM), Milchleistung (ECM), NEL-Gehalt im Grundfutter (NEL_{GF})) diskutiert und verglichen. Im Durchschnitt dieser 15 Gleichungen betragen die Regressionskoeffizienten 0,011 kg TM pro kg LM, 0,25 kg TM pro kg ECM und 1,62 kg TM pro MJ NEL_{GF} . Da einige Input-Parameter (z.B. Milch und Kraftfutter, Laktationsstadium etc.) zum Teil mit einander korrelieren, können die Regressionskoeffizienten nicht ohne Berücksichtigung aller in einer Futteraufnahme-Gleichung enthaltenen Parameter interpretiert und angewendet werden. Die Evaluierung dieser Gleichungen an einem

Summary

The preferably accurate prediction of feed intake of dairy cows represents the precondition for a physiologically and economically optimal ration. Generally, this implies the maximum intake of forage in connection to that concentrate proportion, which meets the energy requirement of the host animals and ensures their healthy ruminal function. Nowadays, feed intake models are the basis of IT-provided programs for the optimization of rations and the hereof resulting allotment of concentrate. The aims of this are high milk yields, a well-functioning rumen, low feed costs and low environmental stress.

Feed intake vitally depends on animal- and feed-related factors. The organism has a certain maintenance requirement and further needs energy for distinct components of performance like milk yield and pregnancy etc. This causes the signal to refill the nutrients by way of feed intake. The aim of the organism is the maintenance of energy balance. Aside from this physiological control feed intake is also physically regulated through dietary bulk, rumen fill and consequent distension of the digestive tract, elementarily. The relevant factors influencing feed intake are energy requirement of the cows on the one hand and on the other hand the quality of feed (digestibility, degradation rate). It depends on the specific constellation animal / feed, which of the both factors is the prevailing one.

Since years this has been the theoretical basis for the development of feed intake prediction systems. For 15 older equations (since 1981) the regression coefficients of the parameters being important for prediction (live weight (LW), milk yield (ECM), NEL-content of forage (NEL_{FOR})) have been discussed and compared to each other. On average of these 15 equations the regression coefficients amount to 0.011 kg DM per kg LW, 0.25 kg DM per kg ECM and 1.62 kg DM per MJ NEL_{FOR} . Some of the input parameters – milk, concentrate, stage of lactation etc. – are correlated. Hence, regression coefficients have to be interpreted and deployed with consideration of all parameters being included in a feed intake prediction equation. The evaluation of these equations by means of independent data with high variation in terms of animal- and feed-specific factors (GRUBER et al. 2001) has shown relative prediction errors (RPE) concerning the dimensions 10 - 15%

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

* Ansprechpartner: Univ-Doz. Dr. Leonhard Gruber, email: leonhard.gruber@raumberg-gumpenstein.at



unabhängigen Datenmaterial mit großer Streuung in den tier- und futterspezifischen Faktoren (GRUBER et al. 2001) hat relative Vorhersagefehler (RPE) in der Größenordnung von 10 - 15 % (GRUBER et al. 1990, BROWN et al. 1977, MENKE 1987, MERTENS 1994) bis zu 20 - 30 % (DLG 1986, JANS und KESSLER 1994, AFRC 1991, NRC 1989) ergeben. Im mittleren Bereich der Vorhersagegenauigkeit von 15 - 20 % RPE liegen die Formeln von SCHWARZ et al. 1996, INRA 1989, HOLTER et al. 1997 und ROSELER et al. 1997. Die Formeln aus UK und USA weisen einen hohen Anteil des durch Bias bzw. Regression verursachten Schätzfehlers auf, was deren Anwendbarkeit in anderen Ländern bzw. Produktionsgebieten vermindert.

In der Arbeit von JENSEN et al. (2015) werden fünf aktuelle Futteraufnahme-Modelle hinsichtlich ihrer Vorhersagegenauigkeit verglichen, die sich in ihrem Zugang zur Modellierung und in den Herkunftsländern unterscheiden, somit auch in der Datengrundlage (Unterschiede in den tier- und futterspezifischen Faktoren wie Rassen, Milchleistung, Grundfutter, Kraftfutterniveau etc.).

Das Futteraufnahme-Modell von NRC (2001) berücksichtigt nur Tier- und Produktionskriterien, nämlich Laktationsstadium, Milchleistung und Lebendmasse, jedoch keine futterspezifischen Input-Parameter wie z.B. Grundfutterqualität und Kraftfutterniveau. Das Futteraufnahme-Modell von NorFor (2011) ist Teil eines umfassenden, semimechanistischen Fütterungssystems für Rinder der nordischen Staaten Dänemark, Island, Norwegen und Schweden (The Nordic Feed Evaluation System, VOLDEN et al. 2011). Es ist ein sog. Füllfaktor-System (ähnlich INRA 1989). Die Tiere weisen eine bestimmte Futteraufnahme-Kapazität auf, die von Lebendmasse, Milchleistung, Laktationsstadium, Laktationszahl und Rasse bestimmt wird. Dem steht die Füllwirkung der Futtermittel gegenüber. Diese wird von der Verdaulichkeit, dem NDF-Gehalt und der Silagequalität bestimmt. Das TDMI-Index-System von HUHTANEN et al. (2011) ist ein empirisches Regressionsmodell und die Kombination des Silage-DMI-Index und des Concentrate-DMI-Index. Der SDMI-Index berücksichtigt die Grundfutterqualität (Futterwert wie Verdaulichkeit etc. und die Gärqualität). In gleicher Weise beschreibt der CDMI-Index den Einfluss der Menge und Zusammensetzung des Kraftfutters in ihrem Einfluss auf die Silageaufnahme (in TM). Die Grundfutter-Verdrängung durch KF hängt ab von der Kraftfuttermenge und der Qualität des Grundfutters. Der TDMI-Index errechnet sich aus $SDMI\text{-Index} + CDMI\text{-Index} - 100$. Zusätzlich zum TDMI-Index wird die Futteraufnahme von Tier- und Produktionsfaktoren bestimmt (standardisierte ECM-Leistung, LM, Laktationstag). Das Wageningen-Dairy cow-Modell (DCM) von ZOM et al. (2012a, b) ist ebenfalls ein sog. Füllfaktor-System, bestehend aus der Futteraufnahme-Kapazität der Kühe (FIC, Feed intake capacity), dem der Sättigungswert (SV, Satiety value) der einzelnen Futtermittel gegenüber steht. Die Futteraufnahme (DMI) errechnet sich aus dem Quotienten $DMI = FIC / SV$. Im Gegensatz zu INRA (1989) und NorFor (2011) werden allerdings zur Abschätzung der Futteraufnahme-Kapazität FIC die

(GRUBER et al. 1990, BROWN et al. 1977, MENKE 1987, MERTENS 1994) up to 20 - 30% (DLG 1986, JANS and KESSLER 1994, AFRC 1991, NRC 1989). The equations of SCHWARZ et al. 1996, INRA 1989, HOLTER et al. 1997 and ROSELER et al. 1997 are to find in the middle range of prediction accuracy of 15 - 20% RPE. The equations from UK and USA show a high proportion of the prediction error being caused by bias and regression. This lowers their applicability in other countries and production areas.

JENSEN et al. (2015) mention five up-to-date feed intake models comparing them concerning their prediction accuracy. The models differ in terms of their way of modelling and state of origin and, therefore, in their data basis, as well (differences in animal- and feed-specific factors, e. g. breed, milk yield, forage, concentrate level etc.).

The feed intake model by NRC (2001) considers criteria of animals and production like stage of lactation, milk yield and live weight, only; however, it does not regard any feed-specific input parameters, for example forage quality and concentrate level. The feed intake model by NorFor (2011) is part of a comprehensive, semi-mechanistic feeding system for cattle in Denmark, Iceland, Norway and Sweden (The Nordic Feed Evaluation System, VOLDEN et al. 2011). It represents a so called fill-factor-system (similar to INRA 1989). Animals evince a certain feed intake capacity, which is determined by live weight, milk yield, stage of lactation, number of lactation and breed. This capacity is faced by the filling effect of the feed, which is determined by digestibility, NDF content and silage quality. The TDMI-Index system by HUHTANEN et al. (2011) is an empirical regression model and represents a combination of the silage-DMI-Index and the concentrate-DMI-Index. The SDMI-Index considers the forage quality (feed value like digestibility etc., and fermentation quality). Similarly, the CDMI-Index pictures the influence of amount and composition of concentrate in terms of their influence on silage intake (DM). The substitution of forage through concentrate depends on the concentrate portion and on the forage quality. The TDMI-Index is to be calculated from $SDMI\text{-Index} + CDMI\text{-Index} - 100$. Additionally to the TDMI-Index, feed intake is determined by animal and technical conditioned factors (standardized ECM-yield, LW, and day of lactation). The Wageningen-Dairy Cow Model (DCM) by ZOM et al. (2012a, b) is a so called fill-factor-system, as well, consisting of feed intake capacity of the cows (FIC), faced by the satiety value (SV) of the discrete feeds. The feed intake (DMI) is calculated from the quotient $DMI = FIC / SV$. Contrary to INRA (1989) and NorFor (2011) live weight and milk yield are not essential for the assessment of feed intake capacity FIC, admittedly. Only the number of lactation, stage of lactation as well as stage of pregnancy (days of pregnancy) are taken into account. These parameters are seen as indicators for the size and physiological status of the cow. The utilization of live weight and milk yield was cut out, in order to be able to employ the model for the prediction of performance, as well.

Lebendmasse und Milchleistung nicht herangezogen, sondern nur die Laktationszahl, das Laktationsstadium und das Trächtigkeitsstadium (Tage der Trächtigkeit). Diese werden als Indikatoren für die Größe und das physiologische Stadium der Kuh angesehen. Auf die Verwendung von Lebendmasse und Milchleistung wurde verzichtet, um das Modell auch zur Vorhersage der Leistung verwenden zu können. Die Sättigungswerte (SV) werden für die einzelnen Futtermittel (Grassilage, Grünfütter, Luzerne- und Rotklee-Silage, Maissilage, Getreideganzpflanzen-Silage, Kraftfutter) getrennt mit eigenen Gleichungen über Futterwertparameter errechnet, die üblicherweise auf Betrieben vorliegen (Gehalt an Trockenmasse, Rohprotein, Rohfaser, Verdaulichkeit *in vitro*). Das Futteraufnahme-Schätzmodell von GRUBER et al. (2004) ist ein empirisches Modell, welches Rasse und Laktationszahl als fixe Effekte und das Laktationsstadium sowie tierbedingte Faktoren (Lebendmasse, Milchleistung) und futterbedingte Faktoren (Kraftfutter, NEL-Gehalt des GF) als Regressionsvariable berücksichtigt. Abweichend von anderen Futteraufnahme-Modellen sind die Regressionskoeffizienten für LM, Milch und KF nicht konstant, sondern abhängig vom Laktationsstadium. Auf diese Weise wird den unterschiedlichen physiologischen Stadien der Kuh im Laufe der Laktation Rechnung getragen (KORVER 1982).

Die Evaluierung der Futteraufnahme-Modelle erfolgte in vier Schritten: Errechnung der systematischen Abweichung zwischen beobachteter und geschätzter Futteraufnahme (Bias), Beurteilung der Vorhersage-Genauigkeit mit dem *Mean square prediction error* (MSPE), Aufteilung des MSPE in Bias, Regression und Zufall nach BIBBY und TOUTENBURG (1977) sowie Darstellung der Vorhersage-Genauigkeit über die Regression 'observed – predicted' nach ST-PIERRE (2003).

Das Wageningen-DCM-Modell (ZOM et al. 2012a, b) und NRC (2001) weisen mit +1,6 und +1,4 kg TM die höchste positive systematische Abweichung auf (d.h. systematische Überschätzung der Futteraufnahme). Auch der Bias von NorFor (2011) mit +0,4 kg TM ist relativ hoch. Dagegen ist der Bias des TDMI-Index (HUHTANEN et al. 2011) und des FA-Modells von GRUBER et al. (2004) mit -0,1 bzw. +0,2 kg TM recht niedrig bzw. zu vernachlässigen. Der Bias sagt allerdings nichts aus über das Ausmaß und die Verteilung der Abweichungen. Dies erfolgt mit dem MSPE bzw. dessen Wurzel (*Root mean square prediction error* (RMSPE), in kg TM). Die Futteraufnahme-Modelle Wageningen-DCM (ZOM et al. 2012a, b) und NRC (2001) weisen nicht nur einen hohen systematischen Bias zwischen vorausgesagter und beobachteter Futteraufnahme auf, sondern auch die höchste durchschnittliche Streuung der Differenz zwischen vorausgesagter und beobachteter Futteraufnahme (MSPE, RMSPE). Der RMSPE von Wageningen-DCM (2012) und NRC (2001) beträgt 3,16 bzw. 1,80 kg TM, d.h. bei Anwendung dieser Futteraufnahme-Modelle ist im Durchschnitt mit einem Fehler der Vorhersage in dieser Größenordnung zu rechnen. Dieser Vorhersage-Fehler beträgt bei NorFor (2011) und TDMI-Index (2011) 1,52 bzw. 1,71 kg TM.

By means of special equations satiety values (SV) are separately calculated for the distinct feeds (grass silage, fresh forage, lucerne silage and red clover silage, corn silage, whole-crop cereal silage, concentrates). The necessary parameters of feed value for this purpose (content of DM, crude protein, crude fibre, digestibility *in vitro*) are generally available on the farms. The Feed intake prediction model of GRUBER et al. (2004) is an empirical model considering breed and number of lactation as fixed effects and stage of lactation as well as animal related factors (live weight, milk yield) and feed related factors (concentrates, NEL-content of forage) as regression variables. Differently from other feed intake models the regression coefficients for live weight, milk and concentrates are not constant. They depend on the stage of lactation. Thus, the distinctive physiological stages of the cow during lactation are taken into account (KORVER 1982).

Evaluation of feed intake models has been realized in four steps: calculation of the systematic deviation between observed and predicted feed intake (i.e. bias), assessment of the prediction accuracy by means of the Mean Square Prediction Error (MSPE), splitting of the MSPE in bias, regression and random error (BIBBY and TOUTENBURG 1977) as well as illustration of the prediction accuracy via regression "observed – predicted" according to ST-PIERRE (2003).

The Wageningen-DCM-model (ZOM et al. 2012a, b) and NRC (2001) show the highest positive systematic deviation with +1.6 and +1.4 kg DM (i.e. systematic overprediction of feed intake). With +0.4 kg DM the bias from NorFor (2011) is relatively high, as well. In contrast, the bias of the TDMI-Index (HUHTANEN et al. 2011) (-0.1 kg DM) and of the Feed intake-model by GRUBER et al. (2004) (+0.2 kg DM) are quite low and negligible. Admittedly, the bias does not tell anything concerning the extent and distribution of the deviations. This happens by means of the MSPE and its root (Root Mean Square Prediction Error (RMSPE), kg DM). The feed intake models Wageningen-DCM (ZOM et al. 2012a, b) and NRC (2001) not only evince a high systematic bias between predicted and observed feed intake; they also show the highest average variation of the difference between predicted and observed feed intake (MSPE, RMSPE). The RMSPE from Wageningen-DCM (2012) and NRC (2001) amount to 3.16 and 1.80 kg DM, that is the usage of these feed intake models brings an average prediction error of this dimension. This prediction error accounts for 1.52 kg DM at NorFor (2011) and 1.71 kg DM at the TDMI-Index (2011). The lowest prediction error – i.e. 1.17 kg DM – is to be found at the Feed intake-model of GRUBER et al. (2004).

The components being causative for the prediction error are crucial for evaluation (MSPE). The bias indicates the absolute difference between observed and predicted feed intake. The regression-caused error shows, whether feed intake is systematically under- or overrated depending on the level of feed intake. Deviations caused by bias and regression are not wanted and evince a systematic fundamental error in estimation. Only the

Den geringsten Vorhersage-Fehler weist das FA-Modell von GRUBER et al. (2004) mit 1,17 kg TM auf.

Für die Bewertung ist entscheidend, durch welche Komponenten der Vorhersagefehler (MSPE) verursacht wird. Der Bias gibt die absolute Differenz zwischen beobachteter und geschätzter Futteraufnahme an. Der durch Regression bedingte Fehler zeigt an, ob die Futteraufnahme in Abhängigkeit von ihrer Höhe systematisch unter- oder überschätzt wird. Durch Bias und Regression bedingte Abweichungen sind unerwünscht und weisen auf systematische, grundsätzliche Fehler bei der Schätzung hin. Nur der durch Zufall bedingte Fehler hat keine systematische Fehlerursache und sollte natürlich möglichst klein sein. Die Abweichungen in der Schätzung der Futteraufnahme durch das FA-Modell von GRUBER et al. (2004) sind zum allergrößten Teil (93,4 %) zufallsbedingt und nahezu frei von systematischen Abweichungen bedingt durch Bias (3,7 %) bzw. Regression (2,9 %). Relativ günstig in der Aufteilung des Fehlers schneidet auch der TDMI-Index von HUHTANEN et al. (2011) ab, mit 77,3 % Zufall sowie 0,3 % Bias und 22,4 % Regression, allerdings bei einem höheren Gesamtfehler (1,71 vs. 1,17 kg TM). Bei den anderen Futteraufnahme-Modellen nimmt der Anteil des Zufalls am Gesamtfehler ab und der Anteil der durch Bias oder Regression bedingten Abweichungen zu. Auch in weiteren Evaluierungen hat sich das FA-Modell von GRUBER et al. (2004) als relativ genau und robust erwiesen. Die Begründung für dieses Ergebnis liegt einerseits im sehr umfangreichen Datenmaterial mit entsprechender Streuung der wesentlichen tier- und futterspezifischen Parameter und andererseits in der Wahl eines geeigneten statistischen Modells zur Erarbeitung des Futteraufnahme-Systems.

Schlagwörter: Futteraufnahme, Regulation, Vorhersage, Modellierung, Evaluierung, Milchkühe

random-caused error does not have any systematic reason and should possibly be small, of course. The deviations in prediction of feed intake by means of the Feed intake-model by GRUBER et al. (2004) are random, mostly (93.4%). Systematic deviations caused by bias (3.7%) and regression (2.9%) are nearly nonexistent. The TDMI-Index by HUHTANEN et al. (2011) scores quite well in terms of distribution of errors, as well – 77.3% random, 0.3% bias and 22.4% regression – however there is a higher total error (1.71 vs. 1.17 kg DM). In the other models for feed intake the part of random in total error declines and the part of deviations caused by bias or regression increases. The Feed intake-model by GRUBER et al. (2004) has succeeded in further evaluations, too, as being relatively accurate and robust. The explanation for this result is to find in a very comprehensive data material with appropriate variation in the essential animal- and feed-specific parameters, on the one hand, and in a convenient statistical model for the development of the feed intake-system, on the other hand.

Keywords: Feed intake, regulation, prediction, modelling, evaluation, dairy cows

1. Einleitung

Die möglichst genaue Abschätzung der Futteraufnahme von Milchkühen ist Voraussetzung für eine physiologisch und ökonomisch optimale Rationsgestaltung. Darunter wird allgemein die maximale Grundfutteraufnahme in Verbindung mit jenem Kraftfutteranteil verstanden, der den Energiebedarf der Tiere deckt und wiederkäuergerechte Verdauungsabläufe in den Vormägen sicherstellt (INRA 1989). Die Futteraufnahme von Milchkühen entscheidet über deren Leistung und Körperkondition.

Die genaue Abschätzung der Futteraufnahme ist auch wichtig, Rationen exakt zu formulieren und so Unter- oder Überernährung zu vermeiden sowie das eingesetzte Futter effizient zu nutzen. Eine Unterfütterung vermindert die Leistung und kann die Gesundheit der Nutztiere beeinträchtigen. Überfütterung erhöht die Futterkosten und führt zu einer übermäßigen Ausscheidung von Nährstoffen in die Umwelt und kann ebenfalls gesundheitsschädlich sein (NRC 2001).

Futteraufnahme-Modelle sind heute die Grundlage von EDV-gestützten Programmen zur Rationsoptimierung und der daraus abgeleiteten Kraftfutterzuteilung (SCHWARZ et al. 1996). Das Ziel sind hohe Milchleistungen, geordnete

Pansenfunktionen, niedrige Futterkosten und eine geringe Umweltbelastung.

Im vorliegenden Beitrag wird einleitend die Regulation der Futteraufnahme durch tier- und futterbedingte Faktoren angesprochen und einige Beispiele von älteren Modellen zur Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen angeführt. Weiters werden fünf aktuelle Futteraufnahme-Systeme näher diskutiert und das Ergebnis von deren unabhängiger Evaluierung durch JENSEN et al. (2015) dargestellt.

2. Regulation der Futteraufnahme

Viele Faktoren beeinflussen die Futteraufnahme. Individuelle Theorien betonen einzelne Aspekte von deren Steuerung, wie physikalische Füllung (MERTENS 1994, ALLEN 1996), physiologische Feedback-Faktoren (MERTENS 1994, ILLIUS und JESSOP 1996) oder die Sauerstoff-Aufnahme (KETELAARS und TOLKAMP 1996). Unter spezifischen Situationen dürften einzelne Aspekte überwiegen, aber sehr wahrscheinlich steuern nach FORBES (1996) die einzelnen Effekte und deren Stimuli gemeinsam in ihrer Summe die Futteraufnahme (NRC 2001). Im Fall der Milchkühe ist es folglich besonders die Milchleistung, die über die Futteraufnahme entscheidet (NRC 2001).

Die Futteraufnahme hängt entscheidend von tier- und von futterbedingten Faktoren ab, zusätzlich spielt die Fütterungstechnik eine wesentliche Rolle (PIATKOWSKI et al. 1990). Die Futteraufnahme wird über viele, sehr komplexe Vorgänge gesteuert (Abbildung 1, nach GRUBER et al. 2001). Grundsätzlich wird die Futteraufnahme der Tiere durch sogenannte physiologische und physikalische Faktoren reguliert. Das Ziel des Organismus ist dabei die Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Energiebilanz (physiologische Steuerung, WANGSNESS und MULLER 1981). Der Organismus verbraucht Energie für Erhaltung und verschiedene Leistungskomponenten (Milch, Trächtigkeit etc.). Dies verursacht den Impuls, die verbrauchten Nährstoffe durch Futteraufnahme wieder aufzufüllen. Die Informationen zur Energiebilanz kommen über die flüchtigen Fettsäuren (Essigsäure, Propionsäure) aus dem Pansenstoffwechsel, aus Stoffwechselprodukten (Buttersäure, freie Fettsäuren aus dem Abbau von Fettdepots) und Hormonen (Östrogen, Progesteron, Insulin, Leptin, Cholecystokinin u.a.). Die Signale werden über das Nervensystem in das Gehirn geleitet und dort verarbeitet.

Für den Wiederkäuer sind neben den physiologischen noch physikalisch-mechanische Steuerungsmechanismen von großer Bedeutung, d.h. die Futteraufnahme wird ganz entscheidend auch von der Füllung des Pansens bestimmt. Je schneller der Panseninhalt abnimmt, desto höher ist die

Futteraufnahme. Die Füllung des Pansens wird einerseits durch die mikrobielle Fermentation und andererseits durch die sog. Passage des Futters bestimmt. Der mikrobielle Abbau des Futters wird stark von der Futterqualität (Abbaurrate, Verdaulichkeit) beeinflusst, die Passagegeschwindigkeit hängt neben der Verdaulichkeit vom Zerkleinerungsgrad und der Futterstruktur ab. Die Futterstruktur wirkt über ihren Einfluss auf die Speichelproduktion wieder auf die mikrobielle Fermentation zurück. Allerdings verringert eine hohe Wiederkauzeit auch die für die Futteraufnahme zur Verfügung stehende Zeit (VAN SOEST 1994). Die von der Pansenfüllung ausgehenden Signale werden durch sog. Dehnungsrezeptoren ebenfalls über das Nervensystem an das Gehirn weitergeleitet und dort mit den von der physiologischen Steuerung kommenden Impulsen verarbeitet. Das Ergebnis ist je nach dem Stand der Energiebilanz und der Pansenfüllung das Auslösen oder die Beendigung der Futteraufnahme (VAN SOEST 1994, FORBES 1995, KIRCHGESSNER 2014).

3. Gleichungen und Modelle zur Vorhersage der Futteraufnahme

Aus dem vorangehenden Abschnitt kommt klar zum Ausdruck, daß einerseits der Energiebedarf der Kuh und andererseits die Futterqualität (Verdaulichkeit, Abbaurrate)

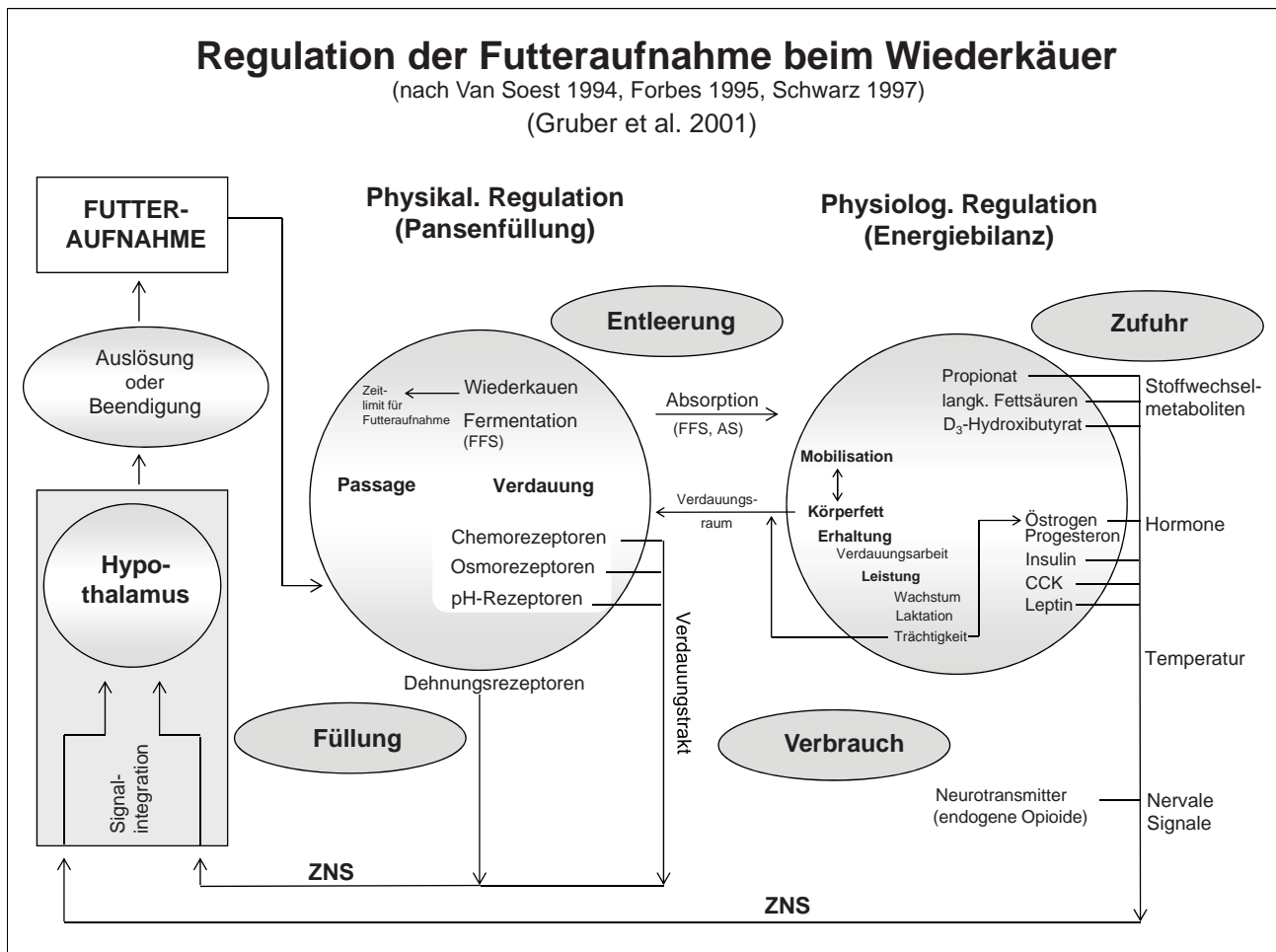


Abbildung 1: Steuerung der Futteraufnahme durch physiologische und physikalische Faktoren (nach LANGHANS 1989, VAN SOEST 1994, FORBES 1995, SCHWARZ 1997)

die maßgeblichen Einflussgrößen auf die Futtermittelaufnahme darstellen. Welcher der beiden Einflusskomplexe stärker zum Tragen kommt, hängt von der spezifischen Tier/Futter-Konstellation ab. Neben diesem, von den theoretischen Überlegungen her, sehr plausiblen Ansatz der Futtermittelaufnahmeregulation durch Pansenfüllung/Energiebedarf wurden von vielen Arbeitsgruppen (mehr oder weniger komplexe) multiple Regressionsgleichungen entwickelt. Diese beinhalten letztlich ebenfalls nutritive (Futterqualität) und physiologische (Bedarf, Lebendmasse als Parameter für Pansenvolumen) Komponenten. Eine Sonderstellung nimmt das Fill Unit-System von INRA (1989) ein. Einzelnen Futtermitteln (nicht Rationen) wird eine bestimmte Füllwirkung – relativ zu einem Standardfutter (Weidegras) – zugeordnet. Dem steht die Futtermittelaufnahmekapazität der Tiere gegenüber, die ebenfalls in Fill units ausgedrückt wird.

Der vorliegende Abschnitt befasst sich mit der Auswahl und dem Wert der in Schätzformeln herangezogenen Regressionskoeffizienten. Weiters werden einige Schätzformeln an einem umfangreichen und sehr heterogenen Datenmaterial aus Fütterungsversuchen an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein getestet (GRUBER et al. 2001). Eine Übersicht über verschiedene Modelle zur Schätzung der Futtermittelaufnahme von Milchkühen und wachsenden Rindern gibt die Review von INGVARTSEN (1994).

3.1 Beschreibung von älteren Futtermittelaufnahme-Schätzformeln

Tabelle 1 gibt einen Überblick über drei wesentliche Einflussparameter auf die Futtermittelaufnahme aus einigen Regressionsgleichungen. Dabei wird unterschieden, ob die Grund- oder Gesamtfuttermittelaufnahme (GF, GES) das Ziel ist. Außerdem wird häufig nach Laktationszahl (LAK) diffe-

renziert. Die Regressionskoeffizienten für Lebendmasse bewegen sich zwischen 0,005 (ROSELER et al. 1997) und 0,017 (MERTENS 1994). Die Koeffizienten besagen, dass die Futtermittelaufnahme pro 100 kg Lebendmasse (LM) um 0,5 bis 1,7 kg TM ansteigt. Wie aus dem Datenmaterial von Weihenstephan hervorgeht (SCHWARZ und KIRCHGESSNER 1985, SCHWARZ et al. 1996), zeigt sich bei erstlaktierenden Kühen ein stärkerer Einfluss der Lebendmasse auf die Futtermittelaufnahme als bei Kühen mit mehr Laktationen (0,012 vs. 0,008). Dies wirkt sich bei Grundfutter weniger aus als bei der Gesamtration (0,009 vs. 0,011). Der Mittelwert aller angeführten Regressionskoeffizienten beträgt 0,011.

Da die Milchleistung häufig mit anderen Parametern korreliert, ist die Interpretation vorsichtig durchzuführen und nur mit Einschränkungen möglich. So besteht in vielen Datensätzen auf Grund des Fütterungsregimes eine Beziehung zwischen Milchleistung und Kraftfutterniveau (SCHWARZ et al. 1996). Daher werden die Regressionskoeffizienten unterschiedlich ausfallen, ob Kraftfutter in die Formel eingeht oder nicht. Im Mittel aller ausgewerteten Gleichungen ergibt sich ein Anstieg von 0,25 kg TM (Gesamtfutter), wenn die Milchleistung um 1 kg ECM ansteigt. In diesem Bereich liegen viele amerikanische Untersuchungen (BROWN et al. 1977, MERTENS 1994, HOLTER et al. 1997), jedoch auch in Europa erarbeitete Gleichungen (INRA 1989, GRUBER et al. 1990). Wie bei der Lebendmasse, deutet sich auch bei der Milchleistung eine stärkere Wirkung bei erstlaktierenden Kühen an.

Von den oben angeführten theoretischen Überlegungen wird klar, daß auch ein Parameter des Futterwertes (stellvertretend wird die Energiekonzentration MJ NEL herangezogen) in Futtermittelaufnahmeschätzformeln einfließen soll. Aus den Koeffizienten werden große Unterschiede

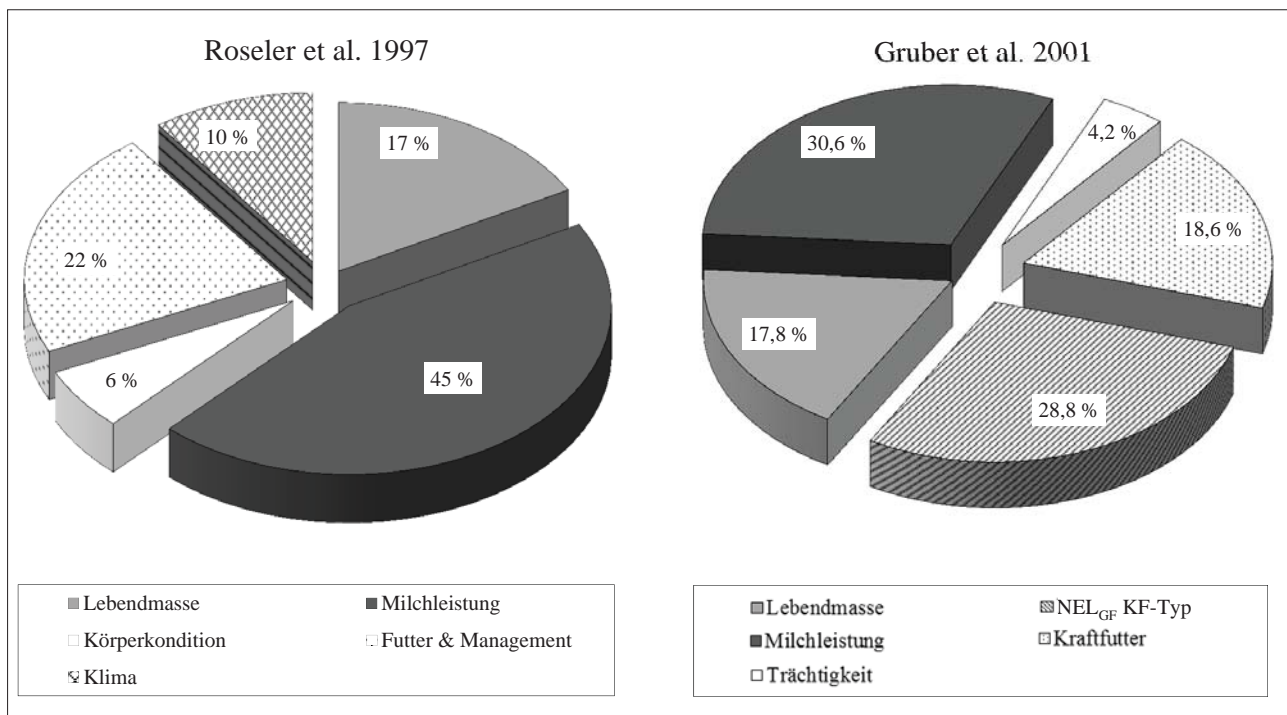


Abbildung 2: Einflussfaktoren auf die Futtermittelaufnahme. Bei energiereichen Rationen (ROSELER et al. 1997) überwiegt die physiologische Regulation, bei Rationen mit niedriger Energiekonzentration (d.h. geringer Kraftfuttermittelanteil und niedrige Grundfutterqualität, GRUBER et al. 2001) wird die Futtermittelaufnahme vorwiegend physikalisch reguliert

zwischen Amerika und Europa ersichtlich. Das Mittel aller Regressionskoeffizienten für NEL beträgt 1,62. Die amerikanischen Gleichungen (BROWN et al. 1977, MERTENS 1994) weisen einen deutlich niedrigeren Einfluss der Futterqualität auf die Futtermittelaufnahme aus als die europäischen (SCHWARZ und KIRCHGESSNER 1985, DLG 1986, MENKE 1987, JANS und KESSLER 1994, INRA 1989). Dies dürfte mit der Rationsgestaltung (hohe Kraftfutteranteile in den USA) zusammenhängen und bestätigt indirekt das Futtermittelaufnahmmodell von MERTENS (1994), wonach die Futtermittelaufnahme energiereicher Rationen vorwiegend

physiologisch geregelt wird. Die Aufteilung der Varianzursachen in *Abbildung 2* zeigt, dass die Futtermittelaufnahme bei energiereichen Rationen (ROSELER et al. 1997) zu 45 % durch die Milchleistung und nur zu 22 % über das Futter erklärt wird. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Futtermittelaufnahme der Kühe unter amerikanischen Bedingungen mit Rationen von hoher Energiekonzentration (ca. 50 % Kraftfutteranteil) vorwiegend physiologisch gesteuert war. Demgegenüber waren in den eigenen Versuchen (GRUBER et al. 2001) die tierbedingten Faktoren zu 53 % und die futterbedingten Faktoren zu 47 % an der Regulation der

Tabelle 1: Lineare Regressionskoeffizienten für Lebendmasse, Milchleistung und Energiekonzentration zur Schätzung der Grund- bzw. Gesamtfuttermittelaufnahme in verschiedenen Futtermittelaufnahmeschätzformeln (Werte direkt übernommen oder aus Modellrechnungen kalkuliert)

LAKTATIONSZAHL (LAK)	GRUNDFUTTER			GESAMTFUTTER		
	alle LAK	LAK=1	LAK>1	alle LAK	LAK=1	LAK>1
LEBENDMASSE (kg LM)						
Lindner et al. 1981	-	-	-	0,014	0,016	-
Schwarz und Kirchgeßner 1985	-	0,014	0,006	-	-	-
Schwarz et al. 1996	0,009	-	-	-	-	-
DLG 1986	0,006	-	-	-	-	-
Menke 1987	-	-	-	0,012	-	-
Gruber et al. 1990	-	0,009	0,008	-	0,009	0,009
Jans und Kessler 1994	-	-	-	-	-	-
INRA 1989	-	-	-	0,010	-	-
AFRC 1991	-	-	-	-	-	-
Vadivelloo und Holmes 1979	-	-	-	0,015	-	-
Brown et al. 1977	-	-	-	0,010	-	-
NRC 1989	-	-	-	0,015	-	-
Mertens 1994	-	-	-	-	-	-
Holter et al. 1997	-	-	-	-	0,009	0,009
Roseler et al. 1997	-	-	-	-	0,012	0,005
MILCHLEISTUNG (kg ECM)						
Lindner et al. 1981	-	-	-	0,148	0,464	-
Schwarz und Kirchgeßner 1985	-	-	-	-	-	-
Schwarz et al. 1996	-	-	-	-	-	-
DLG 1986	-	-	-	-	-	-
Menke 1987	-	-	-	0,132	-	-
Gruber et al. 1990	-	0,200	0,203	-	0,335	0,266
Jans und Kessler 1994	-	0,049	0,028	-	0,313	0,337
INRA 1989	-	-	-	-	-	-
AFRC 1991	0,152	-	-	-	-	-
Vadivelloo und Holmes 1979	-	-	-	0,181	-	-
Brown et al. 1977	-	-	-	0,283	-	-
NRC 1989	-	-	-	0,389	-	-
Mertens 1994	-	-	-	0,240	-	-
Holter et al. 1997	-	-	-	-	0,364	0,364
Roseler et al. 1997	-	-	-	-	0,327	0,279
ENERGIEGEHALT (MJ NEL)						
Lindner et al. 1981	-	-	-	-	-	-
Schwarz und Kirchgeßner 1985	-	2,30	2,15	-	-	-
Schwarz et al. 1996	0,85	-	-	-	-	-
DLG 1986	2,97	-	-	-	-	-
Menke 1987	-	-	-	2,34	-	-
Gruber et al. 1990	-	-	1,54	-	1,57	1,88
Jans und Kessler 1994	-	2,84	2,75	-	-	-
INRA 1989	-	-	-	2,23	-	-
AFRC 1991	1,70	-	-	-	-	-
Vadivelloo und Holmes 1979	-	-	-	-	-	-
Brown et al. 1977	-	-	-	0,93	-	-
NRC 1989	-	-	-	-	-	-
Mertens 1994	-	-	-	0,93	-	-
Holter et al. 1997	-	-	-	-	-0,55	-0,55
Roseler et al. 1997	-	-	-	-	-	-

Futteraufnahme beteiligt. In diesen Versuchen wurden die Tiere zum Teil mit Grundfutter niedriger Qualität und mit unter dem Bedarf liegenden Kraftfuttermengen gefüttert. Die Kühe verzehrten ihre Ration in dieser Situation bis zur mechanischen Sättigung (maximale Pansenfüllung), ohne ihren Energiebedarf vollständig decken zu können (SCHWARZ und GRUBER 1999).

Insgesamt sind die angeführten Regressionskoeffizienten nur sehr vorsichtig zu interpretieren, da sie unter sehr unterschiedlichen Bedingungen erstellt wurden und außerdem mit anderen Parametern korrelieren. Sie sind daher strenggenommen nicht losgelöst voneinander zu deuten. Daher werden die angeführten Regressionsgleichungen in einem nächsten Schritt in ihrer Gesamtheit betrachtet und an den Ergebnissen von tatsächlichen Futteraufnahmedaten gemessen (GRUBER et al. 2001).

3.2 Testung der Schätzformeln an Futteraufnahmedaten der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Das zur Testung verwendete Datenmaterial weist in den zur Diskussion stehenden Parametern eine große Streubreite auf und deckt einen weiten Bereich in den tierspezifischen Faktoren (450 - 800 kg LM, 2 - 46 kg ECM, 2 - 437 Laktationstage) und den Futterparametern (Verdaulichkeit des Grundfutters 57 - 79 % dO, Kraftfuttermenge 0 - 67 %) ab. Die Grundfutter- und Gesamtfutteraufnahme hat einen Bereich von 6,5 - 17,6 kg TM bzw. 7,2 - 24,9 kg TM (GRUBER et al. 2001). Zur Beurteilung der Schätzgenauigkeit wurden die tatsächlichen Futteraufnahmen den mit den Gleichungen vorausgesagten gegenübergestellt (observed – predicted). Daraus wurde die mittlere quadrierte Abweichung (MSPE, *Mean square prediction error*) errechnet und nach der von BIBBY und TOUTENBURG (1977) beschriebenen Weise auf die drei Komponenten Bias (systematische Abweichung), Abweichung des Regressionskoeffizienten von 1 und der verbleibenden Zufallsabweichung aufgeteilt (Tabelle 2).

Der absolute Vorhersagefehler (APE) errechnet sich aus der Wurzel des MSPE (RMSPE, *Root mean square prediction error*) und der relative Vorhersagefehler (RPE) stellt den APE relativ zum Mittel der beobachteten Futteraufnahme dar.

Der relative Vorhersagefehler für die Grundfutteraufnahme liegt zwischen 12 % (GRUBER et al. 1990) und 29 % (AFRC 1991). In einer Validierung verschiedener Futteraufnahme-Schätzgleichungen durch STAMER et al. (1993) an einem Datenmaterial aus Norddeutschland (Universität Kiel) hat die Gleichung von GRUBER et al. (1990) den geringsten Schätzfehler mit dem geringsten Bias aller untersuchten Modelle ergeben. Nach den Ergebnissen in Tabelle 2 arbeiten die Formeln von SCHWARZ und KIRCHGESSNER (1985) und SCHWARZ et al. (1996) relativ genau. Dabei bestehen kaum systematische Abweichungen, sondern sind zu 83 bzw. 88 % durch Zufall bedingt. Die DLG-Schätzformel (1986) weist einen ziemlich hohen relativen Vorhersagefehler von 20 % auf, der darüber hinaus eine systematische Abweichung im Ausmaß von 46 % aufweist. Die Schätzfehler für die Gesamtfutteraufnahme liegen in einer ähnlichen Größenordnung. Neben der Formel von MENKE (1987) weisen die amerikanischen Schätzgleichungen von BROWN et al. (1977) und MERTENS (1994) mit 11 - 14 % die relativ höchste Vorhersagegenauigkeit der Gesamtfutteraufnahme auf, wobei kaum systematische Abweichungen auftreten (Anteil der zufallsbedingten Streuung 76 - 84 %). Trotz der anerkannten theoretischen Grundlage liegt das Fill Unit-System (INRA 1989) mit 16 % Vorhersagefehler nur im mittleren Bereich, wobei fast die Hälfte der Streuung auf systematische Abweichungen zurückzuführen ist. Die später publizierten amerikanischen Formeln (HOLTER et al. 1997, ROSELER et al. 1997), sowie NRC (1989) und VADIVELLO und HOLMES (1979) erwiesen sich für das vorliegende Datenmaterial als am wenigsten anwendbar. Die Beziehungen zwischen tatsächlicher und geschätzter Futteraufnahme von sechs Futteraufnahmeformeln sind in Abbildung 3 dargestellt.

Tabelle 2: Mittlere quadrierte (MSPE), absolute (APE, RMSPE) und relative Vorhersagefehler (RPE) von Futteraufnahme-Schätzformeln und Anteile von Bias (systematische Abweichung), Regression und Zufallsabweichung am MSPE (in %)

Varianz		Vorhersagefehler			Varianz bedingt durch ...		
		MSPE	APE	RPE	Bias	Regression	Zufall
Pallauf und Kirchgessner 1977	GF	6,9	2,6	21,5	37,6	1,0	61,4
Lindner et al. 1981	GES	4,8	2,2	14,4	13,3	0,3	86,4
Schwarz und Kirchgessner 1985	GF	3,8	2,0	16,0	16,6	0,3	83,1
Schwarz et al. 1996	GF	3,7	1,9	15,7	8,2	3,5	88,3
DLG 1986	GF	6,3	2,5	20,5	46,2	0,2	53,6
Menke 1984	GES	7,9	2,8	18,4	46,8	6,6	46,6
Menke 1987	GES	3,2	1,8	11,7	9,7	6,0	84,4
Lang 1995	GES	12,3	3,5	23,1	73,1	5,9	21,0
Gruber et al. 1990	GF	2,1	1,4	11,7	2,7	2,3	95,0
Gruber et al. 1990	GES	2,4	1,6	10,2	5,8	9,5	84,6
Jans und Kessler 1994	GF	9,5	3,1	25,2	59,2	1,4	39,4
Jans und Kessler 1994	GES	5,7	2,4	15,7	55,1	0,9	44,0
INRA 1989	GES	5,8	2,4	15,9	24,0	19,0	57,0
AFRC 1991	GF	12,1	3,5	28,9	79,1	0,3	20,6
Vadivello und Holmes 1979	GES	16,4	4,1	26,6	55,1	21,0	23,8
Brown et al. 1977	GES	2,9	1,7	11,3	18,1	6,3	75,7
NRC 1989	GES	19,5	4,4	29,0	75,8	5,6	18,6
Mertens 1994	GES	4,2	2,1	13,5	0,7	15,1	84,2
Holter et al. 1997	GES	8,2	2,9	18,8	73,6	0,3	26,1
Roseler et al. 1997	GES	8,7	2,9	19,3	50,6	11,5	37,9

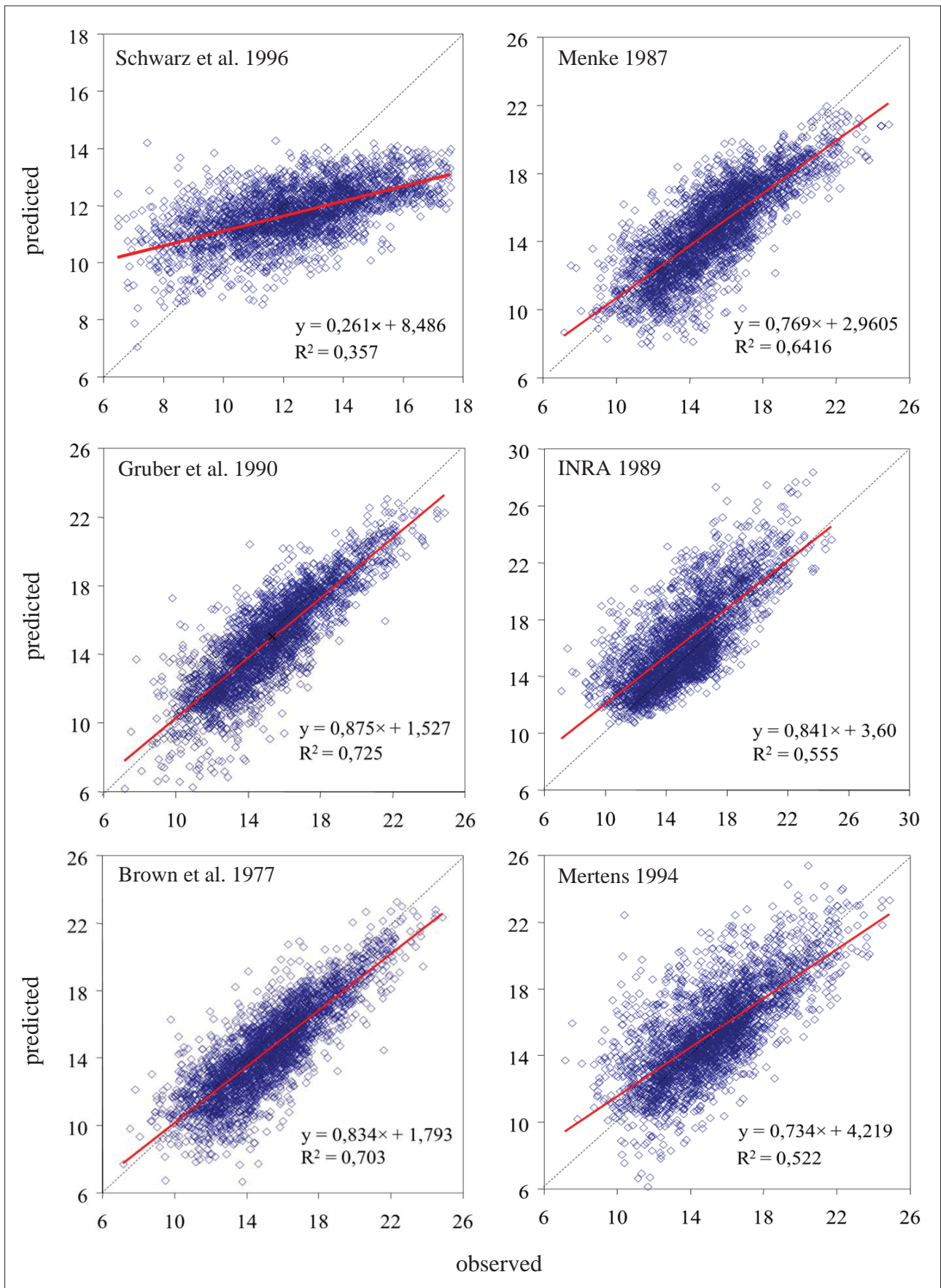


Abbildung 3: Beziehungen zwischen tatsächlicher Futteraufnahme (observed) und der durch verschiedene Formeln vorausgesagten Futteraufnahme (predicted)

Tabelle 3: Erforderliche tier- und futterspezifische Input-Parameter der fünf Futteraufnahme-Modelle sowie Charakteristik des Datenmaterials zur Ableitung des Futteraufnahme-Schätzmodells in den fünf Modellen der Evaluierung von JENSEN et al. (2015)

Modell	FA-Modell	NorFor-Modell	TDMI-Index	Wagenen-DCM	FA-Modell
Autoren	NRC (2001)	VOLDEN et al. (2011)	HUHTANEN et al. (2011)	ZOM et al. (2012a, b)	GRUBER et al. (2004)
Tierfaktoren	– – Lebendmasse FCM Laktationswoche	– – Lebendmasse ECM Laktationstag	– – Lebendmasse stand. ECM Laktationstag	– Laktationszahl – Laktationstag	Rasse Laktationszahl Lebendmasse Milch Laktationstag
Futterfaktoren (Grundfutter)	– – – – – – – –	Verdaulichkeit der OM NDF Stärke und Zucker – Gesamtsäure (Silage) NH3-N – Konstant – –	Verdaul. OM in TM NDF – Trockenmasse Gesamtsäure (Silage) 2. Aufwuchs Leguminosen Getreide-GPS KF-Menge SDMI-Index EPD, NDF, XF des KF	Verdaulichkeit der OM Rohfaser Rohprotein Trockenmasse – – – – XF des KF	NEL – – – – – – – Laktationsabhängig – –
Futterfaktoren (Kraffutter)	– – – – – – – –	– – – – – – – –	– – – – – – – –	– – – – – – – –	– – – – – – – –
Datenmaterial für Modell					
Lebendmasse (kg)	598 ± 47 (507 - 745)	577 ± 59 (437 - 775)	599 ± 66 (443 - 802)	593 ± 74 (400 - 963)	633 ± 75 (398 - 999)
Milchleistung (kg)	26,8 ± 5,1 (17,5 - 38,1) ²⁾	29,9 ± 5,8 (15,1 - 48,9) ³⁾	30,4 ± 7,1 (8,4 - 52,8) ¹⁾	29,9 ± 7,3 (5,5 - 71,4) ¹⁾	24,3 ± 8,1 (2,2 - 60,6) ¹⁾
Laktationszahl	–	–	–	2,4 ± 1,6 (1 - 11)	2,7 ± 1,7 (1 - 12)
Laktationstag	96 ± 60 (11 - 258)	123 ± 65 (7 - 328)	114 ± 48 (30 - 286)	115 ± 82 (1 - 584)	138 ± 78 (2 - 459)
Futteraufnahme (kg TM)	19,6 ± 3,4 (11,2 - 25,4)	19,7 ± 3,4 (9,7 - 32,3)	20,6 ± 3,0 (10,8 - 29,3)	20,7 ± 3,1 (4,5 - 37,8)	18,5 ± 3,4 (6,2 - 31,6)
Kraffutteranteil (% der TM)	–	42 ± 10 (14 - 84)	46 ± 12 (12 - 81)	38 ± 11 (0 - 77)	28 ± 17 (0 - 80)

¹⁾ Milch, ²⁾ FCM, ³⁾ ECM

4. Beschreibung der in der Evaluierung von JENSEN et al. (2015) diskutierten Futteraufnahme-Modelle

In der Arbeit von JENSEN et al. (2015) werden fünf aktuelle Futteraufnahme-Modelle hinsichtlich ihrer Vorhersagegenauigkeit verglichen, die sich in ihrem Zugang zur Modellierung und in den Herkunftsländern unterscheiden, somit auch in der Datengrundlage (Unterschiede in den tier- und futterspezifischen Faktoren wie Rassen, Milchleistung, Grundfutter, Kraffutterniveau etc.). Wesentliche Aspekte und die erforderlichen Input-Variablen der fünf Futteraufnahme-Modelle sind nach JENSEN et al. (2015) in *Tabelle 3* angeführt. Weiters wird auch die Datenbasis beschrieben, mit der die fünf Futteraufnahme-Modelle jeweils entwickelt wurden. Nachfolgend werden die fünf Systeme kurz beschrieben, für eingehende Informationen wird auf die Originalarbeiten verwiesen.

4.1 Modell von NRC (2001)

Das Futteraufnahme-Modell von NRC (2001) ist das einfachste der von JENSEN et al. (2015) diskutierten Systeme. Es berücksichtigt nur Tier- und Produktionskriterien, nämlich Laktationsstadium (Laktationswoche), Milchleistung (FCM) und Lebendmasse (LM^{0,75}), jedoch keine futterspezifischen Input-Parameter wie z.B. Grundfutterqualität und Kraffutterniveau (*Tabelle 3*). Das NRC-Modell beruht auf den Daten von 17.087 Kuh-Wochen der Rasse Holstein (davon 35 % Erstlaktation) über einen Zeitraum von 10 Jahren (1988 - 1997). Die Kühe aus den ausgewählten Versuchen erhielten ein breites Spektrum an Futterrationen, mit bzw. ohne Behandlung mit bovinem Somatotropin (BST). Eine Unterscheidung in erst- und höherlaktierende Kühe erfolgt nicht, die Unterschiede in der Futteraufnahme auf Grund der Laktationszahl (d.h. Alter) wird laut NRC (2001) durch die Lebendmasse und Milchleistung hinreichend genau berücksichtigt.

4.2 Modell von NorFor (2011)

Das Futteraufnahme-Modell von NorFor (2011) ist Teil eines umfassenden, semi-mechanistischen Fütterungssystems für Rinder der nordischen Staaten Dänemark, Island, Norwegen und Schweden (The Nordic Feed Evaluation System, VOLDEN et al. 2011). Dieses System

besteht aus mehreren Abschnitten, nämlich (1) Input zur Beschreibung von Tier- und Futtercharakteristika, (2) Modul zur Simulation der Verdauungsprozesse und der Stoffwechselfvorgänge, sog. Futterrations-Rechner, (3) Modul zur Vorhersage der Futtermittelaufnahme, (4) Modul zur Bewertung der physikalischen Struktur der Ration und (5) Output zur Beschreibung der Nährstoffversorgung, Nährstoffbilanzen und der Leistungsresponse.

Das NorFor-Futtermittelaufnahme-Modell ist ein sog. Füllfaktor-System (ähnlich INRA 1989). Die Tiere weisen eine bestimmte Futtermittelaufnahme-Kapazität auf (IC, *Intake capacity*), die von der Lebendmasse (LM), der Milchleistung (ECM), dem Laktationsstadium (Laktationstage, DIM (*days in milk*)), der Rasse und der Laktationszahl (Erst- und höherlaktierende Kühe) bestimmt wird. Dem steht die Füllwirkung (FV, *Fill value*) der Futtermittel gegenüber. IC und FV werden in gleichen, frei gewählten Einheiten ausgedrückt. Der FV der Kraftfutter ist konstant. Dagegen ist der FV der Grundfutter variabel und hängt von der Verdaulichkeit (OMD) und dem NDF-Gehalt ab. Bei Silagen wird auch die Gärqualität berücksichtigt (Gehalt an Gärsäuren und Ammoniak-N). Weiters wird der FV des Grundfutters noch von der Menge und dem Gehalt der Ration an Stärke und Zucker beeinflusst, somit vom Kraftfutterniveau. Dies entscheidet auch über das Ausmaß der Verdrängung von Grundfutter durch Kraftfutter (SubR, *substitution rate*). Die Futtermittelaufnahme bei einer bestimmten IC entspricht der Summe der FV der einzelnen Futtermittel ($IC = \sum FV$). Grundlage des Modells sind die Daten von 183 Mittelwerten von Versuchsgruppen aus 28 Fütterungsversuchen in Dänemark, Island, Norwegen und Schweden. In diesen Versuchen wurden Kühe der Rasse Danish Holstein (DH), Swedish Red (SR), Swedish Holstein (SH), Norwegian Red (NR) und die Island-Rasse (IB) gehalten.

4.3 Total Dry Matter Intake Index-Modell (TDMI-Index) von HUHTANEN et al. (2011)

Das TDMI-Index-System von HUHTANEN et al. (2011) ist ein empirisches Regressionsmodell und die Kombination des Silage-DMI-Index (SDMI-Index; HUHTANEN et al. 2007) und des Concentrate-DMI-Index (CDMI-Index; HUHTANEN et al. 2008). Der SDMI-Index berücksichtigt den Gehalt an verdaulicher organischer Masse (D-value, d.h. DOMD = verdauliche organische Masse in TM), den Gehalt an Gärsäuren, den Gehalt an NDF, den Gehalt an Trockenmasse (TM) sowie weitere Faktoren (Anteil Folgeaufwuchs, Anteil Leguminosen, Anteil Getreide-Ganzpflanzen) in ihrem Einfluss auf die Silageaufnahme (in TM). In gleicher Weise beschreibt der CDMI-Index den Einfluss der Kraftfuttermenge (KF), der Proteinmenge aus KF, der Proteinabbaubarkeit des KF, des NDF-Gehaltes und Fett-Gehaltes des KF in ihrem Einfluss auf die Silageaufnahme (in TM). Die Berechnung des CDMI-Index hängt auch vom SDMI-Index ab. Dies kann als eine Wechselwirkung zwischen Grundfutterqualität und Kraftfuttermittelaufnahme interpretiert werden. Die Grundfutter-Verdrängung durch KF hängt ab von der Kraftfuttermenge und der Qualität des Grundfutters (ausgedrückt als SDMI-Index). Eine steigende Kraftfuttermittelaufnahme führt zu einem nicht-linearen, progressiven Rückgang der Grundfuttermittelaufnahme. Auf diese Zusammen-

hänge zwischen Grundfutterqualität und Kraftfuttermenge haben bereits MENKE (1987) und FAVERDIN et al. (1991) hingewiesen. Neben dem Einfluss des Kraftfutters auf die Säurelast im Pansen (KAUFMANN 1976, VAN HOUTERT 1993, ZEBELI et al. 2012) ist ein weiterer Grund für die Grundfutter-Verdrängung in der durch Kraftfutter erhöhten Energiebilanz zu sehen, durch welche die Futtermittelaufnahme ursächlich gesteuert wird (WANGSNES und MULLER 1981, FAVERDIN et al. 1991, ILLIUS und JESSOP 1996, GRUBER et al. 2001).

Der TDMI-Index errechnet sich aus SDMI-Index + CDMI-Index – 100. Eine Einheit des SDMI-, CDMI- und TDMI-Index entspricht einer Menge von 0,10 kg TM-Aufnahme pro Tag. Zusätzlich zum TDMI-Index wird die Futtermittelaufnahme von Tier- und Produktionsfaktoren bestimmt (standardisierte ECM-Leistung (sECM), LM, DIM).

Die sECM wurde anstelle der aktuellen ECM (aECM) im Modell herangezogen, da die aECM nicht nur eine Funktion des genetischen Milchleistungspotenzials darstellt, sondern auch vom Laktationsstadium, der Futterration und vom Management beeinflusst wird, das genetische Potenzial folglich von Umweltfaktoren überlagert ist. Darüber hinaus ist die aECM zum Zeitpunkt der Schätzung der Futtermittelaufnahme häufig nicht bekannt. Die sECM errechnet sich aus den Faktoren aECM, TDMI-Index, metabolisierbares Protein (MP) und DIM (HUHTANEN et al. 2011). Die sECM sollte nicht als maximales Milchleistungspotenzial einer Kuh betrachtet werden, sondern als die Milchleistung bei einem festgelegten Laktationsstadium (150 DIM) sowie bei einer standardisierten Fütterung (Protein, Futtermittelaufnahme).

Die experimentelle Grundlage zur Ableitung des multiplen Regressionsmodells beruht auf den individuellen Ergebnissen (d.h. Einzeltiere) aus 14 Fütterungsversuchen in Finnland (n = 1.554). In diesen Versuchen wurden die zwei wichtigsten Rassen in Finnland gehalten (Finnish Ayrshire und Holstein Friesian) und 106 verschiedene Grundfütterationen (Vegetationsstadium, Aufwuchs, Getreide-Ganzpflanzensilage, Leguminosen etc.) geprüft.

4.4 Wageningen UR Dairy cow-Modell (Wageningen-DCM) von ZOM et al. (2012)

Das Wageningen-DCM-Modell von ZOM et al. (2012a, b) ist ebenfalls ein sog. Füllfaktor-System (wie INRA 1989 und NorFor 2011), bestehend aus der Futtermittelaufnahme-Kapazität der Kühe (FIC, *Feed intake capacity*), dem der Sättigungswert (SV, *Satiety value*) der einzelnen Futtermittel gegenüber steht. Die Futtermittelaufnahme (DMI) errechnet sich ebenfalls aus dem Quotienten $DMI = FIC / SV$. Im Gegensatz zu INRA (1989) und NorFor (2011) werden allerdings zur Abschätzung der Futtermittelaufnahme-Kapazität FIC die Lebendmasse (LM) und Milchleistung nicht herangezogen, sondern nur die Laktationszahl, das Laktationsstadium (DIM) und das Trächtigkeitsstadium (Tage der Trächtigkeit). Diese werden als Indikatoren für die Größe und das physiologische Stadium der Kuh angesehen. Auf die Verwendung von Lebendmasse und Milchleistung wurde verzichtet, um das Modell auch zur Vorhersage der Leistung verwenden zu können. Die FIC steigt mit der Zahl der Laktationen und im Laktationsverlauf an, wie auch im Futtermittelaufnahme-

Schätzmodell von GRUBER et al. (2004) ermittelt wurde. Die Sättigungswerte (SV) werden für die einzelnen Futtermittel (Grassilage, Grünfütter, Luzerne- und Rotklee-Silage, Maissilage, Getreideganzpflanzen-Silage, Kraftfutter) getrennt mit eigenen Gleichungen über Futterwertparameter errechnet, die üblicherweise auf Betrieben vorliegen (Gehalt an Trockenmasse, Rohprotein, Rohfaser, Verdaulichkeit *in vitro*). Auch Kraftfutter hat einen Sättigungswert, der von dessen Rohfaser-Gehalt abhängt. Die Verdrängung des Grundfutters durch KF ist konstant, d.h. unabhängig von der Kraftfuttermenge bzw. der Grundfutterqualität.

Die Daten zur Entwicklung des Modells stammen aus 32 Fütterungsversuchen auf 9 Versuchstationen in Holland, mit 1.507 einzelnen hochleistenden Kühen der Rasse Holstein mit vorwiegend hohem Kraftfutterniveau, bestehend aus 38.515 Wochenmittelwerten.

4.5 Futterraufnahme-Schätzmodell (FA-Modell) von GRUBER et al. (2004)

Das Futterraufnahme-Schätzmodell von GRUBER et al. (2004) ist ein empirisches Modell, welches fixe Effekte (Rasse, Laktationszahl) und das Laktationsstadium sowie tierbedingte Faktoren (Lebendmasse [LM], Milchleistung [Milch]) und fütterbedingte Faktoren (Kraftfutter [KF], NEL-Gehalt des GF [NEL_{GF}]) als Regressionsvariable berücksichtigt. Abweichend von anderen Futterraufnahme-Modellen sind die Regressionskoeffizienten für LM, Milch, KF und NEL_{GF} nicht konstant, sondern abhängig vom Laktationsstadium. Auf diese Weise wird den unterschiedlichen physiologischen Stadien der Kuh im Laufe der Laktation Rechnung getragen (KORVER 1982).

Die Datenbasis zur Ableitung des FA-Modells besteht aus 25.482 Zweiwochen-Mittelwerten von 2.264 verschiedenen Kühen der Rassen Fleckvieh, Brown Swiss und Holstein. Diese Daten stammen aus 77 Fütterungsversuchen in Österreich, Deutschland und der Schweiz. Das Datenmaterial ist durch eine sehr große Streuung in den wesentlichen tier- und futterspezifischen Kriterien gekennzeichnet (398 - 999 kg LM, 2 - 61 kg Milch, 0 - 80 % Kraftfutter, 4,1 - 7,4 MJ NEL_{GF} , 4 - 31 kg TM Grundfutter, 6 - 32 kg TM Gesamtfutter, -105 - 96 MJ NEL Energiebilanz). Das FA-Modell wurde von der DLG zur Anwendung empfohlen (DLG 2006) und wird auch in Österreich in mehreren Fütterungsprogrammen zu Schätzung der Futterraufnahme herangezogen (z.B. SUPERRATION 2004, ONLINE-Rationsprogram 2014) bzw. zur Anwendung empfohlen (TIEFENTHALLER 2015).

Die drei skandinavischen Datensätze (NorFor 2011, TDMI-Index 2011, Wageningen-DCM 2012) sind in ihren tier- und futterspezifischen Parametern sehr ähnlich, sogar in den Streuungsmaßen der Kriterien (durchschnittlich 580

- 600 kg Lebendmasse 29,9 - 30,4 kg Milch, 19,7 - 20,7 kg TM Futterraufnahme, 38 - 46 % Kraftfutter). Auch von einer ähnlichen, und zwar überdurchschnittlichen, Grundfutterqualität kann ausgegangen werden. Demgegenüber ist die Milchleistung mit 26,8 kg des Datenmaterials NRC (2001) etwas niedriger, bei gleich hoher Futterraufnahme (19,6 kg TM). In allen dieser vier Modelle wurde die Rasse Holstein bzw. andere milchbetonte Rassen (Ayrshire etc.) verwendet. Gras- und Maissilage waren die wesentlichen Grundfutterkomponenten. In der Auswertung von GRUBER et al. (2004) wurden die Daten von 10 Universitäts- und Forschungsinstituten von Deutschland, Österreich und Schweiz herangezogen, was eine sehr große Streuung in den tier- und futterspezifischen Parametern ergab. Dies betrifft einerseits die Rassen (Fleckvieh, Brown Swiss, Holstein) und andererseits die Zusammensetzung der Grundfütterationen (neben Grassilage und Maissilage auch Wiesenheu sowie Grünfütter in der Sommerfütterung) sowie auch das Kraftfutterniveau (28 %). Besonders in den Versuchen von Gumpenstein wurden die Tiere zum Teil auch ohne Kraftfutter gefüttert und auch Grundfutter sehr unterschiedlicher Qualität (von niedrig bis hoch) eingesetzt. Diese Aspekte erklären die niedrigere Milchleistung dieses Datenmaterials (24,3 kg Milch) (Tabelle 3).

5. Evaluierung von Modellen zur Futterraufnahme-Schätzung durch JENSEN et al. (2015)

In Tabelle 4 sind die wesentlichen Kennzahlen der Daten beschrieben, an denen die fünf Futterraufnahme-Modelle getestet wurden. Es handelt sich um Datenmaterial aus 12 skandinavischen Fütterungsversuchen mit TMR als Futtergrundlage (84 Versuchsgruppen-Mittelwerte, 917 verschiedene Kühe diverser Milchrassen (Holstein, Jersey, Danish Red, Swedish Red) sowie unterschiedlicher Laktationszahlen und Laktationsstadien. Die Grundfütterationen bestanden aus Grassilage, Klee-Gras-Silage, Maissilage, Luzernesilage, Getreide-Ganzpflanzensilage und zum geringen Teil aus etwas Heu, also vorwiegend aus Silage. Hinsichtlich der tier- und futterspezifischen Parameter sind die Daten sehr ähnlich dem skandinavischen Datenmaterial aus der Entwicklung der Futterraufnahme-Modelle (NorFor 2011, TDMI-Index 2011, Wageningen-DCM 2012), während sie sich vom Datenmaterial des FA-Modells von GRUBER et al. (2004) aus mitteleuropäischen und alpinen Produktionsbedingungen bezüglich der Rassen, der Grundfuttersituation und des Kraftfutteranteils doch einigermaßen unterscheiden (Tabelle 4).

Die Evaluierung der fünf Futterraufnahme-Modelle ist in den Tabellen 5 und 6 sowie in Abbildung 4 dargestellt (nach JENSEN et al. 2015). In Tabelle 5 finden sich die Ergebnisse

Tabelle 4: Charakteristik des Datenmaterials zur Bewertung der fünf Futterraufnahme-Modelle in der Evaluierung von JENSEN et al. (2015)

Futterraufnahme (kg TM)				Milchleistung (kg ECM)				Laktationstage (DIM)			
Mittel	± s	Min	Max	Mittel	± s	Min	Max	Mittel	± s	Min	Max
20,3	2,5	12,7	25,1	31,1	5,8	20,7	50,4	122	67	25	275
GF-Anteil (%)		Verd. OM _{GF} (%)		XP _{GES} (g/kg TM)		XF _{GES} (g/kg TM)		NDF _{GES} (g/kg TM)		Verd. OM _{GES} (%)	
Mittel	± s	Mittel	± s	Mittel	± s	Mittel	± s	Mittel	± s	Mittel	± s
58	8,4	74	4,8	160	18,1	158	72	338	20	75	2,2

ohne Berücksichtigung des Effektes ‘Versuch‘ im Evaluierungs-Datenmaterial, in *Tabelle 6* mit Berücksichtigung dieses Effektes. Die Berücksichtigung des Versuchs-Effektes ermöglicht die Schätzung der Vorhersage-Genauigkeit der Futtermittelaufnahme-Modelle innerhalb der Versuche (HUHTANEN et al. 2011, JENSEN et al. 2015). Die Evaluierung der Futtermittelaufnahme-Modelle erfolgte in vier Schritten (JENSEN et al. 2015).

5.1 Vergleich der Differenz zwischen beobachteter und vorausgesagter Futtermittelaufnahme (predicted – observed)

Die einfachste Bewertung erfolgt mit dem Vergleich der Mittelwerte von vorausgesagter und beobachteter Futtermittelaufnahme (sog. *Bias*, d.h. systematische Abweichung, *predicted minus observed*). Das Wageningen-DCM-Modell (ZOM et al. 2012a, b) und NRC (2001) weisen mit +1,6 und +1,4 kg TM die höchste positive systematische Abweichung auf (d.h. Überschätzung der Futtermittelaufnahme). Auch der Bias von NorFor (2011) mit +0,4 kg TM ist relativ hoch. Dagegen ist der Bias des TDMI-Index (HUHTANEN et al. 2011) und des FA-Modells von GRUBER et al. (2004) mit -0,1 bzw. +0,2 kg TM recht niedrig bzw. zu vernachlässigen. Der Bias sagt allerdings nichts aus über das Ausmaß und die Verteilung der Abweichungen. Dies erfolgt mit dem sog. mittleren Vorhersage-Fehler (*Mean square prediction error*, MSPE) bzw. dessen Wurzel (*Root mean square prediction error*, RMSPE, in kg TM).

5.2 Beurteilung der Vorhersage-Genauigkeit mit dem MSPE und RMSPE

Die Futtermittelaufnahme-Modelle Wageningen-DCM (ZOM et al. 2012a, b) und NRC (2001) weisen nicht nur einen hohen systematischen Bias zwischen vorausgesagter und beobachteter Futtermittelaufnahme auf, sondern auch die höchste durchschnittliche Streuung der Differenz zwischen vorausgesagter und beobachteter Futtermittelaufnahme (MSPE, RMSPE). Der RMSPE von Wageningen-DCM (2012) und NRC (2001) beträgt 3,16 bzw. 1,80 kg TM, d.h. bei Anwendung dieser Futtermittelaufnahme-Modelle ist im Durchschnitt mit einem Fehler der Vorhersage in dieser Größenordnung zu rechnen. Dieser Vorhersage-Fehler beträgt bei NorFor (2011) und TDMI-Index (2011) 1,52 bzw. 1,71 kg TM. Den geringsten Vorhersage-Fehler weist das FA-Modell von GRUBER et al. (2004) mit 1,17 kg TM auf. Dies ist ein niedrigerer Schätzfehler als bei der Ableitung des FA-Modells selbst (1,3 bis 1,5 kg TM). Der Grund liegt darin, dass es sich bei der vorliegenden Evaluierungsdatei von JENSEN et al. (2015) um Gruppen-Mittelwerte handelt, während bei der Erarbeitung des FA-Modells von GRUBER et al. (2004) von individuellen Einzelkühen ausgegangen wurde, was natürlich zu einer höheren Streuung führt.

5.3 Aufteilung des MSPE in Bias, Regression und Zufall nach BIBBY und TOUTENBURG (1977)

Entscheidend für die Bewertung ist nun, durch welche Komponenten der Vorhersagefehler (MSPE) verursacht wird. BIBBY und TOUTENBURG (1977) unterscheiden

Tabelle 5: Statistische Bewertung der Genauigkeit von fünf Futtermittelaufnahme-Modellen in der Vorhersage der Futtermittelaufnahme, gemessen an den Gruppen-Mittelwerten von 12 Fütterungsversuchen mit TMR in Skandinavien (JENSEN et al. 2015)

FA-Modell	Autoren	n	Futtermittelaufnahme (kg TM)		Differenz	Vorhersagefehler		Varianz (%) bedingt durch ...			Regression obs. – pre.	
			Predicted	Observed		MSPE	RMSPE	Bias	Regression	Zufall	Intercept	Slope
NRC	NRC 2001	94	21,7	20,3	1,4	3,20	1,80	64,7	4,1	31,2	-1,44***	-0,14***
NorFor	Volden et al. 2011	48	21,7	21,3	0,4	2,32	1,52	6,1	37,6	56,3	-0,38*	-0,37***
TDMI-Index	Huhtanen et al. 2011	94	20,2	20,3	-0,1	2,91	1,71	0,3	22,4	77,3	0,10	-0,29***
Wageningen-DCM	Zom et al. 2012a, b	94	21,9	20,3	1,6	9,97	3,16	26,3	27,9	45,8	-1,62***	-0,56***
FA-Modell	Gruber et al. 2004	94	20,5	20,3	0,2	1,37	1,17	3,7	2,9	93,4	-0,23	-0,08

Tabelle 6: Statistische Bewertung der Genauigkeit von fünf Futtermittelaufnahme-Modellen in der Vorhersage der Futtermittelaufnahme, gemessen an den Gruppen-Mittelwerten innerhalb von 12 Fütterungsversuchen mit TMR in Skandinavien (JENSEN et al. 2015)

FA-Modell	Autoren	Futtermittelaufnahme (kg TM)		Differenz	Vorhersagefehler		Varianz (%) bedingt durch ...			Regression obs. – pre.		
		Predicted	Observed		MSPE	RMSPE	Bias	Regression	Zufall	Intercept	Slope	
NRC	NRC 2001	21,7	20,3	1,4	3,20	1,80	54,8	20,9	3,7	20,6	-1,33***	-0,10*
NorFor	Volden et al. 2011	21,7	21,3	0,4	2,32	1,52	10,8	31,9	37,1	20,2	-0,50	-0,32***
TDMI-Index	Huhtanen et al. 2011	20,2	20,3	-0,1	2,91	1,71	0,3	22,0	21,7	56,0	0,12	-0,34***
Wageningen-DCM	Zom et al. 2012a, b	21,9	20,3	1,6	9,97	3,16	21,8	33,7	25,9	18,6	-1,47*	-0,41***
FA-Modell	Gruber et al. 2004	20,5	20,3	0,2	1,37	1,17	4,4	19,1	2,2	74,3	-0,24	-0,11*

Bias, Regression und Zufall als Ursache. Wie oben angeführt, errechnet sich der Bias aus der Differenz 'predicted minus observed'. Der regressionsbedingte Fehler gibt die Abweichung des Regressionskoeffizienten (*Slope*) 'predicted – observed' von 0 an. Ein *Slope* von 0 würde bedeuten, dass die geschätzten Werte den beobachteten Werten über den gesamten Futteraufnahmebereich entsprechen. Ein *Slope* von <0 weist eine Unterschätzung der Futteraufnahme bei niedrigen Futteraufnahmen aus und eine Überschätzung bei hohen Futteraufnahmen. Dagegen zeigt ein *Slope* von >0 eine Überschätzung bei niedrigen Futteraufnahmen und eine Unterschätzung bei hohen Futteraufnahmen. Als dritte Streuungs-Komponente ist der Zufall (sog. Fehler, *random error*) zu nennen. Durch Bias und Regression bedingte Abweichungen sind unerwünscht und weisen auf systematische, grundsätzliche Fehler bei der Schätzung hin. Durch Zufall bedingte Fehler können allerdings nicht korrigiert werden. Dennoch sollte der Anteil des Zufallsfehlers am MSPE möglichst hoch sein, weil in diesem Fall die Schätzungen von systematischen Abweichungen möglichst frei sind (BIBBY und TOUTENBURG 1977).

Die Abweichungen in der Schätzung der Futteraufnahme durch das FA-Modell von GRUBER et al. (2004) sind zum allergrößten Teil (93,4 %) zufallsbedingt und nahezu frei von systematischen Abweichungen bedingt durch Bias (3,7 %) bzw. Regression (2,9 %) (*Tabelle 5*). Relativ günstig in der Aufteilung des Fehlers schneidet auch der TDMI-Index von HUHTANEN et al. (2011) ab, mit 77,3 % Zufall sowie 0,3 % Bias und 22,4 % Regression, allerdings bei einem höheren Gesamtfehler (1,71 vs. 1,17 kg TM). Bei den anderen Futteraufnahme-Modellen nimmt der Anteil des Zufalls am Gesamtfehler ab und der Anteil der durch Bias oder Regression bedingten Abweichungen zu (*Tabelle 5*).

Wenn in der Auswertung der Effekt des Versuches zusätzlich zu Bias, Regression und Zufall berücksichtigt wird, kann dies als Schätzung der Vorhersage-Genauigkeit innerhalb der Versuche interpretiert werden (HUHTANEN et al. 2011, JENSEN et al. 2015). Dies ändert nicht den Anteil an der Streuung, der in den einzelnen Futteraufnahme-Modellen durch Regression bedingt ist, und nur wenig am Anteil der Streuung, der durch Bias verursacht ist. Dagegen nimmt der Anteil des zufallsbedingten Schätzfehlers deutlich ab, weil ein gewisser Anteil der Streuung durch den systematischen Effekt des Versuches erklärt wird. Auch entsprechend dieser Auswertung ergibt sich die gleiche Rangfolge der Futteraufnahme-Modelle. Beim FA-Modell von GRUBER et al. (2004) ist der Anteil des Zufalls mit 74 % am höchsten, gefolgt von HUHTANEN et al. (2011) mit 56 % (*Tabelle 6*). Dies bedeutet, dass dieses Modell die Futteraufnahme der Kühe auch innerhalb der Versuche am besten voraussagen kann.

5.4 Darstellung der Vorhersage-Genauigkeit über die Regression 'observed – predicted' nach ST-PIERRE (2003)

Eine sehr anschauliche und fachlich fundierte Darstellung der Vorhersage-Genauigkeit von Schätzmodellen bietet schließlich die Regression 'observed – predicted', also die Gegenüberstellung von beobachteten und durch die Modelle vorausgesagten Futteraufnahme-Daten. In vielen

Arbeiten wurden diese Daten in Originalwerten dargestellt, wobei Observed auf der x-Achse und Predicted auf der y-Achse aufgetragen wird. ST-PIERRE (2003) hat allerdings vorgeschlagen, anstatt der Observed-Werte auf der x-Achse die um den Mittelwert zentrierten Voraussage-Werte (Schätzwerte minus Mittelwert der Schätzwerte) und auf der y-Achse die Differenz von beobachteten und vorausgesagten Werten darzustellen (observed minus predicted, d.h. die Residuen). Dies macht den Regressionskoeffizienten (*Slope*) und das Intercept (a, Schnittpunkt mit der y-Achse) in der Regression unabhängig und damit orthogonal. Der durchschnittliche Bias wird durch das Intercept dargestellt und der *Slope* stellt die durch Regression bedingten linearen Abweichungen dar.

Die entsprechenden Ergebnisse sind graphisch in *Abbildung 4* dargestellt, die Werte für Intercept (Bias) und *Slope* (Regression) finden sich in *Tabelle 5* und *6*. Die Darstellungen und statistischen Parameter (Intercept und *Slope*) bestätigen die in den vorigen Abschnitten gemachten Aussagen. Die Futteraufnahme-Modelle von NRC (2001) und Wageningen-DCM (ZOM et al. 2012a, b) führen zu einer systematischen Überschätzung der Futteraufnahme (Bias, d.h. *Predicted minus Observed*) von 1,4 bzw. 1,6 kg TM. Eine leichte Überschätzung von 0,4 kg TM ist auch bei NorFor (2011) gegeben. Demgegenüber ist der Bias des FA-Modells von GRUBER et al. (2004) und des TDMI-Index von HUHTANEN et al. (2011) mit 0,2 bzw. -0,1 kg TM sehr gering und auch nicht signifikant. Dieser Bias entspricht dem Intercept der Regression 'observed – predicted' in *Tabelle 5* vollständig, allerdings mit umgekehrten Vorzeichen (da der Bias aus Predicted minus Observed gerechnet wird). Die Berücksichtigung des Versuchseffektes auf die Aufteilung der Fehlerursachen (siehe oben) hat einen nur sehr geringen Einfluss auf die Größe des Bias (*Tabelle 6*). Alle Futteraufnahme-Modelle außer GRUBER et al. (2004) weisen eine signifikante, durch Regression bedingte systematische Unterschätzung bei niedrigen und Überschätzung bei hohen Futteraufnahmen auf (schwarze Regressionsgerade in *Abbildung 4*, siehe *Slope* in *Tabelle 5*). Die Berücksichtigung des Versuchseffektes hat bei GRUBER et al. (2004) zur geringsten Veränderung der Regression zwischen Observed und Predicted geführt (JENSEN et al. 2015, siehe graue Regressionsgerade in *Abbildung 4*).

Der Anteil der zufallsbedingten, nicht-systematischen Abweichung ist im FA-Modell von GRUBER et al. (2004) somit am höchsten und der Anteil der systematischen Abweichung bedingt durch Bias sowie Regression am niedrigsten. Dieses Modell zeichnet sich insgesamt durch den geringsten absoluten Schätzfehler in der Höhe von 1,17 kg TM aus.

6. Schlussfolgerungen

Die Futteraufnahme ist der entscheidende Einflussfaktor auf die Höhe der Milchleistung. Die genaue Abschätzung der Futteraufnahme ist Voraussetzung für eine physiologisch und ökonomisch optimale Rationsgestaltung für Milchkühe. Die Regulation der Futteraufnahme erfolgt durch vielfältige und komplexe Mechanismen, die sich auf das Futter und die Tiere beziehen und nur zum Teil bekannt sind (MERTENS 1994). Die exakte Voraussage der Futteraufnahme wird weiters dadurch erschwert, dass tier- und futterbedingte

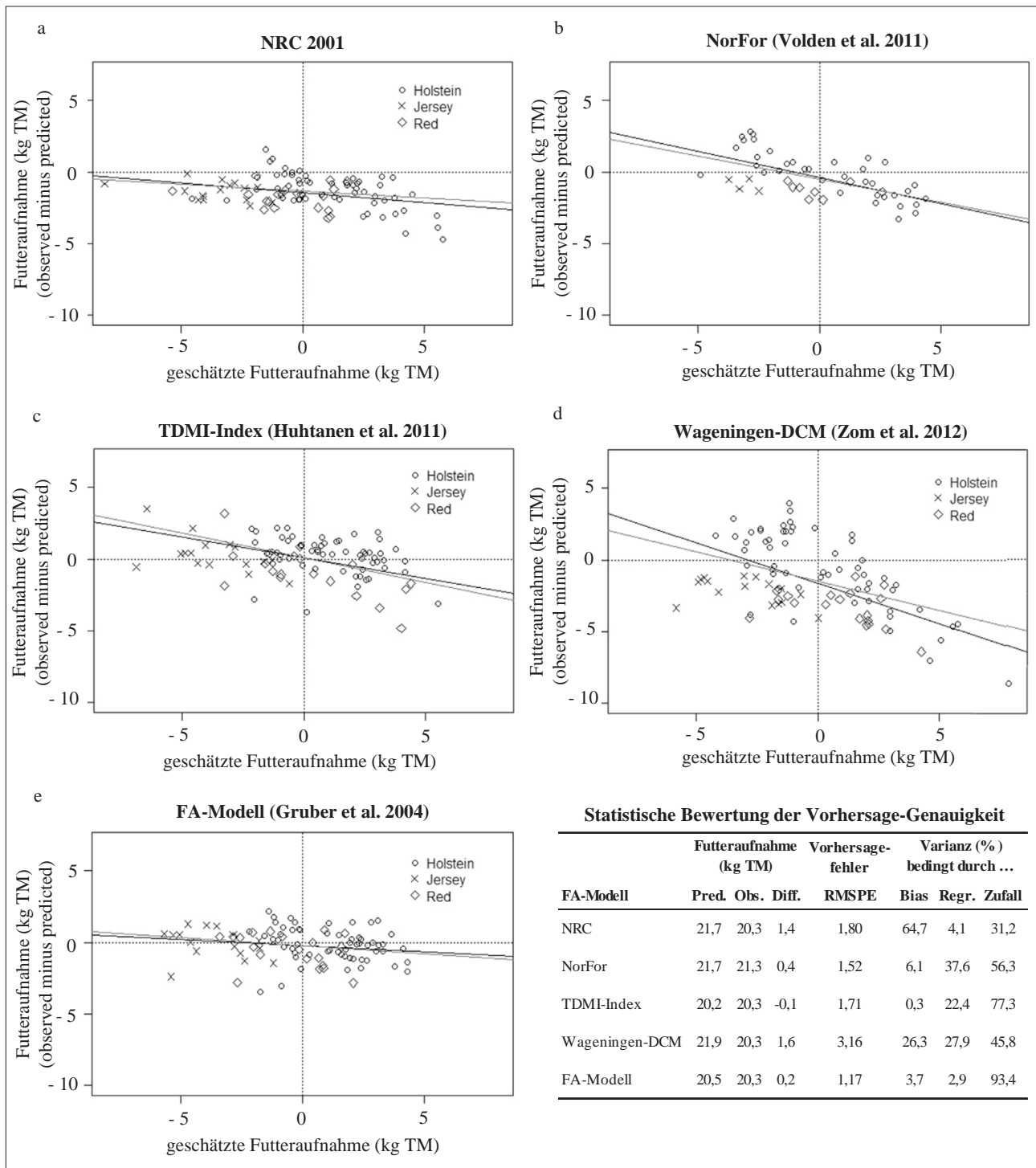


Abbildung 4: Beziehungen zwischen tatsächlicher Futteraufnahme (observed minus predicted) und der durch verschiedene Futteraufnahme-Modelle geschätzten Futteraufnahme (predicted) in der Evaluierung von JENSEN et al. (2015)

Einflussfaktoren mit einander in Wechselwirkung stehen (HUHTANEN et al. 2011). Alle der fünf in Abschnitt 4 und 5 diskutierten Futteraufnahme-Modelle enthalten in ihren Originalarbeiten Validierungen, die eine zufriedenstellende Genauigkeit und Robustheit ausdrücken. Dagegen stellt die Arbeit von JENSEN et al. (2015) eine tatsächlich unabhängige Evaluierung dar, die mit dem zur Ableitung der Futteraufnahme-Modelle verwendeten Datenmaterial (besonders Rassen, Milchleistung, Zusammensetzung und Qualität des Grundfutters, Kraftfutterniveau) nichts zu tun

hat (mit Ausnahme von NorFor 2011). In dieser Evaluierung hat sich das Futteraufnahme-Modell von GRUBER et al. (2004) als das System herausgestellt, das den geringsten Vorhersagefehler (MSPE von 1,17 kg TM) aufweist, wobei dieser Fehler gegenüber anderen Modellen nahezu frei von den systematisch bedingten Einflüssen Bias und Regression ist und zu 93 % durch Zufall bedingt. Auch bei weiteren Vergleichen hat sich dieses Modell als relativ genau erwiesen. HORN et al. (2013) haben die tatsächliche Futteraufnahme aus ihren Versuchen mit der durch das FA-Modell von

GRUBER et al. (2004) vorausgesagten Futteraufnahme verglichen und eine sehr gute Übereinstimmung gefunden (17,7 vs. 17,7 kg TM bei Brown Swiss sowie 17,2 vs. 16,8 kg TM bei HF (Lebensleistung)). Die Begründung für das Ergebnis der vorliegenden Evaluierung durch JENSEN et al. (2015) liegt einerseits im sehr umfangreichen Datenmaterial mit entsprechender Streuung der wesentlichen tier- und futterspezifischen Parameter und andererseits in der Wahl eines geeigneten statistischen Modells zur Erarbeitung des Futteraufnahme-Systems.

7. Literatur

- AFRC (Agricultural and Food Research Council), 1991: Technical Committee on Responses to Nutrients. Report No.8, Voluntary intake of cattle. Nutrition Abstracts and Reviews Series B 61, No. 11, 815-823.
- ALLEN, M.S., 1996. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.* 74, 3063-3075.
- BIBBY, J. und H. TOUTENBURG, 1977: Prediction and improvement of estimation in linear models. John Wiley and Sons, London, UK, 186 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.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 1986: Grundfutteraufnahme und Grundfuttermitteldrängung bei Milchkühen. DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung, DLG-Information 2/86, 8 S.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 2006: Schätzung der Futteraufnahme bei der Milchkuh. DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung sowie Bundesarbeitskreis der Fütterungsreferenten in der DLG (Herausgeber), L. Gruber, M. Pries, F.J. Schwarz, H. Spiekers und W. Staudacher (Bearbeiter). DLG-Information 1/2006, 29 S.
- FAVERDIN, P., J.P. DULPHY, J.B. COULON, R. VERITE, L.P. GAREL, L. ROUEL und B. MARQUIS, 1991: Substitution of roughage by concentrates for dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 27, 137-156.
- FORBES, J.M., 1995: Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals. CABI, UK, 532 S.
- FORBES, J.M., 1996: Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants. *J. Anim. Sci.* 74, 3029-3035.
- GRUBER, L., K. KRIMBERGER, R. STEINWENDER und A. SCHAUER, 1990: Forage intake of dairy cows depending on physiological and nutritional factors. International Symposium „New systems of energy and nitrogen evaluation for ruminants“, Prague, Czechoslovakia, 6-7 June 1990, 155-165.
- GRUBER, L., T. GUGGENBERGER, A. STEINWIDDER, J. HÄUSLER, A. SCHAUER, R. STEINWENDER, B. STEINER, 2001: Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen auf Basis der Fütterungsversuche der BAL Gumpenstein. Bericht 28. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein, 2.-3. Mai 2001, 11-36.
- 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.
- HOLTER, J.B., J.W. WEST und M.L. MCGILLIARD, 1997: Predicting *ad libitum* dry matter intake and yield of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 80, 2188-2199.
- HORN, M., A. STEINWIDDER, J. GASTEINER, L. PODSTATZKY, A. HAIGER und W. ZOLLITSCH, 2013: Suitability of different dairy cow types for an Alpine organic and low-input milk production system. *Livest. Sci.* 153, 135-146.
- HUHTANEN, P., M. RINNE und J. NOUSIAINEN, 2007. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal* 1, 758-770.
- HUHTANEN, P., M. RINNE und J. NOUSIAINEN, 2008. Evaluation of concentrate factors affecting silage intake of dairy cows: a development of the relative total diet intake index. *Animal* 2, 942-953.
- HUHTANEN, P., M. RINNE, P. MÄNTYSAARI und J. NOUSIAINEN, 2011. Integration of the effects of animal and dietary factors on total dry matter intake of dairy cows fed silage-based diets. *Animal* 5, 691-702.
- ILLIUS, A.W. und N.S. JESSOP, 1996. Metabolic constraints on voluntary intake in ruminants. *J. Anim. Sci.* 74, 3052-3062.
- INGVARTSEN, K.L., 1994. Models of voluntary food intake in cattle. *Livest. Prod. Sci.* 39, 19-38.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 1989: Ruminant Nutrition, Recommended Allowances and Feed Tables (Feed intake: the Fill Unit systems, Dairy cows, Measurement of the nutritive value of feeds, Tables of feeds used in France), 389 S.
- JANS, F. und J. KESSLER, 1994: In: Fütterungsempfehlungen für die Milchkuh – Schätzung des Futtermittelfressens. Fütterungsempfehlungen und Nährwerttabellen für Wiederkäuer. Forschungsanstalt für viehwirtschaftliche Produktion, Posieux (Schweiz) (Hrsg.), 100-104.
- JENSEN, L.M., N.I. NIELSEN, E. NADEAU, B. MARKUSSEN und P. NØRGAARD, 2015: Evaluation of five models predicting feed intake by dairy cows fed total mixed rations. *Livest. Sci.* 176, 91-103.
- 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.
- KETELAARS, J.J.M.H. und B.J. TOLKAMP, 1996. Oxygen efficiency and the control of energy flow in animals and humans. *J. Anim. Sci.* 74, 3036-3051.
- KIRCHGESSNER, M., 2014: Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. 14. aktualisierte Auflage (G.I. Stangl, F.J. Schwarz, F.X. Roth, K.-H. Südekum, K. Eder), DLG-Verlag Frankfurt am Main, 659 S.
- KORVER, S., 1982: Feed intake and production in dairy breeds dependent on the ration. Diss. Wageningen, 139 S.
- LANG, G.U., 1995: Das Futteraufnahmevermögen von Milchkühen. Diss. Universität Hohenheim, Institut für Tierernährung, 145 S.
- LANGHANS, W., 1989: Die Regulation der Futteraufnahme beim Wiederkäuer. *Schweiz. Arch. Tierheilkde.* 131, 117-126.
- LINDNER, H.P., M. KIRCHGESSNER und F.J. SCHWARZ, 1981: Zur Futteraufnahme von Kühen in Abhängigkeit von der Milchleistung. *Züchtungskde.* 53, 99-112.
- MENKE, K.H., 1984: Ein Modell zur Schätzung der Futteraufnahme und der Grundfuttermitteldrängung bei der Milchkuh. *Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde.* 52, 101-103.
- MENKE, K.H., 1987: Rinderfütterung – Milchvieh (praktische Fütterungshinweise). In: Tierernährung und Futtermittelkunde, K.H. Menke und W. Huss, UTB Ulmer, 128.
- MERTENS, D., 1994: Regulation of forage intake. In: Forage Quality, Evaluation and Utilization. G.C. Fahey, Jr. et al. (eds.) ASA-CSSA-SSSA, 677 S. Segoe Road, Madison, WI 53711, 450-493.
- NRC (National Research Council), 1989: Nutrient requirements of dairy cattle, 6th Edition. National Academy Press, Washington D.C., 157 S.

- NRC (National Research Council), 2001: Nutrient requirements of dairy cattle, 7th Edition. National Academy Press, Washington D.C., 381 S.
- ONLINE Rationsprogramm, 2014. Milchviehrationen individuell berechnen. Rinderzucht Austria und Landwirtschaftskammer Oberösterreich (F. Tiefenthaler), 20 S.
- PALLAUF, J. und M. KIRCHGESSNER, 1977: Zur Grundfutteraufnahme von Milchkühen der Rasse Deutsches Fleckvieh und Red Holstein-Friesian-Kreuzungen. Züchtungskde. 49, 120-137.
- PIATKOWSKI, B., H. GÜRTLER und J. VOIGT, 1990: Grundzüge der Wiederkäuer-Ernährung. 5. Kapitel: Futteraufnahme beim Wiederkäuer, Gustav Fischer Verlag Jena, 133-155.
- ROSELER, D.K., D.G. FOX, L.A. CHASE, A.N. PELL und W.C. STONE, 1997: Development and evaluation of equations for prediction of feed intake for lactating Holstein dairy cows. J. Dairy Sci. 80, 878-893.
- SCHWARZ, F.J. und M. KIRCHGESSNER, 1985: Grundfutteraufnahme von Milchkühen in Abhängigkeit von Lebendgewicht, Zahl der Laktationen, Kraftfutterzufuhr und Grundfutterqualität. Züchtungskde. 57, 267-277.
- SCHWARZ, F.J., U. HEINDL und M. KIRCHGESSNER, 1996: Zur Schätzung der Grundfutteraufnahme von Milchkühen. Züchtungskde. 68, 65-76.
- SCHWARZ, F.J., 1997: Zur Futteraufnahme der Milchkuh. Internationale Vortragstagung "Verdauungsphysiologie und Stoffumsatz beim Wiederkäuer". Rostock 21. Februar 1997. J. Voigt und H. Hagemeyer (Hrsg.). Schriftenreihe des Forschungsinstitutes für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere, Heft Nr. 10, 14-26.
- SCHWARZ, F.J. und L. GRUBER, 1999: Futteraufnahme – Einflußfaktoren und Abschätzung. In: Fütterung der 10.000-Liter-Kuh. Arbeiten der DLG, Band 195, DLG-Verlag, 171-191.
- ST-PIERRE, N.R., 2003: Reassessment of biases in predicted nitrogen flows to the duodenum by NRC 2001. J. Dairy Sci. 86, 344-350.
- STAMER, E., A. PETZOLDT und E. KALM, 1993: Anwendung und Überprüfung von indirekten Schätzgleichungen zur Ermittlung der Futteraufnahme beim Milchrind. Züchtungskde. 65, 112-118.
- SUPERRATION, 2004: Futterrationsberechnung für Milchkühe. Version 5.01. GH-Soft (F. Gsöls und G. Heidenbauer) und Landwirtschaftskammer Steiermark (K. Wurm).
- TIEFENTHALER, F., 2015: Österreich hat beste Formel zur Futteraufnahmeschätzung. Der Bauer 4. Nov. 2015, S. 9.
- VADIVELLOO, J. und W. HOLMES, 1979: The prediction of the voluntary feed intake of dairy cows. Agric. Sci. (Camb.) 93, 553-562.
- 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. Cornell University Press, 2. Aufl., 476 S.
- VOLDEN, H., N.I. NIELSEN, M. ÅKERLIND, M. LARSEN, Ø. HAVREVOLL und A.J. RYGH, 2011. Prediction of voluntary feed intake. In: The Nordic Feed Evaluation System (H. Volden, Ed.). EAAP Publication No. 130, Wageningen Academic Publishers, Wageningen (NL), 113-126.
- WANGSNES, P.J. und L.D. MULLER, 1981: Maximum forage for dairy cows. J. Dairy Sci. 64, 1-13.
- ZEBELI, Q., J.R. ASCHENBACH, M. TAJAJ, J. BOHUHN, 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.
- ZOM, R.L.G., G. ANDRÉ und A.M. VAN VUUREN, 2012a. Development of a model for the prediction of feed intake by dairy cows: 1. Prediction of feed intake. Livest. Sci. 143, 43-57.
- ZOM, R.L.G., G. ANDRÉ und A.M. VAN VUUREN, 2012b. Development of a model for the prediction of feed intake by dairy cows: 2. Evaluation of prediction accuracy. Livest. Sci. 143, 58-69.