

Einfluss des Vegetationsstadiums von Dauerwiesen-Futter im Alpenraum auf die Verdaulichkeit der Roh-nährstoffe und Gerüstsubstanzen sowie Zusammenhänge zu *in vitro*-Verdaulichkeit und Energiegehalt

L. Gruber^{1,2}, T. Guggenberger¹, S. Gappmaier¹, G. Terler¹, A. Schauer¹

¹HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Inst. für Nutztierforschung, Irdning

²Universität für Bodenkultur, Institut für Nutztierwissenschaften, Wien

1 Einleitung

Um den Energiebedarf hochleistender Milchkühe in einem hohen Ausmaß und bei wiederkäuergerechter Rationsgestaltung decken zu können, ist eine hohe Grobfutterqualität die unbedingte Voraussetzung (Daccord, 1992; Spiekers et al., 2009). Denn nur auf diesem Weg wird sowohl eine hohe Energiekonzentration als auch eine hohe Futteraufnahme bzw. Energieaufnahme erzielt.

Bei Wiesenfutter – als grasbetonte Bestände oder auch als Dauerwiese mit mehreren bzw. vielen botanischen Arten – übt das Vegetationsstadium der Pflanzen den überragenden Einfluss auf den Futterwert aus, der sich sowohl in der Futteraufnahme als auch in der Verdaulichkeit manifestiert (INRA, 1989; Minson, 1990; Van Soest, 1994).

Das Vegetationsstadium bestimmt den Anteil und die Zusammensetzung der Gerüstsubstanzen und auch die Art der Zellinhaltsstoffe. Junge Pflanzen beginnen die Vegetation mit einer starken Entwicklung der Assimilationsfläche. Der Anteil der Blätter gegenüber dem Stängel ist also zunächst relativ groß. Blätter enthalten mehr verfügbare Nähr- und Mineralstoffe als Stängel. Die Zellinhaltsstoffe (Protein, Nichtfaser-Kohlenhydrate, Fette) sind nahezu vollständig verdaulich (Van Soest, 1967). Mit fortschreitender Vegetation nimmt der Anteil des Stängels bis zur Blüten- und Samenbildung laufend zu (z. B. Pritchard et al., 1963; Mowat et al., 1965; Wilman et al., 1996). Der Stängel besteht vorwiegend aus Gerüstsubstanzen (Zellulose, Hemizellulose, Lignin). Während die Faserkohlenhydrate (Zellulose, Hemizellulose) von den Pansenmikroben durchaus abgebaut werden können – wenn auch bei

relativ geringen Abbauraten – (Van Soest, 1967; Sniffen et al., 1992), ist Lignin unverdaulich und durch seine chemische Komplexbildung mit Hemizellulose sowie durch die physikalische Inkrustierung der Faserkohlenhydrate verantwortlich für den Rückgang der Verdaulichkeit mit fortschreitender Vegetation (Van Soest, 1967).

Nach Van Soest et al. (1978) ist das Futter das kumulative Ergebnis des Pflanzenwachstums und der Umweltfaktoren, die die Verteilung der bei der Photosynthese erzeugten Nährstoffe in der Pflanze bewirken. Die entscheidenden Faktoren für die Unterschiede der Grobfutterqualität liegen in der Pflanzenspecies, der geographischen Region und der Wachstumsaison. Durch die Umweltfaktoren Licht und besonders Temperatur sowie die Wasserversorgung werden die Bildung der Faser-Kohlenhydrate und der Nichtfaser-Kohlenhydrate sowie die Lignifizierung gesteuert. Das Wachstumsstadium ist demnach ein sekundärer Effekt der Umweltfaktoren.

In der vorliegenden Arbeit werden der Einfluss des Wachstumsstadiums von Dauerwiesen-Futter im Alpenraum auf den Gehalt und die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und Gerüstsubstanzen sowie die Zusammenhänge zu *in vitro*-Verdaulichkeit und Energiegehalt auf Basis einer Meta-Analyse beschrieben.

2 Material und Methoden

Für die Meta-Analyse wurden die Daten aus vier umfangreichen, mehrfaktoriellen und spezifischen Projekten an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein herangezogen, in denen der Einfluss des Vegetationsstadiums von Dauerwiesen-Futter auf Futterwert, Futteraufnahme und tierische Leistung langfristig untersucht wurde (Gruber et al. 1995, 1996, 2000, 2006).

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

Futterwerttest, HFT) nach Methode 25.1 sowie der Enzymlöslichkeit (ELOS) nach Methode 6.6.1 erfolgte ebenfalls nach VDLUFA (2012).

Die Verdaulichkeit *in vivo* mit Hammeln wurde nach den Leitlinien der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 1991) für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen festgestellt (14 Tage Vorperiode und 14 Tage Sammelperiode, Futterniveau ca. 1 kg TM Versuchsration pro Tag, 4 Tiere pro Futtermittel).

Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm Statgraphics 19 (2020) durchgeführt. Die Daten (n = 331) wurden mit der Prozedur GLM als Meta-Analyse unter Ausschaltung des zufälligen Einflusses des Versuches und der Berücksichtigung der fixen Effekte von Konservierung (Grünfütter, Silage, Heu) und Aufwuchs (1, 1.6, 2, ≥ 3) ausgewertet (St-Pierre, 2001). Eine deskriptive Statistik wesentlicher Kriterien (Gehalt, Verdaulichkeit (d), Energie) ist in Tab. 1 angeführt.

Tab. 1: Deskriptive Statistik wesentlicher Versuchskriterien (n = 331)

Kriterium	Einheit	Mittelw.	$\pm s$	VK (%)	Min	Max
XP	g/kg TM	141	32	22,4	77	230
XF	g/kg TM	283	41	14,5	150	388
XX	g/kg TM	447	31	6,9	349	548
XA	g/kg TM	107	20	18,6	54	211
NDF	g/kg TM	536	73	13,7	323	706
ADF	g/kg TM	322	44	13,6	170	428
ADL	g/kg TM	39	9	23,5	15	72
NFC	g/kg TM	194	55	28,6	41	375
dXP	%	64,9	7,5	11,5	40,7	80,6
dXF	%	66,2	8,5	12,8	46,0	86,5
dXX	%	68,8	7,8	11,3	48,4	94,7
dOM	%	66,5	7,2	10,8	48,4	85,6
dNDF	%	65,0	8,6	13,3	44,0	84,9
dADF	%	61,9	8,9	14,5	38,6	81,7
dADL	%	-15,7	17,7	-112,6	-73,5	28,3
dNFC	%	73,8	10,5	14,2	16,4	100,0
ME	MJ/kgTM	8,97	0,96	10,7	6,66	11,34
NEL	MJ/kgTM	5,25	0,67	12,8	3,70	7,05
Gasb. HFT	ml	40,6	5,0	12,2	24,8	52,0
ELOS	g/kg TM	579	70	12,0	415	771

3 Ergebnisse und Diskussion

Einfluss von Konservierung und Aufwuchs

Der Einfluss von Konservierung und Aufwuchs auf den Gehalt an Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen sowie auf deren Verdaulichkeit und Energiekonzentration ist in Tab. 1 angeführt. Um eine Vergleichbarkeit der Behandlungen zu ermöglichen, wurde der Gehalt an Rohfaser (im Mittel 283 g/kg TM) als Kovariable konstant gehalten. Die Ergebnisse ohne Berücksichtigung der Kovariable „Rohfaser“ sind in Gruber et al. (2021) angegeben. Mit Ausnahme der Gasbildung (Gb [HFT]) war der Einfluss der Konservierung in allen Kriterien des Nährstoffgehaltes und der Verdaulichkeit hoch signifikant ($P < 0,001$). Grünfutter wies einen höheren Proteingehalt auf als Silage oder Heu. Dagegen war der Gehalt an Rohasche bei Heu signifikant niedriger. Der multiple Mittelwertvergleich (Tuckey HSD) ergab hinsichtlich der Verdaulichkeit der OM sowie der meisten Nährstoffe (Ausnahme dXL) und der Energiekonzentration signifikant höhere Werte für Grünfutter gegenüber den Konserven Silage und Heu, die sich statistisch nicht unterschieden.

Auch der Einfluss des Aufwuchses erwies sich in den meisten Kriterien als hoch signifikant, wobei sich vor allem der 1. Aufwuchs von den weiteren Aufwüchsen abhob. (Der Aufwuchs „1.6“ in Tab. 1 bedeutet eine Mischung mehrerer Aufwüchse (im Mittel 40 % 1. Aufwuchs und 60 % Folgeaufwüchse), da im Projekt Gruber et al. (2006) in Folge eines mehrfaktoriellen Versuchsdesigns (Nutzung, Düngung, Standort) die Prüfung einzelner Aufwüchse aus Kapazitätsgründen nicht möglich war). Der 1. Aufwuchs wies tendenziell ($P = 0,097$) einen geringeren Gehalt an XP auf, bei einem höheren Gehalt an NDF, ADF und besonders an ADL ($P < 0,001$). Als Konsequenz erreichte daher der 1. Aufwuchs – bei konstantem Gehalt an XF – auch eine höhere Verdaulichkeit der OM (68,9 vs. 66,9 %) und Energiekonzentration (9,42 vs. 9,01 MJ ME) gegenüber den Folgeaufwüchsen.

Zusammenhänge zwischen Rohfaser und den Gerüstsubstanzen

Die Zusammenhänge zwischen Rohfaser und den Gerüstsubstanzen (NDF und ADF) hinsichtlich Gehalt und Verdaulichkeit sind in Abb. 1 (oben) dargestellt. Es zeigen sich sehr enge Beziehungen, besonders zwischen Rohfaser und ADF ($R^2 = 84,4 \%$), was sich aus der Analysen-Methodik ergibt (Van Soest, 1994). Die Beziehung zwischen Rohfaser

Tab. 1: Gehalt und Energiekonzentration (in der TM) sowie Verdaulichkeit (bei Rohfaser = 283 g/kg TM)

Kriterium	Einheit	Konservierung			Aufwuchs				Statistische Parameter			
		Grünf.	Silage	Heu	1	1.6	2	≥3	RSD	P _{Kons.}	P _{Aufw.}	R ²
XP	g/kg	170 ^a	140 ^b	135 ^b	144	147	151	151	16,9	<0,001	0,097	71,5
XL	g/kg	22 ^a	34 ^b	21 ^a	25 ^{ab}	206 ^b	26 ^b	24 ^a	2,9	<0,001	<0,001	53,7
XF	g/kg	283	283	283	283	283	283	283	-	-	-	-
XX	g/kg	410 ^a	427 ^a	464 ^a	449 ^c	417 ^a	433 ^b	435 ^b	24,1	<0,001	<0,001	39,3
XA	g/kg	116 ^b	116 ^b	97 ^a	99 ^a	126 ^c	107 ^b	107 ^b	13,5	<0,001	<0,001	53,7
NDF	g/kg	577 ^a	487 ^c	534 ^b	547 ^c	520 ^a	529 ^{ab}	534 ^{bc}	25,4	<0,001	<0,001	88,0
ADF	g/kg	336 ^b	315 ^a	320 ^a	330 ^b	318 ^a	322 ^a	324 ^{ab}	14,9	<0,001	<0,001	88,4
ADL	g/kg	43 ^b	40 ^{ab}	37 ^a	37 ^a	42 ^b	40 ^b	41 ^b	5,6	<0,001	<0,001	63,0
NFC	g/kg	116 ^a	223 ^b	213 ^b	186	180	187	184	29,5	<0,001	0,502	71,7
CHO	g/kg	693 ^a	710 ^a	747 ^b	732 ^c	700 ^a	716 ^b	718 ^b	24,1	<0,001	<0,001	73,5
dXP	%	72,8 ^a	61,4 ^b	62,2 ^b	65,5 ^b	67,6 ^c	65,8 ^{bc}	62,9 ^a	4,41	<0,001	<0,001	65,3
dXL	%	23,5 ^a	50,8 ^c	27,9 ^b	39,3 ^b	36,7 ^b	34,8 ^b	25,5 ^a	10,7	<0,001	<0,001	37,8
dXF	%	73,0 ^a	67,2 ^b	64,6 ^b	68,9	67,8	67,9	68,3	5,8	<0,001	0,749	52,7
dXX	%	71,7 ^a	67,1 ^b	68,2 ^b	71,3 ^a	68,5 ^b	68,9 ^b	67,2 ^b	3,9	<0,001	<0,001	75,0
dOM	%	71,2 ^a	65,7 ^b	65,4 ^b	68,9 ^b	67,3 ^{ab}	67,4 ^{ab}	66,0 ^a	3,8	<0,001	0,006	72,2
dNDF	%	72,0 ^a	64,5 ^b	63,8 ^b	68,8 ^b	65,2 ^a	66,7 ^{ab}	66,3 ^{ab}	5,3	<0,001	0,002	62,3
dADF	%	68,5 ^a	62,6 ^b	60,8 ^b	67,0 ^a	62,0 ^b	63,6 ^b	63,2 ^b	5,7	<0,001	<0,001	58,8
dADL	%	-6,7 ^a	-14,9 ^{ab}	-17,6 ^b	-9,4	-14,7	-12,1	-16,2	16,2	<0,001	0,166	16,2
dNFC	%	69,9 ^a	71,0 ^{ab}	73,5 ^b	73,9 ^{bc}	74,4 ^c	69,6 ^{ab}	67,8 ^a	8,7	0,039	<0,001	31,5
dCHO	%	72,3 ^a	67,1 ^b	66,9 ^b	70,5 ^b	68,2 ^a	68,6 ^{ab}	67,8 ^a	4,2	<0,001	0,010	70,3
ME	MJ/kg	9,51 ^a	8,94 ^b	8,88 ^b	9,42 ^a	8,95 ^b	9,15 ^b	8,93 ^b	0,53	<0,001	<0,001	69,9
Gb (HFT)	ml/200 mg	41,0	40,1	41,1	43,8 ^c	38,9 ^a	41,1 ^b	39,1 ^{ab}	3,75	0,689	<0,001	42,9
ELOS	g/kg	583 ^a	626 ^b	571 ^a	599 ^{ab}	602 ^b	591 ^{ab}	580 ^a	33,1	<0,001	0,006	77,4

und NDF ist etwas schwächer ($R^2 = 77,4 \%$), was auf botanische Unterschiede zwischen den einzelnen Proben aus den Dauerwiesenbeständen hinweist. Bekanntlich unterscheiden sich NDF und Rohfaser vor allem durch den Gehalt an Hemizellulose, die bei der Analyse der Rohfaser in Lösung geht. Einzelne botanische Arten bzw. Gruppen wie Gräser, Leguminosen oder Kräuter unterscheiden sich im Gehalt an Hemizellulose (Van Soest, 1994).

Zwischen dem Gehalt an Faser (XF, NDF etc.) und der Verdaulichkeit der OM (dOM) bestehen stark negative Beziehungen. Dies ist durch die eingangs beschriebene Lignifizierung der Gerüstsubstanzen bedingt. Lignin ist unverdaulich und durch seine chemische Komplexbildung mit Hemizellulose sowie durch die physikalische Inkrustierung der Faserkohlenhydrate verantwortlich für den Rückgang der Verdaulichkeit mit fortschreitender Vegetation (Van Soest, 1967). Erstaunlicher Weise ist der negative Zusammenhang zwischen Rohfaser und dOM enger als zwischen NDF und dOM ($R^2 = 61,4$ vs. $42,5 \%$, Abb. 1 Mitte). ADF und ADL weisen eine bessere Beziehung zur Verdaulichkeit auf als NDF (jeweils $R^2 = 51,2 \%$), jedoch etwas geringer als Rohfaser. Auch Van Soest (1994) weist darauf hin, dass die Nutzung von ADF als Predictor für Verdaulichkeit nicht auf theoretischer Basis, sondern nur auf statistischer Beziehung beruht.

Da mit fortschreitender Vegetation im Wiesenfutter der Gehalt an Faser zunimmt, deren Verdaulichkeit in Folge von Lignifizierung jedoch stark abnimmt, ist die Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen von grundlegender Bedeutung für die Energielieferung aus diesem Futter. Dem tragen auch neuere Entwicklungen der Futterbewertung Rechnung, die Abbaubarkeit und Abbaurate im Pansen sowie die Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen im gesamten Verdauungstrakt berücksichtigen (z. B. Huhtanen et al., 2008; Goeser und Combs, 2009; Combs, 2013). Abb. 1 (unten) zeigt diese sehr engen Zusammenhänge zwischen Verdaulichkeit der OM und der Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen. Diese sind am deutlichsten bei NDF ($R^2 = 89,0 \%$), gefolgt von XF ($R^2 = 86,4 \%$) sowie – nicht dargestellt – ADF ($R^2 = 86,1 \%$) und ADL ($R^2 = 0,4 \%$). Van Soest (1994) weist darauf hin, dass nicht so sehr der Gehalt an den Fraktionen der Gerüstsubstanzen die Verfügbarkeit der Nährstoffe bestimmt, sondern deren Verbindungen untereinander. Wie auch schon hinsichtlich des Gehaltes sind auch die Zusammenhänge zwischen der Verdaulichkeit von XF und jener von NDF ($R^2 = 91,6 \%$) und ADF ($R^2 = 87,5 \%$) sehr eng (nicht dargestellt).

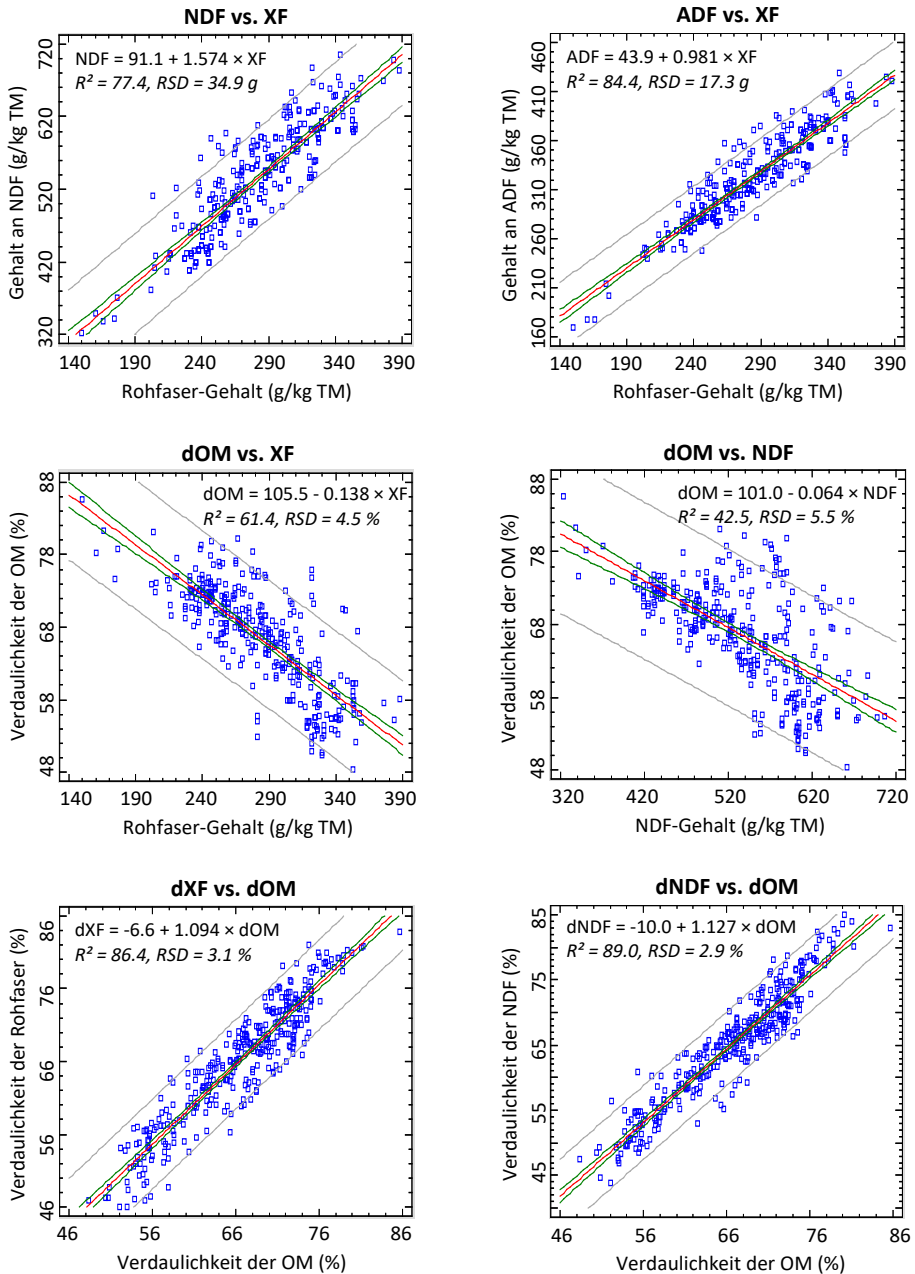


Abb. 1: Zusammenhänge zwischen Gehalt und Verdaulichkeit von Rohfaser und den Gerüstsubstanzen (NDF und ADF)

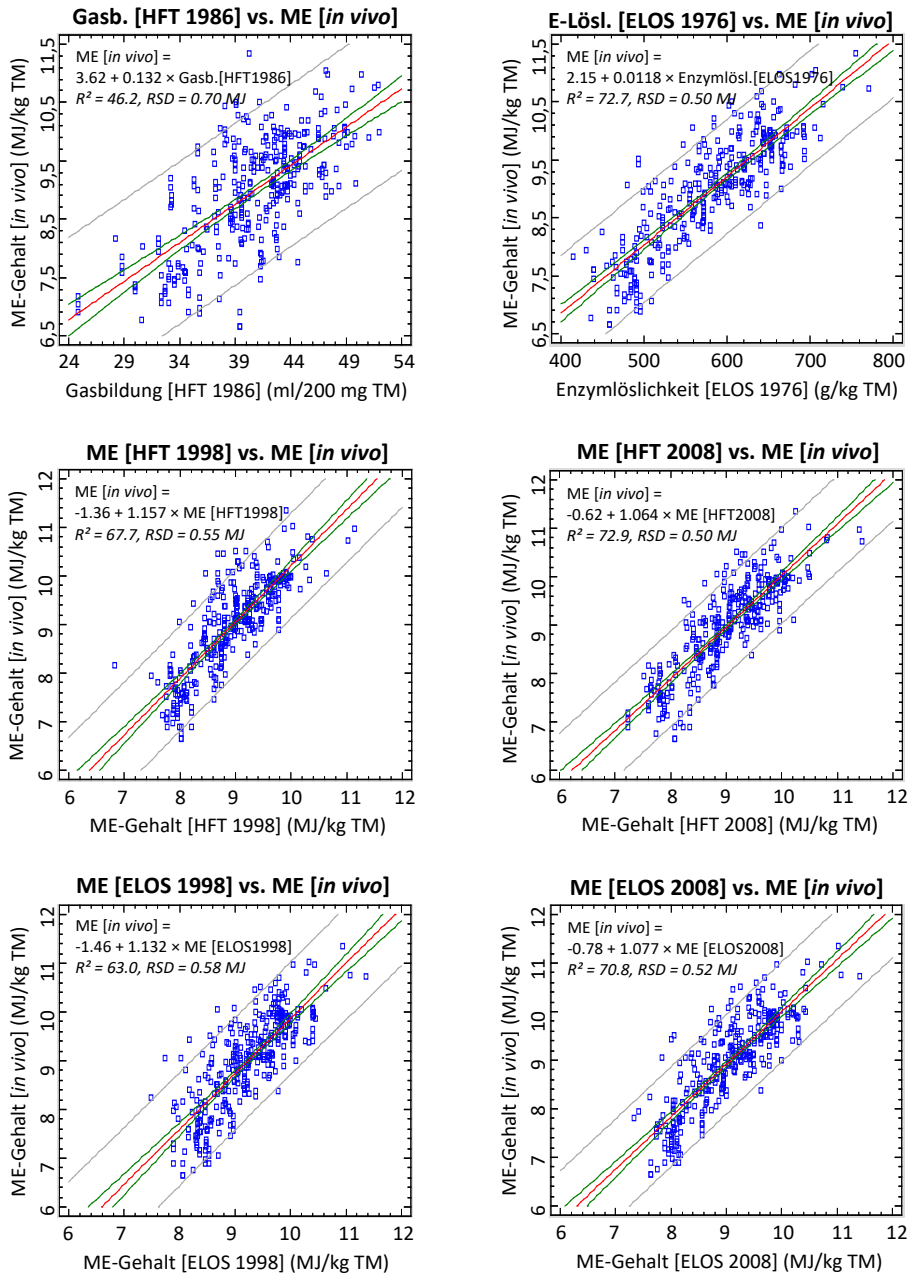


Abb. 2: Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der *in vitro*-Verdaulichkeitsmethoden (HFT, ELOS) und der Energiekonzentration

Nutzung von *in vitro*-Verdaulichkeitsmethoden

Da die Ermittlung der Verdaulichkeit *in vivo* in Folge des hohen Aufwandes auf Experimente beschränkt ist und für Untersuchungen von Praxisproben nicht in Frage kommt, wurden sog. *in vitro*-Verdaulichkeitsmethoden entwickelt, die über die chemische Analyse hinaus eine treffendere Bestimmung des Futterwertes erlauben. Dies wird durch die Fermentation der Futterprobe mit Enzymen oder Pansensaft erreicht. An den in der vorliegenden Untersuchung *in vivo* geprüften Futtermitteln wurden auch die *in vitro*-Methoden „Hohenheimer Futterwert-Test“ (HFT) und die „Enzymlöslichkeit“ (ELOS) angewendet und ihre Schätzgenauigkeit an den *in vivo* ermittelten Werten validiert. Die wesentlichen Ergebnisse sind in Abb. 2 dargestellt.

Der bei der Enzymlöslichkeit ermittelte ELOS-Wert zeigte eine engere Beziehung zu ME als die im HFT ermittelte Gasbildung ($R^2 = 72,7$ vs. $46,2\%$, Abb. 2 oben). Dies liegt einerseits an der variablen Aktivität des Pansensaftes (abhängig von Entnahme, Fütterung etc.), andererseits daran, dass die Gasbildung vor allem vom Gehalt an Kohlenhydraten abhängig ist (Steingaß und Menke, 1986). Werden dagegen die beiden *in vitro*-Verdaulichkeitsmethoden im Rahmen der von der GfE ermittelten Schätzgleichungen an den vorliegenden Daten angewendet (GfE, 1998 und 2008), zeigt sich, dass beide Methoden etwa gleichwertig sind, mit leichten Vorteilen für den HFT. Der Schätzfehler (Root mean square error prediction, RMSEp) bei der Anwendung der Formeln von GfE (1998) beträgt für HFT 0,55 und für ELOS 0,58 MJ ME, die entsprechenden Werte für die Schätzgleichungen GfE (2008) betragen 0,50 bzw. 0,52 MJ ME. Die Schätzgleichungen GfE (2008) führten also zu einer etwas genaueren Energiebewertung als jene von GfE (1998). Der Schätzfehler bei der Ableitung der Formeln (Root mean square error calibration, RMSEc) war in der Auswertung von GfE (1998) für ELOS etwas niedriger (im Mittel von Frischgras, Silage und Heu 0,36 MJ ME) als für HFT (0,39 MJ ME). Dagegen schnitt in der Auswertung von GfE (2008) HFT etwas günstiger ab als ELOS (0,45 vs. 0,50 MJ ME). Insgesamt sind diese Unterschiede in der Schätzgenauigkeit der *in vitro*-Verdaulichkeitsmethoden sehr gering.

Abschließend werden Schätzgleichungen für ME auf Basis von Rohnährstoffen, ADF sowie HFT bzw. ELOS angeführt. Diese beinhalten zusätzlich zu analytischen Kenngrößen auch Koeffizienten für Konservierungsmethode und Aufwuchs und haben einen geringeren RMSEc.

$$\begin{aligned}
 \text{ME} &= 9,913 + 0,0089 \times \text{XP} + 0,0337 \times \text{XL} - 0,0113 \times \text{ADF} \\
 &- 0,0116 \times \text{XA} + 0,0493 \times \text{Gasbildung} \\
 &+ \text{Konservierung} \\
 &\quad \text{Grünfutter} = +0,524 \\
 &\quad \text{Silage} = -0,360 \\
 &\quad \text{Heu} = 0,000 \\
 &+ \text{Aufwuchs} \\
 &\quad 1. \text{ Aufwuchs} = +0,104 \\
 &\quad \text{Mischung 1. und Folgeaufwüchse} = +0,007 \\
 &\quad \text{Folgeaufwüchse} = 0,000 \\
 &R^2 = 82,0 \%, \text{ RMSEc} = 0,41 \text{ MJ (4,54 \%)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ME} &= 5,302 + 0,0034 \times \text{XP} + 0,0058 \times \text{XL} - 0,0047 \times \text{ADF} \\
 &- 0,0082 \times \text{XA} + 0,0093 \times \text{ELOS} \\
 &+ \text{Konservierung} \\
 &\quad \text{Grünfutter} = +0,519 \\
 &\quad \text{Silage} = -0,431 \\
 &\quad \text{Heu} = 0,000 \\
 &+ \text{Aufwuchs} \\
 &\quad 1. \text{ Aufwuchs} = +0,190 \\
 &\quad \text{Mischung 1. und Folgeaufwüchse} = -0,144 \\
 &\quad \text{Folgeaufwüchse} = 0,000 \\
 &R^2 = 85,9 \%, \text{ RMSEc} = 0,36 \text{ MJ (4,02 \%)}
 \end{aligned}$$

ME in MJ/kg TM

XP, XL, ADF, XA, ELOS in g/kg TM, Gasbildung in ml/200 mg TM.

4 Literaturangaben

Combs, D.K., 2013: TTNDFD: A new approach to evaluate forages. Proceedings Cornell Nutrition Conference 2013 Dept. Anim. Sci., Cornell University, Ithaca (NY, USA), 113-125.

Daccord, R., 1992: Grenzen der Milchleistung. Landfreund 52, 11-13.

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

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 1998: Formeln zur Schätzung des Gehaltes an Umsetzbarer Energie in Futtermitteln aus Aufwüchsen des

- Dauergrünlandes und Mais-Ganzpflanzen. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 7, 141-150.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 2008: New equations for predicting metabolisable energy of grass and maize products for ruminants. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 17, 191-198.
- Goeser, J.P., Combs, D.K., 2009: An alternative method to assess 24-h ruminal *in vitro* neutral detergent fiber digestibility. J. Dairy Sci. 92, 3833-3841.
- Gruber, L., Steinwender, R., Baumgartner, W., 1995: Einfluß von Grundfutterqualität und Kraftfutterniveau auf Leistung, Stoffwechsel und Wirtschaftlichkeit von Kühen der Rasse Fleckvieh und Holstein Friesian. Bericht 22. Tierzuchttagung, BAL Gumpenstein, 9.-10. Mai 1995, 1-49.
- Gruber, L., Guggenberger, T., Schauer, A., 1996: Aspekte, Einflussfaktoren und Bestimmung der Grundfutterqualität. Bericht 23. Tierzuchttagung, BAL Gumpenstein, 4.-5. Juni 1996, 71-105.
- Gruber, L., Steinwider, A., Guggenberger, T., Schauer, A., Häusler, J., Steinwender, R., Steiner, B., 2000: Einfluss der Grünlandbewirtschaftung auf Ertrag, Futterwert, Milcherzeugung und Nährstoffausscheidung. Bericht 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein, 6.-8. Juni 2000, 41-88.
- Gruber, L., Häusler, J., Steinwider, A., Schauer, A., Maierhofer, G., 2006: Influence of cutting frequency in Alpine permanent grassland on nutritive value, DM yield and agronomic parameters of milk production. Slovak J. Anim. Sci. 39, 26-42.
- Gruber, L., Guggenberger, T., Gappmaier, S., Terler, G., Schauer, A., 2021: Einfluss des Vegetationsstadiums von Dauerwiesen-Futter im Alpenraum auf die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und Gerüstsubstanzen sowie Zusammenhänge zu *in vitro*-Verdaulichkeit und Energiegehalt. 132. VDLUFA-Kongress, Speyer, 14.-16. September 2021, Kurzfassungen, 49.
- Huhtanen, P., Seppälä, A., Ots, M., Ahvenjärvi, S., Rinne, M., 2008: *In vitro* gas production profiles to estimate extent and effective first-order rate of neutral detergent fibre digestion in rumen. J. Anim. Sci. 86, 651-659.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 1989: Ruminant Nutrition. Recommended Allowances and Feed Tables (R. Jarrige, Ed.), John Libbey Eurotext Paris-London-Rome, 389 S.

-
- Minson, D.J., 1990: Forage in Ruminant Nutrition. Acad. Press, 483 S.
- Mowat, D.N., Fulkerson, R.S., Tossell, W.E., Winch, J.E., 1965: The *in vitro* digestibility and protein content of leaf and stem portions of forages. Can. J. Plant Sci. 45, 321-331.
- Pritchard, G.I., Folkins, L.P., Pigden, W.J., 1963: The *in vitro* digestibility of whole grasses and their parts at progressive stage of maturity. Can. J. Plant Sci. 43, 79-87.
- Sniffen, C.J., O'Connor, J.D., Van Soest, P.J., Fox, D.G., Russell, J.B., 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 70, 3562-3577.
- Spiekers, H., Nußbaum, H., Potthast, V., 2009: Erfolgreiche Milchviehfütterung. 5. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 576 S.
- Steingäß, H., Menke, K.-H., 1986: Schätzung des energetischen Futterwertes aus der *in vitro* mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. 1. Untersuchungen zur Methode. Übers. Tierernährg. 14, 251-270.
- St-Pierre, N.R., 2001: Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model technology. J. Dairy Sci. 84, 741-755.
- Van Soest, P.J., 1967: Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. J. Anim. Sci. 26, 119-128.
- Van Soest, P.J., Mertens, D.R., Deinum, B., 1978: Preharvest factors influencing quality of conserved forage. J. Anim. Sci. 47, 712-720.
- Van Soest, P.J., 1994: Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd Ed., Cornell University Press, Ithaca und London, 476 S.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Wilman, D., Gao, Y., Altimimi, M.A.K., 1996: Differences between related grasses, times of year and plant parts in digestibility and chemical composition. J. Agric. Sci. (Camb.) 127, 311-318.