

# Stoffwechsel der Wildwiederkäuer

A. SOMMER

In diesem Beitrag wird auf einige grundsätzliche Aspekte des Stoffwechsels bei den Wiederkäuern eingegangen. Eine ausführlichere Beschreibung der Stoffwechselvorgänge bei der Nahrungsverwertung bei unserem wiederkäuenden Schalenwild am Beispiel des Rot- und Rehwildes und deren Bedeutung für die Jagdpraxis ist im darauf folgenden Beitrag enthalten.

Die vom Tier aufgenommene Nahrung kann im Organismus erst dann verwertet werden, wenn sie bestimmte Umwandlungen erfahren hat. Nur die wenigsten in der Nahrung enthaltenen Stoffe (z.B. wasserlösliche Vitamine, Mineralstoffe und Spurenelemente) werden unverändert vom Körper aufgenommen. Die Mehrzahl der Nährstoffe (Kohlenhydrate, Eiweiß, Fette) bedarf einer Aufspaltung in einfachere Verbindungen, damit sie verdaut werden kann.

Bei den Wiederkäuern fasst man unter dem Begriff *Verdauung* folgende Teilvorgänge zusammen: die Nahrungsaufnahme, die mechanische und chemische Mundverdauung, das Abschlucken, die mechanische und chemische Verdauung im Magensystem, den Wiederkauakt, die mechanische und chemische Verdauung im Dünndarm, Blinddarm und Dickdarm

sowie die Ausscheidung der nicht resorbierten festen und flüssigen Verdauungsrückstände.

Für den Stoffwechsel der Wiederkäuer ist der Ablauf der Verdauungsvorgänge im Magensystem von ausschlaggebender Bedeutung. Das Magensystem besteht aus drei Vormägen, dem voluminösen Pansen, der Haube und dem Blättermagen, denen der mit Drüsen körpereigener Verdauungsssekrete ausgestattete Labmagen folgt.

Im Jahresverlauf kommt es zu signifikanten Veränderungen der anatomischen Verhältnisse im Verdauungstrakt. So bestätigten zum Beispiel KAMLER et al. (2002) in ihren Untersuchungen am Rot-, Dam-, Reh- und Muffelwild, dass sich die relative Größe des Magensystems im Winter im Vergleich mit der Vegetationszeit ändert (Tabelle 1).

Für den Stoffwechsel der Wiederkäuer ist der Ablauf der Verdauungsvorgänge in den Vormägen, darunter vor allem im Pansen, von besonderer Bedeutung.

## Vormagenverdauung

Neben der ständigen Durchmischung, Erneuerung und dem schubweisen Weitertransport laufen in den Vormägen viel-

fältige biochemische Vorgänge ab. Die Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße des Futters werden fermentativ verdaut und auf diese Weise der Resorption und der weiteren Verwertung im intermediären Stoffwechsel zugänglich gemacht. Da weder der Speichel noch die Schleimhaut der Vormägen der Wiederkäuer Verdauungsfermente enthalten, kommt den im Pansen in großen Mengen vorkommenden Mikroorganismen (Kleinstlebewesen) die Hauptverdauungsarbeit zu. Die für die Verdauung wichtigsten Mikroorganismen sind Bakterien und einzellige Protozoen.

Die *Pansenflora* (Bakterienpopulation) wird durch Kontaktinfektion vom Muttertier auf das Jungtier und von einem Tier zum anderen, sowie mit dem Futter übertragen. Die Pansenflora ist sehr artenreich und mannigfaltig. Sie setzt sich nach unseren Kenntnissen aus über 60 Bakterientypen zusammen und die Gesamtkeimzahl liegt in der Größenordnung 108 bis 1011 Keime je ml Panseninhalt. Die Nahrungszusammensetzung hat auf die gesamte Bakterienzahl und die Bakterienarten (Zellulolytische-, Amylolytische-, Proteolytischebakterien, Laktobacilli, Streptococci) einen bedeutenden Einfluss.

**Tabelle 1: Das relative Volumen (dm<sup>3</sup>) und das Gewicht (kg) des Magens von Rot-, Dam-, Reh- und Muffelwild in Bezug auf das Körpergewicht in der Vegetationszeit und im Winter (KAMLER et al. 2002).**

	Rotwild	Damwild	Rehwild	Muffelwild
Vegetationszeit				
N	28	15	52	12
Gesamtes Magenvolumen	10,5±2,7	13,7±0,8	7,9±0,59	25,8±1,12
Pansenvolumen	10,3±2,9	12,5±0,8	7,2±0,60	23,5±0,93
Gesamtes Magengewicht	2,04±0,68	2,16±0,32	2,21±0,1	3,76±0,17
Pansengewicht	1,42±0,50	1,52±0,24	1,45±0,09	2,42±0,12
Winter				
N	30	13	13	13
Gesamtes Magenvolumen	8,63±2,4	12,2±1,06	6,5±0,48	21,9±0,88
Pansenvolumen	7,99±2,3	11,1±1,04	6,0±0,49	19,1±0,81
Gesamtes Magengewicht	1,59±0,49	1,75±0,44	1,70±0,11	3,46±0,13
Pansengewicht	10,3±0,40	1,12±0,35	1,08±0,08	2,16±0,10

**Autor:** Univ.-Prof. Dr. Alexander SOMMER, Mitteleuropäisches Institut für Wildtierökologie Wien, Brno, Nitra, Forschungsinstitut für Tierproduktion Nitra, Hlohovska 2, SK-94992 NITRA

Die *Pansenfauna* besteht aus Ziliaten (Protozoen). Ihre Populationsdichte und Artenzusammensetzung ist von vielen Einflussfaktoren abhängig. In erster Linie besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem Protozoenvorkommen im Pansen und der Nahrungszusammensetzung. Je energiereicher die Futterration ist, desto höher ist die Zahl der im Pansen vorhandenen Protozoen. Eine einseitige Ernährung führt zur starken Reduzierung einzelner Protozoenarten. In unseren, gemeinsam mit dem FIWI Wien am Rotwild durchgeführten Untersuchungen stellte sich heraus, dass die Populationsdichte der Protozoen im Pansen bei einer höheren Zufuhr von leichtverdaulichen und gleichzeitig energiereichen Nährstoffen stark anstieg. Es zeigte sich allerdings auch, dass die Protozoendichte im Pansensaft des Rotwildes relativ starken Schwankungen unterlag, wobei große Unterschiede einerseits zwischen einzelnen Versuchstieren und andererseits den verschiedenen Zeitpunkten der Pansensaftentnahmen bestanden. Dies spricht für eine extrem hohe Empfindlichkeit der Pansenprotozoen gegenüber verschiedenen Einflussfaktoren.

Die Verdauung des Nahrungseiweißes im Pansen der Wiederkäuer erfolgt durch die Bakterien und Protozoen. Die Proteolyse (Eiweißabbau) verläuft in Abhängigkeit von der Verdaulichkeit und der Löslichkeit der mit dem Futter aufgenommenen Eiweiße. In unseren Versuchen mit Rotwild in Nitra war die effektive Abbaubarkeit des Rohproteins bei Maisilage und Getreideschrot deutlich höher als beim Wiesenheu. Leicht verdauliche Eiweiße werden innerhalb von 2 Stunden nach der Futteraufnahme zu einem hohen Prozentsatz bis zu den Aminosäuren (Eiweißbausteine) abgebaut. Im darauf folgenden Prozess der sogenannten Desaminierung entsteht als Endprodukt des Eiweißabbaus - Ammoniak. Die Eiweißabbauprodukte werden von den Pansenmikroorganismen zum Aufbau von *bakterien- und protozoeneigenen Eiweißen* verwendet. Die Umwandlungsrate des Nahrungseiweißes in das *Mikrobeneiweiß* ist von der Verdaulichkeit der Futtereiweiße sowie von einer Anpassungsreaktion der Pansenmikroorganismen abhängig. Neben dem Abbau und Umbau der Futtereiweiße ist im Pansen

der Wiederkäuer auch eine Verwertung von *Stickstoffverbindungen nichteiweißartiger Natur* möglich.

Auch der Abbau der Kohlenhydrate (energiehaltige Kohlenstoffverbindungen), die einen wesentlichen Teil der Pflanzensubstanz darstellen, läuft über die Pansenmikroorganismen ab. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Verdauung der *Zellulose*. Diese ist ein wichtiger Bestandteil der pflanzlichen Gerüstsubstanzen und ihr ausreichender Aufschluss ermöglicht eine gute Verwertung der in Pflanzen enthaltenen Nährstoffe. Durch den mikrobiellen Abbau der Kohlenhydrate entstehen flüchtige Fettsäuren (vor allem: Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure), die dem Organismus des Wiederkäuers als wichtige Energiequelle dienen. Die Mengen der gebildeten Fettsäuren sind hauptsächlich von der Nahrungszusammensetzung abhängig. Die energiereichen Fettsäuren werden direkt über die Pansenwand absorbiert und gelangen in das Körperinnere, wo sie im Laufe verschiedener Stoffwechselprozesse zur Energiegewinnung genutzt werden.

Neben dem Abbau des Eiweißes und der Kohlenhydrate spielt bei der mikrobiellen Verdauungstätigkeit im Pansen auch die Umwandlung der Fette, die Bildung bestimmter lebenswichtiger Vitamine eine wichtige Rolle. Als Nebenprodukt der Pansenverdauung entstehen verschiedene Pansengase ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), die aus dem Körper ungenutzt ausgeschieden werden.

## Der Energieumsatz

Der tierische Organismus ist zur Verwirklichung aller seiner Lebensfunktionen an eine ständige Energiezufuhr angewiesen. Diese geschieht normalerweise durch biochemische Umsetzung der mit Nahrung aufgenommenen Nährstoffe. Vorübergehend kann aber die erforderliche Energie auch durch den Abbau der Körpersubstanzen (Energiereserven) gewonnen werden. Bei den Wiederkäuern verlaufen die wichtigsten Stoffwechselprozesse in einem relativ stabilen Temperaturbereich. Dabei muss man allerdings zwischen der Temperatur im Körperkern und der in der Körperschale unterscheiden.

Zum Körperkern gehören die inneren Körperteile, einschließlich der wichtigs-

ten Organe, und das Gehirn. Die Temperatur im Körperkern wird bei den homoiothermen Organismen durch die Thermoregulation konstant gehalten. Beim Absinken der Körperkerntemperatur wird durch Einschaltung der thermoregulativen Prozesse die Wärmebildung im Körper erhöht, um die Temperatur im erforderlichen Bereich aufrechtzuerhalten. Dies ist allerdings mit einem erhöhten Energieverbrauch verbunden. Die Temperatur der Körperschale (äußere Körperteile, Gliedmaßen, Haut und Unterhaut) ist hingegen von der Umgebungstemperatur stark abhängig, da sie maßgeblich durch die Temperaturdifferenz zwischen der Körperkerntemperatur und der Temperatur der äußeren Umgebung beeinflusst wird. Eine wichtige Rolle spielt dabei auch die Durchblutung der bestimmten Körperpartien, da das Blut aus dem Körperinneren ständig die Wärme zuführt. Der Durchblutungsgrad hängt wiederum vielfach von der motorischen Aktivität und dem aktuellen Zustand des Tieres ab. Das bedeutet, dass die Temperatur der äußeren Körperbereiche im Gegensatz zum Körperkern sehr stark variieren kann.

Bei niedrigen Umgebungstemperaturen kann es notwendig werden, dass die Thermoregulation zur Aufrechterhaltung der stabilen Temperatur im Körperkern das als Energiereserve angesetzte Fett und in seiner Abwesenheit das körpereigene Eiweiß im verstärkten Ausmaß abbaut. Hierbei sind die biochemischen Prozesse, die zur Wärmebildung führen, am eindeutigsten.

Die Wärmefreisetzung im Tier resultiert insgesamt aus folgenden Prozessen (nach BERGNER und HOFFMANN, 1996):

- Molekülpaltung beim Verdauungsvorgang
- mikrobielle Fermentation (Pansen, Dickdarm)
- intermediärer Stoffumsatz (Synthesen, Ab- und Umbaureaktionen)
- aktiver Transport von Metaboliten
- Elektronentransport
- Reibung als Folge von Muskelarbeit.

Grundsätzlich unterscheidet man hierbei lediglich die Bruttoenergie und die umsetzbare Energie. Im Falle des Fettabbaus zur Wärmegewinnung geht die gesamte Bruttoenergie (40 kJ/g Fett) in Wärme-

energie über. Die biochemischen Prozesse, die beim Abbau der Fettsäuren und des Glycerins zur ATP-Bildung beitragen dienen im Rahmen der Muskelprozesse (z. B. Herzmuskel, Darmmuskulatur und Skelletmuskulatur) der Wärmebildung.

Das oxydierte körpereigene Eiweiß verliert von seiner Bruttoenergie den stofflichen Anteil, der über den Harn - überwiegend als Harnstoff - ausgeschieden wird. Der im Organismus verbleibende Anteil ist die umsetzbare Energie. Wenn das Gehalt an Bruttoenergie bei etwa 24 kJ/g Protein (je nach Herkunft des Eiweißes etwas unterschiedlich) liegt, so entspricht der Wert der umsetzbaren Energie des Eiweißes 16 bis 17 kJ/g.

Die Wärmeproduktion eines Wiederkäuers ohne Nahrungsaufnahme (gemessen an Rind und Schaf) liegt zwischen 400 und 500 kJ pro kg metabolischer Körpermasse (mit dem Potenzfaktor 0,75). Ein Wiederkäuer mit 70 kg Lebendmasse (= 24,2 kg metabolische Körpermasse) hat somit eine tägliche Wärmeproduktion, die zwischen 9700 und 12100 kJ liegt. Das Tier würde bei der Oxydation von 200 g Körperfett und gleicher Eiweißmenge die Kerntemperatur aufrechterhalten können. Die Wärmeabgabe bei sehr niedriger Umgebungstemperatur bleibt hierbei jedoch unberücksichtigt. Somit besteht kein Zweifel, dass unsere Wildwiederkäuer ohne Nahrungsaufnahme im Winter nur kurzfristig überleben können.

Der große Vorteil des Wiederkäuers in kalter Umgebungstemperatur liegt in der zusätzlichen Wärmeproduktion der Pansenmikroorganismen. Die beim mikrobiellen Abbau der Nährstoffe im Pansen freigesetzte Wärme trägt zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur auf dem erforderlichen Niveau im Körperkern bei. Dieser Vorteil wird allerdings bei heißen Umgebungstemperaturen (z. B. in den Tropen) zu einem entscheidenden Nachteil, da die gebildete Wärme nicht

ausreichend abgeführt werden kann. Die Folge ist, dass die Futterraufnahme und somit auch die Leistungsfähigkeit des Organismus eingeschränkt wird.

Die aufgenommenen Futternährstoffe aus dem Verband der Futtermittel erleiden beim Wiederkäuer im Pansen (und auch im Dickdarm) Gärungsverluste, die als Gärgase (z. B. Methan) nicht zur Verbesserung der Wärmebilanz des Wirtstieres beitragen, jedoch die direkte Wärmeproduktion der Mikroorganismen (Wärmebildung aus den mikrobiellen Lebensprozessen) hilft dem Tier bei der Aufrechterhaltung seiner Körpertemperatur. Da Kohlenhydrate das beste Nährsubstrat den Pansenmikroorganismen bieten, sind sie auch die ideale Quelle für eine zusätzliche Wärmebildung im Pansen des Wild-Wiederkäuers. Die bisherigen Messungen an Nutztieren (Rind und Schaf) sind für quantitative Aussagen zur Nutzung von Kohlenhydraten zur Wärmebildung im Pansen des Wildwiederkäuers aus seiner Winteräsung unzulänglich, da es sich hierbei häufig um schwerverdauliche Faserstoffe handelt, die jedoch durch die Gärungstätigkeit der Mikroorganismen einen wesentlichen Beitrag zur Wärmebilanz des Gesamttieres liefern dürften.

Messtechnisch könnte man die produzierte Wärmemenge eines Wildwiederkäuers aus dem verabreichten Futter durchaus im Rahmen einer Verdaulichkeits- bzw. Bilanzuntersuchung ermitteln. Zunächst muss die Bruttoenergie (Brennwert) des aufgenommenen Futters festgestellt werden. Hiervon werden die analysierten Daten des Brennwertes von Kot und Harn abgezogen. Zusätzlich sind vom verbleibenden Wert 10 % für die ausgeschiedene Methanenergie zu subtrahieren. Der ermittelte Endwert stellt dann die Wärmeenergie dar, die bei den Oxydationsprozessen der Mikroorganismen im Pansen oder im Intermediärstoffwechsel des Wiederkäuers aus der auf-

genommenen Futtermenge entstanden ist.

Dieser experimentelle Vorschlag gilt nur dann, wenn kein Nettoenergieansatz (Fett- oder Eiweißansatz während der Versuchsperiode) erfolgt. Dies dürfte bei der Prüfung von Materialien der Winteräsung sicherlich nicht der Fall sein. Der Abbau von Körperfett oder Körpereiwweiß während des Versuches kann negiert werden, da ja nur die mögliche Wärmebildung aus dem Futter gemessen werden soll.

Eine derartige experimentelle Prüfung von Winteräsung würde zur Klärung der Frage der Überlebensstrategie der Wildwiederkäuer in kalten Wintermonaten einen wesentlichen Beitrag leisten.

## Literatur

- ANKE, M. et al., 1990: In: STUBBE, CH. "REH-WILD". Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, S. 440.
- BERGNER, H. und L. HOFFMANN, 1996: Bioenergetik und Stoffproduktion landwirtschaftlicher Nutztiere. Harwood academia publishers, Amsterdam, S. 382.
- BERGNER, H. und H.A. KETZ, 1969: Verdauung, Resorption, Intermediärstoffwechsel bei landwirtschaftlichen Nutztieren. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, S. 399.
- HOFFMANN, R.R., 1989: Evolutionary Steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecologia*, 78, 443-457.
- KAMLER, J., J. DVORÁK and K. KAMLEROVÁ, 2002: Morphological variability of stomach and concentration of rumen infusorial in red deer, fallow deer, roe deer and mouflon. *Folia Venatoria*, 32, 15-24.
- KIRCHGESSNER, M., 1992: Tierernährung, DLG Verlag Frankfurt (M), S. 525.
- ONDERSCHEKA, K., 1976: Ernährungsprobleme beim Gamswild. *Die Bodenkultur*, 27, 97-106.
- SOMMER, A., M. VODNANSKÝ, R. POZGAJ and J. CHOVANEC, 2002: Nutritional value of some additional fodders for roe deer. *Folia Venatoria*, 32, 41-46.
- SOMMER, A., M. VODNANSKÝ, P. PETRIKOVIC and R. POZGAJ, 2003: Vplyv kvality lucernového a lúčneho sena na stráviteľnosť zivín u srncej zveri. *Czech J. Anim. Sci.*, in press.

