

Geschichte der Ernährungsforschung beim Pferd

Helmut Meyer

Zusammenfassung

Die Ernährungsforschung beim Pferd begann in der 1. Hälfte des 19. Jh., nahm bis 1900 allmählich, dann - abgesehen von den Jahrzehnten der beiden Weltkriege - verstärkt zu und erlebte nach 1970 einen stürmischen Aufschwung (Abb.1). Bis 1965 stammten 60-80% aller Arbeiten aus Europa, bis 1940 größtenteils aus Deutschland. Nach 1965 liegt der Schwerpunkt der Forschungstätigkeit in Nordamerika (33-50%). In anderen nicht-europäischen Ländern setzt ab 1970 eine verstärkte Forschung ein. Arbeiten zur Verdauungsphysiologie stützten sich etwa bis zur Mitte des 20. Jh. auf post-mortem-Untersuchungen. Nach Einführung der Darmfisteltechnik (1950-70) wurden rasche Fortschritte erzielt, erleichtert durch entsprechende Vorgaben bei Wiederkäuern. Bis 1950 lagen bereits wesentliche Erkenntnisse vor: zum Energiewechsel sowie zum Stoffwechsel von Kalzium, Phosphor, Magnesium und Jod, teilweise stimuliert durch Mangelsituationen. In der 2. Hälfte des 20. Jh. wurden diese Bereiche verstärkt bearbeitet und um Eiweiße, Elektrolyte, Spurenelemente (Se, Cu) und Vitamine erweitert. Fortschritte in der Verdauungsphysiologie trugen nachhaltig zur Klärung des Stoffwechsels von Eiweißen und B-Vitaminen bei. Die speziellen Untersuchungen wurden von Anfang an durch Fütterungsversuche begleitet, in denen Futtermittel, Futterrationen, Fütterungs- und Tränktechniken sowie Bedarfsempfehlungen geprüft wurden unter Berücksichtigung verschiedener Leistungsanforderungen.

Schlüsselwörter: Geschichte, Forschung, Ernährung, Fütterung

History of equine nutrition research

In the first half of the 19th century research on the nutrition of horses started. It grew slowly up to 1900, then moderate - except for war decades - and made important progress after 1970 (fig. 1). Up to 1965 60-80 % of all publications on horse nutrition originated from Europe, up to 1940 mainly from Germany. After 1965 the main research shifted to North America. In other non-european countries research in this field started more intensively since 1970. Nearly up to the middle of the 20th century research on digestive physiology was based on post mortem analysis. After introduction of the fistula technique (1950-70) rapid progress took place, supported by models known from ruminant research. Up to 1950 important knowledge had been accumulated about the metabolism of energy, calcium, phosphorus, magnesium and iodine, partly induced by deficiency diseases. The research on these topics continued in the second half of the 20th century and was extended to proteins, electrolytes, trace elements (Se, Cu) and vitamins. The improved understanding of the intestinal metabolism deepened the understanding of the metabolism of proteins and B-vitamins. Since the early beginning the specific investigations on digestive physiology and the metabolism of the nutrients were accompanied by feeding experiments, which tested feedstuffs, rations, feeding techniques as well as recommendations about nutrient requirements in various horse groups.

Keywords: history, research, nutrition, feeding

Einleitung

Zusammenhängend ist die Entwicklung der Ernährungsforschung beim Pferd bisher noch nicht dargestellt worden. Frühere Arbeiten (Krause 1933, Squibb 1958, Robinson und Slade, Harris 1998) behandeln überwiegend historische Aspekte der Fütterungspraxis oder Teilbereiche der Forschung. Nach heutigem Verständnis von wissenschaftlicher Arbeit begann die Ernährungsforschung beim Pferd in der 1. Hälfte des 19. Jh. Damals waren die allgemeinen chemischen, physikalischen und experimentellen Voraussetzungen geschaffen, um Probleme nach wissenschaftlichen Grundsätzen zu klären, so z. B.:

Wo und wie werden Futterstoffe zerlegt und resorbiert ?

Welche Nahrungskomponenten sind für Gesundheit und Leistungsfähigkeit unentbehrlich und warum?

In welcher Menge sind diese Stoffe täglich zuzuführen?

Beruhren manche Erkrankungen auf Ernährungsfehlern und wie verläuft ihre Pathogenese ?

Wie lässt sich die Fütterung verbilligen?

In der folgenden Übersicht soll aus historischer Sicht gezeigt werden, wie diese Fragen allmählich wissenschaftlich bearbeitet wurden und in welchen Ländern.

Quellen

Zur Bearbeitung des Themas wurden rd. 3400 Originalarbeiten herangezogen über Fütterungsversuche, Verdauungsphysiologie (inklusive Verdauungsversuche), Stoffwechseluntersuchungen (Energie, Eiweiß, Mineralien, Vitamine) sowie Berichte über einige ernährungsbedingte Erkrankungen (Über- und Unterversorgung mit Nährstoffen, Fehler in der Fütterungstechnik, Schäden durch Sekundärstoffe in genuinen Pferdefuttermitteln, verdorbene Futtermittel). Fütterungsversuche wurden - auch bei simplen Fragestellungen - aufgenommen, wenn die Versuchsbedingungen (Art und Menge der Futtermittel, Tierzahl etc.) und die geprüften Effekte (Leistungen, Verträglichkeit etc.) eindeutig definiert waren. Die Qualität und Aussagekraft dieser Untersuchungen nimmt im Laufe der

Zeit zu, durch verbesserte Versuchsanlage, Zahl der verwendeten Tiere, Wiederholungen oder Auswertung (statistische Methoden finden ab den 1940er Jahren Eingang). Im 19. Jh. blieb die Zahl der Versuchspferde oft noch klein, doch in Versuchen beim Militär oder bei großen städtischen Fuhrunternehmern war sie z. T. erheblich (z. B. Prüfung der Maisfütterung in der österreichischen Armee 1876 mit rd. 5 000 Pferden).

Berichte, die sich ausschließlich mit Futteranalysen oder Leistungsprüfungen befassten, ebenso wie Übersichten ohne Originalergebnisse sowie Vergiftungen durch nahrungsunabhängige Substanzen blieben unberücksichtigt.

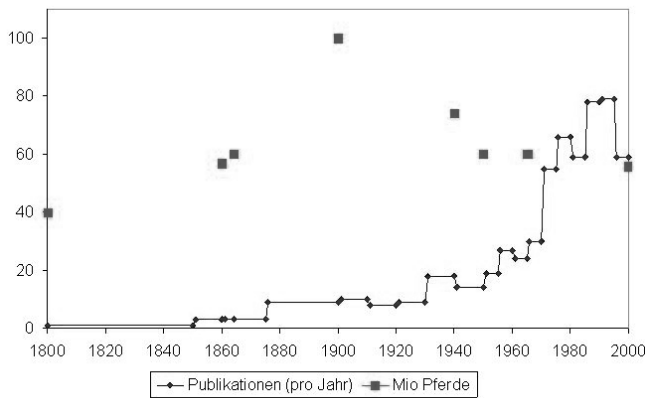


Abb 1 Zahl der Publikationen über die Ernährung der Pferde (pro Jahr) und Zahl der Pferde in der Welt (Mio., 1800-2000). Number of publications on equine nutrition (per year) and world equine population (mio., 1800-2000).

Die Originalpublikationen können nicht einzeln genannt werden. Bis 1950 (rd. 1000) sind sie in den Dissertationen von Ohlendoff 1998, Klingenberg-Kraus 2001 und Bernemann 2005 aufgeführt, bei Ohlendoff bis 1995 auch die über den Mineralstoff-, Spurenelement- sowie Vitaminstoffwechsel. Die übrigen Publikationen (von 1951-2000) wurden anhand der Referate in Nutrition Abstracts and Reviews erfasst. Diese Arbeiten sind weitgehend in den Literaturverzeichnissen von Lewis 1995 (> 1500 Zitate), Frappe 1998 (> 1200 Zitate) sowie in Übersichtsreferaten des Autors aufgeführt (s. Übersichten zur Tierernährung: Mg-Stoffwechsel 1979, Na-Stoffwechsel 1980, Dickdarmverdauung 1980, intestinaler N-Stoffwechsel 1982, intestinaler Wasser- u. Elektrolytstoffwechsel 1992, Cu-Stoffwechsel 1994, Fettfütterung (mit Sallman) 1996, Fütterung u. Fertilität 1998). Im Schrifttumsverzeichnis werden daher nur wenige Arbeiten zitiert, die für das Thema besondere Bedeutung haben.

Ergebnisse

Quantitative Aspekte

In Abbildung 1 ist die quantitative Entwicklung der Pferdeforschung anhand der ausgewerteten Publikationen skizziert. Vor 1850 erschienen nur sporadisch Arbeiten. Im dritten Quartal des 19. Jh. wird dann regelmäßig über Untersuchungen zur Pferdeernährung publiziert, jedoch nur in geringer Zahl.

Nach 1900 besteht eine steigende Tendenz, die jeweils während der beiden Weltkriege unterbrochen wird. Nach 1950 nehmen die Publikationen weiter zu und zeigen ab 1970 - nach kurzer Stagnation Mitte der 60er Jahre - einen stürmischen Aufwärtstrend. Um 1990/95 wird ein Höhepunkt erreicht. Danach gehen die Aktivitäten zurück, bleiben mit fast 60 Publikationen pro Jahr aber auf einem hohen Niveau.

Entwicklung in einzelnen Forschungsbereichen

Verdaulichkeitsphysiologie

Über die Anatomie des Verdauungskanals existierten schon vor Beginn der Ernährungsforschung beachtliche Kenntnisse nicht zuletzt durch Ruinis 1598 erschienenes Werk: *Dell anatomia et del Infimata des Cavallos*.

In der Verdauungsphysiologie wird intra vitam Ende des 18. Jh. zunächst das am einfachsten Zugängliche geprüft: Speichelproduktion und -zusammensetzung (Chenaie 1780). Anders als beim Wiederkäuer, wo bereits in der 1. Hälfte des 19. Jh. Ösophagus- und Pansenfisteln angelegt wurden (Lohse 2000), gelang es nicht, am lebenden Pferd über Fisteln Verlaufsuntersuchungen am Magen sowie Dünn- und Dickdarm auszuführen. Es waren nur kurzfristige Eingriffe bei lebenden Pferden möglich (Gewinnung von Darm- oder Pankreassaft: Rohlwe 1800, Leuret und Lassaigue 1825). Tiedemann und Gmelin (1827) überprüften post mortem den Inhalt verschiedener Darmabschnitte und lieferten erste Erkenntnisse über mögliche Verdauungsabläufe, doch diese frühen Einzelaktionen konnten noch keine Zusammenhänge zur Verdauung klären.

In der 2. Hälfte des 19. Jh. stammen die wichtigsten Ergebnisse zur Verdauungsphysiologie aus Alfort (Colin 1856) und vor allem aus Dresden (Ellenberger und Hofmeister (1879-1889). In den post-mortem-Untersuchungen konnten für die Teilbereiche des Verdauungskanals entscheidende Erkenntnisse (Sekretion, Enzyme, Motorik, Passage etc.) gewonnen werden. Der Abbau pflanzlicher Fasern blieb jedoch noch unklar, da keine körpereigenen Enzyme gefunden wurden. Einen entscheidenden Fortschritt brachten die Ergebnisse von Tappeiner (1881-1884), dass die Nahrung nicht nur durch körpereigene, sondern auch durch Enzyme der Mikroorganismen im Darm zerlegt wurde. Bis 1950 folgen zu dieser Frage nur wenige Untersuchungen, da noch Methoden zur Kultivierung anaerober Keime fehlten. In den 20er Jahren wurde jedoch der N-Gehalt im Ileuminhalt mit dem Proteingehalt von zäkalen Infusorien verglichen. Nach 1950 - als entsprechende Methoden bei Wiederkäuern entwickelt waren - folgten weitere Arbeiten über Protozoen, die jedoch, wie man bald erkannte, auch beim Pferd keine Bedeutung für die Verdauung hatten. Erst in den 70er Jahren folgen detaillierte Untersuchungen (teils in vitro) über die Dickdarmflora, über Einflüsse der Futterart sowie des Futterwechsels. Ab den 90er Jahren werden auch nicht-invasive Verfahren geprüft (Wasserstoff-, Methan-Exhalation), um indirekt die Aktivität der Flora beurteilen zu können.

Über die klassischen Fragen der Verdauungsphysiologie (Sekretion, Enzyme, Motorik) erschienen in der ersten Hälfte des 20. Jh. relativ wenig Arbeiten. Die Futterpassage konnte

in den 30ern mit Hilfe von Farbstoffen erfasst werden, weitere Arbeiten über Einflußfaktoren folgten unter Verwendung externer Marker ab 1967. Die Motorik und ihre Steuerung wurden im letzten Quartal des 20. Jh. - überwiegend aus klinischer Sicht - intensiver untersucht.

Die Füllung des Verdauungskanals war aus Untersuchungen vor 1900 pauschal bekannt. Doch erst nach 1980 interessierten die Aufteilung in flüssige und feste Phasen, die Gehalte an N-haltigen und N-freien Substanzen, Säuren sowie Elektrolyten. Mit der Dauer der Futteraufnahme, der Kauintensität sowie der Einspeichelung beschäftigten sich Untersu-



Abb 2 Wilhelm Ellenberger 1848-1929. Prof. für Physiologie und Histologie, Tierärztliche Hochschule Dresden (1879-1923)

chungen ab Mitte der 1970er Jahre, als neue Futtersysteme (Pellets, wenig Raufutter) zu Verhaltens- und Verdauungsstörungen führten.

Die Grundzüge der Magenverdauung waren bis 1900 bekannt. Permanente Magen fisteln (erstmalig 1936 in Russland) erlaubten Untersuchungen über den Verdauungsablauf in den 50er Jahren (u.a. in Edinburg und Russland). Als in den 80er Jahren verstärkt Magenerkrankungen diagnostiziert wurden, erschienen vermehrt Arbeiten zu dieser Frage, insbesondere als über Sonden die Abläufe kontinuierlich registriert und parallel das serumreaktive Gastrin bestimmt werden konnten.

Die Forschung über die Verdauung im Dünndarm erhielt erst neue Impulse, als 1974 länger nutzbare Darmkanülen im Ileum oder auch Überbrückungskanülen zum Blinddarm etabliert wurden (Meyer und Klingeberg-Kraus 2002). Nun konnten nicht allein Passageraten, Enzymkonzentrationen, Metaboliten der enzymatischen und mikrobiellen Verdauung sowie die Nettoresorption und -sekretion von Wasser und Elektrolyten erfasst werden, sondern es wurden auch quantitative Aussagen über die präzäkale Verdauung der organischen Substanz, verschiedener Kohlenhydrate sowie von Fetten und Proteinen

möglich. Diese Werte lieferten auch Aussagen über den Zufluss unverdauter Futterinhaltsstoffe in den Dickdarm und ermöglichten die Berechnung der postilealen Verdauung.

Wegen der relativ günstigen Zugänglichkeit wurden bereits ab den 50er Jahren länger funktionierende Zäkum fisteln angelegt und die Abläufe in diesem Dickdarmabschnitt (Bildung kurzkettiger Fettsäuren, Milchsäure, Ammoniak) charakterisiert. Entsprechende Arbeiten zum Kolon folgten Ende der 70er Jahre, als auch dieser Abschnitt dauerhaft fistuliert werden konnte. Die Untersuchungen wurden ergänzt durch Prüfung der Verdauung nach Resektion von Dünndarm- und Kolonabschnitten oder nach Zäkotomien. Damit wurden auch diätetische Möglichkeiten bei Patienten mit entsprechenden Ausfällen erkundet.

Verdaulichkeitsbestimmungen begannen mit Boussingault 1839 und wurden erst 15 Jahre später von Haubner fortgesetzt. Bis 1950 erschienen rd. 120 Publikationen über Verdaulichkeitsuntersuchungen (meistens mit Aussagen über mehrere Versuche), in der 2. Hälfte des 20. Jh. noch einmal soviel. Diese Experimente klärten den Futterwert aller konventionellen, aber auch vieler Not- und Ersatzfuttermittel. Bei den Verdauungsversuchen waren konventionelle Sammelmethode üblich. Bis in die 90er Jahre wurden noch Verbesserungsvorschläge für Stallungen, Versuchsstände, Geschirre etc. gemacht. Externe Marker setzten erstmals Olsson 1949 (Chromoxyd) sowie Geyer et al. 1970 (Hostalen) ein. Auch interne Marker (salzsäureunlösliche Asche, Lignin, Alkane) wurden geprüft.

Mit eingehängten Nylon-bags sollte die Verdauung im Zäkum bestimmt werden. 1996 wird über die Technik mit mobilen bags berichtet und damit an frühe Versuche von Waldinger 1808 angeknüpft.

Stoffwechsel (Energie, Eiweiß, Mengenelemente, Vitamine, Wasser)

Allgemeine Grundlagen

Grunddaten für Stoffwechseluntersuchungen und die Ableitung von Bedarfswerten (Körper-, Organ-, Gewebeanalysen), Wachstumsraten, Milchmenge und -zusammensetzung wurden allmählich entsprechend den methodischen Möglichkeiten erfasst. Geburtsgewichte und Wachstumsraten registrierten bereits Pferdezüchter vor 1900, im Verlauf des 20. Jh. verstärkt auch Tierernährer. Colin machte 1856 Angaben über die Organ- und Gewebeanteile im Pferdekörper. Aus dieser Zeit stammen auch erste Knochenanalysen. Ganzkörperanalysen von Föten, Fohlen und adulten Pferden folgten erst über 100 Jahre später (Ropp et al. 1971, Schryver et al. 1973/74, Meyer und Ahlswede 1976). Die Gehalte an Spurenelementen in Organen und Geweben fanden erst nach 1950 vermehrt Beachtung.

Die Milchmengenleistung von Stuten interessierte bereits 1896 im Gestüt Marbach. Über die Zusammensetzung der Milch (org. Komponenten) erschienen von 1874 bis 1950 17, über Mengenelemente 15 Publikationen, von 1950 bis 2000 kommen über 50 Arbeiten hinzu (Kolostrum, Immunglobuline, Einfluss von Laktationsverlauf, Futter, Rasse, Fettsäuremuster, Mineralstoff-, Vitamin- und Aminosäuregehalt).

te). Nachdem *Bunge* 1874 und *Abderhalden* 1903 den Fe-Gehalt in der Stutenmilch bestimmt hatten, folgten ab 1931 rd. 25 Arbeiten zum Fe-, Cu-, Zn- und Se-Gehalt, sporadisch auch über Mangan, noch nicht über Jod.

Energiewechsel

Die im Energiewechsel primär umgesetzten Kohlenhydrate und Fette hatte bereits *Liebig* (1843) als Respirationsmittel erkannt. Über den Stoffwechsel dieser Stoffe gab es bis 1900 bei Hund und Mensch schon weitgehende Kenntnisse (*Alexy* 1998), nur wenige beim Pferd.

Dem Stoffwechsel der Kohlenhydrate versuchte man zunächst durch Bestimmung des Blutzuckers näher zu kommen. Erste Analysen erscheinen 1850, gefolgt von sporadischen Arbeiten bis Ende des 19. Jh., die noch Fehler bis 15 mg/dl aufwiesen (*Segen* 1896). *Zuntz* (1896) galt der Zucker als Hauptquelle für die Muskeltätigkeit. 1916/18 erscheinen weitere Angaben zum Blutzuckerspiegel - im Zusammenhang mit Zuckerfütterung -, doch erst nach 1920 stehen zuverlässige Mikromethoden zur routinemäßigen Bestimmung zur Verfügung. Nun folgen rasch Angaben über Normalwerte, über den Einfluss von Alter, Geschlecht, Rasse, Krankheiten ect. Diese Daten werden nach 1970 weiter vertieft, als es um Einflüsse verschiedener Futtermittel, Futterrestriktion oder die Bewegung ging, den postprandialen Verlauf, die Glukosetoleranz des Pferdes und insbesondere über die Steuerung des Glukosestoffwechsels. 1989 wird die Glukoneogenese aus der aus dem Darmkanal stammenden Propionsäure erkannt.

Glykogen galt bereits vor 1900 als Energiequelle für physische Aktivität. 1896 wiesen französische Forscher beim Pferd nach, dass der Glykogengehalt im M. masseter nach Kauen abnahm. Diese Speichersubstanz wurde nach 1900 wiederholt bestimmt, vor allem bei Analysen von Pferdefleisch, ebenso im Zusammenhang mit der Myoglobinurie. Die nur oberflächlichen Kenntnisse wurden nach 1970 weiter vertieft, z.B. durch Erfassung der Glykogendepletion nach Bewegung (1974), die Geschwindigkeit der Repletion (1987) oder Veränderungen nach Fettfütterung.

Mitte der 20er Jahre wurde aus der Sportmedizin bekannt, dass nach anstrengender Muskeltätigkeit der Laktat Spiegel im Blut ansteigt. Diese Reaktion konnten *Carlström* 1931 für das Pferd bestätigen, ebenso *de Groot* und *von der Plank* (1941). Zuvor (1932/34) war bereits aufgefallen, dass nach stärkerer Bewegung der Blut-pH abfiel. Nach 1950 werden Kenntnisse über die Bildung von Laktat und dessen Kinetik insbesondere bei Hochleistungspferden vertieft.

Im 19. Jh. wurde zwar der Fettgehalt in Geweben ebenso wie in der Milch erfasst und auch erkannt, dass die Körperfettkonsistenz von der Art der Futterfette abhing, doch das Fettsäuremuster im Körperfett wird erst in den 1920er Jahren analysiert. Über den Fettgehalt im Blut existieren bis 1950 keine Publikationen. Erst nach 1960 finden Fette zunehmend Interesse. Die Lipidfraktionen des Blutes werden differenziert (Triglyzeride, Phospholipide, freie Fettsäuren), die für den Fetttransport verantwortlichen Lipoproteine (VLDL, LDL, HDL) eingehend beschrieben, nach 1990 insbesondere im Zusammenhang mit der Hyperlipidämie.

Nach 1970 wurde auch bei Pferden nachgewiesen, dass die aus dem Darm stammenden kurzkettigen Fettsäuren der Energieversorgung dienen.

Obwohl schon *Burr* und *Burr* 1929 den essentiellen Charakter einiger ungesättigter Fettsäuren beschrieben, prüfte erst *Grunwald* 1991 die Folgen einer marginalen Fettversorgung beim Pferd.

Der Energiebedarf wurde in Fütterungs- und Respirationsversuchen bestimmt. In den Fütterungsversuchen bei Militäreinheiten (ab 1852) und mit Omnibus- und Droschkenpferden registrierte man, mit welchen Gewichtsveränderungen Pferde bei definierten Futter- (und Energie)mengen und Leistungen reagierten. Ab 1879 werden zur genaueren Erfassung der erbrachten Leistungen z.T. Dynamometer verwendet. Die Ergebnisse konnten allein wegen der Schwankungen im Gewicht des Verdauungskanals nicht sehr präzise sein. Bemerkenswert ist aus dieser Zeit die Beobachtung von *Wolff* (1887) - die *Armstrong* einige Jahre später bestätigte -, dass bei raufutterreichen Rationen die Energieverwertung offenbar geringer war als bei krafftutterreichen.

In den 20er Jahren folgen ähnlich aufgebaute Versuche wie im 19. Jh. bei Pferden in der Landwirtschaft, dabei wird z.T. die aufgenommene verdauliche Energie als Maßstab benutzt. Weitere Versuche dieser Art zur Bestimmung des Energiebedarfes für Erhaltung oder Bewegung unter Nutzung von Regressionsberechnungen folgten nach 1970 und waren auch noch in den 90er Jahren üblich.

Genauere Werte über den Energiebedarf lieferte die direkte Erfassung des Energiewechsels (Kalorimeter, Respirationsversuch). Ende des 19. Jh. führte - nach einigen, aus technischen Gründen nicht aussagefähigen Versuchen (*Lassaigue* 1846/49, *Sanson* 1876, *Meissl* 1886) - *Zuntz* in Berlin (1889-98) umfangreiche Respirationsversuche aus, deren Ergebnisse noch heute verwertbar sind. Über weitere Arbeiten wird ab 1930 aus Breslau (mobiles Gerät für Pferde bei der Landarbeit) und insbesondere aus der Missouri Experimental Station (*Brody* 1945) berichtet. Nach der Zäsur durch den 2. Weltkrieg erscheinen Ende der 50er Jahre wieder Publikationen über Respirationsversuche aus Japan, 1962/63 aus Russland, Ende der 60er Jahre auch wieder aus Deutschland (Rostock) und nach 1970 aus den USA. In den letzten Dezennien des 20. Jh. beteiligen sich auch Australien, Indien und Frankreich.

Aufgrund vorliegender Unterlagen (Bedarf, Erhaltung, Energieansatz bzw. Abgabe durch Fötus bzw. Milch) konnte der Energiebedarf für Stuten Ende der 1970er Jahre nach der faktoriellen Methode berechnet werden.

Der Wert von Pferdefuttermitteln wurde in der ersten Hälfte des 19. Jh. durch den Heuwert charakterisiert. Nachdem im letzten Viertel des 19. Jh. genügend Verdaulichkeitswerte vorlagen, folgte der Wechsel auf verdauliche Energie. Nach 1900 wurde es insbesondere in Deutschland üblich, den für Wiederkäuer entwickelten Stärkewert als Maßstab zu benutzen. Nach 1950 setzten sich jedoch weltweit die verdauliche Energie bzw. TDN (total digestible nutrients) zur Bewertung durch. Seit 1980 wird in Frankreich ein Nettoenergie-Bewertungssystem entwickelt.

Vor 1900 waren bereits Grundphänomene des exogenen N-Stoffwechsels geklärt. In Verbindung mit Verdauungsversuchen wurde oft auch die N-Bilanz erfasst (erstmalig 1839 von *Boussingault*, der noch respiratorische N-Verluste vermutete). Wie bei anderen Spezies bestand im Erhaltungsstoffwechsel ein N-Gleichgewicht - je höher die Aufnahme, desto größer die renale Ausscheidung. Um die Mitte des 19. Jh. war bekannt, dass Stickstoff überwiegend in Form von Harnstoff, zu einem kleineren Teil als Kreatinin und Hippursäure ausgeschieden wurde. Bei Fragen des Eiweißumsatzes lastete auf den Forschern lange die Hypothese von *Justus von Liebig* (1846), der Eiweiß als Quelle der Muskelkraft ansah, das bei der Muskelkontraktion zerlegt würde. *Kellner* betonte 1879, dass die primären Energiequellen für die Muskelarbeit Kohlenhydrate und Fette waren, doch schließlich würde auch Eiweiß umgesetzt. Daher würden arbeitende Organismen mehr Eiweiß benötigen.

Bei Verdaulichkeitsbestimmungen der Eiweiße wusste man schon im 19. Jh., dass auch N-haltige Substanzen in den Darmkanal einfließen, deren Menge - u.a. in Mangel- oder Hungerversuchen - zu bestimmen versucht wurde, ebenso wie die kutanen N-Verluste (Haare, Schweiß, Epithelien). In der 1. Hälfte des 20. Jh. wurden die Arbeiten fortgesetzt, doch noch keine gesicherten Ergebnisse erzielt, um eindeutige Aussagen über den Eiweißbedarf im Erhaltungsstoffwechsel oder bei arbeitenden Pferden zu kalkulieren. Bei *Kellner* heißt es 1924: "Während wir über den Energiebedarf von Arbeitspferden ziemlich vollkommen unterrichtet sind, befinden wir uns bezüglich der zu verabfolgenden Mindestmenge an Eiweiß bedauerlicherweise noch ganz im Unklaren". Noch während des 1. Weltkrieges waren die deutschen Heeresveterinäre darauf bedacht, Armeepferde ausreichend mit Eiweiß zu versorgen, u.a. mit Schlachtabfällen oder Blutmehl (*Bernemann* 2005). Auch für Stuten und Fohlen fehlten konkrete Bedarfswerte, obwohl Daten über die Milchmengenleistung, den Eiweißgehalt in der Milch, Geburtsgewichte und Wachstumsraten vorlagen.

Der intermediäre Eiweißumsatz blieb bis Anfang des 20. Jh. noch weitgehend unklar. Der Gesamteiweißgehalt im Blut wurde bis 1950 nur vereinzelt erfasst (1940 im Zusammenhang mit Immunkörpern im Fohlenblut). Neue in der Humanmedizin entwickelte Mikromethoden erlaubten ab 1920 die nicht-eiweißartigen Verbindungen im Blut (Rest-N, vorwiegend Harnstoff) einfach zu bestimmen, sodass bald zahlreiche Arbeiten über Normalwerte, Einfluss von Fütterung, Alter, Geschlecht etc. erschienen.

Erkenntnisse über den Eiweißstoffwechsel werden nach 1950 vor allem durch fortschreitende Untersuchungen über den intestinalen N-Stoffwechsel sowie den Einsatz von markiertem Stickstoff gefördert. Nach 1970 erscheinen Arbeiten über die N-Gehalte im Inhalt verschiedener Abschnitte des Verdauungskanals, über mikrobiell gebildete Metaboliten (Ammoniak) oder den Einfluss von Eiweiß auf die Aktivität der Flora. Mit dünn darm fistulierten Pferden konnte nicht nur die präzäkale Verdaulichkeit der Futtermittel und damit ihr Futterwert erkannt werden, sondern auch, dass mit den erheblichen Sekretmengen aus dem vorderen Bereich des Verdauungskanals große Harnstoffmengen in den Dickdarm fließen. Versuche mit markiertem Stickstoff zeigten, dass es im Dickdarm -

ähnlich wie im Pansen - zu erheblichen mikrobiell bedingten Ab- und Aufbauvorgängen kommt. Doch wurde bald erkannt, dass von den Syntheseprodukten im Dickdarm nur ein kleiner Teil vom Wirt genutzt werden konnte. Deshalb blieben auch Versuche, Eiweiß durch Harnstoff zu ersetzen (beginnend in den 70er Jahren, aber auch noch in den 90ern), ohne Erfolg.

Nach 1970 erweiterten sich die Forschungsaktivitäten zum allgemeinen Eiweißstoffwechsel nachhaltig, die durch einige Stichworte charakterisiert werden sollen: Folgen einer Unter- oder Überversorgung, u.a. für die Fertilität; Wert verschiedener Futtermittel, insbesondere bei Fohlen und Stuten; Einsatz von Aminosäuren in der Fohlenaufzucht (ab 1994); Versorgung der Fohlen mit Immunglobulinen; Bedeutung der Proteinversorgung für Leistungspferde; Aufgliederung der N-haltigen Komponenten im Blut incl. Aminosäuren (ab 1976); Proteinzufuhr und Dressurfähigkeit und - in den 90er Jahren - Bedarf an essentiellen Aminosäuren.

Mengenelemente und Wasser

Unter den über 600 Publikationen über Mengenelemente entfällt der größte Teil auf die Elemente Kalzium und Phosphor. Ihr Gehalt in den Knochen war bereits im 18. Jh. bekannt. Daher ist nicht überraschend, dass auffällige Knochenerkrankungen, die 1824 erstmals in den USA (*big head*) und 1851 in Europa (*Bäcker- und Müllerkrankheit*) beschrieben wurden, Untersuchungen über diese Elemente anregten. Die Störung, die, wie sich später herausstellte, ein primärer oder sekundärer Ca-Mangel (P- oder Oxalatüberschuss) verursachte und über die bis zum Jahr 2000 in rd. 80 Publikationen berichtet wurde (mit abnehmender Tendenz nach 1950), blieb ein Motor für Untersuchungen über den Stoffwechsel der genannten Elemente, ebenso wie andere, oft unspezifische Skelettveränderungen. Die Störung wurde auch experimentell durch Ca-Mangel oder P-Überschuss reproduziert, beginnend mit *Luginow* 1890 in Dorpat, weiterhin in den 1920/30er Jahren in Japan, Ceylon und auf den Philippinen. Erste Studien zur Nettoresorption bzw. Bilanz stammen von *Boussingault* 1837. Gegen Ende des Jahrhunderts und verstärkt im 20. Jh. folgen viele weitere Arbeiten, bis 2000 etwa 70, vor allem auch über Einflussfaktoren auf die Resorption. Möglichkeiten zur sicheren Interpretation der Ergebnisse ergaben sich ab den 80er Jahren, nachdem Lokalisation und Mechanismen der Resorption im Darmkanal erkannt wurden.

Über den intermediären Stoffwechsel dieser Elemente konnten im 19. Jh. noch keine eingehenden Erkenntnisse gewonnen werden. Analysen über die Gehalte in den Knochen erschienen 1844, in der Milch 1874 (bis 2000 wird darüber in über 40 Publikationen berichtet!), sporadisch auch über Gehalte in Weichgeweben und Verdauungssekreten. Die renale Exkretion des Kalziums (anders als beim Wiederkäuer) war Mitte des 19. Jh. bekannt, über die des Phosphors gab es Ende des 19. Jh. widersprüchliche Daten, die erst 1990 eindeutig geklärt werden konnten (unterschiedliche Reaktionen nach Rau- oder Krippenfutter).

Die Ca- und P-Gehalte im Blut bestimmte erstmals *Abderhalden* 1898, ab Ende der 1920er Jahre erscheinen dann zunehmend weitere Publikationen, nachdem einfache Mikroanalytische Methoden entwickelt worden waren; dabei interes-

sierten vor allem Variationsfaktoren und Regulation. Die eigentlich nach Transporten, bei laktierenden Stuten (ab 1930 beschrieben) oder Distanzpferden (ab 1970 beobachtet) auftretenden hypokalzämische Tetanien gaben der Forschung weitere Impulse. Erst 1970 werden die bei anderen Spezies schon bekannten steuernden Hormone intensiv untersucht.

Magnesium wurde im 19. und beginnenden 20. Jh. meistens gemeinsam mit Kalzium und Phosphor erfasst (Gewebeanalysen, Verdauungs- und Bilanzversuche). Ein Mangel kam unter praktischen Verhältnissen offenbar nicht vor, ein Überschuss kann – wie sich später herausstellte – Darmsteinbildungen begünstigen, die 1830 erstmals beschrieben wurden und nachfolgend über 140 Autoren zu Mitteilungen anregten.

Die überwiegend renale Ausscheidung war seit 1856 bekannt. Erste Blutanalysen erscheinen in den 1930er Jahren. Nach 1970 werden die Untersuchungen intensiviert und u.a. folgende Themata behandelt: Folgen eines Mangels, Resorption und deren Lokalisation im Darmkanal, Einflussfaktoren auf die Resorption (K, P, Ca, Oxalat, Al, Fette, Vitamin D, Art der Mg-Verbindung), Klärung therapeutischer Wirkungen von Mg-Verbindungen (Darmkanal, Stressminderung).

Die Elektrolyte (Natrium, Kalium, Chlor) kommen erst in der 2. Hälfte des 20. Jh. in das Blickfeld der Wissenschaftler, nachdem ihre Bedeutung für die Steuerung des Wasserhaushaltes und den Muskelstoffwechsel und ihr hoher Gehalt im Schweiß erkannt wurden.

Die Lebensnotwendigkeit von Salz war bereits um 1800 bekannt. Es erschien für die Erhaltung der Fresslust und die Verdauungstätigkeit unentbehrlich („Würze“). Auch zur Konservierung von Futtermitteln fand es Verwendung. Mitte des 19. Jh. war bekannt, dass beim Pferd Salz in hohen Konzentrationen im Blut und in Verdauungssäften vorkam.

Systematische Untersuchungen zum Na- und Cl-Stoffwechsel fehlen im 19. Jh. Die renale Exkretion war allerdings schon Ende des 19. Jh. bekannt. Sporadische Analysen erscheinen über die Gehalte in Knochen, Milch (1874), Speichel und Magensaft. Über Gehalte im Blut liegen bis 1940 nur 3 Arbeiten vor (1861, 1898, 1940). In der 2. Hälfte des 20. Jh. folgen dann umfangreiche Analysen unter Berücksichtigung der Variationsursachen.

Nach eingehenden Analysen der Elektrolytgehalte in Verdauungsssekreten (1950er Jahre) folgen erste Untersuchungen zur Erfassung der Nettoresorption erst 1967. Weitere Arbeiten auch über die Lokalisation der Resorption (in vivo) und mögliche Variationsfaktoren (K, Mg, Fette, Zucker u.a.) schließen sich an. Dabei wird der hohe Elektrolytfluss aus dem Dünn- in den Dickdarm und die dortige effektive Resorption erkannt.

Obwohl *Smith* bereits 1889 über den hohen Elektrolytgehalt im Schweiß berichtete, gewinnt dieser Aspekt erst in den 70er Jahren größere Beachtung im Zusammenhang mit Leistungsproblemen bei Ausdauerritten und der Entwicklung geeigneter Diäten. Mangelversuche klärten die Folgen einer ungenügenden Versorgung und die Kompensationsmöglichkeiten des Organismus unter diesen Bedingungen. In den 90er Jahren werden auch die endokrinen Mechanismen zur Steuerung

der Resorption und Exkretion erkannt sowie die der postprandialen und postmotorischen Veränderungen.

Kalium wird im 19. Jh. meistens gleichzeitig mit den zuvor genannten Elektrolyten erfasst (Gewebeanalysen, renale Ausscheidung). Mangelsituationen wurden nicht beobachtet, sodass zunächst kein Anlass für weitergehende Untersuchungen bestand. Nach 1950 erschienen Arbeiten, u.a. über Folgen eines K-Mangels, aber auch K-Überschusses, der unter praktischen Verhältnissen auftreten konnte. Am Ende des 20. Jh. wurde nochmals der Blick auf Kalium fokussiert: bei der genetisch bedingten Hyperkaliämie.

Obwohl vor 1900 über das unentbehrliche Wasser in zahlreichen populären Büchern debattiert wird, insbesondere auch über Wasserqualität und Tränktechnik (*Steffens* 1996), fehlen aus dieser Zeit wissenschaftliche Untersuchungen. *Grauvogl* (1862) entzog einem Pferd bei üblicher Ration das Tränkwasser vollständig, einem anderen das Futter bei ausreichendem Wasserangebot. Das erste Tier verendete nach 5, das andere nach 25 Tagen.

Die Franzosen *Grandeau* und *Alekan* prüften 1904 die Wasserbilanz bei Ruhe und Arbeit und fanden nach Bewegung einen Rückgang der renalen Wasserausscheidung. Andere Autoren ermittelten damals den optimalen Zeitpunkt des Tränkens (vor, während oder nach der Mahlzeit). Erst 30 Jahre später folgen weitere Berichte über die Wasserbilanz bei Arbeitspferden oder im Zusammenhang mit anderen Bilanzuntersuchungen. Es dauerte weitere 30 Jahre, bis der Wasserhaushalt wieder und diesmal intensiver bearbeitet wurde. Neben dem exogenen Haushalt mit fäkalen, renalen, kutanen (insbesondere über Schweiß) und pulmonalen Verlusten und dessen Beeinflussung durch physische Aktivität, Futterart und Umgebungstemperatur wurden die Wasserkompartimente (extra-intrazellulär, intestinal, Blutvolumen) im Körper und deren hormonelle Regulierung untersucht. Dabei fanden die Wassermengen im Dickdarm, die postprandiale Wasserabgabe, die Aufnahme nach Salzfütterung im Hinblick auf die optimale Rationsgestaltung vor Dauerritten besondere Beachtung. Untersuchungen über eine Wasserrestriktion und ihre Folgen ergänzten diese Arbeiten.

Ein weiterer Impuls für solche Untersuchungen ging von Störungen der Schweißbildung „dry coat“ aus, eine Anomalie, die erstmals 1827 beschrieben wurde (*Anon.*).

Spurenelemente

Zum Stoffwechsel der Spurenelemente des Pferdes erschienen bis 2000 über 450 Publikationen, davon rd. ein Viertel über Selen, das am spätesten (1957) als essentielles Element entdeckt wurde.

Der Stoffwechsel des Eisens fand beim Pferd wenig Beachtung (55 Publikationen), da Spontanmängel nicht beobachtet wurden. Gleichwohl liegen schon aus dem späten 19. Jh. Analysen über die Gehalte in Milch und Blut (im Zusammenhang mit allgemeinen Fragen der Anämieentwicklung) vor, ebenso wie über den fäkalen Ausscheidungsweg. Analysen über den Fe-Gehalt im Blut und in Geweben (Milz, Speicherung) erscheinen sporadisch während des 20. Jh. mit abnehmender

Tendenz nach 1980. Ab den 1940er Jahren gab es im Zusammenhang mit der Suche nach der Ätiologie der infektiösen Anämie nochmals einen Impuls, sich mit diesem Element zu beschäftigen.

Von den Spurenelementen war neben Eisen auch Jod im 19. Jh. als essentiell bekannt (bis 2000 erschienen rd. 70 Publikationen). Vor 1900 wird schon wiederholt über Strumen bei Pferden (erstmalig 1847 aus Kanada) berichtet, insbesondere aber aus den klassischen J-Mangelgebieten in Europa (Süddeutschland, Südfrankreich, Schweiz), in den 1920er Jahren auch aus Minnesota (USA). Da schon vor 1850 beim Menschen ein Zusammenhang zwischen J-Versorgung und Kropf bekannt war, erhielten auch Pferde präventiv Jod, sodass Berichte über Spontanfälle im 20. Jh. abnehmen. Doch sporadisch traten noch immer Strumen auf. Praxisberichte zeigten, dass ein sekundärer Mangel offenbar durch stärkere Rapsfütterung (1970) oder hohe Nitratgehalte (1994) verursacht wurde, so dass sich weitere Impulse für die Forschung ergaben. Verwirrend war zunächst der Befund, dass auch nach hohen J-Gaben an tragende Stuten (Algen) ein kongenitaler Hypothyroidismus auftrat (1940). Erst 25 Jahre später wurde - wie zuvor beim Menschen - erkannt, dass ein temporär erhöhter J-Spiegel im Blut hochtragender Stuten die Bildung von thyreotropem Hormon hemmt und dadurch die Störung auslöst.

Die Erforschung des J-Stoffwechsels bereitete erhebliche analytische Schwierigkeiten, sodass bis 1960 keine Angaben über den J-Gehalt im Blut oder in der Milch vorliegen. Erst als ab 1960 die J-haltigen Schilddrüsenhormone im Blut routinemäßig erfasst werden konnten (ab 1971 mit einem protein binding assay), erschienen darüber detailliertere Untersuchungen unter Berücksichtigung der Variationsfaktoren.

Der Stoffwechsel des Kupfers (45 Publikationen) interessierte in der Forschung zunächst wenig. Bis zur Mitte des 20. Jh. erschienen einzelne Arbeiten im Zusammenhang mit der Blutbildung. Ab 1955 wird über spontane Fälle von Cu-Mangel mit Veränderungen am Skelett berichtet. Die Forschungen über Kupfer (Speicherung in der Leber, insbesondere beim Fötus, Gehalte in Blut und Milch, Interaktionen mit anderen Elementen wie Mo, Zn, Al, Ca) wurden ab 1980 erheblich intensiviert, nachdem ein Zusammenhang zwischen Cu-Versorgung und Osteochondrose vermutet und experimentell nachgewiesen wurde.

Der Stoffwechsel von Zink (25 Publikationen) wurde erstmals in den 1940er Jahren im Zusammenhang mit Rauchschäden (überhöhte Aufnahme) beachtet. Dies Problem blieb auch noch bis Ende des Jahrhunderts aktuell (Experimente mit Zn-Übersorgung). Spontaner Zn-Mangel scheint in der Praxis äußerst selten vorzukommen. Untersuchungen über einen experimentellen Mangel (1973) dienen zur Überprüfung dieser Frage, aber auch - ähnlich wie zahlreiche Blutanalysen - zu diagnostischen Zwecken. In jüngster Zeit findet Zink Beachtung im Zusammenhang mit der Hufhornqualität.

Das Element Selen fiel zuerst durch die Folgen einer Übersorgung auf, 1860 in den USA (Alkali-disease). Auf alkalischen Böden akkumulieren einige Pflanzenarten erhebliche Se-Mengen. Andererseits scheinen schon lange vor dem Beweis der Essentialität dieses Elements Mangelkrankungen vorgekommen zu sein, insbesondere bei Fohlen (Myositiden).

Solche Fälle, über die weltweit berichtet wurde (Nordeuropa, Japan, Ozeanien, USA, China), werden ab 1960 intensiv untersucht und parallel der Stoffwechsel des Selen (Resorption, Retention, Exkretion, Gehalte in Blut und Milch, Folgen für den Zellstoffwechsel) und seine Funktion aufgeklärt.

Weitere Spurenelemente (Mn, Co, Mo) sind beim Pferd nur sporadisch bearbeitet worden. Eine überhöhte Fluoraufnahme verursachte Zahn- und Skelettschäden.

Vitamine

Die Erforschung des Vitaminstoffwechsels hatte beim Pferd einen anderen Ausgangspunkt als bei den Mineralien. Während dort Mangelkrankheiten zu Untersuchungen stimulierten, waren es hier die bei Versuchstieren gewonnenen Erkenntnisse, die auch beim Pferd überprüft und mit vermuteten Ausfallserscheinungen verglichen werden sollten. Bis 2000 erschienen dazu über 300 Arbeiten. Neben gesundheitlichen Fragen wurden auch die Möglichkeiten zur Steigerung physischer Leistungen, der Fertilität und der Lebensmittelqualität (Milch) untersucht. Eindeutige Befunde über eine mögliche Unterversorgung waren bei Pferden in der Zeit, als die Vitamine nach und nach erkannt wurden (1906 bis 1939), jedoch nicht bekannt.

Nach der Entdeckung der Lebensnotwendigkeit von Vitamin A (1909) und seiner Vorstufe Karotin (1930) wurde spontaner Mangel (Nachtblindheit) allein von Meadow in Persien (1919) vermutet, sehr wahrscheinlich kam er auch bei Grubenpferden vor (Meyer 1999).

Den Gehalt an Karotin in Geweben und dessen Übergang in die Milch wiesen Zechmeister und Tuzson 1934/35 nach. Ab 1940 erscheinen zahlreiche Arbeiten über die Gehalte von Vitamin A und Karotin im Blut, Kolostrum, in der Milch und insbesondere in der Leber, die beim Pferd offenbar eine erhebliche Speicherkapazität besitzt. In den 80er und 90er Jahren fand Karotin - angeregt durch Arbeiten beim Rind - Aufmerksamkeit im Zusammenhang mit der Ovarfunktion. Ausfallserscheinungen eines experimentellen Vitamin-A-Mangels untersuchten 1940 Gilbert et al., von Karotin 1981 Donughe et al.

Nach Entdeckung von Vitamin D (1920) wurde dessen bei Versuchstieren erkannte Wirkung im Mineralstoffwechsel auch für Pferde angenommen und das Vitamin - obwohl eindeutige Befunde über Ausfallserscheinungen fehlten - in der Praxis therapeutisch eingesetzt. Dabei kam es ab 1961 wiederholt zu spontanen Intoxikationen, die ab 1970 experimentell überprüft wurden. Später stellte sich heraus, dass Vitamin D beim Pferd offenbar nicht essentiell ist (Harmeyer et al. 1992).

Nachdem 1922 die Lebensnotwendigkeit von Vitamin E nachgewiesen worden war, wurde es in der Praxis wiederholt bei unspezifischen Sterilitäten eingesetzt, ohne eindeutige Ergebnisse. Ein 8-monatiger experimenteller Mangel (Roneus et al. 1986) führte außer zu einem Abfall der Gehalte in Blut und Geweben zu keinen klinischen Folgen. Die Vitamin-E-Gehalte im Blut (ab 1947) wurden in Abhängigkeit von Zufuhr, Jahreszeit, Fettaufnahme, Alter, Rasse ect. intensiv untersucht, weniger die Gehalte in der Milch (erst ab 1959).

In den 80er und 90er Jahren konzentrierten sich die Arbeiten auf die antioxidative Wirkung (in Verbindung mit Selen) und die Bedeutung für die Immunantwort sowie die Integrität der Muskelzellmembranen, insbesondere bei Hochleistungspferden.

Vitamin K (1929 entdeckt) spielt beim Pferd eine untergeordnete Rolle. Die Versorgung über Futter und intestinale Synthese ist im allgemeinen ausreichend (Shearer et al. 1974). Hemmung der intestinalen Synthese kann nach Green und Green 1986 zu einem Mangel führen. In der Klinik wurde das Vitamin bei Überdosierung mit Warfarin seit den 70er Jahren verabreicht.

Vitamin C hat nach seiner Entdeckung (1907) ab 1935 zahlreiche Untersuchungen (Blutspiegel, Gewebe, Resorption, Exkretion, Milch) bis in die 90er Jahre angeregt, obwohl Pearson et al. schon 1943 auch bei Pferden eine ausreichende Eigensynthese nachgewiesen hatten. Therapie„erfolge“ bei Fertilitätsstörungen, Spermamängeln, Myoglobinurien oder Leistungsschwächen blieben umstritten.

Über Stoffwechsel und Bedarf der verschiedenen B-Vitamine, deren Essentialität in den 20er und 30er Jahren bei Versuchstieren erkannt wurde, erschienen beim Pferd bis 2000 etwa 100 Publikationen. Obwohl keine eindeutigen Mangelerkrankungen bekannt wurden und Carroll et al. 1949 die intensive intestinale Synthese und insbesondere Linerode 1966 deren Resorption im Dickdarm nachgewiesen hatten, wird über Stoffwechsel, Gehalte in Blut, Milch und Geweben noch bis in die 80er Jahre gearbeitet.

Eine stärkere wissenschaftliche Beachtung fanden Vitamin B1 bei der Schachtelhalm- und Farnkrautvergiftung (antineuritische Faktor) sowie von Biotin im Zusammenhang mit der Hufhornqualität (ab 1980er Jahre). Ein experimenteller B1-Mangel gelang den Japanern Naito et al. 1925 durch Fütterung von poliertem Reis und extrahiertem Reisstroh.

Fütterungsversuche

In zahlreichen Publikationen (etwa 1000) wird über Fütterungsversuche berichtet, in denen Effekte auf den Gesamtorganismus getestet wurden, z.B. Einfluss der Fütterungstechnik, Akzeptanz und Verträglichkeit von Futtermitteln und ihren Kombinationen, Überprüfung kalkulierter Bedarfswerte oder sonstiger Erkenntnisse aus Spezialuntersuchungen.

Während des 19. und beginnenden 20. Jh. werden viele neue Futtermittel getestet (Alternativen zum teuren konventionellen Hafer): Gerste, Roggen, Weizen, Hirse, Buchweizen, Reis oder Mais, dann Kartoffeln oder Rüben, insbesondere Zuckerrüben, ferner die Rückstände der Brennereien, Brauereien, der Zucker- oder Ölgewinnung. Während des 1. Weltkrieges kommen Reisig, Laub, Eicheln, Rosskastanien, Bucheckern, Brennnesseln, Zucker, aufgeschlossenes Stroh, Holzstoff, Zellulose, Schlacht- und Speiseabfälle hinzu.

Erste Berichte über den Einsatz von Grünfuttersilagen erscheinen um 1940; nach 1975 werden zunehmend Maissilagen getestet. In außereuropäischen Ländern prüfte man nach 1950 dort heimische Futtermittel.

Der Einsatz von Fetten als Energieträger wird Ende der 1970er Jahre von amerikanischen Autoren angeregt und nachfolgend in einer Fülle von Arbeiten überprüft (Akzeptanz, Einfluss auf Futteraufnahme, Darmflora, Energieumsatz, Leistungen).

Seit den 70er Jahren fand die Weide mehr Aufmerksamkeit: Verhalten der Weidepferde, Präferenz für bestimmte Weidepflanzen, Futtermengenaufnahme (die unter Anwendung von 2 Markern zu erfassen versucht wurde), Grad der Versorgung etc. bildeten bevorzugte Arbeitsgebiete.

In der dokumentierten 200jährigen Fütterungspraxis fällt eine hartnäckige Suche nach Substanzen auf, die - ohne essentiell zu sein - irgendwie Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Tieren verbessern sollen. Im beginnenden 19. Jh. verwendeten z. B. Wiener Kutscher - aber nicht nur dort - bei zunehmendem Mond Arsen, um das Aussehen ihrer Pferde zu verbessern. Die Reihe von Tonika, die Pferde auf den Beinen halten sollten, ist lang: Chinin, Kaffee, Alkohol, Kolanüsse u.a.

Wissenschaftliche Untersuchungen regte am Ende des 19. Jh. das sog. Roborin an, das aus getrocknetem Blut, gebranntem und phosphorsaurem Kalk sowie Thomasschlacke bestand (1 kg eines konzentrierten Roborinkrafftutters sollten 3 kg Hafer ersetzen!).

Allgemein florierte um 1900 auch der Handel mit Fress- oder Viehpulvern, die als sog. Reizstoffe u.a. Anis, Bockshornklee, Eibisch, Enzianwurzel, Fenchel, Ingwer, Johannisbrot, Kümmel, Wachholderbeeren oder Holzkohle, Viehsalz, Alaun, Glaubersalz, Schwefel, Kreide und ähnliches enthielten, doch nach Prüfung durch Fingerling beim Rind (1905, 1911) keinerlei Vorteile brachten.

In der 2. Hälfte des 20. Jh. wurden weitere Stoffe zur Leistungsverbesserung mit wechselndem Erfolg getestet wie Antibiotika, Probiotika, Lecithin, Omega 3-Fettsäuren, Gelatine oder Carnitin.

In Fütterungsversuchen wurden auch Gesamtrationen geprüft: Verträglichkeit, Relation Rau- zu Krippenfutter, Zubereitungsform etc. Ausgangspunkt für die spätere Entwicklung von Mischfuttern waren seit Beginn des 19. Jh. die Bemühungen verschiedener europäischer Armeen, ein handliches, energiereiches Futter als „eiserne Reserve“ zu entwickeln. Bis 1914 standen in Europa erste Pressfutter aus (nicht stark zerkleinertem) Rau- und Krippenfutter, in der US-Army in den 1940er Jahren erste pelletierte Mischfutter zur Verfügung (Med. Departm. US Army 1961). Als ab 1960 solche Mischfutter in die Fütterungspraxis einzogen, förderten verschiedene Probleme (Futterwert, Akzeptanz, Verträglichkeit) neue Forschungsansätze.

Zur Klärung der Fütterungstechnik wurden schon im 19. Jh. Versuche über Zubereitung der Futtermittel (z.B. häckseln), die Frequenz der Mahlzeiten, die Reihenfolge der Futtermittelzuteilung oder auch des Wassers gemacht. Diese Fragen gewannen unter veränderten Bedingungen (Haltung in städtischer Umgebung, Einsatz von Mischfuttern, Selbsttränken) nach 1960 neue Aktualität. Automatenfütterung regte zu Verhaltensstudien bei der Gruppenhaltung an (Menge und Dauer der Futteraufnahme, Interaktionen zwischen Pferden ect.).

Während im 19. und beginnenden 20. Jh. vorrangig über die Fütterung von Arbeitspferden berichtet wird, gewinnen ab 1930, verstärkt nach 1970 auch Stuten und Fohlen Beachtung. Bei Fohlen geht es nicht allein um optimale Wachstumsraten (Qualität der Eiweißfuttermittel), sondern auch um Antikörperversorgung mit dem Kolostrum, um mutterlose Aufzucht (1956), um geeignete Beifutter zur Muttermilch und um optimale Absetztermine. Spezielle Untersuchungen über den Einfluß der Fütterung auf die Fertilität von Stuten erscheinen ab 1970, von Hengsten (Spermaqualität) nach 1950, zunächst aus Russland.

Fast in allen Ländern wurden wissenschaftliche Erhebungen über die Energie- und Nährstoffversorgung bei Pferden unterschiedlicher Leistungen im Vergleich zu Versorgungsempfehlungen gemacht. Aus osteuropäischen Ländern stammen Berichte (vereinzelt auch in Frankreich und Italien) über Versuche zur Optimierung der Mast- und Milchleistung (quantitativ und qualitativ).

In den letzten beiden Dezennien des 20. Jh. erscheinen zunehmend Untersuchungen über die Suche nach optimalen Rationen und Fütterungstechniken bei Hochleistungspferden sowie adipösen oder kranken Pferden (u.a. vollständige Sonden- oder parenterale Ernährung).

Ernährungsbedingte Erkrankungen

Die bei ernährungsbedingten Krankheiten erhobenen Befunde intensivierten die Ernährungsforschung. Im Zusammenhang mit dem Stoffwechsel der Nährstoffe wurde bereits auf die durch Unter- oder Überversorgung entstehenden Störungen hingewiesen.

Obstipationen im Verdauungskanal (Zäkum, Ileum, Kolon) gaben Hinweise für die Verträglichkeit bestimmter Pflanzen (z. B. Windhalm, Kreuzkraut). Der von Garner et al. 1975 nach Modelluntersuchungen erstmals erkannte Zusammenhang zwischen zäkaler Azidose (nach Kohlenhydratüberladung) und der Hufrehe war Anlass zu vielen Untersuchungen, die sich jüngst auch auf erhöhte Fruktanaufnahmen auf der Weide ausdehnten.

Beobachtungen über Schimmelpilzintoxikationen (ab 1970) lenkten die Aufmerksamkeit auf Pilztoxine und Mycotoxikosen. Bakterielle Kontaminationen des Futters (z.B. Salmonellen, Bact. botulinum) regten Untersuchungen über Futterbehandlung, -konservierung und -lagerung an. Fehlmischungen mit Ionophoren (ab Mitte der 1980er Jahre) stellten die Wissenschaftler vor neue Aufgaben zur Klärung des Stoffwechsels dieser Substanzen beim Pferd.

Besonders intensiv wurde ab 1975 der Fettstoffwechsel bei Stuten im Zusammenhang mit der Hyperlipidämie bearbeitet. Eine genetisch bedingte Hyperkaliämie (erstmalig 1993 beschrieben) regte zu weiteren Analysen des K- und Na-Stoffwechsels an. Die in den letzten Jahrzehnten vermehrt auftretenden Osteochondrosen förderten Untersuchungen über die optimale Aufzuchtintensität, aber auch über den Mineralstoffwechsel, insbesondere auch über Kupfer.

Wo wurde geforscht?

In Tabelle 1 ist die Zahl der Publikationen zur Ernährungsforschung (in % der Gesamtpublikationen) entsprechend ihrer geographischen Herkunft aufgeschlüsselt. Wegen unterschiedlicher Aktivitäten, aber auch der politischen Veränderungen in den letzten 200 Jahren werden nur 5 Länder bzw. Ländergruppen aufgeführt: Deutschland, nord- und westeuropäische Länder (Frankreich, Benelux, Großbritannien, Skandinavien), süd- und osteuropäische Länder (Mittelmeer, Balkan, Russland, incl. der transuralen Gebiete), Nordamerika (USA, Kanada) und Sonstige (Südamerika, Afrika, Asien Ozeanien).

Aus der Abbildung geht hervor, dass bis 1940 40 bis 80 % aller Publikationen zur Ernährungsforschung beim Pferd aus Deutschland stammen. Der hohe Wert von 84 % während des 1. Weltkrieges resultiert aus der intensiven Suche nach verwertbaren organischen Substanzen zur Versorgung der Pferde und der offenbar geringen Aktivität in anderen Ländern. Nach 1940 nimmt der deutsche Anteil nachhaltig ab und erreicht auch 2000 nur rd. 20 %. Aus den übrigen

Tab 1 Publikationen über die Ernährung des Pferdes in verschiedenen Ländern bzw. Ländergruppen zwischen 1800 und 2000 (in % der Gesamtpublikationen).

Equine nutrition publications in different countries between 1800 and 2000 (% of total).

Jahre	1800 -50	1851 -75	1876 -1900	1901 -10	1911 -20	1921 -30	1931 -40	1941 -50	1951 -55	1956 -60	1961 -65	1966 -70	1971 -75	1976 -80	1981 -85	1986 -90	1991 -95	1996 -2000
Länder																		
Deutschland	40	56	68	48	84	53	47	21	21	14	7	11	8	13	15	16	23	19
Nord-/westeurop. Länder	41	33	22	25	9	17	21	23	26	14	16	20	23	24	22	21	16	18
Ost-/südeurop. Länder	12	11	7	16	5	9	10	13	36	56	53	13	17	12	15	9	12	13
Nordamerika	7	-	3	6	-	15	15	40	11	7	16	49	46	42	37	43	35	32
Sonstige Länder	-	-	-	4	1	6	7	4	6	8	9	8	6	9	11	11	14	18
Durchschnittl. Zahl Publ./Jahr	1	3	9	10	8	9	18	14	19	27	24	30	55	66	59	78	79	59

europäischen Ländern erschienen bis 1965 30 bis 50 % aller Arbeiten, sodass bis zu diesem Zeitpunkt (ausgenommen während des 2. Weltkrieges) der Schwerpunkt der Ernährungsforschung bei Pferden mit fast 80 % in Europa lag, aber auch nach 1965 mit rd. 50 % noch auf einem beachtlichen Niveau blieb. Unter den nord- und westeuropäischen Ländern trat zunächst Frankreich hervor, erst nach 1950 gewinnen England und die skandinavischen Länder größeres Gewicht. In ost- und südeuropäischen Ländern wurde anfangs vor allem in Österreich-Ungarn geforscht, zwischen 1950 und 1965 verstärkt in Russland, Polen und Jugoslawien, wo Pferde noch in der Landwirtschaft bzw. zur Milch- und Fleischproduktion genutzt wurden.

In Nordamerika beginnt die Ernährungsforschung bei Pferden erst nach 1900 und bleibt - abgesehen von der Zeit des 2. Weltkrieges - bis 1965 auf bescheidenem Niveau. Dann folgt eine stürmische Entwicklung, sodass bis zur Jahrhundertwende die Hälfte bis ein Drittel aller Publikationen aus Nordamerika stammt. Ab 1970 nehmen die Forschungsaktivitäten in anderen außereuropäischen Ländern zu, insbesondere in Japan, Indien, Südafrika, Ozeanien, im letzten Dezennium auch in Lateinamerika.

Diskussion

Quantitative Angaben zur Ernährungsforschung beim Pferd (Abb. 1, Tab.1) sind schwierig und zweifellos mit Fehlern behaftet. Publikationen zur Ernährungsforschung können nicht strikt definiert werden. Es bestehen Übergänge zu anderen Bereichen, z. B. zur Arbeitsphysiologie, zum Zellstoffwechsel oder zu ernährungsbedingten Erkrankungen. Diese evtl. nicht sicher abgrenzbaren Randthemen sind jedoch - gemessen an der Gesamtzahl der Arbeiten - nicht groß. Schwieriger ist die Erfassung aller Beiträge. Obwohl die wichtigsten Referateblätter ausgewertet und Kontrollen über Schriftumslisten aus Übersichtsreferaten gemacht wurden, sind sicher nicht alle Arbeiten erfasst worden. Dies gilt insbesondere für Länder, in denen in einer schwer zugänglichen Landessprache publiziert wurde: wie Russland, Japan oder China. Allerdings scheint in China die Forschung bis 1950 noch wenig entwickelt gewesen zu sein (Phillip und Kuo 1961). Unsicherheiten resultieren auch aus mehrmaligen Publikationen derselben Ergebnisse. Dies ist nicht immer sicher zu erkennen, da häufig Autoren oder Titel verändert wurden. Die Auswertung umfasst andererseits parallele, teilweise auch konsekutive Forschungsarbeiten mit identischen Fragestellungen. Trotz dieser Unsicherheiten bleiben die Aussagen über die Entwicklung der Ernährungsforschung und ihre Verteilung in den verschiedenen Ländern in ihren Grundzügen zutreffend.

Da die naturwissenschaftliche Forschung, von der auch die Agrarforschung nachhaltig profitierte, ihren Ausgang von Europa nahm, entstand ein Vorsprung in der Alten Welt. Europäer haben die Ernährungsforschung auch in die von ihnen besiedelten Gebiete insbesondere nach Nordamerika und Ozeanien getragen. Weitere Arbeiten von Europäern entstanden im Zusammenhang mit ihrer Kolonialherrschaft z. B. in Indien, Südafrika, auf den ostindischen Inseln und den Philippinen. Eine eigenständige Forschung von Nichteuropäern ist am frühesten in Japan zu erkennen, wo allerdings in den

letzten Dezennien des 19. Jh. mit deutscher Hilfe (O. Kellner) die Forschung in Gang gesetzt wurde.

Die Antriebskräfte für die Ernährungsforschung waren heterogen. Neben dem Wunsch, allgemeine biologische Zusammenhänge - unabhängig von jeder Nutzenanwendung - zu erkennen (z. B. durch Vergleiche der Leistungsfähigkeit des Verdauungskanals oder der Herz/Kreislauf- und Muskel-tätigkeit), haben im 19. und beginnenden 20. Jh. vorrangig ökonomische und militärische Motive die Ernährungsforschung angeregt. Um sie zu realisieren, waren neben chemisch-physikalischen auch finanzielle Voraussetzungen zu erfüllen. In Mitteleuropa haben neben staatlichen Stellen (Militär) vielfach Private (Gutsherren, landwirtschaftliche Vereine, in den Städten Transportunternehmer) Forschungsmöglichkeiten geschaffen. Das Militär führte viele Versuche an eigenen Pferden aus, förderte aber gelegentlich auch wissenschaftliche Institutionen, so wahrscheinlich Ellenbergers Arbeiten in Dresden und mit Sicherheit Zuntz' Untersuchungen in Berlin (Klingeberg-Kraus 2001). Nach 1900 entfallen wegen der zunehmenden Motorisierung die Interessen städtischer Unternehmer, etwas später auch die des Militärs und in den entwickelten Ländern nach 1950/60 auch die der Landwirtschaft. Mit dem Wechsel der Pferdenutzung für Sport und Hobby nach 1960 stammen - soweit bekannt - Forschungsmittel nur zu einem geringen Teil von öffentlichen Forschungseinrichtungen. In den letzten 40 Jahren haben Futtermittelindustrie, in englischsprachigen Ländern in erheblichem Umfang auch Wettbetriebe die Forschung finanziell unterstützt. Dies gilt auch für die pharmazeutische Industrie, die z. B. Arbeiten über Aminosäuren, Vitamine oder Leistungsförderer - nicht uneigennützig - förderte. Mit der Zahl der Pferde (Abb.1) hatte die Entwicklung der Ernährungsforschung wenig zu tun. Parallelen bis 1900 sind im wesentlichen durch zunehmende ökonomische und militärische Interessen zu erklären.

Die bis 1940 dominierende Stellung Deutschlands in den Forschungen zur Pferdeernährung ist nicht nur überragenden Forschern wie Haubner, Ellenberger oder Zuntz zu verdanken, sondern auch der schon früh erkannten Notwendigkeit, allgemein die Tierernährungsforschung aus ökonomischen Gründen zu fördern.

Die Ernährungsforschung begann bei Pferd und Rind nahezu gleichzeitig im ersten Drittel des 19. Jh. Die Untersuchungen profitierten generell von den schon besser bekannten Verdauungsvorgängen bei Menschen und Hunden (Alexy 1998). Bei Wiederkäuern kam es zu rascheren Fortschritten (leichtere Zugänglichkeit des Darmkanals, geringere Empfindlichkeit bei abdominalen Eingriffen). Davon profitierte die Forschung beim Pferd im erheblichen Umfang z. B. über die Abbau- und Synthesevorgänge in Darmbereichen mit mikrobieller Verdauung. Bei Pferden waren vergleichbare Untersuchungen erst möglich, als ab den 1950er Jahren Teile des Dickdarms über Fisteln zugänglich wurden. Auch die Praxis von Verdauungs-, Bilanz- und Respirationsversuchen konnte sich an Vorbildern beim Wiederkäuer orientieren ebenso andere Bereiche wie die Aufnahme von Immunkörpern mit dem Kolostrum oder der Einfluss von Nährstoffen auf die Fertilität (Spark 2006).

Bei Pferden und Rindern schon um 1800 bekannte Skeletterkrankungen stimulierten bei beiden Spezies Arbeiten über

Kalzium und Phosphor. Dies gilt auch für frühe Untersuchungen über Jod (Mangel) oder Selen (Überschuss). Bei anderen Spurenelementen (Cu, Mo, Co, Mn) gingen im 20. Jh. Erkenntnisse bei Wiederkäuern voraus. Arbeiten über Vitamine setzten beim Pferd erst im 2. Viertel des 20. Jh. ein. Bei Untersuchungen über intestinale Synthesevorgänge (ab 1950) konnten Erkenntnisse vom ruminalen Stoffwechsel genutzt werden.

Für die Arbeitsphysiologie - in Verbindung mit der Ernährung - brachten sportphysiologische Erkenntnisse beim Menschen seit den 1920er Jahren und später entscheidende Impulse.

Die Ernährungsforschung hat beim Pferd, abgesehen von praktischen Fortschritten (Vereinfachung und Verbilligung der Fütterung, Vermeidung von Erkrankungen) neue Erkenntnisse zur Bewertung biologischer Phänomene gebracht, z. B. durch vergleichende Betrachtungen über Vor- und Nachteile der Vormagen- oder Dickdarmverdauung sowie mögliche Strategien bei deren evolutionärer Entwicklung. Auch Besonderheiten der Equiden im Wasser- und Wärmehaushalt (Schweißbildung) sowie im Elektrolyt-, Kalzium- und Vitamin-D-Stoffwechsel haben neue Einsichten über biologische Regelsysteme und Impulse für die Forschung geliefert.

Literatur

- Anon (1827): Man muss nicht als unbedeutend betrachten, wenn ein Pferd nicht schwitzt und selbst durch heftige Anstrengungen nicht in Schweiß zu bringen ist. Arch. Stallmeister 5, 102-104
- Alexy P. (1998): Der Hund als Modelltier in der Ernährungsforschung im 17. bis 19. Jh. Vet. Med. Diss. Hannover
- Bernemann U. (2005): Krippenfuttermittel für Pferde, Entwicklungen vom Beginn des 19. bis Mitte des 20. Jh. Vet. Med. Diss. Hannover
- Boussingault J. B. (1839): Analyses comparees des aliments consommés et des produits rendus par uns cheval. Ann. Chim. Phys. (Serie 2) 71, 128-136
- Brevar J. (1824): On the name in horses generally called „the big head“. New England Farmer 2, 388
- Burr G. und M. Burr (1929): A new deficiency disease by rigid exclusion of fat from the diet. J. Biol. Chem. 82, 345-367
- Carpenter K. (1986): The history of enthusiasm for protein. J. Nutr. 116, 1364-1370
- Chenaie H. de la (1780): Observations et experiences sur l`analyse de la salive du cheval. Mem. Soc. Roy. Med. 325-340
- Earle P. (1950): Compression of complete diets for horses. J. Animal Sci. 9, 255-260
- Fingerling G. (1905/07): Untersuchungen von Reizstoffen auf Futteraufnahme, Verdaulichkeit und Milchsekretion bei verschiedenem Grundfutter. Landwirtsch. Versuchsst. 62, 11-179; 67, 253-282
- Frape D. (1998): Equine Nutrition and Feeding. 2nd edition, Blackwell, Oxford

- Grandeau L. und A. Alekan (1904): Vingt annee d`experience sur l`alimentation du cheval de trait. Ed. Courtier, Paris
- Grauvogl (1862): Diätetik und Prophylaxis für Offiziere und ihre Pferde. Korn`sche Buchhandlung, Nürnberg
- Grunwald D. (1991): Marginale Linolsäureversorgung beim adulten Pony. Vet. Med. Diss. Hannover
- Harmeyer J., R. Twehaus, C. Schlumbohm, B. Stadermann und H. Meyer (1992): The role of Vit. D on Ca-metabolism in horses. Pferdeheilkunde 8 Supplement, 81-85
- Harris P. (1998): Developments in equine nutrition. J. nutr. 128, 2698 S-2703 S
- Krause W. (1933): Ein Beitrag zur Geschichte der Pferdefütterung. Vet. Med. Diss. Berlin
- Lewis L. (1995): Equine clinical nutrition. Williams, Baltimore
- Lohse K. (2000): Beiträge zur Ernährungsforschung beim Rind - Verdauungsphysiologie, Mineralstoffe (bis 1930). Vet. Med. Diss. Hannover
- Kellner O. (1924): Grundzüge der Fütterungslehre. 7. Aufl. Parey, Berlin
- Klingeberg-Kraus S. (2001): Beitrag zur Ernährungsforschung bei Pferden - Verdauungsphysiologie, Energie- und Eiweißstoffwechsel (bis 1950). Vet. Med. Diss. Hannover
- Loginow A. (1890): Zur Frage über die Osteoporose als selbständige Krankheit bei Pferden. Dorpat. Magister-Diss., ref. Ellenberger u. Schütz 10, 129, 1891
- Med. Department US Army 1961: US Army Vet. Service World War II S.525ff
- Meyer H. (1999): Augenerkrankungen und Erblinden bei Grubenpferden. Pferdeheilkunde 15, 38-40
- Meyer H. und S. Klingeberg-Kraus (2002): Entwicklung der Fisteltechnik am Verdauungskanal des Pferdes. Pferdeheilkunde 18, 633-639
- Ohlendorf M. (1998): Ein Beitrag zur Ernährungsforschung beim Pferd im 19. u. 20. Jh. - Mineralstoffe u. Vitamine. 380 S. Vet. Med. Diss. Hannover
- Olsson N., G. Kühn und W. Gagell (1949): Smältbarhetsförsök med hestar. Landbrukshogskalen Hüsdiursförsökanstalten Medd. 36
- Phillips W. und T. Kuo 1961: Agricultural Science, in: Sciences in Communist China. Am. ass. adv. Sci. 227-296
- Robinson D. und L. Slade (1974): The current status of knowledge on the nutrition of equines. J. Anim. Sci. 39, 1045-66
- Spark A. (2006): Entwicklung der Ernährungsforschung bei Wiederkäuern, 1900-1950. Vet. Med. Diss. Hannover
- Squibb R. (1958): 50 years of research in America on the nutrition of the horse. J. Anim. Sci. 17, 1005-1014
- Steffens B. (1996): Ein Beitrag zur Fütterung und Haltung von Militärpferden im 18. u. 19. Jh. Vet. Med. Diss. Hannover
- Waldinger H. (1808): Über die Nahrungs- und Heilmittel der Pferde. Geistinger, Wien

Prof. Helmut Meyer
Majakowski Ring 40
13156 Berlin

Pferdeheilkunde Forum Berlin

5.-7. Juli 2007