

1.1 Wasser als Grundlage des Lebens

JOSÉ L. LOZÁN, LUDWIG KARBE & ULRICH NEUKIRCH

Water as basis of life: Without water the Earth would be a dead desert. Water is a pre-requisite for life and is involved in almost all processes of life and it has many functions in the climate system as well. All organisms contain 50–90% water; some aquatic organisms even 99%. If water becomes scarce or has poor quality, plants and animals die. Man has to drink two liters of water per day. The function of water cannot be substituted by any other substance. 94.23% of the whole water on Earth is salty and unsuitable for drinking and irrigation. 1.92% is frozen in glaciers and snow. 3.84% is ground water. Only 0.02% occur as liquid fresh water on the Earth's surface and it is distributed very inhomogeneously. Already today 20% of the world population are suffering from scarcity of water. Water will be the most important substance during this century and therefore we need a global water policy guided by the United Nations.

Nach heutigem Wissensstand ist die Erde der einzige Planet unseres Sonnensystems mit flüssigem Wasser in ausreichender Menge. Die Erdoberfläche wird eindeutig von Wasser dominiert. 361,2 Mio. km² (70,8%) werden durch die Weltmeere bedeckt. Hinzu kommt die gegenwärtige Eisfläche mit 16,1 Mio. km² (3,16%). Die Seen nehmen ca. 2 Mio. km² (0,39%)

ein. Wenn Flüsse und Sumpfbgebiete mit mehr als 2,7 Mio. km² (0,53%) berücksichtigt werden, kommt man auf eine Wasserbedeckung von über 75% (MARCINEK & ROSENKRANZ 1996). Zählt man die ständig mit Schnee bedeckte Landfläche von 16 Mio. km² (3,1%) dazu, kommt man auf einen Anteil der Wasserfläche von über 78% (Abb.1.1-1). Auch in der Troposphäre findet man



© Tyler Olson - Fotolia.com

Abb. 1.1-1: Das Wasser bedeckt 78% der Oberfläche unserer Erde und bestimmt das Aussehen des Planeten, der daher zu Recht der »Blaue Planet« genannt wird.

Aus: WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3.Auflage (2011)
Hrsg.: Lozán J. L., H. Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese

Wasser in allen drei Formen. Durch turbulente Luftbewegungen gelangen geringe Wasserdampfmenge von der Troposphäre in die Stratosphäre.

Wasser spielt eine zentrale Rolle für die Entfaltung des Lebens auf der Erde. Ohne flüssiges Wasser wäre auf unserem Planeten kein Leben entstanden. Im vorliegenden Beitrag werden die wichtigsten Fakten über die Funktion des Wassers als Grundlage für das Leben auf der Erde zusammengefasst. Hierzu gehören auch die Funktionen im Klimasystem, dessen Bedingungen von existenzieller Bedeutung sind.

Herkunft des Wassers

Nach Abkühlung der Erde vor ca. 4 Mrd. Jahren wurde flüssiges Wasser möglich. Es gibt zwei mögliche Herkunftsquellen des Wassers. Durch Kondensation des Wasserdampfes aus der »ersten« Atmosphäre der Erde bildeten sich möglicherweise die ersten Gewässer. Es gibt aber viele Hinweise, dass auch wasserhaltige Meteoriten, Asteroiden und vor allem Kometen einen wesentlichen Beitrag zur Bildung des Urmeeres geleistet haben. Dies geschah während des anhaltenden Bombardements, das kurz nach der Bildung der Planeten auf die Uerde und auf die anderen Planeten nieder ging. Dies ist heute noch auf der Oberfläche des Mondes und des Mars zu sehen.

Diese Vermutung wird durch die Beobachtung am Kometen LINEAR-S4 im Jahre 2000 u.a. unterstützt. Das Wasser in diesem Kometen hatte den Analysenergebnissen des SOHO Weltraumobservatoriums (Solar and Heliospherical Observatory) entsprechend die gleiche Isotopenzusammensetzung wie das Wasser unserer Meere. Weitere Beobachtungen bei anderen Kometen, Meteoriten und Asteroiden bestätigen diese Hypothese (CROVISIER et al. 2009). Die Sonden Stardust (NASA) und Rosetta (ESA) führen seit Jahren Forschungsarbeiten im Weltall durch, um unsere Kenntnisse über

die Kometen und die Entstehung des Sonnensystems zu vertiefen.

Besondere Eigenschaften des Wassers

Wassermoleküle sind Dipole, die im flüssigen Zustand durch Wasserstoffbrückenbindungen in starker Wechselwirkung stehen und ein dreidimensionales Netzwerk bilden. Beruhend auf dem *polaren Charakter des Wassers* besitzt das Wasser die Eigenschaft als das universelle Lösungsmittel (mehr Details im Kap. 1.2: Gordalla et al.). Es wäscht Salze aus dem Untergrund aus, nimmt polare organische Stoffe sowie Gase auf und transportiert sie über die Flüsse in die Seen und ins Meer. Alle in der Natur vorkommenden Wässer enthalten daher gelöste anorganische Stoffe (Ionen und Spurenelemente), organische Stoffe (Aminosäure, Huminstoffe, etc) und Gase (Stickstoff, Sauerstoff, Kohlendioxid u.a.). Dieses stark ausgeprägte Lösevermögen ist von grundlegender physiologischer Bedeutung und ist eine der Ursachen, warum fast alle biochemischen Vorgänge in einer wässrigen Phase ablaufen.

Da das Wasser verdunstet und die Stoffe zurückbleiben, wird durch den Kreislauf reines Wasser transportiert. Daher ist das Wasser eine natürliche erneuerbare Ressource. Viele Gase und Partikel sind in Wolkenröpfchen und Niederschlag enthalten, so dass damit Ökosysteme gedüngt, aber bei Luftverschmutzung auch geschädigt werden. *Tab. 1.1-1* zeigt die wichtigsten Inhaltsstoffe des Meerwassers und die des Flusswassers. Während das Meerwasser aufgrund der Meeresströmungen weltweit eine ähnliche Zusammensetzung aufweist, variiert die der Flüsse und Seen in Abhängigkeit von den im Boden des Einzugsgebietes und im Niederschlag enthaltenen Salze. Was in Kontakt mit Wasser war, spiegelt sich in seinen Inhaltsstoffen wider. Die angegebenen Werte stellen daher überregionale Mittelwerte dar. Generell sind Süßwässer Karbonatgewässer, weil CaHCO_3 überwiegt. Das Meer ist dagegen ein Chloridgewässer, da NaCl dominiert. Einige Binnengewässer wie die Salzseen haben eine stark vom Mittel abweichende Ionenzusammensetzung. Das Tote Meer, in dem die Salzkonzentration um das 7,5 fache höher ist als im Weltmeer, hat einen im Vergleich zu anderen Gewässern überproportionalen Mg-Anteil. Die Inhaltsstoffe der Gewässer sind ein wesentlicher Faktor, der die Zusammensetzung ihrer Fauna und Flora in besonderem Maße bestimmt. So resultieren z.B. die lebensfeindlichen Bedingungen im Toten Meer weniger aus dem hohen Salzgehalt als vielmehr aus dem unphysiologisch hohen Anteil von Magnesium.

Wasser mit zu hohem Salzgehalt eignet sich nicht zum Trinken und auch nicht zur Bewässerung von

Tab. 1.1-1: Inhaltsstoffe von Meer- und Süßwasser in % des jeweiligen Salzgehaltes (aus SCHWOERBEL 1987).

	Meerwasser	Flusswasser
CO_3^{2-}	0,41 (HCO_3^-)	35,15
SO_4^{2-}	7,68	12,14
Cl^-	55,04	5,68
NO_3^-	-	0,90
Ca^{+2}	1,15	20,39
Mg^{+2}	3,69	3,41
Na^+	30,62	5,79
K^+	1,10	2,12
$(\text{Fe,Al})_2\text{O}_3$	-	2,75
SiO_2^-	-	11,67
$\text{Sr}^{+2}, \text{HBO}_3, \text{Br}$	0,31	-
	100,00	100,00

Pflanzen. Das Meer- und Brackwasser, das rund 94,23% des Wasservorkommens auf der Erde ausmacht, kann daher aufgrund seines zu hohen Salzgehalts nicht in der Landwirtschaft und nicht als Lebensmittel verwendet werden. Die restlichen 5,77% sind Süßwasser; davon liegen 3,84% als Grundwasser und 1,92% gefroren als Gletscher, Schnee und Permafrost vor. Insgesamt sind weniger als 0,2% den Menschen bei einer sehr ungleichmäßigen Verteilung auf der Erde zugänglich.

Eine weitere wichtige Eigenschaft des Wassers ist seine Dichteanomalie (s. auch Kap.1.2: Gordalla et al.). Sie ist nicht nur für das große marine Förderband, sondern auch für das Leben in Binnengewässern von besonderer Bedeutung. Durch diese bedingt, kann ein Gewässer bei niedrigen Temperaturen während der kalten Monate des Jahres nicht bis zum Boden zufrieren. Kühlt das Oberflächenwasser ab, sinkt es aufgrund der Dichtezunahme in tiefere Schichten (thermische Konvektion). Dieser Prozess wird bis zum Erreichen der maximalen Dichte bei 4°C fortgesetzt. Nimmt die Temperatur bis 0°C oder weiter ab, friert das Gewässer (Wasser mit Salzgehalt <2%) an der Oberfläche zu, die Eisschicht isoliert das Wasser der unteren Lagen und schützt es vor weiterer Abkühlung. Die Wassertemperatur der unteren Schichten bleibt in tiefen Seen der gemäßigten Zonen bei 4°C. Diese Eigenschaft des Wassers ist besonders wichtig für das Überwintern der Pflanzen und Tiere in Seen und Flüssen. Probleme treten nur bei extrem kalten Wintern längerer Dauer auf, da die Eisdecke den Eintritt von atmosphärischem Sauerstoff verhindert. Da die biologischen Prozesse auch bei dieser Temperatur fortgesetzt werden, kann es zu Sauerstoffmangel kommen.

Auch auf dem Festland prägt das Wasser die Landschaft und bestimmt je nach Verfügbarkeit des Wassers entscheidend den Charakter der Flora und Fauna. Es schafft unterschiedliche Lebensräume und gestaltet sie fortlaufend weiter. An den Flüssen sind so im Laufe der Zeit durch Erosion und Sedimentation produktive Gebiete mit einer vielfältigen Biodiversität – wie z.B. in den Flussauen – entstanden.

Später in diesem Beitrag – im Abschnitt Klima – wird auf Eigenschaften des Wassers wie Verdampfungsenthalpie und Wärmekapazität sowie deren Bedeutung für den globalen Wasserkreislauf und das Klima eingegangen. Andere wichtige Eigenschaften des Wassers (Wärmeleitfähigkeit, Oberflächenspannung u.a.) werden im Kap. 1.2: Gordalla et al. näher beschrieben.

Entstehung des Lebens im Meer

Von Gasen der Uratmosphäre ausgehend, wurden die ersten bahnbrechenden Laborexperimente zur Bildung

von Grundbausteinen des Lebens von STANLEY MILLER in den 1950er, 1970er und 1990er Jahren durchgeführt. Das Leben dürfte aber im Meer entstanden sein, und zwar in größeren Tiefen unter dem Schutz der oberen Wasserschichten. Denn damals drang auch die sehr kurzwellige UV-Strahlung bis zur Erdoberfläche vor. Die heute in großer Meerestiefe existierenden Lebensgemeinschaften, die sich auf der Basis von energiereichen Verbindungen vulkanischen Ursprungs bei Temperaturen zwischen 80° und etwa 120°C entwickelten, zeigen, dass zur Entwicklung von Leben nicht unbedingt die Sonnenstrahlung erforderlich ist. So wird angenommen, dass sich möglicherweise inmitten von giftigen Schwefelschwaden und heißer Lava aus vulkanischen Eruptionen am Meeresboden vor mehr als 3,5 Milliarden Jahren die ersten Grundbausteine für Leben gebildet haben (PRILIPP 2001, BAASKE et al. 2007, POWNER et al. 2009). Dort vorkommende Porensysteme könnten die Bildung einer hohen Konzentration von Biomolekülen (Ursuppe) erleichtert haben. Aufgrund der dort stark schwankenden Wassertemperatur ist auch die Entstehung von Replikationsreaktionen an aktiven Oberflächen durch Katalyse aktiver RNA-Moleküle (RNA=Ribonukleinsäure), wie POWNER et al (2007) postulieren, sehr gut möglich. RNA-Moleküle waren möglicherweise die ersten Vorstadien sich vervielfältigender Lebensformen.

Die ersten primitiven Lebewesen mussten unter anaeroben Bedingungen existieren, da freier Sauerstoff erst viele Millionen Jahre danach zur Verfügung stand (s. TISCHLER 1984). Erst als den Cyanobakterien (Blaualgae) die oxigene Photosynthese gelang, bei der Wasser (H₂O) statt Schwefelwasserstoff (H₂S) als H-Spender genutzt wird, wurde Sauerstoff (O₂) und nicht Schwefel (S₂) freigesetzt. Die Cyanobakterien existieren seit mindestens 2,7 Mrd. Jahren. Damit gehören sie zu den ältesten Organismen der Erde. Sie betrieben die erste Form der Photoautotrophie während des Präkambriums – der Zeit zwischen 3,8 Mrd. und 540 Mio. Jahren vor heute (ARP & BÖKER 2001). Die Anreicherung des Meerwassers mit Sauerstoff war ein bedeutender Schritt in der Evolution. Aerobe Prozesse ergeben – wie später gezeigt wird – eine viel größere Energieausbeute als anaerobe, sicherlich von Vorteil für die »Aerobier«. Die Sauerstoffzunahme im Wasser wirkte »toxisch« für die ursprünglichen Lebewesen. Die »Anaerobier« wurden dadurch allmählich aus den Oberflächengewässern in anoxische Sedimente verdrängt. Der größte Teil des durch die Photosynthese produzierten Sauerstoffs (O₂) wurde zunächst als unlösliches Eisenoxid (Fe₂O₃) und als Sulfat (SO₄⁻²) gebunden. Man schätzt, dass nur etwa 4% des im Laufe der Zeit freigesetzten Sauerstoffs in die Atmosphäre und Hydrosphäre gelangten.

Für die Entstehung des Lebens war also das Wasser grundlegend. Fast jeder chemische und biochemische Prozess setzt die Anwesenheit von Wasser voraus. Viele chemische Stoffe können nur in Lösung miteinander reagieren, d.h. ohne Wasser wäre die Bildung der Grundbausteine zur Entstehung der Ur-Organismen nicht möglich gewesen. Das ist der Grund, warum die Suche nach extraterrestrischem Leben mit dem Vorhandensein von Wasser gekoppelt ist.

Besiedlung des Festlandes und des Süßwassers

Nach Entstehung des Lebens im Meer wurde von dort aus die ganze Erde besiedelt. Hierfür waren jedoch die Schaffung einer sauerstoffreichen Atmosphäre und die Bildung der stratosphärischen Ozonschicht erforderlich. Ohne sie wäre das terrestrische Leben aufgrund des energiereichen und lebensfeindlichen UV-Anteils der Sonnenstrahlung nicht möglich gewesen.

Heute findet man sogar in Regionen mit sehr geringer Wassermenge wie den Wüsten Pflanzen und Tiere, die an Wassermangel angepasst sind. Auch in den Polarregionen mit Temperaturen häufig unter 0 °C kommen neben Pinguinen und Säugetieren wie Eisbären und Polarfüchsen natürlich auch viele einfache Lebensformen wie Algen, Pilze und Bakterien vor. Die größte Lebensvielfalt entwickelte sich in den Feuchtgebieten wie Regenwäldern, Flußauen, Seen und Sümpfen.

Die Besiedlung des Festlandes und des Süßwassers durch die Tiere soll kurz nach der Kambrischen »Lebensexplosion« im Meer vor ca. 500 Mio. Jahren angefangen haben. Damals war bereits eine dünne Ozonschicht in der Stratosphäre vorhanden. Erst vor 400 Mio. Jahren soll sie vollständig gewesen sein. Die marinen planktischen Algen waren im Kambrium wahrscheinlich die einzigen Pflanzen. HECKMAN et al. (2001) postulieren, dass die Besiedlung des Festlandes mit Pflanzen erst durch Symbiosen zwischen Photosynthese treibenden Algen und Pilzen – so wie wir sie heute noch von den Flechten kennen – ermöglicht wurde. Die ältesten Landpflanzenfossilien sind 470 Mio. Jahre alt. Die ersten Landpflanzen waren wahrscheinlich sehr zart und eroberten das Land wohl viel früher; sie konnten jedoch als Folge ihrer »feinen« Strukturen keine Spuren als Fossilien hinterlassen.

Die ersten Tiere an Land waren möglicherweise amphibisch lebende Organismen. Bei der Eroberung der Lebensräume im Binnenland war die Salzarmut die größte physiologische Barriere für die Meeresorganismen. Pflanzen und Tiere mussten sich im Laufe der Evolution durch unterschiedliche Strategien an diese neuen Verhältnisse anpassen. Am einfachsten haben

es die Meeresorganismen, die im Meer blieben. Ihr osmotischer Druck entspricht in etwa der Salinität des Meerwassers; sie sind also nicht auf eine Osmoregulation angewiesen. Am schwierigsten haben es die Pflanzen und Tiere in der Gezeitenzone und den Flussmündungen; sie müssen starke Salzschwankungen ertragen können. Hierfür müssen energieaufwändige Leistungen wie Osmose und Exkretion oder andere Mechanismen eingesetzt werden. Die Situation im Süßwasser ist ganz anders. Hier sind die Organismen einem konstant niedrigen Salzgehalt ausgesetzt. Das daraus zwischen Körper und Umwelt resultierende Konzentrationsgefälle führt zum stetigen Wassereinstrom. Der Organismus ist einerseits gezwungen, das osmotisch eindringende Wasser mit entsprechendem Energieaufwand herauszupumpen und andererseits Salze aufzunehmen (Hypertonieregulation). Die Salzaufnahme ist jedoch generell nicht spezifisch, so dass statt Kalium- und Natriumionen zum Nachteil für die Organismen z.B. auch Schwermetalle aufgenommen werden. Auch Landbewohner müssen ihren Wasser- und Elektrolythaushalt regulierend aufrecht erhalten. Pflanzen verdunsten überschüssiges Wasser und lagern Stoffwechselprodukte und Salze in Vakuolen oder absterbende Organe ein. Die Landtiere scheiden dieses mit den gelösten Stoffwechselabfällen und überschüssigen Salzen aus. Wasserverluste werden durch Trinken oder Wasseraufnahme mit der Nahrung kompensiert.

Einige Organismen wie Fische, Vögel und Säuger haben das Meer zurückerobert (sekundäre Meerestiere). Da die alten Vorteile für das Leben im Meer unwiderruflich verloren gegangen waren, mussten sie neue Strategien bzw. Organe entwickeln, um dauernd Salz auszuschcheiden und Wasser aufzunehmen. Für diesen Zweck besitzen z.B. Möwen (Gattung *Larus*) Salzdrüsen. Die neue Anpassung fordert also ihren energetischen Preis, ein Nachteil gegenüber den primären Meeresorganismen. Die zusätzliche Energie, die die Pflanzen und Tiere bei der Besiedlung neuer Lebensräume benötigen, musste zumindest teilweise durch neue Mechanismen kompensiert werden, um in den neuen Lebensräumen bestehen zu können (s. REMMERT 1984).

Verteilung der Pflanzen und Tiere

Im Meer ist das Phytoplankton der Hauptträger der Primärproduktion. Diese mikroskopischen Einzeller haben in ihrer Summe eine vielfach höhere Gesamtbio- masse und Produktivität als die Makroalgen des Kü-

** Aufgrund der Fortschritte in der Molekularbiologie und der damit verbundenen Änderungen in der Systematik ist eine genaue Angabe zurzeit nicht möglich.*

tenbereiches einschließlich der Braunalgen des Sargassomeeres. Die marine Flora beschränkt sich insgesamt auf folgende Artengruppen: Schizophyta (Bakterien, Archaeen und Cyanobakterien), Phycophyta (Grün-, Braun-, Rot-, Kieselalgen u.a.) und Mycophyta (Pilze). Höhere Pflanzen, von den Bryophyta (Moose) bis zu den Angiospermen (Blütenpflanzen), die auf dem Festland dominieren, fehlen im Meer nahezu völlig. Zu den wenigen Ausnahmen gehören die »Seegräser«, die in Weichböden des Litorals ausgedehnte Wiesen bilden können. Diese Pflanzengruppe hat aber das Meer sekundär besiedelt. Im Süßwasser fehlen die Braunalgen. Dort werden viele Moos-, Farn- und Samenpflanzen angetroffen, jedoch bei weitem nicht so viele Arten wie auf dem Festland.

Im Gegensatz zur marinen Flora, die auf die oberste Wasserschicht mit genügend Licht für die Photosynthese begrenzt ist und daher systematisch bereits sehr gut erfasst wurde, ist die Fauna weit weniger bekannt. Vor allem die Tiere aus Tiefseegebieten sind nur lückenhaft erfasst. Die weltweit inventarisierten Tierarten werden durch die Fauna des Festlandes dominiert. 70% davon gehören zur Tiergruppe Insecta. Nur ca. 20% sind aquatisch, obwohl über 75% der Erdoberfläche mit Wasser bedeckt sind. Davon lebt nur 1/6 im Meer. Betrachtet man aber die 30–36* großen Tiergruppen (SMITH & SMITH 2009), so ist zu konstatieren, dass alle im Meer vertreten sind. Nur etwa 40% von ihnen haben sich an der Besiedlung des Festlandes beteiligt. Das spiegelt die Rolle des marinen Lebensraums in der Evolution wider. Die explosionsartige Entfaltung der Insekten und auch der Wirbeltiere auf den Kontinenten steht höchstwahrscheinlich im Zusammenhang mit der vielfältigen Gliederung und den Isolationsmöglichkeiten auf dem Festland, die einen hohen Wirkungsgrad auf die Evolution haben. Der konservative Charakter des marinen Lebensraums zeigt sich durch die große Anzahl von Artengruppen, die seit Jahrmillionen in kaum veränderter Form bis heute erhalten geblieben sind.

Nicht unerwähnt bleiben sollen hier die »unendlich kleinen Mikroorganismen mit der gleichfalls unendlich großen Rolle« in der Natur (LOUIS PASTEUR). Mikrobiologen schätzen, dass sie mehr als die Hälfte der auf der Erde vorkommenden Biomasse ausmachen. Höchstens 1% aller existierenden Bakterienarten wurde bis jetzt erfasst. Ohne Mikroorganismen wäre der stetige Kreislauf von Produktion und Abbau von organischem Material und Biomasse nicht möglich. Es gibt keine natürliche Substanz, die nicht mikrobiologisch abgebaut oder umgewandelt werden könnte. SCHWOERBEL (1987) gibt folgende sommerliche Bakterienzahlen pro Liter Wasser an: 50–340 für oligotrophe und 1.000–57.900 für eutrophe Seen. Auch im Meer können die Bakte-

rienzahlen in Abhängigkeit von der Konzentration der organischen Stoffe stark variieren. Da hier der Boden der Ort des Geschehens ist, leben dort ca. 95% aller Mikroorganismen (PRILLIPP 2001). So wurden bei einer Wassertiefe von 2.300 m je Gramm Meeressediment der obersten Schicht (0–10 cm) 62.000.000 aerobe und 8.900.000 anaerobe Bakterien gezählt (TARDENT 1979).

Überleben durch »Kooperation« (Symbiose)

Bei ungünstigen Bedingungen – wie bei Sauerstoffmangel im Sediment der Gewässer – wird oft eine Art Partnerschaft (Symbiose) zwischen zwei oder drei Partnern beobachtet, bei der Wirt und Symbionten gegenseitig voneinander profitieren. Ohne diese Kooperation hätte sich das Leben auf der Erde nicht entwickeln können (s.o.) und die Evolution von vielzelligen Organismen wäre nicht möglich gewesen. Hierbei spielt die Endosymbiose bei der Entstehung der Plastiden und Mitochondrien eine wichtige Rolle. In letzter Zeit wurde dank der molekularbiologischen und biochemischen Methoden eine Vielzahl von Symbiosen im Pflanzen- und Tierreich entdeckt bzw. besser verstanden. Abb. 1.1-2 zeigt die Partnerschaft zwischen *Leptonemella* (Wirt) und Schwefelbakterien (Symbionten). Eine ungewöhnliche Partnerschaft bildet der darmlose Oligochaet *Olavius algarvensis* (Wirt) mit Schwefel- und Sulfatbakterien (primäre und sekundäre Symbionten). Die Schwefelbakterien nutzen H_2S als H-Spender. Die dabei gewonnene Energie dient dazu, aus CO_2 Kohlenhydrate zu bilden. Die Sulfatbakterien sorgen dafür, dass den Schwefelbakterien ständig genügend H_2S durch Reduktion von Sulfat (SO_4^{2-}) zur Verfügung steht (DUBILIER et al. 2001).

Bedeutung des Wassers für die Lebensprozesse

Wasser ist sowohl außerhalb als auch innerhalb der Organismen essentiell für alle Lebensprozesse. Ein Zeichen für die Bedeutung des Wassers für die Organismen ist deren hoher Wassergehalt. Pflanzen und Tiere an Land bestehen zu 50 bis 80% aus Wasser. Einige Wasserpflanzen und –tiere wie Meeresalgen, gallertige Zitteralgen, Medusen und Quallen enthalten sogar 90–99% Wasser. Bei Landorganismen können die Wasserwerte sogar zwischen den verschiedenen Organen sehr unterschiedlich sein. Früchte wie Tomate und Gurke enthalten 93–95% Wasser; Obst, Beeren und Blätter vieler Pflanzen 80–90%, frisches Holz 50%, Getreidekörner 10–13%, Walnuss- und Haselnusskerne 7% (TISCHLER 1984). Auch der Mensch besteht überwiegend aus Wasser; sein Wassergehalt ändert sich aber im Laufe des Lebens: Neugeborene enthalten 70–80%,

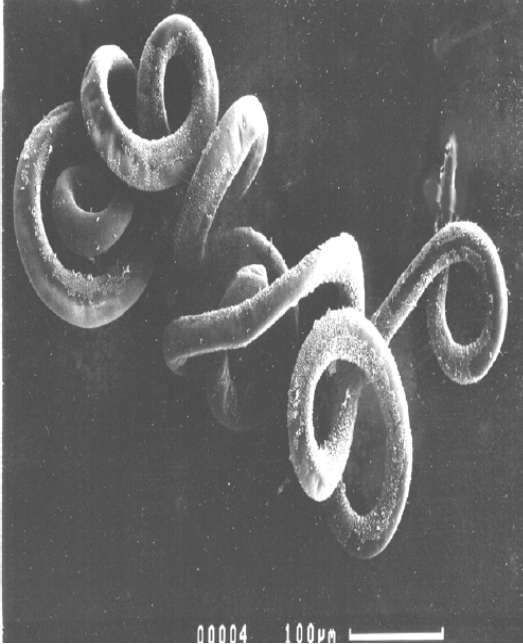
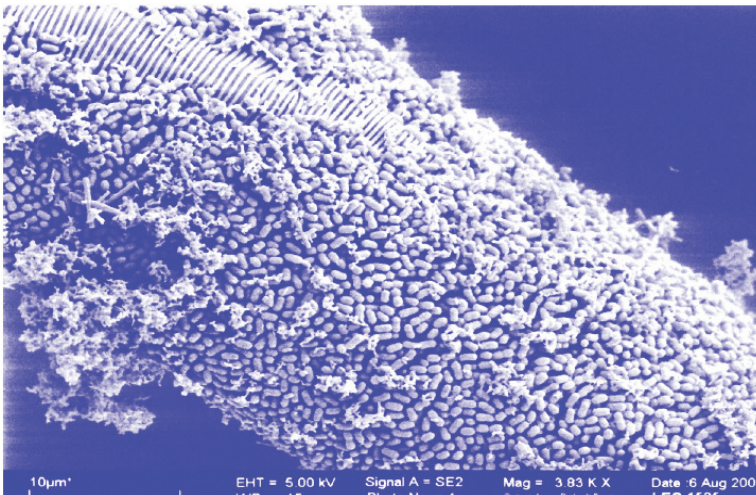


Abb. 1.1-2: Überleben durch »Kooperation« zwischen dem darmlosen Oligochaet (*Olavius algarvensis*) (Wirt) (oben), den Schwefelbakterien (1. Symbiont) und den Sulfatbakterien (2. Symbiont). Das untere Bild zeigt die Bakterien auf dem Wirt. Die Schwefelbakterien verwenden H_2S als H-donor. Die bei der Reduktion von H_2S gewonnene Energie dient zur Kohlenhydratsynthese aus CO_2 und H_2O . Die Kohlenhydrate werden durch den Wirt genutzt. Die Sulfatbakterien stellen durch den Verbrauch des entstandenen SO_4^{2-} den Schwefelbakterien genug H_2S zur Verfügung (DUBILIER et al. 2001). Viele Formen von Symbiosen wurden dank der modernen Molekularbiologie und biochemischen Methoden in der letzten Zeit entdeckt. Für viele Organismen ist die »Kooperation« der einzige Weg zum Überleben. Als Folge des Klimawandels wird die Knappheit von Wasser in den ariden Regionen das Problem Nr.1 sein. Die benachbarten Länder in diesen Regionen müssen als einzigen Ausweg miteinander kooperieren (Foto: O. Giere - mit freundlicher Genehmigung).



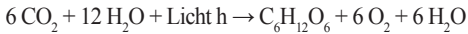
Kinder ca. 70% und Erwachsene ca. 65%. Im menschlichen Körper ist das Wasser unterschiedlich verteilt. Je nach Funktion enthalten die verschiedenen Organe unterschiedliche Wassermengen. So findet man beispielsweise im Blut und in den Nieren etwa 84% sowie in der Haut und im Muskel ca. 75% Wasser; in den Knochen dagegen rund 25%.

Bei der Ernährung ist die Sicherung des Wasser- und Ionenhaushaltes lebenswichtig. Das Wasser mit seinen Nährsalzen ist daher eine Voraussetzung für das Wachstum der Pflanzen, Tiere und Menschen. Ohne Wasser würden die Pflanzen ihre Nährstoffe nicht aufnehmen können, da sie in Lösung sein müssen. Die

Wassermenge bzw. die Feuchtigkeit der Umgebung muss im optimalen Bereich liegen. Zu geringe oder zu hohe Feuchtigkeit kann sich lebenslimitierend auswirken oder würde zu physiologischen Störungen der jeweiligen Organismen führen. Bei ungünstigen Bedingungen sterben bei den Pflanzen zunächst einige Organe und dann die ganze Pflanze. Bei den Tieren tritt der Tod unmittelbar ein, wenn zu wenig Wasser aufgenommen wird. Sehr wichtig ist die Beobachtung, dass die optimale Wassermenge nicht irgendwann, sondern vor allem während der empfindlichen Entwicklungsphase zur Verfügung stehen muss. Beispielsweise kann bei Weizen eine limitierte Wasserversorgung während

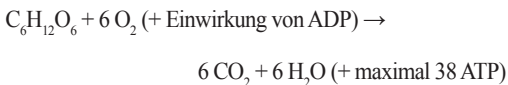
der Vegetationsphase zu niedrigen Erträgen führen und einige Mückenlarven können sich in ausgetrockneten Böden nicht verpuppen.

Bei der Photosynthese bilden Pflanzen und Cyanobakterien Kohlenhydrate ausgehend vom Wasser (H_2O) und Kohlendioxid (CO_2) mit Hilfe von Sonnenlicht gemäß folgender Gleichung:



Bei der Chemosynthese werden ebenfalls Kohlenhydrate gebildet, wobei als anorganische Ausgangsbausteine Wasser und Kohlendioxid genutzt werden. Dabei wird die erforderliche Energie – wie bereits oben erwähnt – aus anorganischen Oxidationsprozessen gewonnen. Die Chemosynthese und vor allem die Photosynthese sind die wichtigsten biochemischen Vorgänge auf der Erde, ohne die das Leben der Pflanzen und Tiere nicht möglich wäre. Tiere, aber auch Pflanzen nutzen die Produkte von Photosynthese und Chemosynthese zur Deckung ihres Energiebedarfs. So werden beim aeroben Abbau, der Glykolyse, eines Mols Glucose (Kohlenhydrat) im Körper 2.872 kJ Energie gewonnen.

Unter Glykolyse versteht man den Abbau von Glucose über Fructosebisdiphosphat und 3-phosphoglycerat bis zum Pyruvat. Bei der weiteren Umwandlung des Pyruvats mündet der Stoffwechsel in den Citratzyklus und die Atmungskette. Die Gesamtbilanz der Zellatmung kann vereinfacht folgendermaßen zusammengefasst werden:



Aus einem Mol Glucose und sechs Mol Sauerstoff werden also sechs Mol Kohlendioxid und sechs Mol Wasser gebildet. Das aus ADP (Adenosin-5'-diphosphat) gebildete ATP (Adenosin-5'-triphosphat) als Energiespeicher wird zur Synthese körpereigener Substanzen genutzt. Ein anaerober Abbau (Gärung) endet dagegen nach der Glykolyse unter Bildung von Milchsäure (»Lactat-Bildung«).

Innerhalb des menschlichen Organismus übernimmt das Wasser viele Funktionen. Physikalisch dient das Wasser als Transportmittel für die aufgenommenen Nährsalze und andere lebenswichtige Stoffe, wie Enzyme und Hormone, zu den verschiedenen Organen oder für die Beseitigung von Abfall und toxischen Stoffen. Ein erwachsener Mensch von 70 kg Masse benötigt bei mäßigen Temperaturen und normaler körperlicher Belastung pro Tag etwa 2 Liter Wasser. Etwa 1 Liter wird durch wasserhaltige Nahrung aufgenommen, der

Rest durch Trinken. Ein Teil des Wassers wird durch Stoffwechselprozesse verbraucht, zirkuliert im Körper oder wird mit Harn, Kot, Schweiß und Atemluft ausgeschieden. Wasser regelt auch die Körpertemperatur durch Entzug von Wärme durch Verdunstung. Erhöhter Wasserbedarf aber auch erhöhter Salzbedarf ergibt sich bei körperlichen Anstrengungen und bei Hitze sowie Leben in wärmeren Klimaten (Mehr dazu im Buch »Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken«).

Anpassung von Pflanzen und Tieren an die Wasserverfügbarkeit

Im Zuge der Evolution von Pflanzen und Tieren wurden verschiedene Strategien für die Anpassung an regionale und saisonale Unterschiede in der Verfügbarkeit von Wasser entwickelt, mit dem Ziel, den Fluss von Wasser durch die Organismen zu regulieren und so eine ausgeglichene Balance in der Hydrierung der Organismen zu gewährleisten (ACKERLY et al. 2000). Balance beschreibt den physiologischen Status eines Organismus, bei dem die Aufnahme von Wasser dem Verbrauch durch Stoffumsatzprozesse, dem Verlust über die Haut und durch transpiratorische Aktivitäten (Evapotranspiration) sowie der Exkretion von Stoffwechselprodukten entspricht.

Pflanzen: Bei höheren Pflanzen kam es zu morphologischen Anpassungen, wie längere Wurzeln zum Erreichen tieferer Wasserquellen, horizontal ausgedehnte Wurzelsysteme zur Maximierung der Aufnahme von Wasser und Änderungen in der Größe, Form und Struktur von Blättern zur Reduzierung der Evapotranspiration. Von besonderem Interesse sind physiologische und biochemische Anpassungen, mit dem Ziel transpiratorische Flüsse und damit den Wasserbedarf zu reduzieren.

Eine ökophysiologische Strategie ist es, die Spaltöffnungen möglichst lange geschlossen zu halten und das daraus resultierende geringere CO_2 -Angebot mit einer zusätzlichen sehr effizienten CO_2 -Pumpe zur Verbesserung der CO_2 -Aufnahme zu nutzen. Dies ist bei den so genannten C4-Pflanzen realisiert, die ihren Namen dem Umstand verdanken, dass bei ihnen – anders als bei den C3-Pflanzen – als ein erstes Zwischenprodukt der Photosynthese eine Verbindung mit vier Kohlenstoffatomen gebildet wird. Der C4-Typ der Photosynthese ist bei vielen einkeimblättrigen Pflanzen weit verbreitet. Beispielsweise bei vielen in offenen Landschaften mit ausgeprägter Hitzeeinwirkung und semi-ariden Bedingungen wachsenden Gräsern. Zu den C4-Pflanzen gehören aber auch landwirtschaftlich genutzte Pflanzen wie Mais, Hirse und Zuckerrohr.

Aufgrund ihrer höheren Effizienz in der Nutzung

von Wasser können C4-Pflanzen bei begrenzter Verfügbarkeit von Wasser zwei- bis dreimal so viel Biomasse bilden als weniger gut angepasste C3-Pflanzen. Dies wird bei der Auswahl für den Anbau in Regionen mit Mangel an Wasser vermehrt zu berücksichtigen sein (vgl. Kap. 2.3: Chmielewski und 4.9: Breckle & Küoers). Eine andere – von Crassulaceen und anderen Succulenten unter Einschluss von Grapefruit und Kakteen – angewendete Strategie ist die Anwendung der so genannten CAM-Photosynthese (Crassulacean Acid Metabolism). Diese öffnen ihre Spaltöffnungen nur während der Nacht, bilden in dieser Zeit C4-Säuren (z.B. Apfelsäure), und beenden die Photosynthese dann unter Nutzung dieser Zwischenprodukte unter Lichteinfluss am folgenden Tage. Die Wassereffizienz der CAM-Pflanzen (messbar als g Zugewinn an Biomasse pro g Wasserverlust) ist wesentlich höher als bei C3-Pflanzen und auch doppelt bis 10 mal höher als bei C4-Pflanzen. Von landwirtschaftlicher Bedeutung sind vor allem Ananas, Feigenkaktus, Sisal-Agave und Blaue Agave, succulente Pflanzen, die auch in semi-ariden Gebieten mit geringen Niederschlägen und hoher Evaporation angebaut werden.

Tiere: Wie die Pflanzen haben auch Tiere Strategien zum Überleben unter Wassermangel entwickelt. Sie versuchen das für ihre Gesundheit erforderliche Wasser-Gleichgewicht durch verschiedene morphologische und physiologische Anpassungen und insbesondere durch Anpassungen im Verhalten zu erreichen (CAIN et al. 2005). Morphologische Anpassungen beinhalten Körpergröße und Körperform, Haut und Felltyp, wie auch die Verteilungsmuster von Fettpolstern, all das von Bedeutung für Wärmeregulation und die Kontrolle der Wasserverluste durch Verdunstung. Physiologische Anpassungen betreffen die Einstellung des Grundumsatzes, die Reduktion von Flüssigkeitsverlusten mit Kot und Harn, wie auch Erhöhung der Temperatur, die zum Einsetzen von Schwitzen führt und langsames und tiefes Durchatmen.

Anpassungen im Verhalten sind der Aufenthalt in kühleren beschatteten Mikrohabitats, um das Erfordernis evaporativer Abkühlung zu mindern, nächtliche Futtersuche unter Nutzung von Futterpflanzen, die nachts mehr Wasser gebunden haben, veränderte Fortpflanzung und teils große Wanderungen zum Aufsuchen von Nahrungs- und Wasserquellen.

Große Unterschiede bestehen hinsichtlich des Umsatzes von Wasser und der Fähigkeit und Flexibilität einzelner Arten, physiologische Funktionen an den individuellen Hydrierungs-Status anzupassen. Es gibt auch große Unterschiede im Ausmaß, in dem Dehydrierung ertragen werden kann. Ein Kamel kann auch bei einem Wasserverlust von 40% der Körpermasse überleben,

während bei anderen Arten, wie bei dem Wasserbock bereits ein Wasserverlust von 15% zum Tode führen kann (TAYLOR et al. 1969, LOW 1984). Beim Menschen ist bekannt, dass bereits kurzfristige Wasserverluste von nur 1–2% den Elektrolyt-Gehalt der Körperflüssigkeiten mit Schädigungen des Herz-Kreislaufsystems, reduzierter Fitness und mentalen Beeinträchtigungen stören (SAWKA 1992, ARMSTRONG & EPSTEIN 1999).

Rolle des Wassers für das Klima

Auch für das Klima, das die Entfaltung des Lebens ermöglicht hat, ist das Wasser von großer Bedeutung. Wasserdampf ist das wichtigste natürliche Treibhausgas in der Atmosphäre. Ohne Treibhausgas würde die mittlere Temperatur an der Erdoberfläche nicht 15 °C, sondern -18 °C betragen. Zu diesem natürlichen Treibhauseffekt von 33 °C trägt der Wasserdampf in der Troposphäre mit ca. 20,6 °C bei. Damit sorgt hauptsächlich das Wasser dafür, dass die Erde kein Eisball wird. Der restliche Treibhauseffekt ist überwiegend auf Kohlendioxid (7,2 °C) und Ozon (2,4 °C), aber auch Distickstoffoxid (1,4 °C), Methan (0,8 °C) und andere Gase (0,6 °C) in der Atmosphäre zurückzuführen (LOZÁN et al. 2001).

Im Zusammenhang mit der Rolle des Wassers im Klimasystem müssen die Wärmekapazität und Dichteanomalie des Wassers (höchste Dichte bei 4 °C) erwähnt werden. Aufgrund dieser Eigenschaften sind Temperatur und Salzgehalt (und damit die Dichte) die treibenden Kräfte der thermohalinen Komponente der Meeresströmungen (s. Kap. 1.5: Hupfer & Helbig). Dazu gehören z.B. nach Norden gerichtete Strömungen im Nordatlantik. Im Gebiet der so genannten GIN-See (Grönland-Island-Norwegen-See) wird das anströmende, relativ warme und salzreiche Wasser durch Wärmeabgabe an die kalte Luft von 10 °C bis zum Gefrierpunkt abgekühlt. Dadurch steigt die Dichte des Wassers kleinräumig so weit an, dass große Mengen Oberflächenwassers bis zu 2.000 m gravitationsbedingt absinken können. Die absinkenden, sich in der Tiefe wieder südwärts bewegenden Wassermassen wirken wie ein Sog, der oberflächennah die Ausläufer des Golfstroms weit nach Norden fließen lässt. Er bildet einen Teil des großen marinen »Förderbandes«, das sich mit einer Umlaufdauer der Größenordnung von 1.000 Jahren über die drei Ozeane erstreckt und das Erdklima erheblich mit bestimmt.

Die Weltmeere absorbieren dreimal mehr Sonnenenergie als die Landoberflächen. Durch ihre hohe Wärmekapazität und langsame Abkühlung dämpfen sie das Klima zusätzlich. Dadurch entsteht das gemäßigte maritime Klima über See im Gegensatz zum kontinentalen

Klima über den Kontinenten mit seinen thermischen Kontrasten im Tages- und Jahresgang.

Mit der Verdunstung des Wassers wird latente Wärme in die Atmosphäre (Verdampfungsenthalpie) übertragen (s. Kap.1.6: Quante). Durch die Luftzirkulation wird diese Wärme in Form von Wasserdampf über große Distanzen verteilt. Auf diese Weise trägt der atmosphärische Wasserdampftransport – wie die Meeresströmungen – ganz wesentlich zum Abbau von Temperaturgradienten bei.

Bedeutung für die Gesellschaft

Das Wasser gestaltet nicht nur die Landschaft und ermöglicht eine vielfältige Flora und Fauna, sondern es schafft auch günstige Gebiete für die Entwicklung von Städten. Flüsse transportieren Nährstoffe, die in flachen Gebieten sedimentieren. So sind sehr fruchtbare Flächen auch für die Landwirtschaft entstanden. Ausgehend von diesen guten Bedingungen entwickelten sich die früheren Hochkulturen beispielsweise am Ufer des Nils (Ägypten) und am Zweistromland zwischen Tigris und Euphrat (Mesopotamien). Die großen Städte der Welt liegen oft auch an bedeutenden Gewässern, die häufig als Transportwege genutzt werden.

Für den Menschen ist Wasser auch ein essentielles Nahrungsmittel, da er täglich ca. 2,0 Liter Wasser aufnehmen soll. Die Gesundheit des Menschen hängt auch von der Qualität des Wassers ab. So dürfen möglichst keine Krankheitserreger enthalten sein und toxisch wirkende Substanzen nur in geringen Mengen, wenn es dauerhaft als Trinkwasser genutzt werden soll. Im Haushalt fallen insgesamt 6% des globalen Verbrauchs an. Ein weiterer Anteil des Wassers (9%) dient in der Industrie zur Produktion von Zement, Papier, Kohlenwasserstoffen u.a. (In einem Industrieland wie Deutschland ist der Anteil mit 23% viel höher). Um das Grundwasser und die Oberflächengewässer nicht zu beeinträchtigen, muss für eine ausreichende Reinigung nicht nur in Städten gesorgt werden. Als Kühlwasser in Wärmekraftwerken finden 10% Verwendung. Dieser Anteil fließt in die Gewässer – allerdings erwärmt – zurück. Der mit Abstand größte weltweite Wasserverbrauch von 75% entfällt auf die Nahrungsproduktion durch die Landwirtschaft (Im regenreichen Deutschland jedoch nur 3%). Beispielsweise werden oft mehr als 1.000 Liter Wasser benötigt, um 1 kg Brot zu erzeugen. Um deutlich zu machen, wie hoch der globale Wasserverbrauch bei der Erzeugung, dem Verbrauch und der Entsorgung von Nahrungsmitteln und Konsumgütern ist, wurde für die benötigte Wassermenge der Begriff des »virtuellen Wassers« eingeführt. In einem 1 kg Brot sind z.B. 1.000 Liter Wasser »virtuell« enthalten (Lo-

zán et al 2011). Wasser in ausreichender Menge und ertragreiche Nahrungsproduktion sind daher sehr eng miteinander gekoppelt. Infolge der ungleichmäßigen Verteilung des Wassers in der Welt kommt es in einigen Regionen der Erde bereits heute zu Engpässen bei der Wasserversorgung. Wie in der Vergangenheit wird weiterhin in zahlreichen Bewässerungsprojekten zur Erweiterung der bewässerten Flächen investiert. Die UNO gibt als untere Grenze 1.000 m³ je Person und Jahr als Mindestwasserbedarf für alle Aktivitäten (Landwirtschaft, Industrie und Haushalt) an. Danach leiden bereits heute 500 Mio. Menschen an Wassermangel. Im Jahr 2025 werden es wahrscheinlich 3.000 Mio. sein. Das Hungerproblem droht sich zu verschärfen.

Für den Menschen dient das Wasser auch als Eiweißlieferant. Die in den Meeren sowie in den Flüssen und Seen enthaltenen Nährstoffe führen zu einer Massenentwicklung von Pflanzen und vor allem Tieren, die lohnende Nahrungsquellen darstellen. Durch die Fischerei im Meer und in Binnengewässern wurden 2008 89,7 Mio. t Fische, Mollusken, Krebstiere u. a. weltweit angelandet. Hinzu kommen 16,8 Mio. t Pflanzen aus der Fischerei und Aufzucht. Ferner werden Aquakultur-Anlagen sowohl im Meer als auch im Süßwasser betrieben, die 2008 eine Ernte von 52,5 Mio. t ergaben (FAO 2010).

Schlussbetrachtung

Das Wasser ist die treibende Kraft für die Entfaltung der Lebensvielfalt auf unserem Planeten. Ohne Wasser in ausreichender Menge und Qualität hat auch die Menschheit keine gesicherte Zukunft. Das Wasser ist an allen lebenswichtigen Prozessen der Erde beteiligt und übernimmt eine zentrale Funktion. Das Wasser ist der größte Schatz, den die Menschheit von der Natur geerbt hat. Aus diesen Gründen muss das Wasser – wie das Klima und die Artenvielfalt - unter den Schutz der Vereinten Nationen durch eine Wasserkonvention gestellt werden. Nur dadurch kann die Bewahrung der Biodiversität gewährleistet und der Verlust der biologischen Vielfalt gestoppt werden. Damit hängen auch die Restaurierung der trockengelegten Feuchtgebiete und die Sanierung der Seen und Flüsse zusammen.

Die ungleiche Verteilung des Wassers auf der Erde muss solidarisch gelöst werden. Die technologisch weit entwickelten Länder sollen durch die Einführung neuer kostengünstiger Verfahren helfen, dass das Wasser in der bewässerten Landwirtschaft effizienter genutzt wird, um bei gleichem Wasserverbrauch die Nahrungsproduktion zu erhöhen, ohne die Böden z.B. durch Versalzung zu degradieren. Da das Recht auf Zugang zu gutem Wasser ein Menschenrecht ist (Deklaration

der UN vom 28. Juli 2010), sollte mit einer Wasserkonvention dafür gesorgt werden, dass die Rahmenbedingungen dafür geschaffen werden, dass auch die nächsten Generationen weltweit über ausreichend Wasser verfügen können.

Literatur

- ACKERLY D. D., S. E. SULTAN, J. SCHMITT, J. S. COLEMANN, C. R. LINDER, D. R. SANDQUIST, M. A. GEBER, A. S. EVANS, DAWSONTE & M. J. LECHOWICZ (2000): The evolution of plant ecophysiological traits: Recent advances and future directions. *Bio Science* 50/11: 979-995.
- ARMSTRONG L. E. & V. EPSTEIN (1999): Fluid-electrolyte balance during labor and exercise: concepts and misconceptions. *Int. J. Sport Nutr.* 9: 1-12.
- ARP G. & CHR. BÖKER (2001): Was fossile Cyanobakterien über urzeitliche Ozeane verraten. *Innovation* 10:8-9.
- BAASKE PH., F. M. WEINERT, S. DUHR, K. H. LEMKE, M. J. RUSSELL & D. BRAUN (2007): Extreme accumulation of nucleotides in simulated hydrothermal pore systems. *PNAS*. 104(22): 9346-9351.
- CAIN III J. W., P. R. KRAUSMAN, S. S. ROSENSTOCK & J. C. TURNER.(2005): Literature Review and Annotated Bibliography: Water Requirements of Desert Ungulates. USGS Open-File Report 2005-1141. U.S. Geological Survey, Southwest Biological Science Center, Sonoran Desert Research Station, University of Arizona, Tucson, AZ.
- DUBILIER N., C. MULDER, T. FERDELMAN, D. DE BEER, A. PERNTHALER, M. KLEIN, M. WAGNER, C. ERSÉUS, F. THIERMANN, O. GIÉRE & R. AMANN (2001): Endosymbiotic sulphate-reducing and sulphide-oxidizing bacteria in an oligochaete worm. *Nature* 411: 298-302.
- Ehleringer J. R. & B. K. monson (1993): Evolutionary and ecological aspects of photosynthetic pathway variation. *Annual Review of Ecology and Systematics* 14: 411-439.
- FAO (2010): FAO Fishstat.
- Heckman S. D., D. M. Geiser, B. R. Eidell, R. L. Stauffer, N. L. Kardos & S. B. Hedges (2001): Molecular Evidence for the Early Colonization of Land by Fungi and Plants. *Science* 10 August 2001: Vol. 293. no. 5532, 1129 – 1133. DOI: 10.1126/science.1061457.
- Louw W. N. (1984): Water deprivation in herbivores under arid conditions. In: Gilchrist F. M. C. & R. I. Makie (eds). *Herbivore nutrition in the subtropics and tropics* - The Science Press, Ltd. Craighall South Africa.
- LOZÁN J. L., H. GRASSL & P. HUPFER (Hrsg.) (2001): *Climate of the 21st Century: Changes and Risks. Scientific Facts. Wissenschaftliche Auswertungen*, Hamburg. 448 pp.
- LOZAN, J. L. & L. KARBE (2012): Herkunft des Wassers, Entstehung des Lebens im Meer und der Verbleib des früheren Kohlendioxids. In: Warnsignal Klima: Die Meere - Änderungen und Risiken (in Druck)
- MARCINEK J. & E. ROSENKRANZ (1996): *Das Wasser der Erde*. Gotha. 3. Auflage. 328 pp.
- PHILIPP A. (2001): Heißes Leben im Verborgenen. *Max-PlanckForschung* 2/2001:77-81.
- POWNER M., B. GERLAND & J. SUTHERLAND (2009): Synthesis of activated pyrimidine ribonucleotides in prebiotically plausible conditions. *Nature* 459, p. 239-242 (14. Mai 2009).
- REMMERT H. (1984): *Ökologie*. Springer-Verlag, 3. erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg, Tokyo. 334 pp.
- SAWKA M. (1992) Physiological consequences of hypohydration: exercise performance and thermoregulation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24:657-670.
- SMITH TH. M. & R. L. SMITH (2009): *Ökologie*. Pearson Education, 2009 - 982 pp.
- SCHWORBEL J. (1987): *Einführung in die Limnologie*. G. Fischer Verlag, Stuttgart. 269 pp.
- TARDENT P. (1979): *Meeresbiologie*. Thieme Verlag, Stuttgart. 381 pp.
- TAYLOR C.R., C. A. SPINAGE & C. P. LYMAN (1969): Water relations of the waterbuck, an east African antelope. *American Journal of Physiology*. 222: 114-117.
- TIELEMANN B.I., J. B. WILLIAMS & P. BLOOMER (2002): Adaptation of metabolism and evaporative water loss along an aridity gradient. *The Royal Society*. Published online 10 Dec. 2003.
- TISCHLER W. (1984): *Einführung in die Ökologie*. 3. Auflage. G. Fischer Verlag, Stuttgart. 437 pp.

Dr. José Luis Lozán
 Universität Hamburg
 Wissenschaftliche Auswertungen
 Basselweg 5 - 22527 Hamburg
 Lozan@uni-hamburg.de

Dr. Ludwig Karbe
 Universität Hamburg - Institut für Hydrobiologie
 Olbersweg 24 - 22767 Hamburg
 Karbe@uni-hamburg.de

Dr. Ullrich Neukirch
 Hamburg
 Ullimaus1@freenet.de