

Aus dem Institut für Tierernährung

Peter Lebzien

**Ernährung und Fütterung des Rindes : 6.1,
ernährungsphysiologische Grundlagen**

Veröffentlicht in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 289, S. 89-101

Braunschweig

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

2005

Die Aufbewahrungsfrist beträgt nach VO 820/97 drei Jahre, d. h. die genannten Aktivitäten müssen 3 Jahre später noch detailliert nachverfolgt werden können.

Das Online-Bestandsregister in HI-Tier kann als Nachweis zur Führung des Bestandsregisters im Sinne von § 24 der VVVO verwendet werden. Dabei sind unter anderem folgende Voraussetzungen zu beachten:

- Der Tierhalter muss jederzeit technisch in der Lage sein, aus der Datenbank HI-Tier ein aktuelles Bestandsregister für seinen Betrieb auszudrucken
- Er muss sicherstellen, dass alle Bestandsveränderungen unverzüglich an die zentrale Datenbank für Rinder gemeldet werden
- Der Tierhalter kann in regelmäßigen Abständen Ausdrucke des Bestandsregisters anfertigen und in diesen manuell die Bestandsveränderungen vornehmen, bis neue Ausdrucke aus der zentralen Datenbank HI-Tier vorliegen
- Verfügt der Tierhalter über keinen eigenen Internetzugang, so kann er sich über Dritte in regelmäßigen Abständen diese Ausdrucke für seinen Betrieb beschaffen und diese bis zum nächsten Ausdruck um die aktuellen Veränderungen manuell ergänzen
- Die Vorgaben der VVVO müssen in jedem Fall eingehalten werden
- Bei einer Vor-Ort-Kontrolle muss das Bestandsregister alle Tiere enthalten, für die in den letzten 12 Monaten vor dieser Kontrolle Prämianträge gestellt wurden.

6 Ernährung und Fütterung des Rindes

6.1 Ernährungsphysiologische Grundlagen (*P. Lebzien*)

6.1.1 Aufbau, Entwicklung und Funktion des Verdauungstraktes

Der grundsätzliche Unterschied zwischen Tieren mit einhöhligen Magen und erwachsenen Wiederkäuern besteht darin, dass der Verdauung mit körpereigenen Verdauungssekreten eine Verdauung mit körperfremden, von Mikroorganismen erzeugten Verdauungssekreten (Enzymen) vorgeschaltet ist. Diese erfolgt in den zu großen „Gärbehältern“ ausgebildeten Vormägen. Die Schleimhaut der Vormägen besitzt im Gegensatz zum Magen der Nichtwiederkäuer bzw. zum Labmagen der Wiederkäuer keine Drüsen die Verdauungssekrete bilden. Die Vormägen gliedern sich in drei Abteilungen, wovon die ersten zwei Abteilungen, d.h. die **Haube** (Netzmagen) und der **Pansen**, weitgehend eine funktionelle Einheit bilden (Abb. 37). Es folgt der dritte Vormagen, der **Blättermagen** (Psalter oder Buchmagen). Hieran schließt sich der mit dem Magen der Nichtwiederkäuer vergleichbare Drüsenmagen, der **Labmagen** (Volumen 15 bis 20 Liter) an. Auf den Pansen entfallen von der beim ausgewachsenen Rind etwa 200 Liter umfassenden Gesamtkapazität der Mägen etwa 80 %. Er beansprucht nahezu die gesamte linke Hälfte der Bauchhöhle und ist durch kräftige Muskelbalken in einzelne Abschnitte unterteilt. Die Schleimhaut des Pansens ist mit so genannten Zotten besetzt, die aufgrund der durch sie gegebenen etwa 7fachen Oberflächenvergrößerung einen intensiven Stoffaustausch ermöglichen. Die besondere Bedeutung der Pansenschleimhaut besteht in ihrem Vermögen, die im Pansen gebildeten Abbauprodukte, wie die flüchtigen Fettsäuren und den Ammoniak, aber auch einzelne Mineralstoffe, zu absorbieren.

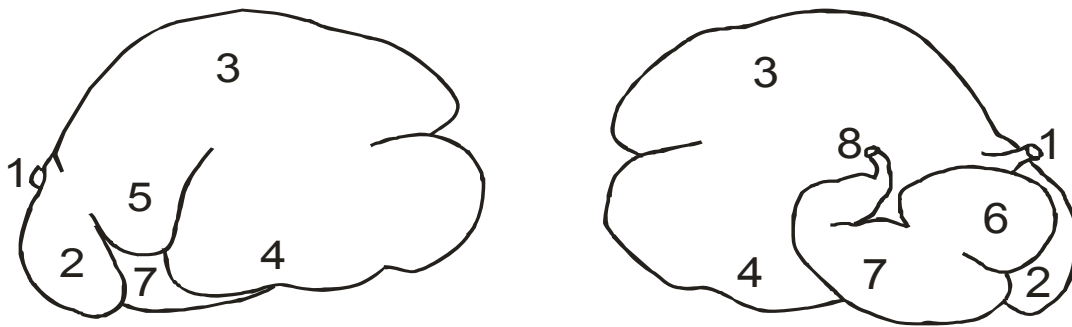


Abb. 37: Mägen des Rindes, Ansicht von links und von rechts, schematisch

1 Speiseröhre (Kardia) 2 Haube 3 Dorsaler Pansensack 4 Ventraler Pansensack
5 Pansenvorhof (Schleudermagen) 6 Blättermagen 7 Labmagen 8 Duodenum

Beim neugeborenen Kalb ist nur der Labmagen funktionsfähig, d.h. es ist streng genommen noch ein Nichtwiederkäuer. Die aufgenommene Milch gelangt über die so genannte **Schlundrinne** direkt in den Labmagen, wo sie durch Salzsäure und Enzyme zur Gerinnung gebracht und anschließend verdaut wird. Bei Verabreichung zu kalter Milch gelangt diese ungeronnen in den Dünndarm, was zu Verdauungsstörungen führt. Die Vormägen sind beim jungen Kalb noch sehr klein. Pansen und Haube erreichen zusammen nur die halbe Größe des Labmagens. Erst durch die Aufnahme fester Nahrung nehmen das Volumen und die Wandmuskulatur von Haube und Pansen um ein Vielfaches zu. Während Raufutter durch mechanische Reize vor allem eine rasche Zunahme von Wandmuskulatur und Pansenvolumen bewirkt, ist Kraffutter für die Ausbildung der Pansenschleimhaut von besonderer Bedeutung. Ausschlaggebend für letzteres sind die beim mikrobiellen Abbau der Kohlenhydrate gebildeten kurzkettigen Fettsäuren. So können sich die Zotten auch teilweise wieder zurückbilden, wenn die Tiere anstelle von Rau- und Kraffutter nur Milch erhalten.

Beim erwachsenen Wiederkäuer gelangen die Futtermittel nach flüchtigem Kauen und Abschlucken in den Hauben-Pansen-Raum. Dort erfolgt eine Schichtung der Futtermittel, bei der von oben nach unten Gas, Faserschicht („Pansenmatte“), Flüssigkeit und feine Partikel („Pansensee“) aufeinander folgen. Aufgrund dieser Schichtung befinden sich Gase und grobe Futterpartikel nahe der Speiseröhre und können über diese zurück ins Maul befördert („Ruktus“ bzw. „Rejektion“) und dort ausgestoßen bzw. wiedergekaut werden. Sind die Futterpartikel ausreichend zerkleinert sinken sie ab in den „Pansensee“ nahe der Hauben-Psalter-Öffnung. Durch koordinierte Kontraktionszyklen der Wandungen der einzelnen Vormagenabschnitte wird der Futterbrei zwischen Haube und Pansen hin und her bewegt und dabei durchmischt, sortiert, zerkleinert und anschließend über die Hauben-Psalter-Öffnung in den Blättermagen weiterbefördert. Auch für die Absorption von Abbauprodukten, die Entfernung der Pansengase durch den Ruktus und die Rejektion von Panseninhalt zwecks Wiederkauens ist die Vormagenmotorik von maßgeblicher Bedeutung. Nimmt ein Tier jedoch mit dem Futter spitze Fremdkörper auf, dann können sich diese während der kräftigen Haubenkontraktionen in die Haubenwand bohren und das Zwerchfell durchdringen, was eine Verletzung des Herzbeutels und den Tod des Tieres zur Folge haben kann.

Wie der Name bereits sagt, kauen Wiederkäuer grobe Futterpartikel mindestens zweimal, und zwar zunächst flüchtig bei der Nahrungsaufnahme und ein zweites Mal intensiv nach der Rejektion eines Bissens aus den Vormägen zurück in das Maul. Hierbei wird das Futter zerkleinert und eingespeichelt, was die Substratoberfläche vergrößert und dadurch für den mikrobiellen Abbau besser angreifbar macht sowie die Aufquellung fördert. Es handelt sich beim Wiederkauen um einen angeborenen Vorgang, der weniger mit der Entwicklung der Vormägen als vielmehr mit dem Alter der Tiere zu tun hat. Die wichtigsten Reize für die

Auslösung des Wiederkauens scheinen von der physikalischen Struktur (6.3.4) des Vormageninhaltes auszugehen. Bei reichlicher Halmfutteraufnahme beträgt die tägliche Wiederkaudauer einer Milchkuh 7 bis 9 Stunden mit etwa 50 Kauschlägen je Minute. Während des Wiederkauens nimmt die Sekretion der Speicheldrüsen stark zu. Die von Wiederkäuern gebildete Speichelmenge ist beträchtlich. Für das Rind werden Speichelmengen von etwa 100 bis 220 Liter je Tag angegeben. Der Wiederkäuerspeichel enthält hohe Konzentrationen an Substanzen (Na-Hydrogencarbonat und Phosphationen), die den durch die Bildung der großen Mengen an flüchtigen Fettsäuren abfallenden pH-Wert abpuffern können. Außerdem erhöht er aufgrund seines Gehaltes an Schleimstoffen die Gleitfähigkeit des Futterbreis und kann Harnstoff in den Pansen rezirkulieren und dadurch zur Versorgung der Pansenmikroben mit Stickstoff beitragen.

6.1.2 Mikrobielle Besiedlung und Umsetzungen im Pansen

Obwohl Pflanzenfresser im Tierreich weit verbreitet sind, gibt es keine Wirbeltiere, die in der Lage sind, selbst zellulose- oder hemizelluloseverdauende Enzyme zu bilden. Aus diesem Grunde gehen Pflanzenfresser eine Symbiose (Lebensgemeinschaft zum beiderseitigen Nutzen) mit Kleinstlebewesen (Mikroorganismen, Mikroben) ein. Sowohl die Zahl der Mikroorganismen als auch die vorkommenden Arten sind für die Ernährung des Wiederkäuers von lebenswichtiger Bedeutung. Dabei begünstigen die Konstanz der Milieubedingungen (Flüchtigkeitsgehalt, Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt) im Pansen der Wiederkäufer sowie die Vielseitigkeit der mit dem Futter zugeführten Substrate die Entwicklung einer an Zahl, Formen und Funktion sehr vielseitigen Mikrobenpopulation. So enthält der Pansen eine der dichtesten und vielseitigsten Mikrobenpopulationen, die in der Natur vorkommen und die sich in Abhängigkeit von den Ernährungsbedingungen des Wirtstieres verändert. Es werden zurzeit Konzentrationen von bis zu 10^9 bis 10^{11} **Bakterien**, 10^5 bis 10^6 **Protozoen** und 10^3 bis 10^5 anaerobe **Pilze** je ml Panseninhalt angegeben. Mehr als 200 verschiedene Bakterienarten, 100 verschiedene Protozoen und mindestens 12 Pilzspezies sind inzwischen genauer beschrieben. Im Allgemeinen wird angenommen, dass Bakterien den Hauptanteil an mikrobieller Biomasse im Pansen ausmachen. Trotzdem wurden bei einzelnen Tieren bereits Anteile von zum Teil über 40 % Biomasse aus Protozoen bestimmt. Die mikrobielle Biomasse aus anaeroben Pilzen ist umstritten wird aber mit weniger als 8 % angegeben. Die besondere Bedeutung der Pilze wird in ihrer Fähigkeit gesehen, schwer abbaubare Bestandteile der pflanzlichen Zellwände abzubauen und dadurch die Zellen für die Invasion durch andere Mikroben aufzuschließen.

Während sich die Bakterienpopulation des erwachsenen Wiederkäuers nach der Aufnahme von Rau- und Krafffutter entwickelt ist für die Besiedlung mit Protozoen der Kontakt mit erwachsenen Wiederkäuern erforderlich. Bei der Mehrzahl der Pansenbakterien handelt es sich um kleine Kokken, Stäbchen und spiralige Zellen mit einem Durchmesser von 0,5 bis 1,0 μm und einer Länge von 1,0 bis 3,0 μm . Die Zahl der Protozoen im Pansen kann in Abhängigkeit von der Rationszusammensetzung stark schwanken. Bei starkem pH-Wert-Abfall oder größeren Mengen an ungesättigten Fettsäuren in der Ration können die Protozoen vollständig aus dem Pansen verschwinden. Hefen und andere aerobe Pilze sind ebenfalls als normale Bestandteile der Mikrobenpopulation im Pansen bekannt. Sie werden mit dem Futter aufgenommen, sind aber, im Gegensatz zu den anaeroben Pilzen, größtenteils inaktiv und ihr Aufenthalt im Pansen nur vorübergehend.

Durch die mikrobiellen Umsetzungen im Pansen wird die Zusammensetzung des vom Wirtstier aufgenommenen Futters grundlegend verändert. Es handelt sich dabei um einen anaeroben Abbau von Kohlenhydraten und Proteinen, eine Lipolyse und Hydrogenierung von Fetten sowie eine mikrobielle Synthese von Proteinen, Fetten und Vitaminen (vor allem B-Vitamine). Kann ein Bakterienstamm seine Stoffwechselprodukte nicht selbst weiterverwerten, dann finden diese häufig für das Wachstum anderer Pansenmikroben Verwendung. Umgekehrt liefern diese dafür – praktisch als Gegenleistung – den Substratlieferanten

wichtige Wachstumsfaktoren, wie z.B. Vitamine. Nur sehr wenige, sehr spezialisierte Bakterien im Pansen, haben keinen Einfluss auf den Stoffwechsel anderer Mikroorganismen.

Die wichtigsten Wechselbeziehungen zwischen Rationszusammensetzung, Ernährungsniveau, Pansenumsetzungen und Zusammensetzung der Mikrobenpopulation sind in Abb. 38 dargestellt.

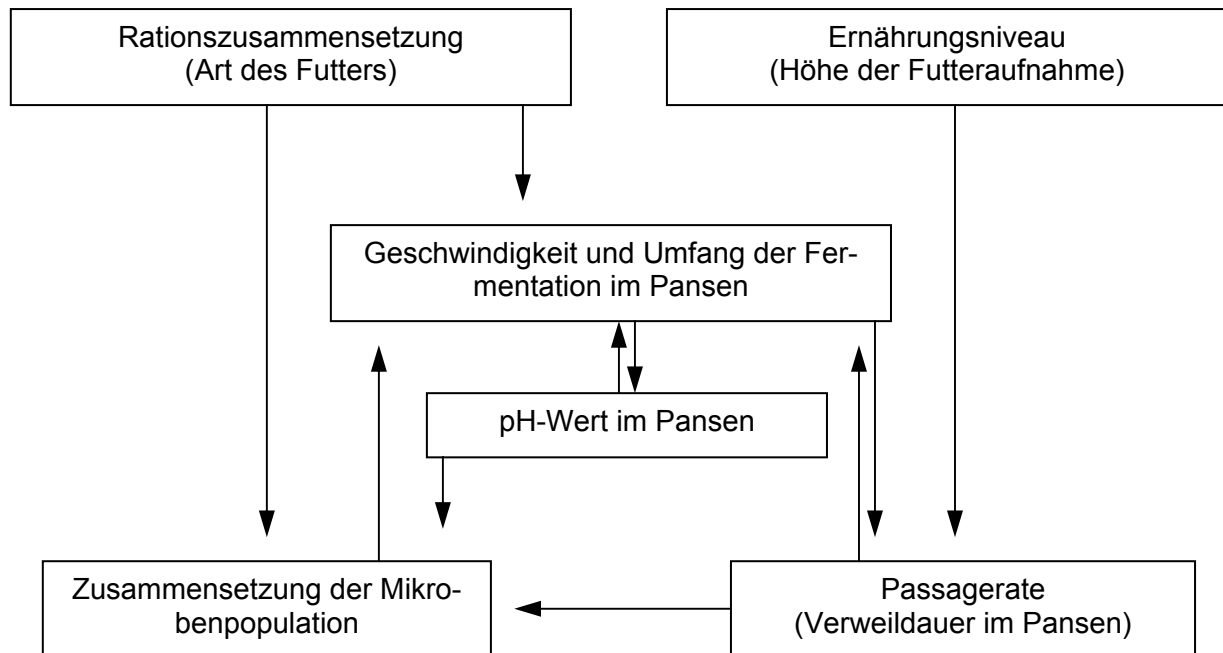


Abb. 38: Darstellung der wichtigsten Beziehungen zwischen Rationszusammensetzung, Ernährungsniveau, Pansenumsetzungen und Zusammensetzung der Mikrobenpopulation

Umsetzungen der Kohlenhydrate: Die Kohlenhydrate lassen sich grob in zwei Hauptgruppen einteilen: die **Reservekohlenhydrate** und die **Zellwandkohlenhydrate** (Tab. 42). Bei den Reservekohlenhydraten, die auch vom Nichtwiederkäuer verdaut werden können, handelt es sich neben geringen Mengen an einfachen Zuckern (Monosacchariden) vor allem um Saccharose (Disaccharid in Zuckerrübe und Rohrzucker) sowie die Polysaccharide Stärke (Getreide, Kartoffel und Maniok) und Fruktosane (Gräser). Die Strukturkohlenhydrate, die nur von mikrobiellen Enzymen abgebaut werden können, geben der lebenden Pflanze ihren Halt und befinden sich vor allem in den Zellwänden. Häufig werden sie unter dem Begriff 'Rohfaser' zusammengefasst. Dies basiert jedoch allein auf der Forderung nach einer analytisch definierbaren Größe. Chemisch handelt es sich dabei vor allem um Zellulose und Hemizellulose, aber auch um Pektine und Lignin. Lignin ist jedoch kein Kohlenhydrat. In stark „verholzten“ Pflanzenteilen kann der Anteil des Lignins bis zu 25 % in der Trockenmasse betragen. Obwohl Lignin im Pansen in gewissem Umfang abgebaut werden kann, hängt die Abbaubarkeit der organischen Substanz pflanzlichen Materials stark vom Grad der Lignifizierung (Lignineinlagerung) der Zellwandbestandteile ab, die im Verlaufe der Vegetationsperiode zunimmt.

Tab. 42: Übersicht über die in der Wiederkäuerernährung wichtigsten pflanzlichen Kohlenhydrate

Reservekohlenhydrate	Zellwandkohlenhydrate
Monosaccharide - Glukose - Fruktose	Strukturkohlenhydrate - Zellulose - Hemizellulose
Disaccharide - Saccharose - Maltose - Laktose	- Pentosane - Hexane Pektine
Polysaccharide - Stärke - Fruktosane	(Lignin)

Die Fermentation der Kohlenhydrate erfolgt stufenweise über kleinere Einheiten und die Glucose hinaus bis hin zu den kurzkettigen flüchtigen Fettsäuren (vor allem: **Essig-, Propion- und Buttersäure**). Die Gesamtkonzentration an flüchtigen Fettsäuren im Pansen bewegt sich normalerweise zwischen 5 und 8 g je Liter Pansenflüssigkeit. Die flüchtigen Fettsäuren enthalten z. T. bis zu über 70 % der aufgenommenen verdaulichen Energie der Wiederkäuer. Das hat zur Folge, dass dem Wiederkäuer aus dem Verdauungstrakt nur sehr geringe Mengen an Glukose zur Verfügung stehen. Der Glukosebedarf muss deshalb zum größten Teil über eine Glukoseneubildung (Glukoneogenese) in der Leber gedeckt werden (6.1.5). Mikrobenpopulation, Fettsäurenproduktion und Proportionen der einzelnen flüchtigen Fettsäuren können je nach Rationszusammensetzung beträchtlich variieren (Abb. 39).

Während bei der Fermentation von Zellulose durch die zelluloseabbauenden (zellulolytischen) Bakterien vor allem Acetat entsteht, begünstigt der Abbau von Stärke (durch amylolytische Bakterien) vorwiegend die Bildung von Propionat. Dabei ist der bakterielle Abbau der Stärke infolge der Verluste in Form von Methan und Wärme unökonomischer als der Abbau zu Glukose im Dünndarm.

Protozoen sind zwar in der Lage, ganze Stärkegranula aufzunehmen und dadurch dem zu schnellen Abbau zu entziehen, werden jedoch, sobald der pH-Wert erst einmal zu weit abgesunken ist, weitgehend eliminiert.

Tab. 43: Angaben zum ruminalen Stärkeabbau ausgewählter Futtermittel von verschiedenen Autoren

Futtermittel	Stärkeabbau (%)	
	Mittelwerte	Variationsbreite
Weizen, Roggen, Gerste		
gemahlen	90	75 bis 97
gequetscht	85	73 bis 90
Mais-, Lieschkolbenschrotsilage	85	70 bis 95
Tapioka	83	77 bis 87
Ackerbohnen	75	70 bis 80
Kartoffeln	70	60 bis 79
Mais		
dampfbehandelt	85	62 bis 91
gemahlen	78	51 bis 93
gequetscht	72	60 bis 84
Sorghum (Milokorn)		
gemahlen	65	42 bis 91
gequetscht	59	45 bis 76

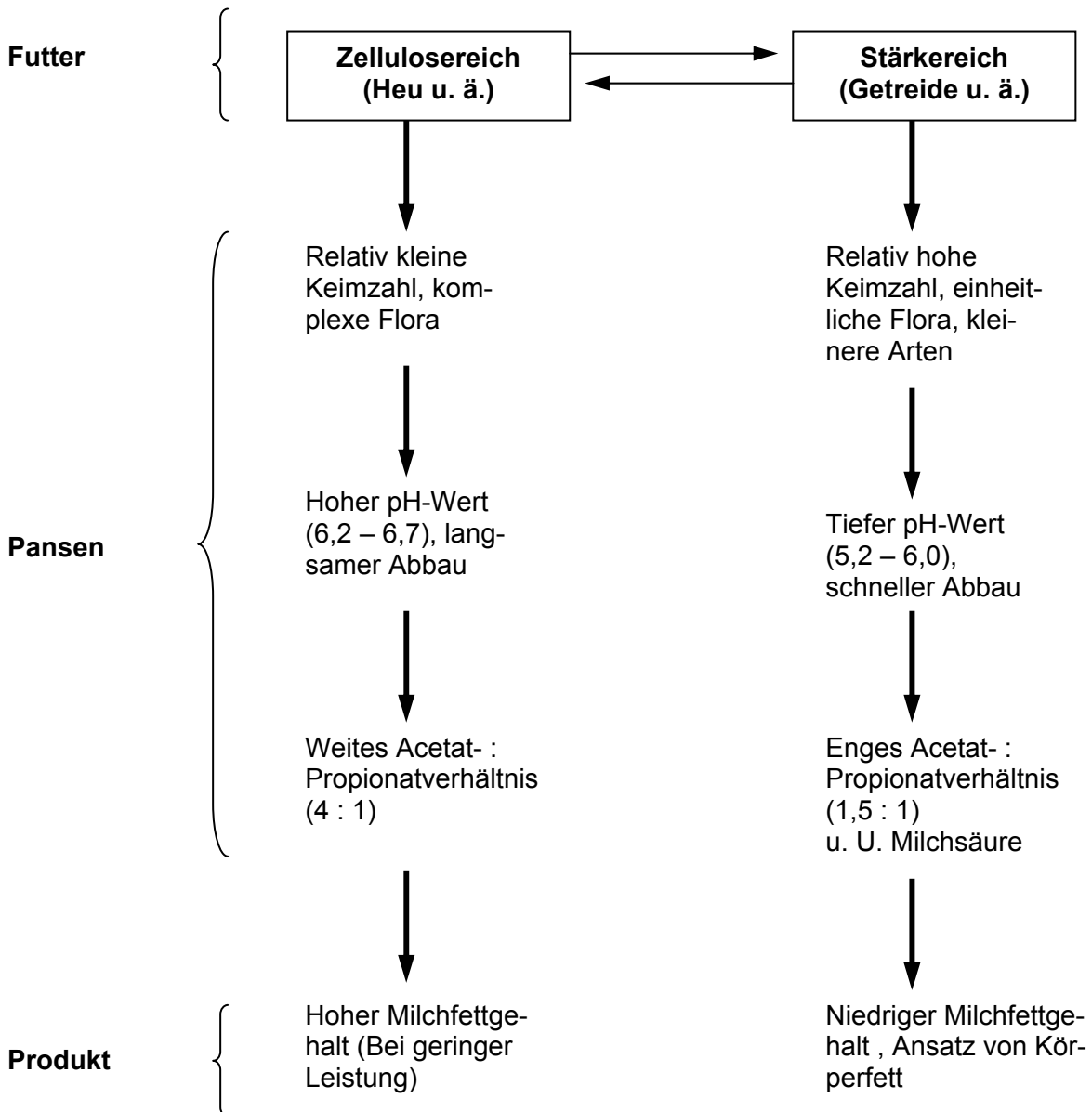


Abb. 39: Einfluss der Rationsgestaltung auf die Pansenvorgänge (nach Orth und Kaufmann, 1961)

Umsetzungen der Stickstoffverbindungen: Den größten Anteil an den Stickstoffverbindungen, die der Wiederkäuer mit dem Futter aufnimmt machen pflanzliche Proteine aus. Daneben sind es vor allem Nukleinsäuren, aber je nach Ration auch beachtliche Mengen an Nitraten, Amiden, freien Aminosäuren, Ammoniak oder Harnstoff. All diese Verbindungen unterliegen in den Vormägen vielfältigen Umsetzungen durch die Pansenmikroben. Die Proteine werden zunächst je nach Art und Behandlung sowie Verweildauer und Fermentationsverhältnissen im Pansen in unterschiedlichem Umfang in Proteinbausteine, wie Peptide und Aminosäuren, zerlegt. Einige Peptide und Aminosäuren werden von bestimmten Mikroben als essentielle Nährstoffe aufgenommen oder passieren zusammen mit dem nicht bzw. unabgebauten Futterprotein (UDP) die Vormägen. Der überwiegende Teil wird jedoch ebenso wie Futterharnstoff zu **Ammoniak** abgebaut. Dieser dient den meisten Pansenbakterien als Baustein für die Synthese des Bakterienproteins. Von den Pansenprotozoen können nur sehr wenige Ammoniak für die Proteinsynthese nutzen. Über den Stickstoffbedarf der Pansenbakterien hinausgehende Ammoniakmengen werden aus dem Pansen absorbiert, in der Leber zu Harnstoff umgewandelt und entweder später bei Mangel an N im Pansen über die Pansenwand oder mit dem Speichel in den Pansen rezirkuliert (Rumino-hepatischer-Kreislauf) oder mit dem Harn ausgeschieden. Letzteres geht natürlich mit einer ineffizienten

Stickstoffnutzung, einem Anstieg des Harnstoffgehaltes in Blut und Milch, einer Stoffwechselbelastung des Tieres und einer möglichen Umweltbelastung einher. Die Synthese von Mikrobenprotein setzt neben Stickstoff, Schwefel und einigen anderen Mineralstoffen und Vitaminen vor allem ausreichende Mengen an im Pansen verfügbarer Energie aus dem Abbau von Kohlenhydraten voraus. Diese steht normalerweise eng mit der Aufnahme an verdaulicher organischer Substanz sowie umsetzbarer Energie in Beziehung. Deshalb kann aus ihr, unter der Voraussetzung dass der N-Bedarf der Mikroben gedeckt ist, der Umfang der mikrobiellen Proteinsynthese geschätzt werden. Der Umfang der mikrobiellen Proteinsynthese kann in Abhängigkeit von einer Vielzahl von Einflussfaktoren beträchtlich schwanken. Als Mittelwert kann jedoch von etwa 10 g Mikrobenprotein je MJ umsetzbarer Energie bzw. 156 g Mikrobenprotein je kg verdaulicher organischer Substanz ausgegangen werden (GfE, 2001). Das heißt, dass im Pansen einer Milchkuh von 600 kg Lebendmasse mit einer Milchleistung von 35 kg FCM fast 2,5 kg Mikrobenprotein je Tag synthetisiert werden.

Das für die mikrobielle Proteinsynthese anzustrebende Stickstoff zu Schwefel-Verhältnis sollte zwischen 10 und 15 zu 1 betragen. Dies ist insbesondere dann zu bedenken, wenn anstelle von Proteinträgern (mit S-haltigen Aminosäuren) schwefelfreie Nicht-Protein-Stickstoff (NPN)-Verbindungen zum Einsatz kommen. Dann ist eventuell eine Schwefelergänzung vorzunehmen.

Umsetzungen der Fette: Der Gehalt an Rohfett in Milchviehrationen beläuft sich normalerweise auf 2 bis 5 % in der Trockenmasse. Beim Rohfett handelt es sich um Triglyceride, Phospholipide, Glykolipide, freie Fettsäuren und fettlösliche Substanzen, wie z.B. Wachse. Während beim Nichtwiederkäuer die Futterfette den Dünndarm nahezu unverändert erreichen, unterliegen diese in den Vormägen der Wiederkäuer umfangreichen Prozessen durch die Mikroben. Hierbei handelt es sich vor allem um **Hydrolyse** (Freisetzung der Fettsäuren aus der Glyceridbindung), **Hydrierung** (Anlagerung von Wasserstoff an Doppelbindungen) und **Synthese** von mikrobiellen Lipiden. Als wichtigste Abbauprodukte entstehen neben freien Fettsäuren Glycerin und Galaktose, die anschließend weiter zu flüchtigen Fettsäuren verstoffwechselt werden. Die ungesättigten Bindungen freier Fettsäuren (insbesondere Fettsäuren mit Ketten aus 18 Kohlenstoffatomen und zwei bis drei Doppelbindungen) werden durch die Pansenmikroben weitgehend hydrogeniert (gesättigt). Das hat zur Folge, dass nur relativ geringe Anteile an ungesättigten Fettsäuren den Darm erreichen und in das Milch- und Körperfett der Wiederkäuer eingebaut werden. Unter anderem entstehen im Pansen auch **Transfettsäuren** und **konjugierte Linolsäure (CLA)**. Dies führt dazu, dass Milch und Fleisch von Wiederkäuern um ein Vielfaches höhere Konzentrationen an diesen Fettsäuren, die im Futter der Pflanzenfresser normalerweise nicht vorkommen, enthalten als die Produkte von Nichtwiederkäuern. Während sich die Befunde mehren, dass Transfettsäuren negative Effekte auf die menschliche Gesundheit haben, sind für die konjugierte Linolsäure positive Wirkungen nachgewiesen worden. Inwieweit durch Fütterungsmaßnahmen ein Einfluss auf die Gehalte an diesen Fettsäuren und damit auf die Qualität der Lebensmittel tierischen Ursprungs genommen werden kann, ist derzeit Frage wissenschaftlicher Untersuchungen.

10 bis 20 % der Lipide im Pansen stammen aus Bakterien und Protozoen. Im Vergleich zu Futterfetten haben Bakterienfette einen relativ hohen Anteil an gesättigten und 'ungewöhnlichen' Fettsäuren. Nach Literaturangaben kann für eine Milchkuh bei mittlerer Leistung mit einer mikrobiellen Fettsäuresynthese von etwa 50 g je Tag gerechnet werden.

Neben dem Fettsäurenmuster von Milch- und Körperfett kann durch die Verfütterung von Fett auch die Pansenfermentation selbst beeinflusst werden. So ist bekannt, dass einzelne Fettsäuren eine toxische Wirkung auf eine ganze Reihe von Mikroorganismen (insbesondere Protozoen) haben. Dies kann sich sowohl auf den Umfang der mikrobiellen Proteinsynthese als auch auf den Abbau von Zellwandkohlenhydraten auswirken. Außerdem ist zu bedenken, dass Fett keine Energie für die Bildung von Mikrobenprotein liefert.

Sonstige Futterbestandteile: Neben ihrer Funktion bei den Umsetzungen der Hauptnährstoffe, können die Pansenmikroben auch in erheblichem Umfang zur Versorgung des Wirtstieres mit Vitaminen beitragen und potenzielle toxische Substanzen unschädlich machen. So sind sie in der Lage die Vitamine C und K sowie die Vitamine des B-Komplexes

zu synthetisieren. Unter Extrembedingungen (sehr hohe Leistungen, plötzliche Futterumstellungen, ausgefallene Rationszusammensetzungen) ist es jedoch möglich, dass die Syntheseleistung verschiedener B-Vitamine nicht mehr ausreicht und Ergänzungen empfohlen werden. Hierbei ist aber, ebenso wie bei Ergänzungen mit anderen Vitaminen, eine gewisse Stabilität gegenüber dem Abbau im Pansen zu beachten, da sie erst im Dünndarm absorbiert werden können. Toxische Futterkomponenten, wie Nitrite, Phytoöstrogene, Pflanzen- und Pilztoxine, können durch Pansenmikroben aufgrund ihrer zahlreichen Enzyme weitgehend neutralisiert werden. Dadurch reagieren Wiederkäuer auf derartige Substanzen meist weniger empfindlich als Nichtwiederkäuer. Auch die Fähigkeit zum Abbau von genetischem Material spielt heute in der Diskussion um den Einsatz gentechnisch veränderter Organismen in der Tierernährung eine Rolle.

Die Mineralstoffe können nach derzeitigem Kenntnisstand grundsätzlich alle auch aus dem Pansen absorbiert werden. Umfang und Bedeutung sind jedoch unterschiedlich und die Mechanismen z. T. noch ungeklärt. Eine besondere Rolle spielt in diesem Zusammenhang Magnesium, das im Gegensatz zu den anderen Mineralstoffen ausschließlich aus dem Pansen absorbiert wird, da eine Störung seiner Absorption (insbesondere bei zuviel Kalium) zur Weidetetanie führen kann.

Durch die Aktivität der Mikroben können auch schlecht absorbierbare Schwermetallverbindungen wie z.B. Kupfersulfid oder Kupferchelate gebildet werden. Dies kann auf der einen Seite die Gefahr von Kupfervergiftungen reduzieren, aber bei zu geringer Kupferversorgung auch zu Kupfermangel führen. Zudem sind die Pansenmikroben in der Lage Phytatphosphor, der von Nichtwiederkäuern nicht verwertet werden kann, für den Wiederkäuer nutzbar zu machen.

Einfluss der Höhe der Futteraufnahme (Passagerate) auf die Umsetzungen im Pansen: Die verschiedenen Umsetzungen in den Vormägen können durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen Faktoren die durch die Fütterung, das Tier oder die Umwelt bedingt sind. Viele dieser Faktoren sind voneinander abhängig oder stehen in Wechselbeziehung zueinander, wie z.B. Leistungsniveau und Rationszusammensetzung.

Von besonderer Bedeutung für den Umfang der Umsetzungen in den Vormägen ist die Verweildauer des aufgenommenen Futters im Pansen, d.h. die Passagerate durch die Vormägen.

Tab. 44: Zusammenhang zwischen Ernährungsniveau (EN 1,0 = Erhaltungsbedarf), Passagerate des Futters und Höhe der Trockensubstanzaufnahme bei Wiederkäuern (nach AFRC 1993) sowie dem Abbau von Maisschrot im Pansen

Ernährungsniveau	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Energiekonzentration der Ration (MJ NEL/kg T)	5,5	6,0	6,5	7,0	7,2
Trockensubstanzaufnahme (kg/Tier und Tag)	6,8	12,6	17,4	21,5	26,2
Passagerate (% je Stunde)	1,9	5,2	7,7	9,6	11,0
Abbau von Maisschrot (%) im Pansen	80	59	50	47	45

Mit steigender Futteraufnahme bei höheren Leistungen vermindert sich die Aufenthaltsdauer des Futters im Pansen bzw. die Passagerate nimmt zu (Tab. 44). Beispielsweise führt eine Erhöhung der Futteraufnahme von etwa 7 kg Trockenmasse je Tier und Tag auf 22 kg zu einem Anstieg der Passagerate von etwa 2 % auf nahezu 10 % je Stunde. Demnach passie-

ren je Stunde statt 2 % der im Pansen befindlichen Futtermenge 10 % die Vormägen. Das hat zur Folge, dass vor allem die zelluloseabbauenden Mikroben, die gewisse Zeit für den Zellwandabbau benötigen, den Wettlauf mit der Zeit verlieren. Die Konsequenz ist eine verminderte Verdaulichkeit zellwandreicher Grundfuttermittel im Pansen und damit auch im gesamten Verdauungstrakt, da Zellwandbestandteile fast ausschließlich im Pansen abgebaut werden. Bei hohen Passageraten können dann Futtermittel an Bedeutung gewinnen, deren potenziell abbaubaren Nährstoffe in relativ kurzer Zeit abgebaut werden, wie z.B. Leguminosen. Während Gräser Abbauraten (Anteil der Nährstoffe, der je Stunde abgebaut werden kann) von nur maximal 5 % je Stunde aufweisen, können diese Werte bei Leguminosen bis zu 12 % betragen. Auch der Abbau von Stärke und Protein im Pansen wird bei höheren Passageraten reduziert und es gelangt mehr so genannte 'Bypass'- oder 'Durchfluss'-Stärke bzw. -Protein in den Dünndarm um dort durch körpereigene Enzyme verdaut zu werden. Somit ist bei Angaben zur Abbaubarkeit bzw. Beständigkeit von Stärke und Protein immer zu bedenken, dass es sich hier nicht um statische Werte, sondern um flexible Größen handelt, die nur für eine ganz bestimmte Verweildauer im Pansen, d.h. Höhe der Futteraufnahme, gelten.

Neben dem Umfang des Abbaus wird auch die Menge an mikrobiell im Pansen synthetisiertem Protein durch die Passagerate durch die Vormägen beeinflusst. Zum einen wird der Umfang der mikrobiellen Proteinsynthese vermindert, da aufgrund der kürzeren Verweildauer im Pansen dort weniger Energie aus dem Abbau von Kohlenhydraten zur Verfügung steht, zum anderen wird aber die Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese (g Mikrobenprotein je kg im Pansen umgesetzter organischer Substanz) gesteigert, da neu gebildetes Mikrobenprotein schneller in den Dünndarm weiterfließt und dadurch das Risiko, dass es erneut mikrobiell abgebaut wird, reduziert ist.

6.1.3 Voraussetzungen für eine optimale Vormagenverdauung

Von maßgeblicher Bedeutung für hohe Futteraufnahmen, gesunde Tiere, geringe Umweltbelastung und eine effiziente Umwandlung von Futterinhaltsstoffen in tierische Produkte mit hoher Qualität ist eine optimale Funktion des 'Biotechnikums' Pansen. Hierfür ist neben einer ausreichenden Versorgung der Pansenmikroben mit Energie, Stickstoff und einer Reihe von Mineralstoffen, vor allem ein pH-Wert von möglichst über pH 6,0 erforderlich. Ein zu weites Absinken des pH-Wertes vermindert die Verdaulichkeit der Zellwandbestandteile und damit die Futteraufnahme, was zur Ketose führen kann. Gleichzeitig besteht die Gefahr einer Acidose, verbunden mit einer Pansenkeratose sowie einer Labmagenverlagerung. Auch die unerwünschte Bildung von Transfettsäuren ist bei niedrigen pH-Werten erhöht. Um dies zu vermeiden, ist neben einer Bereitstellung ausreichender Mengen an wiederkauauslösenden **Strukturfuttermitteln** (6.3.4), vor allem darauf zu achten, dass nicht zu große Mengen an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten (Zucker, Stärke) je Zeiteinheit in den Pansen gelangen. Erfordern hohe Leistungen hohe Krafffuttergaben, so sollten diese in mehrere Teilgaben von nicht mehr als 3 kg je Mahlzeit aufgeteilt werden.

Neben der ausreichenden täglichen Versorgung der Pansenmikroben mit Energie und Nährstoffen, wird auch die so genannte **Synchronisation** des Rohprotein- und Kohlenhydratabbaus im Pansen als Voraussetzung für eine maximale Effizienz der mikrobiellen Umsetzungen diskutiert. Hierunter wird ein im Verlauf des Tages, möglichst zu jedem Zeitpunkt anzustrebendes Verhältnis von 25 g im Pansen verfügbarem Stickstoff je kg fermentierter organischer Substanz verstanden. Versuche zum Einfluss der Synchronisation auf die Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese oder die Leistung von Wiederkäuern führten jedoch bisher noch zu recht widersprüchlichen Ergebnissen.

6.1.4 Verdauung im Labmagen sowie Dün- und Dickdarm

Vorwiegend sind es schwer abbaubare Faserbestandteile der pflanzlichen Nahrung und Mikrobenmasse, die die Vormägen verlassen und nach relativ kurzer Verweildauer im

Labmagen in den **Dünndarm** übertreten. Die einzelnen Abschnitte des Dünndarms werden relativ schnell passiert. Dabei steigt der im Labmagen bis auf pH 2 bis 3 durch die Sekretion von Salzsäure abgesenkte pH-Wert des Magen-Darminhaltes bis in den Neutralbereich (pH 7) an. Die dabei stattfindenden Verdauungsprozesse mit körpereigenen Enzymen entsprechen prinzipiell denjenigen beim Nichtwiederkäuer. Das bedeutet, dass in Labmagen und Dünndarm keine Faserbestandteile mehr abgebaut werden können. Zudem erreichen bei Wiederkäuern normalerweise erheblich weniger verdauliche **Kohlenhydrate** Labmagen und Dünndarm als bei Nichtwiederkäuern, da sie weitestgehend bereits im Pansen abgebaut werden. Anders sieht dies jedoch aus, wenn größere Anteile an Körnermais oder Sorghum (Milokorn) (soweit diese nicht dampferhitzt oder anderweitig aufgeschlossen wurden) zum Einsatz kommen. Bei Verfütterung dieser Getreidearten können je nach eingesetzter Menge bis über 2,5 kg Stärke je Tag in den Dünndarm eintreten, da ihre Abbaubarkeit im Pansen geringer ist. Allerdings sinkt die Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm mit steigender Stärkemenge deutlich ab (Abb. 40), d.h. die Kapazität zur Stärkeverdauung im Dünndarm der Wiederkäuer ist begrenzt. Sobald jedoch die Stärke zu weniger als etwa 60 % im Dünndarm verdaut wird, bringt die Stärkeverdauung im Dünndarm gegenüber der Fermentation im Pansen energetisch keinen Vorteil mehr. Sie wird dann, trotz der Verluste über Methan und Wärme, die mit der Fermentation im Pansen verbunden sind, zunehmend ineffizienter. Der Grenzwert, bei dem eine Dünndarmverdaulichkeit von 60 % unterschritten wird liegt bei etwa 1,5 kg `Bypass`- bzw. `pansenstabiler`- Stärke. Hierbei ist zusätzlich zu bedenken, dass mit steigender Futteraufnahme bei höherer Leistung, d.h. mit steigender Passagerate, der Anteil an im Pansen unabgebauter Stärke zunimmt.

Scheinbare Verdaulichkeit im Dünndarm (%)

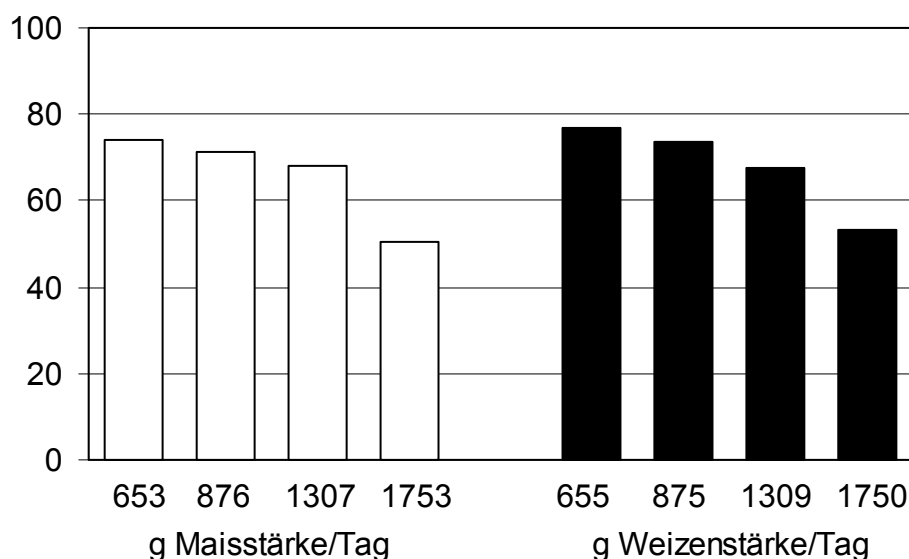


Abb. 40: Scheinbare Verdaulichkeit von in den Dünndarm verabreichter Stärke im Dünndarm (Matthé et al., 2001)

In der begrenzten Dünndarmverdauung von Stärke dürfte auch die Ursache für die positiven Ergebnisse bei Verfütterung von technisch aufgeschlossenem (Dampfbehandlung) Mais bzw. Sorghum in der Milchviehfütterung in Amerika liegen, wo große Mengen dieser Getreide zum Einsatz kommen. Die Behandlung erhöht die Abbaubarkeit der Stärke im Pansen und reduziert somit die Menge am Dünndarm.

Somit stehen den Vorteilen eines begrenzten Stärkeabbaus im Pansen wie stabilerem pH-Wert (verbunden mit geringeren Gefahren für die Tiergesundheit, höherer Futteraufnahme durch höheren Zellwandabbau), geringeren Fermentationsverlusten sowie geringeren Ansprüchen an die Glukoseneubildung in der Leber, Nachteile gegenüber, die sich aus der

reduzierten Verfügbarkeit an Energie für die mikrobielle Proteinsynthese und der begrenzten Kapazität zur Stärkeverdauung im Dünndarm ergeben.

Bei den **Proteinen**, die den Labmagen erreichen, handelt es sich überwiegend um Mikrobenprotein, das somit auch maßgeblich das Aminosäurenmuster des am Darm **nutzbaren Rohproteins** (nXP) bestimmt. Hinzu kommen im Pansen nicht abgebautes Futterprotein ('Bypass'-, 'geschütztes-', 'pansenstabiles-' oder 'Durchfluss'- Protein, UDP), Proteine aus abgestorbenen Epithelzellen und endogenen Sekreten. Die Verdauung erfolgt ebenso wie beim Nichtwiederkäuer, indem die Proteine im Dünndarm in Aminosäuren gespalten und anschließend absorbiert werden. Um die Proteinmenge am Dünndarm zu steigern wird häufig der Einsatz so genannter 'geschützter' oder 'pansenstabiler' Proteine empfohlen. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass nicht gleichzeitig die Proteinverdauung im Dünndarm reduziert wird. Sowohl eine zu starke Erhitzung der Futtermittel als auch eine Behandlung mit zu hohen Konzentrationen an Formaldehyd mit dem Ziel die Abbaubarkeit im Pansen zu vermindern, können dazu führen, dass sich Komplexe bilden, die auch im sauren Labmagen-Dünndarm-Bereich nicht mehr gelöst werden können.

Von den mit dem Futter verabreichten **Fetten** erreichen, aufgrund der Aktivität der Vormagenmikroben vorwiegend bereits freie gesättigte langkettige Fettsäuren den Dünndarm. Die Fettverdauung durch die Enzyme der Bauchspeicheldrüse beschränkt sich deshalb (soweit nicht, um die Pansenfermentation zu umgehen, 'geschützte' Fette eingesetzt wurden) im Wesentlichen auf Mikrobenfett. Eine wichtige Rolle beim enzymatischen Abbau der Fette und bei der Absorption der Fettsäuren im Dünndarm spielen die Gallensäuren. Diese werden in der Leber gebildet und gelangen von dort zunächst in die Gallenblase und anschließend in den Dünndarm.

Neben Glucose, Aminosäuren und Fettsäuren werden im Dünndarm auch die Vitamine und die nicht bereits im Pansen absorbierten verfügbaren Mineralstoffe absorbiert.

Die nicht in den Vormägen bzw. im Dünndarm verdauten Nährstoffe erreichen den **Dickdarm** und unterliegen dort erneut einer mikrobiellen Verdauung. Auch der Dickdarm der Wiederkäuer weist eine relativ dichte (10^{10} bis 10^{12} Keime/g Dickdarminhalt) Besiedlung mit Bakterien auf, die der im Pansen ähnelt. Protozoen kommen allerdings nur selten vor. Prinzipiell finden die gleichen Prozesse statt wie im Pansen. Auch die im Dickdarm gebildeten flüchtigen Fettsäuren können absorbiert werden und zur Energieversorgung der Tiere beitragen. Ebenso kann der beim Proteinabbau freigesetzte Ammoniak absorbiert und im Falle eines Stickstoffmangels im Pansen oder Dickdarm in diese rezirkuliert werden. Ohne Nutzen für das Tier ist jedoch das im Dickdarm synthetisierte Mikrobenprotein, da es nicht mehr verdaut werden kann. Ob im Dickdarm gebildete Vitamine für das Tier von Bedeutung sein können, ist ebenfalls sehr fragwürdig.

Erreichen zu große Mengen an Stärke, die im Dünndarm nicht mehr verdaut werden konnten, den Dickdarm, so reduziert dies nicht nur die energetische Effizienz der Stärkenutzung, sondern kann möglicherweise auch zur Vermehrung unerwünschter säure-resistenter Bakterien (z.B. E.coli) im Dickdarm beitragen, die als Krankheitserreger im Humanbereich diskutiert werden.

6.1.5 Intermediärstoffwechsel

Für die praktische Tierernährung sind insbesondere zwei Aspekte, die den Intermediärstoffwechsel betreffen, von Bedeutung. Erstens die **Nutzung von Energiereserven** (Körperfett) bei mangelnder Energieversorgung (Futteraufnahme) und zweitens die **Glukoseubildung** (Glukoneogenese). Da beides insbesondere zur Zeit der Hochlaktation eng miteinander verknüpft ist, soll hier auch beides gemeinsam kurz angesprochen werden.

Bei einer täglichen Milchleistung von 50 kg sezerniert eine Milchkuh etwa 6 kg organische Substanz. Besondere Anforderungen werden dabei an die Leber und die Milchdrüse gestellt. Zur Synthese von 1 kg Milch müssen etwa 500 Liter Blut durch die Milchdrüse strömen. Bei 50 kg Milch sind das etwa 25 Tonnen Blut je Tag (2.1.2). Bezüglich der Nährstoff-

bereitstellung kann die Glukose als erstlimitierender Nährstoff bei der Hochleistungskuh angesehen werden. Die größte Glukosemenge wird für die Bildung von Milchzucker benötigt. Der geschätzte Glukosebedarf einer Kuh mit 50 kg Milch beläuft sich auf etwa 3,6 kg je Tag (1,5 x mit der Milch ausgeschiedene Menge an Laktose). Da die Glukose-liefernden Nährstoffe (Stärke, Zucker) jedoch weitgehend im Pansen zu flüchtigen Fettsäuren abgebaut werden und die Stärkeverdauung und damit Glukoseabsorption, im Dünndarm begrenzt ist, kommt der Glukoseneubildung bei der Hochleistungskuh erstrangige Bedeutung zu. Sie erfolgt weitgehend (zu etwa 80 %) in der Leber, insbesondere aus flüchtigen Fettsäuren (vor allem Propionsäure), Milchsäure, Glycerin und einigen Aminosäuren. Dabei konkurriert die Glukoseneubildung mit anderen Stoffwechselprozessen um das Oxalacetat als Ausgangssubstanz. Dies ist insbesondere zu Laktationsbeginn von Bedeutung, wenn sich die Kuh aufgrund mangelnder Futterraufnahme im Energiedefizit befindet und deshalb Energiereserven, d.h. Fettreserven, abgebaut werden müssen. Beim Abbau von Körperfett entstehen dann große Mengen an Fettsäuren, die in der Leber abgebaut werden. Für die vollständige Verstoffwechselung ist jedoch Oxalacetat erforderlich. Wird dies aber gleichzeitig in größerem Umfang bei der Glukoseneubildung verbraucht, so entstehen beim Abbau der Fettsäuren steigende Mengen an Ketonkörpern, was nach Überschreiten eines Grenzwertes zur **Ketose** bei den Milchkühen führt.

6.2 Futtermittelkundliche Aspekte (G. Flachowsky)

Tiergesundheit, Leistungshöhe sowie Qualität und eventuelle Rückstände in Fleisch und Milch werden wesentlich von den eingesetzten Futtermitteln beeinflusst. Kenntnisse über die Zusammensetzung und den ernährungsphysiologischen Wert der Futtermittel sind demnach für den Landwirt von erstrangiger Bedeutung. Dieses Wissen kann aus entsprechenden Lehrbüchern bezogen werden. In den letzten Jahren (seit 1990) sind u.a. Beiträge zur Futtermittelkunde in den Büchern von Abel et al. (1995) und Jeroch et al. (1993, 1999) erschienen.

Die DLG-Futterwerttabellen für Rinder (DLG 1997) vermitteln einen sehr guten Überblick über die wichtigsten Futterinhaltsstoffe. In diesem Zusammenhang ist auch die Positivliste für Einzelfuttermittel (2005) zu erwähnen, die als Folge der BSE-Krise von einer vom Zentralausschuss der Deutschen Landwirtschaft berufenen Expertengruppe in den Jahren 2001/02 erarbeitet wurde, deren erste Fassung im Mai 2002 vorlag und die seitdem kontinuierlich vervollständigt wird. Die Positivliste hat nicht den Charakter eines Tabellenwerkes, sondern in ihr wird eine eindeutige Definition der Herkunft und der Eigenschaften der Einzelfuttermittel vorgenommen. Dabei werden die Verfahrenswege klar strukturiert beschrieben sowie die verwendeten Verarbeitungshilfsstoffe wie auch die Verarbeitungsprozesse und mögliche Risiken in einem Datenblatt offen gelegt (s. Petersen und Flachowsky 2004).

Nicht unerwähnt bleiben sollen auch die Aktivitäten internationaler Organisationen. Da es im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Futtermitteln aus gentechnisch veränderten Pflanzen wiederholt Fragen und Diskussion über „Normalwerte“ gab und gibt, wurden im Auftrag der Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit (OECD) sogenannte Konsensus-Papiere erarbeitet, in denen die Eigenschaften wichtiger Futtermittel zusammengestellt sind. Gegenwärtig liegen derartige Consensus Documents für Sojabohnen, Mais, Weizen, Zuckerrüben, Kartoffeln und Raps vor. Durch das International Life Science Institute (ILSI 2003) wurde kürzlich ein umfangreiches Futtermitteltabellenwerk vorgestellt, in dem nahezu alle messbaren Inhaltsstoffe aufgelistet sind.

Tabellen über wichtige (z.B. NOVUS-Tabellen) oder ausgewählte Inhaltsstoffe (z.B. Aminosäuren, „Degussa“-Tabellen) wurden bzw. werden auch von verschiedenen Organisationen bzw. einzelnen Firmen erarbeitet. Trotz dieser und auch im Ausland vorliegender weiterer Lehrbücher und Tabellenwerke sind Analysen der im Betrieb eingesetzten Futtermittel, dabei vor allem der Grundfuttermittel, durch nichts zu ersetzen. Diese Feststellung ist umso zutreffender, je spezifischer die Futtermittel bzw. Futtererzeugungsbedingungen (z.B. Pflanzenstandort, Schnittzeitpunkt, Konservierungsart u.a.) sind.