



# Über das Wasser und die Warmblütigkeit

## Wasser - noch immer ein lebendiges Geheimnis

von Prof. Dr. med. Karl Trincher

veröffentlicht in SANUM-Post Nr. 15/1991, Seite 21 - 26

Wasser ist ein Lösungsmittel, in dem, wie sonderbar es auch klingen mag, sich alle Stoffe lösen, sogar Gold ist in Wasser löslich. Um das zu verstehen, muß man, wie der große Chemiker Fritz Haber es ausgedrückt hatte, das richtige chemische Gefühl haben. Nach Ende des ersten Weltkriegs erschienen auf den Weltmeeren erstaunlich viele kleinere Handelsschiffe unter deutscher Flagge. Sie nahmen Wasserproben, die dann in Laboratorien auf ihren Goldgehalt geprüft wurden. Dieser erwies sich als groß genug, um die Goldgewinnung aus Meerwasser technisch in Angriff zu nehmen. Das wäre für die besiegten Deutschen ein gewinnbringendes Unternehmen gewesen, weil sie dann die ihnen auferlegten Kriegsschulden in Gold hätten bezahlen können. Die Nachkriegspolitik verlief aber anders. Die Reparationsschulden, die von den besiegten Deutschen anstelle von Gold in technischen Leistungen hätten bezahlt werden müssen, wurden ihnen erlassen, so daß die weitere Suche nach Gold in den Meeren eingestellt wurde. Aber ein wissenschaftlicher Gewinn war erreicht worden, nämlich der Nachweis, daß das Edelmetall Gold in Wasser löslich ist.

### Fremdmoleküle verändern Dichte des Wassers

Ist aber mit der Löslichkeit von Gold in Wasser der Beweis erbracht, daß wirklich alles in Wasser löslich ist? Nun, mit Wasser wird viel experimentiert, und auf einmal erhob sich ein Sturm im Blätterwald der wissenschaftlichen Zeitschriften: Ein neues Wort war aufgekomen: „Derjagin-

Wasser“. Die Dichte eines Stoffes zu bestimmen, gehört zum Charakteristikum des Stoffes, und so auch kennt man die Dichte des Wassers und ihre Abhängigkeit von Temperatur und Druck. Und nun erschütterte die Entdeckung des russischen Physikers Derjagin die wissenschaftliche Welt. Er hatte den Nachweis erbracht, daß die Dichte des Wassers in sehr engen Kapillarröhrchen aus Quarz höher ist als der normale Wert. Es schien so, als ob sich das Wasser in der Enghheit der Kapillare zusammenzöge.

Zwei Jahre lang gespensterte das Derjagin-Wasser in der wissenschaftlichen Literatur, zumal der Derjaginsche Versuch in vielen Labors wiederholt wurde und immer mit dem gleichen Resultat. Aber trotz des Ergebnisses der höheren Dichte des Wassers in hauchdünnen Quarzkapillaren waren die Theoretiker nicht zu bekehren. „Ihr Wasser ist schmutzig“, schrieten sie mit einer Heftigkeit, die mir auf wissenschaftlichen Konferenzen neu war. Immer wieder war es zu hören: „Ihr Wasser ist schmutzig und deshalb haben Sie eine höhere Dichte gemessen.“ Und sie sollten recht haben, die Theoretiker. Zwei Jahre später hatte ein amerikanischer Chemiker den Beweis erbracht, daß das Derjagin-Wasser Quarzteilechen enthält. Das in der Quarzkapillare befindliche Wasser hatte aus der Kapillarwand Quarzmoleküle in sich hinein gelöst, war also nicht mehr reines Wasser, sondern eine, wenn auch hochverdünnte, wässrige Quarzlösung. Diese besaß natürlicherweise eine höhere Dichte als das reine Wasser.

### Reines Wasser kommt nirgendwo vor

Reines Wasser, das nur aus den Wassermolekülen  $H_2O$  besteht, gibt es nicht; es enthält immer gelöste Stoffe, und es enthält auch Teilchen, die aus dem Wasser selbst stammen. Es sind dies die elektrisch geladenen Bruchstücke des Wassermoleküls: Die positiv geladenen Wasserstoff-Ionen:  $H^+$  und die negativ geladenen Hydroxyl-Ionen ( $OH^-$ ). In einem Kilogramm Wasser gibt es bei  $22^\circ$  rund  $10^{-7}$  Gramm  $H^+$  und zugleich auch  $10^{-7}$  Gramm ( $OH^-$ ). Die Größe  $10^{-7}$  Gramm  $H^+$ -Ionen drücken wir durch das Symbol  $[H^+]$  aus.

Das Molekulargewicht des Wassers, man spricht vom Mol Wasser, beträgt 18 g. Ein Kilogramm Wasser enthält also

$$\frac{1000}{18} = 55,6 \text{ Mole.}$$

Ein Mol bedeutet die Anzahl der Moleküle, die dem Molekulargewicht des Stoffes entspricht. Die mit  $N_0$  bezeichnete Anzahl der Moleküle eines Mols, die sogenannte Avogadro-Loschmidtsche Zahl, besitzt die Größe  $N_0 = 6,06 \cdot 10^{23}$ .

Wenn wir nun die in einem Kilogramm Wasser befindlichen  $10^{-7}$  Gramm  $H^+$ -Ionen mit  $N_0$  multiplizieren, erhalten wir die Anzahl der  $H^+$ -Ionen in einem Mol Wasser:

$$[H^+] \cdot N_0 = 10^{-7} \cdot 6,06 \cdot 10^{23} = 6,06 \cdot 10^{16}.$$

Andererseits enthält ein Liter Wasser

$$\frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g}} = 55,6 \text{ Mole Wasser,}$$

worin 18 g das Molekulargewicht des Wassers bedeutet.



Wenn wir nun 55,6 mit  $N_0$  multiplizieren, erhalten wir die Zahl der Wassermoleküle in einem Liter Wasser:

$$Z(\text{H}_2\text{O}) = 55,6 \cdot 6,06 \cdot 10^{23} = 336 \cdot 10^{23}$$

Aus dem Verhältnis der Zahl  $[\text{H}^+] \cdot N_0$  zur Zahl  $Z(\text{H}_2\text{O})$  finden wir

$$\frac{[\text{H}^+] \cdot N_0}{Z(\text{H}_2\text{O})} = \frac{6,06 \cdot 10^{16}}{336 \cdot 10^{23}} = \frac{1}{560 \cdot 10^6}$$

Dieses Zahlenverhältnis besagt also, daß nur ein Molekül Wasser von 560 Millionen Wassermolekülen dissoziiert ist, entsprechend der Gleichung:  $\text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + (\text{OH})^-$ .

Reines Wasser dissoziiert also nur zu einem sehr kleinen Bruchteil in Ionen. Dieser ist genau bestimmbar und stellt eine in der Chemie und Biologie sehr wichtige Größe dar. Das Produkt aus den  $\text{H}^+$ -Ionen und den  $(\text{OH})^-$ -Ionen heißt das Ionenprodukt des Wassers und wird durch die Größe  $K_w$  ausgedrückt, die bei 22 °C den Wert  $1 \cdot 10^{-14}$  besitzt. Diese Größe nimmt bei steigender Temperatur zu, d.h. die Erhöhung der Temperatur fördert die Dissoziation des Wassers. Die Konstanz des Ionenprodukts, formelmäßig ausgedrückt, bedeutet also:

$$K_w = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-14} \text{ (bei 22 °C)}$$

Aus dieser Gleichung ist zu erkennen, daß es drei verschiedene Zustände des Wassers in bezug auf seinen Ionengehalt gibt:

Erstens: der Zustand der Neutralität, der auf der Gleichheit der Ionenkonzentrationen beruht:  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$ .

Zweitens: der Zustand der Säure, der auf der Ungleichheit der Ionenkonzentration besteht, und zwar auf der höheren Konzentration der  $\text{H}^+$ -Ionen:  $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$ .

Drittens: der Zustand der Base, der auf der höheren Konzentration der  $(\text{OH})^-$  beruht:  $[\text{OH}^-] > [\text{H}^+]$ .

Bei neutraler Reaktion gilt also für  $[\text{H}^+]$  die Größe:  $[\text{H}^+] = 10^{-7}$ .

Bei saurer Reaktion gilt:  $[\text{H}^+] > 10^{-7}$ .

Bei alkalischer Reaktion gilt:  $[\text{H}^+] < 10^{-7}$ .

### Die Rolle der Wasserstoffionenkonzentration

Um die Schreibweise der Wasserstoffionenkonzentration zu vereinfachen, wurde das bekannte Symbol eingeführt, das sich aus den lateinischen Worten „potentia“ und „hydrogenium“ ableitet, das Symbol pH. Es bedeutet den negativen dekadischen Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration:  $\text{pH} = -\log \text{H}^+$ . Also haben wir für neutrale Reaktion den pH-Wert:  $\text{pH} = -\log 10^{-7} = 7$ , für saure Reaktion den pH-Wert:  $\text{pH} < 7$  und für alkalische Reaktion den pH-Wert:  $\text{pH} > 7$ .

Wir wollen uns jetzt der Frage zuwenden, wie sich die tierische Zelle zur aktiven Reaktion ihres Außenmilieus, das durch den pH-Wert charakterisiert ist, verhält. Als das günstigste Untersuchungsobjekt liegt das rote Blutkörperchen der Säugetiere vor, das leicht aus seinem natürlichen Milieu, dem Blutplasma, entnommen werden kann und in das künstliche Milieu, die isotonische Kochsalzlösung, eingebracht werden kann. Darin erhält der Erythrozyt sein Leben noch etwa zwei Stunden aufrecht, nämlich bis zum Verbrauch der im Erythrozyten vorhandenen Glukose. Also ist die Möglichkeit geboten, das Verhalten des Erythrozyten gegenüber pH-Veränderung in seinem künstlichen Milieu zu prüfen; es muß

lediglich durch Hinzufügung von Säure (HCl) oder durch Lauge (NaOH) die aktive Reaktion der physiologischen Kochsalzlösung geändert werden.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist schematisch in Bild 1 dargestellt. Das experimentell gewonnene Resultat lautet: Der Erythrozyt lebt im leicht alkalischen Milieu mit dem pH-Wert von 7,7. Bei Erhöhung der Alkalität schwillt der Erythrozyt durch Wasseraufnahme an bis zur extremalen Schwellung von etwas über  $\text{pH} = 12$ . In einem Milieu mit  $\text{pH} > 12$  zerplatzt der Erythrozyt. Bei Erhöhung der Azidität des Milieus schrumpft das Volumen des Erythrozyten durch Wasserabgabe bis zum Minimalvolumen. Parallel mit dem Prozeß des Wassereintritts in den Erythrozyten erfolgt die Aufnahme von Sauerstoff im leicht alkalischen Milieu des respiratorischen Lungengewebes. Parallel mit dem Wasseraustritt im leicht sauren Milieu, im Kontakt mit den Zellen des großen Blutkreislaufs, erfolgt die Abgabe des Sauerstoffs. Wir haben es hier also mit einer Art Pumpmechanismus des Erythrozyten zu tun, der pH-bedingt ist: Die Sauerstoffaufnahme ist mit Wasseraufnahme verknüpft und erfolgt im alkalischen Milieu der Lunge, und die Sauerstoffabgabe ist mit Wasserabgabe verknüpft und erfolgt im aciden Milieu im Kontakt mit den leicht sauren Zellen des großen Blutkreislaufs.

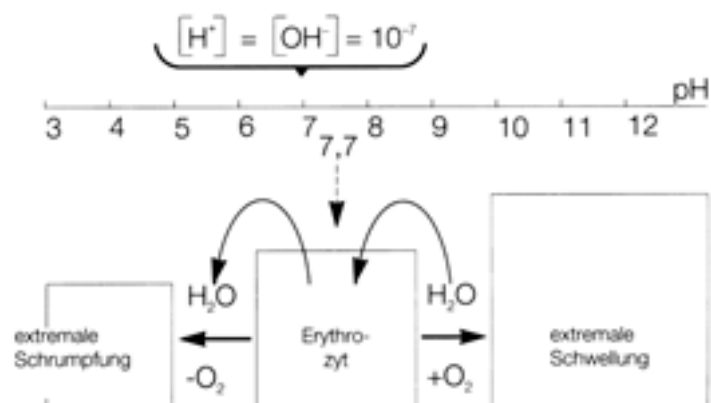


Bild 1: Die Abhängigkeit der Volumenveränderung des kernlosen Erythrozyten vom pH-Wert des Milieus.



## Das Phänomen der Warmblütigkeit

Wir wollen jetzt auf eine zweite Bedeutung der Alkalität des respiratorischen Lungengewebes zu sprechen kommen, die mit dem energetischen Verhalten des warmblütigen Organismus und der Fettverbrennung in der Lunge zusammenhängt. Mit der Entstehung der warmblütigen Organismen ist die höchste Stufe der biologischen Evolution erreicht worden. Der Temperaturbereich der Warmblütigkeit umfaßt nur wenige Grade von 36 °C bis 42 °C, wobei die Säugetiere an der unteren Temperaturgrenze angesiedelt sind, während die Vögel, die einen intensiveren Energieumsatz haben, an die obere Temperaturgrenze der Warmblütigkeit gerückt sind. Das Phänomen der Warmblütigkeit stellt uns vor drei Fragen:

1. Warum ist Warmblütigkeit eine höhere Entwicklungsstufe der biologischen Evolution im Vergleich zur Kaltblütigkeit?
2. Warum liegt die Warmblütigkeit im Temperaturbereich von 36 °C bis 42 °C?
3. Besitzt der Organismus ein spezielles Organ der Wärmeproduktion zur Aufrechterhaltung der Warmblütigkeit?

ad 1. Auf die Frage, warum es den Zustand der Warmblütigkeit gibt, kann mit dem Ausspruch von Claude Bernard geantwortet werden: „La fixité du milieu interieur est le condition de la vie libre.“ Die physiologische Bedeutung des „la vie libre“ liegt in der Maximierung der inneren Beweglichkeit des Organismus. In einem mechanischen Beispiel der maximalen Beweglichkeit einer Kugel auf einer Fläche besteht die maximale Beweglichkeit der Kugel in der Horizontalität der Fläche, in der es keine aufgezogene Richtung gibt. Die Temperaturkonstanz des warmblütigen Organismus bedeutet die Unabhängigkeit der im Organismus ablaufen-

den Prozesse von der Temperatur des Außenmilieus, allerdings mit Einbeziehung von physiologischen Prozessen, die die Temperaturkonstanz des Organismus sichern. Die Unabhängigkeit der Geschwindigkeit biochemischer Prozesse von der Temperatur des Außenmilieus bedeutet eine zusätzliche Dimension der Freiheit, die es bei kaltblütigen Organismen nicht gibt.

ad 2. Auf die Frage, warum Warmblütigkeit im Temperaturbereich von 36 °C bis 42 °C liegt, lautet die Antwort: Der Temperaturbereich der Warmblütigkeit ist durch zwei Extremaleigenschaften des Wassers bedingt. Die eine Extremaleigenschaft ist energetischer Natur, das Minimum der spezifischen Wärme  $c_p$ , die zweite Extremaleigenschaft ist mechanischer Natur, das Maximum der Zu-

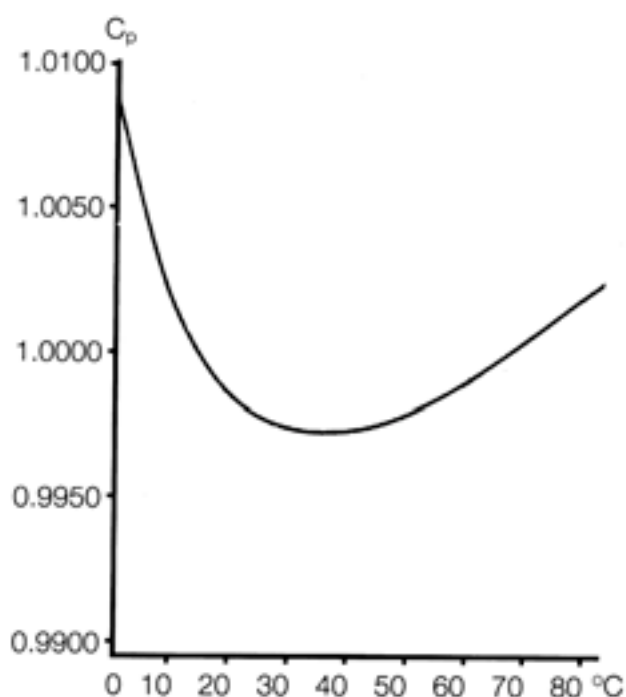


Bild 2: Die Abhängigkeit der spezifischen Wärme des Wassers von der Temperatur (Eisenberg & Kauzmann, 1969).

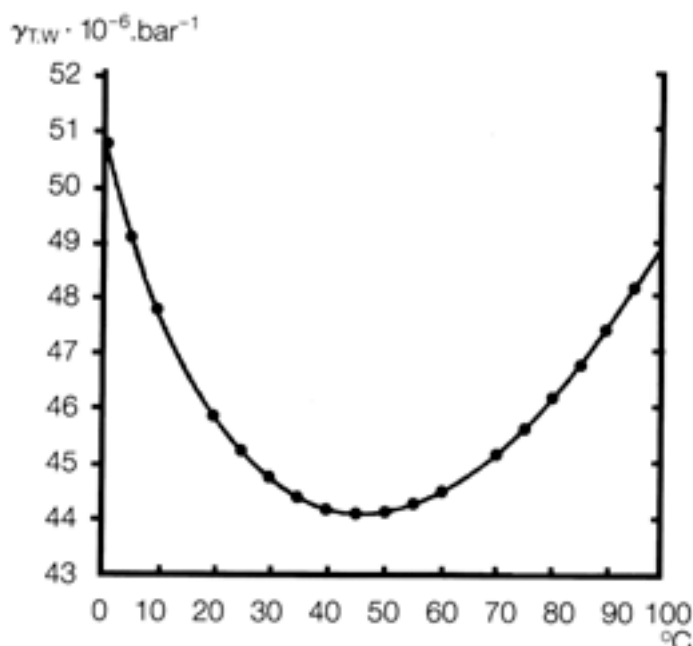


Bild 3: Die Abhängigkeit der Kompressibilität des Wassers von der Temperatur (Keil, 1967; Fine et al., 1973).





sammendrückbarkeit oder der Formveränderlichkeit des Wassers, die durch den Kompressibilitätskoeffizienten gemessen wird.

Die Abhängigkeit der spezifischen Wärme des Wassers von der Temperatur ist in Bild 2 dargestellt. Während für alle anderen Stoffe die Gesetzmäßigkeit besteht, daß dem Stoff um so mehr Wärme zugeführt werden muß, um seine Temperatur zu erhöhen, je höher seine Temperatur ist, gilt für Wasser im Temperaturbereich von 0 °C bis 45 °C die entgegengesetzte Abhängigkeit von der Temperatur: Je höher die Temperatur ist, um so geringer ist die Wärmemenge, die zur Erhöhung der Temperatur benötigt wird. Im Temperaturbereich von 35 °C bis 45 °C besitzt die spezifische Wärme des Wassers ihren Minimalwert. Das breite Minimum der spezifischen Wärme des Wassers stellt also einen Stabilitätsfaktor des warmblütigen Organismus dar.

Die Abhängigkeit der Kompressibilität des Wassers von der Temperatur ist in Bild 3 zu sehen. Während alle anderen Stoffe um so weniger zusammendrückbar sind, je höher ihre Temperatur ist, zeigt das Wasser zwischen 0 °C und 45 °C das gegenteilige Verhalten: Die Kompressibilität des Wassers sinkt bei Erhöhung der Temperatur und besitzt im Temperaturbereich der Warmblütigkeit ein breites Minimum. Das Wasser ist also im Temperaturbereich der Warmblütigkeit maximal deformierbar, wobei die Deformierbarkeit unabhängig von der Temperatur ist. Das breite Maximum der Deformierbarkeit des Wassers, gekennzeichnet durch den Minimalwert des Koeffizienten der Kompressibilität in Bild 3, stellt ebenso wie das Minimum der spezifischen Wärme des Wassers (Bild 2) einen Stabilitätsfaktor zur Aufrechterhaltung der Warmblütigkeit dar.

ad 3. Auf die Frage, ob der warmblütige Organismus ein spezielles Organ der Wärmeproduktion zur Auf-

rechterhaltung der Warmblütigkeit besitzt, lautet die Antwort: Die Warmblütigkeit wird durch ein spezielles Organ gesichert, durch die Lunge, die außer ihrer kontinuierlichen Funktion des Gaswechsels die zeitweilige, temperaturbedingte Funktion der Wärmeproduktion besitzt.

Dieser Befund der pulmonalen Thermogenese des warmblütigen Tieres ist schon zu Beginn unseres Jahrhunderts experimentell festgestellt worden, nämlich durch den Nachweis, daß Fett in der Lunge oxydiert wird. Diese Tatsache wurde registriert, aber nicht interpretiert. Erst viel später wurde die Fettverdauung in der Lunge als Wärmeproduktion erkannt (Trincher, 1960).

### Die Bedeutung des „Hypoxischen Paradoxons“

Es wurde nachgewiesen, daß das respiratorische Lungengewebe die im venösen Blut emulgierten Fettkügelchen zum Teil zurückhält, und daß eine direkte Oxydation der Fette durch den Sauerstoff der Atemluft in der Wand des respiratorischen Lungengewebes vor sich geht.

Derartige Versuche zum Nachweis der „Fettverdauung“ in der Lunge sind in einer fast unübersehbaren Menge von Arbeiten unter verschiedenen physiologischen und biochemischen Variationen durchgeführt worden. Von besonderer Bedeutung ist jedoch die Feststellung, daß im Zustand der Hypoxie, d.h. des verminderten Sauerstoffs in der Atemluft, der Sauerstoffverbrauch des warmblütigen Organismus ansteigt. Diese paradoxe Erscheinung, daß verminderter Sauerstoffgehalt in der Atemluft eine Erhöhung des Sauerstoffverbrauchs zur Folge hat, wurde auch sinngemäß als das „Hypoxische Paradoxon“ bezeichnet. Der Zustand der Hypoxie kann auch im Tierversuch experimentell durch akuten Blutverlust hervorgerufen werden.

Der warmblütige Organismus reagiert auf akuten Blutverlust mit der physiologischen Folgeerscheinung der intrapulmonalen Oxydationen. Zu der gleichen physiologischen Reaktion des warmblütigen Organismus führt der Zustand der Hypoxie. Wir haben also die folgenden zwei aufeinander folgenden Zustände:

- (A) Blutverlust → hypoxischer Zustand → intrapulmonale Oxydation der Fette
- (B) Verminderter Sauerstoffgehalt in der Atemluft → hypoxischer Zustand → intrapulmonale Oxydation der Fette

Die Aufeinanderfolge (B) wird in der physiologischen Literatur das „Hypoxische Paradoxon“ genannt. Mit dieser Bezeichnung sollte das Paradoxale dieser Erscheinung zum Ausdruck gebracht werden: Obwohl die Atemluft weniger Sauerstoff enthält, ist der Sauerstoffverbrauch des warmblütigen Tieres erhöht. Es mutet tatsächlich paradoxal an, daß die Organe, die vom arteriellen Blut mit Sauerstoff versorgt werden, auf ein verringertes Angebot von Sauerstoff mit erhöhtem Sauerstoffverbrauch reagieren.

Es wurde die Hypothese ausgesprochen, daß ein mäßig erniedrigter Sauerstoffpartialdruck einem physiologischen Reiz gleichkommt, der den Zellmetabolismus zu einer verstärkten Utilisierung des Sauerstoffs anregt. Das Unwahrscheinliche dieser Hypothese unterstreicht geradezu die unüberwindbare Schwierigkeit, das Hypoxische Paradoxon im Rahmen bekannter physiologischer Gesetzmäßigkeiten zu erklären. Also geisterte einem Gespenst gleich ein Paradoxon auf dem empirischen Boden der Physiologie. Zur Erklärung des Hypoxischen Paradoxons bedarf es jedoch keiner Hypothese, wenn man das spezifische Verhalten der Lunge kennt, auf den Zustand der Hypoxie



mit intrapulmonalen Oxydationen zu reagieren.

### Wichtige Wärmeproduktion in der Lunge

Es war eine adaptive Errungenschaft der in der Kälte lebenden warmblütigen Organismen, ihren Zustand der quasi-konstanten Körpertemperatur durch die Erzeugung zusätzlicher Wärme im respiratorischen Lungengewebe zu bewahren. Es kann einen Grad der Kälteeinwirkung auf den warmblütigen Organismus geben, gegen den es zur Bewahrung der Warmblütigkeit keinen anderen Schutz gibt als die zusätzliche Wärmeerzeugung durch Fettverbrennung in der Lunge. Die enorme Respirationsfläche in der Lunge stellt den Kontaktbereich dar zwischen der kalten Alveolarluft und dem durch die Lungenkapillaren fließenden Blutes.

Bei extrem starker Kälteeinwirkung reicht die von allen differenzierten Zellen produzierte Wärme und auch die zusätzliche Wärme durch Muskelaktivität nicht aus, um das in den Lungenkapillaren fließende warme Blut vor Abkühlung durch die kalte Atemluft zu schützen. In solch einem Extremalzustand der Kälteeinwirkung auf den warmblütigen Organismus setzt die zusätzliche Wärmeproduktion in der Lunge ein, die mit der Oxydation der Fette an der Alveolarwand zusammenhängt. Die hierbei freiwerdende Wärme bildet eine Zwischenschicht, einen warmen Gasfilter, den die in das Blut eindringenden kalten Sauerstoffmoleküle zu passieren haben.

Die quasi-konstante Temperatur des warmblütigen Organismus wird durch die Produktion von Wärme in der Lunge gesichert. Die Lunge stellt eine Wärmebarriere dar, die das temperaturkonstante, warme Blut vor der Kälte der Atemluft abschirmt. Zur Zeit der embryonalen Entwicklung befindet sich der warmblütige Organismus in einem natürlichen Thermostaten, im Mutterleib, und besitzt kein

Organ, dessen Funktion den Zweck erfüllt, Wärme zu produzieren, d.h. Wärme als Selbstzweck und nicht als Begleitprodukt von Arbeitsprozessen. Die Lunge des Embryos funktioniert weder als Atmungsorgan noch als Organ der Wärmeproduktion. Jedoch vom Moment an, in dem sich die biologische Umwälzung des gewaltsamen Übergangs vom intrauterinen in das extrauterine Leben vollzieht, in diesem Moment während des Geburtsablaufs, wenn der Mutterleib plötzlich aufhört, dem Neugeborenen Wärmeschutz zu bieten,

Aus den in (A), (B) und (C) dargestellten Abläufen ergibt sich unmittelbar der Zweck oder die physiologische Notwendigkeit der intrapulmonalen Oxydationen: Sie dienen der Bewahrung des homoiothermen Zustands, des Zustands der Warmblütigkeit. Wir können jetzt das folgende Schema aufstellen, in dem der Zusammenhang dargestellt ist, der zwischen den verschiedenen Ursachen des hypoxischen Zustands und der intrapulmonalen Fettverbrennung besteht, die der Aufrechterhaltung der Warmblütigkeit dient:



somit vom Moment der Konfrontation mit der kalten Außenluft an, funktioniert die Lunge als Atmungsorgan und zugleich auch als Organ der Wärmeproduktion.

Die Kälteeinwirkung auf den warmblütigen Organismus wirkt analog dem akuten Blutverlust und verminderten Gehalt an Sauerstoff in der Atemluft, sie führt zur peripheren Hypoxie infolge des erhöhten Sauerstoffverbrauchs in den peripheren Teilen des Organismus, so daß das in die Lungenkapillaren einfließende Blut sich im Zustand der Kältehypoxie befindet. Dieser durch die Einwirkung von Kälte hervorgerufene hypoxische Zustand des Organismus hat intrapulmonale Oxydation, die pulmonale Fettverbrennung, zur Folge. Es besteht also die Aufeinanderfolge:

(C) Kälteeinwirkung → hypoxischer Zustand → intrapulmonale Oxydationen.

### Zusammenfassung und Überblick

1. Wasser ist ein universales Lösungsmittel; es gibt keinen Stoff, der nicht in Wasser löslich ist.
2. Die tierische Zelle lebt in leicht alkalischem Milieu, während die Zelle selbst leicht acid ist. Im alkalischen Milieu schwillt die Zelle durch Wassereintritt, im sauren Milieu schrumpft die Zelle durch Wasseraustritt.
3. Die Sauerstoffaufnahme ist mit Wasseraufnahme verknüpft und erfolgt im alkalischen Milieu der Lunge, und die Sauerstoffabgabe ist mit Wasserabgabe verknüpft und erfolgt im Kontakt mit den leicht aciden Zellen des großen Blutkreislaufs.
4. Der Temperaturbereich der Warmblütigkeit von 36 °C bis 42 °C, ist durch zwei Extremaleigenschaften des Wassers bedingt: Durch das Minimum der spezifischen Wärme



- des Wassers und durch das Maximum der Kompressibilität des Wassers.
5. Die Lunge besitzt außer ihrer kontinuierlichen Funktion des Gasaustauschs die zeitweilige zusätzliche Funktion der Wärmeproduktion.
  6. Die Wärmeproduktion der Lunge beruht auf Oxydation von Fetten, wenn sich der warmblütige Organismus im Zustand der Hypoxie befindet.
  7. Der hypoxische Zustand des warmblütigen Organismus kann verschiedene Ursachen haben: Blutverlust, verminderter Sauerstoffgehalt in der Atemluft, Einwirkung von Kälte.
  8. Das sogenannte Hypoxische Paradoxon beruht auf der Oxydierung von Fetten in der Lunge im Zustand der Hypoxie.

#### **Literatur**

- Eisenberg, D., and Kauzmann, W. (1969): „The Structure and Properties of Water“, Oxford University Press.
- Fine, R. A., and Millero, F. J. (1973): J. Chem. Phys. 59, 5529.
- Kell, G. S. (1972): „Water and Aqueous Solutions“, Edition R. A. Horne, John Wiley and Sons, New York.
- Trincher, K. (1981): „Die Gesetze der biologischen Thermodynamik“, Urban & Schwarzenberg, Wien; (1990): „Wasser - Grundstruktur des Lebens und Denkens“, Herder & Co., Wien.