

## Wasser

(Aus meinem Buch „Energie, Entropie, Leben“, Ergänzung 6)

Wasser hat eine ganze Reihe von vergleichsweise außergewöhnlichen Eigenschaften, die für Leben wie wir es für unsere irdischen Verhältnisse kennen, von elementarer Bedeutung sind, und die im Wirken der Evolution in die Systementwicklung des Lebens integriert wurden. Diese Tatsache wird häufig als ein weiterer Mosaikstein in der Beweisführung für eine Lenkung hin zu menschlichem Leben gewertet. Immer wieder begegnet man z.B. der Überzeugung eines Erinnerungsvermögens von Wasser.

Zitat: Homöopathische Wirkung: Hat Wasser ein Gedächtnis? *„Fünfzehn Jahre nach Skandalen um angeblich wissenschaftlichen Nachweis der Homöopathie sagt wieder ein Wissenschaftler "Ja"."*

*In homöopathischen Arzneimitteln werden chemische Substanzen zum Teil so stark mit Wasser verdünnt, dass in der Dosis, die dem Patienten verabreicht wird, kein einziges Molekül der Ursprungssubstanz mehr vorhanden ist. Die Homöopathen glauben jedoch, dass im Wasser irgendwie die "Information" des Arzneimittels gespeichert bleibt. Der Schweizer Chemiker Louis Rey wird in einer der kommenden Ausgaben der Fachzeitschrift Physica A experimentelle Ergebnisse vorstellen, die diese Annahme unterstützen. Das berichtet das Wissenschaftsmagazin New Scientist (Ausgabe vom 14.06.2003)“.*

Es ist also schon etwas dran an der Vermutung, dass die unerklärliche Neigung mancher Mensch dieser Plazebo“wissenschaft“ zu vertrauen einer unterschwellig, unausgesprochenen Neigung zu Magie entspringt.

So die Sichtweise, wenn man davon ausgeht, dass die Entwicklung sozusagen durch Intelligentes Design auf vorbestimmten Gleisen verlaufen ist. Ich bin aber, wie bereits mehrfach erörtert, eher der Ansicht, dass Leben sich an die Möglichkeiten und Grenzen, die anorganisch vorgegeben waren, selbstorganisierend angepasst hat und mit dem „gearbeitet“ hat, was zur Verfügung stand. Wasser wurde u.a. genutzt, weil es in riesigem Überschuss nahezu überall präsent war und in den passenden Aggregatzuständen vorlag. (S.u.: Wasserentropie)

Erinnerungsvermögen ist gebunden an eine stoffliche Basis sowie einen Schreib- und Lesemechanismus für gespeicherte Informationen, der mit dieser stofflichen Basis geordnet kommunizieren kann. Man braucht nur an das Beispiel der genetischen Information oder an die Datenverarbeitung im IT-Sektor zu denken, um zu sehen: Da ist nichts, was in Wasser diese Funktion leisten könnte. Auch die Tatsache, dass Wasser über van der Waalsche Kräfte

(Wasserstoffbrückenbindungen, s.u.) kurzlebige, temperaturabhängige Strukturen aufbauen kann, ist keine Basis oder Beweis eines solchen Wasser-Gedächtnisses.

*WIKIPEDIA: "Weil Wassermoleküle Dipole sind, besitzen sie ausgeprägte zwischenmolekulare Anziehungskräfte und können sich durch Wasserstoffbrückenbindung zu Clustern zusammenlagern. Dabei handelt es sich nicht um beständige, feste Verkettungen. Der Verbund über Wasserstoffbrückenbindungen besteht nur für Bruchteile von Sekunden, wonach sich die einzelnen Moleküle wieder aus dem Verbund lösen und sich in einem ebenso kurzen Zeitraum erneut – mit anderen Wassermolekülen – verketteten. Dieser Vorgang wiederholt sich ständig und führt letztendlich zur Ausbildung von variablen Clustern".*

Eine lesenswerte Stellungnahme zu diesem Thema finden sie in „Die letzten Rätsel der Wissenschaft“ (Paturi, 2010, S. 223)

Ich bin mir sicher, dass die Aussage über die grundsätzliche biologische Bedeutung von Wasser, auch für außerirdische Systeme gilt, es sei denn, man findet eine Form von Leben, die sich von der Basis ihrer chemischen Elemente sowie der physikalischen Voraussetzung her, ganz wesentlich von unserem Kohlenstoff-Leben unterscheidet.

Die besonderen Eigenschaften von Wasser liegen ursächlich in seinem molekularen Aufbau begründet.

### **Der molekulare Aufbau von Wasser**

Wasser ist ein eher unspektakuläres, kleines Molekül, aus einem Sauerstoff und zwei Wasserstoffatomen. Beide Atomsorten weisen stark unterschiedliche Elektronegativität auf. Von großer Bedeutung ist ergänzend die räumliche Anordnung dieser drei Atome, die sich aus der Betrachtung der Molekülorbitale und damit aus quantenmechanischen Berechnungen ableiten lässt. Sie hat weitreichende Auswirkungen auf die physikalischen und makroskopischen Eigenschaften sowie die biologischen Abläufe. Um sich diese räumliche Anordnung nachvollziehbar zu machen, stellen Sie sich am besten einen Tetraeder vor, in dessen Mittelpunkt das Sauerstoffatom sitzt, das zwei Bindungen zu zwei Wasserstoffatomen tätigt, die an zwei Ecken des Tetraeders lokalisiert sind. Im Wassermolekül stellt sich ein Winkel zwischen H-O-H von etwa  $104,5^\circ$ , nahe am Tetraeder Winkel von  $109^\circ$  ein. **Es ist nicht linear gestreckt.** Die beiden restlichen Tetraeder-Ecken lassen wir außen vor; (sie sind durch zwei Molekülorbitale besetzt, die keine Bindung eingehen, da sich in jedem dieser Orbitale zwei Elektronen aufhalten. Mehr Elektronen pro Orbital sind aus quantenmechanischen Gründen nicht möglich). Wenn man jetzt eine

gedachte Ebene durch den Tetraeder legt, die das Sauerstoffatom und die beiden Wasserstoffatome enthält, ergibt sich das nächste Bild, das zwanglos das Auftreten eines permanenten elektrischen Dipolmoments des Wassermoleküls erklärt.

Abbildung 1: Das Tetraedermodell des Wassermoleküls

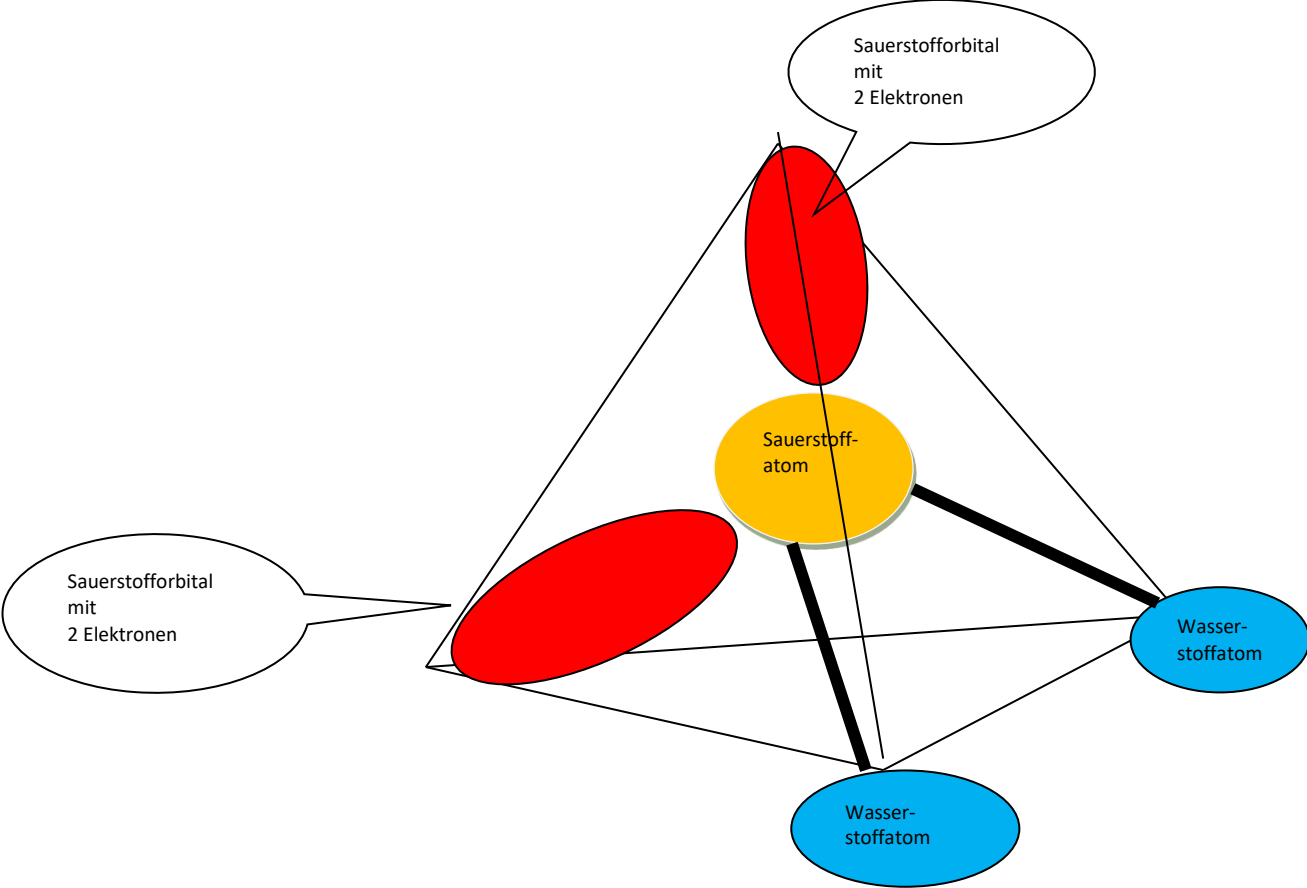
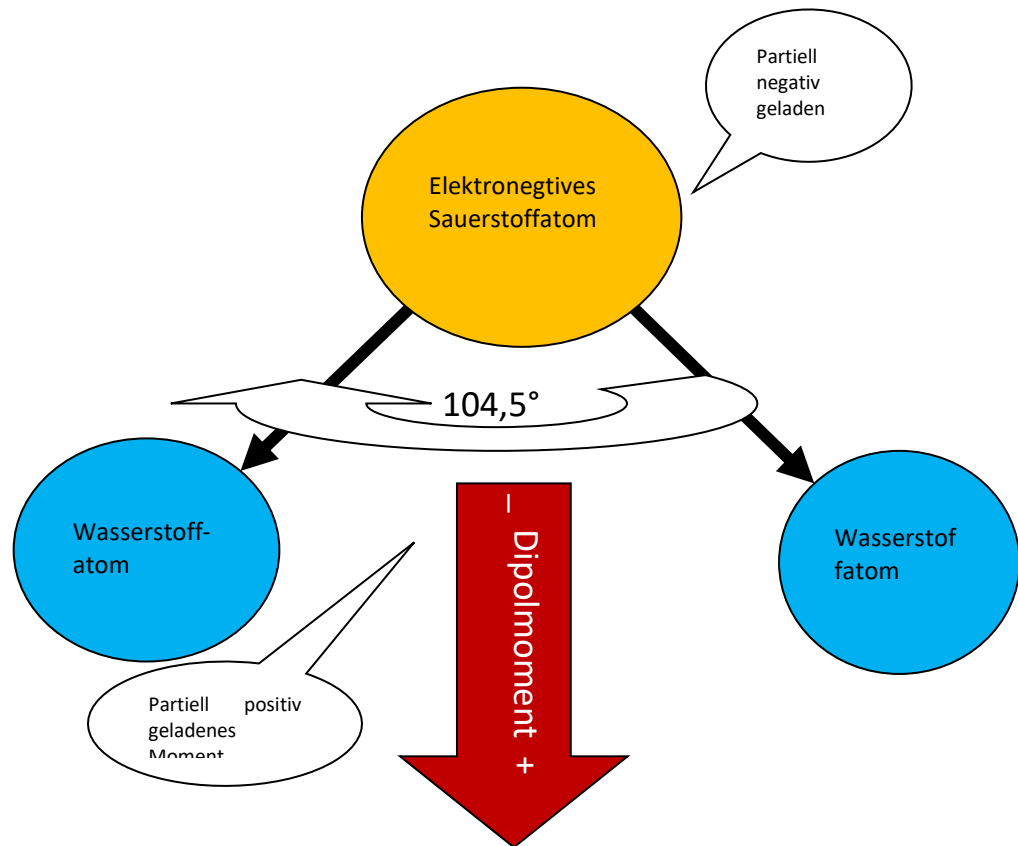


Abbildung 2: Modell des Wassermoleküls als Dipol

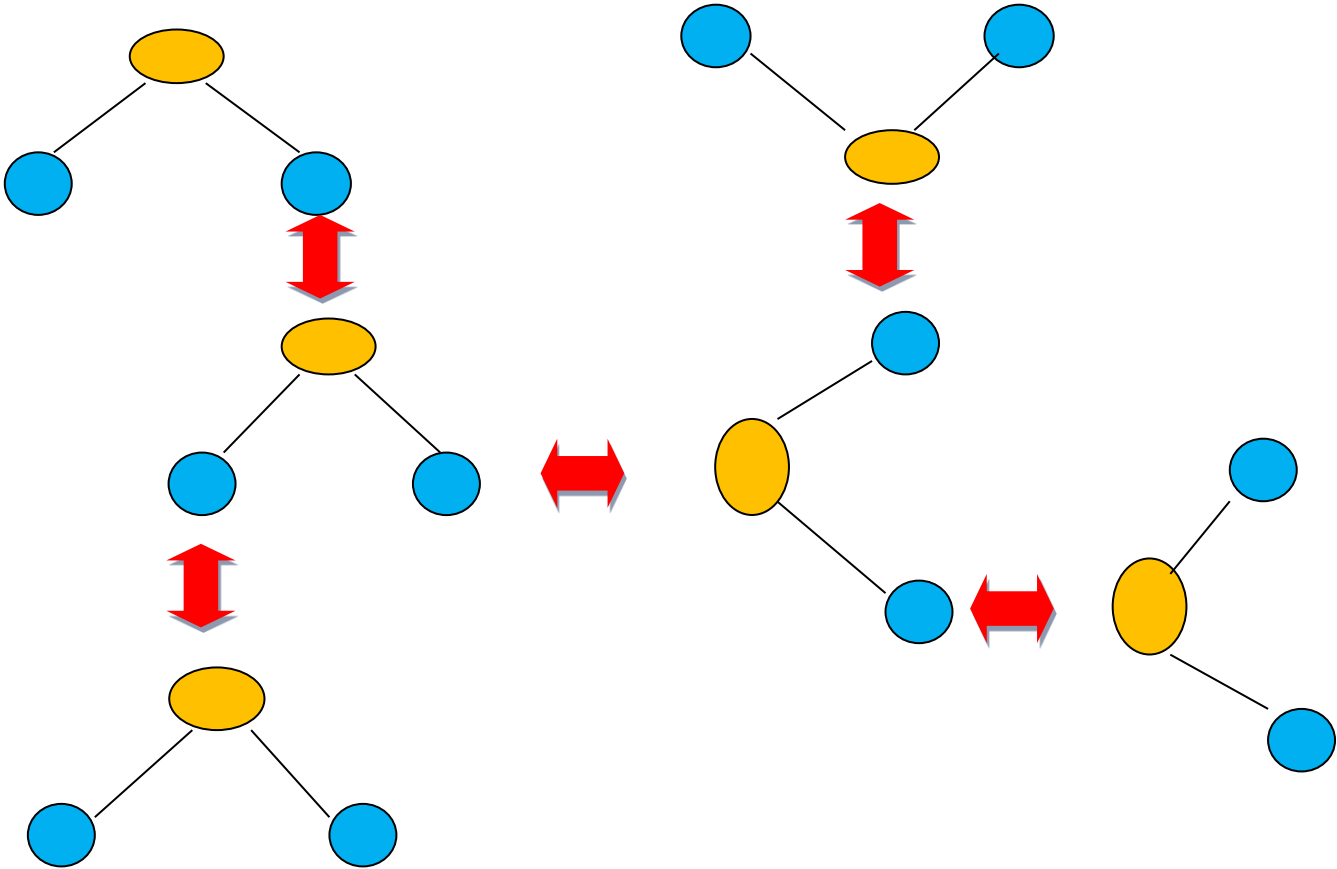


Dieses Dipolmoment hat Auswirkungen auf die Phänomenologie, die Physik und die Chemie dieses außergewöhnlichen Moleküls. Es bilden sich nämlich zwischen den partiell positiv geladenen Wasserstoffatomen und dem partiell negativ geladenen Sauerstoffatom Anziehungskräfte zwischen einzelnen Wassermolekülen aus, die man als Wasserstoffbrückenbindung bezeichnet. Übrigens gilt das nicht nur für Wasser. Auch in Proteinmolekülen oder der DNA sind vergleichbare Kräfte wirksam, die dort zur Ausbildung von höher geordneten Strukturen, z.B. den o.a. sogenannten Quartärstrukturen, führen.

Abbildung 3: Modellhaft ist hier der Aufbau von Wasserstoffbrückenbindungen =



in Wasser dargestellt:



Wie äußert sich diese Kraft konkret?

Hier die wichtigsten Beispiele:

Aus dem Chemieunterricht wird vielleicht manchem von Ihnen noch der Begriff der Anomalie von Wasser geläufig sein. Zu diesem Thema finden Sie einige interessante Effekte bei Paturi, s.o.: (Paturi, 2010, S. 84)

Dazu eine kurze Darstellung einiger dieser Eigenschaften, die Wasser aus der theoretischen Erwartung der Eigenschaften, abgeleitet aus dem Periodensystem der chemischen Elemente, herausfallen lassen:

### **Wasserstoffverbindungen der 6. Hauptgruppe**

Wenn Sie im zweiten Teil meines Buchs (Energie, Entropie, Leben) das dort beschriebene Periodensystem aufsuchen, finden Sie den Sauerstoff in der 16. Gruppe bzw. 6. Hauptgruppe, zusammen mit den Elementen Schwefel, Selen und Tellur (Polonium können wir in diesem Zusammenhang vergessen). Es ist ein Charakteristikum der Gruppen des Periodensystems, dass die jeweils darin aufgelisteten Elemente und ihre analogen Verbindungen, sehr ähnliche Eigenschaften aufweisen: Periodizität. Diese 4 Elemente haben, was durch ihre Stellung im Periodensystem zum Ausdruck kommt, einen sehr ähnlichen Aufbau ihrer äußeren Elektronenhülle und damit sehr ähnliches chemisches Verhalten. So bilden Schwefel, Selen und Tellur, ebenso wie Sauerstoff, Verbindungen mit jeweils zwei Wasserstoffatomen. Man sollte nun annehmen, dass diese vier Wasserstoffverbindungen untereinander tendenziell vergleichbare Eigenschaften haben. Dem ist aber, wie Sie durch folgendem Vergleich entnehmen können, nicht so.

Man erwartet Schmelz- bzw. Siedepunkte von Wasser, die durch die beiden gestrichelten Pfeile in der Abbildung 80 angedeutet sind, findet aber tatsächlich deutlich abweichende Verläufe.

	Schmelzpunkt °C	Siedepunkt °C	Verdampfungs- Enthalpie(kJ/Mol)	Bildungs- Enthalpie(kJ/Mol)	Bindungswinkel-
H <sub>2</sub> O	0	100	44,041	-286,02	109,0°
H <sub>2</sub> S	-85,6	-60,75	18,69	-20,6	92°
H <sub>2</sub> Se	-65,73	-41,3	19,3	30	91°
H <sub>2</sub> Te	-51	-2,3	23	99,6	89,5°

Tabelle 1: Wasserstoffverbindungen der Elemente der 6. Hauptgruppe

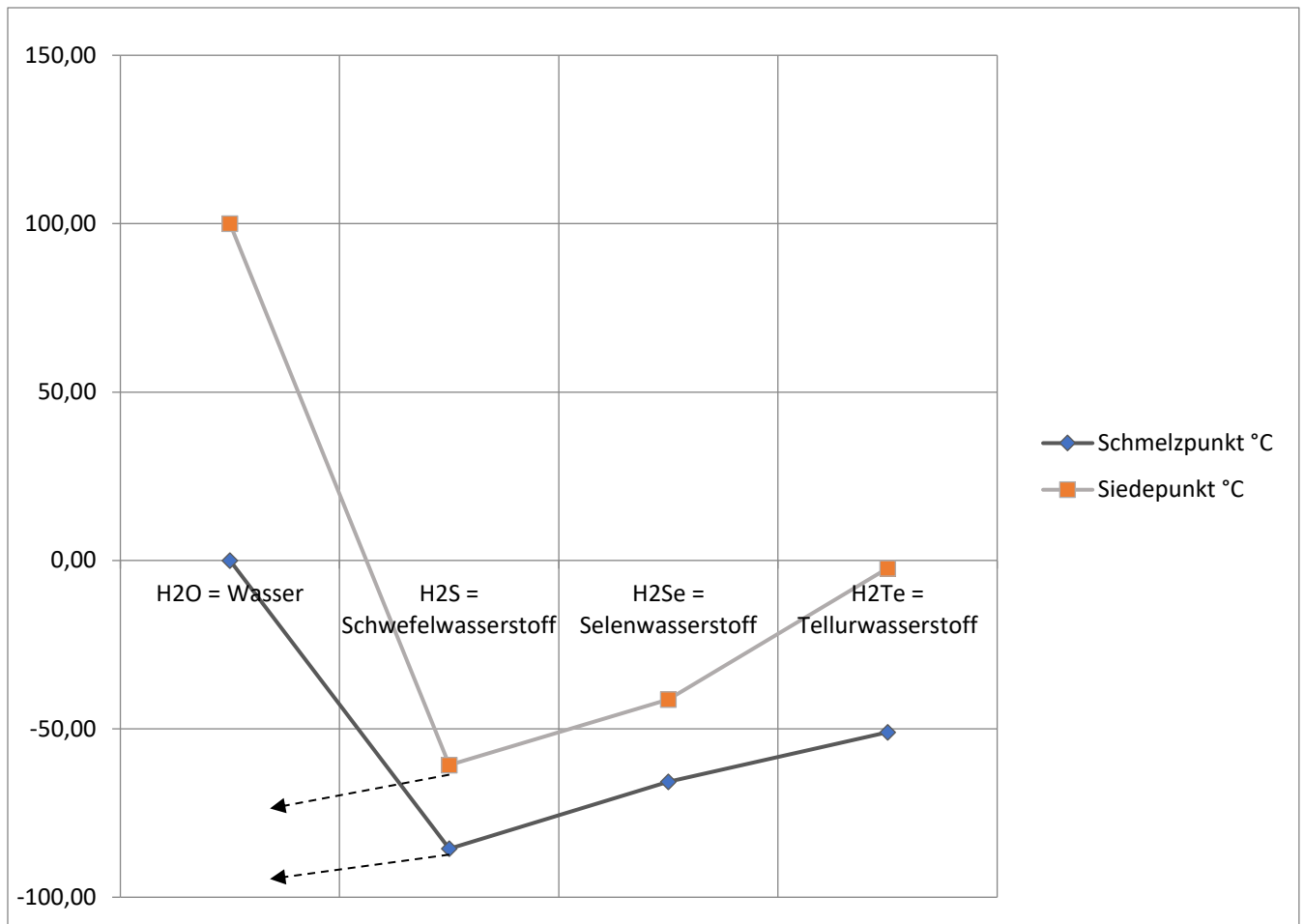


Abbildung 4: Vergleich der Schmelz- und Siedepunkte in graphischer Form

Ganz offensichtlich fällt Wasser ziemlich aus der Reihe. Den Siedepunkt würde man extrapoliert bei ca.  $-70^{\circ}\text{C}$  und den Schmelzpunkt bei etwa ca.  $-100^{\circ}\text{C}$  erwarten.

Ursache für dieses anormale Verhalten ist u.a. der eingangs erwähnte Bindungswinkel: Mit  $104,5^{\circ}$  bilden die beiden gebundenen Wasserstoffatome und das Sauerstoffatom eine nicht lineare Struktur. Das führt zur Ausbildung des besagten Dipolmoments. Zwar ist das für die drei Wasserstoffverbindungen der anderen Elemente auch der Fall. Aber die als Folge davon entstehenden Wasserstoffbindungen sind bei Wasser wesentlich stärker, da Sauerstoff mit einem Wert von 3,5 das Element ist, das im Gegensatz zu den restlichen Elementen seiner Gruppe, die höchste Elektronegativität aufweist. Dazu kommt noch eine Aufweitung der Bindungswinkel infolge des zunehmenden Atomradius bei den 3 Elementen.

Da Sauerstoff im Gegensatz zu den folgenden Elementen seiner Gruppe nur zwei Elektronenschalen aufweist und somit die Bindungsbildung deutlich näher am Atomrumpf erfolgt, tritt eine deutlich höhere Bindungsenthalpie auf. Auch die



nur noch von Quecksilber übertroffene hohe Oberflächenspannung des Wassers hat hier ihren Grund.

### **Wärmekapazität**

Wenn man Wasser erwärmt, braucht man für die Erhitzung eines Kilogramms um 1 Kelvin, 4,2 kJ an thermischer Energie. Wasser kann im Vergleich mit anderen Flüssigkeiten offensichtlich wesentlich mehr Energie aufnehmen, ohne dass sich die Temperatur dabei deutlich erhöht. Grund sind wieder die Wasserstoffbrücken, zu deren thermischen Schwingungsanregung ein beträchtlicher Teil an Wärme verbraucht wird. Systeme aus einer großen Anzahl von Teilchen = Moleküle, können Energie in Form von Translations-, Rotations-, Schwingungs-, und potenzieller Energie aufnehmen. Diese verschiedenen Möglichkeiten der Energieaufnahme nennt man Freiheitsgrad. Durch die Wasserstoffbrückenbindungen kommen weitere Freiheitsgrade hinzu. Diese zusätzliche, in Schwingungen gespeicherte Energie, wird beim Abkühlen als latente Wärme wieder frei. Die temperaturnausgleichende Wirkung von Wasserreservoir, wie in Flüssen, Seen und Meere, ist in der Meteorologie von außerordentlicher klimatischer Bedeutung.

### **Dichteanomalie**

Reines Wasser ist geruchlos, farb- und geschmacklos, hat bei + 4 °C seine größte Dichte und damit sein größtes spezifisches Gewicht. Wasser sinkt vor dem Gefrieren bei + 4°C zunächst ab und verhindert so das schnelle, durchgängigen Gefrieren von Gewässern. Beim Gefrierpunkt von 0 °C nimmt das Volumen um rund 9,5 % zu. Dieser Effekt bewirkt bekanntlich die Schwimmfähigkeit von Eis. Ein ganz wesentlicher Aspekt ist auch die Auswirkung auf Gesteine, die durch in Spalten eingedrungenes Wasser und dessen Volumenzunahme beim Gefrieren, im Lauf der Zeit zerlegt werden. So verrotten z.B. die Hochgebirge.

### **Schmelzpunkterniedrigung und Siedepunkterhöhung**

Es ist von besonderer Bedeutung, dass in Wasser gelöste Stoffe eine Absenkung des Schmelzpunktes unter 0°C und Anhebung des Siedepunktes über 100 °C des Wassers bewirken. So bewirkt die Schmelzpunkterniedrigung, dass z.B. in wässrigen biologischen Zellsystemen durch innere Eisbildung Zerstörung, durch spitze Eiskristalle, erst bei Temperaturen deutlich unter 0° C eintritt. Pflanzen können so Temperaturen deutlich unter dem Gefrierpunkt schadlos überstehen. Die molare Schmelzpunkterniedrigung beträgt 1,853 K kg/mol, die molare Siedepunkterhöhung 0,513 K kg/mol. (Es senkt sich der Gefrierpunkt, gemessen in Kelvin, pro Mol gelöstem Stoff in einem Kilogramm Lösungsmittel (hier Wasser) um 0,513 K)

## Wasserentropie

Wasser ist von entscheidender Bedeutung für die Formation von Ordnung, also Entropie-Erniedrigung in biologischen Systemen.

Modellvorstellung:

Lassen Sie uns davon ausgehen, dass sich 5  $\alpha$ -L-Aminosäuren irgendwie zu einem Polypeptid verbinden. Stellen Sie sich vor, jede dieser 5 Aminosäuren weist vor der Reaktion eine Hydrathülle von jeweils 10 Wassermolekülen auf. Macht in der Summe 50 Wassermoleküle. Nach der Reaktion, wobei sich ein aus 5 Aminosäuren bestehendes Makromolekül, das Polypeptid, gebildet hat, ist dieses Molekül von einer Hydrathülle aus nur noch 20 Wassermolekülen umgeben. Durch die viermalige Bindungsbildung findet ein Teil der Wassermoleküle der fünf Aminosäuren-Hydrathüllen keinen Platz mehr am entstandenen Makromolekül. Sie wurden durch die Bindungen verdrängt. Damit sind von ehemals 50 Wassermolekülen 30 freigesetzt worden. Diese 30 Wassermoleküle vereinigen sich nun völlig ungeordnet mit dem restlichen Lösungswasser. Damit steigt die Wasserentropie und überkompensiert den partiellen Entropie-Verlust der Bindungsbildung. Siehe: 2“Chemie u d Biochemie der Evolution“ UTB (Follmann, 1981, S. 80)

Dieser sehr vereinfacht dargestellte Vorgang ist im Detail wesentlich komplizierter. Die Reaktionsteilnehmer – alle Biologie spielt sich in einer wässrigen Zellmatrix ab - und die wirksamen Enzymsysteme, die DNA, die m-RNA und t-RNA , die Aminosäuren und das fertige Peptid liegen alle mit Hydrathüllen vor, die in den Reaktionszentren der Enzyme vorübergehend entfernt werden und sich danach wieder ergänzen usw.

Ohne Wasser keine partielle Entropie-Abnahme aber auch kein Leben, denn Leben spielt sich in Zellen ab und Zellen sind, sehr vereinfacht gesehen, Wasserbläschen.

Von noch elementarer Bedeutung ist die Rolle des Wassers für die grundlegende Biochemie des Lebens. In der Photosynthese, in der Lichtreaktion in grünen Pflanzen, dient Wasser als Reduktionsmittel um den Energiecarrier NADPH bereitzustellen. Dabei fällt Sauerstoff an. Im Calvin-Zyklus wird NADPH genutzt, um in Pflanzen Kohlendioxid zu reduzieren und Glukose aufzubauen. Glucose wiederum ist das zentrale Energiereservoir der gesamten Biochemie, gleichgültig ob Regenwurm, Walfisch, Vogel, Bakterium oder Mensch und wird in von Pflanzen in Form von Millionen T pro Tag synthetisiert.

Wasser ist mehr als eine Flüssigkeit!

Ergänzung 20240704

Leben synthetisiert Wasser: „Neues Wasser“

Bei jedem Verdauungsakt, ob Mensch oder Tier, ja sogar in Pflanzen, wird letztlich Glukose - enzymatisch gebildet aus Kohlehydraten, Proteinen oder Fettbestandteilen der Nahrung - zu Kohlendioxid und Wasser reduziert. Die hohe molekulare Ordnung des Glukosemoleküls zerfällt zur niedrigen Ordnung dieser zwei einfachen Elementarmoleküle; parallel wird das innere Energiepotential der Glucose verwertet. Für Molekularbiologen ist das Verbrauch der in der Glukose gespeicherten Bindungsenergie!

Dieser Motor des Lebens – er dient zur Erzeugung von Adenosintriphosphat, dem Energielieferanten aller Zellreaktionen – erzeugt unentwegt „Neues Wasser“, das zuvor nicht vorhanden war. Es wird durch enzymatischen Abbau biologischer Nahrungsbestandteile, die chemisch gebundenen Wasserstoff enthalten, gebildet.

Der elementare Lebensvorgang der Ordnungserzeugung in Gestalt der Glukose, aus naturwissenschaftlicher Sicht völlig unwahrscheinlich, wird möglich durch unentwegten Aufbau von Ordnung mithilfe der Energie von Sonnenlicht, dem ultimativen, planetaren Energielieferanten. Molekulare Energiepotentiale bauen sich auf, die in komplizierten, molekularen Kreisläufen ihre Energie den Lebensphänomenen zur Verfügung stellen.

Molekulare Ordnung entsteht in Form von jeweils einem Molekül Glukose aus sechs Kohlendioxid- und sechs Wassermolekülen und wird verbraucht unter Rückbildung von sechs Kohlendioxid- und sechs Wassermolekülen - ungeordnet. Der Kreislauf ist geschlossen.

Ein Nullsummenspiel?

Nein: Sonnenlicht – Energie – unterhält das Spiel von belebter Materie, von Leben.

Die Thermodynamik weiß aber, dass insgesamt gesehen, die Ordnung aus dem Blickwinkel der Gesamtenergie, abnimmt: Die Unordnung steigt permanent und unaufhaltsam. Der Ordnungsaufbau in Form vom Leben ist nur die eine Seite der Medaille. Er ist untrennbar begleitet von einem Überschuss an Unordnung.

So rechne ich die beschriebene Bildung von „Neuem Wasser“ zu einem solche Ordnungsverničter, ohne die beschriebene Umgruppierung von Hydrathüllen dieser Reaktionsabläufe zu berücksichtigen (s.o. Wasserentropie).

