

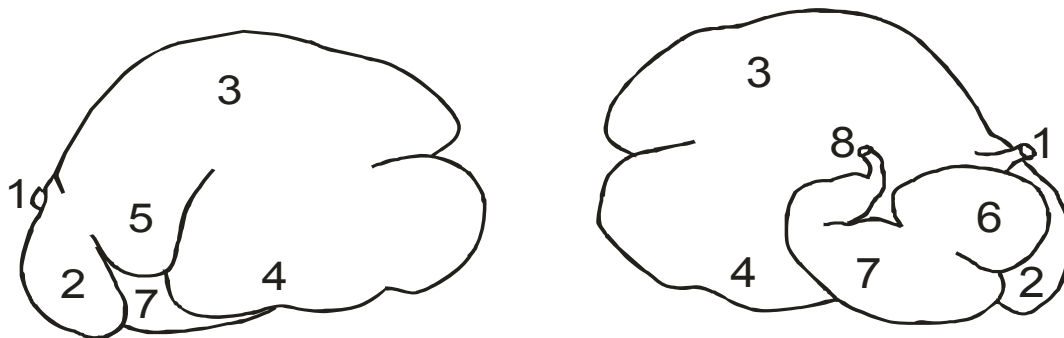
## 5 Ernährung, Fütterung und Grünlandnutzung

### 5.1 Ernährung und Fütterung des Rindes (P. Lebzien, G. Flachowsky, U. Meyer)

#### 5.1.1 Ernährungsphysiologische Grundlagen (P. Lebzien)

##### 5.1.1.1 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 Nicht-Wiederkäuer 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 (Abbildung 5.1.1). 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.



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

**Abb. 5.1.1: Mägen des Rindes, Ansicht von links und von rechts, schematisch**

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 Wandmuskulmasse von Haube und Pansen um ein Vielfaches zu. Während Raufutter durch mechanische Reize vor allem eine rasche Zunahme von Wandmuskulmasse und

Pansenvolumen bewirkt, ist Krafftutter 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 Krafftutter 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 dem Entwicklungsstadium 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 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. Weiterführenden Informationen zu Aufbau, Entwicklung und Funktion des Verdauungstraktes finden sich bei von ENGELHARDT und BREVES (2005).

### **5.1.1.2 Mikrobielle Besiedlung und Umsetzungen im Pansen**

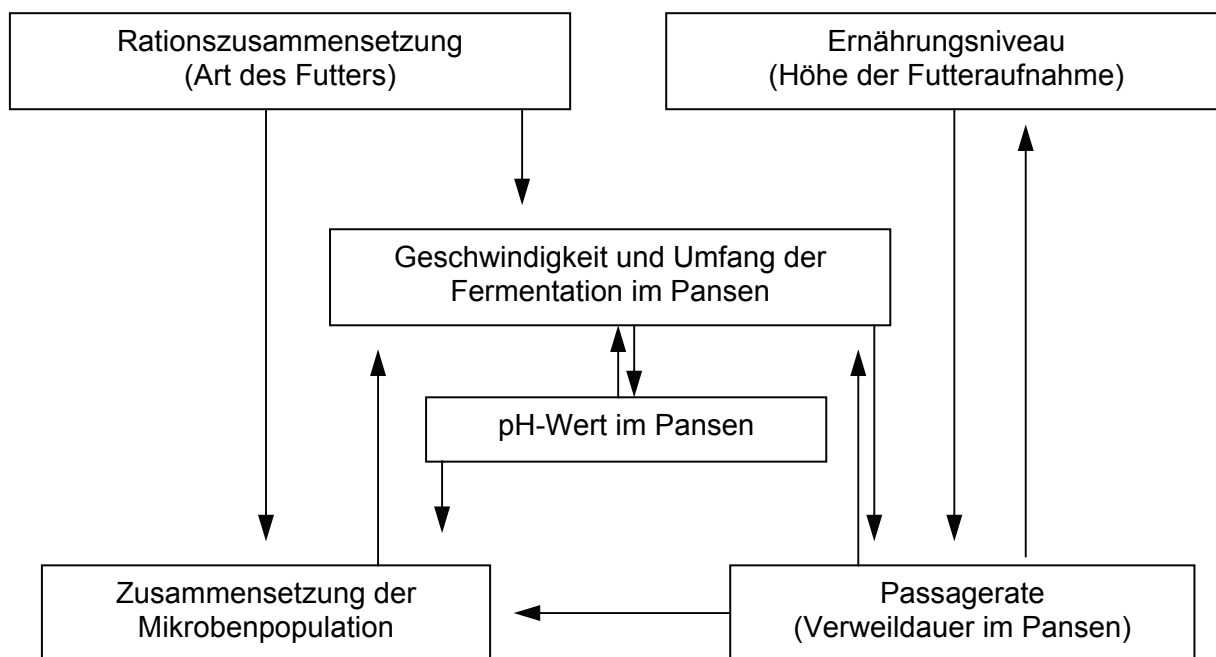
Obwohl Pflanzenfresser im Tierreich weit verbreitet sind, gibt es keine Wirbeltiere, die in der Lage sind, selbst zellulose- oder hemizelluloseverdauende Enzyme zu bilden. Aus diesem Grunde gehen Pflanzenfresser eine Symbiose (Lebensgemeinschaft zum beiderseitigen Nutzen) mit Kleinstlebewesen (Mikroorganismen, Mikroben) ein (HOBSON, 1988; von ENGELHARDT und BREVES, 2005). 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 (Flüssigkeitsgehalt, Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt) im Pansen der Wiederkäuer 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 Kraffutter 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  $\mu\text{m}$  und einer Länge von 1,0 bis 3,0  $\mu\text{m}$ . 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 (KIRCHGESSNER, 2004; von ENGELHARDT und BREVES, 2005). 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 Abbildung 5.1.2 dargestellt.



**Abb. 5.1.2: 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. 5.1.1).

**Tab. 5.1.1: Übersicht über die in der Wiederkäuerernährung wichtigsten pflanzlichen Kohlenhydrate**

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

Bei den Reservekohlenhydraten, die auch vom Nichtwiederkäuer durch körpereigene Enzyme 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

allen 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.

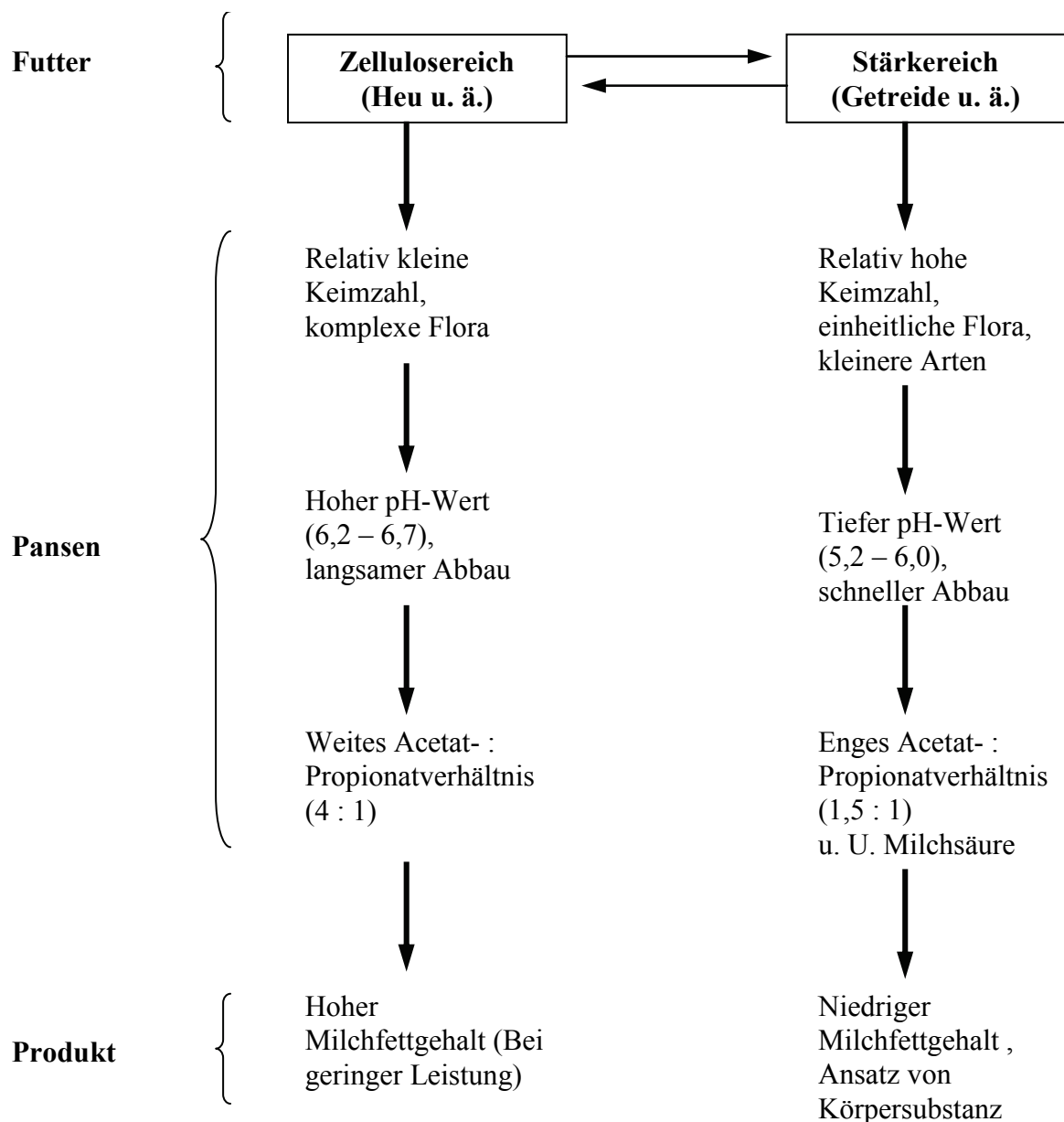
Der Umfang des mikrobiellen Abbaus im Pansen wird durch die Abbaugeschwindigkeit und die Verweildauer des Futtermittels im Pansen bestimmt. Während die Verweildauer maßgeblich durch die Höhe der Futteraufnahme beeinflusst wird (Tab. 5.1.3), hängt die Geschwindigkeit des Abbaus der Reservekohlenhydrate in den Vormägen weitgehend von der Art und technischen Aufbereitung des jeweiligen Futtermittels ab. Einfache Zucker werden sehr schnell und selbst bei relativ kurzer Verweildauer nahezu vollständig im Pansen abgebaut. Gerste-, Hafer- und Weizenstärke werden normalerweise zu über 90 % in den Vormägen fermentiert, während Stärke aus Mais und Sorghum (Milokorn) teilweise nur zu 50 bis 60 % umgesetzt wird. Dabei kann die Abbaugeschwindigkeit der Stärke durch Sorte, Reifegrad, mechanische oder chemische Behandlung stark beeinflusst werden (Tab. 5.1.2).

**Tab. 5.1.2: 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

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 machen z. T. bis zu über 70 % der aufgenommenen verdaulichen Energie der Wiederkäuer aus. 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. Allerdings spielt die Gluconeogenese bei der Milchkuh aufgrund ihres hohen Glucosebedarfs für die Bildung von Milchzucker (Laktose) eine deutlich größere Rolle als beim Mastrind. Mikrobenpopulation, Fettsäurenproduktion und Proportionen der einzelnen flüchtigen Fettsäuren können je nach Rationszusammensetzung beträchtlich variieren (Abb. 5.1.3).



**Abb. 5.1.3: Einfluss der Rationsgestaltung auf die Pansenvorgänge (nach ORTH und KAUFMANN, 1961)**

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.

Überhöhte Mengen an leicht abbaubaren Kohlenhydraten (Stärke, Zucker) bei gleichzeitigem Mangel an strukturierten Futtermitteln führen zu einer reduzierten

Wiederkauaktivität und somit geringeren Speichelproduktion, was eine verminderte Pufferkapazität zur Folge hat. Dies verstärkt den durch den schnellen Abbau der leicht fermentierbaren Kohlenhydrate bedingten Abfall des pH-Wertes im Pansen (Abb. 5.1.3), was den Zelluloseabbau und dadurch die Futteraufnahme nachteilig beeinflusst. Bei pH-Werten von unter pH 5.5 kann es zudem zur Kumulation von Milchsäure und damit einhergehend zur Acidose kommen. 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. Ein überhöhter Anteil an leicht verdaulichen Kohlenhydraten kann zudem pathologische Zustände, wie Blättermagenparese und Labmagenverlagerung, zur Folge haben (von ENGELHARDT und BREVES, 2005).

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 im Blut, 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 eines Mastrindes von 325 kg Lebendmasse mit einer täglichen Lebendmassezunahme von 1000g, etwa 660 g 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 Mastrinderrationen 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 Körperfett der Tiere eingebaut (bzw. bei Milchkühen mit der Milch ausgeschieden) werden. Unter anderem entstehen im Pansen auch **Transfettsäuren** und **konjugierte Linolsäure (CLA)** (BESSA et al., 2000). Dies führt dazu, dass Fleisch von Wiederkäuern (ebenso wie deren Milch) um ein Vielfaches höhere Konzentrationen an diesen Fettsäuren, die im Futter der Pflanzenfresser normalerweise nicht vorkommen, enthält als die Produkte von Nichtwiederkäuern. Während sich die Befunde mehren, dass Transfettsäuren negative Effekte auf die menschliche Gesundheit haben, sind für die konjugierten Linolsäuren auch 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.

Neben dem Fettsäurenmuster von Körperfett (und Milchfett) 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 (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. Durch die Aktivität der Mikroben können auch schlecht absorbierbare Schwermetallverbindungen, wie z.B. Kupferkomplexe 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 bei Milchkühen die Verweildauer des aufgenommenen Futters im Pansen, d.h. die Passagerate durch die Vormägen. Allerdings spielt dies bei Masttieren kaum eine Rolle, da die Spanne bezüglich der Höhe der Futteraufnahme nur gering ist. Während Hochleistungsmilchkühe z. T. bis zum 5fachen ihres Erhaltungsbedarfs an Energie aufnehmen, nehmen Mastrinder kaum mehr als etwa den doppelten Erhaltungsbedarf auf.

**Tab. 5.1.3: 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
Energiekonzentration der Ration (MJ ME/kg T)	10,0*	11,2*
Trockensubstanzaufnahme (kg/Tier und Tag)	4,5*	8,0*
Passagerate (% je Stunde)	1,9	5,2
Abbau von Maisschrot (%) im Pansen	80	59

\*Annahmen für ein Masttier mit 375 kg Lebendmasse

Grundsätzlich vermindert sich mit steigender Futteraufnahme die Aufenthaltsdauer des Futters im Pansen bzw. die Passagerate nimmt zu (Tab. 5.1.3). In der Rindermast wird unter praktischen Bedingungen jedoch weder auf Ernährungsniveau gefüttert noch ein Ernährungsniveau von mehr als dem doppelten Erhaltungsbedarf erreicht werden.

### 5.1.1.3 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 wiederkau-auslösenden **Strukturfuttermitteln**, vor allem darauf zu achten, dass nicht zu große Mengen an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten (Zucker, Stärke) je Zeiteinheit in den Pansen gelangen.

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.

#### 5.1.1.4 Verdauung im Labmagen sowie Dünn- 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. Die den Dünndarm erreichende Stärke kann dann durch die körpereigenen Enzyme verdaut werden, ohne dass Fermentationsverluste auftreten. Zudem kann dadurch die Gefahr einer Pansenacidose verringert werden. Allerdings wird die Verfügbarkeit an Energie für die mikrobielle Proteinsynthese reduziert. Unphysiologisch hohe Mengen an so genannter Bypass-Stärke, die die Verdauungskapazität des Dünndarms überschreiten, wie dies bei Hochleistungskühen der Fall sein kann, dürften in der Rindermast kaum vorkommen.

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 für Milchkühe 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. Der Einsatz von geschützten Proteinen spielt aber in der Rindermast keine Rolle, da unter normalen Umständen der Umfang der mikrobiellen Proteinsynthese für die Aminosäurenversorgung der Tiere ausreicht.

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.

### 5.1.2 Futtermittel für Mastrinder (G. Flachowsky)

Tiergesundheit, Leistungshöhe sowie Qualität und eventuelle Rückstände in Fleisch 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.

**Tab. 5.1.4: Wesentliche Angaben (nach Alphabet) in der DLG-Datenbank Futtermittel (DLG, 2007)**

Aminosäuren	Kohlenhydrate
Biogas-Parameter	Mengen- und Spurenelemente
Energie	Mykotoxine
Fettsäuren	Nährstoffe
Futterwert/Geflügel	Schwermetalle
Futterwert Pferde	Verdaulichkeit Schweine
Futterwert Schweine	Verdaulichkeit Wiederkäuer
Futterwert Wiederkäuer	Vitamine

Die DLG-Futterwerttabellen für Rinder (DLG, 1997) vermitteln einen sehr guten Überblick über die wichtigsten Futterinhaltsstoffe. Seit 2007 können viele Details der im Internet verfügbaren DLG-Futtermitteldatenbank (DLG, 2007, s. Tab. 5.1.4) entnommen werden. In diesem Zusammenhang ist auch die Positivliste für Einzelfuttermittel (2007) 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).

Weitere Hinweise zum Einsatz von Futtermitteln, vor allem von Futterzusatzstoffen, sind den futtermittelrechtlichen Dokumenten (seit 2005 gemeinsames Lebens- und Futtermittelrecht, BGB, 2005; Grüne Broschüre, 2006) und in diesem Zusammenhang erarbeiteten Studien (z. B. FLACHOWSKY, 2006; PETERSEN et al., 2007) zu entnehmen.

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) so genannte Konsensus-Papiere erarbeitet, in denen die Eigenschaften wichtiger Futtermittel zusammengestellt sind. Gegenwärtig liegen derartige Consensus Documents für Baumwolle, Gerste, Kartoffeln, Luzerne, Mais, Raps, Reis, Weizen und Zuckerrüben vor. Durch das International Life Science Institute (ILSI, 2003) wurde 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.

### **5.1.2.1 Anforderungen an das Futter**

Aus Sicht der Tierernährung werden umfangreiche Anforderungen/Erwartungen an die Futtermittel gestellt, wie z.B.

- hohe Schmackhaftigkeit bzw. Garantie für eine hohe Futtermittelaufnahme,
- günstige Lagerungs- und Konservierungseigenschaften,
- geringer Gehalt bzw. frei von unerwünschten Inhaltsstoffen.

Besondere Bedeutung für die Leistungshöhe und die Nährstoffverwertung kommt der Höhe der Futter- bzw. Energieaufnahme zu, da das Futtermittelaufnahmevermögen wachsender Rinder begrenzt ist. Obwohl es mit zunehmender Lebendmasse ansteigt, vermindert es sich relativ. (Abb. 5.1.4). Daraus resultiert, dass intensiv wachsende Mastrinder hohe Anforderungen an die Energiedichte der Futtermittel bzw. der Futterrationen haben. Demnach sind entsprechende futtermittelkundliche Kenntnisse eine wesentliche Voraussetzung für eine optimale Rationsgestaltung, eine effektive und ressourcensparende Verwertung der Nährstoffe und hohe Leistungen der Tiere.

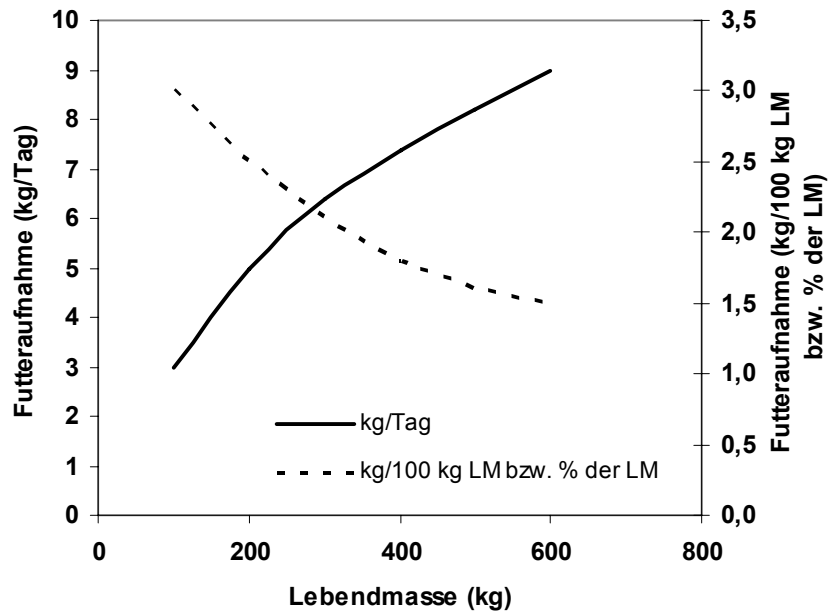


Abb. 5.1.4: Futteraufnahme (kg je Tier und Tag bzw. in % der Lebendmasse) von wachsenden Rindern

### 5.1.2.2 Wichtige Futterinhaltsstoffe

Abgesehen von Milch und Milchprodukten in der Kälberernährung werden an Rinder ausschließlich Futtermittel pflanzlicher Herkunft verfüttert. Die Inhaltsstoffe dieser Futtermittel können in Zellinhalt und Zellwandbestandteile unterteilt werden (Tab. 5.1.5).

Tab. 5.1.5: Wichtige Inhaltsstoffe von Futtermitteln, unterteilt in Zellinhalt- und Zellwandbestandteile (s. auch Tab. 5.1.1)

Zellinhalt	Zellwände
Zucker	Pektin
Stärke	Hemizellulose
Proteine (Aminosäuren)	Zellulose
Fette (Fettsäuren)	Lignin
Mengen- und Spurenelemente	
Vitamine	

Bei der Futtermittelanalyse werden die verschiedenen Nährstoffe zu Fraktionen zusammengefasst (z. B. Weender Analyse) oder im Rahmen von Detailanalysen als Einzelnährstoff bestimmt (Tab. 5.1.6).

**Tab. 5.1.6: Komponenten der Weender Roh Nährstoffanalyse und wichtige Nährstoffe**

Hauptkomponenten	Rohasche	Rohprotein	Rohfett	Rohfaser	Stickstofffreie Extraktstoffe
Wichtige Nährstoffe	Mengenelemente (Ca, P, Mg, Na, K, Cl, S)	Nicht-Protein-Stickstoff (NPN)	Fettsäuren (z. B. Stearin-, Öl-, Linol-, Linolensäure)	(Pektin) Zellulose	Zucker Stärke
	Spurenelemente (Cu, Fe, J, Mn, Se, Zn u.a.)	Echte Proteine Aminosäuren  (z. B. Lysin, Methionin, Threonin, Tryptophan)	Fettlösliche Vitamine (z. B. Vitamine A, D, E, $\beta$ -Karotin)	Hemizellulose Lignin	(Pektin) Flüchtige Fettsäuren Wasserlösliche Vitamine

Bei der Weender Analyse werden die Trockensubstanz (T) sowie die Gehalte an Rohasche, Rohprotein (N x 6,25), Rohfett und Rohfaser nach einem vorgegebenen Analysenverfahren bestimmt. Die Gehalte an Wasser (100-T) und stickstofffreien Extraktstoffen (NfE) werden rechnerisch ermittelt [100-(Rohasche + Rohprotein + Rohfett + Rohfaser)]. Der Gehalt an organischer Substanz wird als Differenz (100 – Rohasche) errechnet. In der Rohfaser- sowie der NfE-Fraktion werden relativ heterogene Nährstofffraktionen zusammengefasst (Tab. 5.1.6). In verschiedenen Ländern wurde deshalb die Rohfaserfraktion durch die Bestimmung der Neutral-Detergenzien (NDF) und der Säure-Detergenzien Faser (ADF) ersetzt. Anstelle von NfE werden Stärke und Zucker bestimmt. NDF, ADF, Stärke und Zucker finden auch in Deutschland verstärkt Eingang in die Futtermittelanalytik. Außerdem werden zunehmend weitere Detailanalysen durchgeführt. Das trifft bei Futtermitteln für Rinder vor allem auf verschiedene Fettsäuren sowie auf Mengen- und Spurenelemente zu. In allen Futtermitteln, vor allem jedoch in Futtermitteln aus potenziellen „Risikogebieten“ (z.B. Überflutungsgebiete von Flussauen, industriennahe Regionen) oder beim Einsatz von Nebenprodukten nach verschiedenen Verarbeitungsschritten werden unerwünschte Inhaltsstoffe (wie z.B. Schwermetalle, Dioxine, aber auch Mykotoxine) bestimmt. Weitere Hinweise zu dieser Thematik können der Positivliste für Einzelfuttermittel (2007) sowie verschiedenen Studien/Büchern entnommen werden (z. B. FLACHOWSKY, 2006; PETERSEN et al., 2007).

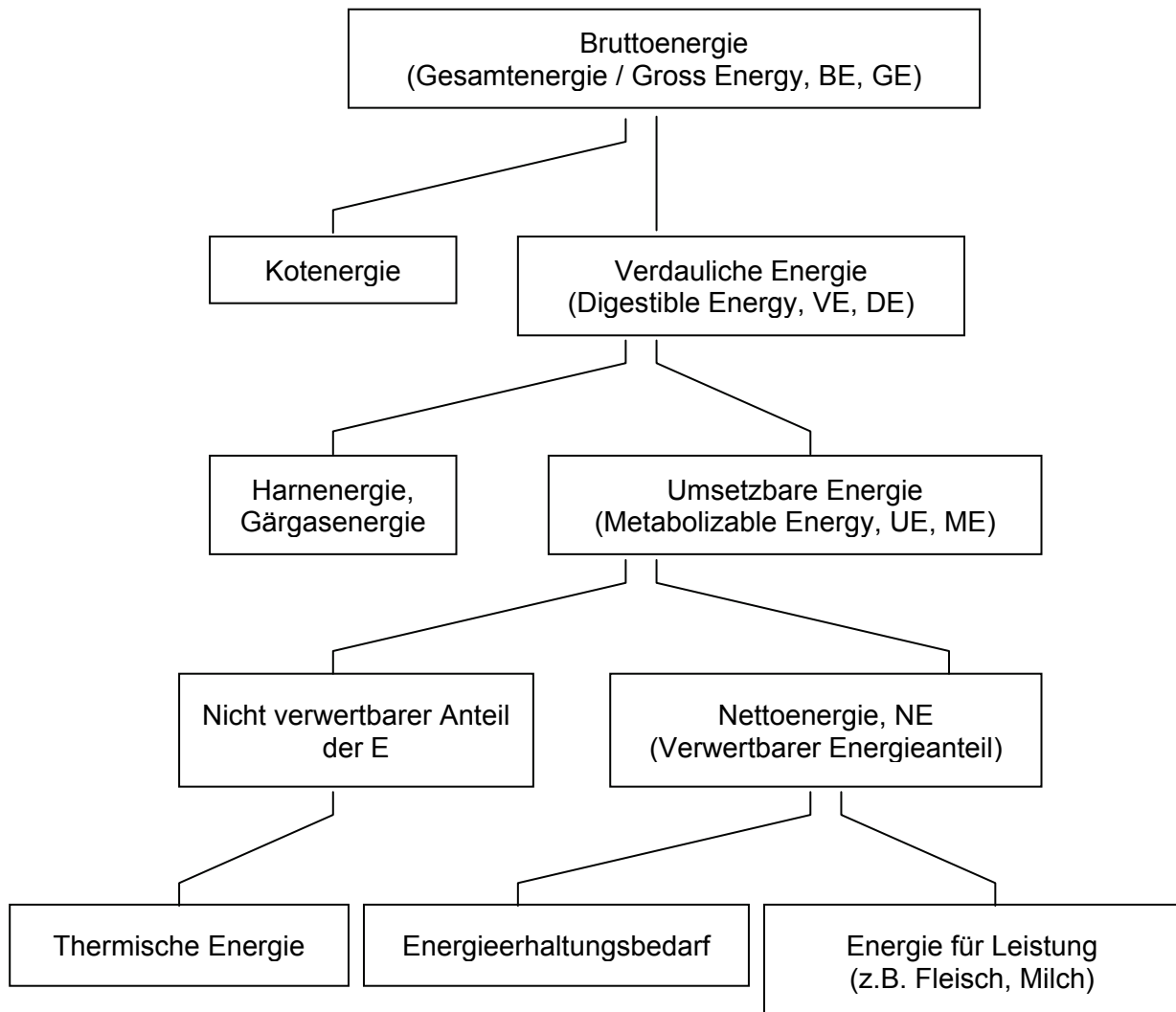
Nicht unerwähnt dürfen auch Giftpflanzen bzw. sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe mit negativen Nebenwirkungen bleiben (ROTH et al., 1994). Verschiedene Pflanzen haben sich in den letzten Jahren stark verbreitet. Von Weidetieren werden sie bei ausreichender Futterbereitstellung meist gemieden, bei Überweidung bzw. geringerem Futteraufwuchs ist jedoch mit ihrem Verzehr zu rechnen.

### 5.1.2.3 Futterbewertung

Aus der Sicht der Tierernährung hängt die Leistung der Rinder vor allem von der Energie- und Nährstoffaufnahme ab. Damit die Futtermittel adequat bewertet werden können und der Einsatz der Futtermittel entsprechend dem Bedarf der Tiere vorgenommen werden kann, wurden verschiedene Futterbewertungssysteme entwickelt.

**Energie:** In Deutschland werden in der Mastrinderfütterung die Futtermittel auf der Basis der umsetzbaren Energie (ME; wachsende Rinder) bewertet (Abb. 5.1.5). Für laktierende

Rinder, wie z. B. Mutterkühe, erfolgt die Energiebewertung auf der Basis der Nettoenergie-Laktation (NEL).



**Abb. 5.1.5: Energetischer Abbau der Futtermittel im Tierkörper**

Anschließend wird nur auf die umsetzbare Energie als Bewertungsmaßstab eingegangen, da über die Nettoenergie-Laktation bereits in der Milchkuhbroschüre (BRADE und FLACHOWSKY, 2005) informiert wurde.

Die Berechnung der Energiegehalte erfolgt anhand folgender Formeln aus den analysierten Rohnährstoffgehalten:

$$(I) \text{ GE (MJ)} = 0,0239 * \text{gXP} + 0,0398 * \text{gXL} + 0,0201 * \text{gXF} + 0,0175 * \text{gXX}$$

$$(II) \text{ ME (MJ)} = 0,0312 * \text{gDXL} + 0,0136 * \text{gDXF} + 0147 * \text{g (DOS-DXL-DXF)} + 0,00234 * \text{gXP}$$

Dabei werden folgende Abkürzungen verwendet:

- GE: Bruttoenergie (Gross energy, Gesamtenergie)
- MJ: Mega Joule (1 Mio. Joule)
- XP: Rohprotein
- XL: Rohfett
- XF: Rohfaser
- XX: N (Stickstoff)-freie Extraktstoffe

ME: Umsetzbare (Metabolisable) Energie  
 D: Verdaulich (Digestible)  
 OS: Organische Masse (Substanz)

Im Tabellenanhang wurden für ausgewählte Futtermittel ME- bzw. NEL-Gehaltsangaben zusammengestellt (10. Kapitel).

**Protein:** Der Proteingehalt der Futtermittel wird in Rohprotein (XP) und in nutzbarem Rohprotein (nXP) angegeben (Tabellenanhang). Der Rohproteingehalt wird bei der Weender Futtermittelanalyse ermittelt ( $N \times 6,25$ ). Das nutzbare Rohprotein stellt die im Dünndarm verfügbare Proteinmenge dar und resultiert aus dem nicht im Pansen abgebauten Futterrohprotein und dem mikrobiell synthetisierten Rohprotein. Werden nicht die tabellierten nXP-Werte verwendet, kann der nXP-Wert je kg T nach der folgenden Formel errechnet werden:

$$nXP = (11,93 - 6,82 [UDP/XP]) * ME + 1,03 * UDP \text{ (GfE 2001)}$$

ME = Umsetzbare Energie in MJ je kg T

UDP = Unabbaubares Futterrohprotein in g/kg T (vgl. 10. Kapitel)

Neben dem Bedarf der Tiere an nXP am Dünndarm darf die ruminale N-Bilanz (RNB) nicht vernachlässigt werden. Sie errechnet sich aus  $(gXP - gnXP)/6,25$ . Ein Mangel an im Pansen verfügbarem Stickstoff kann die Leistungen der Pansenmikroben einschließlich der mikrobiellen Proteinsynthese nachteilig beeinflussen. N-Überschüsse im Pansen können dagegen Tiergesundheit und Umwelt belasten. Bei der Rationsgestaltung ist eine möglichst ausgeglichene RNB anzustreben (GfE, 2001). Angaben zum RNB-Gehalt der Futtermittel sind dem Tabellenanhang (10. Kapitel) zu entnehmen. Für wachsende Rinder ist der XP-Bedarf vor allem bei höherer Lebendmasse niedriger als der N-Bedarf der Mikroorganismen im Pansen, so dass der Proteinbedarf nicht in nXP, sondern in XP angegeben wird (s. GfE, 1995).

#### 5.1.2.4 Grundfuttermittel

In dieser Gruppe werden Futtermittel zusammengefasst, die ganz (z. B. Gräser, Leguminosen, Stroh) oder überwiegend (z. B. Maissilage, Ganzpflanzensilagen) aus vegetativen Pflanzenbestandteilen (Blätter, Stängel) bestehen. Der hohe Zellwandgehalt (Rohfaser, NDF, ADF u. a.) und der relativ geringe Gehalt an Zellinhalt (Zucker, Stärke, Fett, z. T. auch Protein) stellen weitere Kriterien zur Charakterisierung dieser Futtermittelgruppe dar. Grundfuttermittel sind die Basis der Wiederkäuerrationen, da der Zellwandgehalt die Voraussetzung für das Wiederkauen der Tiere ist (Kap. 5.1.1) und Wiederkäuer infolge der mikrobiellen Besiedlung im Pansen in der Lage sind, diese Zellwandfraktionen abzubauen und energetisch zu nutzen (Abschnitt 5.1.1). Deshalb werden sie häufig auch als Strukturfuttermittel bzw. als Grob- und Raufuttermittel bezeichnet. Kennzahlen zum Futterwert sind dem Tabellenanhang zu entnehmen. Einerseits können Grundfuttermittel infolge des Potenzials der mikrobiellen Verdauung im Pansen nur von Wiederkäuern genutzt werden, andererseits sind die dort ablaufenden Prozesse die Ursache für die Methanbildung bei Wiederkäuern (s. FLACHOWSKY und BRADE, 2007).

**Grünfutter:** Grünfutter ist die ursprüngliche und hauptsächliche Futtergrundlage für Rinder und andere Wiederkäuer. Als Grünfuttermittel werden Gräser, Leguminosen, Zwischenfrüchte und andere grüne Futterpflanzen bezeichnet, die direkt auf der Weide verzehrt oder ganz bzw. zerkleinert (z. B. gehäckselt) an Rinder gefüttert werden. Etwa zwei Drittel der landwirtschaftlich genutzten Fläche aller Kontinente sind Dauergrünland, auf dem überwiegend Gräser, aber auch Kräuter und Leguminosen wachsen. Der Ackerfutterbau kann in Hauptfruchtfutterbau sowie Zwischen- und Zweitfruchtfutterbau unterteilt werden.

Im Verlauf der Vegetationsperiode steigt der Zellwandgehalt der meisten Grünfütterpflanzen an, der Zellinhalt nimmt ab, die Verdaulichkeit wird geringer und folglich vermindert sich die Energielieferung für die Rinder, wie Tabelle 5.1.7 beispielhaft für Luzerne und Wiesen gras zeigt.

**Tab. 5.1.7: Einfluss des Vegetationsstadiums auf Inhaltsstoffe, Verdaulichkeit und Energiegehalt von Luzerne und Wiesen aufwuchs**

Grünfütter bzw. Vegetationsstadium	T (g/kg Frischmasse)	Rohprotein Rohfaser		Verdaulichkeit der OS (%)	ME (MJ/kg T)
		(g/kg T)			
<u>Luzerne:</u>					
In Knospe	170	213	257	69	9,4
In Blüte	200	174	296	65	8,8
Ende Blüte	230	172	340	60	8,2
<u>Wiese, grasreich:</u>					
Vor Ährenschieben	170	181	207	80	11,3
Im Ährenschieben	180	159	251	75	10,4
In Blüte	210	154	282	72	10,1
Ende Blüte	230	125	309	69	9,6

Ähnliche Entwicklungen sind für nahezu alle Grünfütter (Ausnahme: Mais) zu beobachten, wobei zwischen den Pflanzenarten Unterschiede in der Geschwindigkeit der Lignineinlagerung bzw. dem Rückgang der Verdaulichkeit und damit dem optimalen Nutzungszeitraum bestehen. Obwohl Leguminosen bei etwa vergleichbarem Vegetationsstadium deutlich mehr Zellwandbestandteile als Gräser aufweisen, vermindert sich die Verdaulichkeit in geringerem Umfang (Tab. 5.1.7). Die Ursachen für diese Entwicklung sind im unterschiedlichen Zellwandaufbau bei Gräsern und Leguminosen zu suchen. Daraus resultieren auch Konsequenzen für abnehmende Verdaulichkeit bei höherer Futteraufnahme bzw. Passagerate. Vor allem Leguminosen (z. B. Saponin, Bitterstoffe) und Kruziferen (z. B. Glucosinolate, Nitrat) können verschiedene unerwünschte Stoffe enthalten, die eine Einsatzbegrenzung in der Rinderfütterung erforderlich machen (JEROCH et al., 1993).

Silagen und Heu: Zur Überbrückung der vegetationsfreien Zeit im Winter werden Grünfütter als Silagen oder Heu konserviert. Bei der Silierung handelt es sich um eine Lagerung des Futters unter Luftabschluss bei niedrigem pH-Wert im Ergebnis einer Milchsäuregärung. Das entscheidende Gärsubstrat für die Milchsäurebildung durch Milchsäurebakterien sind Zucker. Futtermittel mit einem hohen Gehalt an Substanzen, die einer pH-Wertsenkung entgegenwirken (Puffersubstanzen, wie  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  u. a.), weisen ungünstige Siliereigenschaften auf. Futtermittel mit einem hohen Zuckergehalt (Z) und einer geringen Pufferkapazität (PK) bzw. einem weiten Z/PK-Quotienten können demnach einfacher siliert werden (z. B. Mais, Z/PK= 5 bis 8) als zuckerarme und protein- bzw. aschereiche Futtermittel (z. B. Luzerne; Z/PK= 0,5 bis 1).

Der Trockensubstanzgehalt des Siliergutes ist ein weiteres Kriterium für den Erfolg der Silierung. Trockensubstanzreichere Silagen (z. B. 40 bis 50 % T) sind bereits bei einem höheren pH-Wert (4,8 bis 5,0) stabiler als trockensubstanzärmere Silagen (z. B. 20 bis 30 % T, pH: 4,2 bis 4,4). Trockensubstanzreichere Silagen müssen jedoch intensiver verdichtet werden, um die Luft aus dem voluminösen Material zu verdrängen. Durch verschiedene Silierhilfsmittel soll entweder Nährsubstrat für die Milchsäuregärung (z. B. Zucker, Melasse) bereitgestellt werden oder es erfolgt ein Zusatz von Mikroorganismen und/oder Enzymen zur Verbesserung der Fermentationsbedingungen. Bei der Entnahme der Silage aus dem Silostapel und der Zwischenlagerung kommt der aeroben Stabilität der

Silage erstrangige Bedeutung zu. Nachgärungen und Erwärmungen treten umso intensiver auf, je höher der Gehalt an fermentierbaren Substanzen (z. B. Zucker und Stärke in Maissilage) und je höher die Umgebungstemperatur sind und je loser die Silage nach der Entnahme aus dem Silostapel gelagert wird. Daraus resultiert die Empfehlung, dass die Silage möglichst unverzüglich nach der Entnahme aus dem Silo in den Futtertrog gelangen sollte.

Während die Silierung eine Feuchtkonservierung ist, erfolgt bei der Erzeugung von Heu oder Trockengrün ein weitgehender Wasserentzug und dadurch eine Haltbarmachung. Bei der Bodentrocknung sind zur Einlagerung mindestens 80 % T notwendig, die bei der Lagerung in den ersten Wochen infolge von Fermentationsprozessen auf ~ 86 % ansteigt. Diese Feststellung trifft auch auf das an Bedeutung gewonnene Verfahren der Herstellung von Rundballen zu. Bei der Nutzung von Belüftungen werden Leguminosen (> 50 % T) und Gräser (> 60 % T) in angewelkter Form (Halbheu) in Bergeräume gebracht und dann belüftet. Dadurch treten im Vergleich zur Bodentrocknung geringere Nährstoffverluste, vor allem bei den blattreichen Leguminosen auf.

Die Heißlufttrocknung von Grünfutter ist ein sehr energieaufwändiges Verfahren. Bei der sogenannten direkten Trocknung strömen die heißen Verbrennungsgase durch das feuchte Futter und bewirken eine Trocknung. Unter Berücksichtigung der Ereignisse der jüngsten Vergangenheit ist jedoch darauf zu achten, dass durch das Heizmaterial keine unerwünschten Inhaltsstoffe in das Trockengut gelangen (z. B. Fluor) bzw. keine Sekundärprozesse stattfinden (z. B. Dioxinbildung). Prinzipiell ist davon auszugehen, dass infolge der Nährstoffumsetzungen die aus Grünfutter hergestellten Konservate eine geringere Verdaulichkeit und einen niedrigeren Energiegehalt aufweisen als das Ausgangsmaterial (Tab. 5.1.8). Die Verluste sind um so geringer, je zügiger die Konservierung erfolgt und je besser die Futterpflanzen für das entsprechende Konservierungsverfahren geeignet sind.

**Tab. 5.1.8: Einfluss der Konservierungsart auf die Verdaulichkeit der organischen Substanz und den Energiegehalt von Luzerne und Wiesenras**

Grünfutter bzw. Vegetationsstadium	Verdaulichkeit der organischen Substanz (%)			Umsetzbare Energie (MJ ME/kg T)		
	Frisch	Silage	Heu	Frisch	Silage	Heu
<u>Luzerne:</u>						
In Knospe	69	65	64	9,6	9,3	9,2
In Blüte	65	61	61	9,2	8,8	8,7
Ende Blüte	60	57	55	8,5	8,1	7,8
<u>Wiese, grasreich:</u>						
Vor Ährenschieben	80	74	70	11,5	10,8	10,0
Im Ährenschieben	75	73	66	10,9	10,5	9,5
In Blüte	72	71	63	10,4	10,8	9,0
Ende Blüte	68	69	60	10,0	9,8	8,5

Maissilage und Grassilagen, die meist als Anwelksilagen (1 bis 2 Tage Anwelken) bereitet werden, haben in Deutschland in der Rinderfütterung die größte Bedeutung erlangt. Andere Getreideganzpflanzensilagen und Silagen aus Leguminosen, vor allem Luzerne, werden nur lokal genutzt.

Sonstige Grundfuttermittel: Zur Gruppe der sonstigen Grundfuttermittel werden Getreidestroh und andere zellwandreiche Nebenprodukte, wie z. B. Leguminosen- und Rapsstroh, Ernterückstände des Gemüsebaues und Produkte der Forstwirtschaft (Laub, Zweige, Unterwuchs u. a.) zusammengefasst. Bedingt durch den hohen Zellwand- und Ligningehalt weisen diese Futtermittel meist eine niedrige Verdaulichkeit der organischen

Substanz auf (< 50 %) und haben kaum eine Einsatzberechtigung in der Mastrinderfütterung, wenn > 1000 g Lebendmassezunahme pro Tag angestrebt werden (evtl. als Strukturlieferant). Bei extensiven Produktionsverfahren (z. B. Mutterkuhhaltung) und im ökologischen Landbau werden verschiedene Futtermittel aus dieser Gruppe in größeren Mengen genutzt. Durch chemische (NH<sub>3</sub>-Verbindungen, Alkalilaugen) und biologische Behandlungen (z. B. ligninabbauende Pilze) kann die Verdaulichkeit dieser zellwandreichen Futtermittel erhöht werden. Aus Kostengründen und auch infolge möglicher Umweltbelastungen haben derartige Verfahren jedoch gegenwärtig in Mitteleuropa keine Bedeutung.

### **5.1.2.5 Krafftuttermittel**

Zur Gruppe der Krafftuttermittel werden Futtermittel gezählt, die sich durch hohe Anteile an Zellinhaltsstoffen, wie Zucker, Stärke, Protein und auch Fett sowie geringe Zellwandgehalte auszeichnen. Botanisch sind das vor allem generative Pflanzenbestandteile, wie z. B. Körner, Samen und Früchte, sowie Stängel und Wurzelmetamorphosen (z.B. Kartoffeln, Rüben). Nebenprodukte der Verarbeitungsindustrie (z. B. Kleien, Extraktionsschrote, Melasse u. a.) werden ebenfalls dieser Futtermittelgruppe zugeordnet.

Krafftuttermittel zeichnen sich durch eine hohe Verdaulichkeit und damit auch einen hohen Energiegehalt aus. Sie können sowohl durch mikrobiell gebildete Enzyme (im Pansen) als auch durch körpereigene Enzyme (überwiegend im Dünndarm) abgebaut werden. Aus energetischer Sicht ist ein Abbau mit körpereigenen Enzymen meist effektiver als der Abbau im Pansen, da dabei keine Methan- und Wärmeverluste auftreten. Diese Feststellung trifft vor allem auf die Kohlenhydrate zu. Der Kohlenhydratabbau im Pansen stellt andererseits eine wichtige Energiequelle für das mikrobielle Wachstum im Pansen dar und somit auch für die mikrobielle Protein- und Vitaminsynthese (Abb. 5.1.6). Der zügige Kohlenhydratabbau führt zur Bildung großer Mengen flüchtiger Fettsäuren (vor allem Essig-Propion- und Buttersäure, s. Abschnitt 5.1.1) und damit zum pH-Wert-Abfall im Pansen (Abb. 5.1.6). Bei zu hohen Krafftuttermitteln in der Zeiteinheit besteht damit die Gefahr einer Pansenacidose.



**Abb. 5.1.6: Einfluss von Kohlenhydraten aus Zellinhalt und Zellwänden bzw. typischen Futtermitteln auf die Umsetzungen im Pansen**

**Körner und Samen:** Getreide (Gerste, Hafer, Mais, Roggen, Weizen u. a.), Leguminosen (Ackerbohnen, Erbsen, Lupinen, Sojabohnen u. a.) und Kreuzblütler (Raps, Rübsen u. a.) sind die wichtigsten Pflanzengruppen, deren Körner und Samen bzw. deren Nebenprodukte als Futtermittel für Rinder genutzt werden.

Die Samen der drei Pflanzengruppen unterschieden sich vor allem im Stärke-, Protein- bzw. Fettgehalt. Getreidekörner sind deutlich stärkereicher als Samen von Leguminosen bzw. Ölsaaten. Diese Samen zeichnen sich vor allem durch höhere Protein- und Fettgehalte (vor allem Ölsaaten, Tab. 5.1.9 und Tabellenanhang) aus. Im Zellwandgehalt bestehen zwischen den verschiedenen Körnern und Samen ebenfalls erhebliche Unterschiede. Kleine (z. B. Raps) und spelzenreichere Körner und Samen (z. B. Gerste, Hafer, Sonnenblumen) sind deutlich zellwandreicher als größere Körner und Samen (z. B. Mais, Weizen, Tab. 5.1.9 und Tabellenanhang).

Neben Unterschieden im Gehalt an Hauptnährstoffen in den Samen und Körnern bestehen auch deutliche Unterschiede im Gehalt an unerwünschten Inhaltsstoffen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass verschiedene Inhaltsstoffe, wie z. B. Phytat beim Nichtwiederkäuer erhebliche Bedeutung haben, jedoch im Pansen weitgehend abgebaut werden können und somit keine negativen Auswirkungen beim Rind zu erwarten sind.

Die organische Substanz der Körner und Samen wird beim Wiederkäuer überwiegend zwischen 80 und 90 % verdaut (Tab. 5.1.9), für einzelne Nährstoffe variiert die Verdaulichkeit in größerem Ausmaß. Bei der Zellwandverdaulichkeit bestehen keine wesentlichen Unterschiede zwischen Grund- und Kraffuttermitteln.

**Tab.5.1.9: Ausgewählte Inhaltsstoffe, Verdaulichkeit und Energiegehalt von wichtigen Körnern und Samen (DLG, 1997)**

Pflanzenart	Inhaltsstoffe (g/kg T)				Verdaulichkeit der OS (%)	ME (MJ/kg T)
	Rohprotein	Rohfett	NFE	Rohfaser		
<u>Getreide</u>						
Gerste	124	27	57	765	85	12,8
Mais	106	45	26	806	86	13,3
Weizen	138	20	29	794	89	13,4
<u>Leguminosen</u>						
Ackerbohnen	298	16	89	558	91	13,6
Erbsen	251	15	67	633	90	13,5
<u>Sonstige</u>						
Raps	227	444	75	209	74	17,6
Sojabohnen	398	203	62	283	86	15,9

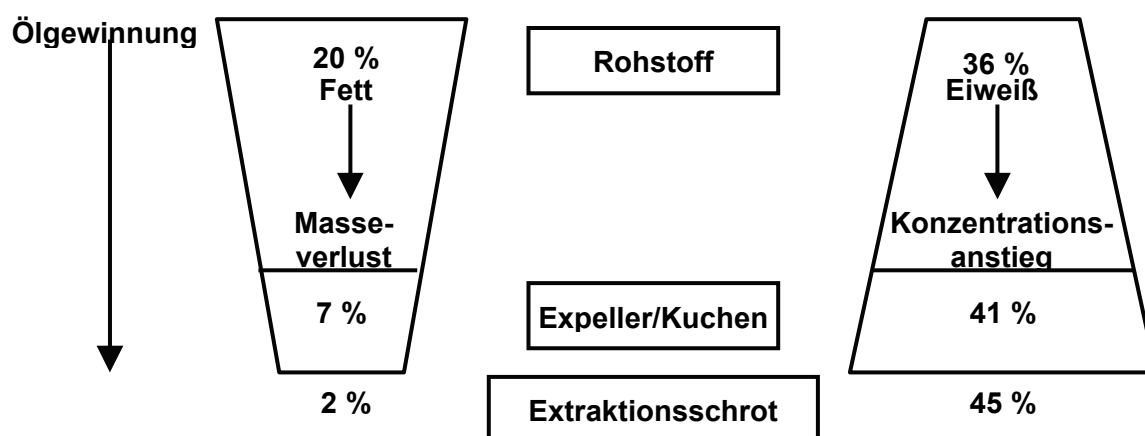
Wurzeln und Knollen: Zucker (Rüben) und Stärke (Kartoffeln, Maniok) sind die wichtigsten Inhaltsstoffe (60 bis 70 % der T) von Wurzeln und Knollen.

Rüben sind deutlich zellwandreicher als Kartoffeln. Hauptkomponenten der Zellwände bei Rüben sind Pektine (Polymere der Galakturonsäure), die im Pansen deutlich langsamer abgebaut werden als Zucker und Stärke, aber zügiger als  $\beta$ -glykosidisch gebundene Zellwandbestandteile (Zellulose, Hemizellulose, Tab. 5.1.5).

Nebenprodukte der Verarbeitungsindustrie und der Bioenergiegewinnung: Inhaltsstoffe und Verdaulichkeit bzw. Futterwert von Nebenprodukten der Verarbeitungsindustrie hängen u. a. ab von der

- Art der Ausgangsprodukte (Getreide, Ölsaaten, Rüben u. a.),
- Art und Menge des/der entzogenen Nährstoffe,
- Art der technologischen Aufbereitung.

Grundsätzlich ist einzuschätzen, dass in Abhängigkeit vom entzogenen Nährstoff die Konzentration der anderen Nährstoffe in dem als Futtermittel verfügbaren Nebenprodukt ansteigt. Beim Fettentzug (Ölentzug) aus Soja- oder Rapssamen steigt beispielsweise der Gehalt an Rohprotein, Rohasche, Zellwandbestandteilen und Stärke in den Nebenprodukten (Kuchen oder Expeller bzw. Extraktionsschrot, Abb. 5.1.7) an.



**Abb. 5.1.7: Entzug von Fett aus der Sojabohne und Anreicherung von Eiweiß in Expellern und im Extraktionsschrot (Angaben in % je T)**

Der Stärkeentzug (z. B. Brennereien, Brauereien, Stärkeindustrie, Bioäthanolgewinnung) führt zu einem deutlichen Anstieg aller anderen Nährstoffe (Tabellenanhang, Vergleich von Schlempe, Treber, Kleber u. a. mit den entsprechenden Getreidearten). Nebenprodukte sind demnach wertvolle Protein- (z. B. Soja- und Rapsextraktionsschrot), aber auch Energiequellen für die Rinderfütterung. Der Gehalt an unerwünschten Inhaltsstoffen hängt ebenfalls vom Ausgangsmaterial ab und kann durchaus höher als in diesem sein, wenn im Rahmen der Behandlung kein Abbau oder keine Inaktivierung erfolgte. Bei feuchten Nebenprodukten (z. B. Biertreber, Schlempe) sind durch entsprechende Lagerung bzw. Konservierung Bedingungen zu schaffen, die einen Verderb verhindern.

Details zur Problematik der Nebenprodukte in der Tierernährung wurden sowohl in Lehrbüchern als auch in verschiedenen Tagungsbänden zusammengestellt, wie z. B. bei FLACHOWSKY und KAMPHUES (1996) sowie KAMPHUES und FLACHOWSKY (2001).

In der Positivliste für Futtermittel (2007), die nach der BSE-Krise erarbeitet wurde, sind die Nebenprodukte aufgeführt, die in der Tierernährung eingesetzt werden dürfen. Dort nicht erwähnte Futtermittel dürfen in Betrieben, die in Qualitätsprogrammen mitarbeiten, nicht verfüttert werden. Die zunehmende Bioenergiegewinnung, vor allem aus Raps und Getreide sowie Zuckerrüben wird zu einem Anstieg verfügbarer proteinreicher Nebenprodukte (Rapskuchen, -expeller, -extraktionsschrot sowie verschiedener Schlempen; DDGS: Dried Distillers Grain Solubles), aber auch weiterer Nebenprodukte (z. B. Glycerin) führen.

Obwohl die Mastrinderfütterung als eine Form der optimalen Nutzung dieser Nebenprodukte angesehen wird, sollten vor allem aus folgenden Gründen Maximalmengen (s. Tab. 5.1.10) nicht überschritten werden:

- Abdeckung des Rohproteinbedarfs, keine Überversorgung,
- Berücksichtigung des Glucosinolatgehaltes in Raps-Nebenprodukten (evtl. Erhöhung der Jodversorgung von 0,25 auf 0,5 mg/kg T, GFE, 1995),
- ausreichende Strukturfutterbereitstellung,
- Nebenprodukte müssen in der Positivliste für Einzelfuttermittel gelistet sein und entsprechende Qualitätsanforderungen einhalten.

**Tab. 5.1.10: Empfehlungen für maximale Einsatzgrenzen verschiedener Futtermittel in der Mastrinderfütterung (nach Hoffmann und Steinhöfel, 2005)**

Futtermittel	je 100 kg Körpermasse und Tag
Ackerbohnen	0,30
Bierhefe	0,05
Erbsen	0,50
Gerste	o.B.
Futterhefe	0,05
Mais	o.B.
Maiskleber	0,25
Melasse	0,15
Rapsexpeller,- kuchen	0,35
Rapsextraktionsschrot	0,35
Rapssamen	0,10
Roggen	0,50
Sojaextraktionsschrot	0,40
Sonnenblumenextraktionsschrot	0,40
Sonnenblumenextraktionsschrot, geschält	0,50
Triticale	o.B.
Trockenschnitzel	o.B.
Weizen	o.B.
Weizenkleie	0,30
Zitrustrester, Pampelmusen, Zitronen	0,10
" Orangen	0,35

Sonstige Kraftfuttermittel einschließlich Futtermittel tierischer Herkunft: Neben der breiten Palette von Nebenprodukten pflanzlicher Herkunft haben auch Futterfette pflanzlicher und tierischer Herkunft sowie verschiedene Futtermittel tierischer Herkunft Bedeutung für die Tierernährung. Von diesen Futtermitteln dürfen gegenwärtig (als Folge der BSE-Krise) Fette tierischer Herkunft sowie Produkte von Landtieren - außer Milch und deren Verarbeitungsprodukte - nicht verfüttert werden. Sowohl bei diesen Substanzen (z. B. Tiermehl, Fleisch- und Knochenmehl) als auch bei Fischmehl handelt es sich um ernährungsphysiologisch hochwertige Futtermittel (hoher Proteingehalt mit vielen essentiellen Aminosäuren, reich an Phosphor u. a. Mineralstoffen) für die Nichtwiederkäuerernährung (RODEHUTSCORD et al., 2002). In Deutschland erfolgte auch vor dem Fütterungsverbot keine Verfütterung von Tiermehl an Rinder.

Kolostralmilch, Vollmilch, Magermilch und andere Nebenprodukte der Milchverarbeitung, die in Milchaustauscherfuttermitteln eingesetzt werden, haben erstrangige Bedeutung für die Kälberernährung (Abschnitt 5.1.3). Zusammensetzung und Futterwert der Nebenprodukte der Milchverarbeitung hängen vom Entzug der verschiedenen Nährstoffe (z. B. Fett, Protein oder Laktose) ab.

Fette sind die energiereichsten Futtermittel (bis 40 MJ Bruttoenergie je kg; 1 kg Futterfett entspricht energetisch 2 bis 2,5 kg Getreide), die für die Tierernährung bereitstehen. Pflanzliche Fette kommen außer in Milchaustauschern vor allem als Energiequelle in Rationen von Hochleistungskühen zum Einsatz. So genannte geschützte Fette (kein wesentlicher Einfluss auf Umsetzungen im Pansen) können durchaus in Mengen zum Einsatz kommen, die den Gesamtfettgehalt der Ration bis auf 8 % der T ansteigen lassen. Bei ungeschützten Fetten sollte der Gesamtfettgehalt der Ration 5 % der T nicht übersteigen.

**Futtermittel aus gentechnisch veränderten Pflanzen (GvP):** Der weltweit ansteigende Anbau von GvP (2006:  $\approx$  102 Mio ha), vor allem von Sojabohnen, Mais, Raps und Baumwolle führte dazu, dass immer mehr Futtermittel oder Nebenprodukte aus solchen Pflanzen auf den Markt und damit auch in Deutschland in der Tierernährung zum Einsatz kommen. Bei den GvP handelt es sich nahezu ausschließlich um GvP der sog. 1. Generation. Bei diesen Pflanzen wurde u.a. die Widerstandsfähigkeit gegen Pflanzenschutzmittel und/oder Insekten erhöht; es erfolgte keine Veränderung wichtiger Inhaltsstoffe. Das Prinzip der substantziellen Äquivalenz, das besagt, dass sich diese Pflanzen in ihren Inhaltsstoffen und ernährungsphysiologisch nicht wesentlich von ihren isogenen Ausgangslinien unterscheiden, gelangt dabei zur Anwendung. Gegenwärtig liegen über 100 ernährungsphysiologische Studien vor, in denen Futtermittel aus GvP mit denen aus isogenen Ausgangslinien bei verschiedenen Tierarten/-kategorien verglichen wurden. Dabei wurden auch Verdauungs- und langfristige Fütterungsversuche mit Mastrindern durchgeführt. AULRICH et al. (2001) konnten beim Vergleich von herkömmlicher Maissilage mit Silage aus gentechnisch verändertem Mais keine signifikanten Differenzen finden (Tab. 5.1.11).

**Tab. 5.1.11: Einfluss von herkömmlichem und transgenem Mais (Bt-Mais) auf die Verdaulichkeit bei Schafen (n=4) sowie die Schlachtleistungen von Friesian- Bullen (n = 20; Anfangsmasse = 175 kg/Tier, Versuchsdauer: 252 Tage)**

Parameter	Herkömmlicher Mais	Bt-Mais
Verdaulichkeit (%)		
Organische Substanz	75,0	74,5
Rohfaser	66,7	68,1
NFE	81,2	80,8
Umsetzbare Energie (MJ/kg T)	10,95	10,91
Trockensubstanzaufnahme (kg/Tier und Tag)	8,00	7,78
Konzentrat (kg/Tag)	1,78	1,80
Maissilage (kg/Tag)	18,8	18,7
Lebendmassezunahme (g/Tier und Tag)	1487	1482
Schlachtausbeute (%)	52,4	52,8

Bisher wurden am Institut für Tierernährung der FAL Braunschweig in 18 Fütterungsversuchen mit Lebensmittel liefernden Tieren Futtermittel aus herkömmlichen und transgenen Pflanzen verglichen. Dabei traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den jeweiligen Fütterungsvarianten auf (FLACHOWSKY et al., 2007). Auch in der Vielzahl weiterer Versuche konnten keine nicht erklärbaren Unterschiede bezüglich Tiergesundheit, Leistung und Produktqualität ermittelt werden (Flachowsky et. al., 2005, Tab. 5.1.12).

**Tab. 5.1.12: Zusammenfassende Bewertung von Fütterungsversuchen mit Lebensmittel liefernden Tieren, die Futtermittel aus GvP erhielten (Auswertung nach FLACHOWSKY et al., 2005)**

Tiergruppe	Anzahl Versuche	Ernährungsphysiologische Bewertung
Wiederkäuer Milchkühe Mastrinder Sonstige	23 14 10	Keine gerichteten (signifikanten) Unterschiede in den untersuchten Inhaltsstoffen (weniger Mykotoxine bei Bt-Pflanzen)
Schweine	21	
Geflügel Legehennen Masthühner	3 28	Keine signifikanten Unterschiede in der Verdaulichkeit, in der Tiergesundheit, der Leistung der Tiere sowie der Zusammensetzung der erzeugten Lebensmittel tierischer Herkunft
Sonstige		
(Fische, Kaninchen u. a.)	8	

Es gibt auch keine Hinweise, dass sich die transgene DNA und die neu ausgeprägten Proteine (Novel Protein) bei der Futteraufbereitung und im Verdauungstrakt der Tiere anders verhalten als herkömmliche DNA bzw. Proteine. GvP der 2. Generation, bei denen bewusst Einfluss auf Inhaltsstoffe genommen wird (z. B. Erhöhung des Gehaltes an erwünschten Stoffen, wie z. B. Aminosäuren, bestimmte Fettsäuren, Vitamine, Mineralstoffe u. a. bzw. Reduzierung des Gehaltes an unerwünschten Stoffen), werden gegenwärtig kaum angebaut und stehen demnach auch noch nicht als Futtermittel zur Verfügung. In der Zukunft ist jedoch ein verstärkter Anbau derartiger Pflanzen zu erwarten, so dass entsprechende Studien zu dieser Thematik erforderlich sind.

### 5.1.2.6 Futterzusatzstoffe

Als Futterzusatzstoffe werden Futterbestandteile bezeichnet, die in kleinen Mengen der Futtermischung bzw. -ration zugesetzt werden, um den Bedarf an den jeweiligen Nährstoffen zu decken bzw. die Ration zu ergänzen (lebensnotwendige oder essentielle Zusatzstoffe) oder um gewisse Sonderwirkungen (z. B. erhöhte Futteraufnahme oder Verdaulichkeit; nicht-essentielle Zusatzstoffe) auszulösen. Für die Rinderfütterung haben die in Tabelle 5.1.13 zusammengestellten Zusatzstoffe gegenwärtig praktische Bedeutung. Neben den aufgeführten Stoffgruppen bzw. Stoffen werden bzw. wurden weitere Substanzen in der Rinderfütterung eingesetzt. Die Verwendung von Antibiotika (z.B. Monensin in der Mastrinderfütterung) war EU-weit bis zum Jahre 2005 gestattet. Der Einsatz von sogenannten Stoffwechsel-Beeinflussern (Metabolic Modifiers), wie Sexualhormone (Anabolic implants),  $\beta$ -Agonisten ( $\beta$ -adrenergic agonists) oder Wachstumshormonen (bST) ist EU-weit nicht erlaubt, wird aber in anderen Ländern in unterschiedlichem Umfang praktiziert (z. B. erhalten in den USA 90% der Mastrinder anabolische Implantate). Auf diese Stoffgruppen wird deshalb nicht eingegangen.

Der Einsatz von Enzymen (z. B. Nicht-Stärke-Polysaccharid-spaltende Enzyme), Kräutern bzw. -extrakten und ätherischen Ölen sowie anderen nicht-essentiellen Zusatzstoffen in der Rinderfütterung wird gegenwärtig kontrovers diskutiert. Für verbindliche Einsatzempfehlungen sind weitere Studien notwendig, die das Umfeld für eine erfolgreiche Nutzung klar definieren.

**Tab. 5.1.13: In der Rinderernährung zum Einsatz kommende Zusatzstoffe**

Essentielle Zusatzstoffe	Nicht-essentielle Zusatzstoffe
Mengenelemente (Ca, P, Mg, Na) <sup>1)</sup>	Probiotika (Milchsäurebakterien, Hefen)
Spurenelemente (Cu, I, Mn, Se, Zn)	Organische Säuren
Vitamine (A, D, E, $\beta$ -Carotin, für Kälber auch B-Vitamine)	Pansenpuffer (z.B. NaHCO <sub>3</sub> , bei krafftutterreicher Milchkuhfütterung)
Aminosäuren (vor allem Milchkühe, pansenstabiles Lysin, Methionin)	Emulgatoren (zur Lösung von Fetten in Milchaustauschern)

<sup>1)</sup> Futtermittelrechtlich werden Mengenelemente gegenwärtig nicht zu den Zusatzstoffen gezählt, sondern als Einzelfuttermittel betrachtet.

Über die Bedeutung und den Einsatz von Futtermittelzusatzstoffen wurde kürzlich zusammenfassend von PAPE (2006) berichtet. Details über die bei den verschiedenen Tierarten/-kategorien zugelassenen Futterzusatzstoffen und deren mögliche Einsatzhöhen sind den futtermittelrechtlichen Vorschriften (GRÜNE BROSCHÜRE, 2007) zu entnehmen.

### 5.1.2.7 Mischfuttermittel

Als Mischfuttermittel werden Futtermittel bezeichnet, die mittels homogener Vermischung von Einzelkomponenten erzeugt werden. Mischfuttermittel können als Alleinfuttermittel (alleinige Futterquelle), wie z. B. für Geflügel und Schweine, oder als Ergänzungsfuttermittel zu entsprechenden Grundfuttermitteln bereitgestellt werden. In der frühen Phase der Kälberaufzucht können Milchaustauscher ein Alleinfuttermittel für die Kälber darstellen.

In der Rinderfütterung kommt es meist darauf an, das jeweilige Grundfutter (Gräser bzw. daraus hergestellte Konservate, Maissilage u. a.) optimal mit Energie und entsprechenden Nährstoffen zu ergänzen (Abschnitt 5.1.3). Mischfuttermittel für Rinder enthalten neben Getreide vor allem Nebenprodukte der Verarbeitungsindustrie (z. B. Extraktionsschrote als Proteinquellen, Nebenprodukte der Getreideverarbeitung, der Zuckerindustrie als Energiequelle u. a.) sowie verschiedene Zusatzstoffe (Mengen- und Spurenelemente, Vitamine, Aminosäuren, nicht essentielle Zusatzstoffe). Die Mischfuttermittel können in Krafftuttermischwerken oder als hofeigene Futtermischungen hergestellt werden. Die Zusammensetzung der Mischfuttermittel hängt neben ernährungsphysiologischen Aspekten vor allem von den Preisen der Rohstoffe ab.

### 5.1.2.8 Mineralfutter

Mineralfuttermittel können neben Mengen- und Spurenelementen auch Vitamine und sonstige Zusatzstoffe enthalten. Sie werden u. a. hofeigenen Mischungen zugesetzt, um deren Gehalt an essentiellen Futterbestandteilen bedarfsgerecht zu gestalten. Mineralfutter dienen in Abhängigkeit von Menge und Zusammensetzung der Grundfuttermittel und des Mischfutters der Ergänzung von Rinderrationen.

### 5.1.2.9 Wasser als Futtermittel

Wasser ist vielleicht das wichtigste und meist auch stark vernachlässigte Futtermittel. Tränkwasser muss für Mastrinder in ausreichenden Mengen und geeigneter Qualität bereitstehen. Als „Faustgröße“ werden etwa 3 l Wasser je kg Futtertrockenstoffaufnahme benötigt. Details über die erforderliche Wassermenge und die Wasseraufnahme sind im Abschnitt 5.1.3.2.3 beschrieben.

Neben der Wassermenge hat die Wasserqualität entscheidende Bedeutung für die Tiergesundheit und den Transfer in Lebensmittel. Im Auftrag des BMELV werden kürzlich von einer Arbeitsgruppe Orientierungswerte für die Trinkwasserqualität zusammengestellt, die weiter entwickelt werden sollten (Tab. 5.1.14).

**Tab. 5.1.14: Empfehlungen für Orientierungswerte zur Bewertung der chemischen und physiko-chemischen Tränkwasserqualität (eingespeistes und im Verteilersystem befindliches Tränkwasser) im Sinne der Futter- und Lebensmittelsicherheit (KAMPHUES et al., 2007)**

Parameter	Einheit	Orientierungswert für die Eignung von Tränkwasser	Bemerkungen (mögliche Störungen)	Grenzwert für Tränkwasser nach Tränkwasser-VO
<b>Physiko-chemische Parameter</b>				
pH-Wert <sup>1)</sup>		> 5, < 9	Korrosionen im Leitungssystem	6,5 - 9,5
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	< 3.000	evtl. Durchfälle bei höheren Werten, Schmackhaftigkeit	2.500
Lösliche Salze, gesamt	(g/l)	< 2,5	Maß für Belastung mit oxidierbaren Stoffen	5
Oxidierbarkeit <sup>2)</sup>	(mg/l)	< 15		
<b>Chemische Parameter</b>				
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	(mg/l)	< 3	Hinweis auf Verunreinigung	0,5
Arsen (As)	(mg/l)	< 0,05	Gesundheitsstörungen, Minderleistung	0,01
Blei (Pb)	(mg/l)	< 0,1	} Vermeidung von Rückständen	0,01
Cadmium (Cd)	(mg/l)	< 0,02		0,005
Calcium (Ca) <sup>3)</sup>	(mg/l)	500	Funktionsstörungen, Kalkablagerungen in Rohren und Ventilen	kein Grenzwert vorhanden
Chlorid (Cl <sup>-</sup> )	(mg/l)	< 250 <sup>a)</sup> < 500 <sup>b)</sup>	Feuchte Exkrememente <sup>a)</sup>	250
Eisen (Fe) <sup>3)</sup>	(mg/l)	< 3	Antagonist zu anderen Spurenelementen, Eisenablagerung in Rohren, Biofilmbildung, Geschmacksbeeinflussung	0,2
Fluor (F)	(mg/l)	< 1,5	Störungen an Zähnen und Knochen	1,5
Kalium (K)	(mg/l)	< 250 <sup>a)</sup> < 500 <sup>b)</sup>	Feuchte Exkrememente <sup>a)</sup>	kein Grenzwert vorhanden
Kupfer (Cu) <sup>4)</sup>	(mg/l)	< 2	Gesamtaufnahme bei Schafen und Kälbern berücksichtigen	2
Mangan (Mn)	(mg/l)	< 4	Ausfällungen im Verteilersystem, Biofilme möglich	0,05
Natrium (Na)	(mg/l)	< 250 <sup>a)</sup> < 500 <sup>b)</sup>	Feuchte Exkrememente <sup>a)</sup>	200
Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	(mg/l)	< 300 <sup>c)</sup> < 200 <sup>d)</sup>	} Risiken für Methämoglobinbildung, Gesamtaufnahme berücksichtigen	50
Nitrit (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	(mg/l)	< 30		0,5
Quecksilber (Hg)	(mg/l)	< 0,003	Allgemeine Störungen	0,001
Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	(mg/l)	< 500	Laxierender Effekt	240
Zink (Zn) <sup>5)</sup>	(mg/l)	< 5	Schleimhautalteration	kein Grenzwert vorhanden

a) Geflügel

b) sonstige Tierarten

c) ruminierende Wiederkäuer

d) Kälber und andere Tierarten

1) pH &lt; 5: sauer und möglicherweise korrosiv wirkend, Zusatz organischer Säuren kann pH-Wert senken.

2) Maß für organische Substanzen im Wasser (&lt; 5 mg/l für eingespeistes Wasser)

3) Zusetzung von Leitungen und Nippeltränken

4) Orientierungswert problematisch für Schafe sowie Kälbern mit Milchaustauscher (Cu-arme MAT verwenden)

5) Orientierungswert nur bei Herstellung von MAT-Tränke

### 5.1.3 Mastrinderfütterung (U. Meyer)

#### 5.1.3.1 Fütterung von Kälbern und Jungrindern

Die Aufzucht der Kälber bzw. Jungrinder hat entscheidenden Einfluss auf die Gesundheit sowie Leistungsfähigkeit von Mastrindern und Mutterkühen. Sie stellt aber eine oft vernachlässigte wichtige Säule der Rindermast und Mutterkuhhaltung dar. Das Ziel der Kälberaufzucht ist die Bereitstellung von Tieren für die spätere Verwendung in der Rindermast sowie für die Nutzung in der Mutterkuhhaltung. Dabei kommen für die erstgenannte Verwendung in Abhängigkeit von der Herkunft der Tiere als Nachkommen aus der Milchvieh- oder aus der Mutterkuhhaltung sowohl eine mutterlose Aufzucht als auch eine Aufzucht durch die Mutter über eine zumeist mindestens 6 Monate andauernde Säugeperiode in Frage.

Die Lebendmasse und das Erstkalbealter von Mutterkühen werden wesentlich durch die Rasse der Tiere bestimmt. Hierbei kann zwischen intensiven Rassen (z. B. Fleckvieh, Charolais, Limousin), mittelintensiven Rassen (z. B. Salers, Hereford, Deutsch Angus) und extensiven Rassen (z. B. Galloway, Highland) unterschieden werden. Tabelle 5.1.15 zeigt eine Aufstellung des Erstkalbealters von verschiedenen für die Mutterkuhhaltung verwendeten Rassen, wobei aus wirtschaftlichen Gründen vielfach eine weitere Reduzierung des Aufzuchtzeitraumes angestrebt wird.

**Tab. 5.1.15: Erstkalbealter für unterschiedliche Mutterkuhrassen (BAHR, 2007)**

Rasse	Erstkalbealter (Monate)
Deutsch Angus	24 bis 27
Fleckvieh	28 bis 34
Charolais	30 bis 34
Limousin	30 bis 36
Salers	35
Hereford	36
Galloway	36 bis 42
Highland	36 bis 48

Ausgehend vom angestrebten Erstkalbealter ergibt sich die erforderliche Aufzuchtintensität der Kälber und Jungrinder. In Tabelle 5.1.16 sind Beispiele für Lebendmassezunahmen bei frühreifen Rassen angegeben.

Demnach gibt es nicht nur eine optimale Aufzuchtintensität, sondern verschiedene Intensitäten in Abhängigkeit vom Erstkalbealter und der verwendeten Rasse. Die Versorgungsempfehlungen für Energie und Nährstoffe stellen die Basis für die jeweilige Aufzuchtintensität dar. Unter Berücksichtigung der betrieblichen Erfahrungen und Möglichkeiten (Intensität der Weidenutzung, Krafftutereinsatz) sollte die Aufzucht fütterung so gestaltet werden, dass mit gesunden und langlebigen Tieren ein optimales Betriebsergebnis erreicht werden kann. Die Aufzuchtperiode der Jungtiere ist demnach kein Selbstzweck, sondern Mittel zur Realisierung des Zieles gesunder, leistungsfähiger und langlebiger Mutterkühe.

**Tab. 5.1.16: Erforderliche Lebendmassezunahmen von Kälbern und Jungrindern in den verschiedenen Lebendmassenabschnitten in Abhängigkeit vom angestrebten Erstkalbealter (DLG, 1999)**

Lebendmasseabschnitt (kg/Tier)	Erstkalbealter (Monate)					
	24		27		30	
	Wochen	erforderliche LMZ	Wochen	erforderliche LMZ	Wochen	erforderliche LMZ
45 bis 85	1 bis 8	700	1 bis 8	700	1 bis 9	625
85 bis 150	9 bis 20	775	9 bis 21	750	10 bis 24	600
150 bis 250	21 bis 37	825	22 bis 41	750	25 bis 48	600
250 bis 350	38 bis 54	850	42 bis 61	750	49 bis 63	600
350 bis 450 <sup>1)</sup>	55 bis 71	800	62 bis 80	750	64 bis 88	600
450 bis 550	72 bis 90	750	81 bis 101	700	89 bis 112	625
550 bis 650 <sup>2)</sup>	91 bis 104	750	102 bis 116	700	113 bis 128	625

<sup>1)</sup> Lebendmasse beim Belegen: 380 bis 450 kg

<sup>2)</sup> Lebendmasse vor dem Kalben: 600 bis 630 kg; Lebendmasse nach der Kalbung: 540 bis 570 kg

Sowohl zu intensive („Mast“) als auch zu extensive („Hungerration“) Aufzucht fütterung können erhebliche Nachteile für die spätere Nutzung der Tiere mit sich bringen. Als Nachteile einer zu intensiven Aufzucht sind anzuführen:

- durch Fetteinlagerung im Körper Einschränkung in der Zuchttauglichkeit,
- Konzeptions- und häufig Geburtsschwierigkeiten,
- verkürzte Nutzungsdauer möglich.

Bei einer extensiven Aufzucht sind u. a. folgende Nachteile zu erwarten:

- späterer Eintritt der Geschlechts- und Zuchtreife,
- höheres Färsenkonzeptions- und Abkalbealter,
- bei zu früher Besamung niedrigere Lebendmasse zum Zeitpunkt der Abkalbung und in der ersten Laktation, evtl. Geburtsschwierigkeiten.

Es ist möglich, Perioden eines geringeren Wachstums als Ergebnis einer unbefriedigenden Futtermittelversorgung teilweise zu kompensieren, eine vollständige Kompensation ist jedoch kaum zu erreichen. Bei zu intensiver Fütterung älterer Jungrinder erfolgt zwar eine Teilkompensation, andererseits ist jedoch auch die Gefahr der Verfettung vorhanden.

### 5.1.3.1.1 Kälberfütterung

Die Kälberperiode umfasst den Abschnitt von der Geburt bis zu einer Lebendmasse von 120 bis 150 kg bzw. etwa das Alter von 4 Monaten (~16 Wochen).

Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung: Vom Ausschuss für Bedarfsnormen (AfBN) der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) wurden in den letzten Jahren unter Berücksichtigung verschiedener experimenteller Daten Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Kälbern und Aufzuchtrindern abgeleitet, die in den Tabellen 5.1.17, 5.1.18 sowie 5.1.23 bzw. 5.1.24 dargestellt werden. Dabei werden sowohl der Energie- als auch der Proteinbedarf in Abhängigkeit von der Lebendmasse und der Lebendmassezunahme angegeben. Die Empfehlungen zum Proteinbedarf werden in Rohprotein und nicht in nutzbarem Rohprotein (nXP) gegeben, weil es sich bei den nXP-Gehalten der Futtermittel um Werte handelt, die aus Versuchen mit Milchkühen, d.h. mit

Tieren mit voll ausgebildetem Vormagensystem, abgeleitet wurden. Diese Werte sind nicht auf Kälber übertragbar (GFE, 1999).

**Tab 5.1.17: Empfehlungen zum Energiebedarf (MJ ME/Tag) von männlichen und weiblichen Kälbern in Abhängigkeit von der Lebendmasse und der Lebendmassezunahme (GFE, 1997a)**

Lebendmasse (kg)	Tägliche Lebendmassezunahme (g)				
	400	500	600	700	800
50	15,6	17,1	18,8	-	-
75	19,3	20,9	22,7	24,4	26,4
100	22,7	24,4	26,1	27,9	29,8
125	25,8	27,5	29,2	31,0	33,0
150	-	30,5	32,3	34,1	36,0

Der Rohproteinbedarf hängt auch vom Aufzuchtverfahren ab. In Abhängigkeit vom Zeitpunkt des Absetzens steigt der Rohproteinbedarf deutlich an (Tab 5.1.18). Dieser Anstieg resultiert sowohl aus dem höheren Nettobedarf der Tiere als auch aus der früheren Umstellung vom Monogastrier zum Wiederkäuer beim Absatzkalb (GFE, 1999).

**Tab 5.1.18: Empfehlungen zur Rohproteinversorgung (g/Tier und Tag) von Kälbern in Abhängigkeit von der Aufzuchtintensität, Lebendmasse und Lebendmassezunahme (GFE, 1999)**

Lebendmasse (kg)	Lebendmassezunahme (g/Tier und Tag)			
	400	600	800	1000
<b>12-wöchige Tränkperiode (Absetzen mit 100 bis 120 kg LM)</b>				
50	160	210	-	-
75	210	275	345	410
100	265	343	410	490
125	320	410	485	565
150	-	490	565	575
<b>Frühentwöhnung (Absetzen mit 60 bis 80 kg LM)</b>				
50	155	210	-	-
75	250	335	420	495
100	300	385	475	560
125	320	405	490	570
150	-	420	495	575

Zum Mengen- und Spurenelement- sowie zum Vitaminbedarf der Kälber sind der Literatur nur wenige Angaben zu entnehmen. In Tabelle 5.1.19 sind Empfehlungen zum Gehalt von Milchaustauscher und Mischfutter nach verschiedenen Literaturquellen (z. B. KIRCHGESSNER, 1997; NRC, 2001) zusammengestellt. Empfehlungen zur Versorgung mit B-Vitaminen (wasserlösliche Vitamine) liegen nicht vor. Die bei Ferkeln und Läufern üblichen Vitamingaben sollten auch bei präruminanten Kälbern verabreicht werden. Mit Aufnahme der Pansenfunktion können Vitamin-B-Zulagen entfallen.

**Tab 5.1.19: Empfohlene Konzentrationen an Mengen- und Spurenelementen sowie Vitaminen im Kälberfutter (je kg T; nach verschiedenen Literaturquellen)**

Nährstoff	Milchaustauscher	Mischfutter
Ca (g)	10	7
P (g)	7	5
Mg (g)	0,7	1
Na (g)	4	1.5
Fe (mg)	100	50
Mn (mg)	40	40
Zn (mg)	40	40
Cu (mg)	5	8
J (mg)	0,5	0,25
Se (mg)	0,3	0,3
Vitamin A (IE)	10000	5000
Vitamin D (IE)	1000	8000
Vitamin E (mg)	50	25

In der Kälberfütterung werden auch verschiedene nichtessentielle Zusatzstoffe wie z. B. Probiotika, Geruchs- und Geschmacksstoffe eingesetzt. Die hierfür von verschiedenen Versuchsanstellern beschriebenen positiven Effekte konnten in anderen Experimenten jedoch nicht immer reproduziert werden, so dass keine eindeutigen Empfehlungen gegeben werden können.

### 5.1.3.1.2 Jungrinderfütterung

Die Jungrinderphase umfasst die Periode vom 5. Lebensmonat bis etwa zwei Monate vor der Abkalbung. In diesem Zeitraum erfolgen ein umfassendes Skelett- und Organwachstum sowie der Beginn der Trächtigkeit der Tiere.

Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung: In den Tabellen 5.1.20 und 5.1.21 werden Empfehlungen zur Energie- und Proteinversorgung weiblicher Jungrinder in Abhängigkeit von der Lebendmasse und der Lebendmassezunahme der Tiere gegeben. Wie der Energie- und Proteinbedarf steigt auch der tägliche Bedarf an Mengenelementen bei höherer Lebendmasse bzw. höherer Lebendmassezunahme an (Tab. 5.1.22), je kg Futterrockensubstanz nimmt er jedoch bei schwereren Tieren ab.

Nur wenige Informationen liegen zum Spurenelementbedarf weiblicher Jungrinder vor. Die GfE (2001) empfiehlt für die Elemente Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Jod, Kobalt bzw. Selen 50; 40 bis 50; 40 bis 50; 10; 0,25; 0,2 bzw. 0,15 mg/ kg T.

Die Datenbasis zur Ableitung von Werten für die Vitaminversorgung der Aufzuchtrinder ist ebenfalls spärlich. Die GfE (2001) empfiehlt je kg T 2500 bis 5000 IE Vitamin A, 15 mg  $\beta$ -Karotin, 500 IE Vitamin D und 15 mg Vitamin E. Für B-Vitamine werden keine Empfehlungen gegeben, da eine ausreichende mikrobielle Bildung im Pansen unterstellt wird. Bei weidenden Jungrindern sind keine Vitaminergänzungen erforderlich, da das Weidefutter ausreichende Mengen an  $\beta$ -Karotin und Vitamin E enthält und die UV-Strahlen des Sonnenlichtes eine Vitamin D-Bildung in der Haut bewirken. Nicht-essentielle Futterzusatzstoffe haben bisher in der Jungrinderfütterung keine Bedeutung erlangt.

**Tab. 5.1.20: Energiebedarf (MJ ME/Tag) von weiblichen Aufzuchtrindern in Abhängigkeit von der Lebendmasse und der Lebendmassezunahme (GfE, 2001)**

Lebendmasse (kg)	Lebendmassezunahme (g/Tag)						
	400	500	600	700	800	900 <sup>1)</sup>	1000 <sup>1)</sup>
200	-	37,4	39,6	42,0	44,3	46,6	-
300	47,5	50,4	53,6	57,2	60,8	64,6	68,6
400	58,9	62,8	67,3	72,2	77,5	83,2	89,3
500	70,1	75,1	81,0	87,5	94,5	102,0	110,0

<sup>1)</sup> Extrapoliert aus den Werten für Lebendmassezunahmen bei 800 g/Tag

**Tab. 5.1.21: Empfehlungen zur Rohproteinversorgung (g/Tier und Tag) von Aufzuchtrindern in Abhängigkeit von Lebendmasse und Lebendmassezunahme (GfE, 1997 b, 2001)**

Lebendmasse (kg)	T-Aufnahme (kg/Tag)	Lebendmassezunahme (g/Tag)						
		400	500	600	700	800	900 <sup>1)</sup>	1000 <sup>1)</sup>
200	4 bis 5	-	450	490	525	560	600	-
300	6 bis 6,5	530	580	610	650	690	735	785
400	7 bis 8	655	780	765	825	880	940	1000
500	8 bis 9,5	775	850	925	1000	1070	1145	1220

<sup>1)</sup> bei hochtragenden Färsen (Kalbinnen) gelten die gleichen Richtzahlen wie bei trockenstehenden Kühen

<sup>1)</sup> Extrapoliert aus den Werten für Lebendmassezunahmen bis 800 g/Tag

**Tab. 5.1.22: Empfehlungen zur Mengenelementversorgung (g/Tier und Tag) von Aufzuchtrindern in Abhängigkeit von der Lebendmasse und Lebendmassezunahme von 500 bzw. 800 g/Tag (GfE, 2001)**

Lebendmasse (kg)	Zuwachs g/Tag	F-Aufnahme kg/Tag	Ca	P	Mg	Na
200	500	4,2	23	11	5	4
	800	4,5	32	15	6	4
300	500	6,0	26	14	7	5
	800	6,2	35	17	8	6
400	500	7,2	29	16	8	6
	800	7,8	38	20	9	7
500	500	8,0	30	17	9	7
	800	9,4	42	22	11	8

## 5.1.3.2 Fütterung von Mastrindern und Mutterkühen

### 5.1.3.2.1 Energie- und Nährstoffbedarf von Mastrindern

**Energiebedarf:** Der Energiebedarf der Mastrinder wird in Deutschland auf Basis der umsetzbaren Energie ermittelt (GFE, 1995). Beim System der umsetzbaren Energie (ME) wird als Maßeinheit die Energiegröße Megajoule (MJ) genutzt (s. Abschnitt 5.1.2.3). Der Energiebedarf von Mastrindern setzt sich aus dem jeweils erforderlichen Energieaufwand für die Erhaltung sowie für den Fett- und Proteinansatz zusammen. Der Gesamtbedarf resultiert aus der Summe des faktoriell abgeleiteten Energieaufwands für die Partialleistungen.

Der Erhaltungsbedarf (bei einer ausgeglichenen Energiebilanz) setzt sich für die Haltung im thermoneutralen Bereich aus dem Grundumsatz zuzüglich dem Energiebedarf für Futteraufnahme, Verdauung und leichte Muskeltätigkeit zusammen. Er wird auf die metabolische Lebendmasse ( $LM^{0,75}$ ) bezogen und für alle wachsenden Mastrinder unabhängig von Rasse, Geschlecht, Leistungsniveau, Mastabschnitt und Haltungssystem durch Verwendung nachfolgender Gleichung ermittelt:

$$\text{Erhaltungsbedarf (MJ ME/Tag)} = 0,530 \text{ LM}^{0,75}$$

Der Erhaltungsbedarf für wachsende Mastrinder mit Lebendmassen im Bereich von 175 bis 625 kg ist in Tabelle 5.1.23 dargestellt. Bei erhöhter Bewegungsaktivität der Tiere, z. B. bei Weidehaltung kann der Erhaltungsbedarf um bis zu 15% ansteigen.

**Tab. 5.1.23: Erhaltungsbedarf für wachsende Mastrinder mit unterschiedlicher Lebendmasse (GFE, 1995)**

Lebendmasse (kg)	Erhaltungsbedarf (MJ ME/Tag)
175	25,5
225	30,8
275	35,8
325	40,6
375	45,2
425	49,6
475	53,9
525	58,1
575	62,2
625	66,3

Der Bedarf an ME für den Ansatz von Energie (Leistungsbedarf) wird durch den Zuwachs an Protein und Fett sowie dem jeweiligen Teilwirkungsgrad für den Ansatz bestimmt. Für den Protein- und Fettansatz wird ein Energiegehalt von 22,6 und 39,0 kJ/g angenommen.

Der Gesamtbedarf an umsetzbarer Energie bei unterschiedlichen Lebendmassen und Lebendmassezunahmen wird von der GFE (1995) für Schwarzbunte Bullen sowie für Bullen, für Färsen und für Ochsen der Rasse Fleckvieh ausgewiesen (Tab. 5.1.24 bis 5.1.27)

**Tab. 5.1.24: Gesamtbedarf an umsetzbarer Energie (MJ ME/Tag) von Schwarzbunten Bullen (GFE, 1995)**

	Lebendmassezunahme (g/Tag)				
LM (kg)	600	800	1000	1200	1400
175	35,1	39,4	44,4		
225	41,4	46,0	51,2	57,1	
275	46,6	52,7	58,6	65,2	72,8
325	53,7	59,6	66,4	74,2	83,1
375	59,8	66,6	74,5	83,8	94,7
425	65,9	73,7	83,1	94,4	
475	72,0	81,1	92,4	106,1	
525	78,2	88,9	102,5		

**Tab. 5.1.25: Gesamtbedarf an umsetzbarer Energie (MJ ME/Tag) von Bullen der Rasse Fleckvieh (GFE, 1995)**

	Lebendmassezunahme (g/Tag)				
LM (kg)	800	1000	1200	1400	1600
175	45,7	50,2	55,5		
225		55,9	61,3	64,5	
275		61,3	66,8	70,3	75,3
325		66,4	72,1	75,9	80,9
375		71,4	77,2	81,2	86,2
425		76,2	82,1	86,3	91,3
475		81,7	87,5	91,4	
525	82,1	88,2	94,2	96,3	
575	87,5	93,9	100,1		
625	93,0	99,6	106,1		

**Tab. 5.1.26: Gesamtbedarf an umsetzbarer Energie (MJ ME/Tag) von Färsen der Rasse Fleckvieh (GFE, 1995)**

LM (kg)	Lebendmassezunahme (g/Tag)			
	600	800	1000	1200
175	38,5	45,6		
225		52,5	59,3	
275		59,0	65,8	70,7
325		65,3	72,1	77,8
375	64,3	71,5	78,2	
425	70,2	77,4	84,1	
475	76,0	83,3	89,9	
525	81,7	89,0	95,6	

**Tab. 5.1.27: Gesamtbedarf an umsetzbarer Energie (MJ ME/Tag) von Ochsen der Rasse Fleckvieh (GFE, 1995)**

LM (kg)	Lebendmassezunahme (g/Tag)			
	600	800	1000	1200
175		41,2	44,9	
225		49,2	53,7	
275		56,9	62,0	67,4
325		64,4	70,2	76,3
375		71,7	78,3	85,0
425	71,7	78,9	86,1	
475	78,1	85,8	93,7	
525	84,3	90,0	97,9	
575	90,4	94,1	102,0	

**Proteinbedarf:** Die bedarfsgerechte Versorgung von Mastrindern mit Futterrohprotein hat sowohl die ausreichende N-Versorgung der Pansenmikroben als auch eine den Bedarf des Tieres deckende Rohproteinanflutung am Duodenum zu berücksichtigen. Der Rohproteinbedarf am Duodenum wird neben dem Erhaltungsbedarf vor allem von der Höhe des Proteinansatzes bestimmt und schon frühzeitig von dem anflutenden Mikrobenprotein abgedeckt. Damit hat im mittleren und höheren Lebendmassebereich der Mastrinder die N-Versorgung der Mikroben vorrangige Bedeutung. Allerdings erhöht sich mit zunehmender Überversorgung der Mastbullen an nutzbarem Rohprotein am Duodenum, wie dies mit steigender Lebendmasse der Tiere der Fall ist, die potenzielle rezirkulierbare Menge an Stickstoff deutlich. Diese Menge ist jedoch bisher nicht exakt quantifizierbar. Deshalb wird der Proteinbedarf für Mastbullen im mittleren und oberen Lebendmassebereich beim derzeitigen Kenntnisstand aus Fütterungsversuchen abgeleitet. Aus entsprechenden

Versuchen mit Schwarzbunten Bullen und Fleckviehbullen ergibt sich auf der Basis maximalen Wachstums, das damit eine effiziente Pansenfermentation einschließt, für einzelne Mastabschnitte eine notwendige Rohproteinzufuhr in Abhängigkeit von der Energieversorgung (Tab. 5.1.28).

**Tab. 5.1.28: Erforderliche Rohproteinzufuhr bei Mastbullen in Abhängigkeit von der Energieversorgung (GfE, 1995)**

Rasse	Lebendmassebereich	erforderliche Rohproteinzufuhr (g/MJ ME)
Schwarzbunte	150 bis 250	13,0
	250 bis 350	12,0
	350 bis 450	11,2
	450 bis 550	10,3
Fleckvieh	200 bis 360	13,5
	360 bis 470	11,5
	470 bis 620	10,7

Die in den Tabellen 5.1.29 und 5.1.30 aufgeführten Empfehlungen zur Rohproteinversorgung von Schwarzbunten Bullen und von Bullen der Rasse Fleckvieh gelten, solange eine mittlere ruminale Abbaubarkeit des Futterproteins von 75% nicht unterschritten wird. Empfehlungen für Färsen und Ochsen wurden aufgrund einer fehlenden experimentellen Datengrundlage bisher nicht abgeleitet.

**Tab. 5.1.29: Empfehlungen zur Rohproteinversorgung (g/Tag) von Schwarzbunten Bullen (GfE, 1995)**

LM (kg)	Lebendmassezunahme (g/Tag)				
	600	800	1000	1200	1400
175	470	520	590		
225	530	590	650	730	
275	580	650	720	800	900
325	640	710	790	880	980
375	680	760	850	960	1080
425	730	810	920	1040	
475	770	860	980	1130	
525	790	900	1040		

**Tab. 5.1.30: Empfehlungen zur Rohproteinversorgung (g/Tag) von Bullen der Rasse Fleckvieh (GfE, 1995)**

LM (kg)	Lebendmassezunahme (g/Tag)				
	800	1000	1200	1400	1600
175	660	730	800		
225		780	850	900	
275		820	900	940	1010
325		860	930	980	1050
375		890	960	1010	1080
425		910	980	1030	1110
475		930	1000	1050	
525	900	960	1030	1080	
575	940	990	1070		
625	990	1020	1110		

Bedarf an Mengenelementen: Zu den Mengenelementen werden die Elemente Calcium (Ca), Phosphor (P), Magnesium (Mg), Natrium (Na), Kalium (K), Chlor (Cl) und Schwefel (S) gezählt. Der Nettobedarf für wachsende Tiere wird faktoriell abgeleitet:

Nettobedarf (g/Tag)

= Ansatz beim Wachstum (g/Tag)

+ Unvermeidlicher Verlust (g/Tag)

Bei der Ableitung von Versorgungsempfehlungen ist für jedes einzelne Element die Verwertbarkeit zur Deckung des Nettobedarfs zu berücksichtigen. Für die Ableitung der Empfehlungen wurde eine Verwertung von 50% für Calcium, 70% für Phosphor, 20% für Magnesium und 80% für Natrium angenommen. Die Empfehlungen für wachsende Rinder sind in Tabelle 5.1.31 wiedergegeben, wobei wegen der begrenzt verfügbaren Daten keine Differenzierung zwischen den Rassen vorgenommen wurde (GfE 1995).

**Tab. 5.1.31: Empfehlungen zur Mengenelementversorgung (g/Tag) wachsender Rinder (GFE, 1995)**

LM (kg)	Lebendmassezunahme (g/Tag)							
	800	1000	1200	1400	800	1000	1200	1400
	Calcium				Phosphor			
175	31	35			14	16		
225	33	36	39		16	17	19	
275	34	39	42	46	16	18	20	22
325	35	39	42	47	17	19	21	23
375	37	41	43	48	18	20	22	24
425	38	41	44	50	19	21	22	24
475	39	43	45	50	20	22	23	25
525	39	43	46	51	20	22	24	26
575	40	44	47		21	23	24	
625	41	45	48		21	23	25	
	Magnesium				Natrium			
175	6	6			4	4		
225	6	7	7		5	5	5	
275	7	8	8	8	5	5	6	6
325	8	8	9	9	5	6	6	7
375	8	9	9	10	6	6	7	7
425	9	9	10	10	6	7	7	7
475	9	10	10	11	7	7	7	8
525	10	10	11	11	7	7	8	8
575	10	11	11		7	7	8	
625	11	11	11		7	8	8	

**Spurenelemente und Vitamine:** Von den für die Fütterung von Mastrindern bedeutsamen essentiellen Spurenelementen Eisen, Jod, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän Selen und Zink wird in der Fütterungspraxis lediglich bei Eisen und Molybdän kein Auftreten von Versorgungslücken erwartet GFE (1995). Die Versorgungsempfehlungen für die verschiedenen Spurenelemente sind in Tabelle 5.1.32 aufgeführt. Es ist davon auszugehen, dass diese Empfehlungen auch im Bereich hoher Lebendmassezunahmen eine optimale Versorgung der Tiere gewährleisten.

Bei der Ergänzung von Rationen mit Spurenelementen ist darauf zu achten, dass ein zu hoher Anteil einzelner Spurenelemente aufgrund von Wechselwirkungen die Verwertung bzw. die Absorbierbarkeit anderer Spurenelemente vermindern und somit einen sekundären Mangel hervorrufen kann.

**Tab. 5.1.32: Empfehlungen zur Versorgung von Mastrindern ab 175 kg Lebendmasse mit Spurenelementen (GfE, 1995)**

	mg/kg Futter T
Eisen	50
Kobalt	0,1
Kupfer	8-10
Jod	0,25 <sup>1)</sup>
Mangan	40
Molybdän	0,1
Selen	0,1-0,15
Zink	40

<sup>1)</sup> Bei Kältestress und stark mit goitrogenen Stoffen (z. B. Glucosinolate) belasteten Rationen wird eine Erhöhung der Jodzufuhr empfohlen

Die Empfehlungen für die Versorgung mit Vitaminen übersteigen den für den optimalen Ablauf der verschiedenen Stoffwechselfvorgänge erforderlichen Bedarf und sollen eine unter praktischen Bedingungen ausreichende Zufuhr von Vitaminen sicherstellen. Da im Unterschied zu Nichtwiederkäuern die Bildung der B-Vitamine und des Vitamin K durch Mikroorganismen in Pansen von Mastrindern im ausreichenden Umfang möglich ist, beschränken sich die Empfehlungen für eine Ergänzung auf die Vitamine A, D und E. Die auf die Lebendmasse der Mastrinder bezogenen Empfehlungen zur Vitaminversorgung sind in Tabelle 5.1.33 dargestellt.

**Tab. 5.1.33: Empfehlungen zur Versorgung von Mastrindern mit Vitaminen (GfE, 1995)**

Vitamin	je 100 kg Lebendmasse
A (IE)	7500-10000
D (IE)	500
E (IE)	50

### 5.1.3.2.2 Energie- und Nährstoffbedarf von Mutterkühen

**Energiebedarf:** Der Energiebedarf der Mutterkühe wird in Deutschland auf Basis der Nettoenergie ermittelt. Beim System der Nettoenergie-Laktation (NEL) wird als Maßeinheit die Energiegröße Megajoule (MJ) genutzt. Der Energiebedarf von Milchkühen setzt sich aus den jeweils erforderlichen Anteilen für die Erhaltung, die Milchbildung und ggf. auch für die Lebendmassezunahme und den Energieansatz für das Wachstum von Fetus und weiterem Gewebe im Verlauf der Trächtigkeit zusammen.

Der Erhaltungsbedarf (bei einer ausgeglichenen Energiebilanz) setzt sich für die Haltung im thermoneutralen Bereich aus dem Grundumsatz zuzüglich dem Energiebedarf für Futteraufnahme, Verdauung und leichte Muskeltätigkeit zusammen. Er wird auf die metabolische Lebendmasse ( $LM^{0,75}$ ) bezogen und durch Verwendung nachfolgender Gleichung ermittelt:

$$\text{Erhaltungsbedarf (MJ NEL/Tag)} = 0,293 LM^{0,75}$$

Der Erhaltungsbedarf für Mutterkühe mit Lebendmassen im Bereich von 600 bis 800 kg ist in Tabelle 5.1.34 dargestellt.

**Tab. 5.1.34: Erhaltungsbedarf für Tiere mit unterschiedlicher Lebendmasse (GfE, 2001)**

Lebendmasse (kg)	Erhaltungsbedarf (MJ NEL/Tag)
600	35,5
650	37,7
700	39,9
750	42,0
800	44,1
850	46,1

Der Energiebedarf für die Milchbildung wird vom Energiegehalt der Milch bestimmt, wobei 1 kg einer „Standardmilch“ mit 4,0 % Fett 3,15 MJ Energie enthält. Der Energiegehalt von Milch mit abweichenden Fettgehalten kann vereinfacht aus dem Fettgehalt nach folgender Gleichung berechnet werden (GfE, 2001):

$$\text{Energiegehalt Milch (MJ/kg)} = 0,41 \times \% \text{ Fett} + 1,51$$

Der Ausschuss für Bedarfsnormen (GfE, 2001) hat bei der Festlegung der Empfehlung zur Energieversorgung für die Milchbildung die generelle Anwendung eines Zuschlages von 0,1 MJ NEL/kg erzeugte Milch vorgesehen und somit auch bei steigender Milchleistung durch reduzierte Verdaulichkeit auftretende Energieverluste berücksichtigt. Hieraus ergeben sich die in Tabelle 5.1.35 dargestellten Versorgungsempfehlungen für Milch mit einem Proteingehalt von 3,4 % und unterschiedlichem Fettgehalt.

**Tab. 5.1.35: NEL-Bedarf für Milchbildung bei einem Proteingehalt von 3,4 % (GfE, 2001)**

Fettgehalt der Milch (%)	Energiegehalt der Milch (MJ/kg)	Bedarf an NEL (MJ/kg Milch)
3,0	2,8	2,9
3,5	3,0	3,1
4,0	3,2	3,3
4,5	3,4	3,5
5,0	3,6	3,6

Im Verlauf der Trächtigkeit steigt der Energieansatz in den Konzeptionsprodukten exponentiell an. Für die Zeit des Trockenstehens in den letzten 6 Wochen vor der Kalbung wird deshalb über den Erhaltungsbedarf hinaus ein zusätzlicher Energiebedarf für die Entwicklung von Fetus und Milchdrüse ausgewiesen (Tab. 5.1.36). Dieser zusätzliche Bedarf bzw. die daraus resultierenden Konsequenzen für die praktische Fütterung sind auch für die hochtragende Färse zutreffend. Weiterhin wird empfohlen, Kühen, die im Verlauf der Säugeperiode Körperreserven abgebaut haben, für jedes kg angestrebte Lebendmassezunahme mit zusätzlich 25,5 MJ NEL je Tag zu versorgen.

**Tab. 5.1.36: Zusätzlicher Bedarf an Energie für die letzten Wochen vor dem Kalben (GFE, 2001)**

Wochen vor dem Kalben	Zusätzlicher Bedarf (MJ NEL/Tag)
6. bis 4. Woche vor dem Kalben	13
3. Woche bis zum Kalben	18

Proteinbedarf: Da beim Wiederkäuer das scheinbar verdaute Rohprotein aufgrund der vielschichtigen Stickstoff-Umsetzungen im Verdauungstrakt keine verlässlichen Angaben über das im Dünndarm nutzbare Protein gestattet, hat der Ausschuss für Bedarfsnormen schon 1986 für Milchkühe eine Alternative erarbeitet. Das dem gegenwärtigen Kenntnisstand angepasste Modell (GFE 2001) wird nachfolgend vereinfacht beschrieben.

Der Nettoproteinbedarf der Milchkuh, bestehend aus endogenen Verlusten (Harn, Kot), Oberflächenverlusten (Haut und Haare), dem mit der Milch ausgeschiedenen Protein sowie bei wachsenden Tieren dem Proteinansatz, ist Grundlage für die Ermittlung der am Anfang des Dünndarms notwendigen Menge an nutzbarem Rohprotein (nXP).

Der endogene Harn-Stickstoff ( $UN_e$ ), der endogene Kot-Stickstoff ( $FN_e$ ) und die Oberflächenverluste an Stickstoff (VN) werden anhand folgender Gleichungen berechnet:

$$UN_e \text{ (g/Tag)} = 5,9206 \log LM - 6,76$$

$$FN_e \text{ (g/Tag)} = 2,19 \text{ kg Trockenmasseaufnahme}$$

$$VN \text{ (g/Tag)} = 0,018 LM^{0,75}$$

Der Abbau von Körperprotein bleibt bei der Ermittlung des Bedarfs unberücksichtigt.

Zur Kalkulation des Bedarfs an nutzbarem Rohprotein am Duodenum müssen die Verwertung des absorbierten nutzbaren Aminosäurenstickstoffs, die Absorbierbarkeit des nutzbaren Aminosäurenstickstoffs und der Anteil des Aminosäurenstickstoffs am Nicht-Ammoniak-Stickstoff am Duodenum bekannt sein. Von der GFE (2001) wurden eine Verwertung des absorbierten nutzbaren Aminosäurenstickstoffs von 75 %, eine Absorbierbarkeit des nutzbaren Aminosäurenstickstoffs von 85 % und ein Anteil des Aminosäurenstickstoffs am Nicht-Ammoniak-Stickstoff am Duodenum von 73 % angenommen. Somit errechnet sich der Bedarf an nutzbarem Rohprotein am Duodenum durch Multiplikation der entsprechenden Faktoren:

Bedarf an nutzbarem Rohprotein am Duodenum

$$= \text{Nettobedarf} \times 1,33 \times 1,18 \times 1,37$$

$$= \text{Nettobedarf} \times 2,1$$

Für Kühe mit einer Lebendmasse von 650 kg sind in Tabelle 5.1.37 für unterschiedliche Milchleistungen (mit 3,4 % Protein) Bedarfswerte an nutzbarem Rohprotein angegeben. Anzumerken ist, dass der Erhaltungsbedarf bei Tieren gleicher Lebendmasse in Abhängigkeit von der Trockenmasseaufnahme variiert.

**Tab. 5.1.37: Bedarf an nutzbarem Rohprotein am Duodenum in Abhängigkeit von der Leistung bei Kühen mit 650 kg LM (GfE, 2001)**

Milchleistung (kg/Tag)	Aufnahme		Nettobedarf (g Aminosäuren-N x 6,25/Tag)			Bedarf (g/Tag) nutzbares Rohprotein
	IT (kg/Tag)	ME (MJ/Tag)	Erhaltung	Leistung	Gesamt	
15	14,5	145	275	510	785	1650
20	16,0	170	295	680	975	2050

Die Summe der mit dem Futter aufgenommenen Mengen an nutzbarem Rohprotein ist dem kalkulierten Bedarf gegenüberzustellen. Die Menge an nutzbarem Rohprotein am Duodenum setzt sich aus dem im Pansen gebildeten Mikrobenprotein und dem im Pansen nicht abgebauten Futterrohprotein (UDP) zusammen. Die Menge an nutzbarem Rohprotein wird mit Hilfe von Regressionsgleichungen ermittelt und für jedes Futtermittel ausgewiesen (vgl. Tabellenanhang).

Abgesehen vom Bedarf der Kühe an nutzbarem Rohprotein ist die ruminale Stickstoff-Bilanz (RNB) zu beachten. Anzustreben ist durch die Auswahl geeigneter Futtermittel mit positiver und negativer RNB (vgl. Tabellenanhang) für die Gesamtration eine möglichst ausgeglichene Bilanz, da ein die potenziell rezirkulierbare Menge von 0,3 g N/MJ ME übersteigender Mangel an im Pansen verfügbarem Stickstoff zu einer Beeinträchtigung der Pansenfermentation verbunden mit verminderter mikrobieller Proteinsynthese führt. Eine zu hohe RNB verursacht dagegen Belastungen für das Tier und die Umwelt.

Zur Abschätzung der Proteinversorgung in der Fütterungspraxis wird von der GfE (2001) der Zusammenhang zwischen dem Gesamtbedarf an nutzbarem Rohprotein und der Leistungshöhe für eine Kuh von 650 kg Lebendmasse und einem Proteingehalt von 34 g/kg Milch mittels folgender Regressionsgleichung ausgedrückt:

$$\text{Bedarf an nXP (g/Tag)} = 431 + 81 \times \text{kg Milch}$$

Das den „Erhaltungsbedarf“ repräsentierende Absolutglied ändert sich bei abweichender Lebendmasse um 20 g nXP/50 kg Lebendmasse. Für den „Leistungsbedarf“ gelten bei Abweichungen des Milchproteingehalts von 1 g/kg Milch Zu- oder Abschläge von 2,1 g nXP/kg Milch. Bei Berücksichtigung eines Zuschlages von 5 % ergeben sich die in Tabelle 5.1.38 dargestellten Richtzahlen für die Versorgung von Milchkühen mit nutzbarem Rohprotein.

**Tab. 5.1.38: Richtzahlen für die Versorgung von Kühen mit nutzbarem Rohprotein (GfE, 2001)**

	<b>nutzbares Rohprotein</b>
<b>Erhaltung</b>	
600 kg LM	430 g/Tag
650 kg LM	450 g/Tag
700 kg LM	470 g/Tag
750 kg LM	490 g/Tag
800 kg LM	510 g/Tag
850 kg LM	530 g/Tag
<b>Trockenstehperiode</b>	
6.-4. Woche vor dem Kalben (680 kg LM*)	1.135 g/Tag**
3. Woche bis zum Kalben (710 kg LM*)	1.230 g/Tag**
<b>Milchproduktion</b>	
Milch mit 3,2 % Protein	81 g/kg Milch
Milch mit 3,4 % Protein	85 g/kg Milch
Milch mit 3,6 % Protein	89 g/kg Milch

\* Abweichungen der LM sind zu berücksichtigen

\*\* bei RNB  $\geq$  0

**Bedarf an Mengenelementen:** Zu den Mengenelementen werden die Elemente Calcium (Ca), Phosphor (P), Magnesium (Mg), Natrium (Na), Kalium (K), Chlor (Cl) und Schwefel (S) gezählt. Anhand der Höhe der durch Ausscheidungen verursachten unvermeidlichen Verluste und der zu berücksichtigenden Leistungen kann der Nettobedarf an Mengenelementen abgeleitet werden:

Nettobedarf (g/Tag)

= Unvermeidlicher Verlust (g/Tag)

+ Sekretion mit der Milch (g/Tag)

+ Intrauterine Einlagerung (g/Tag)

+ Ansatz beim Wachstum (g/Tag)

Zur Ableitung von Versorgungsempfehlungen ist die Verwertbarkeit der einzelnen Mineralstoffe zur Deckung des Nettobedarfs zu berücksichtigen. Die entsprechenden Empfehlungen sind in Tabelle 5.1.39 wiedergegeben, wobei davon ausgegangen wurde, dass keine Unterschiede in der Verwertbarkeit verschiedener Herkünfte eines Mineralstoffes gegeben sind.

**Tab. 5.1.39: Empfehlungen für die Versorgung von Kühen mit Mengenelementen (GfE, 2001)**

<b>Milch (kg/Tag)</b>	<b>IT (kg/Tag)</b>	<b>Ca (g/Tag)</b>	<b>P (g/Tag)</b>	<b>Mg (g/Tag)</b>	<b>Na (g/Tag)</b>
10	12,5	50	32	18	14
15	14,5	66	42	22	18
20	16,0	82	51	25	21
Trockenstehend	10,5	34	22	16	10

Bei der Schwefelversorgung ist zu berücksichtigen, dass die Mikroorganismen im Pansen der Wiederkäuer einen zusätzlichen Schwefelbedarf haben. Das Verhältnis zwischen Stickstoff und Schwefel in der Ration sollte zwischen 10 bis 15:1 liegen. Zu hohe Schwefelüberschüsse können negative Einflüsse auf die Fermentationsvorgänge im Vormagen ausüben.

Spurenelemente und Vitamine: Von den essentiellen Spurenelementen hebt die GfE (2001) Eisen, Kobalt, Kupfer, Mangan, Zink, Jod und Selen als für die Fütterungspraxis speziell zu berücksichtigen hervor. Die im Wesentlichen aus Dosis-Wirkungsstudien abgeleiteten Versorgungsempfehlungen für diese Elemente sind in Tabelle 5.1.40 dargestellt. Diese Richtwerte enthalten im Vergleich zu dem aus Experimenten ermittelten Werten für den Bedarf ausreichende Sicherheitszuschläge, die auch bei hohen Leistungen oder eingeschränkter Futteraufnahme eine ausreichende Versorgung sicherstellen. Bei der Ergänzung von Rationen mit Spurenelementen ist zu beachten, dass eine Überversorgung mit einzelnen Spurenelementen aufgrund von Wechselwirkungen die Verwertung bzw. die Absorbierbarkeit anderer Spurenelemente vermindern und somit einen sekundären Mangel hervorrufen kann.

**Tab. 5.1.40: Empfehlungen zur Versorgung von Kühen mit Spurenelementen (GfE, 2001)**

	<b>Kühe, trockenstehend und laktierend (mg/kg Futter T)</b>
Eisen	50
Kobalt	0,20
Kupfer	10
Mangan	50
Zink	50
Jod	0,50
Selen	0,20

Für Gesundheit, Leistungsfähigkeit und auch Produktqualität haben sowohl fettlösliche (Vitamine A, D, E, K) als auch wasserlösliche Vitamine (Vitamine B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, Biotin, Cholin, Folsäure, Niacin, Pantothensäure) wesentliche Bedeutung. Sowohl fett- als auch wasserlösliche Vitamine kommen im unterschiedlichen Maße in Futtermitteln für Kühe vor (s. DLG-Futtermitteldatenbank, 2007).

Im Gegensatz zu Nichtwiederkäuern ist die Bildung der wasserlöslichen Vitamine und des Vitamin K durch Mikroorganismen im Pansen möglich. Das Ausmaß der Vitaminsynthese im Pansen ist u. a. von der Rationsgestaltung abhängig. Bei einer wiederkäuergerechten Fütterung wird davon ausgegangen, dass diese Vitamine nicht über das Futter zugeführt werden müssen.

Die Ableitung des Bedarfs bzw. von Versorgungsempfehlungen ist mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Gründe hierfür sind die bisher noch unzureichende Datengrundlage, die unterschiedlichen Umwandlungsraten von Vitamin-Vorstufen in die jeweiligen Vitamine, die Quantifizierung der körpereigenen Synthese bzw. des Abbaus von Vitaminen im Pansen sowie die mögliche Beeinflussung des Bedarfs an Vitaminen durch Rationsbestandteile, wie z. B. ungesättigte Fettsäuren. Bei der Versorgung mit Vitaminen kann nach folgenden Kriterien differenziert werden (KIRCHGESSNER, 2004):

Minimalbedarf: Vermeidung von vitaminspezifischen Mangelsymptomen

Optimalbedarf: ausreichende Versorgung für volle Leistungsfähigkeit

Empfehlung zur Versorgung: Optimalbedarf mit Sicherheitszuschlag.

In Tabelle 5.1.41 sind Empfehlungen für die Vitaminversorgung von Milchkühen wiedergegeben. Dabei wird davon ausgegangen, dass die in den Futtermitteln enthaltenen sowie die zugesetzten Vitamine gleich wirksam sind. Nicht in den Empfehlungen berücksichtigt ist das Erzielen von möglichen „Sondereffekten“ durch eine über den Optimalbedarf mit Sicherheitszuschlag hinausgehende Versorgung mit verschiedenen Vitaminen. Diese Effekte sind nicht immer physiologisch erklärbar oder experimentell reproduzierbar.

**Tab. 5.1.41: Empfehlungen zur Versorgung von Kühen mit Vitaminen (GfE, 2001)**

Vitamine	Laktierende und trockenstehende Kühe		
		je Tier und Tag	je kg Futter-T
A (IE)	Erhaltung	40 000	~ 5 000
	20 kg Milch/Tag	70 000	~ 5 000
	Trockenstehende Kuh	70 000	~ 10 000
$\beta$ -Carotin (mg) <sup>1)</sup>	Laktierende und trockenstehende Kuh	300	15
D (IE)		10 000	~ 500
E (mg)	Laktierende Kuh	500	25
	Trockenstehende Kuh	500	50
B-Vitamine	Versorgungsempfehlungen können gegenwärtig nicht abgeleitet werden.		

<sup>1)</sup> Vitamin A-unabhängiger Effekt

### 5.1.3.2.3 Wasseraufnahme

Wasser ist die Grundlage aller Lebensvorgänge. Es ist der bedeutendste Bestandteil aller Zellen, fungiert als Lösungsmittel, Transportmedium und ermöglicht die Regulation des Zellinnendruckes. Über die Verdunstung von Wasser können die Tiere überschüssige Wärme abgeben. Die unzureichende Versorgung mit Wasser führt neben einer Beeinträchtigung der Gesundheit auch zu reduzierten Futteraufnahmen und verminderten Milchleistungen. Bereits der Verlust von etwa 10 % der Körperwassers kann zum Tod führen. Eine ausreichende Versorgung von Rindern mit qualitativ hochwertigem Wasser ist somit eine wesentliche Voraussetzung für deren Gesundheit und Leistungsfähigkeit.

Die Bereitstellung von Wasser für den tierischen Organismus erfolgt im Wesentlichen über das Tränkwasser und über den Wasseranteil in Futtermitteln. Geringe Wassermengen werden zusätzlich bei metabolischen Prozessen im Körper, beispielsweise der Oxidation von Fett, freigesetzt. Eine Auswertung von Versuchen mit schwarzbunten Milchkühen unter mitteleuropäischen Verhältnissen ergab die Umgebungstemperatur und die Milchleistung als wichtigste Einflussgrößen auf die Höhe der Aufnahme von Tränkwasser. Die maßgeblichen Einflussfaktoren für die Wasseraufnahme schwarzbunter Mastbullen sind ebenfalls die Umgebungstemperatur und die Lebendmasse sowie die Trockenstoffaufnahme und der Raufutteranteil in der Ration (Tab. 5.1.42).

**Tab. 5.1.42: Wasseraufnahme**

<b>Wesentliche Einflussfaktoren auf die Wasseraufnahme von Kühen (Schätzgleichung nach MEYER et al., 2004)</b>	
Wasseraufnahme (kg/Tag) =	- 26,12
	+ 1,516 x mittlere Umgebungstemperatur (°C)
	+ 1,299 x Milchleistung (kg/Tag)
	+ 0,058 x Lebendmasse (kg)
	+ 0,406 x Natrium-Aufnahme (g/Tag)
<b>Wesentliche Einflussfaktoren auf die Wasseraufnahme von Mastbullen (Schätzgleichung nach MEYER et al., 2006)</b>	
Wasseraufnahme (kg/Tag) =	- 3,85
	+ 0,507 x mittlere Umgebungstemperatur (°C)
	+ 1,494 x Trockensubstanzaufnahme (kg/Tag)
	- 0,141 x Raufutteranteil in der Ration (%)
	+ 0,248 x Trockensubstanzgehalt des Raufutters (%)
	+ 0,014 x Lebendmasse (kg)

Tränkwasser sollte für die Tiere ständig in ausreichender Menge und geeigneter Qualität verfügbar sein. Empfehlungen für Orientierungswerte zur Bewertung der chemischen und physiko-chemischen Tränkwasserqualität (KAMPHUES et al., 2007) sind in Abschnitt 5.1.2.9 aufgeführt (Tab. 5.1.14).

### Literatur

- Abel, H. J., G. Flachowsky, H. Jeroch, S. Molnar (1995): Nutztierernährung (Potentiale - Verantwortung - Perspektiven). Gustav-Fischer-Verlag Jena-Stuttgart, 519 S.
- Aulrich, K., H. Böhme, R. Daenicke, I. Halle, G. Flachowsky (2001): Genetically modified feeds in animal nutrition 1st Comm. *Bacillus thuringiensis* (Bt) corn in poultry, pig and ruminant nutrition. *Arch. Anim. Nutr.* **54**, 183 - 195
- Bahr, C. (2007) Sensorbasierte Analyse und Modellierung ausgewählter Verhaltensparameter von Mutterküher. Diss. Humboldt-Universität, Berlin.
- Bessa, R.J.B., J.Santos-Silva, J.M.R. Ribeiro, A.V. Portugal (2000): Reticulo-rumen biohydrogenation and the enrichment of ruminant edible products with linoleic acid conjugated isomers. *Livest. Prod. Sci.* **63**, 201 - 211
- BGB (2005): Gesetz zur Neuordnung des Lebens- und Futtermittelrechts, Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 55, Bonn, 06.09.2005, 2618 - 2669
- Brade, W., G. Flachowsky (Herausg. 2005): Rinderzucht und Milcherzeugung. Empfehlungen für die Praxis (2. Aufl.). Landbauf. Völkenr. 289, 207 S.
- DLG (1997) Futterwerttabellen – Wiederkäuer. 7. Auflage, DLG-Verlag Frankfurt/M.
- DLG (1999): Leistungs- und qualitätsgerechte Jungrinderaufzucht. DLG-Information 3/1999, 20 S.
- DLG (2007): Datenbank Futtermittel, [www.futtermittel.net](http://www.futtermittel.net)

- Flachowsky, G. (Herausg., 2006): Möglichkeiten der Dekontamination von „Unerwünschten Stoffen nach Anlage 5 der Futtermittelverordnung (2006)“, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 294, 290 S.
- Flachowsky, G., K. Aulrich, H. Böhme, I. Halle (2007): Studies on feeds from genetically modified plants (GMP): Contributions to nutritional and safety assessment. *Anim. Feed Sci. Technol.* 133, 2 - 30
- Flachowsky, G., W. Brade (2007): Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern. *Züchtungskunde* 79 (im Druck)
- Flachowsky, G., A. Chesson, K. Aulrich (2005): Animal nutrition with feeds from genetically modified plants. *Arch. Anim. Nutr.* 59, 1 - 40
- Flachowsky, G., J. Kamphues (1996): Unkonventionelle Futtermittel. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 169, 415 S.
- GfE (1995): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 6., Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastrinder. DLG-Verlag, Frankfurt (Main), 85 S.
- GfE (1997 a): Empfehlungen zur Energieversorgung von Aufzuchtkälbern und Aufzuchtrindern. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 6, 201 - 215
- GfE (1997 b): Zum Proteinbedarf von Milchkühen und Aufzuchtrindern. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 6, 217 - 236
- GfE (1999): Empfehlungen zur Proteinversorgung von Aufzuchtkälbern. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 8, 155 - 164
- GfE (2001): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8, Empfehlungen von Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt (Main), 136 S.
- Grüne Broschüre (2007): Das geltende Futtermittelrecht, Aktuelle Gesetze und Verordnungen aus Bundes- und Gemeinschaftsrecht, 18. Neuaufl., Allround Media Service, 446 S.
- Hobson, P.N. (ed.) (1988): The rumen microbial ecosystem. Elsevier Science Publishers, Essex, England
- Hoffmann, M., O. Steinhöfel (2005): Futtermittelspezifische Restriktionen; Rinder, Schafe, Ziegen. Pferde, Kaninchen, Schweine, Geflügel, 2. Aufl., Landesarbeitskreis Futter und Fütterung im Freistaat Sachsen, 40 S.
- ILSI (2003): Crop Composition Database <http://www.cropcomposition.org>, Accessed 2003, Juli 14
- Jeroch, H., W. Drochner, O. Simon (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere, B: Futtermittelkunde, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 169 - 318
- Jeroch, H., G. Flachowsky, F. Weissbach (1993): Futtermittelkunde. Gustav-Fischer-Verlag Jena-Stuttgart, 510 S.
- Kamphues, J., R. Böhm, G. Flachowsky, M. Lahrssen-Wiederholt, U. Meyer, H. Schenkel (2007): Empfehlungen zur Beurteilung der hygienischen Qualität von Tränkwasser für Lebensmittel liefernde Tiere unter Berücksichtigung der gegebenen rechtlichen Rahmenbedingungen. Landbauforschung Völkenrode, 57, 255 - 272
- Kamphues, J., G. Flachowsky (2001): Tierernährung – Ressourcen und neue Aufgaben. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 223, 462 S. Positivliste (2002)
- Kirchgessner, M. (1997): Tierernährung. 10. neubearbeitete Auflage, Verlags Union Agrar, Frankfurt am Main, 582 S.
- Kirchgeßner M. (2004): Tierernährung, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- Meyer U., Everinghoff, M., D. Gädeken, Flachowsky, G. (2004): Investigations on the water intake of lactating dairy cows. *Livestock Production Science* 90, 117 - 121
- Meyer, K., W. Stahl, G. Flachowsky (2006): Investigations on the water intake of growing bulls. *Livestock Sci.* 103, 186 - 191

- NRC (2001): Nutrient Requirement of Dairy Cattle, 7<sup>th</sup> Rev. Ed. Nat. Acad. Press, Washington, D. C. 381 p.
- Pape, H.-C. (Herausg., 2006): Futtermittelzusatzstoffe – Technologie und Anwendung. AgriMedia GmbH, Bergen/Dumme, 304 S.
- Petersen, K., G. Flachowsky (2004): Positivliste für Futtermittel als Beitrag zur Lebensmittelsicherheit - Erwartungen, Konzepte, Lösungen. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 271, 158 S.
- Petersen, U., S. Kruse, S. Dänicke, G. Flachowsky (Herausg., 2007): Meilensteine für die Futtermittelsicherheit. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 306, 138 S.
- Positivliste für Einzelfuttermittel (Futtermittel-Ausgangserzeugnisse. 2007). Normenk. für Einzelfuttermittel im Zentrallausschuss der Deutschen Landwirtschaft, Bonn (August 2007), 50 S., wird ständig ergänzt.
- Rodehutscord, M., H.-J. Abel, W. Friedt, C. Wenk, G. Flachowsky, H.-J. Ahlgrimm, B. Johnke, R. Kühl, G. Breves (2002): Review article: Consequences of the ban of by-products from terrestrial animals in livestock feeding in Germany and the European Union: Alternatives, nutrient and energy cycles, plant production, and economic aspects. Arch. Anim. Nutr. 56, 67 - 92.
- Roth, L., M. Daunderer, U. Korman (2006): Giftpflanzen-Pflanzengifte, 4. überarbeitete Auflage Nikol Verlagsgesellschaft mbH & Co KG, Hamburg, 1090 S.
- Von Engelhardt, W., G. Breves (eds.) (2005): Physiologie der Haustiere. Enke Verlag, Stuttgart