Löhnert GmbH
Martin-Albert-Straße 9
D-90491 Nürnberg
T +49 (0)911-506 30 66
F +49 (0)911-506 30 67
office@aqua-blue.de
www.aqua-blue.de

Nürnberg, 04.04.2011

Betrachtungen zur Struktur des Wassers

Hat Wasser ein Gedächtnis?

Dr. rer. nat. Reiner H. Plasa

Stand April 2011

1 Einleitung

2 „Strukturierte“ Cluster in flüssigem Wasser
2.1 Nachweis „strukturierte“ Cluster“
2.2 Wassercluster, ein Überblick
2.3 „Strukturierte“ Cluster und Bindungsdauer der Wasserstoffbrücken
2.4 Icosaedrische /zwanzigflächige) Cluster $(H_2O)_{280}$

3 Clathrate und Wasserkäfige

4 Bedeutung von Wasserclustern

5 Einfluss von magnetischen und elektrischen Feldern
5.1 Magnetische Felder
5.2 Elektrische Felder
5.3 Elektromagnetische Felder

6 Zusammenfassung

7 Literatur

Sitz: Gunzenhausen
HRB 3431 Ansbach

Geschäftsführer
Thomas Löhnert
Hermann Löhnert
USt-ID: DE 813321482

Betrachtungen zur Struktur des Wassers

Hat Wasser ein Gedächtnis?

Dr. rer. nat. Reiner H. Plasa

1 Einleitung

Das über viele Dekaden gültige Modell, dass sich Wassermoleküle zu größeren Aggregaten (Clustern) zusammen schließen, die ausschließlich über Wasserstoffbrücken (**Abb. 1**) gehalten werden und im Pikosekundenbereich nach dem Zufallsprinzip auf- und abgebaut werden (ZACHARIASEN W.H., 1932), ist heute nicht mehr zeitgemäß. In einem bemerkenswerten Papier haben ROY et. al. (2005) Bausteine neuerer Forschung zusammen getragen, die an der Ausschließlichkeit der oben angeführten Modellvorstellung erhebliche Zweifel gerechtfertigt erscheinen lassen. Ein umfassendes Werk hierzu erschien von CHAPLIN 2008, Water structure and science – Memory of water.

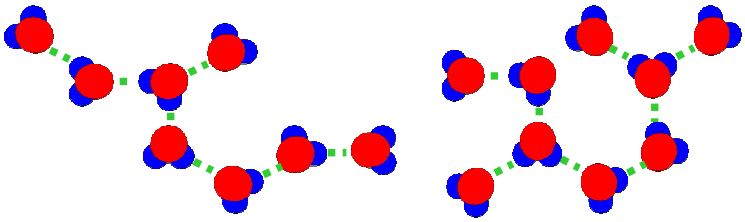

Abb. 1: Schematische Darstellung von Wassermolekülen mit Wasserstoffbrücken.

Bereits in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts kamen Zweifel am Clustermodell auf. VEZZOLI et. al. konnten 1969 für flüssigen Schwefel vier verschiedene Flüssigkeitszustände klar abgegrenzt im Druck-Temperatur-Phasen-Diagramm (P-T-Diagramm) nachweisen. Damit war die bisher geltende Meinung, es könne nur eine einzige flüssige Phase geben, klar widerlegt. Daher wurden auch für die stabile Phase flüssigen Wassers mehrere Zustände postuliert.

KAWAMOTO et. al. konnten 2004 erstmals im P-T-Diagramm auch zwei Zustände für die stabile Phase flüssigen Wassers nachweisen (**Abb. 2**)

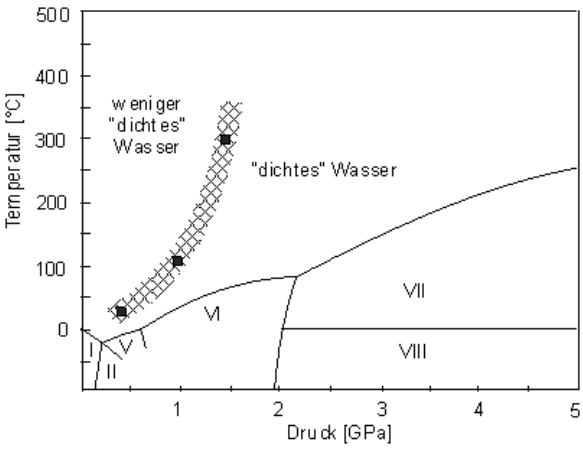

Abb. 2: P-T-Phasen-Diagramm nach KAWAMOTO. Der Bereich „weniger dichtes“ Wasser wird im Originaldiagramm als „sparse water“ bezeichnet und „dichtes“ Wasser als „dense water“.

Diese Datenlage bildete den Anlass für eine Neubewertung der Struktur des Wassers.

Ein weiteres Indiz für eine nicht einheitliche Struktur des Wassers im Sinne der oben beschriebenen Aggregate aus Wasserstoffbrücken liefert die Anomalie des Wassers. Alle Wasserstoffverbindungen der Elemente, die im Periodensystem in der 2. Periode neben dem Sauerstoff stehen (Stickstoff bzw. Fluor) und in der VI. Gruppe unter dem Sauerstoff stehen (Schwefel) sind bei Raumtemperatur gasförmig. Zu erwarten wäre, dass auch Wasser bei Raumtemperatur gasförmig ist; es lässt sich ein Gefrierpunkt von etwa minus 100 °C und ein Siedepunkt von etwa minus 50 °C interpolieren. Der Umstand, dass das winkelförmige H_2O-Molekül einen Dipolcharakter hat und dass sich diese Dipolmoleküle gegenseitig anziehen (Wasserstoffbrücken-Bindungen), führt zu dem unerwartet höheren Schmelz- und Siedepunkt und zu den übrigen Anomalien des Wassers (wie zum Beispiel dem Dichtemaximum bei 4 °C), ohne die auf der Erde kein Leben möglich wäre. CHAPLIN (2008) hat insgesamt 67 Anomalien aufgelistet, die nicht durch einfache Überlegungen hergeleitet werden können.

Für die Beurteilung und die Auswirkungen eines „Wassergedächtnisses“ sind entscheidend, ob es Strukturen in flüssigem Wasser gibt, die prinzipiell in der Lage sind, eine wie auch immer geartete Information aufzunehmen und über einen gewissen Zeitraum zu speichern, bzw. im Idealfall diese Information weiter zu geben.

Im Folgenden soll versucht werden, jenseits von esoterischen Interpretationen, eine wissenschaftlich fundierte Analyse und Bewertung der in flüssigem Wasser vorkommenden Strukturen sowie deren mögliche Auswirkungen auf physikalisch-chemische Eigenschaften des Wassers und auf das Vorkommen eines „Wassergedächtnisses“ zu erarbeiten.

2 „Strukturierte“ Cluster in flüssigem Wasser

2.1 Nachweis „strukturierter“ Cluster

Der direkte Nachweis von „organisierten“ Strukturen im Wasser ist schwierig zu führen. Eine gute Quelle für die Existenz solcher Strukturen bilden Messungen der im Eis vorhandenen organisierten Bereiche und deren Übertragung auf flüssiges Wasser, durch den Vergleich der Sauerstoff-Wasserstoff-Bindungslängen und der Abstände der Wassermoleküle zueinander durch Wasserstoffbrückenbildung z.B. durch ^{17}O-Kernspinresonanz-Spektren[1] (NMR). Dieser Komplex mit einer Vielzahl von Literaturhinweisen ist bei CHAPLIN (2008) sehr gut erläutert und dokumentiert (www.lsbu.ac.uk/water/index2.html).

2.2 Wassercluster, ein Überblick

Trotz vieler Forschungsergebnisse bleiben die Eigenschaften des Wassers ein Rätsel. Hilfreich kann in diesem Zusammenhang die Vorstellung sein, dass Wassermoleküle ein unendliches Netzwerk von Wasserstoffbrücken bilden, mit örtlich begrenzten strukturierten

[1] NMR-Spektren sind nur bei Atomen mit ungerader Neutronen- oder Protonenzahl möglich, daher hier ^{17}O

Clustern. Ein wichtiger, oft übersehener Faktor ist dabei: Wasser ist auf der nanoskopischen Ebene nicht homogen (ROY et. al., 2005).

Folgende Struktur ist denkbar: kleine Cluster von vier Wassermolekülen bilden bicyclische Octamere (**Abb. 3**). Dieses molekulare Arrangement (A) gibt es in „dichtem" Eis (high density ice, ice seven) als auch, hier jedoch um 60° verdreht (B), in weniger dichtem hexagonalem Eis. Es wird aber auch die Existenz solcher Octamere in flüssigem Wasser angenommen (LUDWIG, 2001).

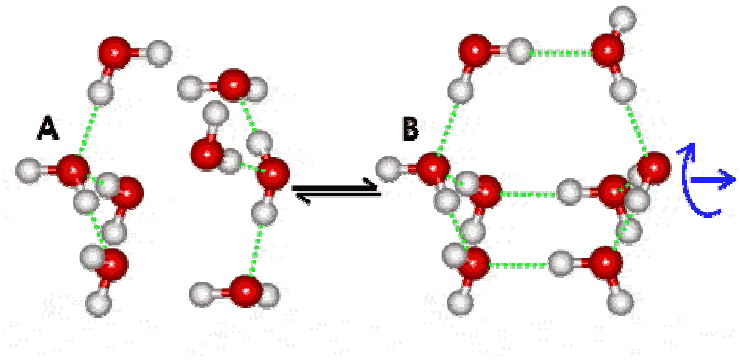

Abb.3 Bicylische Octamere aus zwei Clustern mit jeweils vier Wassermolekülen.
Abbildung aus CHAPLIN (2008), Water structure and science

Solche Gleichgewichte sind möglich, weil es zwei Minima bei der Energie gibt, die aufgewendet werden muss, um Moleküle voneinander zu trennen (vgl. hierzu CHAPLIN (2008). Zwischen den Minima existiert wahrscheinlich eine Energiebarriere.

Die Konkurrenz zwischen der Maximierung der Van der Waals Kräfte (A in **Abb. 3**, geringere Ordnung in der Struktur = höhere Entropie, höhere Dichte und mehr aber dafür schwächere Wasser-Wasser-Bindungen) und der Maximierung der Wasser- Wasser-Bindungsenergie (B in **Abb. 3**, höhere Ordnung in der Struktur = geringere Entropie, geringere Dichte und weniger aber dafür festere Wasser-Wasser- Bindungen) ist fein ausbalanciert. Sie kann durch die Änderung der physikalischen Bedingungen leicht verschoben werden. Die (wahrscheinliche) Energiebarriere zwischen diesen beiden Stadien stellt sicher, dass Wassermoleküle entweder die Struktur A oder B bevorzugen und kaum in den intermediären Stadien zu finden sind. Ein individuelles Wassermolekül kann also im Stadium A sein, während einige seiner Nachbarn im Stadium B sind, und umgekehrt (MISHIMA O. et STANLEY H.E, 1998; NEZBETHA I. et SLOVÁC J. 1997; KUSALIK P.G et SVISHCHEV I.M. 1994; WIGGINS P.M. 1995).

Die Wasserstoffbrückenbindung, obwohl von Natur aus kohäsiv, hält die Wassermoleküle auf Abstand. Der Konflikt zwischen diesen beiden Effekten und deren Variation je nach den äußeren Bedingungen ist es, der Wasser mit seinen ungewöhnlichen Fähigkeiten ausstattet.

Die bicyclischen Octamere können sich weiter (mit sich selbst) zusammenfügen zu hoch symmetrischen 280 Moleküle enthaltenden Zwanzigflächnern (Icosaedern), die sich wiederum mosaikartig miteinander im Raum vernetzen können.

In gleicher Weise kann eine Mischung aus einzelnen Wassermolekülen, cyclischen Pentameren und tricyclischen Decameren (**Abb.4**) ebenfalls zum oben angesprochenen Resultat führen. Da alle diese kleinen Cluster relativ stabil sind, ist es wahrscheinlich, dass sie die großen Zwanzigflächner bilden. Diese großen Cluster bilden dann ein dynamisches Netzwerk das sowohl Strukturen mit geringerer Dichte, als auch Strukturen mit höherer Dichte, enthalten kann.

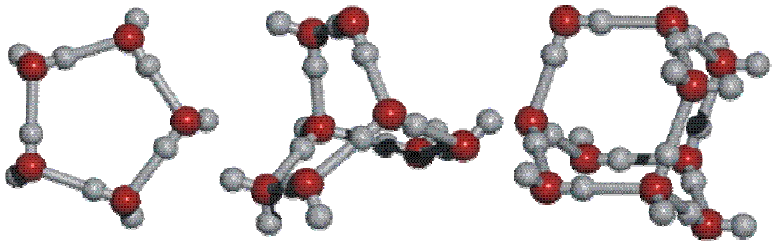

Abb. 4 Cyclisches Pentamer, bicyclisches Octamer, tricyclisches Decamer (v.l.n.r.) Abbildung aus CHAPLIN (2008), Water structure and science

2.3 „Strukturierte“ Cluster und Bindungsdauer der Wasserstoffbrücken

Entscheidend ist auch die Erkenntnis, dass die Bindungsdauer der Wasserstoffbrücken und die Existenz von „organisierten“ Strukturen völlig unabhängig voneinander sein können. Die schematisierte Grafik (**Abb. 5**) zeigt, dass ein Teil der „strukturierten“ Cluster erhalten bleibt (hier grün dargestellt), während sich der „Rest“ neu formiert.

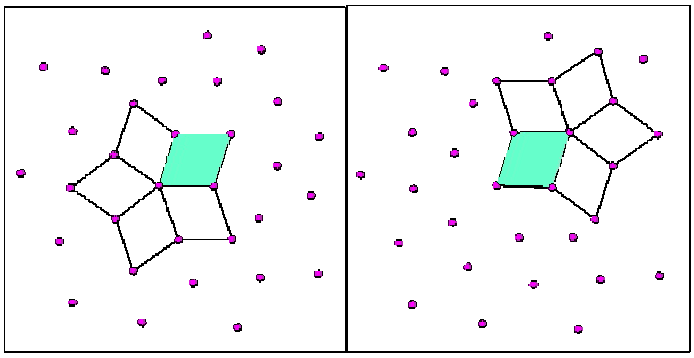

Abb. 5 Schematische Darstellung eines Clusters. Der grün dargestellte Teil bleibt erhalten, während sich der Rest neu formiert, pinkfarbene Punkte: Wassermoleküle
Abbildung aus CHAPLIN (2008), Water structure and science

Obwohl dies ein dynamischer Prozess ist, enthalten auch die „neuen“ Cluster immer Teile, oder zumindest noch einen Teil, der „alten“ Cluster.

2.4 Icosaedrische (zwanzigflächige) Cluster $(H_2O)_{280}$

Dieses dynamische und selbstreplizierende Netzwerk von Wassermolekülen mit lokalisierter und überlappender icosaedrischer Symmetrie wurde zuerst 1998 von CHAPLIN vorgeschlagen. Dieses Modell wurde unabhängig davon in schockgefrorenen Nanotropfen von unterkühltem Wasser durch Röntgen-Beugungsspektren von MÜLLER et al. (2003) postuliert.

Sind die großen Cluster erst einmal formiert, können sie sich von der „low density structure“ zu der „condensed structure“ umwandeln (und umgekehrt). Dabei werden einige der Wasserstoffbrückenbindungen in ihrem Winkel verändert, aber nicht gelöst. Zusätzlich findet auch eine ständige Neu- oder Umstrukturierung der Cluster statt, wie sie in Abbildung 5 schematisch dargestellt ist. Mit steigender Temperatur nimmt die „Intaktheit“ und die Anzahl der „low density“ Cluster ab.

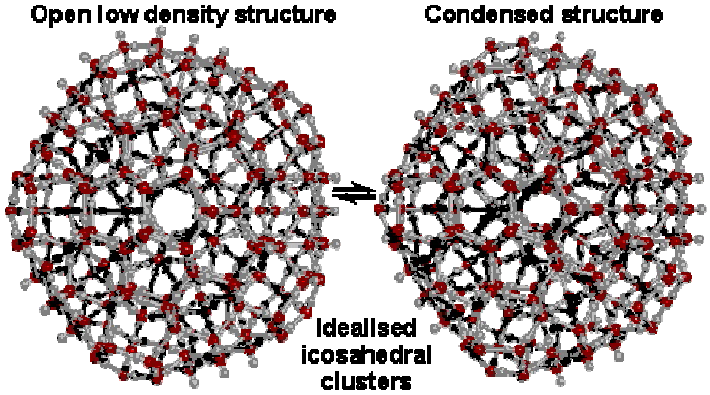

Abb. 6 Icosaederische Cluster
Abbildung aus CHAPLIN (2008),
Water structure and science

Diese Strukturen ermöglichen die Erklärung vieler Anomalien des Wassers, wie zum Beispiel das Verhältnis der Viskosität zur Temperatur oder das Lösungsverhalten und die Hydratation von Ionen. Es untermauert aber auch die Existenz von cyclischen Penta- und Hexameren und ermöglicht das Verständnis des Aufbaus von Carbohydraten (Beispiel: Methaneis).

3 Clathrate und Wasserkäfige

Neben den großen Strukturen wie Icosaeder $(H_2O)_{280}$, deren Auftreten in Wasser als wahrscheinlich angesehen werden kann, sind ebenso kleinere Cluster, $(H_2O)_8$ bis $(H_2O)_{32}$ bekannt.

Das wohl bekanntste Clathrat[2] dürfte Methanhydrat (**Abb. 7**) sein, das bei tiefen Temperaturen und/oder bei hohem Druck stabil ist.

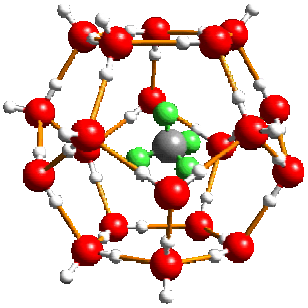

Abb. 7 Modell des Methanhydrats nach KLAPPROTH et al. (2003). Die roten Kugeln stellen Sauerstoffatome dar, die weißen Wasserstoffatome, braun: Wasserstoffbrücken. Im Innern des Käfigs ist Methan. Hier ist das Kohlenstoffatom grau und die Wasserstoffatome sind grün dargestellt.

Bei Untersuchungen hat sich gezeigt, dass Dimere (**Abb. 8**) der Käfige thermodynamisch stabiler sind als Monomere (LUDWIG, 2004). Die Stabilität steigt weiter, wenn die Käfige mit Ionen oder Gasmolekülen/-atomen gefüllt sind (**Abb. 9**). Die Cavitäten erhöhen die Löslichkeit von Gasen in Wasser beträchtlich und die Löslichkeit nimmt mit abnehmender Temperatur zu.

---

[2] Einschlussverbindungen zweier Stoffe, von denen ein Gastmolekül in ein Gitter oder einen Käfig aus Wirtsmolekülen eingelagert ist. *Clathrates.* In: *IUPAC Compendium of Chemical Terminology (the "Gold Book").* doi:10.1351/goldbook.C01097 (Version: 2.1.5).

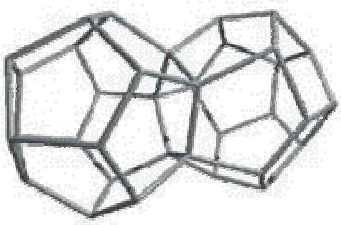

Abb. 8 Schematische Darstellung eines Dimers aus zwei Dodekaedern.
Abbildung aus LUDWIG (2004)

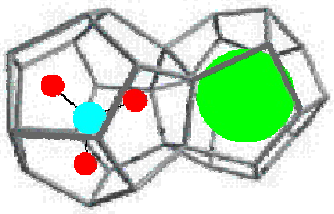

Abb. 9 Schematische Darstellung eines Käfigs aus zwei Dodekaedern mit Ion und Gas, hier Carbonat-Ion (CO_3^{2-}) und Gasmolekül/-atom, grün dargestellt.
Abbildung nach LUDWIG (2004), verändert

Ein in Wasser gelöstes (unpolares) Molekül bewirkt eine Umstrukturierung des Wasserstoffbrücken Netzwerks. Das Wasser reagiert auf zweierlei Weise. Es muss einerseits Platz für den Gast (das Molekül) schaffen, versucht aber andererseits, sein Wasserstoffbrücken Netzwerk um das Gastmolekül herum zu stärken. Dies gelingt offenbar am besten in einer gespreizten Form, wie sie in **Abb. 10** (links) dargestellt ist. Um möglichst viele Wasserstoffbrücken zu erhalten, schmiegt sich das Wassermolekül in drei seiner Tetraederrichtungen tangential an die Oberfläche des besetzten Raumes (GEIGER et al., 1979; LUDWIG, 2001).

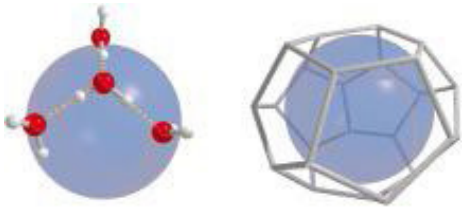

Abb. 10 Wassermoleküle in der Nähe eines unpolaren Teilchens z.B. Gasmolekül. Jedes Wassermolekül liegt mit seinen tetraedrisch angeordneten Bindungsstellen in gespreizter Form vor (links). Ein vollständiges Wasserstoffbrückennetzwerk um ein unpolares Teilchen zeigt die Kristallstruktur eines Clathrathydratkäfigs (rechts).
Abbildung aus Ludwig (2001).

GEIGER et al. konnten 1986 mit Computersimulationen zahlreiche clathratähnliche Hohlräume im Wasserstoffbrückennetzwerk von flüssigem Wasser aufzeigen.

Die Palette der einsetzbaren Gastmoleküle reicht von Edelgasen bis hin zu polaren organischen Molekülen. Daher können auch Seitenketten von Peptiden einen der Käfige besetzen, was ein neues Bild auf die räumliche Strukturbildung von Eiweißen[3] (Proteinfaltung) wirft.

[3] Durch den Einschluss einer Aminosäurenseitenkette in einen „Käfig“ steht diese nur noch begrenzt als möglicher Bindungspartner für eine andere Seitenkette zur Verfügung. Das Protein erhält daher eine veränderte räumliche Struktur.

4 Bedeutung von Wasserclustern

Es konnte gezeigt werden, dass es eine ausreichende Evidenz für die Existenz von (geordneten) Wasserclustern gibt. Gleichzeitig wird damit die Möglichkeit eröffnet, die Anomalien des Wassers zu erklären. Allerdings ist die Vorstellung von der Existenz von Wasserclustern nicht vereinbar mit dem Modell des zufälligen Netzwerks, wie es von HENN und KAUZMANN (1989) formuliert wurde. Dafür gibt es jedoch ein neues Verständnis für die Interaktionen von Wasser in einem dreidimensionalen Netzwerk aus Wasserstoffbrücken und ermöglicht Einsichten in die Art und Weise wie organische (biologische) und anorganische Ionen ebenso wie Makromoleküle (Peptide) in wässriger Lösung wechselwirken.

Das Geschmackserlebnis bei Wodka wird von Clustern beeinflusst. Wodka enthält, anders als Rum, Gin oder Whiskey, keine weiteren geschmacksbildenden Stoffe, sondern nur Ethanol und Wasser. Dennoch gibt es deutliche Unterschiede im Geschmack bei unterschiedlichen Wodkasorten. Verantwortlich dafür sind nach Untersuchungen von HU et al. (2010) Ethanol-Wassercluster, die bei Wodka mit genau 40 Vol. % Ethanol für ein besonders ausgewogenes Geschmackserlebnis sorgen. Sorten mit geringerem Alkoholgehalt schmecken wässrig, solche mit höherem Alkoholgehalt wirken eher „kratzig“.

Auch Erklärungsmuster für die Wirksamkeit von Stoffen in extremen Verdünnungen (z.B. in der Homöopathie) oder die Fähigkeit einiger Organismen, „weniger dichtes“ Wasser zu produzieren, um sich vor dem Einfrieren (MERTA et al., 1986) zu schützen, hohen Temperaturen (SOLA-PENNA et MEYER-FERNANDEZ, 1998) und hohen Drucken (KELLY et YANCEY, 1998) stand zu halten, werden geliefert.

Ob dabei die organisierten Strukturen auch für eine Informationsspeicherung und /oder Informationsweitergabe geeignet sein könnten, soll im Folgenden untersucht werden.

5 Einfluss von magnetischen und elektrischen Feldern

Dass starke magnetische und elektrische Felder auf ein polares Molekül wie Wasser einwirken können, liegt auf der Hand (PANG und DENG, 2008; CAI et al., 2009). Aber auch schwache Felder haben einen Einfluss (HOLYSZ et al., 2007).

5.1 Magnetische Felder

HIGASHITANI et al. (1993) und PACH et al. (1996) haben die Keimbildung und die Kristallisation von Kalk ($CaCO_3$) unter dem Einfluss von magnetischen Feldern, die durch Wechselstrom verursacht wurden, in wässrigen Lösungen untersucht. HIGASHITANI (1993) konnte dabei einen starken Memory-Effekt in den Proben zeigen, die einem magnetischen Feld ausgesetzt waren.

TILLER et al. (2001) wiesen eine deutliche pH-Änderung von einer Einheit in Wasser nach, das statischen magnetischen Feldern zwischen 10 und 50 milli-Tesla (ca. 100 – 500 Gauß)[4] ausgesetzt war. Dabei war es entscheidend, ob die magnetischen Felder in Nord-Süd oder Süd-Nord-Richtung orientiert waren.

Vor dem Hintergrund, dass ROY et al. (2002) mit schwachen, im Gigahertz-Bereich schwingenden magnetischen Feldern (< 50 µT), Kristallstrukturen selbst von elektrischen Nichtleitern wie Titandioxid (TiO_2) zerstören konnte, verwundern Berichte über die Beeinflussung von Wasser und wässrigen Lösungen durch Felder im µTesla-Bereich nicht weiter (MOHRI, 2001).

Schwache magnetische Felder (15 mT) erhöhen den Dampfdruck des Wassers (HOLYSZ et al., 2007) durch Schwächung der Van-der-Waals-Kräfte zwischen den Wassermolekülen.

5.2 Elektrische Felder

Hohe elektrische Felder beeinflussen die Wasserbrückenbindungen anisotrop. Die Bindungen werden in Feldrichtung gestärkt aber rechtwinklig zum Feld geschwächt (VEGIRI, 2004). Schwache Felder reduzieren die Bewegung und die Rotation der Wassermoleküle. Elektrische Felder stehen im Verdacht, die Unterschiede in dem Verhältnis zwischen para- und ortho-Formen des Wassers[5] zu verstärken (ANDREEV, 2007). Es wird angenommen, dass die strukturellen Arrangements des Wassers durch das Verhältnis von para-H_2O zu otho-H_2O induziert werden (PERSHIN, 2008), da die Wasserstoffbrückenbindung in para-H_2O fester sind und länger halten als beim ortho-H_2O. Daher ist es wahrscheinlich, dass para- und ortho-H_2O separate Cluster bilden (PERSHIN, 2005, 2006).

Elektrische Felder vermindern auch die Dielektrizitätskonstante des Wassers, bedingt durch die teilweise oder vollständige Zerstörung der durch Wasserstoffbrücken gebundenen Netzwerke (DANIELEWICZ-FERCHMIN UND FERCHMIN, 2004).

5.3 Elektromagnetische Felder

Reine elektrische und reine magnetische Felder haben entgegen gesetzte Folgen für die Bildung von Clustern im Wasser. Unstrukturiertes Wasser mit wenig Wasserstoffbrücken stellt eine reaktivere Ungebung dar (SYMONS, 2001). Ein offenes, mit viel Wasserstoffbrücken versehenes Netzwerk verlangsamt die Reaktionsgeschwindigkeit, da die Wassermoleküle „mehr mit sich selbst beschäftigt“ sind. Alles was die Wasserstoffbrückenzahl und deren Stärke reduziert, führt daher zu einer erhöhten Reaktivität (NOVIKOV, 2001; FESENKO 2003).

Daher führen elektrische oder elektromagnetische Felder, welche die Wassermoleküle neu ausrichten wollen, immer zum Bruch eines Teils der Wasserstoffbrücken. HAYASHI (1996) konnte durch ^{17}O-NMR-Spektren zeigen, dass elektrische Felder die mittlere Clustergröße

---

[4] Zum Vergleich: Das Magnetfeld der Erde beträgt im Mittel 45 µT (Micro-Tesla)

[5] Para- und ortho-H_2O haben einen unterschiedlichen Spin der Elektronen der Wasserstoffatome. Bei ortho-H_2O ist er bei beiden Wasserstoffatomen gleich, bei para-H_2O ist er entgegengesetzt.

halbieren. Alle Heterogenitäten im nano-Bereich des Wassers, ob Nanocavitäten (nanobubbles, Nanobläschen) oder Cluster reagieren anders auf elektrische oder magnetische Felder als das umgebende „ungeordnete“ Wasser (Tiller, 1999). Damit verändern sich die Lösungseigenschaften des Wassers gegenüber Gasen und hydrophoben Molekülen und es induziert die Bildung weiterer Nanocavitäten (ATTARD, 2003).

Erstaunlich ist dabei, wie lange Strukturänderungen die durch elektromagnetische Felder hervorgerufen werden stabil sind (FESENKO, 1995; YAMASHITA, 2003). Damit ergeben sich Anzeichen für ein Wassergedächtnis (memory of water).

Es gibt hinreichend Evidenz dafür, das die Strukturänderung in entlüftetem Wasser zwei bis drei Tage andauert (VYBÍRAL und VORÁCEK, 2003; VYBÍRAL, 2006; VYBÍRAL und VORÁČEK, 2007; GAYLARD, 2008; VYBÍRAL und VORÁČEK, 2008), in einer verdünnten Ethanollösung mehrere Tage (TAKAIZUMI K., 2005), in homöopathischen Präparaten Hunderte von Tagen (ELIA et al., 2006), während Clathrate metastabil persistieren (FESENKO et al., 2002).

Da elektromagnetische Felder den Grad der Strukturierung von Wasser beeinflussen (AYRAPETYAN, 2006), kann auch ein Einfluss auf biologische Strukturen (den Organismus) nicht ausgeschlossen werden. Bisher wurden lediglich die (geringen) thermischen Effekte untersucht. Es sollten aber auch signifikante nicht-thermische Auswirkungen in Betracht gezogen werden (BARTERI, et al., 2005), wie die aufgezwungene Umorientierung der Wassermoleküle an der Oberfläche von organischen Strukturen, z.B. an Zellmembranen (WILLIAMS, 2002). Ähnliche Effekte auf Membranen wurden von GOLDSWORTHY et al.(1999) durch magnetische und von TEISSIE (2007) für elektrische Felder postuliert. BOULANGER (1998) wies nach, dass schwache, alterniernde niederfrequente elektrische Felder die Leitfähigkeit reinen Wassers beeinflussen.

Allerdings scheint die Stabilität und der Grad der Beeinflussung sowie die Lebensdauer von Strukturen im Wasser von der Art, der Stärke und der Frequenz der elektromagnetischen Felder abhängig zu sein[6], während bei homöopathischen Präparaten rein mechanische Vorgänge (Schütteln, Rühren) die Ursache sind (ELIA et al. 2006). Als Träger der „Information“ scheinen aber in allen Fällen überwiegend Nanocavitäten zu dienen (FESENKO et al., 2002; YAMASHITA, 2003).

6 Zusammenfassung

In flüssigem Wasser gibt es neben den „unorganisierten“ Bereichen, deren Wasserstoffbrückenbindungen in Pikosekunden gelöst und wieder neu aufgebaut werden, ebenso Bereiche mit „organisierter“ Struktur (Cluster). Diese Cluster haben eine unterschiedliche Stabilität und Größe. Ihre Stabilität wird überwiegend durch thermodynamische Faktoren bestimmt. Die Größe reicht von Clustern mit acht bis hin zu 280 Wassermolekülen.

Dabei ist die Bindungsdauer der Wasserstoffbrücken und die Existenz von „organisierten“ Strukturen voneinander unabhängig, wobei ein Teil der „strukturierten“ Cluster erhalten

[6] Offenbar müssen Schwingungsmuster und Feldstärke auf das Wasser abgestimmt sein, um besonders langlebige und wirksame Effekte zu erzielen.

bleibt, während sich der „Rest“ neu formiert. Obwohl dies ein dynamischer Prozess ist, enthalten auch die „neuen“ Cluster immer Teile oder zumindest noch einen Teil der „alten“ Cluster.

Als besonders langlebig (metastabil persistierend) gelten Clathrate (Nanocavitäten, Wasserkäfige) besonders dann, wenn sie ein Ion oder ein Gasmolekül/-atom eingeschlossen haben. Ihre Bildung kann durch physikalische Prozesse (schütteln, rühren) oder durch (schwache) elektromagnetische Felder induziert werden. Neben Gasmolekülen/-atomen oder Ionen können auch Seitenketten von Peptiden in die Wasserkäfige integriert werden und haben damit einen Einfluss auf die Ausbildung der räumlichen Struktur von Proteinen (Proteinfaltung).

Elektrische oder elektromagnetische Felder, welche die Wassermoleküle neu ausrichten wollen, führen immer zum Bruch eines Teils der Wasserstoffbrücken. Alle Heterogenitäten im nano-Bereich des Wassers, ob Nanocavitäten oder Cluster, reagieren anders auf elektrische oder magnetische Felder als das umgebende „ungeordnete“ Wasser. Damit verändern sich die Lösungseigenschaften des Wassers gegenüber Gasen und hydrophoben Molekülen, und es induziert die Bildung weiterer Nanocavitäten.

Erstaunlich ist dabei, wie lange solche Strukturänderungen, die durch elektromagnetische Felder, durch Schütteln/Rühren und Lösungsvorgänge hervorgerufen werden, stabil sind. Es gibt hinreichend Evidenz dafür, das die Strukturänderung in entlüftetem Wasser zwei bis drei Tage andauert, in einer verdünnten Ethanollösung mehrere Tage, in homöopathischen Präparaten Hunderte von Tagen, während Clathrate offenbar metastabil persistieren. Damit ergeben sich Anzeichen für eine Art Wassergedächtnis (memory of water).

Dieses Wassergedächtnis ist sicher nicht vergleichbar mit einem physikalischen Datenträger, etwa einer Festplatte in einem Computer. Dennoch gibt es hinreichend Anzeichen dafür, dass zum Beispiel bei homöopathischen Präparaten das einmal „Erlernte“ später wieder abgerufen werden kann oder, ganz profan, Wasser in einem Boiler sich daran „erinnert“, dass es einmal einem elektromagnetischem[7] Feld ausgesetzt war, und sich und deshalb völlig andere Kalkkristalle bildet als in „unbehandeltem“ Wasser. Auch reines Wasser, das vorher elektromagnetischen Feldern ausgesetzt war oder geschüttelt/gerührt wurde, zeigt gegenüber Gasen und Salzen ein anderes Lösungsverhalten.

Als Träger der „Information“ scheinen aber in allen Fällen überwiegend Nanocavitäten die entscheidende Rolle zu spielen.

---

[7] Sofern das Heizelement von Wechselstrom durchflossen wird, bildet sich um den elektrischen Leiter ein magnetisches Feld. Beim Phasenwechsel ändert sich das elektrische Feld und damit auch das magnetische Feld. Sich ändernde magnetische Felder induzieren ein elektrisches Feld (Maxwell Gleichungen).

7 Literatur

ATTARD P. (2003), Nanobubbles and the hydrophobic attraction, Adv. Colloid Interface Sci. 104, 75-91.

AYRAPETYAN S. N (2006), Cell aqua medium as a primary target for the effect of electromagnetic fields, In Bioelectromagnetics Ed. S. N Ayrapetyan and M. S. Markov, (Springer, Dordrecht, 2006) pp 31-63.

BARTERI M., PALA A. und ROTELLA S. (2005), Structural and kinetic effects of mobile phone microwaves on acetylcholinesterase activity, Biophys. Chem. 113, 245-253.

BOULANGER L. (1998), Observations on variations in electrical conductivity of pure demineralized water: modification ("activation") of conductivity by low-frequency, low level alternating electric fields, Int. J. Biometeorology 41, 137-140.

CAI R., YANG H., HE J. und ZHU W. (2009), The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds, J. Mol. Struct. 938, 15-19.

CHAPLIN M. F. (2000), A proposal for the structuring of water, Biophys. Chem. 83, 211-221.

CHAPLIN M. F. (2010), Water structure and science, http://www.lsbu.ac.uk/water/index2.html

CHAPLIN, M .F. (2007), The memory of water; an overview, Homeopathy 96, 143-150; Reply to Comment on "The memory of water; an overview", Homeopathy 97 (2008), 43-44.

DANIELEWICZ-FERCHMIN I. und FERCHMIN A. R. (2004), Water at ions, biomolecules and charged surfaces, Phys. Chem. Liquids 42, 1-36.

DERJAGUIN B. V., FEDOSEEV D. C., USPENSKAYA K. S. und, VARNIN V. D. (1976), Dokl. Akad. Nauk, SSSR 231, 333 ff

ELIA V., ELIA L., CACACE P., NAPOLI E., NICCOLI M. und SAVARESE F. (2006), The “extremely diluted solutions” as multi-variable systems: a study of calorimetric and conductometric behaviour as a function of the parameter time, J. Thermal Analysis Calorimetry 84, 317-323.

FESENKO E. E. und GLUVSTEIN A. YA. (1995), Changes in the state of water, induced by radiofrequency electromagnetic fields, FEBS Lett. 367, 53-55.

FESENKO E. E., NOVIKOV V. V., und BOBKOVA N. V. (2003), Decomposition of amyloid β-protein under the action of a weak magnetic field, Biophysics 48, 204-206.

FESENKO E. E., POPOV V. I., NOVIKOV V. V. und KHUTSYAN S. S. (2002), Structure formation in water by the action of weak magnetic fields and xenon. Electron microscopic analysis, Biophysics 47, 365-370.

GAYLARD A, P. (2008), Going beyond the evidence, Homeopathy 97, 46.

GEIGER A., MAUSBACH P. und SCHNITKER J. (1986), Water and Aqueous Solutions, Hilger, Bristol, S. 15.

GEIGER A., RAHMAN A. und STILLINGER F. H. (1979), J. Chem. Phys., 70, 263-276.

GOLDSWORTHY A., WHITNEY H. und MORRIS E. (1999), Biological effects of physically conditioned water, Wat. Res. 33, 1618-1626.

HAYASHI H. (1996), Microwater, The natural solution, Water Institute, Tokyo.

HENN, A. R. und KAUZMANN, W. (1989), Equation of state of a random network, continuum model of liquid water, J. Phys. Chem. 93, 3770-3783.

HIGASHITANI K., KAGE A., KATAMURA S., IMAI K. und HATADE S. (1993), J. Colloid Interf. Sci. 156, 90 ff

HOLYSZ L., SZCZES A. und CHIBOWSKI E. (2007), Effects of static magnetic field on water and electrolyte solutions, J. Colloid Interface Sci. 316, 996-1002.

HU N., WUT D. SCHAEFER W. D. et al. (2010) Structurability: A Collective Measure of the Structural Differences in Vodkas, J. of Agricultural and Food Chemistry 2010, 58 (12), pp 7394-7401, DOI: 10.1021/jf100609c

KELLY R. H. und YANCEY P. H. (1999), High contents of trimethylamine oxide correlating with depth in deep-sea teleost fishes, skates and decapod crustaceans, Biol. Bull. 196, 18-25.

KLAPPROTH A., GORESHNIK E. , STAYKOVA D. K. , KLEIN H. und KUHS W. F. (2003), Structural studies of gas hydrates, Can. J. Phys. 81(1/2), 503-518.

KUSALIK P. G. und SVISHCHEV I. M. (1994), The spatial structure in liquid water, Science 265, 1219-1221. (The original SPC/E reference is BERENDSEN H. J. C., GRIGERA J. R. and STRAATSMA T. P. (1987), The missing term in effective pair potentials, J. Phys. Chem. 91, 6269-6271.)

LUDWIG R. (2001), Wasser: von Clustern ind Flüssigkeit, Angew. Chem. 113, 1856-1876

LUDWIG R. (2004), Molekulare Cluster und Flüssigkeiten, Unireport Sonderheft Chemiedozententagung, 52-54.

LUDWIG R. und PASCHEK D. (2005), Wasser, Anomalien und Rätsel, Chem. Unserer Zeit, 39, 164 – 175.

LUDWIG R. und WEINHOLD F. (1999), J. Chem. Phys., 110, 508 – 515

MERTA P. J., FULLERTON G. D. und CAMERON I. L. (1986), Characterization of water in unfertilized and fertilized sea urchin eggs, J. Cell Physiol. 127, 439-447.

MISHIMA O. und STANLEY H. E. (1998), The relationship between liquid, supercooled and glassy water, *Nature* 396, 329-335.

MOHRI K., FUKUSHIMA M. und MATSUMOTO M. (2001), Trans. Mag. Soc. Japan 1, 22 ff

MÜLLER A., BÖGGE H. und DIEMANN E. (2003), Structure of a cavity-encapsulated nanodrop of water, Inorg. Chem. Commun. 6, 52-53.

NEZBEDA I. und SLOVÁC J. (1997), A family of primitive models of water: three-, four and five-site models, *Mol. Phys.* 90, 353-372.

NOVIKOV V. V. und FESENKO E. E. (2001), Hydrolysis of some peptides and proteins in a weak combined (constant and low-frequency variable) magnetic field, Biophysics 46, 233-238.

PACH L., DUNCAN S., ROY R. und KOMARNENI S. (1996) J. Materials Sci. Letters 15, 613 ff

PANG X. F. und DENG B. (2008), Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field, Science in China Series G-Physics Mechanics Astron. 51, 1621-1632.

PEELAMEDU R. D., ROY R., AGRAWAL D. und DRAWL W. B. (2004), J. Mater. Res. 19, 1599 ff, Patent Number 6,365,885

PERSHIN S. M. (2005), Two-liquid water, Phys. Wave Phenomena 13, 192-208;

PERSHIN S. M. (2006), Harmonic oscillations of the concentration of H-bonds in liquid water, Laser Phys. 16, 1184-1190.

PERSHIN S. M., (2008), Coincidence of rotational energy of H_2O ortho-para molecules and translation energy near specific temperatures in water and ice, Phys. Wave Phenomena 16, 15-25.

ROY R. et al. (2002), Jour. of Mater. Res. Innov. 6, 128 ff

ROY R. et al.(April 2, 2002), ”Microwave Processing in Pure H Fields and Pure E Fields”, United States

ROY R., TILLER W. A., BELL I. und HOOVER M. R (2005), The structure of liquid water; novel insights from materials research; potential relevance to homeopathy, Materials Research Innovations 9-4, 577-608.

S. N. ANDREEV, V. P. MAKAROV, V. I. TIKHONOV, und VOLKOV A. A. (2007), Ortho and para molecules of water in electric field, Physics e-Print archive physics/0703038v1.

SOLA-PENNA M. und MEYER-FERNANDEZ J. R. (1998), Stabilization against thermal inactivation promoted by sugars on enzyme structure and function: Why is trehalose more effective than other sugars? Arch. Biochem. Biophys. 360, 10-14.

SYMONS M. C. R. (2001), Water structure, unique but not anomalous, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 359, 1631-1646.

TAKAIZUMI K. (2005), A curious phenomenon in the freezing-thawing process of aqueous ethanol solution, J. Solution Chem. 34, 597-612.

TEISSIE J. (2007), Biophysical effects of electric fields on membrane water interfaces: a mini review, Eur. Biophys. J. Biophys. Lett. 36, 967-972.

TILLER W. A. (1999), Subtle energies & energy, medicine 9, 151 ff

TILLER W. A., DIBBLE E. und KOHANE M. J. (2001), Conscious acts of creation: the emergence of a new physics. Pavior Publishing, Walnut Creek

TYRRELL G. W. J. und ATTARD P. (2001), Phys. Rev. Lett .87, 176104

VEGIRI A. (2004), Reorientational relaxation and rotational-translational coupling in water clusters in a d.c. external electric field, J. Mol. Liq. 110, 155 –168.

VYBÍRAL B. (2006), The comprehensive experimental research on the autothixotropy of water, In Water and the cell, Ed. G. H. Pollack, I. L. Cameron and D. N. Wheatley (Springer, Dordrecht, 2006) pp 299-314.

VYBÍRAL B. and VORÁCEK P. (2003), "Autothixotropy" of water - an unknown physical phenomenon, Physics e-Print archive physics/0307046

VYBÍRAL B. und VORÁČEK P. (2007), Long term structural effects in water: Autothixotropy of water and its hysteresis, Homeopathy 96, 171-182.

VYBÍRAL B. und VORÁČEK P. (2008), Response to Adrian Gaylard: Going beyond the evidence, Homeopathy 97, 47.

WIGGINS P. M. (1995), High and low-density water in gels, Prog. Polym. Sci. 20, 1121-1163.

WILLIAMS J. M. (2002), Thermal and nonthermal mechanisms of biological interaction of microwaves, Physics e-Print archive physics/0102007.

YAKABOR G. E., BUTT H. J. und VINOGRADOVA O. I. (2000), J. Phys. Chem. B 104, 3407 ff

YAMASHITA M., DUFFIELD C. A. und TILLER W. A. (2003), Direct current magnetic field and electromagnetic field effects on the pH and oxidation-reduction potential equilibration rates of water. 1. Purified water, Langmuir 19, 6851-6856.