

Eine kurze Geschichte über die Wasserbrücke

Wasser ist eine interessante Substanz. Warum? Wasser ist doch H₂O, nicht wahr? Zwei Atome Wasserstoff, ein Atom Sauerstoff – Schmelzpunkt 0°, Siedepunkt 100° (bei Normaldruck) – Symmetrie C_{2v}, Bindungswinkel 104.5° - etc., etc. – ein kleiner Blick ins Lexikon gibt Daten über Daten – Wasser ist nicht ohne Grund eine der meist untersuchten Substanzen überhaupt. Warum? Das ist nahe liegend: Es ist ubiquitär – in der Luft, im Boden, in unserer Nahrung – und nicht zuletzt in uns – so besteht ein Säugling aus nahezu 90% (!) Wasser, der Anteil geht bei Senioren bis auf 60% zurück. Seit den Frühzeiten der Menschheit wird Wasser in sämtlichen Kulturen hoch geschätzt. Es überbrückt Grenzen zwischen Wissenschaft, Mystik und Religion, spielt es doch in all diesen Themenkreisen wichtige Rollen – als Lösungsmittel, als Zaubermittel („Jungbrunnen“) und als heiliges Element – so heißt es etwa in Johannes 3, 3-7: „*Wenn jemand nicht aus Wasser und Geist geboren wird, kann er nicht in das Reich Gottes hineingehen.*“

Doch bleiben wir bei der Wissenschaft. Über kaum eine Substanz ist so viel bekannt wie über Wasser, und es wäre müßig, hier alle Fakten aufzuzählen – der interessierte Leser sei an die Fachliteratur– so z.B. an die fantastische Website von Prof. Martin Chaplin <<http://www1.lsbu.ac.uk/water/>> und die darin zitierten Arbeiten – verwiesen. Doch schon beim Studium der ersten Seite dieser wunderbaren Datenbank sticht ein Absatz hervor:

“... Water is the most studied material on Earth but it is remarkable to find that the science behind its behavior and function are so poorly understood (or even ignored), not only by people in general, but also by scientists working with it everyday. The small size of its molecule belies the complexity of its actions and its singular capabilities. ...”

Frei übersetzt bedeutet das in etwa:

„... Wasser ist die weltweit meist untersuchte Substanz, aber es ist auffallend, dass die den Eigenschaften des Wasser zugrunde liegende Wissenschaft kaum verstanden ist oder sogar ignoriert wird – und das nicht nur von Menschen im Allgemeinen, sondern auch von jenen Wissenschaftlern, die täglich damit arbeiten. Die geringe Größe des Wassermoleküls straft die Komplexität seiner Eigenschaften Lügen. ...“

Was bedeutet das? Ein einfaches Beispiel: Der Schmelzpunkt von Wasser ist 0°C. Das wissen wir. Doch verstehen wir es auch? Mit einem kurzen Blick auf das Periodensystem der Elemente ist Wasser ein Analoges zu Schwefelwasserstoff, H₂S und Selenwasserstoff, H₂Se. Selenwasserstoff hat einen Schmelzpunkt von -66°C, Schwefelwasserstoff, da er leichter ist, einen etwas tieferen: -87,5°C. Wasser, als nächstes in der Reihe, sollte einen noch tieferen Schmelzpunkt haben – um die -100°C. Wie wir wissen, entspricht das jedoch nicht der Wahrheit – der wirkliche Schmelzpunkt liegt um 100°C (!) höher. Auf die Frage, warum das so ist, gibt es zwei Standardantworten: 1.) Wegen der Wasserstoffbrückenbindungen und 2.) Es ist eine Anomalie.

Zweifelsohne sind beide Antworten korrekt. Nur wissen wir deshalb mehr? Nein. Aber konzentrieren wir uns zunächst auf die zweite Antwort – es ist also eine „Anomalie“. Die

meisten Leser werden schon von der berühmten „Anomalie des Wassers“ gehört haben – ja, richtig, die größte Dichte hat Wasser bei ca. 4°C. Also gibt es offenbar zwei Anomalien, da der Schmelzpunkt, wie wir eben erfahren haben, auch eine solche darstellt. Was bedeutet das Wort „Anomalie“ eigentlich? Aus der Wikipedia erfahren wir: „Anomalie (Plural: die Anomalien) ist ein Fremdwort aus dem Griechischen und bedeutet „Unregelmäßigkeit.“ <<http://de.wikipedia.org/wiki/Anomalie>>Also eine Unregelmäßigkeit in dem Sinn, dass eine Eigenschaft nicht den Vorhersagen der Theorie entspricht. Da keine Theorie die Wirklichkeit jemals zur Gänze beschreiben kann, sind Anomalien in der Wissenschaft „normal“, je kleiner ihre Anzahl, desto besser ist die verwendete Theorie dazu geeignet, die Wirklichkeit zu beschreiben.

Wie ist das nun bei Wasser? Sieht man bei Prof. Chaplin nach, so findet man 67 (!) Anomalien – darunter sämtliche physikalischen Kenngrößen wie Siedepunkt, Schmelzpunkt, Dichte, Kompressibilität, Schallgeschwindigkeit ... die Liste lässt sich beliebig fortsetzen.

Was bedeutet das für uns? Dass wir eigentlich gar nichts über Wasser wissen?

Nun, die Wahrheit liegt, wie meistens, zwischen den beiden genannten Extremen: So gibt es zu jeder einzelnen Anomalie eine oder mehrere Erklärungen bzw. Theorien – teilweise sich ergänzend, teilweise widersprüchlich. Bis heute erklärt jedoch keine Theorie alle Anomalien zusammengenommen befriedigend.

Von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet scheint nun auch die Geschichte der schwebenden Wasserbrücke weniger unwahrscheinlich als sie klingt: Ein bislang unerklärtes und in Vergessenheit geratenes physikalisches Phänomen, mit einfachsten Mitteln (und ohne Teilchenbeschleuniger) realisierbar – und bislang von keinem Modell vorhergesagt – kann es so etwas heutzutage noch geben?

Entdeckt wurde die Brücke von William George Armstrong, Baron Armstrong of Cragside, einem englischen Wissenschaftler, der darüber 1893 erstmals berichtete¹. Als einer der Ersten befürwortete Armstrong die Nutzung erneuerbarer Energien wie Solar- oder Wasserenergie – ein Vordenker zu Blütezeiten der Industrialisierung. Armstrong setzte es sich schon in frühen Jahren zum Ziel, die im Wasser innewohnende Energie zu nutzen und wurde durch seine „hydraulischen Kräne“² bekannt. In seinem späteren Leben versuchte er, aus Wasser Elektrizität zu gewinnen – und zwar direkter als durch Schaufelräder oder Turbinen. Im Rahmen der dazu durchgeführten Experimente entdeckte er auch die Wasserbrücke, ein „rope of water“ (Wasserseil), welches sich bei ihm zwischen zwei mit destilliertem Wasser gefüllten Weingläsern spannte. Er berichtete darüber vor der Newcastle Literary and Philosophical Society, und seine Rede wurde später im Journal „The Electrical Engineer“ abgedruckt³. Schon zu damaligen Zeiten schien das Experiment außergewöhnlich – und unglaublich, wie Lord Armstrong selbst berichtet:

[...] Amongst other experiments I hit upon a very remarkable one. Taking two wine-glasses filled to the brim with chemically pure water, I connected the two glasses by a cotton thread coiled up in one glass, and having its shorter end dipped into the other glass. On turning on the current, the coiled thread was rapidly drawn out of the glass containing it, and the whole thread deposited in the other, leaving, for a few seconds, a rope of water suspended between the lips of the two glasses. [...] unfortunately when it went to London, and was fitted up in the lecture-room, I could not get the full power on account of the difficulty of effecting as good insulation in a room as in the outside air. I

*therefore failed in getting this result, after announcing that I could do it, and I daresay I got the credit of romancing. [...]*⁴

Frei übersetzt:

[...] Neben anderen Experimenten entdeckte ich ein sehr Bemerkenswertes. Ich verband zwei bis zum Rand mit chemisch reinem Wasser gefüllte Weingläser mit einem Baumwollfaden, der in einem Glas aufgerollt war, und dessen kürzeres Ende in das andere Glas tauchte. Als ich den Strom einschaltete, wurde der Faden schnell aus einem Glas in das andere gezogen, wobei er, für ein paar Sekunden, ein schwebendes Seil aus Wasser zwischen den Glasrändern zurückließ. [...] Als ich nach London kam und das Experiment im Hörsaal durchführen wollte, erreichte ich leider nicht die volle Leistung (des Induktionsapparates, Anmerkung des Autors) wegen der Schwierigkeit, dort dieselbe gute Isolierung wie im Freien zu bewerkstelligen. Daher missglückte mir der angekündigte Versuch, und ich wurde vermutlich des Fantasierens bezichtigt.[...]

In späterer Folge sollte das Experiment Lord Armstrong jedoch wieder gelingen – und dann in Vergessenheit geraten. Es wurde vermutlich mündlich über mehrere Generationen weitergegeben – so auch an Prof. Uhlig, ETH Zürich⁵, der ein Video desselben im Internet zeigte. Dieses entdeckte mein ehemaliger Doktorvater, Prof. Karl Gatterer, im Jahr 2005 – und es faszinierte uns dermaßen, dass wir es binnen kürzester Zeit nachmachten – mit Erfolg: Wasser floss schwebend zwischen zwei Reservoirs. Ganz im Gegensatz zu dem, was wir von Wasser gewohnt sind, nämlich dass es die Form, in die man es füllt, annimmt, gab es sich mit der Brücke seine eigene Fassung. Schnell war Prof. Uhlig kontaktiert, schnell fanden wir heraus, was uns zutiefst erstaunte: Es gab angeblich keine wissenschaftlichen Arbeiten zu diesem Experiment (den Artikel von Lord Armstrong sollten wir erst zwei Jahre später über einen Forscher aus Seattle entdecken). Immer noch im Unglauben, dass sich niemand eingehend mit diesem Phänomen beschäftigt haben sollte, begann eine interdisziplinäre Kooperation an der TU Graz – allen voran sei hier Prof. Jakob Woisetschläger, Experimentalphysiker am Institut für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik genannt, mit dem ich noch heute eng zusammenarbeite. Und so drangen wir langsam in das höchst interessante Feld der „Elektrohydrodynamik“⁶ ein – also der Lehre von der Wechselwirkung von Elektrizität mit Flüssigkeiten. Dort liegt auch der Schlüssel zu vielen Eigenschaften der Wasserbrücke – so kann z.B. ihre Bildung mithilfe der Dielektrophorese⁷ – der Bewegung von Flüssigkeiten in inhomogenen Elektrischen Feldern – gut beschrieben werden. So benutzt z.B. der Tintenstrahldrucker bei Ihnen zu Hause elektrische Felder, um die Tinte aufs Papier zu bekommen. Weiters sind kapillare Flüssigkeitsbrücken im Bereich des „Electrowetting“⁸ (wörtlich: Elektrobefeuchtung) bekannt und verstanden. Auch die elektrischen Kräfte, die die Brücke in Schweben halten, sind inzwischen beschrieben und erklärt.⁹

Heißt das, dass die schwebende Wasserbrücke keine Geheimnisse mehr birgt? Oberflächlich betrachtet ist es vielleicht so – aber wenn man etwas tiefer schürft, etwas genauer nachfragt, so sind doch noch einige Fragen offen. Woher stammen die durch die Brücke rasenden Dichteschwankungen¹⁰, die schon Lord Armstrong als „flicker“¹¹ wahrnahm? Was steckt hinter der optischen Aktivität der Brückenhülle¹² – sind es

Bläschen¹³ oder ist es doch Doppelbrechung¹⁴? Wie funktioniert eigentlich der Ladungstransport durch die Brücke ohne Elektrolyse¹⁵? Was genau verursacht die Neutronenstreuung im Kleinwinkelbereich¹⁶ – und welche Rolle spielt der kleine Anteil der kürzlich mithilfe von Raman-Streuung¹⁷ und Neutronenbeugung¹⁸ entdeckten „polarisierten Wasserstruktur“ – eine grundlegende oder eher sekundäre? Und, da ja bekanntlich „*die lohnendsten Forschungen diejenigen sind, welche, indem sie den Denker erfreuen, zugleich der Menschheit nützen*“ (Christian Doppler, 1803-1853), stellt sich zu guter Letzt noch die Frage: Ist dieses Experiment von rein akademischen Interesse, oder kann man es irgendwann auch einmal zu irgendetwas gebrauchen?

Während die ersteren Fragen Gegenstand laufender und zukünftiger Untersuchungen sind, ist die letzte Frage nicht einfach zu beantworten. Wir wissen viel über Wasser – aber wir verstehen offenbar nicht alles. Daher fällt dieses Experiment in den Bereich der Grundlagenforschung. Das bedeutet, dass wir eigentlich nicht wissen, was wir hier tun. Klingt das schockierend für Sie? Keine Sorge, wir sind in guter Gesellschaft: Niemand geringerer als Albert Einstein meinte „*If we knew what it was we were doing, it would not be called research, would it?*“ (*wenn wir wüssten was wir taten, wäre es nicht Forschung, oder?*). Möglicherweise lassen Sie das nicht als Rechtfertigung für unsere Forschung durchgehen – zu Recht. Lassen Sie mich daher ein Beispiel anführen, was ein Durchbruch in der Grundlagenforschung – im Gegensatz zur heute viel mehr geförderten angewandten Forschung – bedeuten kann: Als der Elektromagnetismus noch kaum erforscht war, bestand die schnellste Kommunikationsmethode über längere Strecken in Form von Brieftauben. Kein Telefon, keine Handys – nur ein paar Gelehrte, die mit Drähten und Spulen Funken erzeugten. Nun stellen Sie sich vor, Sie haben die Möglichkeit, entweder an die Taubenzüchter oder an die Gelehrten Geld zu geben. Die einen erzählen Ihnen, dass durch ihre Spezialzüchtungen Ihre Nachrichten in Zukunft statt fünf nur noch vier Tage bis ans Ziel benötigen. Die anderen sagen, dass sie nicht genau wissen, was sie tun – aber möglicherweise große Fortschritte für die gesamte Menschheit in Ihrer Forschung stecken. Wem würden Sie das Geld geben? Sehen Sie das Dilemma?

Ich möchte mit diesem Beispiel nicht behaupten, dass der Schlüssel zu neuen Technologien oder gar neuen Paradigmen in der Wasserbrücke steckt. Es ist sogar äußerst unwahrscheinlich.

Aber es könnte sein. Und allein deshalb lohnt es sich, weiter daran zu forschen. Denn letzten Endes lernen wir dadurch viel Neues über Wasser – und damit – zumindest zu 60-90% – auch etwas über uns selbst.

Dr. Elmar C. Fuchs (*Klagenfurt 1975)- Scientific Project Manager and Researcher at Wetsus - Centre of Excellence for Sustainable Water Technology, Leeuwarden, The Netherlands

¹ Lord Armstrong, "Electrical Phenomena.", in: "The Newcastle Literary and Philosophical Society", The Electrical Engineer, Feb 10 (1893) 154-155

² *The Origins of Hydroelectricity*, P. Higgins (6 September 2009), The Lazy Environmentalist, <http://thelazyenvironmentalist.blogspot.com/2007/09/origins-of-hydroelectricity.html>

³ siehe Fn 1.

⁴ *The Great Gun-Maker*, D. Dougan (1970), Sandhill Press Ltd. ISBN 0946098239

⁵ Wolfram Uhlig, Laboratory of Inorganic Chemistry, ETH Höggerberg - HCI, Zürich, *personal communication* (2005)

⁶ siehe z.B. *Electrohydrodynamics: No. 380 (Courses and Lectures)*, A. Castellanos, Springer-Verlag, Austria (1998), ISBN-10: 3211831371, ISBN-13: 978-3211831373

⁷ siehe z.B. *Dielectrophoretic Forces in Liquids*, D. S. Parmar, A. K. Jalaluddin, Jpn. J. Appl. Phys. **13** (1974) 793-798

⁸ siehe z.B. *Electrowetting: from basics to applications*, F. Mugele, J.-C. Baret, J. Phys.: Condens. Matter **17** (2005) R705–R774

⁹ *Theory of the Maxwell pressure tensor and the tension in a water bridge*, A. Widom, J. Swain, J. Silverberg, S. Sivasubramanian, Y.N. Srivastava, Phys. Rev. E **80** (2009) 016301 (7pp)

¹⁰ *The floating water bridge*, E.C. Fuchs, J. Woisetschläger, K. Gatterer, E. Maier, R. Pecnik, G. Holler and H. Eisenkölbl, J. Phys. D: Appl. Phys. **40** (2007) 6112-6114

¹¹ Siehe Fn.1

¹² *Dynamics of the floating water bridge*, E.C. Fuchs, K. Gatterer, G. Holler, J. Woisetschläger, J. Phys. D: Appl. Phys. **41** (2008) 185502-185507

¹³ *Experiments in a Floating Water Bridge*, J. Woisetschläger, K. Gatterer and E.C. Fuchs, Exp. Fluids **48-1** (2010) 121-131

¹⁴ *Two-Dimensional Neutron Scattering in a Floating Heavy Water Bridge*, E.C. Fuchs, P. Baroni, B. Bitschnau, and Laurence Noirez, J. Phys. D: Appl. Phys **43** (2010) 105502 (5pp)

¹⁵ *Mass and Charge Transfer within a Floating Water Bridge*, E.C. Fuchs, M. Eisenhut, L.L.F. Agostinho, J. Woisetschläger, SPIE Conf. Proc. XII Int. Conf. Laser Appl. Life Sc., Oulu, Finland, June 9-11 (2010), *submitted*

¹⁶ *Neutron Scattering of a Floating Heavy Water Bridge*, E.C. Fuchs, B. Bitschnau, J. Woisetschläger, E. Maier, B. Beuneu and J. Teixeira, J. Phys. D: Appl. Phys. **42** (2009) 065502

¹⁷ *Raman scattering measurements on a floating water bridge*, R.C. Ponterio, M. Pochylski, F. Aliotta, C. Vasi, M. E. Fontanella, F. Saija, J. Phys. D: Appl. Phys. **43** (2010) 175405 (8pp)

¹⁸ *Two-Dimensional Neutron Scattering in a Floating Heavy Water Bridge*, a.a.O. (wie Fn 14)





1-4 Quelle - Fuchs/Woisetschläger