

11 Evaluierung von Modellen zur Vorhersage der Futteraufnahme von Kühen

L. Gruber¹

¹Institut für Nutztierforschung, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, 8952 Irdning, Österreich, Leonhard.Gruber@raumberg-gumpenstein.at

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, welcher den Energiebedarf der Tiere deckt und wiederkäuergerechte Verdauungsabläufe in den Vormägen sicherstellt (WANGSNESS und MULLER 1981). 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.

2. Regulation der Futteraufnahme

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 (GRUBER et al. 2001). Die maßgeblichen Einflussgrößen auf die Futteraufnahme sind daher 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 (MERTENS 1994, FORBES 1996).

3. Bewertung früherer Futteraufnahme-Schätzformeln

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 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 (SCHWARZ und GRUBER 1999).

4. Evaluierung von aktuellen Futteraufnahme-Modellen durch Jensen et al. (2015)

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.).

Beschreibung der evaluierten Futteraufnahme-Modelle

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, semi-mechanistischen Fütterungssystems für Rinder der nordischen Staaten Dänemark, Island, Norwegen und Schweden (The Nordic Feed Evaluation System, VOLDEN et al. 2011). Es ist ein sog. Fillfaktor-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-Index + CDMI-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. (2012) ist ebenfalls ein sog. Fillfaktor-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 Lebendmasse und Milchleistung nicht herangezogen, sondern nur die Laktationszahl, das Laktationsstadium und das Trächtigkeitsstadium. 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, Grünfutter, 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 fixe Effekte (Rasse, Laktationszahl) und das Laktationsstadium sowie tierbedingte Faktoren (Lebendmasse, Milchleistung) und futterbedingte Faktoren (Kraftfutter, NEL_{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).

Evaluierung der Futteraufnahme-Modelle

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. 2012) 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. 2012) 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. Den geringsten Vorhersage-Fehler weist das FA-Modell von GRUBER et al. (2004) mit 1,17 kg TM auf.

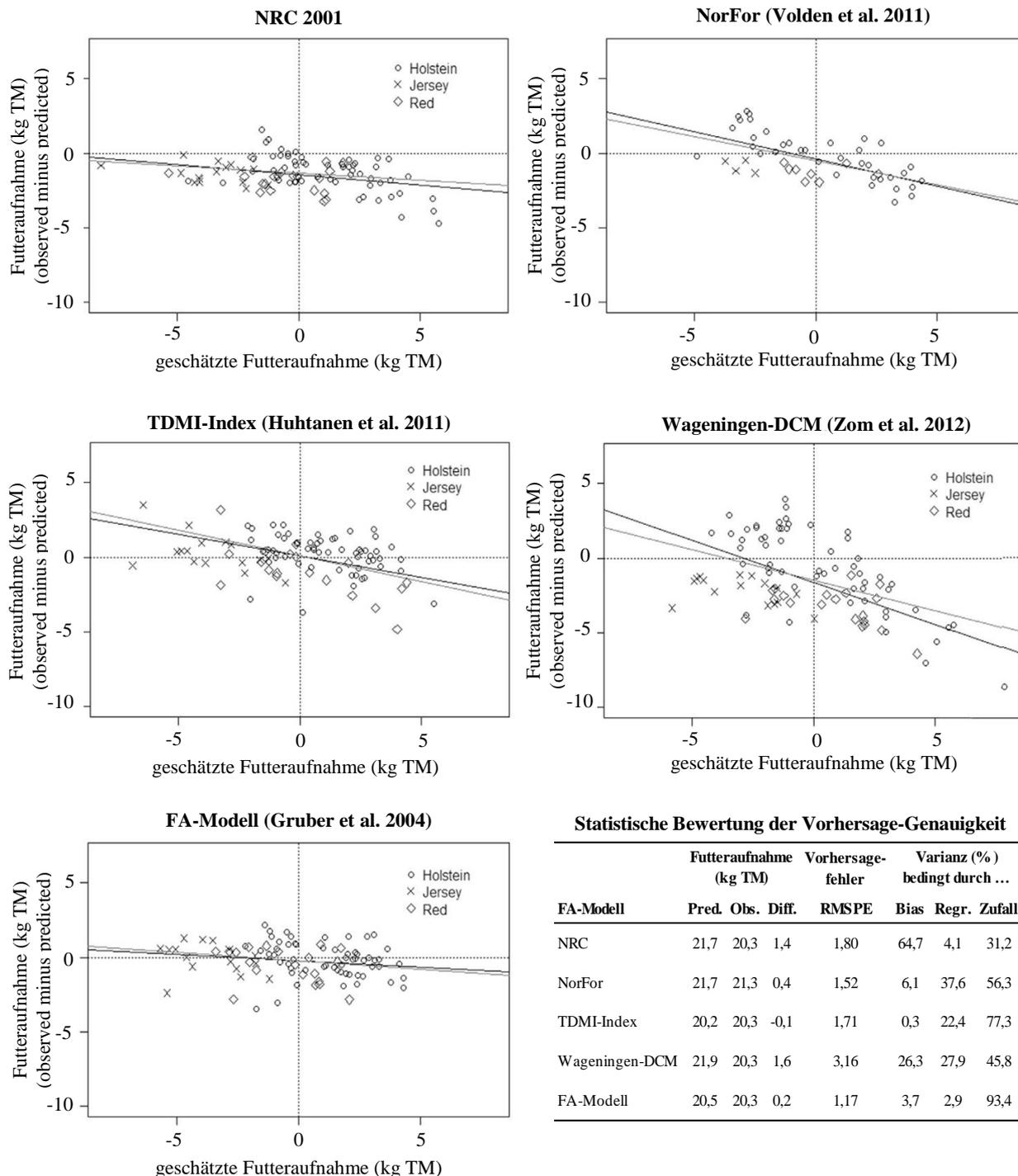


Abb. 1: Beziehungen zwischen tatsächlicher Futteraufnahme (*observed minus predicted*) und der durch verschiedene Futteraufnahme-Modelle geschätzten Futteraufnahme (*predicted*) in der Evaluierung von JENSEN et al. (2015)

Für die Bewertung ist entscheidend, durch welche Komponenten der Vorhersagefehler (MSPE) verursacht wird. Der Bias gibt die absolute mittlere 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.

5. Fazit

Die Begründung für das vorliegende Ergebnis liegt einerseits im sehr umfangreichen Datenmaterial von hoher Qualität mit entsprechender Streuung der wesentlichen tier- und futterspezifischen Parameter und andererseits in der Wahl eines geeigneten statistischen Modells zur Erarbeitung des Futteraufnahme-Systems. Das Futteraufnahme-Modell von GRUBER et al. (2004) bzw. DLG (2006) hat sich in einer internationalen, unabhängigen Evaluierung als genau und robust erwiesen. Daher können darauf aufbauende Rationsberechnungen und Modellkalkulationen als verlässlich angesehen werden.

6. Ausgewählte Literatur

- BIBBY, J. und H. TOUTENBURG, 1977: Prediction and improvement of estimation in linear models. John Willey and Sons, London, UK, 186 S.
- DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft), 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.
- 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., 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 Milchkuhen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. 116. VDLUFA-Kongress, Rostock, 13.-17. September 2004, Kongressband 2004, 484-504.
- 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.
- INGVARTSEN, K.L., 1994. Models of voluntary food intake in cattle. *Livest. Prod. Sci.* 39, 19-38.
- 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.
- 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), 2001: Nutrient requirements of dairy cattle, 7th Edition. National Academy Press, Washington D.C., 381 S.
- 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.
- 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.
- WANGSNESS, P.J. und L.D. MULLER, 1981: Maximum forage for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 64, 1-13.
- ZOM, R.L.G., G. ANDRÉ und A.M. VAN VUUREN, 2012. Development of a model for the prediction of feed intake by dairy cows: 1. Prediction of feed intake. *Livest. Sci.* 143, 43-57.