

Pferdefütterung

Manfred Coenen
Ingrid Vervuert

Begründet von Helmut Meyer

6. Auflage



Thieme

Manfred Coenen, Ingrid Vervuert

Pferdefütterung

Begründet von Helmut Meyer

6., aktualisierte Auflage

69 Abbildungen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart • New York

Prof. Dr. med. vet. Manfred **Coenen**
Lothringer Str. 18i
30559 Hannover
Deutschland

Prof. Dr. med. vet. Ingrid **Vervuert**
Institut für Tiernährung
Veterinärmedizinische Fakultät
An den Tierkliniken 9
04103 Leipzig
Deutschland

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

Ihre Meinung ist uns wichtig! Bitte schreiben Sie uns unter:
www.thieme.de/service/feedback.html

© 2020 Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstr. 14
70469 Stuttgart
Deutschland

www.thieme.de

Printed in Germany
1. Auflage 1986 Paul Parey Verlag Berlin, Hamburg
2. Auflage 1992 Paul Parey Verlag Berlin, Hamburg
3. Auflage 1995 Parey Buchverlag in
Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien
4. Auflage 2002 Parey Buchverlag in
Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien
5. Auflage 2014 Enke Verlag in
MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG, Stuttgart

Redaktion: Katharina Schmalz, Wenzelbach b. Regensburg
Zeichnungen: Gay & Sender, Bremen; Andrea Schnitzler, Innsbruck
Umschlaggestaltung: Thieme Gruppe
Umschlaggrafik: Katharina Vollendorf, Malerin,
83623 Ascholding, www.katharinavollendorf.com
Satz: L42 AG, Berlin
Druck: Grafisches Centrum Cuno, Calbe (Saale)

DOI 10.1055/b-006-161670

ISBN 978-3-13-241178-4

2 3 4 5 6

Auch erhältlich als E-Book:
eISBN (PDF) 978-3-13-241778-6
eISBN (epub) 978-3-13-241779-3

Wichtiger Hinweis: Wie jede Wissenschaft ist die Veterinärmedizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe **dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes** entspricht.

Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. **Jeder Benutzer ist angehalten**, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. **Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers.** Autoren und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

Vor der Anwendung bei Tieren, die der Lebensmittelgewinnung dienen, ist auf die in den einzelnen deutschsprachigen Ländern unterschiedlichen Zulassungen und Anwendungsbeschränkungen zu achten.

Geschützte Warennamen (Warenzeichen ®) werden nicht immer besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen oder die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Wo datenschutzrechtlich erforderlich, wurden die Namen und weitere Daten von Personen redaktionell verändert (Tarnnamen). Dies ist grundsätzlich der Fall bei Patienten, ihren Angehörigen und Freunden, z. T. auch bei weiteren Personen, die z. B. in die Behandlung von Patienten eingebunden sind.

Vorwort zur 6. Auflage

Das vorliegende Buch Pferdefütterung strebt mit der 6. Auflage eine Aktualisierung einer wissenschaftlich begründeten Erörterung zur Ernährung des Pferdes an, die auf Professor Meyer, dem vormaligen Direktor des Instituts für Tierernährung an der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover zurückgeht. Biologische Zusammenhänge mit wissenschaftlichen Instrumenten für die Praxis zu erörtern, war von Beginn an das Credo. Auch nach seinem Tode ist der Name Meyer mit diesem Werk verbunden und soll es bleiben. Wissenschaftlich erarbeitete Befunde und Daten altern nicht, entsprechend weit war stets der Rahmen der verwerteten Literatur. Bereits bei der vorherigen Auflage hat Professorin Dr. Ingrid Vervuert maßgeblich als Co-Autorin mitgewirkt; dies hat sich verstetigt und erweitert; folgerichtig ist sie ebenfalls Mit-Herausgeberin bei der neuen Auflage, was ihre Kompetenz besonders im Bereich der ernährungsbedingten Erkrankungen und Diätetik hervorhebt.

Die 5. Auflage stand unter dem Eindruck der gerade neu überarbeiteten Empfehlungen zur Ernährung des Pferdes durch den Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie 2014. Zahlreiche Änderungen in der Futterbewertung und Ableitung der Versorgungsempfehlungen wurden eingearbeitet. In der Zwischenzeit kann bereits auf Erfahrungen in der Anwendung der Versorgungsempfehlungen zurückgegriffen werden. Die Bewertung der Raufutterqualität und -verfügbarkeit ist für die Praxis von herausragender Bedeutung; hier ist auch eine deutliche Wirkung der Versorgungsempfehlungen sichtbar. Entsprechende Rationsempfehlungen in der aktualisierten Auflage greifen dies verstärkt

auf. Die Betonung der Beziehung zwischen Verhalten und Ernährung sowie Wertung des Energiebedarfs ergeben eine Grundstruktur der Ration, die traditionelle Vorstellungen – noch geprägt aus der Zeit der intensiven Nutzung des Pferdes in der Landwirtschaft – teilweise auflöst, jedoch einen deutlichen Fortschritt für das Tierwohl bringt.

Die Versorgungsempfehlungen und damit erstellte Rationen können nicht grundsätzlich das individuelle Pferd in der spezifischen Umwelt abbilden. Ein Justieren der alltäglichen Fütterung ist eine Notwendigkeit, die wissenschaftlich erarbeiteten Grundlagen sind jedoch die Basis, deren Wert gegenüber empirischen Erwägungen unbestritten ist. Dementsprechend zielt auch diese Auflage darauf ab, ein Höchstmaß an Wissenschaftlichkeit wiederzugeben.

Aus diesen Gründen ist auch die Struktur des Buches beibehalten worden. Da sich laufend aktualisierte Informationen zu Futtermitteln an anderer Stelle finden (u. a. Internet), wurde die Dokumentation über die Inhaltsstoffe vor allem in Mischfuttermitteln im Vergleich zu den vorhergehenden Auflagen gekürzt.

Dem Verlag danken wir herzlich für die Unterstützung und Gestaltung bei der Neuauflage.

Wir hoffen und wünschen, dass die Leser/innen durch dieses Werk zu einer auf wissenschaftliche Fakten gestützten Sicht bei der Ernährung ihres Pferdes angeregt werden.

Leipzig, im September 2019

Manfred Coenen

Ingrid Vervuert

Vorwort zur 1. Auflage

„Wer sein Pferd nicht pflegt und nährt, ist des Tieres nicht wert“, sagt eine alte Bauernregel. Diese Forderung gilt noch, aber wie man Pferde richtig nährt, ist heute für viele Pferdebesitzerinnen und -besitzer, die nicht mit den jahrhundertlang tradierten bäuerlichen Erfahrungen auf diesem Gebiet vertraut sind, nicht immer klar. Doch auch die alten, zum Teil recht starren Vorstellungen über die Fütterung helfen heute nicht immer weiter angesichts der veränderten Haltungsbedingungen, des vielfältigen Futtermittelangebots und der unterschiedlichen Nutzungsarten. Das Pony, das Vielseitigkeitspferd für Military-Prüfungen, das Holzurückepferd im Wald, das Pferd für Distanzritte, der Traber oder das Rennpferd, die Zuchstute oder das heranwachsende Fohlen und schließlich das Standard-Reitpferd, das täglich oft weniger als eine Stunde bewegt wird – sie alle verlangen eine richtige Ernährung, wenn sie die von ihnen erwarteten Leistungen erfüllen und, vor allem, wenn sie gesund bleiben sollen.

Für die artgerechte Ernährung ist gewiss Intuition („Des Herrn Auge füttert sein Pferd“) nicht zu entbehren, doch solche Fähigkeiten können konkretes Wissen über die Funktion des kompliziert aufgebauten und störanfälligen Verdauungskanals des Pferdes, über die Futtermittel, ihre Inhaltsstoffe, Konservierung und Lagerung, über den Energie- und Nährstoffbedarf bei verschiedenen Leistungen oder die Prinzipien der Rationsgestaltung nicht ersetzen.

Die „Pferdefütterung“ erscheint nun als selbständiges Buch, nicht mehr in der traditionellen Kombination mit der Pferdezucht (bisher Loewe/Meyer [1978]: Pferdezucht und Pferdefütterung, Verlag E. Ulmer, Stuttgart). Bestimmend dafür war, dass die Fütterung – anders als die Zucht – jede Pferdehalterin und jeden Pferdehalter täglich beschäftigt und er in der Lage sein muss, sie je nach Leistungen, Haltungsbedingungen, Jahreszeiten und Futtermittelpreisen sachgerecht anzupassen bzw. zu modifizieren. Die Trennung erlaubte, die theoretischen Grundlagen, insbesondere die Verdauungsphysiologie, und praktische Aspekte einschließlich der Fütterung von Leistungspferden, der Pathogenese ernährungsbedingter Krankheiten und der Diätetik kranker Pferde eingehend zu beschreiben und dennoch ein nicht zu umfangreiches und preisgünstiges Buch herauszugeben. Es wendet sich an die Studenten der Veterinärmedizin und Landwirtschaft, an Tierärzte und vor allem an Pferdebesitzerinnen und -besitzer sowie und -betreuerinnen und -betreuer, denen das Wohlergehen ihres Tieres am Herzen liegt.

Allen Mitarbeitern im Institut, insbesondere Herrn Dr. Coenen, danke ich für die Hilfe und Anregungen. Dem Verlag gilt meine besondere Anerkennung für die entgegenkommende Gestaltung und rasche Herausgabe.

Hannover, im Januar 1986

Helmut Meyer

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 6. Auflage	5
Vorwort zur 1. Auflage	6
Autorenvorstellung	13

Teil 1

Allgemeine Grundlagen

1	Vom Laubfresser zum „Hafermotor“	16
	<i>Manfred Coenen, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †</i>	
1.1	Entwicklung des Pferdes	16
2	Das Pferd in Zahlen – allgemeine Daten	21
	<i>Manfred Coenen, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †</i>	
2.1	Zahl der Pferde	21
2.2	Größe und Körpermasse	22
2.3	Körperzusammensetzung und Verteilung der Gewebe und Organe	23
2.4	Leistungen	26
2.4.1	Reproduktion	26
2.4.2	Milchbildung	27
2.4.3	Postnatales Wachstum	30
2.4.4	Bewegung	31
3	Grundlagen der Ernährung	36
	<i>Manfred Coenen, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †</i>	
3.1	Bau und Funktion der Verdauungsorgane	36
3.1.1	Allgemeines	36
3.1.2	Verdauungsvorgänge in einzelnen Darmabschnitten	41
3.2	Verdauung und Absorption der Futterinhaltsstoffe	50
3.2.1	Kohlenhydrate	50
3.2.2	Fette	55
3.2.3	Eiweiße	56
3.2.4	Wasser und Elektrolyte (Natrium, Chlorid, Kalium)	57
3.2.5	Kalzium, Phosphor, Magnesium und Spurenelemente	58
3.2.6	Ablauf der Verdauung nach Fütterung von Rau- bzw. Kraftfutter	59
3.3	Verdaulichkeit der Futtermittel	59
3.3.1	Berechnung der Verdaulichkeit	60
3.3.2	Verdaulichkeit der einzelnen Futterbestandteile	60
3.3.3	Einflussfaktoren auf die Verdaulichkeit	62
3.4	Futteraufnahme und ihre Regulation	64
3.4.1	Futteraufnahme unter natürlichen Bedingungen und im Stall	64
3.4.2	Regulation der Futteraufnahme	64
3.4.3	Futteraufnahmekapazität	67
3.5	Kotmenge und -zusammensetzung	68

4	Energie-, Nährstoff- und Strukturstoffbedarf	70
	<i>Manfred Coenen, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †</i>	
4.1	Definition des Bedarfs	70
4.2	Energie- und Eiweißbedarf	71
4.2.1	Energiestoffwechsel	71
4.2.2	Eiweißstoffwechsel	73
4.2.3	Energie- und Eiweißbedarf im Erhaltungsstoffwechsel	74
4.2.4	Energie- und Eiweißbedarf bei Muskelarbeit	79
4.2.5	Energie- und Eiweißbedarf in der Trächtigkeit	89
4.2.6	Energie- und Eiweißbedarf in der Laktation	91
4.2.7	Energie- und Eiweißbedarf im Wachstum	93
4.3	Mengenelemente	98
4.3.1	Kalzium (Ca) und Phosphor (P)	98
4.3.2	Magnesium (Mg)	103
4.3.3	Natrium (Na), Chlorid (Cl) und Kalium (K)	104
4.4	Spurenelemente	108
4.4.1	Eisen (Fe)	108
4.4.2	Kupfer (Cu)	110
4.4.3	Zink (Zn)	111
4.4.4	Mangan (Mn)	112
4.4.5	Kobalt (Co)	112
4.4.6	Jod (J)	112
4.4.7	Selen (Se)	113
4.4.8	Sonstige Spurenelemente	114
4.5	Vitamine	114
4.5.1	Fettlösliche Vitamine	116
4.5.2	Wasserlösliche Vitamine	121
4.6	Essenzielle Fettsäuren	124
4.7	Carnitin	125
4.8	Strukturstoffe	125
4.9	Wasser	126

Teil 2

Grundlagen der Fütterung

5	Futtermittel	130
	<i>Manfred Coenen, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †</i>	
5.1	Einteilung	130
5.2	Bestimmung der Futterinhaltsstoffe	132
5.2.1	Trockensubstanz (TS)	132
5.2.2	Rohasche (Ra)	133
5.2.3	Organische Substanz (oS)	133
5.2.4	Rohprotein (Rp)	133
5.2.5	Rohfett (Rfe)	134
5.2.6	Kohlenhydrate	134
5.2.7	Mineralstoffe	137
5.2.8	Vitamine	137

5.3	Bewertung des Energie- und Eiweißgehalts in Futtermitteln	138
5.3.1	Energiegehalt in Futtermitteln	138
5.3.2	Eiweißgehalt in Futtermitteln	140
5.4	Futtermittelrechtliche Bestimmungen	141
5.5	Einzelfuttermittel	143
5.5.1	Raufutter (Grobfutter)	143
5.5.2	Wurzeln und Knollen	166
5.5.3	Obst und Obstrückstände	168
5.5.4	Getreidekörner	169
5.5.5	Getreidenachprodukte	174
5.5.6	Ölsamen und Ölsamenrückstände	177
5.5.7	Futtermittel tierischer Herkunft	180
5.5.8	Fette	180
5.5.9	Mineralsalze	181
5.5.10	Kräuter	182
5.5.11	Sonstige Ergänzungsstoffe	183
5.6	Mischfutter	184
5.6.1	Allgemeine Eigenschaften und Einteilung	184
5.6.2	Alleinfutter	186
5.6.3	Ergänzungsfuttermittel	186
5.6.4	Diätfuttermittel	191
5.7	Beurteilung von Futtermitteln	192
5.7.1	Entnahme von Futterproben	192
5.7.2	Untersuchungsparameter	193
5.7.3	Beurteilung von Untersuchungsbefunden	194
5.7.4	Wasserqualität	194
6	Allgemeines zur Fütterung	196
	<i>Ingrid Vervuert, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †</i>	
6.1	Stall und Stalleinrichtungen	196
6.1.1	Stallklima	196
6.1.2	Stallart und -größe	197
6.1.3	Einstreu	198
6.1.4	Fütterungseinrichtungen	199
6.1.5	Tränken	202
6.2	Allgemeines zur Rationsgestaltung	202
6.2.1	Prinzipien	202
6.2.2	Fütterungstechnik	206
6.2.3	Beurteilung der Fütterung	208
6.2.4	Tränktechnik	211
7	Spezielle Fütterung	212
	<i>Manfred Coenen, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †</i>	
7.1	Pferde im Erhaltungsstoffwechsel	212
7.2	Gesunde ältere Pferde	216
7.3	Arbeitspferde	218
7.3.1	Energie- und Nährstoffbedarf	218
7.3.2	Reit- und Zugpferde bei geringer bis mittlerer Arbeit	224
7.3.3	Pferde bei mittlerer bis schwerer Arbeit	224

7.3.4	Pferde im Leistungssport (schwere Arbeit)	225
7.3.5	Rationsgestaltung	227
7.3.6	Fütterungspraxis, -technik	237
7.3.7	Fütterung und Doping	240
7.4	Stuten	240
7.4.1	Güste und niedertragende Stuten	241
7.4.2	Hochtragende Stuten	245
7.4.3	Laktierende Stuten	246
7.5	Deckhengste	248
7.6	Fohlen	249
7.6.1	Saugfohlen	249
7.6.2	Absetzfohlen	257
7.6.3	Fohlen im 2. Lebenshalbjahr (1. Winterstallperiode)	258
7.6.4	Jährlinge	259
7.6.5	Zweijährige	260
7.7	Ponys und Kleinpferde	261
7.7.1	Erhaltungsbedarf	261
7.7.2	Arbeitende Ponys	263
7.7.3	Stuten und Fohlen	263
8	Diagnostik zur Überprüfung einer adäquaten Energie- und Nährstoffversorgung	265
	<i>Ingrid Vervuert, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †</i>	
8.1	Untersuchung von Parametern in Blut und Harn	267
9	Schadwirkungen durch Futtermittel	271
	<i>Ingrid Vervuert, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †</i>	
9.1	Giftpflanzen	271
9.2	Futtermittel mit schädlichen Inhaltsstoffen	275
9.3	Kontaminierte Futtermittel	275
9.3.1	Erde und spezielle anorganische Stoffe	275
9.3.2	Düngemittel	275
9.3.3	Schädlingsbekämpfungs- und Kurzspritzmittel	276
9.3.4	Futterzusatzstoffe	277
9.4	Verdorbene und mikrobiell kontaminierte Futtermittel	277
9.4.1	Milben und Insekten	280
9.4.2	Bakterien, Pilze und Hefen	280
9.4.3	Infektionserreger	282
9.4.4	Toxine bakterieller Herkunft	282
9.4.5	Mykotoxine	283

Teil 3

Erkrankungen und Diätetik

10	Fütterungsempfehlungen bei Krankheiten und Störungen	288
	<i>Ingrid Vervuert, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †</i>	
10.1	Allgemeines	288
10.2	Störungen in der Nahrungszufuhr	288
10.2.1	Dysphagie	288

10.2.2	Appetitlosigkeit.	289
10.2.3	Kachexie und Sondenernährung	290
10.2.4	Ernährung zu früh geborener, lebensschwacher oder aphagischer Fohlen.	291
10.2.5	Adipositas	292
10.3	Krankheiten der Haut.	292
10.3.1	Sonnenbrand	293
10.3.2	Verbrennungen und Wunden.	293
10.3.3	Allergische Hauterkrankungen	294
10.4	Krankheiten der Atemwege	294
10.5	Fieberhafte Erkrankungen	296
10.5.1	Steigerung der Abwehrkräfte.	296
10.5.2	Nährstoff- und Energieversorgung bei Fieber	297
10.6	Krankheiten des Herzens.	297
10.7	Krankheiten des Verdauungskanal	298
10.7.1	Zahnkrankheiten	299
10.7.2	Schlundverstopfungen	301
10.7.3	Magenulzera	302
10.7.4	Koliken.	303
10.7.5	Veränderungen der Kotkonsistenz adulter Pferde	310
10.7.6	Diarrhö bei Saugfohlen	314
10.8	Krankheiten der Leber	314
10.8.1	Hepatoenzephalisches Syndrom	315
10.9	Krankheiten der Harnorgane	316
10.9.1	Nierenerkrankungen.	316
10.9.2	Harnsteine.	317
10.10	Krankheiten der Skelettmuskulatur	318
10.10.1	Belastungsmiopathien	318
10.11	Störungen des Bewegungsapparats	319
10.11.1	Entwicklungsstörungen des Skeletts beim Fohlen.	319
10.11.2	Orthopädische Erkrankungen bei adulten Pferden	322
10.11.3	Krankheiten des Hufes.	323
10.12	Endokrine Störungen	325
10.12.1	Equines metabolisches Syndrom.	325
10.12.2	Pituitary Pars intermedia Dysfunction	325
10.13	Störungen des Wasser- und Mineralstoffhaushalts nach körperlichen Belastungen	326
11	Fütterung vor und nach Operationen	328
	<i>Ingrid Vervuert, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †</i>	
11.1	Fütterung vor Operationen	328
11.2	Fütterung nach Operationen	328
11.2.1	Diäten für Pferde mit resezierten Darmabschnitten.	329
12	Fütterung und Tierschutz	331
	<i>Ingrid Vervuert, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †</i>	

Teil 4

Versorgungsempfehlungen

13	Tabellenanhang	334
	<i>Manfred Coenen</i>	
13.1	Berechnungen	334
13.1.1	Gehalt an Rohnährstoffen in Mischfuttermitteln und Ableitung von umsetzbarer Energie und präzäkal verdaulichem Rohprotein	334
13.2	Versorgungsempfehlungen	337
13.2.1	Erhaltungsstoffwechsel	337
13.2.2	Erhaltungsstoffwechsel + Gravidität	340
13.2.3	Erhaltungsstoffwechsel + Laktation	352
13.2.4	Erhaltungsstoffwechsel + Wachstum	364
13.2.5	Erhaltungsstoffwechsel + Arbeit	378
13.3	Zusammensetzung von Einzelfuttermitteln	396
13.4	Erforderliche Nährstoffgehalte in Ergänzungsfuttermitteln	421
13.5	Beurteilung des Ernährungszustandes anhand eines Body Condition Score (BCS) mit der Skala 1 bis 9	421

Teil 5

Anhang

14	Literatur	426
14.1	Allgemeine Literatur	426
14.1.1	Literaturergänzung Allgemeine Literatur	426
14.2	Teil 1: Allgemeine Grundlagen	427
14.2.1	Kapitel 1–4	427
14.2.2	Literaturergänzung Kapitel 1–4	435
14.3	Teil 2: Grundlagen der Fütterung	448
14.3.1	Kapitel 5 (Futtermittel) und Kapitel 7 (Spezielle Fütterung)	448
14.3.2	Literaturergänzung Kapitel 5 und 7	451
14.3.3	Kapitel 6 (Allgemeines zur Fütterung)	460
14.3.4	Kapitel 8 (Diagnostik zur Überprüfung einer adäquaten Energie- und Nährstoffversorgung)	461
14.3.5	Kapitel 9 (Schadwirkungen durch Futtermittel)	461
14.4	Teil 3: Erkrankungen und Diätetik	462
14.4.1	Kapitel 10 (Fütterungsempfehlungen bei Krankheiten und Störungen)	462
14.5	Teil 4: Versorgungsempfehlungen	463
14.5.1	Kapitel 13 (Tabellenanhang)	463
14.5.2	Überarbeitung von Angaben zum Energie- und Nährstoffbedarf und Versorgungsempfehlungen	464
15	Abkürzungsverzeichnis und Glossar	466
	Sachverzeichnis	469

Autorenvorstellung



**Prof. Dr. med. vet.
Manfred Coenen**

- Fachtierarzt für Tierernährung und Diätetik, Dipl. ECVN
- Studium der Veterinärmedizin in Hannover und München
- Promotion 1978 durch die Tierärztliche Hochschule Hannover (Dissertationsprojekt zur Fütterung von Milchkühen am Institut für Tierzucht und Tierverhalten der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig Völknerode/Mariensee)
- Assistenz in einer Großtierpraxis in Schleswig-Holstein
- Ab 1981 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Tierernährung der Tierärztlichen Hochschule Hannover – Arbeiten zur Ernährung von Schwein, Rind und Pferd
- 1992 Habilitation (Chloridhaushalt und -bedarf des Pferdes)
- 1996 Professor für Tierernährung und Diätetik am Institut für Tierernährung der Tierärztlichen Hochschule Hannover
- 2005 Berufung auf den Lehrstuhl Tierernährung, Ernährungsschäden und Diätetik an der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig
- 2013–2016 Dekan der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig
- Seit Oktober 2016 im Ruhestand



**Prof. Dr. med. vet.
Ingrid Vervuert**

- Fachtierärztin für Tierernährung und Diätetik mit Weiterbildungsermächtigung
- 1989–1995 Studium der Veterinärmedizin an der FU Berlin
- 1996–1998 Promotion zum Thema Sportpferdefütterung am Institut für Tierernährung und Diätetik, Tierärztliche Hochschule Hannover
- 1997–2001 Wissenschaftliche Mitarbeiterin, ab 2001–2006 Wissenschaftliche Assistentin am Institut für Tierernährung und Diätetik
- 2003 Fachtierarztprüfung für Tierernährung und Diätetik
- 2006–2010 Wissenschaftliche Assistentin am Institut für Tierernährung, Ernährungsschäden und Diätetik, Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig
- 2009 Habilitationsschrift: „Food properties affecting starch digestion by healthy horses as measured by glycaemic and insulinaemic responses“
- Seit 2010 Privatdozentin am Institut für Tierernährung, Ernährungsschäden und Diätetik in Leipzig
- Seit Juli 2019 außerplanmäßige Professorin am Institut für Tierernährung, Ernährungsschäden und Diätetik in Leipzig
- Forschungsschwerpunkte beim Pferd: Adipositas, Prävention von Magenschleimhautveränderungen und Spurenelementversorgung



Teil 1

Allgemeine Grundlagen

1	Vom Laubfresser zum „Hafermotor“	16
2	Das Pferd in Zahlen – allgemeine Daten	21
3	Grundlagen der Ernährung	36
4	Energie-, Nährstoff- und Strukturstoffbedarf	70

1 Vom Laubfresser zum „Hafermotor“

Manfred Coenen, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †

1.1

Entwicklung des Pferdes

Frühgeschichte Der Stammbaum des Pferdes beginnt vor rd. 60 Mio. Jahren im Eozän, in der Morgenröte der Erdneuzeit. In riesigen, weit über die heutige Verbreitung hinausgehenden tropischen Regenwäldern der Alten und Neuen Welt lebte ein etwa fuchsgroßes Säugetier (**Hyracotherium**, frühere Bezeichnung **Eohippus**) mit 4- bzw. 3-strahligem Fuß, aus dem auf manchen Wegen und Umwegen vor rd. 3 Mio. Jahren **Equus ferus**, das Wildpferd, entstand.

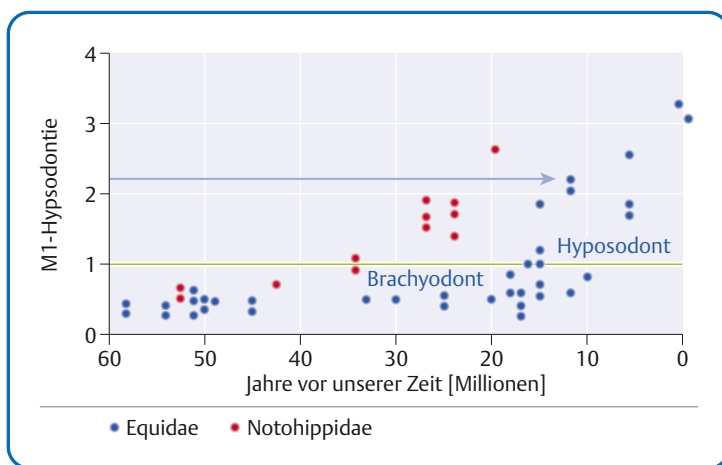
Über die Ernährung der Pferdevorfahren wissen wir wenig, wenn nicht zahlreiche fossile Knochen (u.a. Schädel mit vollständigem Gebiss) Rückschlüsse zuließen. Aus der Zahnform kann abgeleitet werden, dass Hyracotherium vor allem Laubfresser war, aber wohl auch Früchte und Samen genutzt hat. Dies zeigen Funde in der Ölschiefergrube Messel bei Darmstadt: Im Magen eines Urpferdes waren noch Blätter (vermutlich von Lorbeergräsern) zu erkennen.

Als sich im Laufe der Erdgeschichte das Klima änderte und die weit nach Norden reichenden tropischen Regenwälder Busch- und Grassteppen wichen, hat sich Hyracotherium offenbar an die neue

Gelände- und Futtersituation anzupassen versucht. Durch Entwicklung zum Einhufer unter stetiger Vergrößerung des Körpers entstand über **Mesohippus** und **Merychippus** schließlich ein typisches Fluchttier für offene Landschaften.

Parallel dazu vergrößerten und verbreiterten sich die Backenzähne. Ihre Kaufläche wurde rauer, denn durch seitliche Einfaltung des Zahnschmelzes entstanden auf der Kaufläche gewundene Leisten, zwischen denen sich weicherer Material aus Dentin und Zement (► Abb. 3.4) einlagerte. So konnten ohne übermäßigen Abrieb die harten, teilweise verkieselten Gräser fein zermahlen werden. Die Entwicklung der hochkronigen Zähne (Hypsodontie) vor rd. 15 Mio. Jahren war ein essenzieller Prozess in der Anpassung an die sich ändernde Nahrungsgrundlage; die Gräser mit ihren spezifischen Phytolithen bedingten eine besonders harte Zahnoberfläche, die bei Grasland bewohnenden Equiden mit Riefen und Rillen anders aussehen als bei Laubfressern (► Abb. 1.1).

Die Veränderungen im Kopfskelett, die neben dem Gebiss auch die Winkelung des Unterkiefers und Ausformung des Kiefergelenks betreffen, belegen die Anpassung an ein anderes Nahrungsspektrum, für das ein quetschender, mahlender Kaugang günstiger ist als bei den Vorläufern.



► **Abb. 1.1** Entwicklung der Hypsodontie bei Equiden (Angabe der Relation von Kronenhöhe zu Kronenbreite) als Anpassung an die Ausdehnung des Graslandes (Abb. basiert auf Daten aus Shockey 1997 zit. nach MacFadden 2000).

Vermutlich hat sich im Laufe der Entwicklung auch der Dickdarm, in dem faserig pflanzliches Material mit Hilfe von Mikroben aufgeschlossen werden kann, weiter vergrößert. Die Entwicklung der Körpergröße war mit der Vergrößerung des Dickdarmes assoziiert; nur so konnte der Energiebedarf mittels Fermentation gedeckt werden. Das bedeutet zugleich, dass die morphologische Anpassung an die gleichzeitige Adaptation der Mikroflora gebunden war. Metagenomische Analysen (Erfassen des tierieigenen Genoms und der zugehörigen Darmflora) belegen die Koevolution wie auch die Unterschiede zu omnivoren und herbivoren Spezies mit einer Vormagenfermentation. Die Beziehungen zwischen dem intestinalen Mikrobiom und der immunologischen Kompetenz des Magen-Darm-Traktes deuten auf eine evolutionär abgestimmte Bedingung hin und veranlassen zu einer ganzheitlichen Sicht auf die autochthone Intestinalflora und Leistung der Darmwand.

Die Trennung des Wildpferdes (*Equus ferus przewalski*) und des Hauspferdes (*Equus ferus caballus*) sowie der Esel erfolgte nach jüngsten genomanalytischen Arbeiten offenbar früher als bislang angenommen (38000–72000 J. v. u. Z.), offenbar initiiert durch weitere Diversifikation der Nahrung.

Der erfolgreichen allmählichen Anpassung an die Veränderung des Nahrungsspektrums mittels eines differenziert aufgebauten Verdauungskanal verdankt das Pferd seine Fähigkeit, unterschiedliche Futtermittel – nach intensiver Zerkleinerung durch den Kauvorgang – zu verdauen: konzentrierte Stoffe wie Zucker, Stärke, Eiweiß und Fett durch körpereigene Enzyme im Magen und Dünndarm, Kohlenhydrate aus Gerüstsubstanzen der pflanzlichen Nahrung mit Hilfe mikrobiell gebildeter Enzyme im Dickdarm. Die im Jahresverlauf in Steppe und Wald anfallenden unterschiedlichen Futtermittel (junges und überständiges Gras, auch Laub, zuckerreiche Früchte, stärke- und fettreiche Samen) konnten optimal genutzt werden. Von Vorteil ist, dass Pferde wertvolle Inhaltsstoffe im jungen Gras direkt nutzen, indem sie es zwischen den Backenzähnen ausquetschen und die löslichen Stoffe im Dünndarm verdauen und die Gerüstsubstanzen dem mikrobiellen Aufschluss überlassen.

Diese Vielseitigkeit, verschiedene Pflanzeninhaltsstoffe zu verwerten, geht aber auf Kosten der Effizienz in der Ausnutzung spezieller Stoffe, be-

sonders der pflanzlichen Fasern. Ein Vergleich der Verdauungskapazität von Pferden und Wiederkäuern zeigt, dass das Pferd typische Produkte der Gras- und Waldsteppe mit hohem Rohfasergehalt, wenig hochwertigem Eiweiß und geringen Mengen an Zucker, Stärke oder Fetten nicht so gut verdaut und verwertet wie Wiederkäuer, aber diesen Nachteil durch eine höhere Futteraufnahme mehr als kompensiert und daher je Zeiteinheit mehr Nährstoffe aus der Nahrung extrahiert als der Wiederkäuer. Ferner ist zu betonen, dass Einhufer selektiv grasen, d.h. Pflanzen und Pflanzenteile nach den Inhaltsstoffen differenzieren können.

Alertum Mit der Domestikation hat sich die Ernährung des Pferdes zunächst wenig geändert, d.h., das Pferd musste mit dem natürlichen Futter (Gras, Laub etc.) auskommen. Eine systematische Futterkonservierung (Gras-, Laubtrocknung) zur Überbrückung futtermangelnder Zeiten hat – wie die noch bis vor einigen Jahrhunderten in diesem Raum übliche Praxis zeigte – wohl kaum eine Rolle gespielt. Die ersten Hauspferde blieben also, ähnlich wie die Wildpferde, den üblichen jahreszeitlichen Rhythmen im Futterangebot ausgesetzt.

Als im Laufe des 2. Jahrtausends v. Chr. das Pferd auch in den alten Kulturlandschaften des Vorderen Orients – zunächst im Zweistromland, später auch in Ägypten – Fuß fasste, wurde es intensiver und systematisch genutzt: als Tragtier, vor dem Wagen, später auch als Reittier; letzterer Nutzungstyp hat vermutlich aber erst sehr viel später durch die Erfindung der Steigbügel in China entscheidende Impulse erfahren (ältestes Paar Steigbügel in Grabbeigaben datieren aus 322 n. Chr.). Aus dem 2. Jahrtausend v. Chr. sind Berichte über massierte Pferdehaltung an königlichen Höfen im Vorderen Orient überliefert. So soll König Salomo (965–926 v. Chr.) in Israel zeitweilig 12000 Reit- und 4000 Wagenpferde besessen haben. In der großen Kampfwagenschlacht von Kadesh zwischen Hethitern und Ägyptern (1299 v. Chr.) waren auf hethitischer Seite rd. 7000 Pferde beteiligt.

Die intensivere Nutzung des Pferdes zwang zweifellos zu einer besseren Futterauswahl und Fütterungstechnik, da

- mit steigenden Leistungen der zunehmende Energiebedarf nicht mehr allein über Raufutter oder Gras gedeckt werden konnte,

- das Pferd bei ausschließlicher Gras- und Raufutterzuteilung durch die lange Futteraufnahmezeit nur begrenzt nutzbar war,
- einseitiges Angebot voluminöser Futtermittel die Leistungsfähigkeit einschränkte,
- bei massierter Pferdehaltung in futtermarmen Gebieten die logistischen Probleme nur durch zusätzlichen Einsatz konzentrierter, energiereicher und lagerfähiger Futtermittel zu lösen waren.

Wenn auch im Vorderen Orient die Luzerne ein relativ energiedichtes Futtermittel lieferte, begann im Laufe des 2. Jahrtausends v. Chr. die Fütterung mit Getreidekörnern, wie aus dem Kikkuli-Text (14. Jahrhundert v. Chr.) über Fütterung und Training der hethitischen Kampfwagenpferde hervorgeht (vom 167. Trainingstag heißt es z. B.: „Sobald man die Pferde ausspannt, versorgt man sie mit Wasser, dann vermischt man ihnen 3 Hand Weizen, 2 Hand Gerste und 5 Hand Heu ...“). Darstellungen von Pferden wie auf einem assyrischen Relief aus der Zeit um 700 v. Chr. (Louvre, Paris) bestätigen diese Art der Fütterung.

Da höhere Leistungen des Pferdes als Zug- und Tragtier von der Verfügbarkeit konzentrierter Futtermittel abhängen, konnte es erst mit dem Übergang vom Nomadentum zum Ackerbau intensiver genutzt werden. Im mediterranen Raum hat sich die Pferdefütterung im 1. Jahrtausend v. Chr. nach schriftlichen Belegen in dieser Richtung weiterentwickelt und differenziert. Im römischen Reich wurden Pferde nicht allein wegen ihrer militärischen Bedeutung geschätzt, sondern auch für sportliche Zwecke gepflegt; Mosaik zeugen von aufwändig ausgestalteten Gestüten.

Neben den ursprünglichen Futtermitteln (Laub, Gras, Heu, Stroh, Kaff, Luzerne) wurden auch Rüben und als Getreide die in diesem Raum gut gedeihende Gerste favorisiert. Auch Weizen (allerdings mit Vorbehalt) sowie Wicken, Erbsen und Kichererbsen waren üblich. Hafer wird erst in der spätrömischen Kaiserzeit erwähnt. Die römischen Soldaten erhielten als Furance für ihre Pferde Getreidekörner und kannten bereits das Risiko für Hufrehe nach einseitiger Gerstenfütterung.

Der Sonnenwagen von Trondholm, datiert auf die Bronzezeit ca. 1400 v. Chr., zeigt bereits ein „modern“ wirkendes Pferd, das vor allem im Hals- und Kopfbereich nicht dem Erscheinungsbild des

Wildpferdes entspricht. Dies legt nahe, dass auch in anderen Kulturen das Pferd eine hervorgehobene Stellung eingenommen hat und entsprechend alimentiert wurde.

Zweifellos wurden im Altertum die Pferde, die allein für Jagd, Sport, Krieg und nicht für Zugarbeit (für Warentransport und Feldarbeit, dies oblag Ochsen und Eseln) gehalten wurden, in der Regel sorgfältig betreut. Von Priamos z. B. heißt es im 24. Gesang der „Ilias“:

„Rosse für Priamos' Joch nun führten sie, welche der Alte selbst mit Sorge gepflegt an schön geglätteter Krippe ...“

Schon damals blühte bei der teilweise großen Passion für Pferde manche Extravaganz. Das Lieblingspferd des römischen Kaisers Caligula (37–41 n. Chr.) wurde u. a. mit Rosinen, Mandeln und Honig gefüttert und mit verdünntem Wein aus goldenen Schalen getränkt.

Mittelalter Im Mittel- und Nordeuropa lösten erst am Ende des 1. Jahrtausends n. Chr. neue Fütterungssysteme die allgemein bevorzugte Pferdehaltung auf Weide und Waldweide ab. Im fränkischen Raum hat Karl der Große (768–814 n. Chr.) Gestüte eingerichtet; in diesem Zusammenhang wurde vermutlich auch die Fütterung intensiviert. Die Nutzung des Pferdes dürfte der Oberschicht vorbehalten und damit stark militärisch geprägt gewesen sein. In Zentraleuropa war das Pferd als Fleischlieferant offenkundig unbedeutend, zumal durch päpstliche und kaiserliche Dekrete der Konsum von Pferdefleisch untersagt war. Untersuchungen zur Verteilung der Kohlen- und Stickstoffisotope in Haaren aus mittelalterlichen Artefakten in Tschechien deuten darauf hin, dass Gras- und Buschland die Nahrung für Pferde stellen mussten, wenngleich Getreide, allen voran Hafer, Hirse, Reis und auch Hanf neben Leguminosen nicht unbekannt waren.

Erst die Ausbreitung des Ackerbaus in Mittel- und Nordeuropa schaffte hier die Voraussetzungen, aber auch die Möglichkeiten für eine intensive Nutzung des Pferdes in der Landwirtschaft und zu militärischen Zwecken. Die Arbeitsleistung des Pferdes war 10-mal höher als die des Menschen und etwa doppelt so hoch wie die von Ochsen. Rit-

terpferde, die mit Rüstung und Reiter bis zu 170 kg tragen mussten, ließen sich mit Grundfuttermitteln (Gras, Heu, Stroh, Laub, Heidekraut) kaum ausreichend ernähren. In Mitteleuropa hatte sich der Hafer dank günstiger Anbaumöglichkeiten im maritimen Klima und seiner vorteilhaften verdauungsphysiologischen Eigenschaften als Körnerfutter durchgesetzt. Daneben wurden Gerste, Roggen (beide stets eingeweicht), Pferdebohnen, Erbsen, geringe Mengen Hirse, Dinkel und Weizen sowie Leinkuchen verwendet, vermutlich aber auch Möhren und andere Wurzeln. Als Raufutter dienten neben Laub, Heu und Gerstenstroh Klee, Wicken und ggf. Schilf. Mögliche Leistung und Futteraufwand repräsentieren allerdings einen gravierenden Interessenskonflikt. Aufgrund der Kosten war die Nutzung des Pferdes (in England ca. 4-mal teurer als Ochsen) in der kleinbäuerlichen Landwirtschaft sicher begrenzt, während die Pferde der Oberschicht regelmäßig Getreide erhalten haben und damit auch mehr leisten konnten.

Besonders sorgfältig wurde die Fütterungstechnik gehandhabt: Im bäuerlichen Betrieb erhielten Arbeitspferde ihr erstes Futter um 4–5 Uhr in der Frühe. Während des Tages wurde noch 3-mal gefüttert, in manchen Betrieben auch noch um Mitternacht.

Später hat sich die Pferdefütterung entsprechend den Nutzungsrichtungen und verfügbaren Futtermitteln entwickelt. In der Landwirtschaft unterschied man Gras- und Stallpferde. Die Graspferde (klein, weniger leistungsfähig, für leichte Arbeit) wurden vorwiegend auf der Weide gehalten. Die für schwere Arbeiten genutzten Stallpferde erhielten bei voller Leistung täglich etwa 6 kg Hafer und 7 kg Heu (rd. 120 MJ verdauliche Energie) – eine Futtermenge, die auch nach heutigen Kenntnissen Pferde mit einem Gewicht von 500 kg zu intensiver Arbeit befähigt. Wenn auch noch keine konkreten Vorstellungen über den Energie- und Nährstoffbedarf bestanden, so wurden doch schon differenzierte Methoden zur Bewertung der Futtermittel (Sinnenprüfung, Litergewicht für Hafer) entwickelt, wie aus älteren Gestütsaufzeichnungen hervorgeht.

19. Jahrhundert bis heute Wissenschaftliche Arbeiten zur Verdauungsphysiologie sowie zum Energie- und Eiweißstoffwechsel beginnen erst im

letzten Viertel des 19. Jahrhunderts, als bereits detaillierte Kenntnisse zu diesen Fragen bei Mensch und Hund vorlagen. Schrittmacher für die Fortschritte in den Kenntnissen zur Ernährung des Pferdes war die Entwicklung der analytischen Chemie. Frühe, eher sporadische Untersuchungen zum Ca- und P-Stoffwechsel des Pferdes werden Ende des 19. Jahrhunderts durch Skeletterkrankungen („Big Head Disease“, chronische Lahmheiten) ausgelöst. Erst nach der Jahrhundertwende folgen systematische Arbeiten zur Reproduktion dieser Störungen und zur Ermittlung des Bedarfs, überwiegend durch Militärveterinäre. Forschungen über Stoffwechsel und Bedarf von Spurenelementen und Vitaminen beginnen beim Pferd erst in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts.

Im 18. und 19. Jahrhundert gewinnt das Pferd neben seinen traditionellen Aufgaben in Landwirtschaft und Armee immer größere Bedeutung im Transportwesen. 1910 wurden in New York 128000 Pferde gezählt; 1930 arbeiteten 52000 Pferde in den britischen Bergwerken untertage. Die konzentrierte Haltung von Pferden außerhalb landwirtschaftlicher Bereiche, beim Militär und in Städten, verlangte eine arbeitssparende Fütterung, raumsparende Lagerung und einfache Handhabung der Futtermittel. Im Gegensatz zum landwirtschaftlichen Betrieb mussten vorrangig Trockenfuttermittel eingesetzt werden: die bekannten „3 H“ (Heu, Hafer, Häcksel), die noch Anfang des 20. Jahrhunderts in vielen Pferdeställen dominierten. Für die knapp 6000 Pferde der „General Omnibus Company“ Londons Mitte des 19. Jahrhunderts ist eine Tagesration von 3–4 kg Heuhäcksel, 1,5 kg Stroh und 8 kg Quetschhafer beschrieben.

Logistische Überlegungen führten konsequenterweise schon früh zur Herstellung konzentrierter Futtermischungen. Bereits Ende des 16. Jahrhunderts waren in England Rezepturen für Pferdebrod auf Basis von Erbsen und Getreide offenbar in sauerartige Zubereitung bekannt. Unmittelbar nach den Befreiungskriegen (1815/16) angestellte Versuche mit Futterbroten („russischer Zwieback“) wurden in der preußischen Armee nur halbherzig weiterverfolgt. Praktische Bedeutung erlangten „Pferdebiskuits“, die – zuerst 1870 wiederum in England hergestellt – auf dem Kontinent weit verbreitet und beliebt waren. Die kranzförmigen Ku-

chen von 10–12 cm Durchmesser (1 cm dick, auf Draht gereiht) konnten am Sattel mitgeführt werden. Sie enthielten neben Hafer- und Gerstenschrot Leinsamen und Erbsen, waren also energie- und eiweißreich. Der 1. Weltkrieg stimulierte zur Herstellung von Pressmischfutter (rd. 9–10 kg schwere Blöcke aus Heu, Hafer, Biertreber, Sesam, Sojamehl, Erdnüssen, Malzkeimen und Melasse) als „eiserne Reserve“. Im Zweiten Weltkrieg waren solche „Fertigfutter“ handlicher (rd. 5 kg) und enthielten neben Hafer, Heu und Stroh auch Kartoffelflocken und Futterhefe. Nach diesen Vorübungen für die Herstellung von einfach zu handhabenden Pferdemischfuttern wurde dann im Wesentlichen erst nach dem Zweiten Weltkrieg das Konzept der kommerziellen, pelletierten Mischfutter praxisreif.

Das Hauspferd erhielt keineswegs immer nur wenige ausgesuchte Futtermittel (Heu, Hafer), sondern je nach regionalen, saisonalen und logistischen Bedingungen recht unterschiedliche pflanzliche Produkte.

! Merke

Für die heutige Fütterungspraxis bleibt die Erkenntnis, dass wir einerseits die durchaus bestehende Elastizität des Verdauungskanals des Pferdes gegenüber verschiedenen Futtermitteln nutzen können, andererseits aber die in Jahrmillionen entstandene anatomische und ernährungsphysiologische Grundkonzeption beachten müssen. Denn beim Pferd sind in rd. 6000 Jahren seit seiner Domestikation Bau und Funktion des Verdauungskanals einschließlich des Mikrobioms ebenso wie der Rhythmus der Nahrungsaufnahme unverändert erhalten geblieben.

Die Pferdehaltung und -fütterung sind heute noch durch die Tradition der ehemaligen intensiven Nutzung in den verschiedenen Wirtschaftssegmenten geprägt. Dies ist konfliktträchtig angesichts der Lebensbedingungen des urbanen Pferdes im 21. Jahrhundert. So haben Aspekte des Verhaltens erheblich an Gewicht für Beschreibung des Bedarfs und damit die Rationsgestaltung gewonnen und gelten unabhängig von den traditionellen Bedarfsmerkmalen wie Energie und Nährstoffe.

2 Das Pferd in Zahlen – allgemeine Daten

Manfred Coenen, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †

2.1

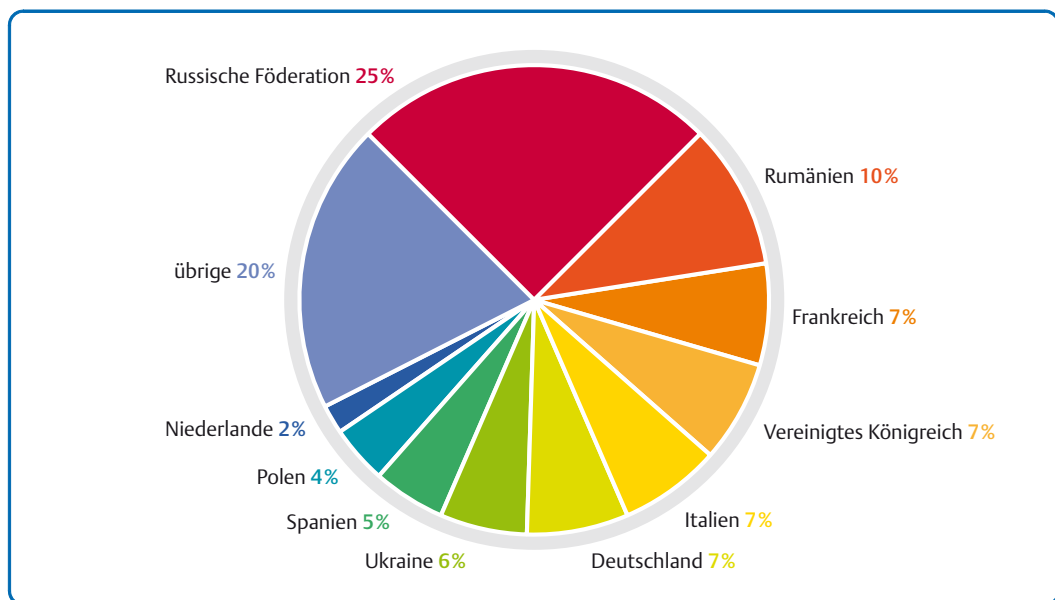
Zahl der Pferde

Weltweit wird die Zahl der Hauspferde auf ca. 60 Mio. geschätzt (► Tab. 2.1). Sie ist trotz Rückgang in der Landwirtschaft und in den hochentwickelten Industrieländern in den letzten 20 Jahren bemerkenswert konstant geblieben: Ein großer Teil der Pferde lebt heute in der Neuen Welt und in Asien; Europa stellt knapp 10% der Weltferdepopulation. Das Pferd, ein typischer Vertreter der gemäßigten Klimagebiete, ist in feuchtwarmen tropischen Zonen nicht heimisch geworden. Die deutlichsten Zuwächse in der Pferdepopulation sind auf dem amerikanischen Kontinent zu verzeichnen. Bemerkenswert ist der Umfang der Esel- und Maultierpopulationen, für die eine Nutzung im Sport weitgehend ausscheidet.

In Europa hat sich die Zahl der Pferde in den letzten 50 Jahren mehr als halbiert. Die 10 pferdereichsten Länder Europas beherbergen etwa 80%

der in Europa gehaltenen Pferde; Deutschland trägt mit knapp 400000 Pferden etwa 6,6% zu dieser Teilpopulation bei (► Abb. 2.1).

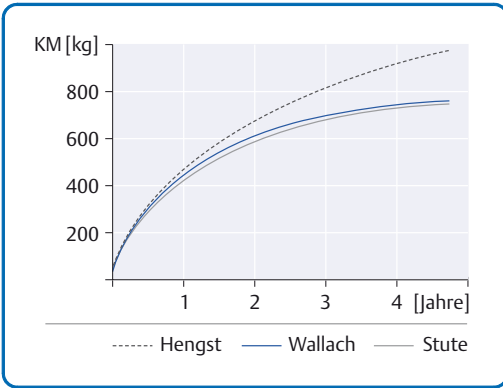
In Gesamtdeutschland gab es nach 1945 noch über 2 Mio. Pferde. Durch Ausdünnung in der Landwirtschaft war der Bestand bis in die 1970er Jahre rückläufig und hat sich nunmehr bei rd. 400000 Tieren eingependelt (Angaben der FAO sowie des Statistischen Bundesamtes; ► Tab. 2.1). Der Rückgang der Pferdepopulationen wird allgemein mit der Mechanisierung des Transportwesens und der Nahrungsmittelproduktion begründet. Steigende Kosten für fossile Brennstoffe ergeben allerdings unter bestimmten Bedingungen bei kleinen Betriebsgrößen eine ökonomische Überlegenheit des Pferdes gegenüber der Maschine, was in manchen Ländern für eine stärkere Nutzung des Tieres in der Agrarproduktion spricht.



► Abb. 2.1 Verteilung der Pferdepopulation in Europa (Abb. basiert auf Daten der FAO 2017).

► **Tab. 2.1** Pferdebestände weltweit (in Mio.) (Tab. basiert auf Daten der FAO 2017).

Geografische Zuordnung	1970	1990	2000	2010	2014	2014 (Esel/Maultiere)
Welt, insgesamt	61,0	61,0	57,8	59,8	58,8	42,8/10,2
Asien	16,5	16,3	16,7	13,6	14,3	16,5/3,0
Afrika	3,7	5,4	4,3	6,0	6,1	18,9/1,0
Nordamerika	4,5	5,5	5,6	10,4	10,7	0,05/0,03
Mittelamerika	6,6	7,1	7,2	7,3	7,3	3,3/3,5
Südamerika	12,4	14,6	15,3	14,3	12,9	3,0/2,4
Karibik	1,3	1,4	1,3	1,5	1,6	0,4/0,3
Ozeanien	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,009/–
Europa	15,4	10,2	7,0	6,3	5,6	0,5/0,2
Deutschland	0,40	0,48	0,48	0,55	0,37	–/–



► **Abb. 2.2** Entwicklung der Körpermasse bei Stuten, Wallachen und Hengsten, Niederländisches Kaltblut (Fohlen siehe ► **Abb. 4.12**) (Abb. basiert auf Daten aus den Engelsen 1966).

2.2

Größe und Körpermasse

Die Selektion nach verschiedenen Nutzungs- und Interessenrichtungen hat eine Vielzahl von Rassen hervorgebracht, weltweit gegenwärtig rd. 250. Zwergassen (z. B. Falabellas aus Argentinien) erreichen bei einer Körpermasse von <20 kg eine Widerristhöhe von <50 cm (Rekord 11,9 kg mit 38 cm), während die Riesen (z. B. Shirehorse) auf >1000 kg KM bei Widerristhöhen von 190 cm und mehr kommen (Rekord 1452 kg/2,19 m). Die wichtigsten Rassen in Deutschland sind in ► **Tab. 2.2** zusammengestellt. Innerhalb jeder Ras-

► **Tab. 2.2** Körpermasse (KM) ausgewachsener Pferde verschiedener Rassen (Durchschnitt von Stuten und Wallachen).

Rasse	kg KM
Shetland-Pony	135–270 ¹⁾
Connemara-Pony	365–455 ¹⁾
Welsh-Pony	2050–325 ¹⁾
Deutsches Reitpony	350–460 ²⁾
Isländer	310–500 ²⁾
Araber	420–570 ²⁾
Haflinger	400–610 ²⁾
Fjordpferd	545–635 ¹⁾
Vollblut	450–590 ²⁾
Quarter Horse	410–620 ²⁾
Deutsches Warmblut	500–760 ²⁾
Kaltblut	520–890 ²⁾
Ardenner	710–1060 ²⁾
Shire Horse	770–1220 ¹⁾

¹⁾ www.equi-analytical.com; ²⁾ www.pferdewaage24.de

se variiert die Körpermasse erheblich, je nach regionalen Zuchtbedingungen. Zwischen den Geschlechtern sind die Unterschiede gering, außer in einigen Kaltblutrassen, in denen Hengste erheblich schwerer werden als Stuten, während Wallache sich von Stuten nicht unterscheiden (► **Abb. 2.2**).

2.3

Körperzusammensetzung und Verteilung der Gewebe und Organe

Aus der Verteilung der wichtigsten Gewebearten im Organismus des Pferdes (► Tab. 2.3) geht hervor, dass rd. 40 % auf die **Muskulatur** entfallen, davon der größte Teil auf die Hinterhand.

Das **Skelett** umfasst rd. 15 % des Organismus. Es zeichnet sich im Vergleich zu anderen Spezies durch einen relativ hohen Aschegehalt (vor allem in den Gliedmaßenknochen), ein weites Ca:P-Verhältnis (2,2–2,4:1) sowie geringe Mg-Gehalte aus.

Der Anteil der **Haut** (einschließlich Haare und Hufe) erreicht rd. 6 % der Körpermasse.

Auf die Gewebe des **Verdauungskanal**s (ohne Inhalt) entfallen etwa 5 % der Körpermasse, unabhängig von der Futterart. Die Größe des Verdauungskanal sowie der assoziierten Organe Pankreas und Leber steht über die tierartlichen Grenzen hinweg betrachtet nicht in linearer Beziehung zur Körpermasse (1–1000 kg). Für das Pferd kann dennoch vereinfachend angenommen werden, dass sich der Verdauungstrakt linear mit der Größe des Pferdes verändert. Zwischen Ponys und Großpferden werden keine maßgeblichen Unterschiede in der Verdauungskapazität erwartet, wohl aber in

der Verwertung der Verdauungsprodukte. Allerdings bestehen bei gleicher Futtergrundlage Divergenzen bezüglich der Relation der Futterstrukturen zu der verfügbaren Kaufläche. Entsprechend unterschiedlich sind Verzehr rate (Futteraufnahme/Zeiteinheit) und Speichelbildung je Futter einheit zwischen Ponys und Großpferden (Speichelbildung/kg Krippenfutter: Großpferde > Ponys).

Der **Inhalt von Magen und Darm** variiert hingegen erheblich in Abhängigkeit von Futterart und -menge. Bei konzentrierten Futtermitteln (Krippenfutter) fällt er auf rd. 10 %, expandiert aber bei ausschließlicher Heufütterung durch stärkere Wasserbindung bis auf 20 % der Körpermasse. Die Unterschiede beruhen somit auf variablen Mengen an unverdaulichem Futter und – wichtiger – auf einem variierenden Wasservolumen im Darmkanal. Die Na-Menge im Darminhalt steigt parallel mit der Wassermenge an ($\emptyset$ 2,3 g Na/kg Darminhalt; zum Wasservolumen ► Abb. 3.1).

Die hohen physischen Leistungen des Pferdes beruhen vor allem auf einem effektiven Kreislauf- und Atmungsapparat. Das **Herz** des Pferdes ist mit durchschnittlich 0,8 % der Körpermasse (► Tab. 2.3) relativ groß (Mensch 0,4–0,5 %). Bei Vollblütern wurden 0,9 %, nach Training rd. 1,1 % der Körpermasse erreicht. Die relative Herzgröße ist – da mit dem Sauerstofftransport verbunden – daher ein leistungsrelevantes Merkmal. Entscheidend für die Leistung ist u. a. das Herzschlagvolu-

► Tab. 2.3 Verteilung von Geweben und Organen beim Pferd.

Gewebe bzw. Organ	Gewichtsprozent %
Muskulatur	40
Skelett	15
Verdauungskanal, leer	5
Inhalt des Verdauungskanal	10–20
Haut	6
Blut	6 (12) ¹⁾
Leber	1,4 (3) ¹⁾
Lunge	1,3
Herz	0,8
Milz	0,6
Nieren	0,35
Sonstiges	~10–14

¹⁾ Neugeborene

men, das bei 500 kg schweren Pferden 1,1–1,4 l betragen kann. Bei maximaler Leistung steigt die Herzfrequenz von 30 auf rd. 250 Schläge pro Minute, dann pumpt das Gesamtherz bei mittelgroßen Rassen rd. 600 l Blut/Min.; die je Herzschlag transportierte Sauerstoffmenge steigt von rd. 0,1 auf etwa 180 ml je kg Körpermasse und Minute.

Die **Blutmenge** variiert beim Pferd zwischen 6 und 9 % der Körpermasse (► Tab. 2.3). Sie ist bei Vollblütern höher als in anderen Rassen und vor allem durch eine höhere Erythrozytenzahl charakterisiert. Pferde, insbesondere trainierte Laufpferde, setzen bei körperlichen Belastungen relativ rasch rote Blutkörperchen aus der Milz frei. Der Hämoglobingehalt im Blut (und damit die Sauerstofftransportkapazität) können somit bei körperlichen Belastungen um 40 % ansteigen, von 14–15 g in Ruhe auf 18–20 g/100 ml Blut.

Auch die **Lunge** des Pferdes ist mit 1,3 % der Körpermasse relativ stark entwickelt. Das Atemzugvolumen kann von 1 l/100 kg KM in Ruhe auf rd. 1,8 l/100 kg KM während der Arbeit zunehmen. Durch Steigerung der Atemfrequenz, die in Ruhe < 25/min beträgt und sich bei hohen Belastungen auf 100–120 erhöht, werden Atemminutenvo-

lumina von fast 300 l/100 kg KM erreicht. Bemerkenswert ist hierbei, dass beim Pferd die Zeit, die das Blut die alveolären Areale durchströmt, in Gänze zur Sauerstoffaufnahme benötigt wird, anders als beim Wiederkäuer. Eine Störung der Lungenfunktion wie bei chronischen Erkrankungen muss daher unmittelbar den Sauerstofftransport beeinflussen.

Der Organismus des Pferdes besteht zum größten Teil aus **Wasser**: bei Neugeborenen zu rd. $\frac{3}{4}$, bei ausgewachsenen Tieren zu $\frac{2}{3}$ (► Tab. 2.4). Die Verteilung von Wasser und **Elektrolyten** im Organismus des Pferdes ist im Hinblick auf ihre Bedeutung für die Wärmeregulation in ► Tab. 2.5 und ► Tab. 2.6 detailliert aufgeführt. Das Körperwasser steht zum Fettgehalt in negativer Beziehung: je höher der Fettanteil, umso geringer der Wassergehalt.

Das Wasser verteilt sich entsprechend den Gewebeanteilen. Es fallen jedoch proportional geringere Mengen im Skelett, höhere in Blut und Haut auf. Der Wassergehalt im Verdauungskanal variiert entsprechend Futterart und -menge. Im Vergleich zu Konzentraten bedingen strukturreiche Futtermittel einen höheren Wassertransfer vom Dünndarm in den Dickdarm und eine Wasserbindung in Dickdarminhalt. Je nach Verdaulichkeit der organischen Substanz im Dickdarm durch mikrobielle Aktivität wird Wasser jedoch wieder verfügbar und resorbiert.

Das Körperwasser lässt sich mit Hilfe von Markern nach funktionellen Gesichtspunkten weiter aufteilen. Je kg KM entfallen auf den extrazellulären Raum rd. 200–270 ml (bei adulten Tieren rd. 36 % des Körperwassers [KM]) mit rd. 50–90 ml Plasmawasser und 150–220 ml interstitiellem („zwischenzellulärem“) Wasser. Die intrazelluläre Flüssigkeit, die bei Markerstudien auch das trans-

► **Tab. 2.4** Chemische Zusammensetzung und Energiegehalt des Gesamtkörpergewebes neugeborener und ausgewachsener Pferde (pro kg KM) (Tab. basiert auf Daten aus Robb et al. 1972; Schryver et al. 1974; Meyer u. Ahlswede 1976; Coenen u. Vervuert 2003).

Merkmal	Neugeborene	Ausgewachsene
Energie (MJ)	5	10 (7–12) ¹⁾
Eiweiß (g)	170	187 ¹⁾
Fett (g)	26	150 (60–200) ¹⁾
Wasser (g)	730	650

¹⁾ bezogen auf Ingesta-freie Masse

► **Tab. 2.5** Verteilung des Körperwassers auf Kompartimente (%) (Tab. basiert auf Daten aus Robb et al. 1972; Schryver et al. 1974; Meyer u. Ahlswede 1976; Coenen u. Vervuert 2003).

Kompartimente	Anteil am Gesamt-Körperwasser
außerhalb von Körperzellen (extrazellulär)	36,1
• Blutplasma	7,9
• Verteilungsraum außerhalb der Blutgefäße	28,2
innerhalb von Körperzellen (intrazellulär)	44,0
Magen-Darm-Trakt	19,9

► **Tab. 2.6** Mengenelemente in der Körpermasse des Pferdes und ihre Verteilung auf verschiedene Gewebe (Tab. basiert auf Daten aus Coenen 2013).

	Ca	P	Mg	Na	K	Cl	S
Menge (g/kg KM)							
Adulte	14,8	8,6	0,34	1,58	2,09	1,12	1,49
Feten bzw. Neugeborene	18,2	9,7	0,38	1,9	1,9	1,2	1,75
Anteile (%)							
Muskulatur	0,13	16,8	34,3	10,8	75,1	19,9	70,5
Skelett	99,5	81,4	55,7	51,1	4,7	13,9	11,5
Leber	<0,01	0,53	0,77	2,1	5,0	15,4	2,5
Niere	<0,01	0,11	0,17	2,1	5,0	15,4	2,5
Lunge	0,01	0,31	0,38	2,1	5,0	15,4	2,5
Herz	<0,01	0,20	0,48	2,1	5,0	15,4	2,5
Magen-Darm-Trakt	0,03	1,13	1,86	4,3	5,6	6,1	4,6
Haut	0,03	0,20	0,75	8,3	2,6	15,1	3,1
Blut	0,03	0,21	0,52	10,8	5,0	15,5	4,1

zelluläre Wasser (das vor allem im Verdauungskanal vorliegt) einschließt, erreicht 350–500 ml/kg KM; davon entfallen 80–180 ml/kg KM auf den Verdauungskanal. Der Extrazellarraum ist bei Belastungen oder Störungen im Wasserhaushalt besonders beansprucht. Während der **Eiweißgehalt** im Organismus des Pferdes nach der Geburt nur wenig ansteigt, nimmt der **Fettanteil** nachhaltig zu. Bei der Geburt haben Fohlen kaum Fettreserven. Intensiv gefütterte nicht verfettete Pferde, selbst Vollblüter können dagegen bis zu 20 % Fett im Körper speichern. Die Veränderungen im Körperfettbestand spiegeln sich im Energiegehalt der Körpermasse wieder. Die Bewertung des Ernährungszustands anhand des sichtbaren und/oder tastbaren Unterhautfettgewebes nach einem Punktesystem („Body Condition Scoring“) kann zur Einschätzung des Körperfettbestands hilfreich sein. Auch die Messung des Unterhautfettgewebes mittels Ultraschall ist möglich.

i Fettbestand des Gesamtkörpers

Anhand der Skalierung des Ernährungszustands mit dem verbreiteten Punktesystem (1 kachektisch, 9 stark verfettet) kann der Fettbestand des Gesamtkörpers geschätzt werden. Bei Zuchtpferden sollte der Fettbestand mit 18–20 % höher sein als bei Pferden im Reit- und Rennsport (< 18 %). Dies ist u. a. mit der negativen Beziehung zwischen Körperfett und maximaler Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) begründet. Erhöht sich der Fettbestand des Körpers um 5 %, sinkt VO_{2max} um 8,4 ml/kg KM je Minute (VO_{2max} , ml/kg KM je min = $151,7 - 1,67x$; x = Fettgehalt der Gesamtkörpermasse).

Die wichtigsten **Mengenelemente (Kalzium und Phosphor)** sind im Skelett deponiert. Sie erreichen bereits beim Neugeborenen eine hohe Konzentration aufgrund der fortgeschrittenen Skelettentwicklung (Fluchttier) und hohen Mineralisation der Knochen. Im Speziesvergleich fällt das Fohlen mit besonders hohen Kalziumbeständen auf. Mit zunehmendem Alter geht ihr Anteil u. a. infolge des erhöhten Fettansatzes relativ zurück (► Tab. 2.6). Auch **Magnesium** ist maßgeblich im Knochen eingelagert, allerdings ist hier eine stärkere Verteilung auch auf andere Gewebe erkennbar als bei den primären Knochenbaustoffen. Vom Gesamtkörper-**Natrium** sind rd. 50 % im Skelett deponiert, der Rest verteilt sich überwiegend über

den extrazellulären Flüssigkeitsraum auf andere Gewebe. Zwischen Skelett und extrazellulärem Raum bestehen begrenzte Austauschvorgänge. Auch **Chlorid** liegt vorrangig im extrazellulären Raum. Sein Anteil im Skelett ist erheblich geringer als der des Natriums, in der Haut dagegen höher. **Kalium** kommt überwiegend im intrazellulären Raum vor, dementsprechend entfällt der größte Teil auf das Muskelgewebe.

Unter den **Spurenelementen** fallen bei Fohlen besonders die hohen Gehalte an Eisen und Kupfer auf (Eisen zu 80% im Blut, Kupfer zu 60% in der Leber; ► Tab. 2.7). Beim Kupfer nimmt das Pferd eine Ausnahmestellung ein; die Leberkupferkonzentrationen sind deutlich höher als beim Menschen oder dem Schaf.

Aufgrund der Einbindung in zelluläre Funktionen verteilen sich die Spurenelemente insgesamt stärker auf Weichgewebe als die Mengenelemente; die relative Muskelmasse bedingt daher, dass der größte Anteil der Spurenelemente durch das Muskelgewebe repräsentiert wird, ausgenommen Mangan, dessen Bedeutung für die Skelettbildung und -erhaltung auch im Beitrag der Knochen zum Gesamtkörperbestand an Mangan deutlich wird.

2.4

Leistungen

Das Pferd wird in den meisten Ländern als Reit- und Zugtier verwendet. Die Reproduktionsleistungen und Wachstumsraten sind an dieser Nutzungsweise ausgerichtet. Die prinzipiell mögliche und früher relevante Fleischproduktion ist kaum mehr von Bedeutung. Zum Teil werden Leistungen parallel vollbracht, z. B. Bewegung und Trächtigkeit oder Laktation und bereits erneute Gravidität.

2.4.1 Reproduktion

Eine Zuchtstute soll jährlich möglichst 1 gesundes Fohlen zur Welt bringen. Im Durchschnitt werden jedoch nur etwa 5–6 vitale Fohlen innerhalb von 10 Jahren pro Stute aufgezogen. Als Höchstleistung wird von einer Ostfriesischen Stute berichtet, die vom 4. Lebensjahr innerhalb von 21 Jahren jedes Jahr nach einmaliger Belegung ein gesundes Fohlen brachte. Bei wild lebenden Pferden ist die Trächtigkeitsrate etwa ab dem 6. Lebensjahr annähernd konstant (>80%), während jüngere Stuten deutlich geringere Werte aufweisen und darüber hinaus höhere Verluste während der Gravidität (u. a. embryonaler Fruchttod) und Geburt verzeichnen. Die **Trächtigkeitsrate** je Rosse bzw. je

► **Tab. 2.7** Spurenelemente in der Körpermasse des Pferdes und ihre Verteilung auf verschiedene Gewebe (Tab. basiert auf Daten aus Coenen 2013).

Bezug/Gewebe	Fe	Cu	Zn	Mn	Se
Menge (mg/kg KM)					
Adulte	95	3,30	30	1,00	0,06
Feten bzw. Neugeborene	85–118	3,8–5,0	21–42	0,7–1,3	0,06
Anteile (%)					
Muskulatur	32,12	65,97	46,71	27,91	42,46
Skelett	12,82	20,43	37,82	53,63	32,10
Leber	3,64	3,48	4,83	2,87	5,58
Niere	0,35	0,80	0,73	0,35	2,29
Lunge	1,79	0,69	0,85	0,32	0,87
Herz	0,47	0,90	0,73	0,30	0,70
Magen-Darm-Trakt	1,36	2,03	2,80	3,23	3,43
Haut	1,68	3,30	1,23	8,05	5,70
Blut	36,15	1,27	0,18	1,11	3,06
Sonstiges	9,62	1,14	4,11	2,24	3,81

Zuchtsaison liegt bei Zuchtpferden nach neueren Auswertungen bei rd. 40 bzw. 75%; die Fertilität der Stuten nimmt schließlich etwa mit 15 Jahren ab.

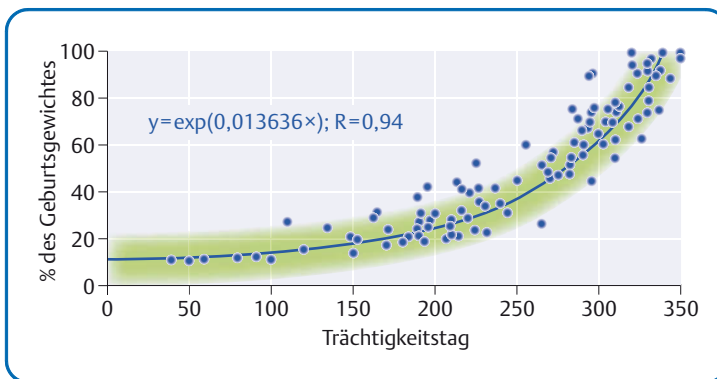
Die **Tragezeit** beträgt beim Pferd im Mittel 336 (323–350) Tage; bei unbefriedigender Energie- und Nährstoffzufuhr in der frühen Trächtigkeit kann ein Abbruch der Trächtigkeit erfolgen, während in der fortgeschrittenen Phase der mütterliche Organismus versucht, Engpässe zu kompensieren. Dies ist in begrenztem Umfang mit einer verlängerten Tragezeit verbunden (z. B. Abfohlung nach 406 Trächtigkeitstagen bei einer kachektischen Stute). Das Wachstum des Feten und der Plazenta im Verlauf der Trächtigkeit verläuft exponentiell (► Abb. 2.3) mit sehr hohen Zuwachsraten im letzten Trächtigkeitsdrittel (► Tab. 2.8).

Die **Fohlen** sind bei der Geburt schon relativ groß und verfügen als Fluchttiere über einen leistungsfähigen Bewegungsapparat. Im Mittel weisen sie als Neugeborene 10–11 % ihrer späteren Körpermasse auf. Fohlen kleiner Rassen sind mit 11–13 % deutlich weiter entwickelt als bei Riesen (7–8 %).

2.4.2 Milchbildung

Die Höhe der Milchproduktion von Stuten richtet sich nach ihrer Größe und dem Laktationsstadium. Bei großen Pferderassen erreicht sie im Mittel 3 %, bei Ponys 4 % der Körpermasse (► Abb. 2.4, ► Tab. 2.9).

Die Milchleistung ist in absoluter Höhe und im Verlauf maßgeblich eine Abbildung der „Nachfrage“, d. h. des Energiebedarfs des wachsenden Säuglings, und kann artifiziell durch zusätzliches Melken deutlich gesteigert werden. Die publizierten Daten zeigen eine erhebliche Streuung der erfassten Milchmengen, so dass eine Laktationskurve nicht direkt erkennbar wird. Die maximale Milchleistung, die schon nach rd. 30 Tagen erzielt wird, erreicht bei Pferden (500–600 kg KM) 18–20 kg, was eine Energieabgabe (=Energieaufnahme für das Fohlen) von 40–46 MJ/Tag bedeutet (► Tab. 2.9, ► Tab. 2.10). Bei ungenügender Energie- und Nährstoffaufnahme geht die Milchmenge zunächst nur wenig zurück. Die Stute mobilisiert ihre Körperreserven und magert ab. Der Milchbildung und damit dem Saugfohlen wird metabolisch absolute Priorität eingeräumt. Der Rückgang der



► **Abb. 2.3** Entwicklung der Masse des equinen Fetus (in % der Körpermasse bei der Geburt) (Abb. basiert auf Daten aus Caskin u. Bogdanov 1952; Meyer u. Ahlswede 1976; Platt 1978; Fowden et al. 1999, 2000a, b; s. GfE 2014).

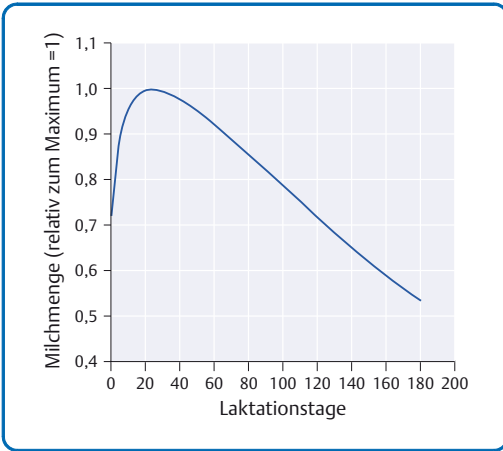
► **Tab. 2.8** Entwicklung der Konzeptionsprodukte (Fetus und Plazenta) zu verschiedenen Zeitpunkten der Trächtigkeit (Tab. basiert auf Daten aus GfE 2014).

Körpermasse der Stute	Gewicht der Konzeptionsprodukte (kg)			Zunahme (g/Tag)		
	Trächtigkeitstag					
	275	305	336	275	305	336
200	10,6	15,3	22,4	130	188	275
400	21,1	30,6	44,6	260	376	551
600	31,7	45,9	67,2	390	564	826

► **Tab. 2.9** Milchmengenleistung und Energieabgabe über die Milch bei Stuten (Tab. basiert auf Daten aus Coenen et al. 2011; GfE 2014).

KM	Milchmenge (kg)		Milchenergie (MJ)	
	Max. ^{1)*}	Gesamt ²⁾	Max.*	Gesamt ²⁾
100	4,3	128	9,3	273
200	7,7	225	16,4	482
300	10,7	314	22,9	683
400	13,5	398	28,9	852
500	16,2	478	34,7	1023
600	18,9	555	40,3	1188
700	21,4	630	45,8	1348
800	23,9	703	51,1	1503

* Maximum je Tag; ¹⁾ am Ende des 1. Laktationsmonats; ²⁾ bei 180 Laktationstagen



► **Abb. 2.4** Angenommener Verlauf der Milchmengenleistung bei säugenden Stuten relativ zum Maximum = 1 (normiert auf 2,14 MJ je kg Milch) (Abb. basiert auf Daten aus Coenen et al. 2010; GfE 2014).

Energie- und Nährstoffaufnahme des Saugfohlens über die Milch wird durch die zunehmende Festfutteraufnahme vollständig kompensiert, so dass Fohlen mit 6 Monaten abgesetzt werden können. Unter natürlichen Bedingungen trennt sich das Fohlen erst im Alter von 8–9 Monaten von der Mutterstute.

Die Stutenmilch (► **Tab. 2.11**), die in manchen Teilen der Welt auch dem menschlichen Konsum dient (u. a. zur Herstellung von Kosmetika), zeichnet sich im Vergleich zur Kuhmilch durch einen hohen Zucker- (Laktose-), aber geringen Eiweiß-

► **Tab. 2.10** Milchmengenleistung bei Stuten (Tab. basiert auf Daten aus Coenen et al. 2011; GfE 2014).

Milchmenge relativ zum Maximum	
Laktationstag	Relationswert
60	0,92
75	0,87
90	0,82
105	0,77
120	0,72
135	0,67
150	0,62
180	0,53

und Fettgehalt aus, was andererseits vom Fohlen eine hohe Saugfrequenz erfordert.

Das **Kolostrum** weist aufgrund der Immunglobuline sehr hohe Eiweißgehalte auf, die aber binnen 12, max. 24 h zurückgehen; das Milchweiß ist reich an essenziellen Aminosäuren, insbesondere Lysin und Leucin. Die Zusammensetzung des Milcheiweißes verändert sich offenbar nicht.

Im MilCHFett kommen größere Anteile an ungesättigten Fettsäuren (insbesondere Linolensäure) vor. Im Verlauf der Laktation nehmen die Gehalte an Eiweiß sowie an den mineralischen Baustoffen Kalzium, Phosphor und Magnesium ab. Für die übrigen Milchinhaltsstoffe können über die Laktation hinweg weitgehend konstante Werte angesetzt werden.

► **Tab. 2.11** Zusammensetzung des Kolostrums bei Pferden sowie der reifen Pferdemilch (Tab. basiert auf Daten aus Coenen et al. 2010; GfE 2014).

Inhaltsstoff	Einheit	Kolostrum	Milch im Laktationsmittel	Milch an Laktationstag				
				30	60	90	120	150
Bruttoenergie	kJ/kg	3276	2150	*				
Asche	g/kg	6	4,2	*				
Fett	g/kg	18,8	13,9	*				
Laktose	g/kg	48,3	64,6	*				
Eiweiß	g/kg	79,8	23,2	23,4	21,1	19,8	18,8	18,1
• Leucin	g/kg	6,93	2,15	2,16	1,95	1,83	1,74	1,67
• Lysin	g/kg	6,87	1,72	1,73	1,56	1,47	1,40	1,34
• Threonin	g/kg	5,50	0,98	0,99	0,89	0,83	0,79	0,76
• Valin	g/kg	4,18	1,27	1,28	1,15	1,08	1,03	0,99
• Phenylalanin	g/kg	3,58	1,00	1,01	0,91	0,85	0,81	0,78
• Arginin	g/kg	3,44	1,19	1,20	1,08	1,01	0,96	0,92
• Histidin	g/kg	3,03	0,65	0,65	0,59	0,55	0,53	0,51
• Isoleucin	g/kg	2,40	1,04	1,05	0,94	0,88	0,84	0,81
• Tryptophan	g/kg	1,12	0,55	0,56	0,50	0,47	0,45	0,43
• Methionin	mg/kg	1,05	0,50	0,51	0,46	0,43	0,41	0,39
Kalzium	mg/kg	874	1033	995	870	796	744	704
Phosphor	mg/kg	683	604	534	449	400	365	338
Magnesium	mg/kg	203	73	74	63	57	52	49
Natrium	mg/kg	424	183	*				
Kalium	mg/kg	1084	666	*				
Chlorid	mg/kg	1)	278	*				
Schwefel	mg/kg	1025	241	*				
Kupfer	mg/kg	1,6	0,29	*				
Zink	mg/kg	4,4	2,2	*				
Eisen	mg/kg	0,9	0,7	*				
Mangan	mg/kg	0,045	0,039	*				
Selen	mg/kg	0,093	0,032	*				
Vitamin A	IU/kg	2600	2077	*				
Vitamin D ₃	IU/kg	216	128	*				
Vitamin E	mg/kg	1,34	1,13	*				
Vitamin K	mg/kg	0,04	0,03	*				
Vitamin C (Ascorbinsäure)	mg/kg	25	109	*				
Thiamin	µg/kg	380	209	*				
Riboflavin	mg/kg	1,4	0,35	*				
Niacin	mg/kg	1,6	0,62	*				
Pantothensäure	mg/kg	7,5	0,33	*				

* keine wesentlichen Veränderungen im Verlauf der Laktation

1) kein Wert vorhanden

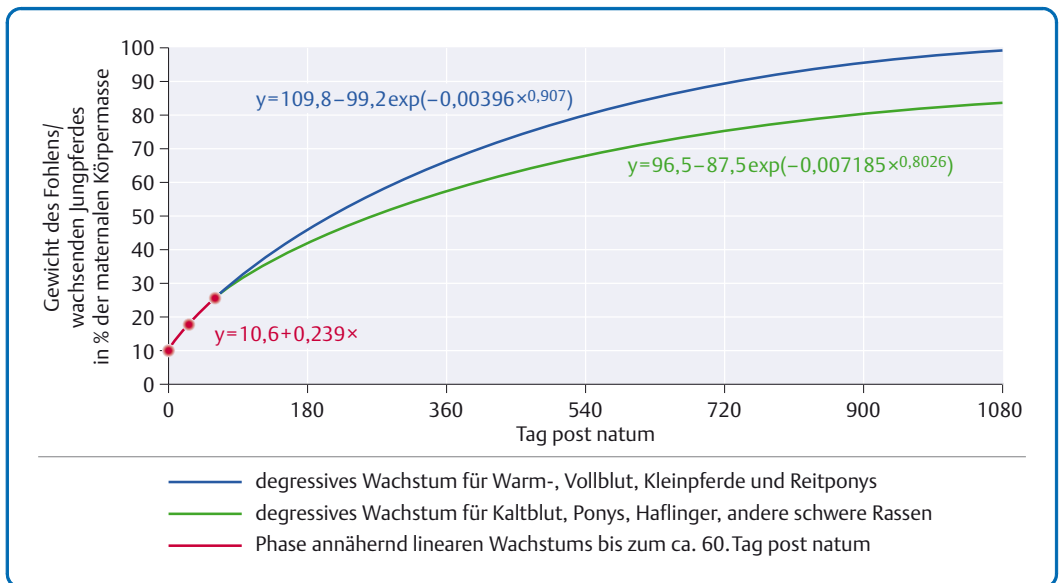
Von den Milchinhaltsstoffen können allein das Fettsäurenmuster sowie die Gehalte an Jod, Selen, Vitamin A und E nachhaltig über die Fütterung der tragenden und laktierenden Stuten beeinflusst werden.

2.4.3 Postnatales Wachstum

Das intrauterine Wachstum ist durch Zellvermehrung geprägt, während mit der Geburt die sich einstellende Dominanz der Zellvergrößerung für Wachstumsprozesse angezeigt wird. Da das neugeborene Fohlen über ein weitgehend ausdifferenziertes Gehirn verfügt, ist es zur eigenständigen Bewegung befähigt. Das exponentiell verlaufende intrauterine Wachstum wird postnatal durch eine zunehmend flacher werdende Wachstumskurve abgelöst. Dementsprechend ist das anfängliche Wachstum noch außerordentlich intensiv, obwohl eine direkte Selektion auf diese Leistung niemals erfolgte. Das Geburtsgewicht hat sich nach 35–45 Tagen verdoppelt (► Abb. 2.5, ► Tab. 2.12), nach 2 Monaten verdreifacht; die spätere Entwicklung verläuft langsamer. Bei mittelgroßen Rassen werden im 1. Lebensmonat Tageszunahmen von 1,5 kg erzielt. Die Wachstumsintensität bzw. Gewichtsentwicklung divergiert nicht nur über die Zeit

nach der Geburt, sondern – für die Ableitung von Versorgungsempfehlungen relevant – auch zwischen den Rassen (► Abb. 2.5). Bei Ponys (100–300 kg KM) und schweren Rassen (700–1000 kg KM) wird ein langsames Wachstum angenommen als bei Warmblut- und Vollblutpferden (► Abb. 2.5). Durchschnittliche Zunahmen werden in der ► Tab. 2.13 aufgezeigt.

Je nach Rasse, körperlicher Belastung und Ernährung beginnen mit 15–20 Jahren Alterungsprozesse, die besonders am Kopf (härtere Konturen, Vertiefung der Augen und Jochbeingruben, Herabhängen der Unterlippe) und an den Zähnen (stärkere horizontale Stellung der Schneidezähne) auffallen. Das Höchstalter wird mit 30–33, der Rekord mit 62 Jahren angegeben. Je nach Haltungs- und Nutzungsbedingungen sind altersbedingte Veränderungen in der Verdauungsleistung, Sauerstoffaufnahme und Muskelmasse unterschiedlich stark ausgeprägt; allgemein forciert Bewegungsarmut diese Prozesse.



► **Abb. 2.5** Postnatale Entwicklung der Körpermasse (in % der maternalen Körpermasse) (Abb. basiert auf Daten aus Hois 2004, Hois et al. 2005, Mack 2006, Vervuert et al. 2005; s. GfE 2014).

► **Tab. 2.12** Gewichtsentwicklung (kg) von Pferden bei unterschiedlichem Endgewicht (Tab. basiert auf Daten aus GfE 2014).

Alter	Endgewicht des Pferdes (kg)							
	100	200	300	400	500	600	700	800
15. Tag	14	29	43	60	75	90	100	115
30. Tag	18	36	54	75	94	113	127	145
45. Tag	21	43	64	89	111	134	150	171
60. Tag	24	49	73	102	127	153	170	194
90. Tag	29	59	88	125	157	188	206	235
120. Tag	34	68	102	147	183	220	237	271
150. Tag	38	76	114	166	207	249	265	303
180. Tag	41	83	124	184	229	275	290	332
1. Jahr	58	116	174	267	334	401	405	463
2. Jahr	75	151	226	356	445	534	528	604
3. Jahr	84	169	253	398	497	597	591	675

► **Tab. 2.13** Körpermassezunahme pro Tag (g) bei wachsenden Pferden bei unterschiedlichem Endgewicht (Tab. basiert auf Daten aus GfE 2014).

Alter	Endgewicht des Pferdes (kg)							
	100	200	300	400	500	600	700	800
15. Tag	278	555	833	1058	1322	1587	1943	2220
30. Tag	231	462	693	953	1191	1429	1616	1847
45. Tag	204	409	613	883	1103	1324	1430	1634
60. Tag	186	371	557	828	1035	1242	1299	1484
90. Tag	159	318	477	742	927	1113	1113	1272
120. Tag	140	280	421	673	842	1010	982	1122
150. Tag	126	251	377	616	770	924	880	1005
180. Tag	114	228	341	566	708	850	797	910
1. Jahr	69	139	208	357	447	536	486	556
2. Jahr	33	66	99	161	202	242	231	264
3. Jahr	18	35	53	77	97	116	123	141

2.4.4 Bewegung

Allgemeine Merkmale der Muskularbeit

Bei der Muskeltätigkeit wird chemische Energie in Wärme (rd. 75%) und mechanische Energie (rd. 25%) umgewandelt und somit Arbeit verrichtet. Zu unterscheiden sind:

- horizontale Fortbewegung: kinetische Energie
- Steig- oder Hubarbeit: potentielle Energie
- Zugarbeit: Zugkraft

Metabolisch verfügbare chemische Energieträger sind Glykogen, Glukose, Triglyzeride, Fettsäuren, Milchsäure und Aminosäuren. Ihre Nutzung erfolgt

- **aerob:** Auf dem Wege der Oxidation der Substrate, d. h. bei Verbrauch von Sauerstoff, wird Adenosintriphosphat (ATP) gebildet und damit die Muskeltätigkeit ermöglicht.
- **anaerob:** Die Herzfrequenz verändert sich bei Muskeltätigkeit analog zum Sauerstoffverbrauch. Bei einem Übergang auf höhere Aktivität steigt die Herzfrequenz nicht immer so rasch an wie

der ATP-, d. h. Energieverbrauch der Muskulatur; das Organ benötigt wenige Minuten, um sich auf die Anforderungen einzustellen (vorübergehende Sauerstoffschuld). Bei hohen Geschwindigkeiten und entsprechend hohem ATP-Bedarf kann das Herz endgültig nicht so viel Sauerstoff-angereichertes Blut in die Muskulatur pumpen, wie für die Muskelkontraktionen nötig wäre; wahrscheinlich ist es den Muskelzellen auch nicht möglich, mehr Sauerstoff aufzunehmen. Unter diesen Bedingungen entsteht eine weitere, umfangreichere Sauerstoffschuld. Das Pferd kann jedoch die oben genannten Substrate auch ohne Sauerstoff, d. h. auf anaeroben Wege nutzen. Hierbei wird notwendigerweise Milchsäure gebildet. Die Milchsäurekonzentration im Blut während der Arbeit spiegelt den Umfang der anaeroben Bereitstellung von ATP. Diese ist nicht an bestimmte „Grenzbelastungen“ oder Schwellen gebunden, sondern erfolgt bei forcierter Belastung kontinuierlich und nimmt bei hohen Geschwindigkeiten bzw. hohen Herzfrequenzen exponentiell zu.

Sauerstoffverbrauch (Oxidation von Glukose, Glykogen, Fett- und Aminosäuren) und Milchsäurebildung (anaerober Umsatz von Glukose und Glykogen) repräsentieren daher den Substratverbrauch für die Muskeltätigkeit. Insgesamt sind während der Belastung Herzfrequenz, Sauerstoffverbrauch sowie im Blut Milchsäure und freie Fettsäuren messbar, um den metabolischen Aufwand zu verfolgen. Die inzwischen verfügbaren mobilen Geräte zur Gaswechsellmessung lassen derartige Prüfungen sogar unter Feldbedingungen zu.

Die notwendigen Substrate sind nur in geringem Umfang direkt dem Zellinhalt der arbeitenden Muskelzellen oder dem sie versorgenden Blut zu entnehmen, vielmehr müssen sie aus den Depots (Glykogen aus Muskulatur u. Leber, Fettsäuren aus dem Depotgewebe) mobilisiert werden; dies wiederum erfordert eine Repletion der Substratbestände. Daher ist zu beachten, dass bei Bewegung die metabolischen Leistungen nicht mit Einstellen der körperlichen Aktivität enden. So kann die Wiederauffüllung der Glykogenbestände der Muskulatur mehrere Tage erfordern.

Bewegungsleistungen

Geschwindigkeit Das Pferd imponiert vor allem durch seine physische Leistungsfähigkeit (Geschwindigkeit, Zugkraft).

Im Vergleich zu anderen Haustierarten ist das Pferd sehr schnell. Allein Rennhunde erreichen über 300–600 m bis 60 km/h. Der Mensch entwickelt auf kurzen Sprintstrecken (100 m) Spitzengeschwindigkeiten von 36 km/h.

Höchstgeschwindigkeiten sind in Rennregistern gut belegt. Über Strecken von 400 m werden fast 70 km/h, über 1600 m 62–63 km/h erreicht. Bei den Meisterschaften der Quarter Horses wird die Viertelmeile i. d. R. in 21–23 sec absolviert. Auf Distanzen über 1500 m geht die Geschwindigkeit zurück, bleibt aber auf Strecken bis zu 3000 m noch bei rd. 55 km/h. Die durchschnittliche Höchstgeschwindigkeit auf Galopprennbahnen ist in den letzten Jahrzehnten nur geringfügig gestiegen (um 1900: 55–56, 2008–2017: 58–59 km/h; www.galopp-sieger.de), trotz verbesserter Trainings- und Haltungsbedingungen, während Traber in dem genannten Zeitraum durchschnittlich 15 % schneller wurden. Da im Bereich der Spitzengeschwindigkeit geringe Leistungszuwächse nur bei erheblicher Steigerung energetischer Umsetzungen und biomechanischer Abläufe (die Beschleunigung der Hufe liegt bei > 130 g!) denkbar sind, stellt auch ein geringer Anstieg der Renngeschwindigkeit eine deutliche Leistungssteigerung dar. Nach bisherigen Beobachtungen besteht kaum Aussicht, dass Rennpferde auf den gängigen Rennstrecken > 65 km/h erzielen.

Ausdauer Neben den Höchstgeschwindigkeiten imponieren die Ausdauerleistungen. Sie werden stark von Kondition, Belastung, Bodenverhältnissen, Pflege etc. bestimmt. Im Mittel absolvieren Pferde bei Distanzritten 50–70 km/Tag, Hochleistungswettbewerbe führen über bis zu 160 km. Wesentlich längere Strecken wurden bei historischen Leistungsritten bewältigt, z. B. Wien – Paris (1250 km) in 12 Tagen oder Metz – Bukarest (2160 km) in 25 Tagen. Bemerkenswert ist der Ritt von G. Perry (Australien) mit 22 565 km in 157 Tagen (abwechselnd mit 6 Pferden); der Rekord wird F. Tschiffely (Schweiz) mit 2 Criollos zugeschrieben, die ihren Reiter in 2,5 Jahren von Buenos Aires nach Washington DC trugen. In heutigen Dis-

tanzwettbewerben erreichen optimal trainierte Pferde Durchschnittsgeschwindigkeiten von rd. 20 km/h. Bei den Weltmeisterschaften 2016 bzw. 2017 erreichten 18 bzw. 5 Pferde das Ziel nach 160 km mit durchschnittlich > 20 km/h. Während solcher Wettbewerbe werden längere Abschnitte über ca. 50–60 Minuten auch mit Geschwindigkeiten um 25 km/h absolviert.

Hochsprung, Weitsprung Für Hochsprünge scheinen Pferde von Natur aus wenig disponiert, gleichwohl bewältigen sie Höhen von über 2 m (Rekord 2,47 m). Bei anspruchsvollen Wettbewerben meistern Pferde Weitsprünge über Wassergräben von bis zu 4 m; der Rekord liegt bei > 8 m.

Zugleistung Unter den Zugleistungen sind Dauer- und Höchstleistungen zu unterscheiden. Bei einer Geschwindigkeit von 4 km/h kann ein Pferd über längere Zeit eine Zugkraft (in Newton = N) aufbringen, die dem 1–1,2-Fachen seiner Körpermasse (in kg) entspricht (d. h. bis 1200 N), z. B. beim Pflügen. Während kurzfristiger Belastung wird das 10-Fache an Zugkraft entwickelt. Bei dem berühmten Versuch von O. v. Guericke, mittels Pferdekraft 2 durch Vakuum zusammengehaltene Halbkugeln zu trennen, waren die Pferde nicht in der Lage, die theoretisch nötige Zugkraft von rd. 1731 N je Pferd zu entwickeln.

Zugkraftwettbewerbe sind regional sehr populär; u. a. Kaltblutpferde ziehen hierbei im Gespann Schlitten mit einer Zuglast von mehr als 4 Tonnen über eine kurze Distanz. Bei dem Zugkraftwettbewerb anlässlich der Calgary Stampede zogen Zweispänner unterschiedlicher Gewichtsklassen Lasten zwischen 3000 und 5000 kg über 4,3 m. Da die Reibungskräfte zwischen Last und Boden sehr unterschiedlich sind, kann aus der Last (kg) allerdings nur bedingt auf die geforderte Zugkraft zur Bewegung der Last geschlossen werden.

Bei typischen Tätigkeiten in der Landwirtschaft werden Zugkräfte (N) von < 100–4000 verlangt, die ab rd. 1200 N Zwei- und 2000 N auch Dreispänner erfordern, wenn die Zugkraft über längere Zeit aufgebracht werden soll.

Lastentransport Pferde vermögen Lasten bis zu 40 % der KM zu tragen. Die Rassen unterscheiden sich erheblich in der Fähigkeit, hohe Lasten auf-

zunehmen. Allgemein weisen die Daten darauf hin, dass Lasten zu einer linearen Erhöhung des Energieumsatzes führen. Lasten von > 25 % der KM bedingen deutliche Steigerungen der Herz- und Atemfrequenz und zusätzliche Laktatbildung (anaerobe Energiegewinnung), bei < 30 % der KM verändert sich die Bewegungen der Gliedmaßen; derartige Lasten können nur über kurze Distanzen bewältigt werden.

Thermoregulation bei körperlicher Arbeit

Bei physischer Aktivität erwärmt sich der Körper, da von der in der Muskulatur umgesetzten Energie nur 25–35 % in Muskelbewegung, der Rest in Wärme übergeht. Die Wärmebilanz ist besonders bei länger andauernden Belastungen leistungsbestimmend. Sie umfasst die arbeitsbedingte Wärmebildung und Wärmeaufnahme durch Sonneneinstrahlung. Der Ausgleich erfolgt über Wärmespeicherung im Gewebe sowie Wärmeexport aus dem Körper über Verdunstung auf der Haut und in der Lunge, Wärmeabstrahlung, -strömung (Konvektion) und -diffusion (Konduktion).

Das Pferd reguliert seinen Wärmehaushalt ähnlich wie der Mensch, jedoch im Gegensatz zu fast allen anderen Spezies vor allem über **Schweißbildung** und **-verdunstung** sowie über die Erwärmung der Ausatemluft. Aus den Daten zur Wärmebilanz arbeitender Pferde geht die Bedeutung der Haut bzw. Schweißbildung für die Thermoregulation hervor (► Tab. 2.14). Der Anstieg der Körperinnentemperatur zeigt den Umfang der Wärmespeicherung an und belegt zugleich die begrenzte Möglichkeit, Wärme temporär zu speichern: Die Wärmebildung ist mit einem Anstieg der Temperatur im Blut assoziiert. In der A. pulmonalis werden bei intensiver Arbeit Temperaturen von bis zu 42 °C erreicht; während der Perfusion des Lungengewebes erfolgen Sauerstoffaufnahme und Wärmeabgabe, so dass sauerstoffangereichertes und „geköhltes“ Blut in den großen Kreislauf zurückgeführt wird. Der größte Teil der Wärmeenergie verbleibt dann zum Export über die Schweißbildung. Damit ist deutlich, dass diese Funktion der Haut für die Arbeitsleistung unabdingbar ist. Da feuchte Luft bei der Inhalation oder von der Hautoberfläche weniger Feuchtigkeit aufnehmen kann als trockene, kann die Temperatur

► **Tab. 2.14** Wärmebilanz bei Arbeitsbelastung von Pferden bei 500 kg KM, 25 °C, 60 % rel. Luftfeuchte: 1 °C Anstieg der Rektaltemperatur.

Dauer der Belastung (min)	60	60	60	30	3
Gangart	Schritt	Trab, leicht	Galopp, leicht	Galopp	Galopp, max.
Energieumsatz, gesamt (MJ/d)	10,7	28,2	57,6	41,4	7,5
Wärmeenergie (MJ/d)	7,8	20,6	42,0	30,2	5,5
Verteilung der Wärmeenergie (%)					
Speicherung im Gewebe	4,5	4,2	4,1	6,9	15,8
Elimination	> Atmung	19,7	19,6	31,8	26,1
	> Abstrahlung	19,4	7,6	4,0	1,4
	> Schweißbildung	56,4	68,5	60,1	57,3
nötige Schweißmenge (l)	1,8	5,8	10,5	7,2	1,3

► **Tab. 2.15** Schweißmenge (l/100 kg KM je Tag) in Abhängigkeit von der Arbeitsleistung (Tab. basiert auf Daten aus GfE 2014).

Arbeitsleistung	Schweißmenge (l/100 kg KM/Tag)	Ø Schweißmenge ¹⁾
leichte Arbeit	0,5–1,2	0,8
mittlere Arbeit	1,3–1,7	1,5
schwere Arbeit	1,8–2,4	2,1
sehr schwere Arbeit	2,5–> 5	3,5

¹⁾ zur Einteilung der Arbeit siehe ► **Tab. 4.8**

der Umgebung allein kein Kriterium für die Anforderung an die Thermoregulation sein.

Je nach den Umweltbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Wind, Sonneneinstrahlung) variiert die Schweißmenge erheblich in Abweichung von den Orientierungswerten in ► **Tab. 2.15**.

Über den ganzen Körper verteilt mit größter Dichte an Schulter, Hals und Unterbauch liegen **Schweißdrüsen** (mehrere Hundert/cm²), die innerhalb kurzer Zeit erhebliche Schweißmengen produzieren können als logische Folge der Wärmebildung. Während eines Distanzritts verloren 500 kg schwere Pferde in 5 h rd. 35 l oder 7 % ihrer Körpermasse (► **Tab. 2.15**).

Zur Schätzung der möglichen Schweißmengen kann die Beurteilung der Körperoberfläche dienen (► **Tab. 2.16**); auch Wägungen der Pferde vor und nach Belastung geben einen Anhaltspunkt.

Der Schweiß des Pferdes weist höhere **Elektrolytgehalte** (Natrium, Kalium, Chlorid) auf als der des Menschen. Die Natriumkonzentration liegt in ähnlicher Höhe wie im Blutplasma, die Werte von Kalium und Chlorid sind hingegen höher (► **Tab. 2.17**). Selbst bei ungenügender Zufuhr an Wasser oder Elektrolyten bleibt bei körperlicher Belastung die Schweißproduktion unverändert, allerdings auf Kosten des Körperbestands an Wasser und Elektrolyten.

► **Tab. 2.16** Anhaltspunkte zur Schätzung von Schweißmengen beim Pferd unter Arbeitsbelastung (Tab. basiert auf Daten aus Zeyner et al. 2014; GfE 2014).

Schweiß-Score	Beobachtete Veränderungen	Schweißverlust, Empfehlung zur praktischen Nutzung ¹⁾
1	- Fläche unter dem Sattel teilweise trocken, teilweise aber auch dunkle, klebrige und feuchte Areale - Halsbereich klebrig - Flanken dunkler als normal	1–4 (0,2–0,7)
2	- Fläche unter dem Sattel und Areale am Hals nass - evtl. kleine weiße Areale an den Schabrackenrändern infolge von Schaumbildung - Reibungsflächen zwischen Hals und Zügel sowie zwischen den Innenschenkeln können infolge Schaumbildung weiß sein	> 4–7 (> 0,7–1,2)
3	- Trense hinterlässt einen deutlich feuchten Abdruck (häufig mit Schaumbildung an Backenstück und Nasenriemen) - Hals und Fläche unter Sattel und Gurt durchgängig nass - Flanken deutlich feucht	> 7–9 (> 1,2–1,5)
4	- Hals und Flanken komplett nass - feuchte, dunkle Falten über den Augen - bei stark bemuskelten oder aber fetten Pferden zwischen den Hinterschenkeln aufgrund von Schaumbildung weiß	> 9–12 (> 1,5–2,0)
5	Pferde zusätzlich über dem Auge und unter dem Bauch tropfend nass	> 12–18 (> 2,0–3,0)

¹⁾ in l (und % der LM), (ca. 600 kg LM)

► **Tab. 2.17** Zusammensetzung von Schweiß beim Pferd (Tab. basiert auf Daten aus Meyer 1987; GfE 2014).

Bestandteil	Gehalte
Natrium (g/l)	3,1
Kalium (g/l)	1,6
Chlorid (g/l)	5,5
Kalzium (g/l)	0,12
Magnesium (g/l)	0,05
Stickstoff (g/l)	1–3
Phosphor (mg/l)	< 10
Zink (mg/l)	11
Eisen (mg/l)	5
Kupfer (mg/l)	0,3
Selen (mg/l)	Spuren

3 Grundlagen der Ernährung

Manfred Coenen, unter früherer Mitarbeit von Helmut Meyer †

3.1

Bau und Funktion der Verdauungsorgane

3.1.1 Allgemeines

Komplexe Informationen, die über den Geruchs-, Geschmacks- und Tastsinn verarbeitet werden (Farbe offensichtlich unbedeutend), führen zur Selektion von Futter. Intestinale und/oder metabolische Sensoren (z. B. Glukose-, Aminosäurehomöostase, Salz) sind hierbei maßgebend besonders für die Präferenz bestimmter Pflanzen oder -teile.

Im Verdauungskanal werden die aufgenommenen Futtermittel zunächst mit Hilfe der Zähne mechanisch zerkleinert, im Magen konditioniert, so dass nachfolgend die Futterinhaltsstoffe durch körpereigene und/oder bakteriell erzeugte Enzyme zerlegt und aufgesaugt (absorbiert) werden. Die unverdauten Reste des Futters (Kot) müssen schließlich eliminiert werden.

Die verdauten Stoffe werden verwertet, gespeichert oder, falls im Überfluss vorhanden (z. B. Na) oder nicht verwertbar (z. B. Harnstoff), notwendigerweise ausgeschieden. Im Gegensatz zur Energie können Nährstoffe physiologisch nicht oder nur begrenzt „bevorratet“ werden, so dass Überschüsse stets die „Entsorgungswege“ über Haut, Lunge, Darm und Nieren beanspruchen.

Aufbau

Der Verdauungstrakt des Pferdes gliedert sich in:

- Kopfdarm (S.41), ► Abb. 3.3 mit Lippen, Maulhöhle, Zähnen und Ösophagus
- Magen (S.44), ► Abb. 3.5
- Dünndarm (S.46) mit Zwölffingerdarm (Duodenum), Leerdarm (Jejunum) und Hüft darm (Ileum)
- Dickdarm (S.49) mit Blinddarm (Zäkum), Grimmdarm (Kolon) und Mastdarm (Rektum), ► Abb. 3.9

Er ist in Aufbau und Funktion der ursprünglichen natürlichen Nahrung der Equiden angepasst. Die evolutionäre Adaptation verlief bei Pflanzenfres-

sern wie Pferd oder Wiederkäuern jedoch unterschiedlich.

Bei Rind, Schaf oder Ziege entwickelten sich am Eingang des Verdauungskanals Vormägen, in denen strukturiertes pflanzliches Material mikrobiell abgebaut wird unter Bildung auch neuer, unverzichtbarer Syntheseprodukte (Bakterieneiweiß, Vitamine). Diese und andere nicht zerlegte Substanzen werden dann im Dünndarm durch körpereigene Enzyme verdaut.

Bei Pferden liegen dagegen die Gärkammern mit mikrobieller Verdauung am Ende des Verdauungskanals in Form des **stark erweiterten Dickdarms**. Dort werden Futterinhaltsstoffe, die zuvor im Magen und Dünndarm nicht zerlegt werden konnten, durch Mikroorganismen weiter aufgeschlossen und z.T. noch nutzbar gemacht. Diesen verdauungsphysiologischen Bedingungen wird mit der Einteilung des Magen-Darm-Traktes in den präzäkalen (Zerkleinerung der Nahrung in der Maulhöhle, Hygienisierung im Magen, Aufschluss durch körpereigene Enzyme) und postilealen (mikrobielle Verdauung, Wasser- u. Elektrolytaborption) Abschnitt entsprochen.

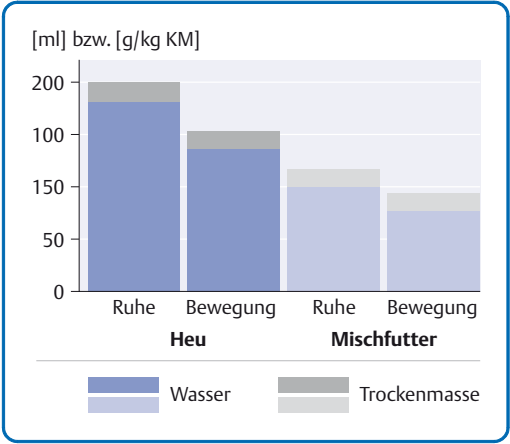
Füllung

Die Füllung des Verdauungskanals hängt von Art und Menge des aufgenommenen Futters ab und erreicht 10–20%, im Mittel 15% der Körpermasse (► Tab. 2.3, ► Tab. 3.1).

Die im Darmkanal enthaltene Menge an **Trockenmasse** entspricht – unabhängig von der Futterart – etwa der täglich aufgenommenen Trockensubstanzmenge.

Die Variationen in der Darmfüllung – bei gleicher Futtermengenaufnahme – entstehen durch unterschiedliche **Wassergehalte** im Darm, vor allem im Dickdarm (► Abb. 3.1). Diese Wassermenge hängt von der Wasserbindungskapazität der Futtermittel ab. Wenig verholzte Pflanzenteile binden erheblich mehr Wasser als stärker lignifiziertes Material, z. B. Stroh.

Der sogenannte „Grasbauch“ bei einseitiger Fütterung von jungem Gras oder früh geschnittenen Graskonserven geht maßgeblich auf die Bindung von Wasser im Darminhalt zurück. Beim „Strohbauch“ hingegen entwickelt sich ein hohes Volumen des Darminhalts vor allem durch entsprechend hohe Mengen unverdaulicher Substanzen nach einseitiger Fütterung mit überständigem Gras bzw. dessen Konserven oder Stroh.



► **Abb. 3.1** Wasser- und Trockensubstanzmenge (ml bzw. g/kg KM) im Darmkanal des Pferdes bei Heu- oder Mischfütterzuteilung 3,5 h nach der letzten Fütterung bei Ruhe oder 1-stündiger Bewegung, max. 200 ml/min (Abb. basiert auf Daten aus Coenen et al. 1990).

Darmbewegungen

Die Darmbewegungen zum Transport, aber auch zum Durchmischen des Darminhalts, gehen von der Längs- und Ringmuskulatur in der Darmwand aus. Neben den durch Eigenpotentiale der glatten Muskulatur ausgelösten langsamen Kontraktionswellen steuern vor allem die in der Darmmuskulatur liegenden enterischen Nervengeflechte die verschiedenen Darmbewegungen – ebenso wie andere elementare Funktionen des Magen- und Darmtrakts (Sekretion, Resorption).

Die Sensoren des „Darmgehirns“ reagieren auf mechanische (Druckerhöhung) ebenso wie auf chemische Reize (Nährstoffkonzentrationen, pH-Wert oder Osmolarität im Darmlumen). Übergeordnete Zentren koordinieren aufeinander abgestimmte Bewegungsabläufe, z.B. Erschlaffung des Dünndarms bei Entleerung des Magens.

Der Eintritt der Nahrung in den Verdauungskanal löst neuronale und humorale Regulationen aus. Als Verbindung zwischen dem eigenständigen darmeigenen Nervengeflecht und dem Zentralnervensystem steht das autonome Nervensystem mit dem Parasympathikus (Vagus), der Motorik und Sekretion fördert, und dem Sympathikus mit dämpfenden Wirkungen. Über psychische oder physische Belastungen kann der Sympathikus z.B. die Motorik und Sekretion hemmen und damit die Entstehung von Störungen im Darm begünstigen.

Die endokrinen Reaktionen auf den Eintritt des Nahrungsbreis lassen sich wie in ► **Tab. 3.2** zusammenfassen.

► **Tab. 3.1** Größe und Inhalt des Verdauungskanals sowie Dauer der Nahrungspassage (500 kg KM) (Tab. basiert auf Daten aus Bergner u. Ketz 1969; Argenzio 1975; Coenen et al. 1990; van Weyenberg et al. 2006; INRA 2015).

Abschnitt des Verdauungskanals	Länge (m)	Inhalt ¹⁾ (kg/100 kg KM)		Dauer der Nahrungspassage
		Heu	Kraftfutter	
Schlund	bis 1,5	–	–	10–15 s
Magen	–	2,5	1,8	1–5 h
Dünndarm	16–24	2,2	2,2	1–2 h
Zäkum	1	3,5	1,5	15–20 h
Kolon	6–8	12,0	6,0	18–24 h
Rektum ²⁾	0,2–0,3	bis 0,4	bis 0,3	1–2 h
insgesamt	–	20,0	11,5	30–50 h

¹⁾ 3–4 h nach der letzten Fütterung gleicher Mengen von Heu bzw. Kraftfutter

²⁾ diskontinuierlich gefüllt

Mithilfe der in ► Tab. 3.2 genannten und weiterer Botenstoffe werden die Abgabe von Verdauungsenzymen, der Transport der Verdauungsprodukte durch die Darmwand und postabsorptive Regelmechanismen koordiniert.

Nahrungspassage

Die Dauer der Nahrungspassage durch den Verdauungskanal (► Tab. 3.1) wird vor allem durch die Futterart bestimmt. Allgemein ist die Durchlaufzeit bei Heu rascher als bei konzentrathaltigen Rationen, bei grob strukturiertem Futter rascher als bei stark zerkleinertem Material, bei großen Futtermengen kürzer als bei kleinen. Von der Gesamtpassagedauer entfallen rd. 85 % auf den Dickdarm. Von der Fütterungsintensität kaum beeinflusst kann für typische Rationen eine Transit-Zeit von rd. 30 h angesetzt werden.

Verdauungssekrete und -enzyme sowie mikrobielle Darmflora

Die Sekretion in den Verdauungskanal ist mit rd. 30 kg/100 kg KM je Tag sehr umfangreich. Zusammen mit der teilweisen Rückresorption entsteht das Bild eines intensiven intestinalen Wasserumsatzes (S.57), ► Abb. 3.16. Der Speichel ermöglicht den Transport der Nahrung durch den Ösophagus in den Magen und sichert hier eine brei- bis teigartige Konsistenz des Inhaltes; Verdauungsenzyme werden über den Speichel nicht abgegeben. Diese gelangen erst mit den Verdauungssekreten der Drüsenschleimhaut des Magens, des Pankreas und der Darmeigendrüsen in das Dünndarmlumen (► Tab. 3.3, ► Tab. 3.4) oder sind in der Dünndarmschleimhaut lokalisiert (Disaccharidasen, Di- und Tripeptidasen).

Die von der Bauchspeicheldrüse (Pankreas) gebildete **Amylase**, die der präzäkalen Stärkeverdauung dient, kommt beim Pferd nur in relativ geringer Aktivität vor (► Tab. 3.4). Für die Spaltung der Stärke-

► Tab. 3.2 Endokrine Reaktionen (selektiv) auf den Nahrungsbrei.

Lokalisation	Peptidhormon	Reaktion
Magen	Gastrin	Sekretion von Magensäure
Dünndarm	Sekretin	Einstrom von Puffer; saurer Mageninhalt wird auf pH-Werte um 7–7,5 abgepuffert
	Cholecystokinin	• Pankreassekretion • Abgabe von Gallensaft
	Glukose-abhängiges insulinotropes Peptid (GIP)	Insulinausschüttung
	Glukagon-ähnliches Peptid-1 (GLP1)	Insulinausschüttung
	Glukagon-ähnliches Peptid-2 (GLP2)	Anpassung der Zellen an der Oberfläche der Schleimhaut

► Tab. 3.3 Menge und Zusammensetzung der Verdauungssekrete (Tab. basiert auf Daten aus Meyer 1992).

Verdauungssekret	Menge ¹⁾	Zusammensetzung (g/kg)					
	kg/100 kg KM je Tag	Na	Cl	K	Ca	Mg	P
Speichel, insgesamt	3–5	1,5 ²⁾	2–3 ³⁾	1,1	0,15	0,03	0,02
Magensaft	5–10	(0,6)	3	–	–	–	–
Pankreassaft	5–10	3,3	3,2	0,2	–	–	–
Galle	3	3,4	3,6	0,26	0,13	0,04	0,2
Darmsaft	2–4	–	–	–	–	–	–

¹⁾ Die Ohrspeicheldrüse produziert nur während des Kauens, die Galle fließt dagegen kontinuierlich. Magen und Pankreas sezernieren auch zwischen den Mahlzeiten, verstärkt jedoch während der Futteraufnahme.

²⁾ Zunahme bzw. ³⁾ Abnahme mit steigender Sekretion

teilstücke (Maltose) steht dagegen im Bürstensaum der Dünndarmschleimhaut eine größere Kapazität an **Maltase** zur Verfügung. Die Möglichkeiten des Darmes, die Enzymbereitstellung an Art und Menge der aufgenommenen hydrolysierbaren Kohlenhydrate anzupassen, ist begrenzt. Daher ist insbesondere die Effektivität der stärkehaltenden Enzyme im Chymus bei Anwesenheit unterschiedlicher Getreidestärken sehr verschieden (► Abb. 3.2). Ge-

messen an der Haferstärke sind native Stärken z.B. von Mais oder Gerste deutlich schwerer angreifbar; erst thermische Prozeduren (z.B. Expander oder Flockierungen) verhelfen den offenbar limitiert verfügbaren Dünndarmenzymen zu vergleichbarem Stärkeabbau wie beim Hafer.

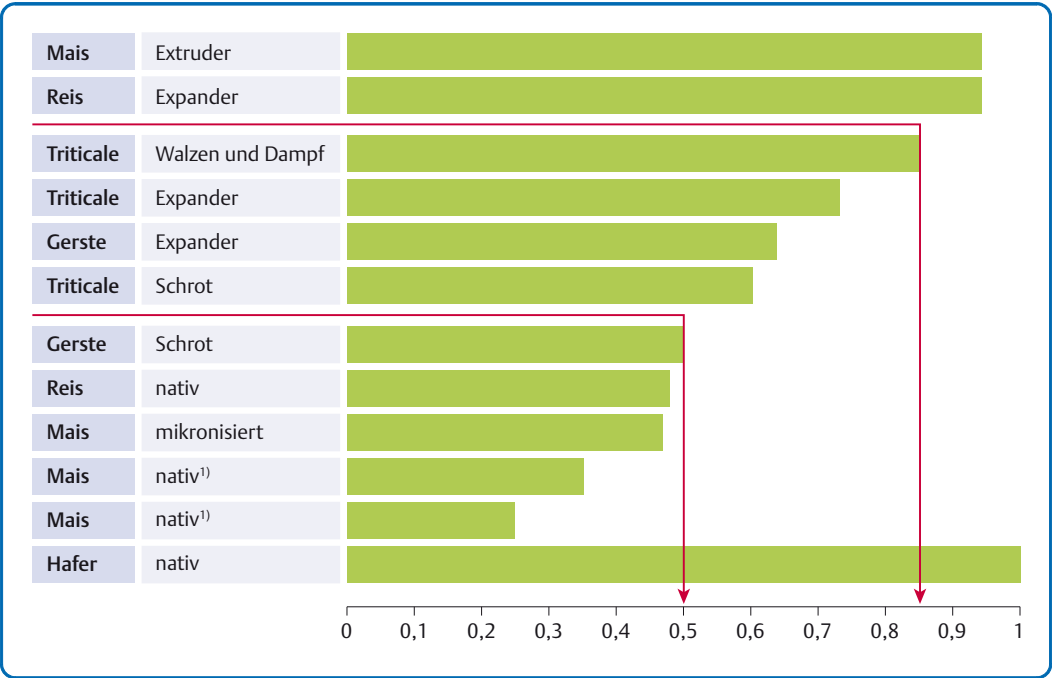
Das die Saccharose (Rohrzucker) in Glukose und Fruktose spaltende Enzym **Saccharase** entwickelt sich erst im Laufe des 1. Lebensjahrs, während die

► **Tab. 3.4** Enzymaktivitäten im Dünndarmchymus bei Pferd und Schwein (adult) (Tab. basiert auf Daten aus Roberts 1975; Abello et al. 1989; Kienzie u. Radicke 1993; Flothow 1995; Heintzsch 1995).

Enzym	Einheit	Pferd	Schwein
Amylase	U/g Chymus	10–40	400–600
Maltase	U/g Eiweiß ¹⁾	150–400	500–600
Saccharase	U/g Eiweiß ¹⁾	80–130	250–350
Laktase	U/g Eiweiß ¹⁾	0–40 ²⁾	< 10
Chymotrypsin	U/g Chymus	0,3–5	30
Lipase	U/g Chymus	30–100	100

¹⁾ Proben der Darmschleimhaut

²⁾ bei Fohlen



► **Abb. 3.2** Rangliste der Stärketräger nach der Abbaubarkeit der Stärke in vitro (Inkubation mit Jejunuminhalt) relativ zu Hafer (= 1) (Abb. basiert auf Daten aus Richards et al. 2003). ¹⁾ unterschiedliche Maissorten

Laktase (Spaltung von Laktose in Glukose und Galaktose) bei Saugfohlen eine hohe Aktivität zeigt, die jedoch mit der Umstellung auf feste Nahrung stark zurückgeht, ohne gänzlich zu verschwinden.

Die Enzymaktivitäten im Dünndarm und an der Oberfläche der Dünndarmmukosa sind zwischen den Tieren sehr variabel; ein eindeutiges Gefälle zum Dünndarmende fehlt im Gegensatz zu den Verhältnissen bezüglich der Transportkapazitäten. Die Verteilung der Glukosetransporter in den Membranen der Darmzellen geht gegen Ende des Dünndarmes deutlich zurück, entsprechend vermindert sich auch der Glukosetransport. Die Präsentation von Spaltprodukten des enzymatischen Kohlenhydratabbaus induziert eine Adaptation, allerdings ist diese Seite der Anpassung an einen Futterwechsel offenbar träger als erwartet.

Von den eiweißspaltenden Enzymen sind **Pepsin** im Magen, Trypsin und **Chymotrypsin** aus dem Pankreas (Spaltung von Eiweißen in kleinere Bruchstücke, die Peptide) bekannt. Letzteres kommt in relativ geringer Konzentration vor.

Die Kapazität zur Spaltung von Fetten durch **Lipasen** (aus dem Pankreas) ist beim Pferd hoch. Auch bei intensiver Fettaufnahme (1 g/kg KM) sind diese Enzyme offensichtlich nicht limitierend.

Neben den körpereigenen sind auch **bakteriell gebildete Enzyme** für die Verdauung, insbesondere im Dickdarm, essenziell. Ein Kollaps der mikrobiellen Verdauung stellt eine massive Störung der Darmfunktion dar. Außer Bakterien enthält der Verdauungskanal des Pferdes auch **Protozoen** und **Pilze** (► Tab. 3.5). Im Anfangsteil des Magens liegt bereits eine hohe Zahl vor allem laktatbildender Keime vor, die nach Zufluss von saurem Magensaft jedoch erheblich zurückgeht (► Tab. 3.5).

Auch wenn die Magensäure und das Pankreassekret bakterizid wirken, ist der Dünndarminhalt physiologischerweise nicht keimfrei. Vielmehr baut sich im **Dünndarm** eine spezifische Flora auf, die fortschreitend zunimmt und am Ende – je nach Futterart – bis zu 500 Mio. Keime pro g Chymus erreicht. Der Anstieg beruht auf einer Zunahme

► **Tab. 3.5** Bakteriengehalte und pH-Werte in verschiedenen Abschnitten des Verdauungskanal (Tab. basiert auf Daten aus Kern et al. 1974; Meyer et al. 1980; Mackie u. Wilkins 1988; Jullian 1992; Kollarczik et al. 1992; Meyer u. Landes 1994; ³⁾ und ⁴⁾ nach de Fombelle et al. 2003).

Verdauungskanal	Fütterung von Kraftfutter		Fütterung von Raufutter oder älterem Gras		Fütterung einer Ration aus Heu + pelletiertem Mischfutter, 1:1, ³⁾ bzw. Stroh + pelletiertem Mischfutter, 1:2, ¹⁾		Effekt des Einsatzes von Kraftfutter zusammenfassend	
	Zahl KBE ¹⁾ Mio. je g Inhalt	pH	Zahl KBE ¹⁾ Mio. je g Inhalt	pH	Zahl KBE ¹⁾ Mio. je g Inhalt	pH	Keimgehalt	pH
Magen (drüsenloser Blindsack)	–	5,9	200	> 6	1000/1300	5,1/4,5	↑	↓
Magen (Fundus → Pylorus)	–	5,7 → 3–5	10	5,4 → 2,6	–	–	–	↑
Duodenum	–	5,6–8	2,9	6,3	–	6,6/5,9	–	↓
Jejunum	1–18 ²⁾	7–8	29	7,1	400/500	7,2/6,9	↔	↔
Ileum	0,2–7 ²⁾	7	38	7,5	630/80	7,4/7,2	↓	↓
Zäkum	6–47 ²⁾	6,5–7,5	500–2500	6,7	50/40	6,4/6,2	↓	↓
Kolon	10–54 ²⁾	6,0	360–600	6,6	320/400	6,4/6,4	↑	↓

¹⁾ Bakteriengehalt (gemessen in KBE = koloniebildenden Einheiten)

²⁾ bei Trockenschnitzel-Zuckerfütterung

³⁾ 3,5 g Stärke/kg KM je Tag

⁴⁾ 1,1 g Stärke/kg KM je Tag

von Streptokokken und *E. coli*, weniger auf Veränderungen der Laktobazillen.

Im **Zäkum** und **Kolon**, wo ausschließlich mikrobiell verdaut wird, steigen die Keimzahlen auf ähnliche Werte wie in den Vormägen der Wiederkäuer. Dort dominieren obligat anaerobe Keime (Enterobakteriazeen, Bazillen, Clostridien) neben Laktobazillen und Streptokokken. Die Zahl der Protozoen bleibt mit 5000–50000 pro g Darminhalt niedriger als in den Vormägen der Wiederkäuer. Für den Verdauungsprozess haben sie quantitativ scheinbar keine Bedeutung. Die pH-Werte im Darminhalt reflektieren die Sekretion von Säure und puffernden Substanzen sowie die Bildung organischer Säuren durch die Mikroorganismen. Der Anteil an Stärke in der Ration beeinflusst das mikrobielle Profil im gesamten Magen-Darm-Trakt. Zusammenfassend kommt es bei stärkereicher Fütterung mit einem hohen Abfluten der Stärke in den Dickdarm zu einer Bevorzugung der Milchsäurebildner und einem Rückgang der Milchsäurekonsumenten. Entsprechend steigen die Milchsäuregehalte im Darminhalt bei konzentratreicher Ration deutlich an (► Tab. 3.8).

Die Intestinalflora interagiert mit der Darmwand. Die Bildung der Proteine zwischen den Zellen auf der Schleimhautoberfläche sowie die Bildung des Mukus werden von der Mikroflora mitbestimmt; insofern ist die Mikroflora für die Darmbarriere von Bedeutung. Dies zeigt sich auch in der Freisetzung von Zytokinen, die nach neueren Arbeiten bei stärkereichen Rationen offenbar vermehrt einen proinflammatorischen Charakter aufweisen.

! Merke

Je nach Art, Menge, Zubereitung sowie Keimbesatz der Futtermittel können die Gehalte von Mikroorganismen im Darmlumen nachhaltig variieren. Kommt es zu starken Veränderungen in der Zahl, Zusammensetzung, Lokalisation sowie Aktivität (= Dysbiosen bzw. Dysfermentation) der Darmflora, so sind schwere gesundheitliche Störungen (S. 307) möglich.

3.1.2 Verdauungsvorgänge in einzelnen Darmabschnitten

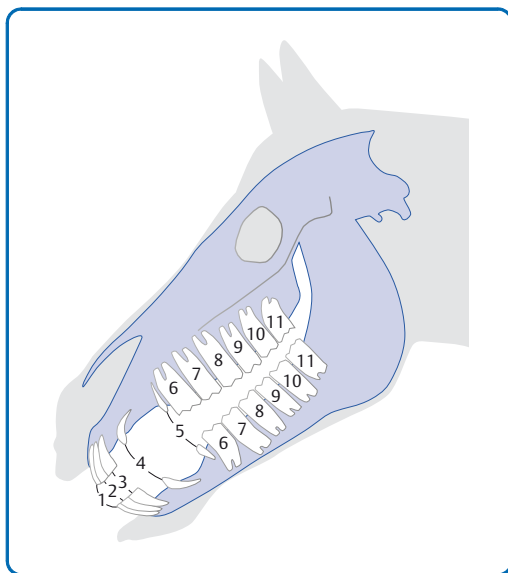
Kopfdarm

Anatomie Den Eingang zum Verdauungskanal bildet die Maulspalte, die von kräftigen und sehr beweglichen Lippen begrenzt wird. Das Pferd nimmt das Futter vor allem mit **Lippen** und **Zunge** auf, teilweise werden auch, besonders beim Grasens oder Fressen fester Stoffe (Zweige, Rüben), die **Schneidezähne** eingesetzt.

Wegen der großen Beweglichkeit der Lippen kann das Pferd Futterteile sortieren und nicht schmackhafte Komponenten zurücklassen. Offenbar spielt der Eiweißgehalt des Futters – zumindest bei Gräsern – eine gewichtige Rolle bei der Auswahl der Pflanzen bzw. Pflanzenteile. Studien zu Rezeptoren für Nährstoffe (Aminosäuren, NaCl) im Kopf- und Dünndarm belegen das Potential zur Futterselektion mit dem Ziel, Versorgungsengpässe zu begrenzen. Die Möglichkeit der sorgfältigen Futterauswahl mindert ferner das Risiko, Fremdkörper aufzunehmen, erhöht aber auf der Weide die Gefahr einer Umschichtung der Flora bei längerdauernder einseitiger Nutzung durch Pferde (Verbiss und Reduktion wertvoller Gräser, Vermehrung wenig schmackhafter Pflanzen).

In der Maulhöhle wird das Futter zwischen den **Backenzähnen** (► Abb. 3.3) zermahlen. Ihre breiten Kauflächen weisen neben dem leichter abriebfähigen Dentin und Zement harte, höher stehende Schmelzleisten auf (► Abb. 3.4), so dass stets eine raue Oberfläche erhalten bleibt. Das Pferd kaut jeweils nur auf einer Seite, wobei periodisch gewechselt wird (bei Großpferden 60–80 Kieberschläge pro min weitgehend unabhängig von der Futterart). Die Reduktion der Partikelgrößen des Futters auf die in der Speiseröhre (**Ösophagus**) transportfähigen Strukturen ist relativ einheitlich. Bis zum Dünndarmende erfolgt keine wesentliche Veränderung in den Partikelgrößen des Chymus.

Funktion Entsprechend der Struktur und Konsistenz der Futtermittel dauert die Aufnahme unterschiedlich lange (► Tab. 3.6). Für 1 kg Hafer oder pelletiertes Mischfutter werden rd. 10 min, für 1 kg Heu oder Stroh 30–60 min benötigt, allerdings mit erheblicher Variation zwischen verschiedenen Tieren. Zumischen von Häcksel verlängert, Anfeuchten verkürzt die Futteraufnahme.



► **Abb. 3.3** Schädel eines Pferdes mit freigelegten Zahnwurzeln: 1–3 Schneidezähne, 4 Hakenzahn, 5 Wolfszahn, 6–11 Backenzähne. (aus Simon, Herold, Schlemper: Praxisleitfaden Zahn- und Kiefererkrankungen des Pferdes. Parey Verlag; Stuttgart; 2009)



► **Abb. 3.4** Kaufläche eines Backenzahns aus dem Oberkiefer. (aus Nickel, Schummer, Seiferle: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Bd. 2. 9. Aufl. Stuttgart: Parey in MVS Medizinverlage Stuttgart; 2004)

Kleinpferde fressen langsamer. Sie benötigen für ungeschrotete Körnerfutter oder Pellets gegenüber Großpferden die 4-fache Zeit, da sie offenbar Schwierigkeiten haben, größere Partikel zwischen den schmaleren Kauflächen der Backenzähne zu halten.

Aus ► **Tab. 3.6** kann abgeleitet werden, wie lange die tägliche Futteraufnahme durchschnittlich dauert, wenn Rau- und Krippenfutter in unterschiedlichen Mengen kombiniert werden. Zu kur-

► **Tab. 3.6** Dauer der Futteraufnahme (min/kg Futter) (Tab. basiert auf Daten aus Meyer et al. 1986, 1997; Brüssow 2006; Brüssow et al. 2005; Bochnia 2008; Vervuert et al. 2009, 2013; Müller 2010; Müller 2011; Bochnia et al. 2017).

Futtermittel	Großpferde	Kleinpferde
Stroh	40–60	100
Heu, lang	25–50	80
Anwelklage ¹⁾	25–45	–
Trockenschnitzel	20–30	35–45
Luzernehäcksel	18	–
Luzernehäcksel + Strohhäcksel	20–30	–
Luzernehäcksel + Getreide	11	–
Haferkörner, heil oder gequetscht	10–20	10–40
Mischfutter, pelletiert (4–8 mm)	15–25	35–55
Mischfutter, nicht pelletiert	< 10–20	10–30

¹⁾ bezogen auf TS, TS-Gehalt 55–58 %

ze Futteraufnahmezeiten begünstigen Verhaltensänderungen (Lecken, Nagen, Knabbern, Beißen).

Praxis

Um Pferde ausreichend kauend zu beschäftigen,

- ist bei Tieren im Erhaltungsstoffwechsel der Energiebedarf ausschließlich über kaufähiges Raufutter (Gras, Graskonserven oder Stroh) zu decken.
- sind in anderen Fällen täglich mindestens 1,5 kg Trockenmasse pro 100 kg KM als kaufähiges Raufutter zuzuteilen.

Während des Kauens wird das Futter **stark zerkleinert**, Raufutter (Heu und Stroh) in Partikel von max. 2 mm Durchmesser und 1–4 mm Länge zerlegt (bei weichem, elastischem Material wie Gras sind sie etwas größer). Die gründliche Zerkleinerung faseriger Futtermittel ist für ihre ungestörte Passage durch den Verdauungskanal unerlässlich. Unterschiedliche Passagegeschwindigkeiten für flüssige und feste Chymusbestandteile sind im Blinddarm, der magenähnlichen Erweiterung und an der Beckenflexur des Kolons möglich. Bei fein-faserigem Material (junger, langgewachsener Klee,

Windhalm etc.) ebenso wie bei zu kurz gehäckselt-tem Raufutter (unter 2 cm) besteht das Risiko, dass es ungenügend zerkleinert abgeschluckt wird und Obstipationen verursacht (Ileumende, Übergang Zäkum-Kolon, Beckenflexur des Kolons).

Pferde mit intaktem Gebiss quetschen und mahlen Haferkörner, pelletierte Mischfutter wechseln der Größe und selbst kleine Grassamen im Allgemeinen ausreichend, so dass eine vorherige Zerkleinerung nicht notwendig ist.

Das Futter wird im Kopfdarm nicht nur zermahlen, sondern – vor allem frisches, wasserreiches Material – durch den hohen Druck der Backenzähne auch **ausgequetscht**. (Die molaren Zahnflächen entwickeln Drücke von bis zu knapp 2 kN.) Dadurch werden wertvolle Inhaltsstoffe (Eiweiße, Zucker) frei, die unmittelbar im Magen und Dünndarm verdaut und damit besser genutzt werden können als bei einem mikrobiellen Aufschluss im Dickdarm.

Die Bewegung der Kiefer ist bei Heu deutlich größer als bei Mischfuttermittelverzehr (Backenzähne, Kieferöffnen und -schließen 16 vs. 14 mm, Seitwärtsbewegung 20 vs. 15 mm, Bewegung in Längsrichtung 6 vs. 4,5 mm; Bonin et al. 2006, 2007), so dass bei Konzentrataufnahme neben der verminderten Kaudauer auch die verminderte Auslenkung des Unterkiefers den Zahnabrieb senkt.

Für die Futteraufnahme und -zerkleinerung ist ein gesundes, vollständiges **Gebiss** unerlässlich:

- **Schadhafte Schneidezähne** können die Lippen verletzen und evtl. die Futteraufnahme erschweren oder Speicherverluste (ungenügender Lippenschluss) bedingen.
- Bei **ungleichmäßiger Abnutzung der Backenzähne** (durch zu geringe Kautätigkeit, krankhafte Veränderungen von Kiefergelenk, Kaumuskelatur oder Zähnen) entstehen an den äußeren Rändern der Oberkiefer- und an der Innenseite der Unterkieferbackenzähne hakenförmige oder gratige Überstände (► Abb. 10.1), die eine normale Kautätigkeit erschweren und damit den Zahnabrieb weiter reduzieren.
- Bei **Zahnanomalien, Zahnverlust** oder **Treppengebiss** wird das Futter nicht nur zu langsam oder unvollkommen aufgenommen, sondern auch ungenügend zerkleinert und schlechter verdaut (Verstopfungsrisiko!). Das ist auch im Zusammenhang mit dem Durchbruch der bei der Geburt noch nicht vorhandenen Molaren

► **Tab. 3.7** Durchbruch und Wechsel der Backenzähne des Pferdes.

Backenzähne	Wechsel	Durchbruch
2. Prämolare	2 ½ Jahre	–
3. Prämolare	2 ½ Jahre	–
4. Prämolare	3 ½ Jahre	–
1. Molare	–	6–9 Monate
2. Molare	–	2–2 ½ Jahre
3. Molare	–	3 ½–4 ½ Jahre

bzw. dem Wechsel der Prämolaren zu beobachten (► Tab. 3.7).

Post-mortem-Erhebungen belegen eine sicherlich teilweise vermeidbare Häufigkeit von Schäden am Gebiss infolge unzureichender Zahnpflege. Systematische Untersuchungen zeigen auf, dass typische, moderate Unregelmäßigkeiten der Kauflächen nur geringe Auswirkungen auf die Partikelgrößen der Ingesta bzw. des Kotes und die Verdaulichkeit haben. Kritischer sind offenbar kariöse Schäden der Zahnoberflächen, die im Gegensatz zu den Hacken der Backenzähne bei ausschließlichen Weidegang nicht vorkommen (s. u.).

Während des Kauens wird **Speichel** vor allem von der Speicheldrüse gebildet und das Futter damit vermischt. Daher beeinflusst die Dauer der Futteraufnahme – die von Struktur und Zerkleinerungsgrad (S.63) des Futters abhängt – den Speichelfluss nachhaltig. Großpferde bilden pro min 40–90 ml, Kleinpferde 20–60 ml Speichel. Pro kg Raufutter wird wegen der längeren Aufnahmezeit erheblich mehr Speichel produziert (3–5 kg) als pro kg Krippenfutter (1–1,5 kg). Die Tagesmenge kann bis zu rd. 6 kg pro 100 kg KM erreichen (► Tab. 3.3). Speichel enthält keine Verdauungsenzyme, jedoch größere Mengen an Mineralstoffen und Bikarbonat (► Tab. 3.3), die zur Neutralisierung der im Anfangsteil des Magens entstehenden Säuren dienen. Darüber hinaus werden durch den Speichel die Futterbissen schluckfähig gemacht und eingeweicht, so dass die im Magen gebildeten Verdauungssäfte den Futterbrei durchdringen können. Unterschätzt ist die Bedeutung des Speichels für die natürliche Pflege der Maulhöhle und besonders der Zähne. Eine verminderte Speichelbildung bei Aufnahme konzentratreicher

Rationen begünstigt die Bildung von Plaques und Entstehung von Karies, besonders wenn die Kraftfutter reich an löslichen Kohlenhydraten sind. Schäden sind bei alten Pferden offensichtlich die Regel, betreffen aber Tiere aller Altersgruppen mit höherer Prävalenz als angenommen.

! Merke

Für eine ausreichende Speichelproduktion, gleichmäßige Zahnabnutzung, befriedigende Zahnreinigung und einen ungestörten Ablauf der Verdauung im Magen ist eine möglichst lange Kauzeit günstig.

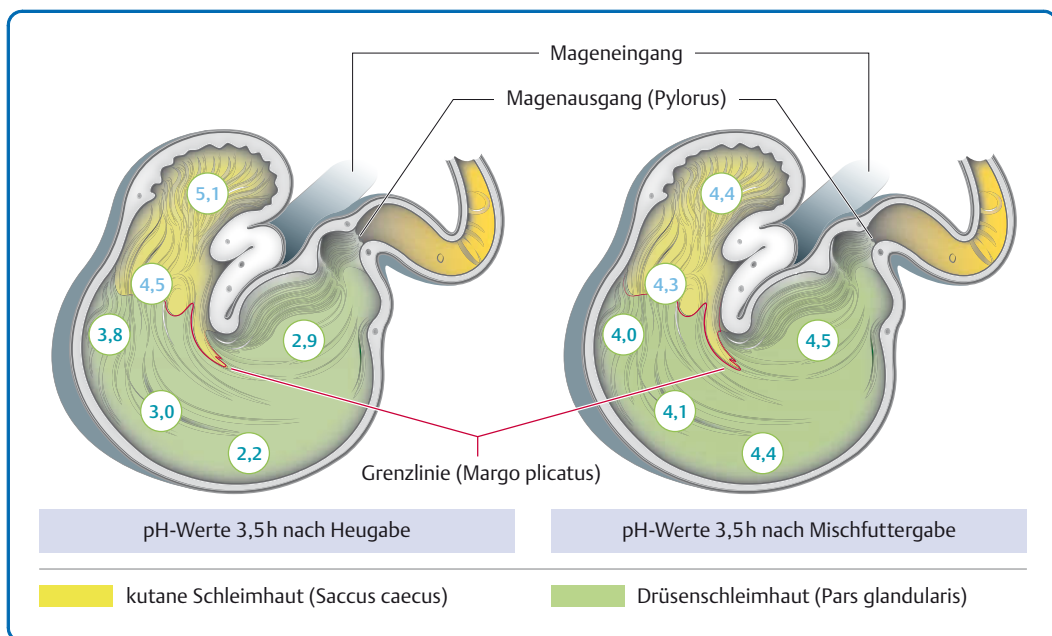
Die Pferde formen in der Maulhöhle ca. 50–70 g große **Bissen**, die sie im Abstand von etwa 30 sec **abschlucken**. Je nach Dauer der Futteraufnahme variiert der Trockensubstanzgehalt im Bissen zwischen 15–20% bei Raufutter und 25–40% bei Krippefutter. Vor dem Mageneingang kann der mit Hilfe der kräftigen Ringmuskulatur des Schlunds transportierte Bissen bis zu 30 sec liegenbleiben, so dass evtl. 2 Bissen unmittelbar hintereinander in den Magen gelangen.

Magen

Anatomie Der Magen mittelgroßer Pferde ist mit 15–20 l relativ klein und auf die kontinuierliche Aufnahme kleiner Futtermengen eingestellt. Durch seine bohnenförmige Gestalt entstehen eine blind-sackartige vordere Magenabteilung mit kutaner, drüsenloser Schleimhaut und ein hinterer Magenraum (Fundus und Pylorus), dessen Schleimhaut Magensaft sezernierende Drüsen enthält (► Abb. 3.5). Die schräg in die Magenwand einmündende Speiseröhre verfügt über einen starken Schließmuskel, der sich je nach Füllungsdruck im Magen reflektorisch kontrahiert. Bei stark gefülltem Magen besteht ein Dauertonus, der Erbrechen nahezu unmöglich macht.

Vorsicht

Der Magen des Pferdes ist an die kontinuierliche Futteraufnahme angepasst und daher kein Speicherorgan. Da Pferde nicht erbrechen (nur im Extremfall), stellen Magenüberladungen ein erhebliches Risiko dar.



► **Abb. 3.5** Aufbau des Pferdemagens: Trennung der kutanen Schleimhaut (gelbgrün) von der Drüsen Schleimhaut (grün) durch den Margo plicatus. Die Drüsen Schleimhaut besteht aus der Kardia- (Übergang von kutaner zu glandulärer Schleimhaut), Fundus- und Pylorusdrüsenzonen und dient der Abgabe von Mukus, Enzymen und Magensäure. Die pH-Bedingungen sind zahlenmäßig exemplarisch wiedergegeben für 3,5 Stunden nach der Aufnahme von Heu oder Mischfutter (Abb. basiert auf Daten aus Coenen 1991).

Funktion Der Magen füllt sich schichtweise zunächst im Blindsack und Fundus. Der Mageninhalt wird dann nach und nach in die tieferen Abschnitte weitergeleitet und weitergehend verflüssigt. Die Entleerung setzt bereits während der Futteraufnahme ein. Bei typischen Mahlzeiten mit einem gewissen Abstand zur vorherigen Futteraufnahme haben 50% der aufgenommenen Futtermengen etwa 2 h nach der Mahlzeit den Magen passiert. Dies steht in Einklang mit dem postprandialen Verlauf der Konzentration von Glukose und Aminosäuren im Blut, die als Zeitmarker für die Verdauung im Dünndarm fungieren. Dabei wird intensiv eingespeicheltes Futter (Raufutter, TS-Gehalte des Mageninhalts < 20%) offenbar schneller transportiert als konzentrierte Futtermittel (TS-Gehalte im Mageninhalt bis über 30%). Nach größeren Mengen Krippenfutter ist der Magen aufgrund der schnellen Aufnahme und eher langsamen Entleerung temporär stärker gefüllt als bei Zuteilung gleicher Mengen Raufutter (Gefahr temporärer Überladung). Bei einer Füllung von 35–40 g/kg KM sind schmerzhaft Zustände möglich, bei Füllungen von 45–50 g/kg KM besteht die Gefahr einer Ruptur der Magenwand, i. d. R. längs der großen Kurvatur.

Die Verdauung im Magen ist durch die gleichzeitige Aktivität von Enzymen aus dem Futter, von Mikroorganismen sowie körpereigenen Substraten (Magensaft) gekennzeichnet. Im **Anfangsteil des Magens** dominieren aufgrund eines hohen

Keimgehalts und pH-Werten von > 5 (► **Abb. 3.5**, ► **Tab. 3.5**) mikrobielle Umsetzungen. Es werden leicht fermentierbare Kohlenhydrate abgebaut, wie Zucker, Oligosaccharide und Stärke, z. T. auch Eiweiße. Neben Laktat und kurzkettigen Fettsäuren (► **Tab. 3.8**) entstehen Gase (Kohlendioxid, Wasserstoff; ► **Abb. 3.8**) sowie Eiweißspaltprodukte (Ammoniak, Phenol etc.). Verstärkte mikrobielle Umsetzungen im Anfangsteil des Magens scheinen die Entstehung von Magengeschwüren zu begünstigen; offenbar werden Transportbedingungen für Ionen in den Zellen der Magenwand durch flüchtige Fettsäuren verändert.

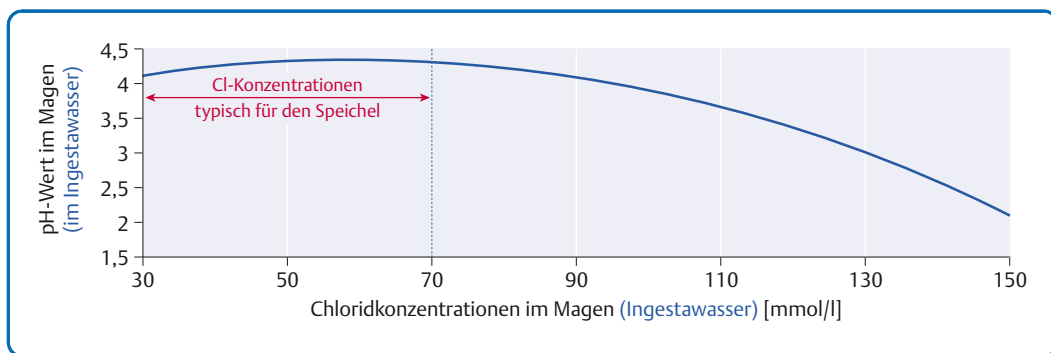
Erst im **Fundusgebiet** wird Magensaft gebildet, der das eiweißspaltende Pepsin und Salzsäure, jedoch keine fett- oder kohlenhydratspaltenden Fermente enthält. Die Aktivierung des Pepsins setzt eine Azidierung des Inhaltes voraus. Die gastrale Säuresekretion initiiert neben der Proteinverdauung (Aktivierung von Pepsin) auch den Aufschluss von Mineralstoffen.

Die Sekretion der Magensäure wird maßgeblich durch Gastrin reguliert, dessen Freisetzung gegenüber intragastralen Signalen (u. a. Kalzium; Füllung) und externen Faktoren (Stress → Catecholamin-, Cortisolfreisetzung) sensibel ist. Die endokrin initiierte Salzsäuresekretion determiniert schließlich den pH-Wert im Mageninhalt (► **Abb. 3.6**).

Durch Vermischen des Futterbreis mit saurem Magensaft wird der **pH-Wert** auf ein Niveau gesenkt (► **Tab. 3.5**), bei dem eine nachhaltige Ein-

► **Tab. 3.8** Flüchtige Fettsäuren und Laktat im Magen- und Darmchymus 3–8 h postprandial in Abhängigkeit von der aufgenommenen Futterart (mmol/l) (Tab. basiert auf Daten aus Landes 1992, Kleffken 1993¹⁾; de Fombelle et al. 2003²⁾).

Verdauungstrakt	Flüchtige Fettsäuren/ Laktat	Fütterung von			
		Kraftfutter ¹⁾	Heu ¹⁾	Heu + Kraftfutter ²⁾	Stroh + Kraftfutter ²⁾
		mmol/l			
Magen	flüchtige Fettsäuren	6–7	14	20	10
	Laktat	7–32	3	1,3	4,5
Duodenum	flüchtige Fettsäuren	10	24	7	5
	Laktat	14–18	1	0,6	1,2
Jejunum	flüchtige Fettsäuren	10–20	4–26	9	4
	Laktat	8–21	5	0,4	0,5
Ileum	flüchtige Fettsäuren	5–54	7–17	9	5
	Laktat	2–45	2–4	0,5	0,5



► **Abb. 3.6** pH-Werte im Mageninhalt in Abhängigkeit von der Chloridkonzentration als Indikator für die Sekretion von Magensäure (Abb. basiert auf Daten aus Coenen 1991).

schränkung bakterieller Tätigkeit erfolgt. Der Magensaft kann anfangs nur die wandständigen Schichten des Futterbreis durchtränken, erst in Nähe zum Magenausgang wird er – infolge stärkerer Kontraktionsbewegungen der Magenwand – mit dem Inhalt wirkungsvoll durchmischt. Der pH-Wert des durchsafteten Mageninhaltes ist eine Funktion der Salzsäuresekretion wie die Beziehung zwischen pH-Wert und Cl-Konzentration aufzeigt (► **Abb. 3.6**).

Während der pH-Wert im Mittelteil des Magens zunächst zwischen 4–6 liegt, sinkt er bei reiner Heufütterung am Magenausgang auf <3, nicht dagegen bei einseitiger Krafftuttergabe (► **Tab. 3.5**). Der kompakte Mageninhalt nach Konzentrataufnahme ist trockener und verfügt über höhere Pufferkapazität als nach Heuverzehr; hierdurch wird die gewünschte Durchsäuerung des Inhaltes begrenzt.

Wasser wird – sofern nicht durch quellfähiges Material im Magen gebunden – auf kürzestem Wege (kleine Magenstraße) durch den Magen geleitet. Abnorm große Wassermengen, während der Mahlzeit aufgenommen, spülen den Mageninhalt in den Dünndarm (Risiko von Verdauungsstörungen).

Für einen normalen Ablauf der Verdauung muss der Mageninhalt ausreichend mit **Magensaft** durchtränkt werden. Gelingt das nicht wegen

- zu geringer Magensaftsekretion (z.B. infolge übermäßiger physischer oder psychischer Belastungen des Pferdes unmittelbar nach der Futteraufnahme),
- zu rascher Futteraufnahme,

- zu großer Futtermengen oder
- stark verkleisternder Futtermittel (z.B. Weizen- oder Roggenschrot),

kann infolge ungenügender pH-Wert-Senkung die bakterielle Zerlegung des Futters unter vermehrter Bildung von Gas (Druckerhöhung im Magen, Unruhe, Kolik), Laktat und flüchtigen Fettsäuren fortschreiten. Auch stark verkeimtes Futter begünstigt solche **Fehlgärungen** (S.307).

Der Magen des Pferdes ist aufgrund seiner Größe und seines Aufbaus besonders störanfällig. Deshalb ist bei Zuteilung rasch aufnehmbaren Futtermittels besondere Vorsicht geboten. Die je Mahlzeit tolerierbare Konzentratenmenge wird auch mit Blick auf die mikrobiellen Bedingungen im gesamten Magen-Darm-Trakt sowie die Dynamik der Insulinfreisetzung durch die Stärkekonzentration im Futter bestimmt.

Praxis

Die Stärkeaufnahme ist auf 1 g/kg KM je Mahlzeit zu limitieren.

Dünndarm

Anatomie Der rd. 20 m lange Dünndarm des Pferdes wird in Zwölffingerdarm (**Duodenum**), Leerdarm (**Jejunum**) und Hüft darm (**Ileum**) unterteilt. In das Duodenum (ca. 1 m lang) münden etwa 15 cm unterhalb des Magenausgangs gemeinsam der Hauptausführungsgang der Bauchspeicheldrüse (Pankreas) und der Gallengang.

Die **Dünndarmschleimhaut** ist mit zahlreichen 0,5–1 mm hohen Zotten ausgestattet, deren lumenseitiges einschichtiges Zylinderepithel fadenförmige Ausstülpungen (Bürstensaum) aufweist. Damit wird die Schleimhautoberfläche nachhaltig vergrößert. Unter der Schleimhaut liegt eine Muskelschicht, von der die Eigenbewegung des Darms ausgeht. Die Schleimhaut enthält zahlreiche Darmeigendrüsen, die neben den Submukosadrüsen den Darmsaft produzieren. Die Schleimhaut wird von einer Muzinschicht schützend abgedeckt. Diese wie auch die zwischen den zylinderrförmigen Enterozyten eingelagerten Eiweiße sind wesentlich für die Integrität der Darmwand. Das komplexe System von Muzin und interzellulären Proteinen ist, wie oben erwähnt, auf eine für das ausgewogene ernährte Pferd typische Darmflora angewiesen.

Der **Dünndarminhalt** ist stark wässrig einhergehend mit geringer Viskosität: Bei Gabe von Raufuttermitteln liegt der Trockensubstanzgehalt im Ileuminhalt unter 4%, bei gemischten Rationen zwischen 4–6% und bei reinem Krippenfutter zwischen 4–10%. Die Gehalte steigen mit erhöhter Mengenzuteilung pro Mahlzeit.

Funktion Die **Darmbewegungen** dienen sowohl der Durchmischung des Inhalts als auch dem Weitertransport. Durch Tonusänderungen sowie begrenzte, rhythmisch wechselnde Kontraktionen (Pendelbewegungen, Segmentation) wird der Inhalt durchmischt, während die in Richtung Darmende laufenden peristaltischen Wellen den Transport des Darminhalts bewirken. Die Ingesta passieren den Dünndarm in einer Geschwindigkeit von ca. 20 cm/min, d. h. den rd. 20 m langen Dünndarm in 1½ Stunden. Im Ileum sammelt sich der Inhalt und wird stoßweise in Mengen von 200–1500 ml unter Druck in den Blinddarm geschleudert (3–6-mal/h).

Die **Bauchspeicheldrüse (Pankreas)** produziert kontinuierlich ein Sekret, das im Vergleich zu anderen Tierarten geringere Enzymkonzentrationen (S. 38) aufweist. Die tägliche Sekretmenge wird auf 5–10% der Körpermasse geschätzt (► Tab. 3.3). Der Pankreassaft enthält neben Enzymen (Trypsin, Amylase, Lipase) hohe Mengen an Alkalien, die zur Neutralisierung des sauren Mageninhalts dienen. Zusätzlich zur Bereitstellung von Enzymen trägt

das Sekret zur Kontrolle der Mikroorganismen im Dünndarm bei.

Die Leber produziert **Galle**; diese wird kontinuierlich und in großen Mengen (► Tab. 3.3) ohne Eindickung in das Lumen des Dünndarms eingeleitet, da dem Pferd die Gallenblase fehlt. Die Galle trägt durch enthaltene Mineralstoffe und Bikarbonat gleichfalls zur Neutralisierung des sauren Mageninhalts und dem Erhalt eines für die sezernierten Enzyme günstigen pH-Bereiches im Dünndarm bei. Die Gallensäuren unterstützen durch eine emulgierende Wirkung die Fettverdauung (S. 55).

Am Ende des Dünndarms tritt verstärkt **Bikarbonat** in das Dünndarmlumen, so dass die im Blinddarm entstehenden Säuren (S. 50) z. T. abgepuffert werden können und Pufferkapazität in den Blinddarm transferiert werden kann.

Der Inhalt des Dünndarms, der schon erhebliche Mengen anaerober Keime aufweist (► Tab. 3.5), enthält durch Zufluss aus dem Magen, aber auch durch unmittelbare mikrobielle Aktivität je nach Futterart und Menge mehr oder weniger hohe Konzentrationen an **organischen Säuren** (flüchtige Fettsäuren, Laktat; ► Tab. 3.8).

Die Konzentrationen **flüchtiger Fettsäuren** im Mageninhalt unterscheiden sich in Abhängigkeit von der Fütterung nur wenig. Im Dünndarmchymus liegen die Gehalte – abgesehen vom Ileuminhalt – nach Raufutter tendenziell höher als nach Kraftfutter.

Die **Laktatkonzentrationen** im Magen und Dünndarm (► Tab. 3.8) sind nach Raufuttergabe in der Regel gering. Nach Kraftfutterzuteilung sind dort höhere Werte anzutreffen, insbesondere, wenn pro Mahlzeit mehr als 0,5 kg leicht fermentierbare Kohlenhydrate pro 100 kg KM zugeteilt werden.

Der **pH-Wert** im Dünndarmchymus resultiert aus dem Säuregrad der einfließenden Mageninhalt, der enthaltenen oder sich bildenden Laktatmengen sowie der Pufferkapazität von Sekreten, die in das Duodenum eintreten (u. a. Pankreassaft, Galle). Normalerweise erreicht der pH-Wert im Duodenum etwa 6,5 und steigt im Jejunum und Ileum auf über 7 (► Tab. 3.5).

Erhalten Pferde stärkereiche Kraftfutter, so können die pH-Werte infolge starker Laktatbildung auf < 6,5 abfallen (► Abb. 3.7). Abgesehen von mög-