

Da hatter Heidegger wiederma recht... oder: Warum ist über- haupt etwas und nicht vielmehr nichts?

Fünf partielle physikalische Antworten auf eine generelle Frage

Manchmal fangen die Dinge ganz klein und harmlos an und verstecken sich in unscheinbaren Sätzen hinter dem Wörtchen „warum?“. „Du, Papa, warum ist die Sonne nachts aus?“, „Warum ist die Oma nicht mehr da?“, „Mama, warum sind Gespenster unheimlich?“ Gewöhnlich suchen Eltern dann nach Antworten, die zumindest nicht ganz falsch und für ihre Sprösslinge in gewisser Hinsicht ausreichend und akzeptabel sind. Aber nur ganz selten erreichen die Antworten auch den Grund der Dinge – sei es, dass dieser Grund viel zu tief liegt, als dass sich ohne Sauerstoffflasche nach ihm tauchen ließe, oder sei es, dass viele Antworten möglich sind, aber die nächstgelegene, unabhängig von ihrem Wahrheitsgehalt, immer die ist, die am schnellsten für Ruhe sorgt. Erinnern sich die Kinder später, wenn sie keine Kinder mehr sind, an diese Warum-Erfahrungen und sind sie so abenteuerlustig geblieben, den Dingen gern auf den Grund gehen zu wollen, dann werden sie vielleicht Wissenschaftler und versuchen, ihre Kinderfragen neu zu stellen.

Ob der Philosoph Martin Heidegger derartige Kindheitserfahrungen späterhin verarbeitet? Jedenfalls suchte er schon in seiner Freiburger Antrittsvorlesung im

Jahr 1929 nach einer Antwort darauf, warum überhaupt etwas (Seiendes) und nicht vielmehr nichts (Nichts) sei. Eine Frage, auf die man erst einmal kommen muss und die einen, wenn sie denn dann da ist, schon ganz schön ins Schlingern bringen kann. Die heideggersche Antwort, in der viel vom großgeschriebenen Nichts und dem Seienden als Seiendem die Rede ist, hat übrigens ähnliche Wirkung: Sie verknotet, zumindest allen Nicht-Philosophen, das Hirn und verwirrt einen derart, dass sich das eigene

Unverständnis spätestens nach dem dritten Leseversuch der heideggerschen Sätze in einer Art Übersprungshandlung als Lachattacke äußert. (Rettung bieten dann nur noch die Kabarettisten Thomas Pigor und Bendikt Eichhorn, die sich mit einem „da hatter Heidegger wiederma recht...“ auch nur ergeben können.)

Nach diesem kurzen Ausflug ins Philosophische bleiben wir doch lieber da, wo wir hingehören: bei der Physik. In der Physik lässt sich die Frage nach dem Warum in ein konkreteres „Wie?“ verwandeln, denkt der Physiker dabei doch eher in Begriffen von Energie und





Materie, von Kern und Hülle, von Atomen und Molekülen. Nehmen wir also die eine große Frage auseinander, schauen wir, welche (kleineren) Sub-Fragen sich auftun und was die Physik dazu zu sagen weiß.

Vom Glück des Daseins Das Rätsel um die Antimaterie

Auch Physiker schauen gelegentlich zu den Sternen und machen sich so ihre Gedanken über das große Ganze. Beim Blick in den Himmel kommt ihnen etwa der Gedanke, dass es da oben an manchen Stellen durchaus ganz anders zugehen könnte als im eigenen Revier unseres Sonnensystems. Vielleicht ist einiges, was da leuchtet, nicht nur eine kleine

Symmetrien sind schön – nicht nur, wenn sie da sind, sondern auch, wenn man sie entdeckt. So empfand es womöglich auch der Physiker Paul Dirac, als er Anfang der 1930er Jahre eine quantenmechanische Gleichung über den Zustand und das Verhalten von Elektronen aufstellte. Dirac stellte fest, dass die Symmetrie seiner Gleichung auch eine Art spiegelbildlicher Lösung gestattete. Und so hatte das Elektron plötzlich einen besonderen Verwandten an die Seite bekommen: das Positron. Mit Dirac kam so die Anti-Materie nicht nur in die Welt (denn da war die Anti-Materie schon immer), sondern auch in die Theorie. (Lesetipp: Frank Close, Antimaterie, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2010.)

oder (dies meistens) größere Sonne, sondern etwas Spiegelverkehrtes. Etwas, in dem aus Positivem Negatives wurde und aus rechts links. Manche Sterne, so die Hypothese, könnten nicht aus Materie, sondern aus ihrem Spiegelbild bestehen, der Anti-Materie, in der die elektrische Ladung der elementaren Teilchen das Vorzeichen wechselt und also etwa das Anti-Elektron positiv und das Anti-Proton negativ geladen ist.

Könnten wir einen Physiker zu so einem Anti-Sonnensystem schicken, würde er feststellen, dass sich auch in dieser Anti-Welt alles ganz normal verhält. Der Stern verbrennt seinen Anti-Wasserstoff zu Anti-Helium und produziert dabei eine Menge „normales“ Licht; die Planeten, so der Stern welche hat, ziehen ganz normale Bahnen um ihre Anti-Sonne; und die Anti-Außerirdischen ärgern sich wie ganz normale Außerirdische über Steuererklärungen und schauen als Verliebte in den Sternenhimmel. Nur dürfte unser Physiker all dem nicht zu nahe kommen, wollte er seine Beobachtungen auch noch jemandem mitteilen. Kommen sich nämlich Materie und Anti-Materie in die Quere, ist es um beide von jetzt auf gleich geschehen: Beide verwandeln sich in einen Lichtblitz und sind ... verschwunden. So will es die Äquivalenz von Materie und



Energie, die mit der einsteinschen Formel $E = m \cdot c^2$ beschrieben ist.

In unserer „normalen“ Welt ist Anti-Materie eher eine seltene Erscheinung und, wenn sie erscheint, nur von kurzer Dauer. Aber vorhanden ist sie durchaus, wie jeder zu berichten weiß, der sich einmal in einer nuklearmedizinischen Klinik in einem PET-Scanner, einem Positronen-Emissions-Tomografen, hat durchleuchten lassen. Das radioaktive Präparat, das dem Patienten zuvor injiziert wurde, zerfällt und sendet ein Positron, das Anti-Teilchen zum Elektron, aus. Dieses Positron verglüht mit dem nächstbesten Elektron zu einem Pärchen von Gammaquanten, die in entgegengesetzte Richtungen davonsausen und von geeigneten Detektoren registriert werden. Dies, der radioaktive Zerfall mancher Atomkerne, ist übrigens der einzige Weg, wie Anti-Materie auf natürliche Weise in unsere heutige Materie-Welt kommt.

Globaler gedacht führt uns der Weg dagegen zurück zum Urknall, bei dem es zunächst nichts gab außer purer Energie. Energie, die sich dann – ganz wörtlich verstanden – materialisierte in Teilchen und exakt gleich viele Anti-Teilchen. Traf darauf ein Teilchen eines seiner Pendants, so vergingen beide wieder in der großen Energiesuppe. Aber zu jedem beliebigen Zeitpunkt nach dem Urknall müssen genauso viele Teilchen wie Anti-Teilchen in der Welt gewesen sein – ein fundamentales Symmetriegesetz. Aber wo ist dann die Anti-Materie, die damals nach dem Urknall das große Werden und Vergehen überlebt hat, heute? In manchen Sternen?

Oder gab es damals Brüche in der Symmetrie? In jedem Fall gesellt sich für den Physiker zu der Frage, warum es überhaupt etwas gibt, das Rätsel, wo das Anti-Etwas geblieben ist.

Nicht immer genügen die Bindungskräfte, um den Strapazen des Alltags zu widerstehen. Dies hat oft traurige Konsequenzen.

Foto: Getty Images/
Marcelo Santos



Unten auf der Energieleiter Vom (energetischen) Vorteil jeder Bindung

Jedes Kind macht schon ganz früh die grundsätzliche Erfahrung, dass die Dinge teilbar sind. Wenn ich nur kräftig genug am Arm meiner Puppe ziehe, habe ich irgendwann links einen Arm ohne Puppe und rechts eine Puppe ohne Arm. Wenn ich die schöne Porzellantasse auf den Steinfußboden werfe, habe ich hinterher eine schöne Menge einzelner Scherben. Diese Erfahrung wird in abgewandelter Form das ganze Leben lang und ausnahmslos bestätigt: Die Dinge sind zusammengesetzt und wenn ich sie nur kräftig genug bearbeite, zerfallen sie in ihre Einzelteile. Diese Erfahrung geht sogar so weit, dass wir uns schlussendlich gar kein Ding vorstellen können, das sich nicht zerlegen lässt.

Natürlich taucht dann irgendwann die Frage auf, wie lange wir dieses Teilen und Zerlegen (Puppe ohne linken Arm, Puppe ohne linken und ohne rechten Arm, Puppe ohne linken und ohne rechten Arm und ohne linken Fuß usw.) fortsetzen können. Die Naturphilosophen brachten bei diesen Überlegungen die Atome, also die Unteilbaren, ins Spiel. Aus diesen Atomen besteht schlicht alles Materielle um uns herum. Später zerlegten dann die Physiker die Atome in Atomkerne und in Elektronen, die um den Kern herumswirren – eine Einsicht, zu der wir gezwungen sind, wollen wir die Welt um uns herum auch nur halbwegs deuten. Schließlich ließ sich auch noch der Kern zerlegen in Protonen und Neutronen. Wie bei allem ist es eine Frage der aufgewendeten Energie, ob wir das Spielchen weitertreiben können. So benötigen die Elementarteilchenphysiker eine gehörige Menge an Energie, um zu noch viel kleineren Objekten zu kommen (der jährliche Energieverbrauch vom CERN soll bei über einer Milliarde kWh liegen).

Haben wir von unserer Teilungswut genug, taucht jedoch leider ein anderes Rätsel aus der entgegengesetzten Richtung auf. Wie kommt es überhaupt, dass sich die Einzelteile zu etwas Größerem miteinander kombinieren lassen? Warum gibt es überhaupt – um auf einem gemäßigten Niveau zu bleiben – chemische Elemente und nicht nur einzelne Protonen, Neutronen und Elektronen? Die Antwort steckt in dem Grundprinzip der Natur, stets den energetisch günstigsten – und das heißt: energetisch tiefsten – Zustand erreichen zu wollen. Ein einzelnes Proton und ein einzelnes Elektron verbinden sich – da sie



unterschiedliche Ladungen tragen und sich elektrisch anziehen – rasend gern zu einem Wasserstoffatom, weil das Wasserstoffatom auf der Energieleiter tiefer sitzt als die Summe seiner Ausgangsteile. Das Elektron kommt dabei dem Proton so nahe, wie es die Quantenmechanik erlaubt, und gibt dabei ein kleines Portiönchen Energie ab – und dies ist eben die Bindungsenergie, die in dem zusammengesetzten Wasserstoffatom steckt. Will man das Wasserstoffatom wieder in seine Einzelteile (also ein Proton und ein Elektron) zerlegen, muss eben diese Energie wieder in das System gesteckt werden. Bindungsenergie ist daher nicht etwas, was in einem irgendwie zusammengesetzten, also einem gebundenen System drinsteckt, sondern vielmehr die Energie, die aufgewendet werden muss, um die Bindung wieder zu lösen, also das ganze System die Energieleiter ein Stück nach oben zu befördern.

Gewinne, indem du verlierst! Erste Bindungsregel: 1 plus 1 ist kleiner als 2

Wer unscharf hinschaut, könnte auf den Gedanken kommen, die zusammengesetzte Welt um uns herum bestünde aus drei Sorten Bausteinen: den Protonen (p), den Neutronen (n) und den Elektronen (e). Unschärf betrachtet stimmt das auch. Das Periodensystem der Elemente scheint das zu bestätigen. Das leichteste Element Wasserstoff: 1 Proton und 1 Elektron. Sauerstoff: 8 Protonen, (meistens) 8 Neutronen und 8 Elektronen. Und so weiter das ganze Periodensystem hindurch.

Merkwürdig wird es erst für den, der genauer hinschaut, also einmal nachmisst und feststellen muss, dass etwa ein Heliumatomkern etwas weniger wiegt, als dessen vier Bausteine (2 Protonen, 2 Neutronen) in der Summe auf die Waage bringen sollten. (Die „Waage“, die die Physiker für diese Messung benutzen, ist freilich keine gewöhnliche Waage, sondern ein Massenspektrometer.) Es scheint so, als wären die beiden Protonen und die beiden Neutronen im Heliumkern nicht

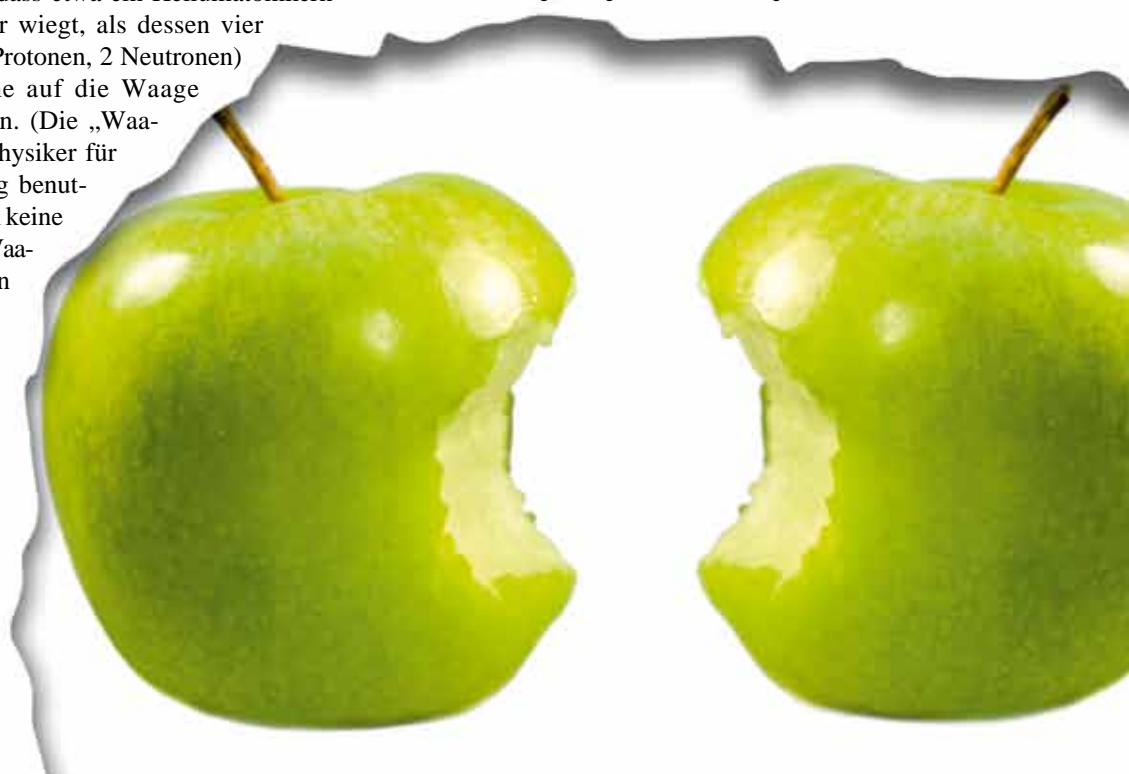
mehr vollständig vorhanden, als hätten sie etwas an Masse verloren, sodass sich die merkwürdige Arithmetik von „1 plus 1 ist kleiner als 2“ ergibt.

In eben dieser Arithmetik, diesem sogenannten Massendefekt, steckt die Bindungsenergie: Wenn wir die Kernbausteine so weit zusammenbringen, dass die starken Kernkräfte zwischen ihnen die Oberhand über die elektromagnetischen Abstoßungskräfte gewinnen, ist der zusammengesetzte Atomkern der energetisch günstigste Zustand. Um dorthin zu gelangen, muss das System aber Energie an die Außenwelt abgeben. Und dies tun die Kernbausteine, indem sie, ganz einsteinsche Gebilde, einen kleinen Bruchteil ihrer Masse als Bindungsenergie opfern, mit dem Resultat, dass das Zusammengesetzte weniger wiegt als die Summe seiner Einzelteile. Je größer der Atomkern, also je mehr Kernbausteine in ihm stecken, umso größer ist dieser Massendefekt.

Allerdings ist die Geschichte damit noch nicht zu Ende erzählt. Der Massendefekt pro Kernbaustein (pro Nukleon) variiert nämlich von Atomkern zu Atomkern. Den größten so gemittelten Massendefekt (und damit die höchste Kernbindungsenergie) haben die Nukleonen von Atomkernen rund um die Massenzahl 60 – also etwa Nickel-62 und Eisen-58. Sowohl leichtere als auch schwe-

Wenn Dinge zusammenhalten wollen, muss jedes beteiligte Ding etwas opfern – im physikalischen Fall: etwas Masse. Bei einem einfachen Ding wie dem Kern eines Heliumatoms sieht die Massenbilanz so aus: Zwei Protonen und zwei Neutronen bringen es aufaddiert zu einer (Ruhe-)Masse von 4,03188 u (wobei mit u die atomare Masseinheit gemeint ist). Verbinden sich diese vier Teilchen zu einem Heliumkern, so ist dessen Ruhemasse mit 4,00151 u jedoch um 0,76 % geringer. Das Energieäquivalent dieser fehlenden Masse ist gerade die Bindungsenergie des Kerns. Weil das so ist, strahlt uns unsere Sonne jeden Tag an und können wir vielleicht irgendwann Energie aus der Fusion von Atomkernen gewinnen. (Sehtipp: Harald Lesch, Was ist Bindungsenergie? Folge der Reihe „alpha-centauri“. <http://www.br-online.de/br-alpha/alpha-centauri/alpha-centauri-bindungsenergie-harald-lesch-ID1207829877868.xml>)

Foto: mauritius images/imagebroker/Günter Flegar





Sie sind klein, geladen, überaus zahlreich und bilden als „Elektronenwolken“ das, was sich Atomhülle nennt. Während im üblichen Sprachgebrauch eher der Kern das Wichtige und die Hülle das Nebensächliche ist, gilt für die Elektronen das Gegenteil. Denn in unserem normalen Leben ist jede chemische Bindung, jede Wechselwirkung ein Effekt der Hülle. Wo kämen wir nur ohne Elektronen hin? Wahrscheinlich nirgends.

Foto: mauritius images/Photo Researchers

...rere Atomkerne haben eine kleinere Bindungsenergie. Eben dieser Umstand macht das Verschmelzen von leichten Kernen (etwa Wasserstoff zu Helium in unserer Sonne und allen anderen Sternen) und die Spaltung von schweren Kernen in Kerne mittlerer Masse (in Kernkraftwerken) überhaupt erst möglich. In beiden Fällen führt der Weg zu höherer Bindungsenergie – also zu Energie, die frei wird und für alles Gute und Schlechte genutzt werden kann.

Who's in charge? oder: Stimmt die Chemie? Elektronen halten alles zusammen

Es ist immer gut zu wissen, wer für den Schlamassel verantwortlich ist. Im zwischenmenschlichen und gesellschaftlichen Leben kann Verantwortung leider nur selten eindeutig zugeordnet werden, da der eine so oder so oder auch „so“ handelt, weil ein anderer zuvor dieses und ein Dritter jenes getan oder gesagt hat. Die Situationen sind in der Regel vertrackt und unübersichtlich. Dieses Verantwortungschaos im Großen wird aber nur möglich, weil im Kleinen und im ganz Kleinen die Verantwortlichkeiten klar geregelt sind. Botenstoffe, Zellkonglomerate, Hormone, Signale unterschiedlichster Art jagen ständig durch unseren Körper, stellen Verbindungen zwischen dem einen und dem anderen Ende her, sorgen damit für „innermenschliche Kommunikation“ und veranlassen uns so, Dinge zu tun oder nicht zu tun, an dieses zu denken und an jenes andere nicht. Verantwortlich sind also in jedem Fall: die Moleküle. *(Mit Spannung darf hier auf den ersten Politiker oder Banker oder Manager gewartet werden, der angesichts eines Skandals vor die Presse tritt und verkündet: „Bitte haben Sie Verständnis, ich konnte nicht anders, meine Moleküle sind mit mir durchgegangen.“)* Aber auch die Moleküle könnten sich argumentativ verteidigen, schließlich sollten sie wissen, woraus sie bestehen, nämlich aus ein paar Atomkernen und vor allem: aus Elektronen. Überhaupt die Elektronen! Sie sind es, denen wir schlussendlich alles zu verdanken haben. Wenn jemand auf die Anklagebank muss, dann

das Elektron. *(Es ist übrigens durchaus statthaft, ein völlig beliebiges Elektron als Prügelknaben heranzuziehen und alle übrigen in Abwesenheit mitzuverurteilen, da jedes Elektron mit jedem anderen völlig identisch ist. Unterscheidung: zwecklos!)*

Stets sind es die Elektronen, die für Reaktion sorgen. Dafür, dass eine Verbindung gelöst und eine andere eingegangen wird, dass manches recht stabil ist und anderes zerfällt. Im großen Verbund mit genau so vielen Protonen und annähernd so vielen Neutronen lassen sich aus Elektronen gar so komplexe Dinge komponieren wie Chemiker, deren Aufgabe es dann wiederum ist, über das Verhalten der Elektronen nachzudenken. (Erstaunlich.)

Bei diesem Nachdenken sortieren die Chemiker dann das elektronische Verhalten gern in Kategorien – und zwar im Wesentlichen in drei. Im ersten Fall klaut sich ein elektronenhungriges Atom ein Elektron von einem elektronensatten Atom. Mit der Folge, dass der Dieb negativ, der Bestohlene positiv aufgeladen wird, sich beide daraufhin ungeheuer anziehend finden und eine ionische Bindung eingehen. Im zweiten grundsätzlichen Fall verbinden sich zwei Atome, indem jedes eines seiner Elektronen für eine Elektronenpaarbindung spendiert. Die Elektronen werden also gerecht geteilt; der Chemiker spricht dann von kovalenter Bindung. Bei den metallischen Festkörpern, die den dritten Fall bilden, gibt jedes Atom aus dem Festkörperverbund ein Elektron her, so dass die Gesamtheit der „freien Elektronen“ dann für die Bindung zwischen den positiv geladenen Atomrümpfen sorgt. Je genauer der Chemiker die Wirklichkeit beschreiben will, umso mehr Unterkategorien braucht er.

Aber bei all dem, dieser ganzen Molekularbiologie, geht es immer darum zu erfahren, woher das Elektron kommt und wohin es geht, mit wem es sich gerne einlässt und mit wem nicht. Damit steht fest, und nicht nur für alle, die eine Ausrede brauchen: Verantwortlich sind immer die Elektronen.

Über wie viele Brücken musst du gehen? Ohne Brücken(bindungen) kein Wasser

Jemandem, der sich fragt: „Warum ist überhaupt etwas?“, müsste eigentlich auch die Frage auf der Zunge liegen: „Warum bin überhaupt ich da?“. Führt die kurzsichtige Antwort ein paar Jahre oder Jahrzehnte zurück ins elterliche Schlafzimmer oder einen anderen Vergnügungsort, so führt die weitsichtige Antwort ... ins Wasser. Das Leben, wie wir es kennen, ist schließlich aus dem Wasser gekrochen. Und ohne Wasser wäre alles nichts. Unser Planet ist vor allem ein Wasserplanet: Über 70 % des Globus sind von Wasser bedeckt. Das gesamte Wasser auf der Erde – größtenteils Salzwasser in den Ozeanen – summiert sich zu der gigantischen Menge von 1,4 Milliarden Kubikkilometern. Und auch der Mensch selbst ist ganz wässrig: Wir bestehen in unseren Körperzellen zu gut 70 % aus Wasser, und unser durchschnittlicher Wasserverbrauch (als Bewohner eines Industrielandes) beträgt rund 130 Liter pro Kopf und Tag.

Wasser besitzt für uns und das Leben schlechthin eine Schlüsselrolle. Denn Wasser ist mit einer Reihe ganz besonderer Eigenschaften ausgestattet. So ist es über einen großen Temperaturbereich hinweg flüssig, siedet also erst bei recht hohen Temperaturen, mit der glücklichen Folge, dass Flüsse und Meere bei Schönwetterperioden nicht einfach verdampfen. Fällt dagegen die Temperatur, dann frieren Flüsse und Seen nicht einfach komplett zu – was alles Leben darin töten würde. Denn zum Glück verhält sich Wasser nicht normal. So hat Wasser bei rund 4 °C seine höchste Dichte, mit der Folge, dass Eis obenauf schwimmt. Und dann auch die Ozeane: Sie sind – Wasser ist die Flüssigkeit mit der höchsten Wärmekapazität – hervorragende Wärmespeicher und damit ein entscheidender Faktor für das Weltklima.

Ebenfalls ein Extrem ist die Wärmemenge, die nötig ist, um Wasser zu verdunsten. An dieser Eigenschaft hängen der Wasserkreislauf und der Energietransport zwischen den Meeren und unserer Atmosphäre. Wasser ist also in vielerlei Hinsicht einzigartig.

All diese Eigenschaften haben ihren Grund in der besonderen Struktur des Wassermoleküls. Verantwortlich sind wiederum – wie könnte es anders sein – die Elektronen, die zwischen dem Wasserstoff und dem Sauerstoff zur Bindung beitragen. Der Sauerstoff zieht die Elektronen etwas stärker auf seine Seite und schafft um sich herum einen kleinen Überschuss negativer Ladung (und einen entsprechend großen positiven Überschuss auf der Seite der Wasserstoffatome); das Wassermolekül wird so zum Dipol, das auch seine Nachbarn beeinflusst: Die Wassermoleküle spüren diese elektrischen Kräfte untereinander (die Chemiker sprechen hier von Wasserstoffbrückenbindungen) und suchen zwischen Anziehung und Abstoßung den bestmöglichen Kompromiss. Die besonderen Wassereigenschaften basieren vor allem auf diesen Wasserstoffbrückenbindungen und diese wiederum auf den Elektronenbindungen, die sich in die vier Ecken eines gedachten Tetraeders ausrichten – der in diesem speziellen Fall energetisch günstigsten Geometrie. Insgesamt haben wir damit nicht nur unser, sondern allgemein das Leben speziellen Wechselwirkungen in einem kleinen Molekül zu verdanken. ■

Jens Simon

Nicht immer haben große philosophische Fragen große philosophische Antworten. Und so ist die Frage, warum überhaupt etwas und nicht vielmehr nichts ist, schlussendlich – nein, nicht bei 42! – sondern bei 104,45 gelandet. So groß ist der Winkel (gemessen in °) zwischen den beiden O-H-Bindungen im Wassermolekül.

Foto: mauritius images/Radius Images

