

# Die physiologische Anpassung des Kamels an die besonderen Umweltbedingungen der weiträumigen Trockengebiete

The physiological adaptability of camels to the environmental  
conditions of the vast arid zones

Von Reinhold Bartha \*)

## 1. Einführung

Seit Jahrtausenden steht das Kamel im Dienste der Menschheit und auch heute noch, trotz ständig fortschreitender Technisierung, findet man es in allen Erdteilen. Weite, subtropische Steppen und Wüstengebiete der heißen und gemäßigten Zonen waren in der Vergangenheit nur mit Hilfe des Kamels zu bewohnen und zu durchqueren. Auch in Zukunft wird es seine Bedeutung als Arbeitstier und als wichtiger Lieferant von Fleisch, Milch und Leder in diesen Landstrichen behalten.

## 2. Anatomische Besonderheiten der Kamele

Die Gattung *Camelus* (echte oder altweltliche Kamele) und die Gattung *Lama* (neuweltliche Kamele) gehören zur Familie der Camelidae und somit zur Unterordnung der Tylopoda oder Schwielenfüßer. Die Tylopoda zählen ihrerseits zur Ordnung der Artiodactylia oder Paarhufer. Das Ursprungsland der Camelidae ist Nordamerika, von wo aus die echten Kamele im späteren Tertiär über die damals bestehende Landbrücke nach Asien und Afrika und die Lamas nach Südamerika abwanderten.

Zur Gattung *Lama* gehören zwei Wildtierarten, nämlich das Guanako (*Lama guanicoe*) und das Vikunja (*Lama vicugna*) und die beiden durch

---

\*) Dr. Dr. Reinhold Bartha, Diplomlandwirt u. Tierarzt, Priv.-Doz. für das Lehrfach Tierhaltung und Tierfütterung in den Tropen und Subtropen an der Universität Gießen und Leiter des Projektes Landwirtschaftlicher Beratungsdienst der BRD in Tunesien.

*Anschrift:* Tunis-Belvedere, B. P. 47, Tunesien.

Domestikation des Guanako entstandenen Haustierarten, das Lama (*Lama glama*) und das Alpaka (*Lama pacos*). Die Lamas sind Bewohner der gebirgigen Küstengebiete im Westen Südamerikas, und zwar leben sie hier in Höhen von 3500—5000 m (6).

Die Gattung *Camelus* umfaßt die beiden Arten *Camelus dromedarius* L. (einhöckeriges Kamel oder Dromedar) und *Camelus bactrianus* L. (zweihöckeriges Kamel oder Trampeltier). Die Bezeichnung Dromedar leitet sich vom griechischen Wort *dromados* (laufen) ab. Dem *Camelus bactrianus* hat die Gegend Bactriane im Norden Afghanistans den Namen gegeben.

Zwischen den beiden Arten *Camelus dromedarius* und *Camelus bactrianus* bestehen anatomische Unterschiede. Besonders auffällig sind natürlich die beiden Höcker beim Trampeltier, die sich oberhalb des Widerristes und der Lende befinden. Der gedrungene Rumpf und die kürzeren Beine eignen sich besonders zum Tragen und Ziehen von Lasten, aber nicht für lange und schnelle Ritte. Beim Vergleich des Skelettbaues beider Arten zeigt es sich, daß beim zweihöckerigen Kamel die Dornfortsätze der Halswirbel breiter und kräftiger sind. Auch die Lendenwirbel des Dromedars sind nicht so stark, und die Dornfortsätze nicht so lang, jedoch breiter als beim Trampeltier. Die Kruppe des einhöckerigen Kamels ist stark abfallend und das Sternum in seiner Gesamtlänge kräftiger gebogen. Seine Gliedmaßen sind feiner als beim Trampeltier. Die Kniescheibe des Dromedars ist am distalen Ende breiter als am proximalen, beim Trampeltier jedoch genau umgekehrt. Am Schädel des Dromedars fällt auf, daß die Senkung zwischen Augenhöhle und Nasenrücken stärker ausgeprägt, der Jochbogen jedoch schmaler, das Nasenloch viel kleiner und die Stirn fliehender ist als beim Trampeltier.

Der Höcker, der aus einem faserigen und fetten Gewebe besteht, hat als Skelettgrundlage die Dornfortsätze der letzten Rücken- und ersten Lendenwirbel. Der faserige Teil befindet sich am cranialen Ende des Höckers und wird hauptsächlich vom Halsligament gebildet, das caudale Ende enthält besonders fettes Gewebe. Anatomisch betrachtet gleicht der Höcker des Kamels nicht dem des Zebus. Das Gewebe des Kamelhöckers ist von einer dichten Aponeuosis bedeckt, die straff mit einer Schicht lamellenartigen Zellgewebes verbunden ist. Dann folgt die äußere Haut, die als elastische Hülle den Bewegungen des Höckers nachgibt. Seine Form und sein Volumen sind je nach Rasse verschieden, er ist entweder langgestreckt in Richtung der Körperachse oder rund.

Beide Kamelarten weisen einen langen Hals, eine gespaltene Oberlippe und frei vom Rumpf abstehende Oberschenkel auf. Die Hornschwielen an den Extremitäten und am Sternum sind angeboren und nicht die Folge häufigen Liegens. Die zwei Zehen treten mit ihren drei Gliedern in der ganzen Länge auf, können gespreizt werden und enden in einem kleinen, klauenförmigen Huf. Die beiden Zehen sind durch eine gemeinsame dicke Hornsohle verbunden.

Eine besondere Anpassung an die Umwelt weist das Auge auf. Es hat am oberen und unteren Rand der Pupillenöffnung zwei im Zickzack gefaltete Bändchen, die beim Erweitern der Pupille (Mydriasis) nach außen hängen und auf diese Weise das Eindringen der Sonnenstrahlen zum Teil verhindern. Beim Verengen (Miosis) legen sie sich wieder der Pupille an.

Durch die Kreuzung von Dromedar-Stuten  $\times$  Trampeltierhengsten entstehen in der  $F_1$ -Generation einhöckerige Kreuzungsprodukte, die man vor allem im Iran und in der Türkei vorfindet. Sie haben ein höheres Gewicht als die Elterntiere und ihre äußere Erscheinung ist harmonisch. Sie gelten als gute Lasttiere. Die Kreuzung von Trampeltierstute und Dromedarhengst ist ebenfalls möglich, jedoch nicht gebräuchlich, da diese Kreuzungsprodukte wenig widerstandsfähig sind und nicht angenehm aussehen (2).

### 3. Vorkommen der Kamele

Von den 13,4 Mill. ein- und zweihöckerigen Kamelen, die zur Zeit auf der Erde leben, findet man 5,5 Mill. in Asien und im europäischen Teil der Sowjetunion und 7,9 Mill. in Ländern des afrikanischen Kontinents.

Das *Camelus bactrianus* hat sich aus seinem Ursprungsland Afghanistan in die angrenzenden Länder im Osten, Westen und Norden verbreitet. Es lebt heute im nördlichen Asien bei Temperaturen bis zu  $-20^{\circ}\text{C}$  und zwar in Tibet in 4000 m Höhe, und wird auch in Turkestan, in Südsibirien, in der Mandchurei, in Nordchina und in den Steppenzonen des europäischen Rußlands gezüchtet.

Das Dromedar gelangte von Südwestasien (Arabien, Persien) nach Ägypten und Nordafrika. In Nord- und Südamerika konnten sich die Dromedare nicht akklimatisieren, jedoch leben in Australien immer noch große Herden verwilderter Hauskamele. Das Verbreitungsgebiet des Dromedars im asiatischen Raum umfaßt heute die Länder Arabien, Irak, Iran, Israel, Syrien, Afghanistan, Turkestan und die ariden Nord-West-Gebiete Indiens. Am zahlreichsten ist es auf dem afrikanischen Kontinent vertreten, und zwar in allen arabischen Mittelmeerländern, in Äthiopien und in den meisten westafrikanischen Staaten. Die südliche Grenze seines Vorkommens wird nicht von der Tsetsefliege, sondern von der Flora, nämlich von den tropischen Wäldern bestimmt (3).

Beide Kamelarten sind an ein Leben in ariden Zonen gut angepaßt. Während das Trampeltier hauptsächlich in Wüsten- und Steppengebieten gemäßigter Klimata zu finden ist, gehört das Dromedar zur Tierwelt der trockenen und halbtrockenen Subtropen. Das *Camelus dromedarius*, das den größten Anteil an der Kamelpopulation der Erde hat, ist in morphologischer Hinsicht von der harten Umwelt in den weiten heißen Trockengebieten geprägt.

Das Klima in seinem Lebensraum ist gekennzeichnet nicht nur durch die hohen Lufttemperaturen und die extremen Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht und zwischen den Jahreszeiten, sondern auch durch die geringen und unregelmäßigen Niederschläge und die niedrige rel. Luftfeuchtigkeit, die unter 10 % fallen kann. Der heiße, heftige Wind, die hohe Intensität des Lichtes und die sandigen oder steinigen Böden, die sich tagsüber bis zu 80° C erwärmen und nachts stärker als die Luft abkühlen, erfordern vom Dromedar eine erhöhte Resistenz und eine verstärkte Wärme- und Wasserregulierung.

#### 4. Physiologische Anpassung des Kamels an seine Umwelt

Auf das Dromedar wirkt sich das Wüstenklima stärker aus als auf kleinere Wüstentiere, die der Bodenhitze, der Trockenheit und der Sonneneinstrahlung ausweichen, indem sie sich in Löchern und unter Büschen verkriechen, sein Organismus mußte sich auf verschiedene Art und Weise den Bedingungen seines Lebensraumes anpassen.

##### 4.1. Wasser im Magen-Darmtrakt?

Genau wie bei anderen Wiederkäuern hat der Magen des Kamels vier Abschnitte, nämlich Rumen, Reticulum, Omasum und Abomasum. Der Rumen des Kamels enthält eine Besonderheit. Zwei Flächen seiner Wand bestehen aus Diverticula, die durch Falten der Mucosa in kleinere Kammern und Unterkammern aufgeteilt sind. Die festen Muskelbänder an den Rändern der Kammern wurden von manchen Forschern als „Sphincter“ bezeichnet, und man vermutete, daß die Diverticula ein System von Wasserbehältern seien, die mit Hilfe der Sphincter-Muskeln verschlossen werden können. Auf diese Art sollte es dem Tier möglich sein, bei Bedarf reines Wasser auszuschütten. Man glaubte, das Kamel sei aufgrund dieser anatomischen Besonderheit befähigt, in trockenen Zonen zu leben und lange Zeit ohne Wasser auszukommen. Obwohl bereits *Horn* 1806 nach seinen Untersuchungen am Kamelmagen bezweifelte, daß die Diverticula ihres anatomischen Baues und ihres Volumens nach geeignet seien, einen nennenswerten Wasservorrat aufzunehmen, hielten sich die irigen Bezeichnungen wie Wasserbehälter, Wassersäcke oder Wasserzellen in der Literatur bis in die jüngste Zeit.

Das Volumen der Rumendiverticula beträgt etwa 5 l, was für ein Kamel in der Wüste für die Wasserspeicherung sicher nicht ausreicht, wenn man bedenkt, daß ein Mensch unter den gleichen klimatischen Bedingungen schon 10 bis 15 l Wasser pro Tag benötigt.

Bei der Sektion des Rumens stellt man fest, daß sein Inhalt aus einer Masse mit hohem Flüssigkeitsanteil besteht, daß die Diverticula jedoch mit einer dichteren Futtermasse gefüllt sind und weniger Flüssigkeit ent-

halten. Dies ist immer der Fall, ob nun die Tiere vor dem Schlachten getränkt worden sind, oder ob sie auf einer Trockenweide gegrast haben (12).

Der Rumeninhalt macht 10 bis 15 % des Körpergewichtes aus und unterscheidet sich in dieser Beziehung nicht von dem anderer Wiederkäuer.

Die Flüssigkeit aus dem Rumen hat die gleiche Zusammensetzung wie die aus den Diverticula. Ihre Konzentration entspricht etwa der des Blutes, so daß es sich hierbei nicht um gespeichertes Wasser handeln kann. Die Ionenmenge ist ähnlich der, die man im Speichel der Wiederkäuer findet, und zwar ist die Na-Konzentration verhältnismäßig hoch (161 ml/l), K- (6,2 ml/l) und Cl-Konzentration (7,1 ml/l) relativ niedrig. Der pH-Wert von 7,6—8 entspricht ebenfalls dem der anderen Wiederkäuer.

Am Grunde der Diverticula sind Drüsen eingelagert, deren Zahl mit 100 Mill. angegeben wird. Sie produzieren das meiste der Rumenflüssigkeit, die, wie erwähnt, eine wässrigere Lösung und in ihrer Zusammensetzung und Funktion dem Speichel der Wiederkäuer ähnlich ist. Ihrer Funktion nach kann man sie als Hilfspfeicheldrüsen bezeichnen. Durch die Unterteilung der Diverticula in Kammern und Unterkammern wird die Fläche der drüsentragenden Mucosa vergrößert.

Das schwammähnliche Aussehen des Reticulum gab Anlaß zur Annahme, daß es ebenfalls zur Wasserspeicherung diene, obwohl sein Volumen nur 1 bis 2 l beträgt, und sich dieser Magenabschnitt des Kamels nicht vom Reticulum anderer Wiederkäuer unterscheidet.

Den Rumen ausgenommen beträgt der Rauminhalt aller Mägen insgesamt 3,5 bis 8,5 l. Das Gewicht des Dünndarms mit 3,5 kg und das des Dickdarms mit 7,7 kg liegt unter den entsprechenden Werten beim Rind (5).

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß zwar im Kamelmagen eine verhältnismäßig große Flüssigkeitsmenge vorhanden ist, die jedoch kein gespeichertes Wasser, sondern Verdauungsflüssigkeit darstellt. Das gleiche wurde auch bei der Addax-Antilope beobachtet. Überhaupt weist der gesamte Magen-Darm-Trakt einen zu geringen Rauminhalt auf, um eine Wassermenge zu speichern, die für ein so großes Tier in einem heißen Klima von nennenswertem Nutzen wäre.

#### 4.2. *Wasserspeicherung im Kamelhöcker?*

Die Tatsache, daß bei der Oxydation von 1 g Fett 1,07 g Wasser frei wird, daß also dem Kamel bei einem beispielsweise 20 kg schweren Höcker etwas mehr als 20 l Wasser zur Verfügung stünden, hat ursprünglich dazu geführt, den Höcker als Wasserreservoir zu betrachten.

Bei der Verbrennung des Fettes wird jedoch Sauerstoff benötigt, der durch die Atmung aufgenommen wird. Da aber die ausgeatmete Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, geht bei diesem Vorgang dem Tier ebensoviel Wasser verloren, als durch die Fettoxydation frei wird. Bei der sehr trockenen Wüstenluft ist der Wasserverlust durch die Atmung sogar noch größer als die beim Fettstoffwechsel freigewordene Wassermenge.

Nimmt man den Energieumsatz eines Kamels mit 10 000 Kcal an, dann wird zur Erzeugung dieser Energie doppelt so viel Stärke wie Fett benötigt. Die durch die Oxydation der Stärke freiwerdende Wassermenge ist größer und gleichzeitig wird für diesen Vorgang weniger Sauerstoff benötigt, so daß dabei auch der Wasserverlust geringer als bei der Oxydation des Fettes zur Erzeugung der gleichen Energie ist. Sowohl bei der Oxydation des Fettes wie auch bei der Oxydation der Stärke übersteigt bei sehr trockener Luft die durch die Atmung abgegebene Wassermenge das durch die Oxydation freigewordene Wasser. Jedoch ist beim Stoffwechsel der Stärke der Nettowasserverlust geringer als beim Fettstoffwechsel.

Der Höcker ist kein Wasserreservoir, sondern hat für das Kamel allein als Energieträger Bedeutung. Da Fett pro Gewichtseinheit die meiste Energie liefert, trägt das Kamel seine Energiereserve in der wirtschaftlichsten Form mit sich (14).

#### 4.3. Körpertemperatur — Wärmeregulierung

Die Körpertemperatur des Kamels ist starken Schwankungen unterworfen. Während der Wintermonate in der Sahara, bei Lufttemperaturen von 0 bis 20° C schwankt die physiologische Rektaltemperatur zwischen 36 und 38° C. In den heißen Sommermonaten variieren die Körpertemperaturen viel stärker. In den Morgenstunden liegen sie bei 34 und 35° C und abends steigen sie bis auf 40,7° C an.

Diese extremen Temperaturschwankungen von über 6° C stellen sich nur bei durstenden Kamelen ein. Steht den Tieren täglich Tränkwasser zur Verfügung, variiert die Körpertemperatur um nicht mehr als 2° C unabhängig von den atmosphärischen Temperaturen der Jahreszeit. In Durstperioden liegt das tägliche Temperaturmaximum nicht nur höher, sondern auch das Temperaturminimum niedriger. Die physiologische Rektaltemperatur übersteigt beim Kamel 40,7° C nicht; eine Überschreitung dieser Grenze wird durch eine verstärkte Hitzeableitung verhindert.

Um die Körpertemperatur konstant zu halten, muß die überschüssige Wärme durch Wasserabgabe abgeleitet werden. Erhöht sich jedoch die Körpertemperatur, so kann die Wärme, die zur Erhöhung der Körpertemperatur notwendig war, als gespeichert angesehen werden. Wenn beispielsweise die Rektaltemperatur eines 500 kg schweren Kamels um 6° C ansteigt, speichert der Organismus 2 500 Kcal. Zur Ableitung dieser Wärmemenge durch Verdunstung würde das Kamel 5 l Wasser benötigen.

Stattdessen erfolgt die Wärmeabgabe in der kühlen Nacht ohne Wasserverlust. Je niedriger also die Körpertemperatur in den Morgenstunden ist, desto größer ist die Wärmemenge, die während des Tages gespeichert werden kann (14).

Die Hitzeeinwirkung einer heißen Umgebung auf einen kühleren Körper steht in einem direkten Verhältnis zum Temperaturunterschied. Durch den Anstieg der Körpertemperatur beim Kamel auf 40° C erfährt die Wärmeeinwirkung der Außentemperatur eine beträchtliche Verringerung.

#### 4.4. *Das Fell des Kamels*

Als ein besonders wirksamer Schutz vor der Einwirkung der Hitze aus der Umgebung erweist sich das Fell des Kamels, dessen isolierende Eigenschaften eine beachtliche Rolle bei der Einsparung von Wasser spielt, das sonst zur Hitzeregulierung verbraucht werden müßte. In der Wüste behalten die Kamele auch in den heißen Sommermonaten ein dichtes und ziemlich dickes Sommerfell. Hingegen beobachtet man bei uns in den Zoologischen Gärten Kamele mit völlig nackten Körperstellen. Am Körper ist das Fell mit 110 mm am dicksten, am Rücken beträgt die Dicke 50 bis 65 mm, an den Flanken 30 mm und am Bauch und an den Extremitäten 15 bis 20 mm.

Man hat festgestellt, daß Kamele, die in der heißen Jahreszeit ihr natürliches Fell behielten, je 100 kg Körpergewicht einen täglichen Wasserverlust von nur 2 l hatten, während geschorene Kamele 3 l Wasser verloren.

Für die Einsparung an Wasser ist wichtig, ob der Schweiß das Fell durchnäßt, oder ob er direkt auf der Hautoberfläche verdunstet und als Wasserdampf das Fell passiert. Die Hautoberfläche ist dann die Stelle mit der niedrigsten Temperatur, und die Wärme aus dem Körper und aus der Umgebung strömt dort hin. Die einwirkenden Wärmemengen sind umgekehrt proportional zum Isolierungswert der Dermis und des Felles. Ein dickes Fell ist als Schutz vor der heißen Umgebung vorteilhaft, solange es nicht das Durchströmen des Wasserdampfes von der Hautoberfläche behindert. Eine dünne, stark durchblutete Haut ermöglicht eine schnelle Abgabe der Wärme aus der Tiefe des Körpers.

Bei einem schweißnassen Fell jedoch findet die Verdunstung auf dessen Außenseite statt. Die Wärme aus dem Körper muß dann nicht nur die Haut, sondern auch das feuchte Fell durchdringen, um an die Stelle der Wärmeabgabe zu gelangen. Das bedeutet, daß hier mehr Wasser als bei der Hautoberflächenverdunstung aufgewendet werden muß, um die Verdunstungsstelle genügend kühl für die notwendige Hitzeableitung zu halten. Besonders nachteilig ist unter diesen Umständen jedoch, daß zwischen der heißen Umgebung und der Stelle mit der niedrigsten Temperatur keine Isolierung vorhanden ist.

Fälschlicherweise wird häufig behauptet, daß Kamele nicht schwitzen. Sie haben jedoch Schweißdrüsen und schwitzen auch, aber nie mehr als für die Wärmeregulierung nötig ist. Die Schweißverdunstung findet auf der Hautoberfläche unter dem völlig trockenen Fell statt, und deshalb gewinnt der Beobachter den Eindruck, daß Kamele nicht schwitzen. Nur dort, wo die Verdunstung behindert ist, z. B. unter einem Packsattel, findet man feuchte Stellen (7).

Wie erwähnt, ist eine dünne, gut durchblutete Haut für die Wärmeabgabe von Vorteil. Eine Einlagerung von Fett in das subkutane Gewebe würde die Wärmeabgabe behindern. Möglicherweise ist das der Grund, weshalb beim Kamel das Fett im Höcker gespeichert und nicht im subkutanen Gewebe verteilt ist. Ähnlich ist es bei anderen hitzetoleranten Tieren, wie beim Zebu und dem Fettschwanzschaf.

Wiederkäuer leiten überschüssige Wärme durch Schweißabsonderung und durch die Atmung ab. In heißer Umgebung können Rinder die Atmungsfrequenz bis auf 250 Atemzüge in der Minute steigern. Beim Kamel zählt man an kühlen Tagen durchschnittlich nur 8 und in den heißesten Stunden 16 Atemzüge pro Minute. Bei der Wärmeregulierung spielt also beim Kamel nicht die Atmung, sondern die Schweißabsonderung eine wichtige Rolle (4).

#### 4.5. Harnabsonderung

In Wintermonaten, wenn die Kamele für die Wärmeregulierung kein Wasser benötigen, und der Wassergehalt der Futterpflanzen hoch ist, beträgt die täglich ausgeschiedene Harnmenge 7 bis 8 l (Rind maximal 25 l/Tag). Im Sommer dagegen, wenn die Kamele zwar auf den Weiden nur Trockengräser aufnehmen, jedoch täglich getränkt werden, scheiden sie 0,750 l/Tag an Urin aus: die Harnmenge verringert sich auf weniger als 0,5 l/Tag, wenn die Tiere kein Wasser erhalten (1,8).

Die Harnblase ist klein und das Kamel scheidet geringe Urinmengen bis maximal 450 ml auf einmal aus. Die Harnabsonderung erfolgt bei männlichen wie bei weiblichen Tieren in pulsierenden Stößen.

Da die Niere des Kamels fähig ist, Urin mit einem hohen Gehalt an Salzen auszuschcheiden, wird eine beträchtliche Menge Wasser dem Körper eingespart. Außerdem hat es dadurch die Möglichkeit, Wasser mit relativ hohem Salzgehalt aufzunehmen. So fressen Kamele in ihrem afrikanischen Lebensraum Sukkulente, deren Salzkonzentration größer als die des Meerwassers ist, und die daher für Rinder und Schafe giftig sind. Wenn nun Kamele die Fähigkeit haben, Wüstenpflanzen mit derart hohen Salzgehalten aufzunehmen, so muß ihre Niere einen Harn ausscheiden können, der beträchtlich höher als Meerwasser konzentriert ist.

Der Urin des Kamels enthält eine normale Menge Harnstoff, und zwar macht er etwa 60 % des gesamten Stickstoffs im Urin aus. Hat das Kamel einen gesteigerten Bedarf an Protein, der durch die Nahrung nicht ge-

deckt werden kann, z. B. im Wachstum oder während der Trächtigkeit, dann wird die Ausscheidung an Stickstoff auf ein Minimum reduziert. Unter solchen Umständen beträgt die täglich ausgeschiedene Harnstoffmenge weniger als 1 g. Beim Kamel wird also der Harnstoff zum größten Teil nicht ausgeschieden, sondern geht in die Rumenflüssigkeit über und wird dort von Bakterien zur Eiweißsynthese verwendet. Im Verdauungstrakt wird das so entstandene Eiweiß wieder aufgenommen. Das Kamel hat seinen eigenen besonderen Stickstoffzyklus, der es ihm ermöglicht, den Stickstoff immer wieder zu nutzen, indem er das abgebaute Protein neu aufbaut. Bei anderen Wiederkäuern geht der Stickstoff, sobald die Aminosäuren des Proteins abgebaut sind, dem Körper verloren und wird als Harnstoff ausgeschieden (10, 13).

#### 4.6. Wasserentzug

Säugetiere verenden, sobald der Wasserverlust 18 bis 20 % des Körpergewichts erreicht. In heißer Umgebung tritt der Tod noch eher ein.

Kamele zeigen dagegen eine weit größere Toleranz gegenüber dem Wasserverlust. In kühler Jahreszeit büßen sie in einer Durstperiode von 17 Tagen beispielsweise 16,2 % des Körpergewichts ein, ohne dabei den Appetit zu verlieren oder Krankheitserscheinungen aufzuweisen. In der heißen Jahreszeit verlieren Kamele, die ständig der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, jedoch nicht zur Arbeit herangezogen werden, innerhalb einer 7 Tage andauernden Durstperiode bis 27,2 % des ursprünglichen Körpergewichts. Wenn der Gewichtsverlust 20 % erreicht, läßt ihre Freßlust nach, und sie scheinen geschwächt zu sein.

Der höchste Verlust stellt sich mit 38 % bei der interstitiellen Flüssigkeit ein, während die Intracellular-Flüssigkeit um 24 % verringert wird. Das Plasma erfährt mit weniger als 10 % die geringste Reduzierung. Da beim Kamel jedoch die interstitielle Flüssigkeit nur 41,8 l ausmacht, die Intracellular-Flüssigkeit jedoch 132,3 l, so verliert das Tier mengenmäßig mit 32 l am meisten von der Intracellular-Flüssigkeit (von der interstitiellen Flüssigkeit 15,8 l). Durch den verhältnismäßig geringen Wasserverlust im Blutplasma kann das Kamel seinen Kreislauf aufrecht erhalten, der bei anderen Tieren als erstes unter Hitze und Wasserverlust leidet.

Das Vermögen der Kamele, große Mengen Wasser auf einmal zu trinken, ist stark ausgeprägt. Bei täglichem Tränken nehmen sie etwa 20 l Wasser auf, nach harten Durstperioden jedoch innerhalb weniger Minuten bis zu 107 l, das heißt etwa 32 % ihres Körpergewichts (11, 14).

### 5. Zusammenfassung

Der Bestand der altweltlichen Kamele beläuft sich z. Zt. auf 13,4 Mill. Tiere, wovon 5,5 Mill. in Asien und 7,9 Mill. in afrikanischen Ländern

leben. Kamele sind den ariden Lebensräumen gut angepaßt, wobei das Trampeltier (*Camelus bactrianus*) in den Wüsten und Steppen gemäßigter Klimata und das Dromedar (*Camelus dromedarius*) in den Subtropen Verbreitung finden.

Als eine besonders hervorstechende Eigenschaft der Kamele kann ihre Fähigkeit, lange Zeit ohne Wasseraufnahme auszukommen, betrachtet werden. Jedoch wird weder in den Kammern des Rumen, die durch die Faltung der Mucosa entstehen, noch im übrigen Magen-Darm-Trakt Wasser gespeichert. Auch das im Kamelhöcker eingelagerte Fett hat nur als Energieträger Bedeutung, da die Wassermenge, die beim Fettstoffwechsel frei wird, für ein so großes Tier in heißen Trockengebieten unerheblich ist. Die Fähigkeit der Kamele, die Wasserabgabe einzuschränken, ist enorm. So liegt in Durstperioden nicht nur das Maximum der Körpertemperatur höher, sondern auch das Minimum niedriger als in Zeiten mit täglichem Tränken. Die Abgabe der überschüssigen Wärme geschieht dann nicht durch Wasserverdunstung, sondern in der kühlen Nacht ohne Wasserverlust. Übersteigt aber die Rektaltemperatur  $40,7^{\circ}\text{C}$ , so erfolgt die Wärmeabgabe durch Schweißabsonderung. Die Wasserverdunstung findet direkt auf der Hautoberfläche unter dem völlig trockenen Fell statt, das gegenüber der heißen Umgebung eine isolierende Funktion ausübt. Die dünne Haut und das Fehlen von Fett im subkutanen Gewebe erleichtern die Wärmeabgabe. Der Wasserverlust durch die Atmung ist im Vergleich zu den Rindern gering. Dem Organismus wird aber auch Wasser eingespart durch das Vermögen der Niere, einen hochkonzentrierten Urin auszuschcheiden. Vor allem aber ist die Toleranz der Kamele gegenüber Wasserverlust auffallend. Andere Säugetiere verenden, wenn der Wasserverlust 18—20 % des Körpergewichts erreicht. Kamele dagegen ertragen einen Wasserverlust bis zu 27,2 % des Körpergewichts.

## Summary

At the present time, there are about 13.4 million camels in the world, 5.5 million of which live in Asia and 7.9 million on the African continent. Camels are well adapted to arid environments. The Bactrian camel is found in deserts and steppes, whereas the dromedary lives in the subtropics.

A very particular feature of the camel is its ability to withstand the depletion of water for a considerable length of time. Yet there is no evidence of water storage, neither in the compartments of the rumen which result from folds of the mucosa, nor in the remainder of the digestive tract. The fat deposits in the hump can only be considered as an energy reserve, since the amount of water which is released during the fat metabolism is irrelevant for such a big animal in hot, arid areas. The camel has an enormous ability to reduce water excretion. Thus, in times of water shortage, the maximum body temperature is higher and the

minimum body temperature is lower than in periods where the animals are watered daily. The excess heat is not dissipated by evaporation, but without use of water in the cool environment of the night. Should the rectal temperature exceed  $+40.7^{\circ}\text{C}$ , the heat is dissipated by sweating. The water evaporation takes place from the surface of the skin, the fur remains completely dry and insulates against the hot environment. The thin skin and the lack of fat in the sub-cutaneous tissues facilitate heat dissipation. The water loss due to respiration is low in comparison to that of cattle. The organism economizes water because the kidneys can produce a highly concentrated urine. The tolerance of the camel to water loss is particularly significant. While other mammals perish when the water loss reaches 18—20 % body weight, the camel can withstand a water loss of up to 27.2 % of its body weight.

### Literaturverzeichnis

1. Chamot, Y., 1959: A propos de l'écologie des camélides. — Bull. Soc. Sci. nat. et phys. Maroc, 39.
2. Curasson, G., 1947: Le chameau et ses maladies — Paris.
3. FAO, 1964: Production Yearbook. — 18, FAO, Rome.
4. Findlay, J. D., 1950: The effects of temperature, humidity, air movement and solar radiation on the behaviour and physiologie of cattle and other farm animals. — Hannah Dairy Res. Inst. Bull. No. 9.
5. Hansen, A., Schmidt-Nielsen, K., 1957: On the stomach of the camel with special reference to the structure of its mucous membrane. — Acta Anatomica, 31.
6. Herre, W., 1952: Studien über die wilden und domestizierten Tylopoden Südamerikas. — Zool. Garten, 19.
7. Lee, D. G., Schmidt-Nielsen, K., 1962: The skin, sweat glands and hair follicles of the camel (*Camelus Dromedarius*). — Anat. Rec., 143.
8. Leroux, C., 1960: Aspects de la régulation thermique des animaux du désert. Observations personnelles chez le dromadaire. — Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, No. 27.
9. Leupold, J., 1967: Das Kamel — ein wichtiges Haustier der Subtropen. — Die blauen Hefte, Heft 33.
10. Schmidt-Nielsen, K., Schmidt-Nielsen, B., 1952: Water metabolism of desert mammals. — Physiol. Rev., 32.
11. Schmidt-Nielsen, B., Schmidt-Nielsen, K., Houpt, T. R., Jarnum, S. A., 1956: Water balance of the camel. — Amer. J. Physiol., 185.
12. Schmidt-Nielsen, K., Schmidt-Nielsen, B., Houpt, T. R., Jarnum, S. A., 1956: The question of water storage in the stomach of the camel. — Mammalia, 20.
13. Schmidt-Nielsen, B., Schmidt-Nielsen, K., Houpt, T. R., Jarnum, S. A., 1957: Urea excretion in the camel. — Amer. J. Physiol., 188.
14. Schmidt-Nielsen, K., 1965: Desert Animals. — Oxford.