

Supplemente zur Tierernährung

für Studium und Praxis



12., überarbeitete Auflage

Herausgegeben von:

Josef Kamphues, Petra Wolf, Manfred Coenen,
Klaus Eder, Christine Iben, Ellen Kienzle, Annette Liesegang,
Klaus Männer, Qendrim Zebeli und Jürgen Zentek



M. & H. Schaper

Supplemente zur Tierernährung

für Studium und Praxis

12., überarbeitete Auflage

Begründet von

PROF. DR. DR. H. C. HELMUT MEYER, Hannover

Herausgegeben von

PROF. DR. JOSEF KAMPHUES

Institut für Tierernährung

Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover

DR. PETRA WOLF

Institut für Ernährungsphysiologie
und Tierernährung

Universität Rostock

PROF. DR. KLAUS EDER

Institut für Tierernährung und Ernährungs-
physiologie

Justus-Liebig-Universität Gießen

AO. PROF. DR. CHRISTINE IBEN

Institut für Tierernährung und funktionelle
Pflanzenstoffe

Universität Wien

PROF. DR. ELLEN KIENZLE

Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik
Ludwig-Maximilians-Universität München

PROF. DR. MANFRED COENEN

Institut für Tierernährung, Ernährungs-
schäden und Diätetik

Universität Leipzig

PROF. DR. ANNETTE LIESEGANG

Institut für Tierernährung

Universität Zürich

APL. PROF. DR. KLAUS MÄNNER

Institut für Tierernährung
Freie Universität Berlin

PROF. DR. QENDRIM ZEBELI

Institut für Tierernährung und funktionelle
Pflanzenstoffe

Universität Wien

PROF. DR. JÜRGEN ZENTEK

Institut für Tierernährung
Freie Universität Berlin

Unter Mitarbeit von

DR. BRITTA DOBECKER, TA ROBERT KIRCHNER, PD DR. PETRA KÖLLE,

DR. MAREIKE KÖLLN, DR. ANNE MÖSSELER, DR. CHRISTINE RATERT,

DR. SAARA SANDER und PD DR. INGRID VERVUERT



M.&H. Schaper

Mit freundlicher Unterstützung von



Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe in der Tierernährung e.V.

Die AWT e.V. als deutscher Wirtschaftsverband mit internationaler Tätigkeit vertritt die fachlichen, wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Interessen der führenden Hersteller, Verarbeiter und Inverkehrbringer von Futtermittelzusatzstoffen in der Tierernährung.

www.awt-feedadditives.org, info@awt-feedadditives.org

STN – Servicegesellschaft Tierische Nebenprodukte mbH

Die STN ist Berater für den Bereich der Einsammlung, Verarbeitung und Verwendung tierischer Nebenprodukte und ihrer Erzeugnisse, speziell für die Mitglieder des Verbandes der Verarbeitungsbetriebe Tierischer Nebenprodukte e.V. Außerdem gibt die STN die Zeitschrift *Tierische Nebenprodukte Nachrichten (TNN)* heraus.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de/abrufbar>.

ISBN 978-3-7944-0240-3 (Print)

ISBN 978-3-7944-0241-0 (PDF)

© 2014, M. & H. Schaper GmbH, Hans-Böckler-Allee 7, 30173 Hannover

Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

Eine Markenbezeichnung kann warenzeichenrechtlich geschützt sein, ohne dass diese gesondert gekennzeichnet wurde. Die beschriebenen Eigenschaften und Wirkungsweisen der genannten pharmakologischen Präparate basieren auf den Erfahrungen der Autoren, die größte Sorgfalt darauf verwendet haben, dass alle therapeutischen Angaben dem derzeitigen Wissens- und Forschungsstand entsprechen. Darüber hinaus sind die den Produkten beigefügten Informationen in jedem Fall zu beachten.

Der Verlag und die Autoren übernehmen keine Haftung für Produkteigenschaften, Lieferhindernisse, fehlerhafte Anwendung oder bei eventuell auftretenden Unfällen und Schadensfällen. Jeder Benutzer ist zur sorgfältigen Prüfung der durchzuführenden Medikation verpflichtet. Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr.

Reihengestaltung: Groothuis, Lohfert, Consorten | glcons.de

Umschlaggestaltung: Michael Fröhlich, Hannover

Umschlagabbildungen: Hintergrund: Markus Kauf, Einklinker: (vorn) reises, (hinten) Arthur Baumann, drx, Marcel Hurni, Thierry Sébaut – fotolia.com

Index: Jochen Fassbender, Bremen

Satz: PER Medien+Marketing GmbH, Braunschweig

Druck und Bindung: Stürtz GmbH, Würzburg

Vorwort

Fast sechs Jahre nach der letzten Überarbeitung liegen die „Supplemente“ in einer neuen, nunmehr zwölften Auflage vor. Dabei wurde das Konzept des von HELMUT MEYER (Hannover) begründeten, später unter Mitarbeit von KURT BRONSCH (Berlin) und JOSEF LEIBETSEDER (Wien) herausgegebenen Werkes weiterentwickelt, und zwar mit besonderer Fokussierung auf Fragen und Aufgaben einer am tierärztlichen Berufsfeld orientierten Tierernährung: Grundlagen der Futtermittelkunde und einer bedarfsgerechten Ernährung, Beurteilung der Energie- und Nährstoffversorgung, nutritiv bedingte Probleme beim einzelnen Tier sowie im Tierbestand, Bedeutung der Tierernährung für die Lebensmittelqualität und -sicherheit und nicht zuletzt die Ernährung/Versorgung eines immer größeren Spektrums an „Liebhabertieren“. Die „Supplemente“ entwickelten sich so mehr und mehr zu einem Lehrbuch der „Tierernährung für Tierärzte“.

Die Notwendigkeit einer Überarbeitung ergab sich u. a. aus erheblichen Veränderungen in den rechtlichen Rahmenbedingungen (z. B. Futtermittelverkehrsverordnung), neuen Versorgungsempfehlungen (z. B. für Pferde), oder gerade verabschiedeten Parametern in der Rationsgestaltung (z. B. peNDF) sowie aus veränderten Orientierungswerten (z. B. für den mikrobiologischen Status von Grundfuttermitteln).

Wünsche nach einem Mehr an „optisch-redaktioneller Struktur“ und „Text“ zur Erleichterung von Lesbarkeit und Verständnis wurden bei dieser Überarbeitung verstärkt berücksichtigt. Bei ihrer Informations- und Datendichte sind die „Supplemente“ natürlich mehr als ein „Taschenbuch“, und Tierernährungswissen ohne Zahlen – ein Widerspruch in sich!

Auch diese neue Auflage soll Vorlesungen und Übungen im Studium ergänzen und ihrer Funktion als Nachschlagewerk für die Praxis (Tierärztinnen/Tierärzte, Berater, Tierhalter etc.) gerecht werden. Die „Supplemente“ bieten – so hoffen die Herausgeberinnen und Herausgeber – den Studierenden den notwendigen Überblick und fördern ein tieferes Verständnis für Zusammenhänge.

Unter Mitwirkung von Autorinnen und Autoren aus allen Tierernährungsinstituten der deutschsprachigen tierärztlichen Bildungsstätten (Berlin, Gießen, Hannover, Leipzig, München, Wien und Zürich) entstand in einem breiten Konsens über Lehrinhalte der Tierernährung in der Veterinärmedizin – gerade zum Vorteil für die Studierenden – die vorliegende zwölfte Auflage. Die neuen „Supplemente“ sollen auch in Zukunft die Lehrveranstaltungen – und das Gedächtnis der Studierenden – entlasten und der tierärztlichen Praxis als Bestandteil der „Handbibliothek“ konkrete Hilfen und Antworten bei Fragen zur Tierernährung und Diätetik bieten.

Hannover, Juli 2014

JOSEF KAMPHUES, Hannover
 PETRA WOLF, Rostock
 MANFRED COENEN, Leipzig
 KLAUS EDER, Gießen
 CHRISTINE IBEN, Wien
 ELLEN KIENZLE, München
 ANNETTE LIESEGANG, Zürich
 KLAUS MÄNNER, Berlin
 QENDRIM ZEBELI, Wien
 JÜRGEN ZENTEK, Berlin

Inhalt

Abkürzungen	XI	5 Protein und Proteinbewertung	
Körpermassen und metabolische		5.1 Proteinbewertung für Mono-	
Körpergrößen	XIII	gastrier	29
Fachbezeichnungen für die Entwicklungs-		5.1.1 Proteinbewertung durch	
und Leistungsstadien	XIV	die N-Bilanz	31
		5.1.2 Proteinbewertung anhand der	
		praeacaalen Verdaulichkeit von	
		Protein und AS.	32
I Allgemeine Angaben		5.2 Proteinbewertung für Wdk	34
über Futtermittel (FM)		5.2.1 Ruminale Abbaubarkeit	34
1 Einteilung	3	5.2.2 Ruminale N-Stoffwechsel	35
2 Futtermitteluntersuchung		5.2.3 Ruminale N-Bilanz	36
2.1 Probenahme	6	5.3 AS-Bedarf und -Bedarfsdeckung ..	37
2.2 Analytik	7		
3 Verdaulichkeit		6 Ver- und Bearbeitung	
3.1 Begriffe	13	von Einzel-/Misch-FM	
3.2 Bestimmung	13	6.1 Reinigen	39
3.3 Beeinflussung der Verdaulichkeit ..	15	6.2 Zerkleinern	40
4 Energiebewertung		6.3 Erhitzen (ohne Druck)	42
4.1 Systeme der Energiebewertung	19	6.4 Sterilisieren	42
4.2 Formeln zur Schätzung		6.5 Mischen	42
des Energiegehaltes in Einzel-		6.6 Pelletieren	42
bzw. Misch-FM	24	6.7 Extrudieren, Expandieren	43
Einzel- und Misch-FM für Pfd	25	6.8 Brikettieren	43
Einzel- und Misch-FM für Schw.	25	6.9 Aufschließen	44
Misch-FM für Gefl	25	6.10 Coaten	45
Einzel- und Misch-FM für Wdk	25		
Einzel- und Misch-FM für Flfr	26	7 Konservierung	
		7.1 Trocknen	46
		7.2 Säuern	46
		7.3 Zusatz von Konservierungsmitteln	47
		7.4 Konservierende Atmosphäre	47
		7.5 Tiefe Temperaturen bzw. Kühlen ..	47
		7.6 Sterilisieren	47

8	Lagerung	48
9	Verderb	
9.1	Biotischer Verderb	50
9.2	Abiotischer Verderb bzw. Aktivitätsverluste	52
10	Ökonomische Bewertung von Futtermitteln und Fütterung	
10.1	Preise/Kosten von FM	53
10.2	Optimierung der MF-Rezeptur/ Rationsgestaltung	55
11	Futtermittelrechtliche Regelungen	
11.1	Intentionen FM-rechtlicher Vor- gaben (LFGB/FM-VO/FMV-VO). .	57
11.2	Instrumente des Futtermittelrechts	57
11.3	Definitionen (gekürzt; EG-VO 178/02, LFGB, FMV-VO, FMH-VO, EG-VO 1831/03)	58
11.4	Futtermittel-Verordnung (FM-VO vom 24.05.2007; nach Änderung vom 17.05.2013)	59
11.5	FM-Verkehrs-VO (FMV-VO 767/2009)	60
11.6	Übersichten zu den wichtigsten Regelungen	62
11.6.1	Einzelfuttermittel	63
11.6.2	Futtermittelzusatzstoffe	63
11.6.3	Mischfuttermittel (MF)	64
11.6.4	Diätfuttermittel (Anlage 2a, FMV-VO)	64
11.6.5	Unerwünschte Stoffe und Mittel- rückstände von Pflanzen-/Vorrats- schutz- oder Schädlingsbekämp- fungsmitteln	65
11.6.6	Verbotene Materialien (Anhang III der FMV-VO 767/2009)	65
11.6.7	Tierische Nebenprodukte (EG-VO 1069/2009)	65
11.6.8	Anforderung an Betriebe (FM-VO/FMH-VO/FMV-VO) . . .	67
11.7	FM-rechtliche Rahmenbedingun- gen in Österreich und der Schweiz	68

II Beschreibung und Verwen- dung der Futtermittel

1 Grünfutter

1.1	Definition und allgemeine Eigen- schaften	71
-----	--	----

2 Grünfutterkonserven

2.1	Trocknen (Heu, Trockengrün)	80
2.2	Silieren	83

3 Stroh und Spreu

3.1	Stroh	91
3.2	Spreu	92

4 Wurzeln und Knollen

4.1	Pflanzenarten	93
4.2	Wuchsformen verschiedener Rübenarten	93
4.3	Allgemeine Eigenschaften und Zusammensetzung	93
4.4	Verwendung	94

5 Nebenprodukte der Rüben- und Kartoffelverarbeitung

5.1	Nebenprodukte der Rüben- verarbeitung	96
5.2	Nebenprodukte der Kartoffel- verarbeitung	97

6 Getreidekörner

6.1	Allgemeine Charakterisierung des Getreidekorns (= Caryopse)	100
6.2	Zusammensetzung	101
6.3	Verwendung	103

7 Nebenprodukte der Getreideverarbeitung

7.1	Mühlennachprodukte	104
7.2	Nebenprodukte der Brauerei und Brennerei	107

8	Leguminosenkörner und fettreiche Samen		14	Sonstige Nebenprodukte	128
8.1	Zusammensetzung	110	15	Weitere Einzelfuttermittel	
8.2	Verwendung	111	15.1	Proteinerzeugnisse aus Mikroorganismen	130
9	Nebenprodukte der Öl- und Fettgewinnung		15.2	NPN-Verbindungen (Non Protein Nitrogen)	131
9.1	Definition und Eigenschaften	113	15.3	Mineralstoffe und daraus gewonnene Erzeugnisse	131
9.2	Herstellung	113	15.4	Sonstige Einzel-FM	132
9.3	Zusammensetzung von Extraktionsschroten	114	16	Zusatzstoffe	
9.4	Verwendung	115	16.1	Technologische Zusatzstoffe	133
10	Milch und Milchverarbeitungsprodukte		16.1.1	Konservierungsmittel	133
10.1	Allgemeine Eigenschaften	117	16.1.2	Antioxidationsmittel	134
10.2	Milchverarbeitung	117	16.1.3	Emulgatoren/Stabilisatoren/Verdickungsmittel/Geliermittel	134
10.3	Zusammensetzung	118	16.1.4	Fließhilfsstoffe/Bindemittel	134
10.4	Verwendung	119	16.1.5	Radionuklidbindemittel	135
11	Fischmehl und FM aus anderen Meerestieren		16.1.6	Säureregulatoren	135
11.1	Definition und allgemeine Eigenschaften	120	16.1.7	Silierzusatzstoffe	135
11.2	Zusammensetzung	120	16.1.8	Stoffe zur Verringerung der Mykotoxin-Kontamination	135
11.3	Verwendung	121	16.2	Sensorische Zusatzstoffe	135
12	Tiermehle/Erzeugnisse von Landtieren		16.2.1	Färbende Stoffe	135
12.1	Definition und allgemeine Eigenschaften	122	16.2.2	Aroma- und appetitanregende Stoffe	136
12.2	Zusammensetzung	122	16.3	Ernährungsphysiologische Zusatzstoffe	136
12.3	Verwendung	122	16.3.1	Vitamine/Provitamine/ähnlich wirkende Stoffe	136
13	Fette		16.3.2	Spurenelemente	137
13.1	Definition und allgemeine Eigenschaften	124	16.3.3	Aminosäuren, deren Salze und Analoge	138
13.2	Zusammensetzung	124	16.3.4	Harnstoff und seine Derivate	138
13.3	Qualitätsanforderungen	124	16.4	Zootechnische Zusatzstoffe	139
13.4	Verwendung von Fetten und Fettsäuren	127	16.4.1	Verdaulichkeitsförderer (Enzyme)	139
			16.4.2	Darmflorastabilisatoren (Probiotika)	139
			16.4.3	Sonstige zootechnische Zusatzstoffe	140
			16.5	Antikokzidia u. ä. Wirkstoffe	140

17 Mischfutter

17.1	Definitionen	142
17.2	Allgemeine Anforderungen	142
17.3	Deklaration (nach FMV-VO 767/2009)	143
17.4	Mineralfutter	144
17.5	Diätfuttermittel	144

18 Vergleichende Darstellung von Nährstoffgehalten in FM

18.1	Rp-Gehalt	146
18.2	AS-Gehalte	146
18.3	Ca-Gehalte	148
18.4	P-Gehalte	148
18.5	Vit-B-Gehalte	149

III Schadwirkungen durch Futtermittel und Fütterung

1	Störungen der Magen-Darm-Gesundheit und Veränderungen von Kot/Exkrementen ...	153
---	---	-----

2	FM mit antinutritiven/evtl. schädlichen Inhaltsstoffen ...	157
---	--	-----

3 FM-Kontaminationen

3.1	Kontaminanten belebter Art und Herkunft	160
3.1.1	Giftpflanzen	160
3.1.2	Samen mit giftigen Inhaltsstoffen ...	163
3.1.3	Toxine von Algen, Pilzen und Bakterien	163
3.1.4	Erreger von Infektionskrankheiten ..	167
3.2	Kontaminationen unbelebter Art ..	167

4 Verdorbene Futtermittel

4.1	Insekten (Motten/Käfer) und/oder Milben	169
4.2	Pilze, Pilzsporen und Hefen	170
4.3	Bakterien	170
4.4	Mikrobiell gebildete Produkte ...	170

5	Fehler in der FM-Auswahl und -Dosierung	171
---	---	-----

6	Fehler in der FM-Bearbeitung und MF-Herstellung	173
---	---	-----

7	Unerwünschte Stoffe und Höchstwerte	176
---	---	-----

IV Beurteilung von Futtermitteln

1	Grünfutter, Heu und Silagen	181
---	-----------------------------	-----

1.1	Allgemeines zum Futterwert	181
1.2	Schätzung des TS-Gehaltes in Silagen	181
1.3	Einfluss von TS- und Ra-Gehalt auf den Futterwert	182
1.4	Sensorische Prüfung von Heu	183
1.5	Bewertung von Silagen	184

2 Stroh

2.1	Sensorische Prüfung	187
2.2	Beurteilung	188

3	Getreidekörner	189
---	----------------------	-----

4	Mischfutter (Schrot, Pellets, u. a. Konfektionierungen)	191
---	--	-----

4.1	Sensorische Prüfung von Mischfutter	191
-----	---	-----

5 Untersuchungen zur Qualität des Tränkwassers

5.1	Rechtliche Vorgaben zum Tränkwasser	193
5.2	Allgemeine Anforderungen an Tränkwasser	193
5.3	Mikrobiologische Qualität	193
5.4	Physiko-chemische Qualität	194
5.5	Kontrolle der Wasserqualität vor Ort	194
5.6	Chemische Qualität	194
5.7	Grenzwerte für weitere chemische Kontaminanten in Trinkwasser ...	195

6 Spezielle Untersuchungsverfahren

6.1	Bestimmung des Vermahlungsgrades	197
6.2	Prüfung auf Quellfähigkeit/Wasserbindungsvermögen von FM/MF	199
6.3	Prüfung des Sedimentationsverhaltens	199
6.4	Prüfung auf hohe Mineralstoff-Gehalte	200
6.5	Prüfung der Pufferkapazität bzw. des Säurebindungsvermögens von MF	200
6.6	Prüfung auf Milbenbesatz in/von FM	200
6.7	Prüfung auf Datura-Samen-Besatz in FM	201
6.8	Prüfung auf NO_3^- -/ NO_2^- -Gehalte in FM	201
6.9	Nachweis von cyanogenen Glycosiden in FM	201
6.10	Prüfung auf Toastung von SES (= Ureasetest)	202

7 Beurteilung der mikrobiologischen Qualität von FM

7.1	Bestimmung nach dem Kulturverfahren	203
7.2	Bestimmung anhand indirekter Verfahren	207
7.3	Prüfung auf die Aktivität diverser Gasbildner, insbesondere von Hefen	208

V Allgemeines zur Tierernährung

1 Futter-/TS-Aufnahme

210

2 Ableitung des Energie- und Nährstoffbedarfs

2.1	Energie und Protein	213
2.2	Mengenelemente	223
2.3	Spurenelemente	226
2.4	Vitamine	227
2.5	Wasserbedarf bzw. -aufnahme	229

3 Energie- und Nährstoffunter- bzw. -überversorgung

3.1	Energie/Nährstoffe	231
3.2	Unterversorgung mit Wasser	234

4 Einfluss der Fütterung auf die LM-Qualität

4.1	Qualitätskriterien	237
4.2	Fleischproduktion	238
4.3	Milchproduktion	238
4.4	Eiproduktion	238
4.5	Ernährung und LM-Qualität	238

5 Beurteilung von Futter- und Wasserversorgung

5.1	Verfügbare Informationsquellen zur Beurteilung	240
5.2	Wasserversorgung	242
5.3	Futter und Fütterung	243
5.4	Kalkulationen zur Beurteilung der Energie- und Nährstoffversorgung	244
5.5	Untersuchung körpereigener Substrate	245

6 Diätetik als tierärztliche Aufgabe und Leistung

6.1	Übersicht zu Indikationen für diätetische Maßnahmen	249
-----	---	-----

7 Ernährung von Embryo, Fötus und Säugling

7.1	Ernährung und Fertilität	253
7.2	Embryo und Fötus	253
7.3	Säuglinge	254

VI Ernährung verschiedener Spezies

1 Rinder

1.1	Kälber	261
1.1.1	Kolostralmilchperiode.....	262
1.1.2	Postkolostrale Phase	262
1.1.3	Mastkälber.....	267
1.1.4	Ernährungsbedingte Gesundheitsstörungen bei Kälbern.....	270
1.1.5	Klärung nutritiv bedingter Störungen	273
1.2	Wiederkauende Rinder	274
1.2.1	Allgemeine Gesichtspunkte zur Rationsgestaltung.....	274
1.2.2	Färsen und Jungbullen (Aufzucht) ..	280
1.2.3	Mastrinder.....	282
1.2.4	Milchkühe.....	285
1.2.5	Futtermittel für Wiederkäuer.....	293
1.2.6	Fütterungsbedingte Gesundheitsstörungen bei Wdk.....	298
1.2.7	Diät-FM für Wdk.....	306

2 Schafe

2.1	Schafressen	308
2.2	Lämmer	308
2.3	Mutterschafe	312
2.4	Zuchtböcke	314
2.5	Futtermittel für Schafe	314
2.6	Ernährungsbedingte Gesundheitsstörungen	314

3 Ziegen

3.1	Ziegenrassen	316
3.2	Fütterung der Ziegen	316

4 Wildwiederkäuer

4.1	Rehwild (15–20 kg KM)	321
4.2	Dam- und Rotwild (Dam-/Rothirsche)	321

5 Pferde

5.1	Körpermasse und Ernährungszustand	324
5.2	Hinweise zur Rationsgestaltung und Fütterung	327
5.3	Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung im Erhaltungsstoffwechsel	329
5.4	Energie-/Nährstoffversorgung von Reit-/Arbeitspferden	331
5.5	Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Zuchstuten	334
5.6	Energie-/Nährstoffversorgung von Fohlen/Jungpferden	336
5.7	Energie-/Nährstoffversorgung von Deckhengsten	340
5.8	Ernährungsbedingte Erkrankungen und Störungen	340
5.9	Diätetik/diätetische Maßnahmen beim Pferd	346

6 Schweine

6.1	Jungsauenaufzucht	354
6.2	Sauen	355
6.3	Eber	361
6.4	Ferkel	362
6.5	Mastschweine	366
6.6	Diätetik/diätetische Maßnahmen ..	376
6.7	Herstellung von Futtermischungen/MF	379
6.8	Futtermittel für Schweine	381

7 Fleischfresser

7.1	Hunde	384
7.2	Katzen	395
7.3	Frettchen/Iltis	400
7.4	Ernährungsbedingte Erkrankungen sowie Diätetik bei Flfr	401
7.5	Futtermittel für Fleischfresser	412

8 Heintiere/Versuchstiere/Igel

8.1	Grundlagen/Allgemeine Informationen	416
8.2	Nähere Angaben zu einzelnen Spezies	420
8.2.1	Mäuse und Ratten	420
8.2.2	Gerbil	420
8.2.3	Hamster (<i>Cricetinae</i>)	421
8.2.4	Streifenhörnchen	422
8.2.5	Kaninchen (<i>Oryctolagus cuniculus</i> var. <i>domestica</i>)	422
8.2.6	Chinchilla	424
8.2.7	Meerschweinchen	426
8.2.8	Degu	427
8.3	Energie- und Nährstoffgehalte diverser FM	427
8.4	Fütterungspraxis bei Versuchstieren	429
8.5	Igel	432

9 Nutzgeflügel

9.1	Die Zusammensetzung der Nutzgeflügelprodukte	435
9.2	Legehennen einschl. Küken und Junghennen	437
9.3	Mastgeflügel (Hühner, Puten, Enten, Gänse)	447
9.4	Fütterungspraxis bei Elterntieren ..	454
9.5	Ernährungsbedingte Störungen ...	456
9.6	FM für Nutzgeflügel	459

10 Tauben

10.1	Energie- und Nährstoffversorgung	465
10.2	Fütterungspraxis	467
10.3	Ernährungsbedingte Störungen ...	467

11 Ziervögel

11.1	Körnerfressende Ziervogelarten ...	468
11.2	Weichfutterfresser	476
11.3	Ernährungsbedingte Störungen ...	478

12 Reptilien

12.1	Ernährungsphysiologische Grundlagen	481
12.2	Fütterungspraxis	482
12.3	Ernährungsbedingte Störungen ...	484

13 Nutzfische (Forellen, Karpfen)

13.1	Allgemeine Daten	487
13.2	Energie-/Nährstoffbedarf	488
13.3	Futter und Fütterung	488
13.4	Ernährungsbedingte Störungen ...	492

14 Zierfische

14.1	Allgemeine biologische Grunddaten	494
14.2	Fütterungspraxis	497
14.3	Ernährungsbedingte Störungen ...	497

Index	499
-------------	-----

Abkürzungen

AB	Antibiotika	DON	Desoxynivalenon (Mykotoxin)
ADF	acid detergent fiber (saure Detergens-Faser)	dt	Dezitonne (= 100 kg)
ADL	acid detergent lignin (saures Detergens-Lignin)	DTZ	durchschnittliche tägliche Zunahme
AF	Alleinfutter	E	Energie
AFLA	Aflatoxine (Mykotoxine)	EF	Ergänzungsfutter
AK	Aujeszkysche Krankheit	EG/EU	Europäische Gemeinschaft/Europäische Union
ANF	antinutritional factors (Antinutritive Faktoren)	EM	Eimasse
Arg	Arginin	ESP	Europäische Schweinepest
AS	Aminosäure(n)	ess. AS	essenzielle Aminosäure(n)
BCS	Body Condition Score (Ernährungszustand)	EZ	Ernährungszustand
BGBI	Bundesgesetzblatt	FA	Futteraufnahme
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung	FCM	Fat Corrected Milk (Milch mit 4 % Fett)
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz	FFS	flüchtige Fettsäuren (volatile fatty acids = VFA)
bw	body weight (Körpermasse)	Flfr	Fleischfresser
BW	biologische Wertigkeit	FM	Futtermittel
cal	Kalorie (= 4,1868 Joule)	FMH	Futtermittel-Hygiene
CCM	Corn Cob Mix	FS	Fettsäuren
CNCP	Cornell Net Carbohydrate and Protein System	Gb	Gasbildung
Cys	Cystin	GE	Gross Energy (Bruttoenergie)
d	Tag	GF	Grundfutter(mittel)/Grobfutter(mittel)
DCAB	Dietary Cation Anion Balance (Kationen-Anionen-Bilanz)	Gefl	Geflügel
DCAD	Dietary Cation Anion Difference (Kationen-Anionen-Differenz)	GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
DDGS	Dried Distillers Grains with Solubles (Trockenschlempe)	GIT	Gastrointestinaltrakt
DE	Digestible Energy (Verdauliche Energie)	GKZ	Gesamtkeimzahl
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft	GMD	Geometric mean diameter (mittlere Partikelgröße/Durchmesser)
		GPS	Ganzpflanzensilage
		GPx	Glutathionperoxydase
		GVE	Großvieheinheit
		h	Stunde
		ha	Hektar
		Hd	Hund
		His	Histidin

HPLC	High performance liquid chromatography (Hochdruckflüssigkeitschromatographie)	Mschw	Meerschweinchen
ICP-MS	Inductive coupled plasma mass spectrometry (Verfahren der Massenspektrometrie)	NDF	neutral detergent fiber (Neutrale Detergens-Faser)
IE	Internationale Einheit	NDR	neutral detergent residue (Neutraler Detergens-Rückstand)
Ile	Isoleucin	NE	Net Energy (Nettoenergie)
J	Joule	NEL	Netto-Energie-Laktation
k	Teilwirkungsgrad	NFC	Non Fiber Carbohydrates
KAB	Kationen-Anionen-Bilanz	NfE	N-freie Extraktstoffe (nitrogen free extractives = XX*)
Kan	Kaninchen	NIR	Nah-Infrarot-Reflexions-Messtechnik
KbE	Koloniebildende Einheit (KbE; colony forming units = cfu)	NPN	non protein nitrogen (Nicht-Protein-Stickstoff)
KF	Kraftfutter	nRp	nutzbares Rohprotein (= nXP*)
KH	Kohlenhydrate	NSP	Nicht-Stärke-Polysaccharide (non-starch-polysaccharides)
kJ	Kilojoule (= 1000 J; 0,2389 kcal)	oR	organischer Rest
KM	Körpermasse (body weight = bw)	oS/OM	organische Substanz (organic matter)
KMZ	KM-Zunahme	OTA	Ochratoxin A (Mykotoxin)
Ktz	Katze	Pfd	Pferd
l	Liter	Pflfr	Pflanzenfresser
Leu	Leucin	pc	praecaecal
LFGB	Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch	PCB	polychlorierte Biphenyle
LKS	Lieschkolbenschrot	pcv	praecaecal verdaulich
LL	Legeleistung	peNDF	physically effective NDF/physikalisch effektive NDF
LM	Lebensmittel	PSS	Pressschnitzelsilage
LPS	Lipopolysaccharide	PUFA	Poly Unsaturated Fatty Acids (mehrfach ungesättigte FS)
LT	Lebenstag	q	Umsetzbarkeit der Energie (ME/GE x 100)
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt	Ra	Rohasche (crude ash = CA = XA*)
LW	Lebenswoche	Rd	Rind
lx	Lux (Beleuchtungsstärke)	RES	Rapsextraktionsschrot
Lys	Lysin	Rfa	Rohfaser (crude fiber = CF = XF*)
max	maximal	Rfe	Rohfett (ether extract = EE = XL*)
MAT	Milchaustauscher	RNB	Ruminale N-Bilanz
ME	Metabolizable Energy (Umsetzbare Energie)	Rp	Rohprotein (crude protein = CP = XP*)
Met	Methionin	rum	ruminal
MF	Mischfutter	Schf	Schaf
Min	Minute	Schw	Schwein
min	minimal/mindestens	SD	Standardabweichung (standard deviation)
MJ	Megajoule (= 1000 kJ)	SES	Sojaextraktionsschrot
MKS	Maiskolbenschrot	Sdp	Siedepunkt
MMA	Mastitis-Metritis-Agalaktie		
Mon	Monat		
MS	Milchsäure		

SEM	Standardfehler des Mittelwertes (standard error of the mean)
sV	scheinbare Verdaulichkeit
TEQ	Toxizitätsäquivalente
tgl	täglich
TGZ	Tageszunahme(n)
Thr	Threonin
TMA	Trimethylamin
TMR	Total Mixed Ration (Totale-Misch- Ration)
trgd	tragend
Trp	Tryptophan
TS	Trockensubstanz (dry matter = DM)
UDP	Un-Degradable Protein
uS	ursprüngliche Substanz (Frisch- substanz)
V	Verdaulichkeit
v	verdaulich

Val	Valin
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaft- licher Untersuchungs- und For- schungsanstalten
Vit	Vitamin
VO	Verordnung
VQ	Verdauungsquotient
W	Woche
Wdk	Wiederkäuer
wV	wahre Verdaulichkeit
Zea	Zearalenon (Mykotoxin)
Zg	Ziege
ZRB	Zuckerrübenblatt
♀	weiblich (= 0,1)
♂	männlich (= 1,0)

Chemische Elemente werden gemäß dem internationalen Perio-
densystem abgekürzt.

* In Mitteilungen der GfE gebräuchliche Abkürzungen: XA, XP, XL,
XF, XX.

Körpermassen (kg) und dazugehörige metabolische Körpergrößen¹ (kg^{0,75} KM)

KM [kg]	KM [kg ^{0,75}]	KM [kg]	KM [kg ^{0,75}]	KM [kg]	KM [kg ^{0,75}]
1	1,00	35	14,39	250	62,9
2	1,68	40	15,91	300	72,1
3	2,28	45	17,37	350	80,9
4	2,83	50	18,80	400	89,4
5	3,34	60	21,56	450	97,7
6	3,83	70	24,20	500	105,7
7	4,30	80	26,75	550	113,6
8	4,76	90	29,22	600	121,2
9	5,20	100	31,6	650	128,7
10	5,62	110	34,0	700	136,1
12	6,45	120	36,3	750	143,3
14	7,24	130	38,5	800	150,4
16	8,00	140	40,7	850	157,4
18	8,74	150	42,9	900	164,3
20	9,46	160	45,0	950	171,1
25	11,18	180	49,1	1000	177,8
30	12,82	200	53,2	2000	299,1

¹ Teils synonym verwendete Termini: Stoffwechselmasse bzw. metabolische Körpermasse.

Gebräuchliche Fachbezeichnungen für die Entwicklungs- und Leistungsstadien der wichtigsten Nutz- und Liebhabertiere

Allgemeiner Begriff	Spezieller Begriff	Erläuterungen
Pferde		
Fohlen		allgemein: Jungtiere bis zum Alter von 1 Jahr
	Saugfohlen	bis zu einem Alter von ca. 6 Monaten
	Absetzer	ab einem Alter von ca. 6 Monaten bis 1 Jahr
Jungpferde	Jährlinge	Jungpferde mit einem Alter von 1–1,5 Jahren; allgemein auch pauschalierend für im Vorjahr geborene Jungpferde
Pony		Kleinpferd mit i. d. R. < 400 kg KM und < 148 cm Stockmaß, allgemein durch Rassenzugehörigkeit besser definiert (z. B. Welshpony)
Kleinpferd		KM < 350 kg, Widerristhöhe < 155 cm
Wallach		kastrierter Hengst
güste Stute		reproduktiv nutzbare, aber zzt. nicht tragende Stute
Rinder		
Kälber		generell: von Geburt (ca. 40 kg KM) bis zur vollen Ausbildung der Vormagenfunktion
	Saugkälber	Tiere, die Muttermilch erhalten; Bezeichnung gilt im engeren Sinn nur für die 1. LW (Kolostralmilch-Periode)
	Aufzuchtkälber	Tiere für Nachzucht oder Mast; Alter am Ende der Aufzucht: 4 Monate
	Fresser	Tiere nach dem Absetzen (Ende der Aufzucht), aber noch vor der eigentlichen Mast; KM-Bereich: 120–250 kg
	Mastkälber	Tiere, die im Wesentlichen mit Milch oder MAT ohne größere Grund- und Kraftfuttermengen bis zur KM von 120–250 kg gemästet werden
	„Baby Beef“	Rindfleisch von sehr jungen Mastrindern (max 10 Monate, 300 kg KM), ernährt auf der Basis von Muttermilch und Weidegras (evtl. mit Kraftfutterergänzung)
Jungrinder ♀	Färsen, Starke, Queenen, Kalbinnen	Tiere ab 5. Lebensmonat bis zur Geburt des 1. Kalbes: regional auch noch für Kühe während der 1. Laktation üblich
Milchrinder (syn.: Kühe)		regelmäßig in Laktation stehende Tiere
Mutter- bzw. Ammenkuh		Kuh säugt nur eigenes Kalb bzw. auch fremde Kälber (keine Gewinnung von Milch als LM)
Mastrinder (syn.: Jungmastrinder)		Tiere, die in der Regel ab ca. 250 kg KM zum Zweck der Fleischerzeugung bis ca. 500–700 kg KM gemästet werden

Allgemeiner Begriff	Spezieller Begriff	Erläuterungen
Jungbullen (syn.: Jungstiere)		männliche Jungrinder, die zur Zucht herangezogen werden; je nach Rasse werden im Alter von 12–15 Monaten 400–500 kg KM erreicht
Deckbullen (syn.: Deckstiere)		im Zuchteinsatz befindliche männliche Tiere; ausgewachsen nach ca. 4 Jahren
Schafe		
Lämmer		generell: Tiere bis zum Alter von 1 Jahr
	Sauglämmer	Lämmer, die vornehmlich flüssige Nahrung aufnehmen (bis 4. LW essenziell)
	Aufzuchtlämmer	Lämmer ab 4. LW (mind. 12 kg KM), wenn alleinige Trockenfütterung möglich wird; Begriff ist gültig für Zucht- und Masttiere
jg. Zuchtschafe ♀ (syn.: Jährl.-Schaf)	Zutreter	Schaf nach Abschluss der Aufzuchtperiode bis zum Decktermin/zum Belegen anstehende Schafe
	Erstlinge	erstmalig belegte Schafe
Jungböcke (syn.: Lammböck)		männliche Jungschafe, die zur Zucht herangezogen werden; Zuchtreife nach 6–12 Monaten
Zeitbock		männliches Schaf im 2. Lebensjahr
Zuchtbock (syn.: Altbock)	Widder	männliches Schaf ab 3. Lebensjahr
Mutterschaf	Muttern, Zippen	weibliches Schaf ab 1. Gravidität
	Merzen	von der weiteren Zucht ausgeschlossene Schafe
Hammel	kastr. ♂ Schaf	i. d. R. zur Mast verwendete Tiere
Schweine		
Ferkel		generell: von Geburt (ca. 1,5 kg KM) bis 25 bzw. 35 kg KM; Lebensalter ca. 9 bzw. 13 Wochen
	Saugferkel	Tiere, die Muttermilch bzw. flüssiges MAT und i. d. R. Saugferkel-EF erhalten, bis 3. bzw. 6. LW; ca. 5 bzw. 11 kg KM
	Absetzferkel	von der Sau abgesetzte Ferkel
	Aufzuchtferkel	nach dem „klassischen“ Verfahren vom Absetzen bis ca. 25 kg KM (Alter ca. 9 Wochen) oder 35 kg KM (Alter 13 Wochen)
	Spanferkel	abgesetzte („abgespante“) Ferkel, die mit einer KM bis zu 35 kg geschlachtet werden
Mastschwein		ab 25/35 kg KM bis zur Schlachtreife bei ca. 120 kg KM (Börge, Eber, Sauen)
	Börge	kastriertes männliches Schwein
Zuchtschwein		generell: Tiere, die zur Ferkelerzeugung verwendet werden

Allgemeiner Begriff	Spezieller Begriff	Erläuterungen
	Zuchtläufer	männliche oder weibliche Tiere, die nach der Ferkelaufzucht zur Nachzucht selektiert wurden
	Jungsauen	Tiere bis zur Erstbelegung bei 130–140 kg KM, die 7–9 Monate alt sind
	Erstlingssauen	ab 1. Trächtigkeit bis zum Ende der 1. Laktation
	(Alt-)Sauen	ab 2. Trächtigkeit
	Jungeber	männliche, zur Zucht herangezogene Jungschweine (von 25/30–150 kg KM)
	(Alt-)Eber	Eber ab etwa 150 kg KM, in der Nutzung (= Deckeber)
Hühner		
Küken (von Nestflüchtern = precociale Spezies)		generell: vom Schlupf bis Ende der 6. LW
	Aufzuchtküken	Tiere, die der späteren Eiproduktion dienen, bis zum Ende der 6. LW
	Mastküken (syn.: Broiler, Jungmasthühner)	männl. und weibl. Tiere zur Fleischerzeugung, Alter bei Schlachtung: ca. 35–45 Tage
Junghennen		Tiere ab 7. LW bis ca. 20. LW (Legebeginn)
Hennen	Legehennen	Tiere eines Bestandes, mit über 10 % Legeleistung (LL)
Zuchthühner	Zuchthennen/ -hähne	geschlechtsreife Tiere zur Brutei-Erzeugung
	Elterntiere bzw. Großelterntiere	Basispopulationen zur Erzeugung der Mast- und Lege-hybriden
Hunde		
Welpen		von der Geburt bis zum Alter von ca. 10–12 Wochen
	Saugwelpen	von der Geburt bis zum Absetzen (ca. 8. LW)
Junghund		von 12.–16. LW bis Ende 1. Lebensjahres
Hündin bzw. Rüde		weiblicher bzw. männlicher Hund, unabhängig von einer Nutzung als Zuchttier
Zuchthündin/-rüde		Nutzung als Zuchttier ab dem 2. Lebensjahr
Katzen		
Welpen		von der Geburt bis zum Alter von ca. 10 Wochen
	Saugwelpen	Welpen beim Muttertier bis zum Absetzen (ca. 6.–8. LW)
Kätzin		weibliche Katze ab Geschlechtsreife
Kater		männliche Katze ab Geschlechtsreife

Allgemeiner Begriff	Spezieller Begriff	Erläuterungen
Frettchen		
Welpen		von Geburt bis zum Absetzen (ca. 6–8 Wochen)
Jungtier		vom Absetzen bis zur Geschlechtsreife (ca. 8–12 Monate)
Fähe		weibliches Tier (unabhängig von Zuchtnutzung)
Rüde		männliches Tier (unabhängig von Zuchtnutzung)
Kaninchen		
Junge(s)		von Geburt bis zum Absetzen (ca. 4–6 Wochen)
Jungkaninchen		vom Absetzen bis zum Alter von ca. 6 Monaten
Häsin/Zippe		weibliches Tier ab Geschlechtsreife (ca. 6 Monate)
Bock/Rammler		männliches Tier ab Geschlechtsreife (ca. 6 Monate)
Ziervögel		
Nestling (= Küken von Nesthockern = altriciale Spezies)		vom Schlupf bis zum Verlassen des Nestes (Alter sehr unterschiedlich) und selbständiger Futteraufnahme (vorher von Eltern gefüttert)
Jungvogel		nach Verlassen des Nestes bzw. entsprechender Selbständigkeit ohne Henne bis zum Wechsel des Jugendgefieders
Henne		♀ (= 0,1) Tier ab Geschlechtsreife (speziesabhängig)
Hahn		♂ (= 1,0) Tier ab Geschlechtsreife (speziesabhängig)
Fische		
Laich		Fischeier
Jung-/Dotterbrut oder Larve		frisch geschlüpfte Larve mit Dottersack
Vorstreckbrut		ca. 6 Wochen alter Jungfisch
Brut, Sangen		ca. 1 Jahr alter Jungfisch
Setzling, Zweisömmeriger		ca. 2 Jahre alter Jungfisch
Milchner, Treiber		♂ Fisch ab Geschlechtsreife
Rogner, Laicher		♀ Fisch ab Geschlechtsreife

Das jeweils angegebene Lebensalter bezieht sich auf Werte, wie sie gegenwärtig in der Praxis mit den am häufigsten genutzten Rassen erreicht werden.

I Allgemeine Angaben über Futtermittel (FM)

Futtermittel sind durch ihre Zweckbestimmung definiert (Basis-VO 178/2002) und dienen primär – aber nicht zwingend und ausschließlich – der Energie- und Nährstoffversorgung von Tieren. Gründe ihres Einsatzes sind evtl. auch weitere Funktionen, so z. B. am Verdauungstrakt (Füllung, Chymuspassage), die Beschäftigung (z. B. Kauknochen), besondere Wirkungen (s. Vielfalt der Indikationen von Zusatzstoffen), schließlich sogar mögliche „Neben“-wirkungen, die bis in den Grenzbereich der Phytomedizin reichen (→ Abgrenzung zu Arzneimitteln). Für einen sachgerechten, zielführenden Einsatz der FM bedarf es der Kenntnisse über ihre Eigenschaften und Zusammensetzung (d. h. von FM-Untersuchungen), häufig auch einer entsprechenden Be- und Verarbeitung sowie Konservierung und Lagerung. Auf dem Weg von der Gewinnung bis zur Aufnahme durch das Tier unterliegen FM auch verschiedenen Risiken (z. B. Kontamination, Verderb), erfahren u. a. eine ökonomische Bewertung (Fütterung als Hauptkostenfaktor einer jeden Tierhaltung) und bedürfen rechtlicher Regelungen (und nicht zuletzt einer administrativen Kontrolle). Diese eher allgemeinen Informationen haben dabei unabhängig vom jeweiligen FM ihre Bedeutung, sodass sie den spezifischen Angaben zu ganz bestimmten FM (Gruppen) auch vorangestellt werden.



1 Einteilung

Art und Herkunft

- Grünfutter (Dauergrünland, Feldfutterbau)
- Grünfutterkonserven (getrocknet/siliert)
- Stroh, Spreu (Koppelprodukte des Dreschens)
- Wurzeln und Knollen sowie deren Nebenprodukte
- Getreidekörner (stärkereich)
- Nebenprodukte der Getreideverarbeitung
- Leguminosenkörner (proteinreich) und Samen/Saaten (fettreich)
- Nebenprodukte der Öl- und Fettgewinnung
- FM aus Mikroorganismen und Algen
- FM tierischer Herkunft
- Mineralische Einzel-FM (z. B. Viehsalz, Futterkalk)
- Sonstige FM (z. B. Nebenprodukte aus der LM-Verarbeitung)

Konsistenz und Wassergehalt

- Raufutter/Grobfutter (Heu/Heulage, Stroh): > 20 % Rohfaser in der TS
- Saftfutter (Grünfutter, Silage = Gärfutter, aber auch Rüben u. ä. FM): 40–90 % Wasser
- Trockenfutter: < 14 % Wasser
- halbfeuchte Futter: bis 30 % Wasser
- Flüssigfutter: 70–90 % Wasser (z. B. Milch, Nektar oder auch Mischungen aus Einzel-FM und/oder MF-Mitteln mit Wasser)

Hauptinhaltsstoffe

- gerüstsubstanzreiche FM (Rfa/ADF/NDF) → Struktur für Herbivore
- Konzentrate: FM mit hohem Energie- und/oder Rp-Gehalt bzw. -Dichte (d. h. im Bezug auf 1 kg TS); evtl. „Faser-Konzentrate“ (gerüstsubstanzreiche FM)
- energiereiche FM: stärke- und/oder fettreich bzw. hoch verdaulich (auch Grund-FM können – bezogen auf die TS – sehr energiereich sein, z. B. Rüben)

- eiweißreiche FM: Rp-reich im Vgl. zu Getreide → zur Ergänzung bei höherem Rp-Bedarf
- Eiweiß-Konzentrate: > 44 % Rp (TS)
- Faser-Konzentrate: > 35 % Rfa (TS)
- Mineralische Einzel-FM/Mineralfutter: > 40 % Rohasche

Art des FM-Angebots/ Zahl der Komponenten

- Einzel-FM stammen aus einheitlichen Ausgangsmaterialien oder Gewinnungs- bzw. Herstellungsverfahren, können jedoch aus mehreren Pflanzen- oder Tierspezies bestehen (z. B. Heu oder Fischmehl).
- Misch-FM bestehen aus zwei oder mehr Einzel-FM.
- Ration: umfasst alle Einzel- und Misch-FM, die erst in Kombination die Bedarfsdeckung ermöglichen.

Einsatz und Verwendung (vgl. LFGB und EU-VO 767/2009)

- Grund- oder Grobfuttermittel: strukturreichere FM, bilden allgemein die Grundlage von Rationen für Wdk, Pfd und andere Pflfr.
- Alleinfutter (Vollnahrung): I. d. R. Mischfutter, die bei ausschließlicher Verwendung alle Nahrungsansprüche des Tieres decken sollten (ausgenommen Wasser).
- Ergänzungsfutter: Soll Nährstoffdefizite anderer FM/Rationsbestandteile ausgleichen.
- Diät-FM: MF, die dazu bestimmt sind, den „besonderen Ernährungsbedarf“ von Tieren zu decken, bei denen insbesondere Verdauungs-, Resorptions- oder Stoffwechselstörungen vorliegen oder zu erwarten sind.

Wirtschaftliche/ Administrative Gesichtspunkte

- Primärproduktion/landwirtschaftliche Betriebe:
 - betriebseigene FM = wirtschaftseigene FM (Landwirt als Futtermittelunternehmer)
 - Einsatz von Misch-FM/Rationen unter Verwendung betriebseigener wie auch zugekaufter FM
- Futtermittelunternehmen, die nicht zur Primärproduktion zählen:
 - Handels-FM = handelsfähige FM, im Allgemeinen mit geringem Wassergehalt und ausreichender Lagerfähigkeit (zu erheblichem Anteil auch Import-FM)
 - Gewerbliche FM-Unternehmen, die FM/MF handeln und/oder herstellen („Handels-FM“ = im Verkehr befindliche FM), in hohem Umfang auch Einsatz von „Import-FM“ (Internationale Rohwarenströme)



2 Futtermitteluntersuchung

Für die nähere Charakterisierung von Eigenschaften und Wert der FM werden – je nach Zielsetzung – sehr verschiedene Verfahren angewandt, die sich übersichtsartig wie folgt gliedern und darstellen lassen (**Abb. I.2.1**):

- Sensorische Prüfung: Umfasst alle mithilfe der Sinne näher zu charakterisierenden Eigenschaften und Parameter, Näheres s. Kap. IV.1–4.
- Mikroskopisch-warenkundliche („botanische“) FM-Untersuchung: Dient der Erfassung von Art und Anteil (= Schätzung!) der FM sowie unerwünschter bzw. giftiger Komponenten und Verunreinigungen, Beimengungen oder Kontaminationen.
- Physikalische FM-Untersuchung: Hierunter fallen z. B. die Kalorimetrie, NIR s. Kap. II.2.2 die Bestimmung von Dichte und Korngrößen/Vermahlungsgrad sowie des Quellungsvermögens oder des Sedimentationsverhaltens, s. Kap. IV.6.
- Mikrobiologische/toxikologische FM-Untersuchung: Hierunter fallen sowohl direkte wie auch indirekte Verfahren zur Charakterisierung der mikrobiellen Belastung; Bestandteile und/oder Toxine von Pilzen und Hefen

Futterwert im engeren Sinne

- Gehalte an Energie und Nährstoffen und deren Verdaulichkeit (pc bzw. gesamter GIT)
- Art/Qualität der Nährstoffe (Rp, Rfe, Rfa, NfE; Aminosäuren-/Fettsäuremuster) sowie die Verfügbarkeit von Nährstoffen im GIT und intermediäre Verwertung (jenseits der Darmwand)

Verträglichkeit*

- Art und Anteil von Einzelkomponenten
- tolerable Nährstoffgehalte (z. B. Vit, Spurenelemente)
- Bearbeitung (z. B. Vermahlungsgrad)
- Kontamination (z. B. Schwermetalle)
- Hygienestatus (chemische, biologische und physikalische Kontaminationen)

Schmackhaftigkeit

- Art und Anteil von Komponenten (Morphologie, Inhaltsstoffe)
- Bearbeitung / Zubereitung
- Darreichungsform (flüssig, trocken)
- Hygienische Beschaffenheit (s. Verträglichkeit)

Facetten FM-Qualität und FM-Sicherheit

Handlingseigenschaften

- Lagerfähigkeit (originär/nach Zugabe von Zusatzstoffen)
- Mischbarkeit/Fließeigenschaften (Korngrößenverteilung, Entmischungsneigung, Staubungsverhalten)
- Konstanz der Zusammensetzung

Einflüsse auf die Lebensmittel-Qualität*

- originäre Inhaltsstoffe (z. B. Fettsäuremuster)
- Mittelrückstände (z. B. von Schwermetallen, Zusatzstoffen, Medikamenten), Umweltbelastungen
- Einträge von/Belastung mit Erregern (z. B. mit Zoonose-Erregern wie Salmonellen, *Campylobacter*) und Resistenzfaktoren von Bakterien

Sonstige Wirkungen des Futtermittels

- Futterraufnahme-Verhalten/Beschäftigung
- diätetische Sonderwirkungen (z. B. auf die Passage/Magen-Darm-Flora)
- Ergänzungseignung (mit bestimmten Nährstoffen)
- Nebeneffekte (z. B. in der Fruchtfolge, Verwertung statt kostenträchtiger Entsorgung)

* entscheidende Kriterien für die FM-Sicherheit

Abb. I.2.1: Faktoren zur Charakterisierung der Termini „Futtermittelqualität“ und „Futtermittelsicherheit“.

werden u. a. mittels chromatografischer, massenspektrometrischer oder immunologischer Nachweise bestimmt, z. B. ELISA für Aflatoxine.

- Chemische FM-Untersuchung: Hierzu zählen insbesondere alle Analysen auf Art und Gehalt an Nährstoffen, aber auch an Zusatzstoffen sowie an unerwünschten Inhalts- und Begleitstoffen bzw. Kontaminanten wie Schwermetalle oder Mykotoxine.
- Fütterungsversuch: Dient u. a. der Prüfung von Akzeptanz, Verdaulichkeit, Verträglichkeit, diätetischer Effekte sowie von Einflüssen auf die Leistung und Produktqualität.

2.1 Probenahme

Details zum Procedere: Verordnung über Probenahmeverfahren und Analysemethoden für die amtliche Untersuchung von FM vom 27. Januar 2009 (EG-VO Nr. 152/2009), in Kraft seit dem 26. August 2009.

2.1.1 Gründe

- (1) Bewertung von FM, insbesondere wirtschaftseigenen, für eine fundierte, auf Analysen beruhende Rationsgestaltung, d. h. Bedarfsdeckung ohne Nährstoffüberschüsse.
- (2) Überprüfung von FM hinsichtlich ihrer Inhaltsstoffe bzw. geforderter/garantierter Qualitätskriterien oder im Rahmen der amtlichen FM-Kontrolle.
- (3) Kontrolle von FM zur Sicherung von Tiergesundheit und Produktqualität (z. B. unerwünschte Stoffe).
- (4) Zustands- und Funktionsprüfung von FM und assoziierter Technik (z. B. Mahl-, Misch- und Förderanlagen).
- (5) Überprüfung von FM nach eingetretenen Schadensfällen zur ätiologischen Klärung wie Infektionen etc. (FM als mögliche Schadensursache neben anderen).

Für (1) bis (3) repräsentatives Muster von der gesamten Charge.

Für (4) ein oder mehrere Muster auf den verschiedenen Stufen der Bearbeitung/Zuteilung. Für (5) Probe von der aktuell im Einsatz befindlichen Charge gewinnen.

Durchführung: Je nach Art und Homogenität der FM sind unterschiedliche Verfahren anzuwenden.

Die Probenahme im Rahmen der amtlichen Futtermittelkontrolle (insbesondere Handels-FM) regelt die o. g. Verordnung (EG-VO Nr. 152/2009).

In möglicherweise forensisch relevanten Fällen ist eine Probenahme durch einen „amtlichen Probenehmer“ anzustreben. Falls nicht möglich, Probenahme nur in Gegenwart beider Parteien. Probenahmeprotokoll anfertigen mit allen wichtigen Daten; Zeugen und Parteien unterschreiben lassen. Proben versiegelt aufbewahren.

Im Folgenden werden einige allgemeine Hinweise gegeben, teilweise unter Berücksichtigung der in der o. g. VO definierten Vorgehensweise.

2.1.2 Wirtschaftsfuttermittel

Zur Gewinnung einer repräsentativen Probe („Muster“) ist bei den eher inhomogenen Wirtschaftsfuttermitteln (wie Grünfutter, Heu, Silage) und Grundfutter enthaltenden Rationen (TMR; Ähnliches gilt auch für Flüssigfutter) darauf zu achten, dass in Abhängigkeit von der

- Lokalisation (z. B. auf einer Weide, im Silovorrat, beim Transport zum Trog)
- Schnitthöhe (s. anhaftende erdige Verunreinigungen, Kolbenanteil beim Mais)
- Verteilung (z. B. des Futters im Trog)

eine systematische Beeinflussung der Futterzusammensetzung möglich ist. Nur bei einer entsprechenden Zahl, Verteilung und Größe von Einzelproben (= Ergebnis aus **einem** Entnahmevorgang), die letztendlich zu einer großen Sammelprobe (Mischung aller Einzelproben) vereinigt werden, lässt sich ein entsprechendes Muster gewinnen (**Tab. I.2.1**).



Tab. I.2.1: **Entnahmemenge von Sammelproben**

	Sammelprobe (kg, ca.)
Grünfutter	5–10
Heu	2–5
Silage	5–10
Rüben/Knollen	15–25

2.1.3 Handelsfuttermittel

Allgemein eine homogenere Qualität, allerdings auch Risiken für eine Separierung (Entmischung) bestimmter Komponenten und Inhaltsstoffe (z. B. nach Korngröße, Fließverhalten, spezifischem Gewicht) bzw. für eine Variation innerhalb und zwischen verschiedenen Gebinden/Verpackungen/Anlieferungen (z. B. in verschiedenen Kammern von Transportfahrzeugen). Je nach Masse der angelieferten losen Ware bzw. Zahl der Packungen (verpackte FM) variiert die Zahl der Sammelproben zwischen eins und vier (abhängig von der Partikelgröße), wobei die Sammelprobe eine Masse von 4 kg hat.

Bei einer eher homogenen Verteilung sind Einzelproben nach dem Zufallsprinzip aus der gesamten Partie zu entnehmen. Aus der Sammelprobe ist durch geeignete Reduzierung (z. B. über einen Probenteiler) eine Endprobe zu erstellen, deren Masse bei festen FM mind. 500 g, bei Flüssigkeiten mind. 500 ml betragen muss. Die Endprobe wird schließlich für die Untersuchung genutzt. Teilmengen einer reduzierten Sammelprobe verbleiben bei jeder der beteiligten Parteien (FM-Verkäufer/Käufer).

2.1.4 Sonstige Hinweise

Verpackung: In saubere, trockene, feuchtigkeitsundurchlässige und weitgehend luftdicht verschließbare Behältnisse. Verderbliche FM in Kühlbehältern und/oder Schnelltransport.

Kennzeichnung: Bezeichnung der FM, Name und Anschrift des Probenehmers bzw. der Überwachungsbehörde, Datum der Entnahme, Nummer des Probenprotokolls. Im Schadensfall aus-

föhrlichen Vorbericht mit der Probe einschicken (schriftlich dokumentierte Information).

Probenahmeprotokoll: Dieses soll die Identität der Futterpartie sicherstellen.

Grundsätzlich ist bei der Probennahme die Verteilung des interessierenden Stoffes innerhalb der FM-Partie zu berücksichtigen. Eine bekanntermaßen ungleichmäßige Verteilung (sog. „spots“) ist beispielhaft bei Aflatoxinen oder auch Mutterkorn gegeben; in diesem Fall verbietet sich das Poolen von Teilproben (würde zur Nivellierung führen, d. h. Teile der FM-Partie würden gar nicht als belastet erkannt; näheres s. EG-VO Nr. 152/2009).

2.2 Analytik

2.2.1 Weender Analyse

Die Weender Analyse – begründet von Henneberg und Stohmann (1864) auf der Versuchsstation Weende bei Göttingen – stellt als Konventionsanalyse ein summarisches Verfahren dar (daher die Bezeichnung „Roh“-Nährstoffe). Es werden Stoffgruppen erfasst, die hinsichtlich ihres ernährungsphysiologischen Werts nicht einheitlich sind. Mit den N-freien Extraktstoffen (ein durch Differenz errechneter Wert) und der Rohfaser sollten ursprünglich die verdaulichen und weniger verdaulichen Kohlenhydrate unterschieden werden. Tatsächlich erfasst die Rfa-Bestimmung je nach FM verschiedene Anteile an Gerüstsubstanzen (Zellulose, Hemicellulose, Lignin). Da der in Lösung verbleibende Teil der NfE-Fraktion zugerechnet wird, enthält diese u. a. wechselnde Anteile an Gerüstsubstanzen einschließlich Lignin.

Das gesamte System der den Wert von FM charakterisierenden Parameter basiert weltweit auf den nach dem Weender Verfahren bestimmten Rohnährstoffen.

Von der Weender Analyse abzugrenzen sind neuere Methoden, die auf eine nähere Erfassung und Bewertung der verschiedenen Kohlenhydrate und der NfE-Fraktion in Futtermitteln zielen (**Abb. I.2.2**). Die Gerüstsubstanzen werden

nach van Soest bestimmt (s. Kap. I.2.2.2). Die weiteren Kohlenhydrate können durch Stärke- und Zuckeranalysen bis auf einen kleinen organischen Rest (oR; u. a. Pektine) erfasst werden. Der oR stellt einen mehrfach gebrauchten Begriff dar. Er muss deshalb genau definiert werden (z. B. nicht zu verwechseln mit oR in der ME-Mischfutter-Schätzformel für Schweine, s. Kap. II.4.2). Eine Differenzierung des Rp erfolgt mittels Cornell-System anhand der Rp-Abbaubarkeit (s. Kap. I.2.2.2).

In der **Weender Analyse** werden die nachfolgenden Rohnährstoffe bestimmt.

Rohwasser und Trockensubstanz

Rohwasser umfasst sämtliche bei 103 °C **flüchtigen** Bestandteile des Futters wie: Wasser, flüchtige Fettsäuren (z. B. Essig- und Buttersäure) und andere flüchtige Stoffe (Ätherische Öle, Alkohole).

Trockensubstanz (TS) enthält sämtliche bei 103 °C **nichtflüchtigen Bestandteile** des Futters (Trockensubstanz = ursprüngliche Substanz [uS] – Rohwasser); sie umfasst sowohl anorganische als auch organische Stoffe.

Prinzip der Bestimmung: Vierstündiges Trocknen des Futters im Trockenschrank bei 103 °C bzw. bis zur Gewichtskonstanz, wobei alle flüchtigen Bestandteile/Inhaltsstoffe entweichen.

Rohasche (Ra)

Enthält **Mineralstoffe** (Mengen- und Spurenelemente) sowie sonstige anorganische Substanzen (z. B. Silikate). Mithilfe der Ra lässt sich der Anteil der organischen Substanz an der Trockensubstanz errechnen:

$$oS = TS - Ra$$

Prinzip der Bestimmung: Sechsstündige Veraschung der FM im Muffelofen bei 550 °C. Die als Rückstand verbleibende anorganische Komponente wird als Ra bezeichnet.

Zur Bestimmung der **Reinasche** wird Ra mit Salzsäure versetzt (Lösung der Mineralien). Bei Filtration bleibt der unlösliche Teil der Ra (Silikate etc.) zurück (**HCl-unlösliche Asche**).

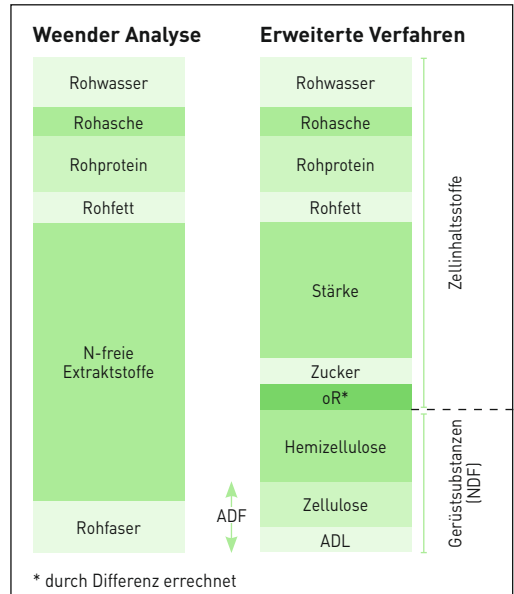


Abb. I.2.2: Übersicht zu Nährstoffanalysen in Futtermitteln (Beispiel Haferkörner).

Reinasche = Ra – Filtrerrückstand (HCl-unlösliche Asche)

Rohfett (Rfe)

Ist eine heterogene Gruppe von Stoffen, die sich in Petrolether (Siedepunkt 40–60 °C) lösen. Der Etherextrakt enthält neben den eigentlichen **Fetten** (Neutralfette) **Lipoide** (Phospholipide, Sphingolipide, Steroide, Carotinoide) und andere etherlösliche Stoffe.

Prinzip der Bestimmung: Nach Säureaufschluss achtstündige Extraktion des FM mit Petrolether im Soxhletapparat.

Rohprotein (Rp)

Kann neben den Proteinen auch N-haltige Verbindungen nichteiweißartiger Natur enthalten (Säureamide, Amine, freie Aminosäuren, Ammoniumsalze, Alkaloide etc.).

Prinzip der Bestimmung: Kjeldahlverfahren – Oxidation der FM mit konz. Schwefelsäure, Überführung des N in die Ammoniumform. Nach Zugabe von NaOH wird Ammoniak freige-



setzt, in vorgelegte Säure (n/10 H_2SO_4 oder Borsäure) überdestilliert und titrimetrisch erfasst.

Rohprotein = $\text{N} \times 6,25$ (Protein enthält im Mittel 16 % N).

Rohfaser (Rfa)

Ist der in verdünnten Säuren und Laugen unlösliche fett- und aschefreie Rückstand. Er enthält nur unlösliche Anteile von **Zellulose, Hemizellulosen** (Pentosane, Hexosane), aber auch **Lignin** (Polymere aus Phenylpropanderivaten) sowie eine Anzahl anderer Zellwandstoffe (z. B. Suberin in Korkzellen, Cutin).

Prinzip der Bestimmung: 30 min kochen in 1,25%iger H_2SO_4 , waschen mit heißem Wasser, danach 30 min kochen in 1,25%iger KOH, anschließend waschen mit heißem Wasser und Aceton, trocknen und wiegen; Ra des Rückstands bestimmen und vom Wert des Rückstands vor der Veraschung abziehen.

N-freie Extraktstoffe (NfE)

Diese letzte Gruppe von Rohnährstoffen wird nur rechnerisch erfasst:

$$\text{NfE} = \text{TS} - (\text{Ra} + \text{Rp} + \text{Rfe} + \text{Rfa})$$

NfE enthalten α -glucosidisch gebundene **Polysaccharide** (Stärke, Glykogen), lösliche **Zucker** (Glucose, Fructose, Saccharose, Lactose, Maltose und Oligosaccharide) sowie **lösliche Teile von Zellulose, Hemizellulosen, Lignin und Pektinen** (Zellulose und Lignin nur in geringer Menge). 🌱

2.2.2 Weitere Analysenverfahren Rohnährstoffe mittels NIR-Messtechnik

Neben den oben vorgestellten nasschemischen Verfahren zur Bestimmung der Rohnährstoffe hat in den letzten Jahrzehnten die NIR-Messtechnik (Nah-Infrarot-Reflexions-Messtechnik) in der FM-Analytik eine große Bedeutung in der Routine-Analytik (Serien m. o. w. gleicher/ähnlicher FM und MF) erlangt. Elektromagnetische Strahlung im Bereich des Nahen Infrarot (1100–2500 nm) trifft hierbei auf Makrobe-

standteile der zu untersuchenden Futterprobe. Absorption bzw. Reflexion der Strahlung werden insbesondere durch OH-, NH- und CH-Bindungen, welche durch die chemische Zusammensetzung vorgegeben sind, bestimmt. Die matrixspezifischen Einflüsse auf die Intensität der gemessenen Reflexion erfordern leider einen sehr hohen Aufwand für die Kalibrierung, sodass für jeden Futtermittel-„Typ“ – unter Zugrundelegung nasschemischer Analysenresultate – entsprechende Eichkurven erstellt werden müssen. Dennoch bleiben für Untersuchungseinrichtungen mit großen Probenserien (z. B. LUFA) deutliche Vorteile (geringster Zeitaufwand, Analytik ohne chemische Abfälle, Kostenersparnis durch weitestgehende Automatisierung), sodass heute viele FM-Untersuchungen (z. B. Silagen, CCM, Getreide) mit dieser Methode vorgenommen werden. Die NIR-Messtechnik hat inzwischen auch eine erhebliche Bedeutung in der industriellen Mischfutterherstellung. Bei einer entsprechenden Positionierung der NIR-Technik ist eine Online-Kontrolle im laufenden Produktionsprozess möglich, sodass z. B. über aktuelle Daten der Rohwarenzusammensetzung **die Rezepturen** von Mischfuttern online gesteuert und optimiert werden können.

Kohlenhydrate

Stärke und Zucker werden polarimetrisch (amtlich) oder enzymatisch bestimmt (**Abb. I.2.3**). Die Summe der **Gerüstsubstanzen** ist nach van Soest der Rückstand nach dem Kochen in neutraler Detergentienlösung (Natriumlaurylsulfat, EDTA, pH 7; und wird als **NDF, neutral detergent fiber**; auch als NDR, neutral detergent residue, bezeichnet). Der Rückstand nach dem Kochen mit saurem Detergentium (Cetyltrimethylammoniumbromid in 1 n H_2SO_4) wird als **ADF (acid detergent fiber)** bezeichnet und enthält vorwiegend Zellulose und Lignin. – In diesem Rückstand kann die Zellulose durch 72%ige H_2SO_4 hydrolysiert und damit herausgelöst/entfernt werden. Der danach verbleibende Rückstand ist (überwiegend, näherungsweise, weitestgehend) mit dem Ligningehalt identisch

(**ADL, acid detergent lignin**). Der Gehalt an Zellulose ergibt sich aus ADF minus ADL, der Gehalt an Hemizellulose aus der Differenz von NDF und ADF.

$\text{NDF} - \text{ADF} = \text{Hemizellulose}$

$\text{ADF} - \text{ADL} = \text{Zellulose}$

$\text{ADL} = \text{Lignin}$

Nicht-Stärke-Polysaccharide

Auch die Analytik der Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) ist weiterentwickelt worden, sodass heute die unterschiedlichen ernährungsphysiologischen Effekte pflanzlicher Gerüstsubstanzen in Abhängigkeit von chemischer Zusammensetzung und Löslichkeit besser erklärt werden können. Für spezielle Fragestellungen werden daher neben Zellulose auch die Gehalte an löslichen und unlöslichen (1-3, 1-4)- β -Glucanen und Pentosanen bestimmt. Die Bestimmung erfolgt durch quantitative Analyse der derivatisierten Monosaccharide (Gaschromatografie)

nach verschiedenen Schritten enzymatischer und Säurehydrolyse.

Proteine

Rp nach Kjeldahl (s. Weender Analyse). Ein weiteres Verfahren der Rp-Bestimmung stellt die Methodik nach DUMAS dar.

Prinzip der Bestimmung: Katalytische Verbrennung von N-haltigen Verbindungen mit anschließender Reduktion zu N_2 , der mittels Wärmeleitfähigkeit bestimmt wird.

Enzymlösliches Protein: Futterprobe 48 h bei 40 °C mit Pepsin-Salzsäure-Lösung behandeln; N-Gehalt im Filtrat bestimmen, $\text{N} \times 6,25 = \text{Protein}$.

Aminosäuregehalte: Für die Routine ist die Aminosäurenanalyse von Futtermitteln mithilfe der Ionenaustauscherchromatografie etabliert. Zunächst wird das FM mit 6 n Salzsäure hydrolysiert; hierbei werden aus dem Protein die einzelnen Aminosäuren freigesetzt. Das anfallende

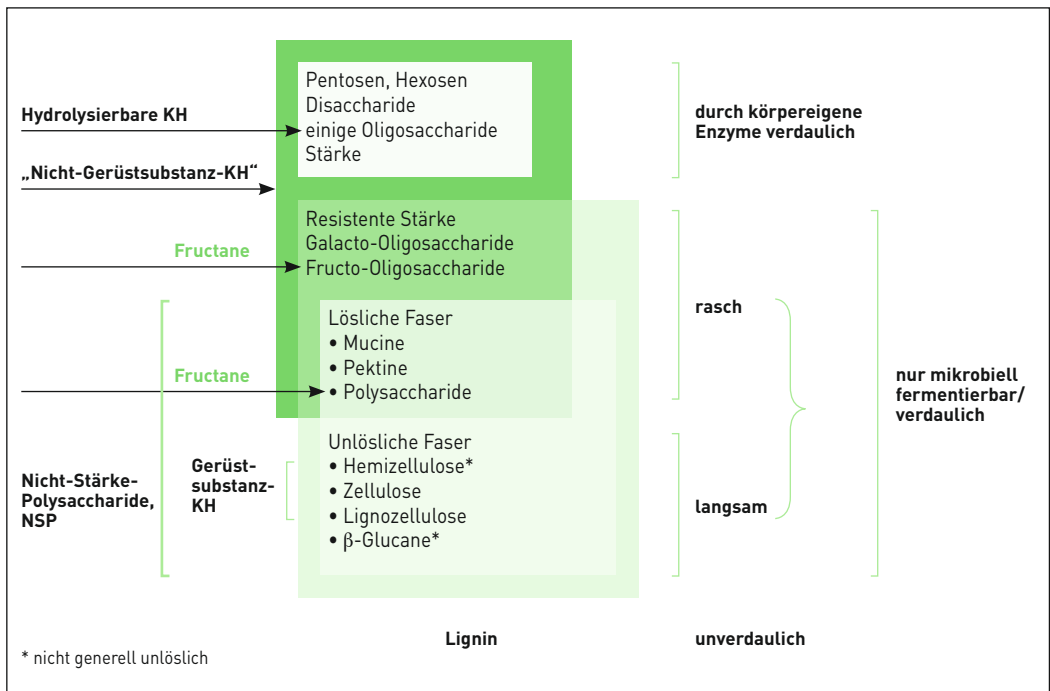


Abb. I.2.3: Differenzierung und nähere Charakterisierung der verschiedenen Kohlenhydrate in FM (nach Hoffmann et al., 2001).



Gemisch der Aminosäuren wird anschließend säulenchromatografisch in die einzelnen Aminosäuren aufgetrennt und quantitativ bestimmt.

Reinprotein: Zunächst Fällung der Proteine (mit CuSO_4 - und NaOH -Lösung, Trichloressigsäure oder Tannin), dann Kjeldahlbestimmung.

Rp-Abbaubarkeit nach Cornell: Die Rp-Fraktion wird in dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System hinsichtlich ihrer Löslichkeit (u. a. Phosphat-Borat-Puffer, Detergenzien-Lösungen) und Abbaubarkeit differenziert, wobei folgende fünf Fraktionen in A (höchst verfügbar, abbaubar), B1/B2/B3 (hohe/mittlere/geringe Abbauraten im Pansen) und C (nicht abbaubar; weder im Pansen, noch im Dünndarm) unterschieden werden.

Fette

Reinfett (100 % verseifbar) = Rohfett minus Nichtfettbestandteile

Nichtfettbestandteile:

- flüchtige Substanzen: Wasser, Lösungsmittel, FFS, ätherische Öle
- unlösliche Verunreinigungen: Borsten, Erde, Sand, Ca/Na-Seifen, oxidierte und polymerisierte FS, Eiweiß, Kohlenhydrate, Mineralstoffe
- **Unverseifbares:** Mineralöl, Pigmente, Vitamine, Carotinoide, Sterine, Wachse, höhere Alkohole (Polyäthylen), Kohlenwasserstoffe

Bestimmung des Unverseifbaren in Fetten:

Das Fett wird mit ethanolischer Kalilauge verseift. Danach werden die unverseifbaren Anteile mit Diethylether ausgeschüttelt, dekantiert, und der Rückstand nach Abdestillieren des Lösungsmittels gewogen.

Fettsäuren

Nach Veresterung Auftrennung im Gaschromatografen und Quantifizierung.

Fettkennzahlen

Anisidinzahl (AZ): Maß für die Konzentration der ungesättigten Aldehyde in einem Fett (hat die früher übliche Aldehydzahl oder Benzidinzahl abgelöst).

Jodzahl (JZ): Maß für den Anteil ungesättigter Fettsäuren im Fett. Chloroformgelöstes Fett wird mit Brom behandelt, nicht verbrauchtes Brom nach Zusatz von Kaliumjodid durch Titration des gebildeten Jods bestimmt. Die J-Zahl gibt die Teile Halogen – berechnet als Jod – an, welche 100 Teile Fett unter bestimmten Bedingungen zu binden vermögen.

Peroxidzahl (POZ): Gibt die in 1 kg Fett enthaltene Anzahl Milliäquivalente Sauerstoff an, kann Aufschluss über den Beginn des Fettverderbs geben. Das nach Zugabe einer KJ-Lösung freigesetzte Jod wird mit Natriumthiosulfat titrimetrisch erfasst.

Säurezahl (SZ): Gibt die Menge an KOH (in mg) an, die notwendig ist, um die in 1 g Fett enthaltenen freien organischen Säuren zu neutralisieren. Das gelöste Fett wird mit ethanolischer KOH titriert.

Verseifungszahl: Maß für die in einem Fett enthaltenen freien und gebundenen Fettsäuren, die mit Laugen in Seifen überführt werden können. Das Fett wird mit ethanolischer KOH in der Siedehitze verseift, nicht verbrauchte Lauge mit HCl zurücktitriert.

Mineralstoffe

Durch Einsatz stark oxidierender Säuren (z. B. HNO_3 oder eines $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ -Gemisches) wird eine Lösung gewonnen, in der die verschiedenen in der Probe enthaltenen Mineralstoffe (Mengen-/wie Spurenelemente) ionisiert vorliegen.

Prinzip der Bestimmung:

- nach Veraschung
 - Na, K: flammenfotometrisch bzw. AAS
 - P: fotometrisch
 - Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Se: atomabsorptionsspektrometrisch
 - Vielzahl von Elementen (einschl. Schwermetalle): Mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS); Prinzip beruht auf der Ionisierung der zu analysierenden Elemente in einem „Plasma“ bei 5000 °C. Zur Erzeugung des

„Plasma“ wird ein hochfrequenter Strom in ionisiertes Argon induziert.

- ohne Veraschung
 - Cl: mittels Coulometrie
 - S: nach DUMAS-Verbrennung

Vitamine

Standardverfahren für die verschiedenen fett- und wasserlöslichen Vitamine ist die HPLC.

Keimgehalte

Die handelsübliche Reinheit und Unverdorbenheit von Futtermitteln wird im § 24 des LFGB sowie der EG-VO 767/2009 gefordert. Die hygienische Beschaffenheit von FM wird u. a. durch den Besatz mit Mikroorganismen bestimmt. Daher wird in der amtlichen FM-Kontrolle und in Verdachtsfällen der mikrobielle Status von FM näher charakterisiert, wobei der Keimgehalt an Bakterien, Schimmelpilzen und Hefen nach Art (produkttypisch/verderbanzeigend) und Zahl (KbE/g) bestimmt wird (s. Kap. IV.7).

Prinzip der Bestimmung: Aliquoter Probenanteil wird in Peptonwasser geschüttelt (2 h bei 37 °C). Zur Gesamtkeimbestimmung werden Verdünnungsreihen mit Standard-Nährboden-agar angesetzt, für Pilze spezielle Nährböden. Es können dabei nur kulturell vermehrfähige Keime erfasst werden.

Indirekte Bestimmung: Erfassung von Zellwandbestandteilen gramnegativer Keime (Lipopolysaccharide, LPS) oder von Ergosterin (Indikator für die Masse an Pilzhypen), d. h. auch nicht mehr kultivierbare oder abgestorbene Keime werden miterfasst.

Toxine

Toxine bakterieller (Endo- oder Exotoxine), pilzlicher (Mykotoxine) wie auch pflanzlicher Herkunft (Phytotoxine) werden mittels biologischer Verfahren (Tierversuch, Zellkultur) oder chemisch bzw. massenspektrometrisch oder auch immunologisch (ELISA) erfasst.



3 Verdaulichkeit



Für den möglichen Wert einer Komponente als FM ist neben der chemischen Zusammensetzung die Verdaulichkeit der Energie und/oder der Nährstoffe von zentraler Bedeutung. Dabei versteht man unter der Verdaulichkeit den Anteil der mit dem Futter aufgenommenen Energie und/oder Nährstoffe, der **nicht** wieder mit dem Kot ausgeschieden wird. Die Verdaulichkeit eines FM, die in Prozent (max. 100) oder als Faktor (max. 1,0) angegeben wird, hängt im Wesentlichen von drei Einflussgrößen ab: von dem Tier (Art, Alter etc.), dem Futter an sich (z. B. Rfa-Gehalt) und der FM-Bearbeitung (z. B. Zerkleinerung, Kochen).

3.1 Begriffe

Verdauung: Mechanische Zerkleinerung und chemische Zerlegung der FM-Inhaltsstoffe in resorbierbare Futterbestandteile. Die chemische Spaltung erfolgt durch körpereigene und ggf. bakterielle sowie futtereigene bzw. dem Futter zugesetzte Enzyme. Im eher allgemeinen Sinn meint Verdauung aber auch die Summe aller Vorgänge im/am Gastrointestinaltrakt, angefangen bei der Ingestion über die Absorption bis hin zur Elimination des Unverdaulichen.

Resorption: Aufnahme der zerlegten Futterbestandteile aus dem Verdauungstrakt in die Blut- oder Lymphbahn, entweder passiv in Richtung eines Konzentrationsgefälles oder aktiv entgegen einem Konzentrationsgefälle oder durch Pinozytose.

Verdaulichkeit: Die Definition ergibt sich aus der Methodik (s. Kap. I.3.2).

3.2 Bestimmung

Bei der Bestimmung der Verdaulichkeit wird das zu prüfende FM allein oder in Kombination mit anderen Komponenten in definierter und konstanter Menge eingesetzt. Der eigentlichen Kollektionsphase (Sammeln des Kotes) geht eine mindestens gleich lange Adaptationsphase voraus. Die Kollektion erstreckt sich dabei auf mindestens eine Passagezeit; etabliert ist folgende tierartlich unterschiedliche Dauer:

- Pfd, Wdk: 10 Tage
- Schw, Hd, Kan: 5 Tage
- Gefl, Ziervögel: 5 bzw. 3 Tage

Durch eine entsprechende Haltung und technische Vorkehrungen sind Kontaminationen des Kotes (z. B. durch Haare, Harn) ebenso zu vermeiden wie Nährstoffverluste aus dem abgesetzten Kot (z. B. NH_3 -Verlust). Das Ernährungsniveau der Tiere sollte dabei möglichst dem Erhaltungsbedarf entsprechen, insbesondere ist jeder Nährstoffmangel zu vermeiden, der die Verdauung des zu prüfenden FM beeinflussen könnte (z. B. N-Mangel der Pansenflora → reduzierter Rfa-Abbau im Pansen).

Die Verdaulichkeit wird normalerweise über den gesamten GIT bestimmt, d. h. Futter und Kot stellen die entscheidenden Grundsubstrate dar. Geht es jedoch um die Verdaulichkeit in bestimmten Teilen des Verdauungstrakts („partielle“ Verdaulichkeit: Verdaulichkeit in verschiedenen Abschnitten des Verdauungskanal; bestimmt z. B. mittels Fisteltechnik), so sind verschiedene Differenzierungen üblich:

- ruminale/paeduodenale VQ (Wdk!)
- pc Verdaulichkeit (insbes. für Protein/AS bei Schw, Gefl, Pfd)

- postleale Verdaulichkeit (z. B. von diversen Kohlenhydraten)
 - (u. a. von Interesse für energetische Verluste)
- Näheres: s. Empfehlungen der GfE

Die Bestimmung der Verdaulichkeit von FM-Inhaltsstoffen erfolgt mit folgenden Verfahren:

In-vivo-Verfahren

- scheinbare Verdaulichkeit (sV)
- wahre Verdaulichkeit (wV)

sV- und wV-Werte gelten nur für die Tierart, an der sie bestimmt werden.

In-situ-Verfahren

- Inkubation des FM: Bestimmung der ruminalen Verdaulichkeit/Abbaubarkeit mittels Nylon-Bag-Technik; die zu prüfenden FM werden in Nylon-Bags bei pansenfistulierten Tieren den Verdauungsvorgängen im Pansen ausgesetzt und der Abbau über die Zeit bestimmt werden (Kinetik/Gesamtabbau nach 24/48 h)

In-vitro-Verfahren

- Simulationstechnik:
Simulation von Verdauungsvorgängen im Pansen (RUSITEC), Caecum (CAESITEC) bzw. Colon (COSITEC) mit Nutzung von Spendertieren für das Inkubationsmedium; für Wdk RUSITEC oder Hohenheimer Futterwerttest; für Pfd und Schw CAESITEC bzw. COSITEC
- Reine laboranalytische Technik:
Pepsin-HCl-Technik: Inkubation von proteinreicheren FM mit HCl und Pepsin → Bestimmung des pepsinlöslichen Proteins → Indikator für die Proteinverdaulichkeit im Tier

Scheinbare Verdaulichkeit

Die scheinbare Verdaulichkeit ist die in Prozent der Nährstoffaufnahme angegebene Differenz zwischen der mit dem Futter aufgenommenen und der mit dem Kot ausgeschiedenen Nährstoffmenge.

$$sV (\%) = \frac{F - K}{F} \times 100$$

F = Futter; K = Kot

Für Nährstoffe, die nicht oder nur in sehr geringem Umfang ins Darmlumen sezerniert werden, ergeben sich realistische Werte (Rfa, Stärke). Bei der sV des Rohproteins (und Rfe) ist zu beachten, dass eine gewisse Menge im Kot endogener Herkunft ist, die sV folglich niedriger liegt als die wV. Trotzdem werden die nach dieser Methode gemessenen Werte (sV) aus praktischen Gründen in den Futterwerttabellen verwendet. Bei den Mineralstoffen ist in der Regel die Diskrepanz so groß, dass die sV für den angegebenen Zweck ungeeignet ist (Ausnahmen Mg, Na, K; beim Pfd auch Ca).

Bestimmung: Quantitative Erfassung der Nährstoffmenge in Futter und Kot (Kollektionsmethode) oder mittels Indikatormethode (= Markermethode). Zugabe eines inerten, nicht-resorbierbaren Indikators (Chromoxid, Titanoxid, Kunststoffpulver) im Futter und Bestimmung des Markers in Futter und Kot oder Nutzung eines im FM originär enthaltenen unresorbierbaren Stoffes (HCl-unlösliche Asche, Lignin).

[1]

Wahre Verdaulichkeit (= Resorbierbarkeit)

Sie berücksichtigt denjenigen Anteil der **endogenen Sekretion** eines Nährstoffs, der mit dem Kot ausgeschieden wird (e) und liefert daher für die Verdaulichkeit von Rohprotein, aber auch Rohfett sowie Mineralstoffen Werte, die den tat-

$$[1] \quad sV (\%) = 100 - \left[\frac{\% \text{ Indikator im Futter}}{\% \text{ Indikator im Kot}} \times \frac{\% \text{ Nährstoff im Kot}}{\% \text{ Nährstoff im Futter}} \times 100 \right]$$



sächlichen Umfang der Resorption widerspiegeln (**Abb. I.3.1**).

$$wV = \frac{F - (K - e)}{F} \times 100$$

Die Menge e kann für R_p bei N-freier Ernährung bestimmt oder besser durch tierartspezifische Regressionsgleichungen berechnet, für einige Mineralstoffe mittels Isotopenverdünnungsmethode ermittelt werden. Dabei ist die Menge an endogenen Stoffen (R_p , AS u.a. Nährstoffen) nicht konstant, sondern variiert in Abhängigkeit von dem Futter an sich, dem Fasergehalt und der Futtermenge, aber auch von Prozessen an/in der Darmwand (Apoptoserate) sowie von der Reabsorption endogenen Proteins und Fettes (d.h. endogenes Protein unterliegt auch wieder der enzymatischen Spaltung und Absorption).

3.3 Beeinflussung der Verdaulichkeit

Durch das Tier

Spezies: FM-Auswahl und -Bearbeitung, unterschiedliche Kauintensität, Ausbildung des GIT, enzymatische Kapazität, Magen-Darm-Flora,

Dauer der Chymuspassage (Rfa-Abbau braucht auch Zeit!).

Alter: Produktion von Verdauungsenzymen sowie ggf. Entwicklung von Vormägen und Dickdarm mit entsprechender Mikroflora.

Verdauungskapazität: Bei Monogastriern im Allgemeinen kein Einfluss der Futtermenge pro Tag bzw. Fütterung erkennbar; beim Wdk sinkt die sV bei jedem Vielfachen des energetischen Erhaltungsbedarfs um 2–4 Prozentpunkte. Die Einbußen in der Verdaulichkeit erklären sich im Wesentlichen mit der kürzeren Verweildauer des Futters im Vormagen bei steigendem Ernährungsniveau (insbesondere in der Fütterung von Hochleistungskühen von Bedeutung). Dies wird zum Teil kompensiert durch Verringerung der Energieverluste über Gärgase und endogene renale Verluste.

Erkrankungen: Gebiss (Pfd), Verdauungsdrüsen (Pankreas, Hd), Parasitenbefall, Diarrhoe, Dysbiosen. Infektionen/Alterationen im pc-Bereich werden in teils erstaunlichem Umfang durch forcierte postileale Umsetzungen kompensiert, während postileale Infektionen eher Veränderungen/Einbußen in der sV erkennen lassen.

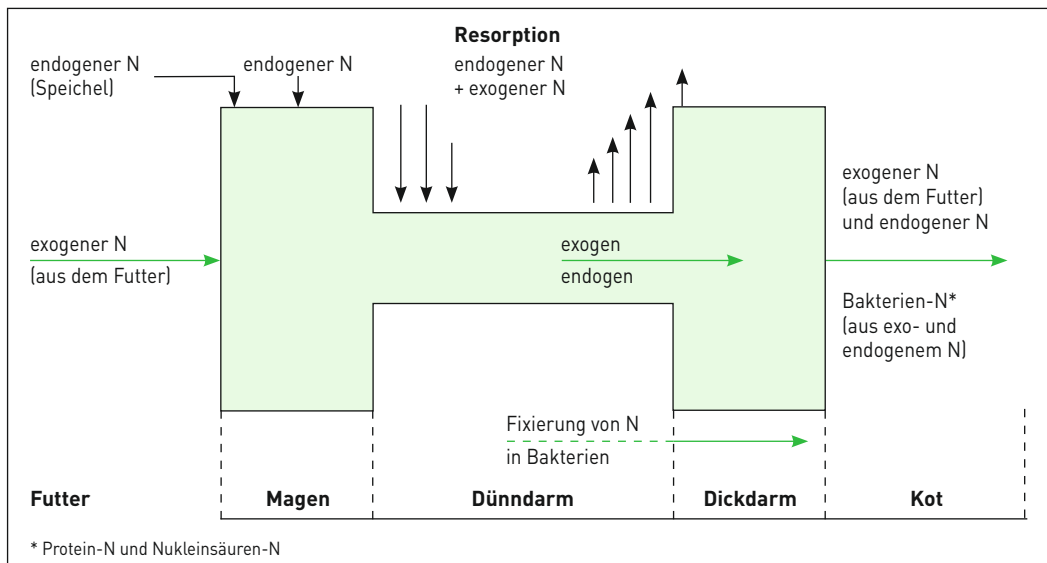


Abb. I.3.1: Herkunft des mit dem Kot ausgeschiedenen Stickstoffs.

Durch Futtermittel- bzw. Rationsinhaltsstoffe

Rohfaser: Die tierartspezifischen Unterschiede sind hier am deutlichsten. Die Verdaulichkeit der oS geht im Mittel je 1 % Rfa in der Ration beim Rd um 0,88, beim Pfd um 1,26, beim Schw um 1,68 und beim Huhn bereits um 2,33 Einheiten zurück. Zur groben Schätzung/Vorhersage der Verdaulichkeit der oS können die Formeln aus **Tabelle I.3.1** verwendet werden.

Tab. I.3.1: **Formeln zur Schätzung der Verdaulichkeit der oS bei diversen Tierarten**

Rd	voS [%] = 90,0–0,88 x
Schf	voS [%] = 90,7–0,96 x
Pfd	voS [%] = 97,0–1,26 x
Schw	voS [%] = 92,0–1,68 x
Huhn	voS [%] = 88,0–2,33 x
Wellensittich ¹	voS [%] = 82,2–0,50 x
Hd	voS [%] = 90,8–1,56 x
Ktz	voS [%] = 89,3–1,20 x
Kan	voS [%] = 98,8–2,12 x
Mschw	voS [%] = 92,9–1,44 x
Chin	voS [%] = 90,8–1,56 x
Degu	voS [%] = 92,7–1,64 x

¹ entspelzte Saaten; x = Rfa-Gehalt in % der Futter-TS

Zusätzlich von Bedeutung sind die Art und die Struktur der Rfa sowie andere Komponenten der Ration (vgl. auch **Tab. I.3.2**).

Protein: Beim Wdk ist die Verdaulichkeit des Rp stärker vom Rp:E-Verhältnis abhängig als von Art und struktureller Anordnung des Futterproteins. Das fasergebundene Rp (z. B. N-Gehalt in der Detergenzienfaser) muss als weitestgehend unverdaulich angesehen werden, wie es auch in CNCPS mit der Fraktion C beschrieben ist. Die Rp-Verdaulichkeit im Pansen ist nicht nur vom FM selbst abhängig, sondern ganz erheblich von der Chymusverweildauer im Pansen, d. h. damit

also nicht m. o. w. konstant, sondern variabel (wie man u. a. mittels *In-situ*-Techniken eindeutig belegen konnte).

Fett: Reduktion der Verdaulichkeit der oS beim Wdk u. a. durch Verminderung der zellulolytischen Aktivität der Pansenmikroben, wenn täglich mehr als 800 g Fett bzw. 400 g ungesättigte Fettsäuren (Werte für Milchkühe) verfüttert werden.

Leicht lösliche Kohlenhydrate (Zucker, Stärke): Rückgang der Verdaulichkeit beim Wdk vor allem für Rfa und Rp infolge starker Vermehrung der zucker- und stärke-spaltenden Pansenmikroben. Bei Monogastriern evtl. substratabhängige Förderung der VQ („Enzym-Induktion“).

Besondere Inhaltsstoffe: Trypsinhemmstoffe (Sojaschrot, Ackerbohne, rohes Ei), Tannine, Lektine, Phytin-P (komplexiert z. B. Zink).

Durch Futterzubereitung und Zusätze

Zerkleinerung: Feine Vermahlung von Raufutter mindert beim Wdk die Rfa-Verdaulichkeit (Beschleunigung der Vormagenpassage), steigert aber die VQ z. B. bei Kan. Generell fördert eine Zerkleinerung von Getreide (schroten/quetschen) die Abbaugeschwindigkeit und die VQ (insbesondere im pc-Bereich). Für eine möglichst hohe Rp-Verdaulichkeit im pc-Bereich ist bei Leguminosensamen (Sojabohne, Ackerbohne, Erbse) eine stärkere Zerkleinerung von Bedeutung; aber auch die pc-Stärkeverdaulichkeit von Maiskörnerprodukten profitiert ganz erheblich von einer intensiveren Zerkleinerung (vgl. auch **Tab. I.3.2**).

Erhitzen/Dämpfen: Beim Schw Dämpfen von Kartoffeln zur Erhöhung der pc-Stärke-Verdaulichkeit notwendig; zur Inaktivierung von Trypsinhibitoren (z. B. bei Sojaschrot) unerlässlich. Überhitzen führt hier, aber auch bei Gewinnung von Trocken-FM (z. B. Magermilchpulver) evtl. zu Einbußen in der Rp-VQ (s. „Bestimmung verfügbarer AS“).

Pelletieren: Beim Wdk führt das Pelletieren von Grobfutterstoffen (bes. Stroh) zu einer höheren Futteraufnahme, wegen der schnelleren Passage



aber meist zu einer geringeren Verdaulichkeit. Bei anderen Tierarten besteht kein wesentlicher Einfluss auf die Verdaulichkeit, wohl aber auf den Futteraufwand (allgemein günstiger wegen geringerer Futtermittelverluste etc.).

Enzyme: Äußerst günstige Effekte bei Substitution fehlender Verdauungsenzyme, z. B. bei exo-

kriner Pankreasinsuffizienz; aber auch bei gesunden Individuen sind erhebliche Effekte zu beobachten (z. B. P-Verdaulichkeit nach Phytase-Einsatz bei Schw und Gefl). Zu nennen sind zudem Effekte von NSP-spaltenden Enzymen (Glucanasen, Xylanasen u. Ä.) infolge günstigerer Chymusviskosität und Substrat-Zugänglichkeit.

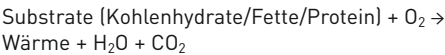
Tab. 1.3.2: Die Verdaulichkeit (VQ) einzelner (Roh-)Nährstoffe in Abhängigkeit von der Qualität

Inhaltsstoff	Differenzierung		VQ
Rohasche	lösliche Mineralstoffe Silikate (Sand)		↑ unverdaulich
Rohprotein	lösliche Proteine Keratine (Haare, Horn)		↑ unverdaulich
Rohfett	weiche Fette/niedriger Schmelzpunkt harte Fette/hoher Schmelzpunkt		↑ ↓
Rohfaser	unverholzt (nicht lignifiziert) verholzt/verkieselt		(↑) ↓
NfE	Stärke/Zucker Lactose (im Dünndarm durch körpereigene Enzyme, im Dickdarm durch Bakterien) lösliche NSP		↑ ↑ ↑ (nur mikrobiell)
Stärke	botanische Herkunft, z. B. – aus Hafer, nativ – aus Mais, nativ	præcaecal	↑ ↓
	FM-Bearbeitung, z. B. – rohe Kartoffelstärke – grobes Maisschrot – gekochte Stärke	præcaecal mikrobiell (Pansen, Dickdarm) præcaecal	↓ ↓ ↑
Calcium	CaCO ₃ CaSO ₄ (Gips)		↑ ↓
Phosphor	Nicht-Phytin-Phosphor (Gefl, Schw) Phytin-Phosphor (Gefl, Schw)		↑ ↓
	Na-Phosphate Ca-Na-Rohphosphate		↑ ↓
Spurenelemente	anorganische Verbindungen – Chloride/Sulfate – Oxide/Carbonate organische Verbindungen		↑ ↓ (↑)

4 Energiebewertung

Die Frage nach dem energetischen „kalorischen“ Wert eines FM für das Tier zählt zu den originären Herausforderungen der Tierernährung als wissenschaftliche Disziplin. Dabei hat bereits die chemische Zusammensetzung eines FM einen entscheidenden Einfluss: Bekanntermaßen sind Fette viel energiereicher als andere organische Bestandteile (und nur diese können überhaupt bei einer Verstoffwechslung Energie liefern). Die einfachste Form einer energetischen Bewertung eines FM stellt die Verbrennung im Bombenkalorimeter dar, wobei die freiwerdende Energie an Wasser abgegeben wird und dessen Erwärmung (Menge, Temperaturanstieg in °C) quantifiziert wird. Aus derartigen bombenkalorimetrischen Untersuchungen wurden die nachfolgend aufgeführten Bruttoenergiegehalte be-

stimmt bzw. regressionsanalytisch abgeleitet, sodass man aus den bekannten Gehalten im Futter (oder auch anderen Substraten) auch den Bruttobrennwert kalkulieren kann (**Tab. I.4.1**). Grundlage einer differenzierenden Bewertung der Futterinhaltsstoffe ist vereinfacht folgende Reaktionsgleichung:



Der O₂-Verbrauch korreliert direkt mit der gebildeten Wärme. Die Proportionalität von C-Atomen zum O₂-Verbrauch erklärt die Rangfolge der Substrate hinsichtlich des O₂-Verbrauchs und der Wärmebildung (physikalische Brennwerte): Fette > Proteine > Kohlenhydrate.

Tab. I.4.1: **Brutto-Energie-Gehalte (GE-Gehalte) von Nährstoffen sowie weiteren Substraten, die im Futter, im Tier oder in Ausscheidungen vorkommen**

Nährstoffe	kJ GE/g	Substrate	kJ GE/g
Rohprotein	23,9–24,2	Harnstoff	10,7
Rohfett	36,6–39,8	Harnsäure	11,5
Rohfaser	17,2–22,2	Allantoin	10,5
Glucose	15,7	Ameisensäure	5,7
Stärke	17,5	Essigsäure	14,8
Laktose	16,4	Propionsäure	20,8
Glycerin	18,0	Buttersäure	24,9
Propylenglycol	23,9	Methan	55,3
Fumarsäure	11,5	Wasserstoff	142
Zitronensäure	10,6	Hippursäure	23,7
Alkohol	29,0	Kreatinin	20,9

¹ Maßeinheit: heute Joule (J), früher Kalorie (cal); 1 cal = 4,1868 J; 1000 kJ = 1 MJ



Würde man auf dieser Stufe der energetischen Bewertung von FM stehen bleiben, ergäben sich beispielsweise für Stärke und Holz nahezu identische Werte. Stärke ist aber allgemein vollständig verdaulich und Holz nahezu unverdaulich, d.h. es ist ohne energetischen Nutzen für das Tier. Im „Kalorimeter Tier“ findet im Prinzip Gleiches statt. Allerdings wird die chemische Energie in Adenosintriphosphat (ATP) und Wärme transformiert. Auch hier gilt, dass O₂-Verbrauch und ATP-Bildung korrelieren, d.h. hinsichtlich der ATP-Bereitstellung rangieren die Substrate in gleicher Weise wie oben erwähnt. Da der energetische Wert der Substrate jedoch in einer tierischen Zelle entwickelt wird, kann Folgendes konstatiert werden:

- Einen energetischen Wert haben nur verdaute Substrate.
- Zur Quantifizierung dienen substratspezifische **physiologische Brennwerte**.
- Das physiologische „Abbild“ der Energie sind ATP + Wärme.
- Alle Stoffwechselleistungen werden universell mit dieser „Währung“ bezahlt.
- Verdaute Substrate müssen nicht zwingend der ATP-Bildung im Tier dienen bzw. für Leistungen einer Zelle zur Verfügung stehen (s. u. DE vs. ME).
- Der energetische Nutzen verstoffwechselter Substrate muss zwischen den Tierarten nicht gleich sein!

Damit wird nachvollziehbar, dass die Verdaulichkeit bei der energetischen Bewertung berücksichtigt werden muss. Geht man des Weiteren davon aus, dass eine identische Energiemenge einmal in Form von Stärke, ein anderes Mal in Form von Protein aufgenommen wird, so ergeben sich bei der Proteinaufnahme unvermeidbare N-Verluste über den Harn (bei Säugern in Form von Harnstoff, der als organische Substanz einen Brennwert hat), sodass auch dieser Aspekt bei der Energiebewertung mit berücksichtigt werden muss. Sind bei der Verdauung Mikroorganismen involviert, so liegt es nahe, z.B. mikrobiell gebildete Gase (Methan!) als „Verluste“ für das Tier zu bedenken.

Schließlich ist bei der Umwandlung von chemischer Energie in physikalische Arbeit (z. B. Zugkraft) ein Freiwerden von Energie (Verlust!) zu beachten (s. Schwitzen bei körperlicher Arbeit), sodass auch diese „Wärmeverluste“ zu berücksichtigen sind. Vor diesem Hintergrund wurden diverse Systeme der Energiebewertung von FM entwickelt (s. **Abb. I.4.1**).

4.1 Systeme der Energiebewertung

Auf der Basis von Kenntnissen über die Futterzusammensetzung, von chemisch-physikalischen Untersuchungen (z. B. Bombenkalorimeter), von Tierversuchen (Verdauungs- bzw. Respirationsversuche mit Quantifizierung des O₂-Verbrauchs bzw. der CO₂-Bildung) sowie von regressionsanalytischen Auswertungen (z. B. Leistung bei unterschiedlicher Energieversorgung) erfolgt heute die Energiebewertung von FM für die verschiedenen Spezies auf unterschiedlichen „Stufen“, teils sogar – wie beim Rind – in Abhängigkeit von der Nutzungsrichtung mit verschiedenen „Währungen“ (ME bzw. NEL; **Tab. I.4.2**).

Tab. I.4.2: **Die gegenwärtig gültigen Energiebewertungssysteme**

DE	kleine Nager
ME	Pfd, Aufzucht- und Mast-Rd, kl. Wdk, Schw, Hd, Ktz, Gefl, Fische
NEL	Milch-Rd

Die DE wird nur noch im Bereich der „Kleinen Nager“ (Kaninchen) verwendet, die NEL nur in der Fütterung von Milchkühen; bei den anderen Spezies (und Nutzungsrichtungen) ist die ME die heute übliche Form der FM-Bewertung (und Bedarfsformulierung).

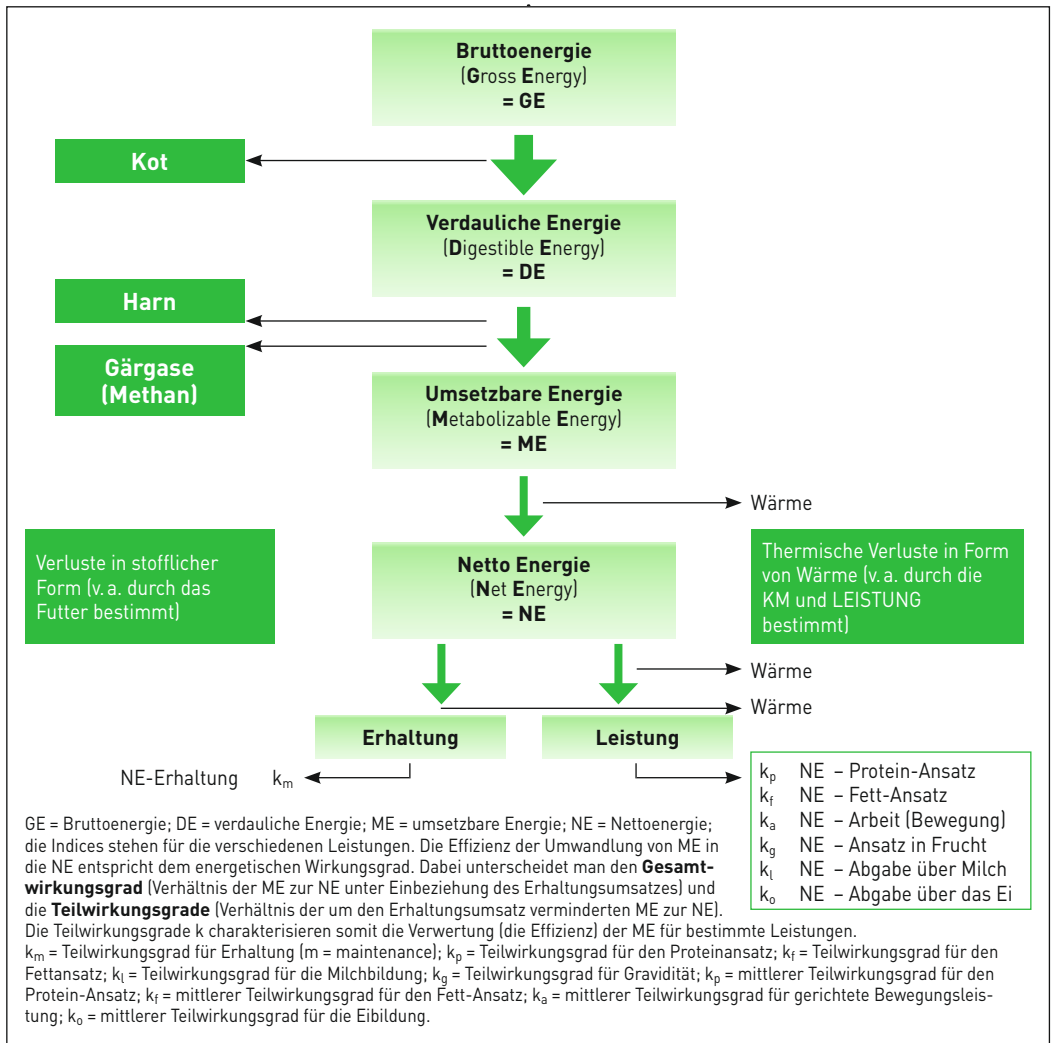


Abb. I.4.1: Schema zur Energiebewertung von Futtermitteln.

4.1.1 Bruttoenergie (Gross Energy, GE)

Wie zuvor beschrieben, bieten sich zur Bestimmung der GE-Gehalte in FM prinzipiell zwei Möglichkeiten:

1. Verbrennung im Bombenkalorimeter
2. Kalkulation aus den Brennwerten der enthaltenen Rohnährstoffe (in der Formel Rohnährstoffe in g/kg):

$$GE \text{ (MJ/kg)} = 0,0239 R_p + 0,0398 R_f + 0,0201 R_{fa} + 0,0175 N_{fE}$$

Im Vergleich zu den vorher bereits angeführten Bruttobrennwerten ergeben sich bei der Kalkulation nach dieser Formel marginale Abweichungen, die sich aus der Variation der Zusammensetzung der einzelnen Rohnährstoff-Fraktion erklären (z. B. ist der Bruttobrennwert der Rohfaser bei unterschiedlicher Lignifizierung



leicht variabel; auch der Brennwert der Fette variiert leicht in Abhängigkeit von der Kettenlänge und Zahl der Doppelbindungen).

4.1.2 Verdauliche Energie (Digestible Energy, DE)

Die experimentelle Basis ist der Verdauungsversuch, in dem die Differenz zwischen aufgenommener Bruttoenergie und fäkal ausgeschiedener Bruttoenergie bestimmt wird; Futter und Kot werden hierzu im **Bombenkalorimeter** verbrannt.

Weitere Möglichkeiten der DE-Ableitung **ohne Bombenkalorimeter** sind:

- Kalkulation der GE-Aufnahme und GE-Ausscheidung über Multiplikation der Nährstoffe (in Futter und Kot) mit ihrem jeweiligen mittleren Brutto-Brennwert. Dabei führt die Kalkulation – im Vergleich zur Bombenkalorimetrie von Futter und Kot – bisweilen zu gewissen Abweichungen. Dies erklärt sich u. a. mit den unterschiedlichen Brennwerten des aufgenommenen bzw. ausgeschiedenen Rohnährstoffs (die nicht verholzte Rohfaser wird größtenteils verdaut, d. h. absorbiert; die ausgeschiedene Rohfaser ist aber die stark lignifizierte Rohfaser).
- Aus der Fülle von Verdauungsversuchen konnte der energetische Wert der **verdauten** Nährstoffe schließlich genauer beschrieben werden. Den verdauten Nährstoffen können nunmehr physiologische Brennwerte zugeordnet werden (**Tab. I.4.3**).

Tab. I.4.3: **Brennwerte der verdaulichen Nährstoffe auf der Stufe der DE für Kan**

kJ DE/g verdaulichen Nährstoff ¹			
vRp	vRfe	vRfa	vNfE
22,0	39,7	17,3	17,4

Den verdauten Nährstoffen können nunmehr physiologische Brennwerte zugeordnet werden, Stoffe schließlich genauer beschrieben werden.

¹ nach Nehring 1972

Voraussetzung für dieses als Standardverfahren akzeptierte Vorgehen ist die Kenntnis der Verdaulichkeit (Nährstoff x Verdaulichkeit x Brennwert = Energie).

Wenn mit weiteren Untersuchungen die Energieverluste bei der mikrobiellen Verdauung sowie über den Harn quantifiziert würden, wäre auch für diese Spezies eine Bewertung der FM in Form der ME möglich und wissenschaftlich präziser. Die aktuelle ökonomische Bedeutung der Kaninchen steht dem hierfür nötigen Aufwand jedoch entgegen.

4.1.3 Umsetzbare Energie (Metabolizable Energy, ME)

Eine Bewertung des Energiegehaltes in FM auf der Stufe der ME erfordert streng genommen Stoffwechselversuche (Respirationskammern) mit direkter (Wärmemessung) bzw. indirekter (Gaswechsellmessung) Kalorimetrie. Es wird hierbei die Energie bestimmt, die tatsächlich dem Tier für Stoffwechselprozesse zur Verfügung steht, d. h. die zwar verdaute, aber nicht genutzte Energie (Gärgase, N-Metaboliten im Harn) wird berücksichtigt und in Abzug gebracht. Aus einer Vielzahl parallel vorgenommener Stoffwechsel- und Verdauungsversuche konnte der mittlere Ertrag an umsetzbarer Energie – mit tierartspezifischen Unterschieden – aus den einzelnen **verdaulichen** Rohnährstoffen abgeleitet werden. Mithilfe dieser physiologischen Brennwerte – korrigiert um Gas- und Harnverluste – ist es deshalb möglich, aus den in Verdauungsversuchen bestimmten Gehalten an **verdaulichen** Nährstoffen den ME-Gehalt abzuleiten, was für nachfolgend genannte Spezies bzw. Tiergruppen üblich ist.

Aufgrund der Unterschiede in den Verdauungsprozessen (v. a. Umfang der mikrobiellen Verdauung) und des Beitrags verdauter Aminosäuren an der Energiegewinnung können die physiologischen Brennwerte auf der Stufe der Umsetzbaren Energie zwischen den Spezies nicht gleich sein. Das prinzipielle Vorgehen jedoch (mit einigen Abwandlungen) gilt für alle:

Rohnährstoff x Verdaulichkeit x Brennwert = ME.

Wiederkäuer

Da die Verdaulichkeit der Nährstoffe eng mit der Abbaubarkeit im Pansen – und dadurch mit der Gasbildung = Energieverlust – korreliert ist, kann auch hier die ME aus den verdaulichen Nährstoffen abgeleitet werden. Für Wdk werden die Fraktionen vRp und vNfE mit dem gleichen Wert an ME kalkuliert (14,7 kJ/g), allerdings wird der in FM variierende Rp-Gehalt mit einem Korrekturglied (0,00234 Rp; nicht vRp!) berücksichtigt:

$$\begin{aligned} \text{ME}_{\text{Wdk}} (\text{MJ/kg TS}) &= 0,0147 \text{ vRp} + 0,0312 \text{ vRfE} \\ &\quad + 0,0136 \text{ vRfA} + 0,0147 \text{ vNfE} \\ &\quad + 0,00234 \text{ Rp} \end{aligned}$$

Pferde

Die Energiebewertung von FM für Pferde wurde kürzlich vom alten System der DE auf die ME umgestellt. Die Verdauung der Rohfaser ist beim Pferd mit sehr viel geringeren Energieverlusten in Form von Methan (je g RfA = 2 kJ) verbunden als beispielsweise bei Wdk, andererseits gehen auch beim Pfd mit Einsatz proteinhaltiger FM über den Harn größere Mengen an Energie (je g Rp = 8 kJ) verloren, insbesondere über die Hippursäure. Die speziesspezifischen physiologischen Brennwert_{ME} sind für das Pferd bislang kaum näher bearbeitet worden. Vorläufig können nachstehende Näherungswerte genutzt werden. Für die Praxis ist diese Ableitung der ME_{Pfd} jedoch nicht etabliert, da u. a. aufgrund der bisherigen Vorgehensweise zur Ableitung der DE und der begrenzten Datenbasis ein anderes Prozedere entwickelt worden ist. Unterdessen liegen auch erste regressionsanalytische Ableitungen zum ME-Wert der verdauten Nährstoffe für das Pferd vor. Hiernach gilt:

$$\begin{aligned} \text{ME}_{\text{Pfd}} (\text{MJ/kg TS}) &= 0,01192 \text{ vRp} \\ &\quad + 0,04228 \text{ vRfE} \\ &\quad + 0,00793 \text{ vRfA} \\ &\quad + 0,01676 \text{ vNfE} \end{aligned}$$

Schweine

Beim Schw ist die Bildung gasförmiger Verdauungsprodukte nicht so eng an die Verdaulichkeit gekoppelt wie beim Wdk, sondern variiert insbesondere in Abhängigkeit von den Nährstoffmengen, die im Dickdarm mikrobiell verdaut werden. Die verdaulichen Kohlenhydrate (vRfA + vNfE) abzüglich der i. d. R. im Dünndarm hochverdaulichen Stärke + Zucker repräsentieren die maßgeblich mikrobiell verdauten Kohlenhydrate. Hierunter fallen in erster Linie Hemizellulosen und Pektine. Diese werden im Dickdarm des Schweines zu flüchtigen Fettsäuren vergoren. Die damit verbundenen Energieverluste und die geringere Effizienz der resorbierten flüchtigen Fettsäuren im Intermediärstoffwechsel werden im Vergleich zur praecaecal verdauten und schließlich in Form von Glucose absorbierten Stärke auf 15 % geschätzt. Dieser geringere energetische Nutzen kommt in der unten aufgeführten Gleichung mit dem Faktor 0,0147 für den verdaulichen org. Rest zum Ausdruck (0,0147 = 85 % des für Stärke verwendeten Faktors von 0,0173).

Die ME wird, wenn nicht im Stoffwechselversuch bestimmt, nach folgender Formel berechnet (Nährstoffe in g/kg TS):

$$\begin{aligned} \text{ME}_{\text{Schw}} (\text{MJ/kg TS}) &= 0,0205 \text{ vRp} + 0,0398 \text{ vRfE} \\ &\quad + 0,0173 \text{ Stärke} + 0,0160 \text{ Zucker} \\ &\quad + 0,0147 (\text{voS} - \text{vRp} - \text{vRfE} \\ &\quad \quad - \text{Stärke} - \text{Zucker}) \end{aligned}$$

In dieser Formel wird also nicht mit den vNfE gearbeitet, sondern mit der nur im Labor bestimmten insgesamt vorhandenen Menge an Stärke und Zucker, die vom Schwein zu ca. 100 % verdaut werden (Stärke aber evtl. im Dickdarm, s. o.).

Fleischfresser (Hunde, Katzen)

Beim Flfr werden in der energetischen Bewertung von FM mögliche (aber sehr geringe!) Energieverluste durch Gärgase vernachlässigt. Für die Ermittlung der ME sind also nur die Sammlung und Analyse von Kot und Harn erforderlich. Da die Sammlung von Harn mit er-



heblichen Bewegungseinschränkungen für die Tiere verbunden ist, wird meist nur der Kot gesammelt und analysiert. Auch bei diesen Spezies besteht der Unterschied zwischen der DE und der ME vor allem in den durch die renale N-Ausscheidung bedingten Energieverlusten – in diesem Fall überwiegend als Harnstoff. Diese hängen entscheidend von der Aufnahme an verdaulichem Rohprotein ab. Bei adulten Tieren wird von einer ausgeglichenen N-Bilanz ausgegangen und pro Gramm verdauliches Rohprotein ein Abzug von 5,2 kJ beim Hund bzw. 3,6 kJ bei der Katze vorgenommen. Für Jungtiere beider Spezies wird trotz N-Retention keinerlei Korrektur vorgenommen.

Die ME errechnet sich dann wie folgt aus den **verdaulichen** Rohnährstoffen (g/kg TS):

Für **Hunde**:

$$\text{ME (MJ/kg TS)} = 0,0194 \text{ vRp} + 0,0393 \text{ vRfe} \\ + 0,0178 \text{ vRfa} + 0,0173 \text{ vNfe}$$

Für **Katzen**:

$$\text{ME (MJ/kg TS)} = 0,0202 \text{ vRp} + 0,0393 \text{ vRfe} \\ + 0,0178 \text{ vRfa} + 0,0173 \text{ vNfe}$$

Geflügel sowie Fische und Reptilien

Für Spezies, bei denen nur in geringerem Umfang eine mikrobielle Umsetzung der Nahrung erfolgt, können die Verluste durch Gärgase vernachlässigt werden. Es ist dann nur der Energiegehalt in Kot und Harn zu bestimmen. Dies bietet sich beim Geflügel sowie bei Fischen und Reptilien an, da Kot und Harn gemeinsam ausgeschieden werden bzw. renale Ausscheidungen nicht quantifiziert werden können (Fische: Kiemen als Ausscheidungsorgan). Werden im Verdauungsversuch die Exkrementen gesammelt und analysiert, so ergeben sich sozusagen gleich die „umsetzbaren“, statt der verdaulichen Nährstoffe. Während beim Geflügel für Fett und Kohlenhydrate zwischen verdaulichem und umsetzbarem Nährstoff keine wesentlichen Unterschiede bestehen, gibt es beim Protein eine erhebliche Differenz: Wird Protein nur energetisch genutzt, so muss der gesamte Aminostickstoff ausgeschieden werden. Beim Geflügel erfolgt dies im Wesentlichen als Harnsäure. Diese Ver-

bindung hat jedoch noch einen beträchtlichen Energiegehalt, der dem Stoffwechsel des Tieres verloren geht. Dies gilt allerdings nur im Erhaltungsstoffwechsel im N-Gleichgewicht (N-Aufnahme = N-Ausscheidung). Wird hingegen Protein angesetzt, muss weniger Stickstoff über Harnsäure ausgeschieden werden, und die metabolisch verfügbare Energie wird bei unterschiedlichem Ansatz entsprechend höher oder niedriger ausfallen. Daher wird von der im Tierversuch an wachsenden Tieren durch Sammlung von Exkrementen bestimmten ME ein Abzug für retinierten Stickstoff vorgenommen (36,5 kJ/g retiniertem Stickstoff). Die vRfa liefert dem Gefl kaum umsetzbare Energie, sodass die tabellierten ME- bzw. ME_{Nkor}-Gehalte auf einer vereinfachten Berechnungsformel basieren:

$$\text{ME}_{\text{Nkor}} \text{ (MJ/kg TS)} = 0,0180 \text{ „umsetzbares“ Rp} \\ + 0,0388 \text{ „umsetzbares“} \\ \text{Gesamtfett} \\ + 0,0173 \text{ „umsetzbare“ Nfe}$$

Die tabellarisch vorliegenden ME-Gehalte für die beim Geflügel eingesetzten FM gelten streng genommen nur für Legehennen. Es ist davon auszugehen, dass gerade bei Küken, Broilern und Junghennen alters- und damit enzymbedingt niedrigere Werte unterstellt werden dürfen. Eine Übertragbarkeit auf Enten, Gänse und Puten sowie Ziervögel ist sicherlich ebenfalls mit Unter-, aber teilweise auch Überschätzungen verbunden.

4.1.4 Nettoenergielaktation (Milchrinder), NEL

Über fast ein Jahrhundert wurden FM für Wiederkäuer im Stärkeeinheiten-System energetisch bewertet (Fettansatz ausgewachsener Ochsen war das entscheidende Bewertungskriterium von Kellner), das 1986 aufgegeben und durch die NEL ersetzt wurde.

Die Bewertung eines Futters hinsichtlich seiner Fähigkeit, „Milchenergie zu liefern“, ist wissenschaftlich besonders anspruchsvoll und gleichzeitig von höchster Praxisrelevanz. Zur Entwicklung dieses Bewertungssystems bedurfte es umfangreicher tierexperimenteller Arbeiten. Eine Bewer-

tung des Futters auf der Stufe der ME zur Vorhersage seines „Milchbildungsvermögens“ ist wegen der Variation der Verwertung der ME für die Milchbildung nicht exakt genug. Die Verwertung (k-Wert) der ME für die Milchbildung beträgt zwar im Mittel ca. 60 %, sie variiert aber in Abhängigkeit von der Umsetzbarkeit der Energie (q):

$$q = \frac{ME}{GE} \times 100$$

Die Umsetzbarkeit der Energie (q) ist futtermittelabhängig und beträgt beispielsweise für schlechtes Heu 47, für gutes Heu 57 und für Getreideprodukte 75. Für jede Einheit, die q höher oder niedriger als 57 liegt, nimmt der Anteil NEL, der aus der ME zur Verfügung steht, um 0,4 % – daher der Wert 0,004 in der Formel – zu oder ab. Die Veränderung des k-Wertes (Teilwirkungsgrades) bei Variation des q-Wertes (= Umsetzbarkeit) erklärt sich u. a. mit höheren thermischen Verlusten, mit einem unterschiedlichen Aufwand für die Einverleibung des Futters (Kauen und Wiederkauen) und einem weiteren C_2/C_3 -Verhältnis bei rückläufigen q-Werten. Die für die NEL-Berechnung angewandte Formel lautet wie folgt:

$$NEL \text{ (MJ/kg)} = 0,6 [1 + 0,004 (q - 57)] ME \text{ (MJ/kg)}$$

Für die Anwendung dieser Formel ist ein Vorgehen in folgenden Schritten zu empfehlen:

1. Berechnung der GE (Gleichung 1)
2. Berechnung der ME (Gleichung 2)
3. Berechnung von q (Gleichung 3)
4. Berechnung von k_l (Gleichung 4)
5. Berechnung von NEL (Gleichung 5) [7]

4.2 Formeln zur Schätzung des Energiegehaltes in Einzel- bzw. Misch-FM

Im Unterschied zu den bisher vorgestellten Energiebewertungen auf der Basis tierexperimenteller Untersuchungen mit **Kenntnis der Verdaulichkeit** werden nachfolgend Formeln zur **Schätzung** des Energiegehaltes in einem Futter angegeben, die auf der Basis der Rohnährstoffgehalte bzw. Stärke- und Zuckergehalte entwickelt wurden, **ohne** dass hierbei die Verdaulichkeit des Futters bzw. seiner Nährstoffe bestimmt werden muss. Möglich war die Entwicklung entsprechender Schätzsysteme nur auf der Basis umfänglicher Daten aus tierexperimentellen Untersuchungen; mittels statistischer Prozeduren konnten geeignete Vorhersagemodelle für die so abgeleiteten Energiegehalte der FM generiert werden. Diese ersetzen nicht die unter Kap. 4.1 beschriebenen Systeme, sind aber für die Anwendung der Energiebewertung in der Praxis alternativlos. Der durch Verzicht auf entsprechende Verdauungsversuche sehr viel geringere Aufwand (hier nur Analysenkosten für das Futter) erklärt die weitverbreitete Nutzung dieser Schätzformeln in der Fütterungspraxis bzw. Futtermittelkontrolle (z. T. rechtsverbindliche Schätzformeln zur Bewertung von MF!). Die bestmögliche Vorhersage des Energiegehaltes im Futter erfordert aber nach Tierart und Futtertyp unterschiedliche Schätzformeln. 🌱

So weit nicht anders vermerkt, sind in die Formeln die Rohnährstoffe in g/kg Futter (uS) einzusetzen. Der organische Rest (oR) ist definiert als org. Substanz abzüglich R_p , R_{fe} , Stärke, Zucker und R_{fa} (bzw. ADF). Die Rohfettbestim-

- [7] Gleichung 1: $GE \text{ (MJ/kg)} = 0,0239 R_p + 0,0398 R_{fe} + 0,0201 R_{fa} + 0,0175 N_{fe}$
 Gleichung 2: $ME \text{ (MJ/kg)} = 0,0147 vR_p + 0,0312 vR_{fe} + 0,0136 vR_{fa} + 0,0147 vN_{fe} + 0,00234 R_p$
 Gleichung 3: $q \text{ („Umsetzbarkeit“)} = \frac{ME}{GE} \times 100$
 Gleichung 4: $k_l \text{ („Teilwirkungsgrad“)} = 0,6 [1 + 0,004 (q - 57)]$
 Gleichung 5: $NEL \text{ (MJ/kg)} = ME \text{ (MJ/kg)} \times k_l$



mung erfordert vor Petroletherextraktion einen HCl-Aufschluss. Die Zuckerbestimmung erfasst Lactose (falls vorhanden) und sonstige Zucker nach HCl-Inversion, berechnet als Saccharose. Stärkebestimmung: polarimetrisch.

Einzel- und Misch-FM für Pfd

Hier kann der Gehalt an ME im Futter nach folgender Gleichung geschätzt werden:

$$\text{ME (MJ/kg TS)} = -3,54 + [0,0129 \text{ Rp} + 0,0420 \text{ Rfe} - 0,0019 \text{ Rfa} + 0,0185 \text{ Nfe}]$$

Voraussetzung für die Gültigkeit dieser Gleichung ist, dass in der **Ration**, in der die so bewerteten FM eingesetzt werden sollen, der Gehalt an Rfa 350 g/kg bzw. der Gehalt an Rfe 80 g/kg TS nicht überschreitet.

Einzel- und Misch-FM für Schw Corn Cob Mix und Lieschkolbenschrot

$$\text{ME (MJ/kg TS)} = 16,35 - 0,0296 \text{ Rfa (in g/kg TS)}$$

Mischfuttermittel

$$\text{ME}_{\text{Schw}} \text{ (MJ/kg TS)} = 0,021503 \text{ Rp} + 0,032497 \text{ Rfe} + 0,016309 \text{ Stärke} + 0,014701 \text{ oR} - 0,021071 \text{ Rfa}$$

Hinweis:

$$\text{oR (organischer Rest)} = \text{oS} - (\text{Rp} + \text{Rfe} + \text{Stärke} + \text{Rfa})$$

Misch-FM für Gefl

Mit der Analyse der vier entscheidenden Nährstoffe im Mischfutter kann der ME-Wert sicher (und kostengünstig) vorhergesagt werden:

$$\text{ME}_{\text{Nkor}} \text{ (MJ/kg)} = 0,01551 \text{ Rp} + 0,03431 \text{ Rfe} + 0,01669 \text{ Stärke} + 0,01301 \text{ Zucker}$$

Einzel- und Misch-FM für Wdk

Grundfutter/TMR

Regressionsgleichungen zur Schätzung der ME (MJ/kg TS) aus Rohnährstoffgehalten (g/kg TS):

Frischgras*

$$\text{1. Schnitt} \quad 14,06 - 0,01370 \text{ Rfa} + 0,00483 \text{ Rp} - 0,0098 \text{ Ra}$$

$$\text{Folge-schnitte} \quad 12,47 - 0,00686 \text{ Rfa} + 0,00388 \text{ Rp} - 0,01335 \text{ Ra}$$

Grassilage*

$$\text{1. Schnitt} \quad 13,99 - 0,01193 \text{ Rfa} + 0,00393 \text{ Rp} - 0,01177 \text{ Ra}$$

$$\text{Folge-schnitte} \quad 12,91 - 0,01003 \text{ Rfa} + 0,00689 \text{ Rp} - 0,01553 \text{ Ra}$$

Heu*

$$\text{1. Schnitt} \quad 13,69 - 0,01624 \text{ Rfa} + 0,00693 \text{ Rp} - 0,0067 \text{ Ra}$$

$$\text{Folge-schnitte} \quad 14,05 - 0,01784 \text{ Rfa}$$

$$\text{Maissilage*} \quad 14,03 - 0,01386 \text{ Rfa} - 0,01018 \text{ Ra}$$

$$\text{TMR**} \quad 6,0756 + 0,19123 \text{ g Rfe} + 0,02459 \text{ g Rp} - 0,000038 \text{ g Rfa}^2 - 0,002139 \text{ g Rfe}^2 - 0,000060 \text{ g Rp}^2$$

* GfE (1998), **GfE (2004)

Die Schätzung der ME in Gras- und Maisprodukten ist auch unter Berücksichtigung anderer Parameter (Enzymlösliche org. Substanz – EloS – sowie Gasbildung – Gb) möglich, **ohne dass dabei eine weitere Differenzierung nach Reifestadium und Konservierungsart** nötig wäre.

Grasprodukte (Frischgras/Heu/Grassilage)

$$\text{ME (MJ/kg TS)} = 5,51 + 0,00828 \text{ EloS} - 0,00511 \text{ Ra} + 0,002507 \text{ Rfe} - 0,00392 \text{ org. ADF}$$

oder

$$\text{ME (MJ/kg TS)} = 7,81 + 0,07559 \text{ Gb} - 0,00384 \text{ Ra} + 0,00565 \text{ Rp} + 0,01898 \text{ Rfe} - 0,00831 \text{ org. ADF}$$

Maisprodukte (im Wesentlichen Maissilage)

$$\text{ME (MJ/kg TS)} = 7,15 + 0,00580 \text{ EloS} - 0,00283 \text{ org. NDF} + 0,03522 \text{ Rfe}$$

Die Untersuchung der Grund-FM für Rinder mittels NIR-Verfahren (s. Kap. I.2.2.2) schließt vielfach auch eine Energiebewertung mit Algorithmen ein, die an nasschemischen Untersuchungen „geeicht“ sind; auch so ist eine kostengünstige und äußerst zeitsparende Futterbewertung möglich.

Mischfuttermittel für Rd, Schf und Zg

Bestimmung mithilfe des Gasbildungstestes (Hohenheimer Futterwerttest). Das Prinzip dieser Methode beruht auf der Messung der Gasbildung (CO₂ + CH₄) einer Futterprobe in 24 h, nachdem zu dieser in einem Inkubator bei 39 °C hinzugegeben wurden: Pansensaft von standardisiert gefütterten Hammeln, eine Mengen- und Spurenelement- sowie eine Puffer- und Reduktionslösung. Als Blindwert dient Heu, Heu/Stärke bzw. ein Kraftfutterstandard. Aus der Gasbildung (Gb) in ml je 200 mg TS in 24 h und Parametern der MF-Zusammensetzung (g/kg TS) kann der ME-Gehalt geschätzt werden.

Schätzung des Gehaltes an ME in Mischfuttermittel:

ME (MJ/kg TS)	= 7,17		
- Rohasche	(g/kg TS)		x 0,01171
+ Rohprotein	(")		x 0,00712
+ Rohfett	(")		x 0,01657
+ Stärke	(")		x 0,00200
- ADF _{org.}	(")		x 0,00202
+ Gasbildung	(ml/200 mg TS)		x 0,06463

Ist eine Angabe in NEL angestrebt/erforderlich, so kann aus der geschätzten ME mit nachfolgend genannter Formel die NEL abgeleitet werden. Um q zu berechnen, benötigt man allerdings die GE (und dafür auch die Rfa [7]).

NEL (MJ/kg TS) = 0,6 [1 + 0,004 (q - 57) x ME]
s. [7]

Schätzung der ME aus Nährstoffgehalten, NDF_{org.} und Enzymlöslichkeit (ELOS) der oS:

ME (MJ/kg TS)	= 9,67		
- Rohasche	(g/kg TS)		x 0,01698
+ Rohprotein	(")		x 0,00340
+ Rohfett	(")		x 0,01126
+ Stärke	(")		x 0,00123
- NDF _{org.}	(")		x 0,00097
+ ELOS	(")		x 0,00360

Einzel- und Misch-FM für Flfr Alleinfutter

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Zusammensetzung von AF für Fleischfresser gibt es bei unbekannter Verdaulichkeit keine befriedigende Schätzformel mit Faktoren für die Rohnährstoffe zur Berechnung des ME-Gehalts. Ersatzweise kann der ME-Gehalt wie folgt in 4 Schritten abgeleitet werden:

1. Berechnung des GE-Gehaltes:

GE (MJ/100 g) = 0,02385 Rp + 0,03934 Rfe + 0,01717 Nfe + 0,01717 Rfa

2. Schätzung der sV der Bruttoenergie anhand des Rfa-Gehaltes in der TS:

Hund: sV GE (%) = 91,2 - 1,43 Rfa (% TS)
Katze: sV GE (%) = 87,9 - 0,88 Rfa (% TS)

3. Berechnung der DE:

DE = GE x sV_{GE} (%) / 100

4. Berechnung der ME (Proteinkorrektur):

Hund:
ME (MJ/100 g) = DE - 0,00434 MJ x Rp (g/100 g)
Katze:
ME (MJ/100 g) = DE - 0,00310 MJ x Rp (g/100 g)



Nicht industriell bearbeitete Einzel-FM, Milchersatz, Sondenkost

Für diese Gruppe von FM wird auf der Basis der Gehalte an Protein, Fett und NfE (Kohlenhydraten) die ME geschätzt; auf den ersten Blick überraschend ist die hier gleiche Bewertung von Protein und Kohlenhydraten, was sich aber nur kalkulatorisch aufgrund einer unterschiedlichen Verdaulichkeit ergibt.

Hund:

$$ME \text{ (MJ/kg)} = 0,01674 \text{ Rp} + 0,03767 \text{ Rfe} + 0,1674 \text{ NfE}$$

Katze:

$$ME \text{ (MJ/kg)} = 0,01674 \text{ Rp} + 0,03557 \text{ Rfe} + 0,1674 \text{ NfE}$$

Diätfuttermittel

Für diese Produktgruppe gibt es „offizielle“ Schätzformeln (Anlage 4 der FM-VO, Stand Dezember 2013), obwohl gerade hier die Verdaulichkeit noch stärker variieren dürfte als in üb-

lichen MF. Die im Vergleich zu den nicht industriell bearbeiteten Einzel-FM, zu Milchersatz und Sondenkost (s. o.) niedrigeren Energiegehalte für alle Nährstoff-Fractionen sind nur bedingt, d. h. kaum nachvollziehbar bzw. verständlich, evtl. aber der bei Erkrankungen geringeren Verdaulichkeit und Verwertung geschuldet.

Schätzformeln nach Anl. 4 FM-VO für **Diät-FM für Hunde** (unabhängig vom Feuchtegehalt) sowie

für Katzen mit < 14 % Feuchtigkeit:

$$ME \text{ (MJ/kg)} = 0,01464 \text{ Rp} + 0,03556 \text{ Rfe} + 0,01464 \text{ NfE}$$

für Katzen mit > 14 % Feuchtigkeit:

$$ME \text{ (MJ/kg)} = 0,01632 \text{ Rp} + 0,03222 \text{ Rfe} + 0,01255 \text{ NfE} - 0,2092$$

5 Protein und Proteinbewertung

Sowohl für den Erhaltungsstoffwechsel als auch für die Bildung von Eiweißen, die in Leistungsprodukten (KM-Zuwachs, Milch, Eier, Haare, Gefieder) enthalten sind, werden im Organismus Aminosäuren (AS) in einer bestimmten Menge und in einem bestimmten Verhältnis zueinander benötigt. Demnach kann die Proteinversorgung nicht allein durch den **Rp-Gehalt** des Futters charakterisiert werden. Bezüglich der Bereitstellung von AS mit dem Futter ist ferner zu beachten, dass nichtessenzielle AS im Stoffwechsel gebildet werden können, während

essenzielle AS in der gesamten erforderlichen Menge bei Monogastriern und Geflügel mit dem Futter zugeführt werden müssen. Als semiessenzielle AS werden solche AS bezeichnet, die zwar aus anderen AS gebildet werden können, unter bestimmten Bedingungen (Verwendung synthetischer Diäten; höchste Leistungen) mitunter aber **nicht** in ausreichendem Umfang. Diejenige essenzielle AS, die – im Vergleich zum Bedarf – im Futter in geringster Konzentration vorliegt, wird als **erstlimitierende Aminosäure** bezeichnet. Eine Übersicht der AS gibt **Tabelle I.5.1**.

Tab. I.5.1: Gruppierung der Aminosäuren nach ihrer Essenzialität

Essenzielle AS	Semiessenzielle AS	Nichtessenzielle AS
Histidin [His] ¹	Arginin [Arg] ¹	Alanin [Ala]
Isoleucin [Ile]	Cystein [Cys] ²	Asparagin [Asn]
Leucin [Leu]	Glutamin [Gln]	Asparaginsäure [Asp]
Lysin [Lys]	Glycin [Gly] ³	Glutaminsäure [Glu]
Methionin [Met]	Tyrosin [Tyr] ⁴	Prolin [Pro] ⁵
Phenylalanin [Phe]		Serin [Ser]
Threonin [Thr]		
Tryptophan [Trp]		
Valin [Val]		
[Taurin] ⁶		

¹ Nicht in ausreichendem Maße synthetisierbar durch Geflügel, wachsende Schweine und Fleischfresser.
² Bildung aus Met möglich.
³ Für wachsendes Geflügel essenziell.
⁴ Bildung aus Phe möglich.
⁵ Für intensiv wachsende Küken essenziell.
⁶ Ist eine für Katzen essenzielle β -Aminosulfonsäure, die nach EG-VO 1831/2003 unter den Vitaminen u. ä. Stoffen gelistet ist.



Die Qualität des Proteins im Futter hängt insbesondere von dessen AS-Zusammensetzung ab und wird entscheidend vom Gehalt an essenziellen AS bestimmt. Darüber hinaus sind für den Wert des Proteins die AS-Verdaulichkeit sowie die intermediäre Verwertung der absorbierten AS von erheblicher Bedeutung. So kann beispielsweise Met nach Absorption bei Milchkühen direkt für die Milchproteinbildung genutzt werden, evtl. aber auch nur als Methylgruppen-Quelle dienen oder in die Gluconeogenese einmünden.

Insgesamt wurde die Bewertung des Rp im Futter in den letzten Jahren weiter entwickelt und sehr verfeinert. Fortschritte in diesem Bereich beruhen auf der Erkenntnis, dass bei allen Spezies die erforderlichen AS für die jeweiligen Leistungen nahezu ausschließlich aus der Proteinverdauung, d. h. der AS-Absorption im Dünndarm stammen. Daher geht es um das Potenzial der FM, dünndarmverdauliches Protein (pcvRp) bzw. AS bereitzustellen. Das Angebot an pcvRp (oder auch nRp) ist mit der scheinbaren Rp-Verdaulichkeit über den **gesamten** Verdauungstrakt eben **nicht** zutreffend zu beschreiben, da im Dickdarm zwar Rp verdaut wird (= NH_3 -Absorption), aber keine AS absorbiert werden. Günstiger ist demnach eine Präzisierung in der Bewertung des Rp in FM nach folgendem Muster:

Monogastrier

- Nutzung tierexperimenteller Daten zur pc Verdaulichkeit (Schw und Gefl)
- Chemisch analytische Ableitung des vRp im Dünndarm (Pfd)

Wdk

- Beschreibung des nRp im Dünndarm, das hauptsächlich aus den Fraktionen „Mikrobenprotein“ und UDP besteht

5.1 Proteinbewertung für Monogastrier

Der Wert des Proteins im Futter wird durch die aufgenommene Proteinmenge, die Verdaulichkeit und durch das AS-Muster (g AS/100 g Rp) bestimmt. Intermediäre Verfügbarkeit und Verhältnis der essenziellen AS zueinander werden durch die **Biologische Wertigkeit (BW)** des Proteins charakterisiert. Die Unterversorgung mit einer essenziellen AS ist daher eben nicht ohne weiteres durch eine Erhöhung des Proteinangebots auszugleichen. Auch der Überschuss an einer oder mehreren essenziellen AS (Met, Lys etc.) kann sich auf den Wert von Nahrungsproteinen negativ auswirken (AS-Imbalanz). Das AS-Muster der verschiedenen FM hat für die MF-Rezeptur erhebliche Bedeutung. Prinzipiell kann durch geeignete Kombinationen von unterschiedlichen FM das erforderliche AS-Muster erreicht werden und/oder durch Zusatz einzelner AS ein Defizit an bestimmten AS (z. B. Lys, Met) ausgeglichen werden (**Tab. I.5.2**).

Die parallele Verwendung verschiedener proteinreicher FM erfolgt nicht zuletzt unter dem Aspekt ihrer Ergänzungswirkung (z. B. Sojaextraktionsschrot: rel. Lys-reich; Rapsextraktionsschrot: rel. reich an S-haltigen AS). Aus ökonomischen (bei hohen Preisen für proteinreiche FM) und diätetischen Gründen (N-Überschuss = Leber-, Stoffwechsel- und Nierenbelastung) sowie zum Schutz der Umwelt (Minimierung des N-Eintrags über Exkremente) verfolgt man bei der Rezeptur von MF für Nutztiere allgemein das Ziel, den AS-Bedarf bei möglichst niedrigem Rp-Gehalt der Ration zu decken (z. B. RAM-Fütterung = **Rohprotein Angepasste Mast**).

Tab. I.5.2: **AS-Muster verschiedener FM (g AS/100 g Rp) im Vergleich zu Gerste und dem Körperprotein von Schweinen**

besonders Lys-reiches AS-Muster	
FM	g Lys/100 g Rp
Blutmehl	8,97
Fischmehl	8,04
Kartoffeleiweiß	7,90
Molkenpulver	7,42
Körperprotein [Schw]	7,20
Bierhefe	6,76
Sojaextraktionsschrot	6,26
Gerste	3,63

besonders Trp-reiches AS-Muster	
FM	g Trp/100 g Rp
Blutmehl	1,76
DDGS	1,71
Molkenpulver	1,48
Weizenkleie	1,41
Kartoffeleiweiß	1,39
Sojaextraktionsschrot	1,37
Gerste	1,17
Körperprotein [Schw]	1,10

besonders Cys-reiches AS-Muster	
FM	g Cys/100 g Rp
Federmehl	5,09
Geflügelmehl	4,01
Rapsextraktionsschrot	2,71
Volleipulver	2,59
Mais	2,29
Gerste	2,28
Kartoffeleiweiß	1,80
Körperprotein [Schw]	1,30

besonders Met-reiches AS-Muster	
FM	g Met/100 g Rp
Fischmehl	2,81
Magermilchpulver	2,49
Maiskleber	2,37
Sonnenblumenextraktionsschrot	2,29
Kartoffeleiweiß	2,27
Rapsextraktionsschrot	2,02
Körperprotein [Schw]	1,90
Gerste	1,70

besonders Thr-reiches AS-Muster	
FM	g Thr/100 g Rp
Molkenpulver	5,94
Kartoffeleiweiß	5,83
Bierhefe	4,77
Geflügelmehl	4,47
Fischmehl	4,43
Rapsextraktionsschrot	4,42
Körperprotein [Schw]	3,80
Gerste	3,42

besonders Arg-reiches AS-Muster	
FM	g Arg/100 g Rp
Palmextraktionsschrot	12,7
Sesam	11,8
Ackerbohne	9,0
Leinextraktionsschrot	9,0
Erbse	8,9
Sonnenblumensaat	8,2
Sojabohne	7,4
Körperprotein [Schw]	6,2
Gerste	5,0



Schließlich erlaubt das AS-Muster eines MF Rückschlüsse auf Art und Qualität der verwendeten Proteinträger (z. B. Unterschiede im Lys- und Hydroxyprolinegehalt zwischen Fleisch- und Bindegewebeisweiß).

5.1.1 Proteinbewertung durch die N-Bilanz

N-Bilanz = N-Aufnahme – (Kot-N + Harn-N + Haare/Haut-N)

Der N-Verlust über Haar- und Hautabschilferungen wird dabei oft außer Acht gelassen.

Biologische Wertigkeit (BW) = Verwertung des resorbierten Proteins = retinierter N / resorbierter N

Die BW [8] gibt an, wie viel Prozent des resorbierten, also wahr verdauten Nahrungs-N in Körper-N angesetzt wird (Tab. I.5.3). Um die BW zu bestimmen, sind daher Versuche an **wachsenden** Tieren (in der Regel Ratten) im Bereich minimaler Proteinversorgung (10% i. d. Ration) erforderlich. Die BW erlaubt nur eine relative Einstufung der Nahrungsproteine. Für die Konzeption von MF und Rationen wird die BW nicht genutzt, weil diese bei Verwendung verschiedener Proteinträger nicht verrechenbar ist (kann nicht einfach addiert werden!). [8]

! Nahrungsproteine, deren resorbierte AS ein ! Muster aufweisen, das weitgehend der Zusammensetzung der zu synthetisierenden Proteine entspricht, haben eine hohe BW und umgekehrt („Die beste Nahrung für den Fisch ist immer noch ein Fisch.“). 🌱

Tab. I.5.3: **Biologische Wertigkeit des Proteins von Einzel-FM (Ratte, Schw)**

Futtermittel	BW (%)	
	Ratte	Schw
Magermilchpulver	84 ± 5	80–95
Fischmehl	72 ± 10	74 ± 7
Futterhefen	67–80	75
Sojaextraktionsschrot	70–75	67–70
Blutmehl	25	52–77
Süßlupinen	49	68
Futtererbsen	57	68
BWS-Extraktionsschrot*	80	61
Rapsextraktionsschrot	52–69	–
Ackerbohnen	43	57
Gerste	68	50–60
Mais	60–68	54
Weizen	61–74	44
Hafer	75	42
Weizenkleber	40	–

* Baumwollsaatextraktionsschrot

$$[8] \quad BW = \frac{N\text{-Bilanz} + \text{endog. Kot-N} + \text{endog. Harn-N}}{N\text{-Aufnahme} - [\text{Kot-N} - \text{endog. Kot-N}]} \times 100 = \frac{\text{retinierter N}}{\text{resorbierter N}} \times 100$$

5.1.2 Proteinbewertung anhand der praecaecalen Verdaulichkeit von Protein und AS

Basierend auf der Erkenntnis, dass nur pc verdaute(s) Protein(e) bzw. AS einer Verwertung durch das Tier zugänglich ist bzw. sind, ist dieser Parameter (insbesondere in der Fütterung von Schw und Gefl, mittlerweile aber auch beim Pfd) die Grundlage der Bewertung von FM als Proteinquelle geworden (Tab. I.5.4). Dennoch ist hier zu betonen, dass auch Wdk nur von den im Dünndarm absorbierten AS leben und Protein bilden können, nur sind hier die Umsetzungen im Pansen zwischengeschaltet, so dass für Wdk eine andere Bewertung erforderlich ist.

Die pc Verdaulichkeit von Rp und AS zeigt eine teils erhebliche Variation (Einflüsse der Proteinstruktur, sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe), nicht zuletzt auch in Abhängigkeit von der Bearbeitung des FM (Zerkleinerung bei Leguminosen wie Soja-/Ackerbohnen und Erbsen; thermische

Verfahren wie z. B. das Toasten von Sojabohnen zur Inaktivierung antinutritiver Inhaltsstoffe; Temperatur bei der Trocknung). Die im Futter enthaltenen AS (insbesondere Lys) können bei der Herstellung (Einwirkung von Hitze bei der Trocknung) oder längerer Lagerung von FM, obwohl im Proteinverband befindlich, mit reduzierenden Zuckern reagieren (**Maillard-Kondensation**). Produkte der Maillard-Reaktion sind enzymatisch nicht spaltbar und daher für den Monogastrier nicht verfügbar. Bei höheren Temperaturen entstehen des Weiteren evtl. enzymresistente **intramolekulare Bindungen freier Amino- und Hydroxylgruppen** (wieder bevorzugt des Lys) mit Carboxyl- und Seitengruppen des Proteinverbands, eine Reaktion, die von der Anwesenheit von Kohlenhydraten **unabhängig** ist. Außerdem sind Kondensationen von freien AS mit Abbauprodukten oxidierteter Fettsäuren während der Lagerung beobachtet worden. Die chemische Bestimmung des Gesamtlysingehalts erfasst derartige Proteinschädigungen kaum.

Tab. I.5.4: Praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein und Aminosäuren bei Schweinen

Futtermittel	Praecaecale Verdaulichkeit (%) ¹					
	Rp	Lys	Met	Cys	Trp	Thr
Gerste	73	73	82	79	76	76
Weizen	90	88	88	92	88	90
Weizenkleie	72	71	77	68	–	66
Triticale	84	84	88	87	77	81
Mais	82	79	85	86	83	82
Sojaextr.schrot	82	87	88	79	86	80
Rapsextr.schrot	71	73	82	72	68	69
Sbl.extr.schrot	77	77	86	81	–	77
Ackerbohnen	77	82	61	68	71	75
Erbsen	79	84	73	66	70	75
Fischmehl	83	87	88	59	79	88

¹ Werte zu standardisierten pcVQ nach GfE (2005)



Bei Equiden und anderen Dickdarmverdauern (in gewissem Umfang auch beim Schwein) findet im Dickdarm ein mikrobieller Proteinaufbau statt. Die Verwertung dieses Proteins ist beim Pferd vernachlässigbar gering, bei Spezies mit Caecotrophie oder Koprophagie aber bedeutsamer. Für die Höhe der bakteriellen Proteinsynthese im Dickdarm sind ähnliche Faktoren wie in den Vormägen der Wiederkäuer maßgeblich. Praecaecal nicht verdautes Protein (bzw. nicht verdaute AS) gelangt in den Dickdarm und unterliegt dort dem mikrobiellen Abbau. Dabei entsteht Ammoniak, der entweder absorbiert wird ($\text{NH}_3 \rightarrow$ Leberbelastung) oder aber bakteriell, d. h. in den Mikroorganismen fixiert wird. Beide Vorgänge sind für die Diätetik von Interesse (tiefe pH-Werte im Chymus mindern die NH_3 -Absorption; bakteriell fermentierbare Substanz fördert die N-Fixierung). Schließlich ist ein gewisser Teil des Proteins aus dem Futter überhaupt nicht verdaulich (weder durch körpereigene noch durch mikrobielle Proteasen abbaubar) und wird mit dem Kot ausgeschieden.

Das für Schw und Gefl etablierte System der Bewertung des Rp in FM in Form des pcvRp bzw. der pcvAS ist allerdings mit einem Nachteil verbunden, es erfordert tierexperimentelle Untersuchungen, die dann aber streng genommen nur für dieses eine FM in seiner aktuellen Qualität (Gewinnung/Bearbeitung/Interaktion) gelten. Eine Vorhersage/Schätzung auf der Basis reiner Laboruntersuchungen ist bislang noch nicht möglich.

Auch beim Pfd wurde jüngst die Proteinbewertung des Futters vom vRp auf das pc verdauliche Protein (pcvRp) umgestellt. Im Unterschied zu Schw und Gefl gibt es bisher jedoch keine entsprechend umfangreichen experimentellen Studien, in denen an fistulierten Tieren bzw. in Schlachtversuchen die Rp- oder AS-Verdaulichkeit im praecaecalen Bereich bestimmt wurde. Die Angaben zum pcvRp oder zu pcvAS in FM für Pfd wurden ganz anders, d. h. auf einem chemisch-analytischen Weg abgeleitet: Aus diversen Untersuchungen an FM für Wdk ist bekannt, dass das fasergebundene Rp durch kör-

pereigene Enzyme im Dünndarm so gut wie **nicht** abgebaut und verdaut wird bzw. nur das nicht-fasergebundene Rp als potenziell dünn-darmverdaulich anzusehen ist. Nach dem CNCP-System entspricht die Fraktion des fasergebundenen Rp dem NDF-unlöslichen Rp. Also gilt:

$$\text{NDS-Rp} = \text{Rp} - \text{NDI-Rp}$$

(S steht für „soluble“, löslich; I für „insoluble“, unlöslich in Neutraler-Detergentien-Lösung)

Angaben zum NDI-Rp liegen zu FM für Wdk in großem Umfang vor; viele dieser FM (Grünfütter und -konserven, Getreide und -nebenprodukte) werden auch beim Pferd verwendet. Aus einigen grundlegenden Arbeiten zur pc Verdaulichkeit von NDS-Rp ergab sich eine vergleichsweise konstante pc Verdaulichkeit von ca. 90 %. Unter dieser Prämisse gilt:

$$\text{pcvRp} = 0,9 \times \text{NDS-Rp}$$

Somit können zu allen FM, für die Werte zum NDI-Rp vorliegen, auch entsprechende Angaben zum pcvRp gemacht werden.

Aus weiteren futtermittelkundlichen Arbeiten ist ferner bekannt, dass das AS-Muster des NDS-Rp und des NDI-Rp sich nicht wesentlich unterscheiden, sodass dann zur Kalkulation der pcvAS die pc Verdaulichkeit des Rp und das AS-Muster des Futter-Rp genutzt werden. Nur für freie AS (in FM oder als isolierte Zulage) wird eine pc Verdaulichkeit von generell 100 % unterstellt.

$$\text{pcvAS} = \text{pcV des Rp (\%)} \times \text{AS-Gehalt im Futter-Rp}$$

Für die Bewertung des NDS-Rp von/in Silagen ist noch eine „Korrektur“ erforderlich: Der Ammoniak-N, der im Futter-Rp erfasst wird, ist bei der Kalkulation des NDS-Rp in Abzug zu bringen (es ist eben kein Protein, d. h. aus AS bestehend).

5.2 Proteinbewertung für Wdk

Das Rp im Futter kann zunächst einmal laboranalytisch differenziert werden in die Fraktionen Reinprotein und NPN, die – im Unterschied zu Monogastriern – beide zur N-Versorgung der Pansenflora beitragen können. Gerade in Grünfütter-Silagen stammt ein erheblicher Anteil des Rp aber nicht aus Protein, sondern liegt – bedingt durch proteolytische Prozesse während der Silierung – als Ammoniak vor, wie in **Tabelle I.5.5** deutlich wird.

Tab. I.5.5: **Rp-, Reinprotein- und NPN-Gehalte in Grünfutter und -konserven**

Angaben in g/kg TS	Gras	Heu	Grassilage
Rp-Gehalt (Gesamt)	225	139	178
Reinprotein	185	109	82
Nicht-Protein-N (NPN)	40	30	96

Besondere Erwähnung verdient hier, dass nur die Reinprotein-Fraktion überhaupt zur Futter-AS-Anflutung am Duodenum beitragen kann, nicht aber die NPN-Fraktion (kann allenfalls in Form von mikrobiell gebildeten AS einen Beitrag leisten). Ähnlich verhält es sich, wenn dem

Futter (z. B. einer TMR) NPN-Verbindungen zugesetzt werden.

Bei einer Leistung von 10 l Milch/d können – je nach Abbaubarkeit des Futter-Rp (z. B. bei 75 %) – max. 25 % des Rp durch NPN ersetzt werden.

5.2.1 Ruminale Abbaubarkeit

Ohne die sehr komplexen Vorgänge im N-Stoffwechsel des Pansens schon behandeln zu müssen, ist leicht einsehbar, dass das Futter-Rp im Pansen mikrobiellen Abbau-Prozessen unterliegt, die sich in Umfang und Geschwindigkeit unterscheiden. Diese ruminale Abbaubarkeit wird dabei entweder *in vivo* (duodenal fistulierte Tiere) oder *in situ* (Nylon-bag Technik → FM wird *in sacco* dem ruminalen Abbau ausgesetzt) bestimmt. Hierbei ergeben sich – wie die Übersicht in **Tabelle I.5.6** zeigt – in der Abbaubarkeit unterschiedliche Kategorien.

Die Abbaurate der Futterproteine kann durch sekundäre Inhaltsstoffe (z. B. Tannine in Ackerbohnen und Erbsen), Hitzebehandlung (vgl. Frischgras und Trockengrün in obiger Tabelle; verschiedene technische Verfahren) oder eine chemische Behandlung des Proteins (mit 0,1–0,3 % Formaldehyd) deutlich reduziert werden (protected protein). Der Schutz von AS vor einem ruminalen Abbau erfolgt heute v. a. durch ein Coating (Polymer+Stearinsäure).

Tab. I.5.6: **Ruminale Abbaubarkeit des Rohproteins diverser Einzel-FM beim Wiederkäuer**

Ruminale Abbaubarkeit des Futter-Rp (in %)		
65 (55–75)	75 (65–85)	85 (75–95)
Trockengrün Sojaextraktionsschrot Baumwollsaatschrot/-expeller Trockenschnitzel Pressschnitzel Biertreber Tr. Schlempe, DDGS Kokosschrot Palmkernschrot Mais (Korn/Kleber) Leinschrot/-kuchen Maiskleberfutter Rapsschrot/-kuchen	Kartoffel Luzernesilage Futtermübe Maissilage Kleesilage Erdnussschrot/-expeller Hefe Maiskeimschrot Sonnenblumenschrot/-expeller Zitrustrester	Frischgras Rotklee-Gras-Gemenge Zuckerrübenblatt/-silage Grassilage Weizen-/Gerste-GPS Wiesenheu Ackerbohnen Erbsen Gerste (Korn) Hafer (Korn) Roggen (Korn) Weizen (Korn) Sojaschalen



Im Pansen nicht abgebautes Futter-Rp wird als Durchflussprotein (oder auch UDP = undegraded/undegradable protein) bezeichnet, das als Teil des eigentlichen Futter-Rp am Duodenum anflutet. Das dem ruminalen Abbau entgangene Futter-Rp ist allerdings auch durch körpereigene Enzyme im Dünndarm nicht so effizient verdauulich, was bei der Rp-Versorgung des Tieres (und nicht nur der Flora!) zu berücksichtigen ist. Die Intention, allein über einen hohen UDP-Anteil die nRp-Anflutung am Duodenum zu fördern, ist somit nicht ohne Risiken, da das UDP, das dem mikrobiellen Abbau im Pansen entging, auch im Dünndarm nicht so effizient durch körpereigene Proteasen abgebaut wird. Somit muss eine höhere UDP-Menge am Duodenum nicht zwangsläufig die Proteinversorgung der Hochleistungskuh verbessern. Andererseits kann über die Auswahl bestimmter FM, eine besondere FM-Bearbeitung/-Behandlung oder auch „geschütztes“ Protein die UDP-Anflutung am Duodenum und damit die Rp/AS-Versorgung sehr günstig beeinflusst werden. Es macht aber eben einen Unterschied, ob UDP aus Sojaschrot oder einem überständigen Heu stammt.

5.2.2 Ruminaler N-Stoffwechsel

Im Pansen wird aber nicht nur das Futter-Rp zu erheblichem Anteil **abgebaut**, sondern auch mikrobielles Protein **synthetisiert**. Das am Duodenum anflutende Protein (= nRp) stammt somit nur zu einem Teil (im Allgemeinen < 30 %) aus nicht in den Vormägen abgebauten Futter-Rp, zum größeren Teil (≥ 70 %) aus dem im Pansen gebildeten mikrobiellen Protein.

Die Menge des vom Tier nutzbaren mikrobiellen Proteins hängt entscheidend von der Bereitstellung an fermentierbaren Kohlenhydraten (C-Gerüst) und – damit verbunden – dem Gehalt an umsetzbarer Energie ab; auch die **Synchronizität** von Rp- und KH-Abbau spielt hierbei eine Rolle.

Die Herkunft des nutzbaren Proteins am Duodenum (mikrobielles Protein + UDP + endogenes Protein) ist in der **Abbildung I.5.1** dargestellt.

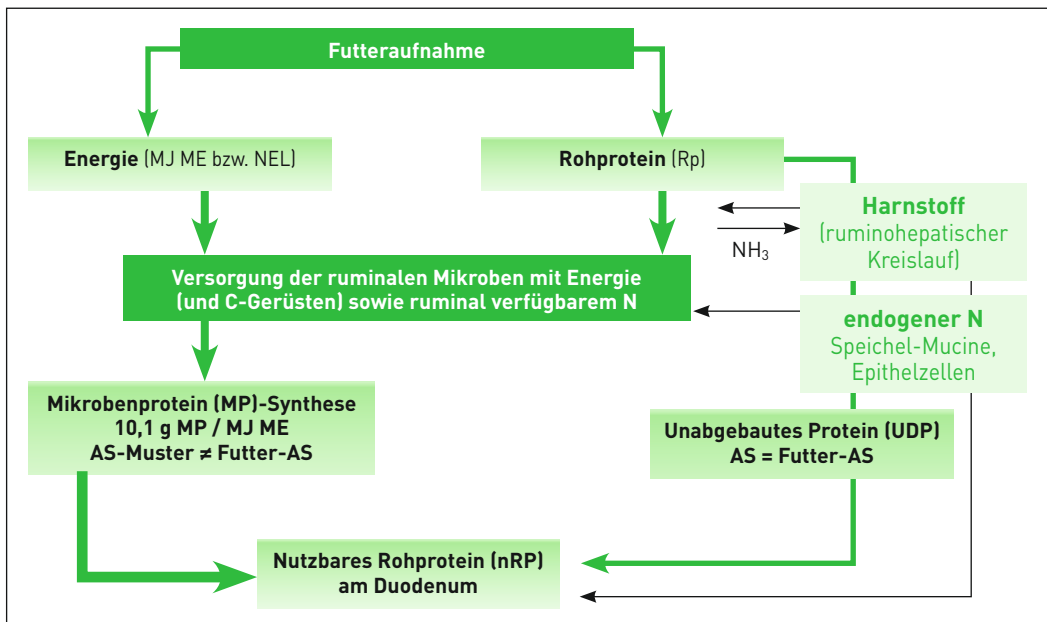


Abb. I.5.1: Der ruminale Stoffwechsel und die Anflutung von nutzbarem Rohprotein am Duodenum.

Allgemein ist mit einer Synthese von ca. 10 g mikrobiellem Protein/MJ ME bzw. von ca. 16,6 g mikrobiellem Protein/1 MJ NEL zu rechnen.

Die ruminale mikrobielle Proteinsynthese ist dennoch – auch bei bzw. trotz ausreichender Energieversorgung der Pansenflora – aus mehreren Gründen limitiert: Einerseits setzen der Fermentationsraum und die Aufenthaltsdauer des Futters im Pansen (diese sinkt bei zunehmender Futteraufnahme), andererseits die für die „Biomasse“-Bildung erforderliche Zeit entsprechende Grenzen, sodass dann andere Konzepte nötig sind, um eine entsprechende Masse an nRp am Duodenum zu erreichen (mehr Bypass-Protein, spezifische AS-Ergänzung in „geschützter Form“). Festzuhalten bleibt, dass der nRp-Wert eines FM – obwohl so in Futterwerttabellen gebraucht – keine Konstante, sondern eine Variable darstellt, die u. a. dem Einfluss der Passagerate sowie den allgemeinen Bedingungen für die mikrobielle Synthese (z. B. m. o. w. synchrone/asynchrone N- und Energieverfügbarkeit für die Flora) unterliegt.

5.2.3 Ruminale N-Bilanz

Aus den obigen Ausführungen zu den parallelen Vorgängen von Rp-Abbau und Rp-Synthese ergibt sich die Möglichkeit einer Bilanzierung von Eintrag (mit dem Futter) und Austrag (Anflutung am Duodenum). Die ruminale N-Bilanz (RNB) ist also zunächst einmal nichts Anderes als:

$$\text{RNB} = \frac{\text{Rp} - \text{nRp}}{6,25} \quad (\text{alle Angaben in Gramm})$$

Dieser RNB-Wert wird insbesondere in der Planung von Rationen für Wdk genutzt, ist in Futterwert-Tabellen aber auch eine FM-typische Kenngröße, die Informationen bzw. Einschätzungen zu folgendem Faktoren bietet/ermöglicht:

- Charakterisierung eines FM hinsichtlich seiner Relation von Energie- und N-Lieferung
- Ausgeglichenheit von Energie- und N-Angebot im Pansenstoffwechsel bei Kalkulation der Ration insgesamt
- Stoffwechselbelastung durch einen unnötigen N-Überschuss

Der RNB-Wert kann sowohl negativ als auch positiv sein (Harnstoff: hoher RNB-Wert, aber ohne Energiezufuhr kann kein nRp gebildet werden; umgekehrter Fall z. B. bei reiner Stärke: mangels N keine nRp-Bildung) und soll für die Gesamtration einen Wert zwischen 0 und max. + 50 g erreichen;

Positive RNB: $\text{Rp} > \text{nRp}$

(z. B. Sojaextraktionsschrot: 28 g RNB/kg uS)

Negative RNB: $\text{Rp} < \text{nRp}$

(z. B. Maiskörner: – 8 g RNB/kg uS)

Die RNB charakterisiert also den Beitrag eines FM zur Rp-Anflutung am Duodenum (über die „Energie- und/oder N-Bereitstellung“ für die Pansenflora); die RNB dient aber insbesondere im Rahmen der Rationsplanung der Optimierung der ruminalen Proteinsynthese sowie der Vermeidung belastender N-Überschüsse (NH_3). Wdk können auch direkt über das Futter zugeführte NPN-Quellen (Nicht-Protein-N) unter der Voraussetzung verwerten, dass der N-Bedarf der Mikroben nicht bereits aus dem NH_3 des abgebauten Rp des übrigen Futters gedeckt ist. Ferner gelangt im Intermediärstoffwechsel gebildeter Harnstoff über den Speichel in die Vormägen (ruminohepatischer Kreislauf). Ein hoher Verwertungsgrad des NPN setzt folglich einen geringen Rp-Gehalt pro Energieeinheit voraus (z. B. Rd-Mast mit Maissilage ab 300 kg KM). Bei Milchrindern sind NPN-Zusätze aufgrund der höheren Rp-Gehalte pro Energieeinheit bei steigenden Leistungen nur bedingt sinnvoll. Gewisse NPN-Zulagen erfolgen heute auch evtl. unter dem Aspekt der angestrebten Synchronizität. Harnstoff (45 % N) wird im Pansen schnell hydrolysiert. Auch nach Adaptation ist eine täglich mehrmalige Fütterung angezeigt. Eine Erhöhung der NH_3 -Konzentration im Pansen saft über 60–80 mg NH_3 -N/l (= optimal) führt via Harnstoffbildung evtl. zur Belastung der Leber, ihre Überlastung zu erhöhtem NH_3 -Blutspiegel und damit evtl. zu akuten Intoxikationen.



5.3 AS-Bedarf und -Bedarfsdeckung

Der AS-Bedarf für die Erhaltung resultiert hauptsächlich aus Geweben mit einer hohen Regenerationsrate (z. B. Darmwand, Darmanhangsdrüsen wie Pankreas), während der AS-Bedarf für die Leistung (Ansatz) aus Gewebe herrührt, das einen geringeren Turnover zeigt. Vor diesem Hintergrund ist es verständlich, dass sich die notwendigen AS-Muster für die Erhaltung und die Leistung teils erheblich unterscheiden (Tab. I.5.7).

Während man in der Vergangenheit die AS-Versorgung sehr einseitig dem Prozess des Protein**ansatzes** zuordnete (was auch weiterhin gültig ist), legen neuere Untersuchungen nahe, dass durch die Zufuhr bestimmter AS auch der Protein**abbau** tangiert ist. So hat z. B. Leucin spezifische Wirkungen auf proteinanabole Vorgänge (im Sinne einer Stimulation), gleichzeitig evtl. auch inhibierende Effekte, was den Proteinabbau angeht. Die AS haben daher also nicht nur ihre Bedeutung als konstitutive Elemente des Ansatzes, sondern auch als regulativ wirkende Substanzen im Protein-Turnover.

Die Bestimmung des AS-Bedarfs erfolgt nach dem Dosis-Wirkungs-Prinzip. Einer Grunddiät, in der die zu prüfende AS im Mangel vorliegt (die übrigen Komponenten werden bedarfsdeckend und möglichst konstant gehalten), wird die entsprechende AS schrittweise zugesetzt. Es wird dann die Wirkung der AS-Zufuhr auf eine bestimmte Leistung geprüft. Als bedarfsdeckend wird die Menge der jeweiligen AS angesehen, bei der die höchste Leistung erzielt wird. Bei wachsenden Tieren werden in der Regel die KM-Zunahme oder auch N-Bilanz als Leistungskri-

terien herangezogen. Die meisten Untersuchungen gibt es diesbezüglich bei Schw, Gefl und Fischen, insbesondere für die erstlimitierenden AS. Bei der MF-Rezeptur und Rationsgestaltung wird neben der Deckung eines „Proteinbedarfes“ auch die bedarfsdeckende Zufuhr an den erstlimitierenden AS (meist Lys, Met/Cys, Thr und Trp) berücksichtigt. Eine bedarfsdeckende AS-Zufuhr kann durch Kombination geeigneter Proteinträger und durch Einsatz synthetischer AS erreicht werden.

Bei maissilagereichen und getreidebetonten Milchviehrationen dürfte Met (im nRp, nicht im Futter) die erstlimitierende, Lys die zweitlimitierende AS sein, während bei grassilagereichen Rationen Histidin als weitere leistungslimitierende AS hinzukommt.

Um eine genau dem Bedarf angepasste Zufuhr an AS zu erreichen, werden bei der MF-Herstellung einzelne AS gezielt supplementiert, um ein optimales **AS-Muster** im MF zu erlangen (Abb. I.5.2). Die zugesetzten AS gehören futtermittelrechtlich (EG-VO 1831/2003, Anhang I) zu den Futterzusatzstoffen. Dabei erfolgt der Zusatz von AS primär in Form der L-AS, nur für Met kann auch eine Ergänzung in der DL-Form erfolgen (einige D-AS sind evtl. toxisch).

Weichen im Nahrungsprotein die relativen Anteile der einzelnen AS zueinander vom „AS-Bedarfsmuster“ ab, führt dies in jedem Falle zu einer reduzierten AS- und Proteinverwertung, und zwar unabhängig davon, ob diese im Mangel oder im Überschuss vorliegen. Ist diese Diskrepanz so stark, dass Futteraufnahme und Wachstum gemindert werden, spricht man von **AS-Imbalancen**. Treten negative Effekte bei Überdosierung einzelner AS auf, die **nicht** mit

Tab. I.5.7: **Angestrebte/ideale Relationen von AS im Protein für die Erhaltung bzw. Leistung (Wachstum) bei Schwein und Pferd**

	Lys	Met	Met + Cys	Thr	Trp	Leu	Val
Erhaltung	100	32	147	139	29	71	53
Wachstum	100	28	53	69	18	115	77