

LÖSUNGSBEISPIELE ZUM THEMA WASSER → SEQUENZ 1

Autor: Katrin Schüßler

Herausgeber: Katrin Schüßler, Markus Emden und Elke Sumfleth

- » **TEIL I:** Struktur des Wassermoleküls
- » **TEIL II:** Oberflächenspannung
- » **TEIL III:** Wasserstoffbrücken





WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Das erwartet dich hier

Im folgenden Text erfährst du, dass Wasser ein Stoff ist, dessen Moleküle aus zwei Wasserstoffatomen bestehen, die an ein Sauerstoffatom gebunden sind. Wassermoleküle haben daher die Summenformel H_2O .

Die Wasserstoffatome gehen im Wassermolekül Elektronenpaarbindungen mit dem Sauerstoffatom ein, so dass alle Atome im Molekül den Edelgaszustand erreichen. Da das Sauerstoffatom über eine höhere Elektronegativität als die beiden Wasserstoffatome verfügt, befinden sich die Bindungselektronen nicht mittig zwischen den Atomkernen, sondern sind deutlich in Richtung des Sauerstoffatoms verschoben. Man spricht von einer polaren Atombindung. Mit Hilfe des Textes erfährst du, wie sich die Elektronegativität der Wasserstoffatome und des Sauerstoffatoms auf die beiden Elektronenpaarbindungen im Wassermolekül auswirkt. Die Elektronegativitätsdifferenz zwischen Wasserstoffatom und Sauerstoffatom führt beispielsweise dazu, dass sich an den Atomen im Wassermolekül Partialladungen bilden und dass das Wassermolekül ein Dipol ist.



EINFÜHRUNG

BEVOR DU LOSLEGST, BITTE LESEN

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



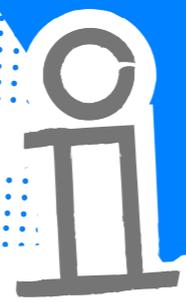
Zur Arbeit mit dem Material

Es ist wichtig, dass du dir den folgenden Text aufmerksam durchliest, so dass du möglichst viel lernst. Wenn du zwischendurch zurückblättern möchtest, um etwas noch einmal nachzuschauen oder eine Textstelle noch einmal zu lesen, kannst du dies jederzeit machen.

Der Text besteht aus Abschnitten. Um erfolgreich mit dem Text lernen zu können, solltest du dir am Ende jedes Abschnitts überlegen:

1. Was habe ich in diesem Abschnitt Neues erfahren?
2. Wie passt das, was ich neu erfahren habe, zu dem, was ich vorher schon wusste oder bereits gelesen habe?
3. Welche Fragen habe ich noch?

Lies erst danach den nächsten Abschnitt.



EINFÜHRUNG

BEVOR DU LOSLEGST, BITTE LESEN

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Zum Aufbau des Materials

Am Ende einiger Abschnitte wirst du kleine Aufgaben finden. Schätze zunächst wieder ein, ob du den vorangegangenen Abschnitt verstanden hast und bearbeite danach die Aufgabe. Blättere um, wenn du die Aufgabe so gut wie möglich bearbeitet hast.



Einige Aufgaben kannst du direkt am Bildschirm bearbeiten und deine Lösungen abspeichern. Dieses Symbol verdeutlicht dir, dass du die Lösung direkt in das pdf in das vorgesehene Kästchen schreiben und abspeichern kannst.



Du kannst dir aber auch natürlich einen normalen Schreibblock und einen Stift an die Seite legen und dort all das notieren, was für dein Lernen hilfreich ist. Dann kannst du auch solche Aufgaben bearbeiten, bei denen du etwas zeichnen musst.

Schreib dir am besten immer oben auf die Seite im Schreibblock, welchen Text du dort gerade bearbeitest.



Am Ende jedes Textes erwarten dich zusammenfassende Aufgaben, mit denen du überprüfen kannst, was du gelernt hast. Außerdem gibt es am Ende jedes Textes noch einmal eine Übersicht, in der die wichtigsten neuen Begriffe kurz erklärt werden. Diese Übersicht kannst du auch nutzen, um zu überprüfen, ob du die letzte Aufgabe richtig gelöst hast.



Jetzt geht es los mit

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls

Auf dem Planeten Azzegoro will Ehin-Butu gerade die Türe schließen und mit seinem Unterricht beginnen, als Hugi-Bugi um die Ecke biegt. Aus dem Klassenzimmer hört Hugi-Bugi die Stimmen seiner Freunde und Mitschüler. Bereits von der Tür aus wirft Ehin-Butu Hugi-Bugi einen missbilligenden Blick zu: „Hugi-Bugi, du bist schon wieder *sehr* spät dran“, begrüßt er ihn tadelnd. „Und was hast du da schon wieder in der Hand? Warst du etwa noch beim Kiosk?“

Hugi-Bugi schiebt sich an Ehin-Butu vorbei in den Klassenraum. „Das ist ein neuer Stickstoffshake, damit ich mich besser konzentrieren kann“, sagt er und lächelt Ehin-Butu an, bevor er seine Freunde begrüßt.

Ehin-Butu schüttelt ungläubig den Kopf und begibt sich in Richtung Vortragspult. Da sich noch etliche Schüler unterhalten, ist es allerdings so laut, dass man kaum seinen Nachbarn versteht und mit Sicherheit keinen Vortrag. Vom Vortragspult aus wirft Ehin-Butu einigen Schülern einen strengen Blick zu. Langsam wird die Klasse leiser. Nur Hugi-Bugi steht noch vor dem Tisch seines Freundes Shahi-Ohlum, der gerade den Stickstoffshake probiert.

„Hugi-Bugi!“, mahnt Ehin-Butu, „Setz' dich jetzt sofort hin! Und stell' endlich dein Getränk weg!“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Während Hugi-Bugi sich auf seinen Platz setzt und sein Getränk abstellt, hört man Shahi-Ohlum deutlich flüstern: „Ich hasse transgalaktische Elementarsubstanzlehre!“

Ehin-Butus Blick wandert von Hugi-Bugi zu Shahi-Ohlum: „Wenn du nicht dein ganzes Leben auf diesem Planeten verbringen willst, solltest du dich aber mit transgalaktischer Elementarsubstanzlehre beschäftigen, weil es einen sehr großen Teil der Galaxisreiseprüfung ausmacht.“

Shahi-Ohlum murmelt irgendwas Unverständliches und blickt auf seinen Tisch, während sich Jupiter-Saturn in der ersten Reihe *noch* aufrechter hinsetzt und Ehin-Butu erwartungsvoll ansieht.

„Wenn man nach den Planeten irgendeines Sonnensystems benannt worden ist, wird man wahrscheinlich automatisch zum Streber“, überlegt Hugi-Bugi und wirft Shahi-Ohlum einen genervten Blick zu. Der steht aber immer noch unter Beobachtung von Ehin-Butu und fixiert daher mit seinen Augen weiter die Tischplatte vor sich.



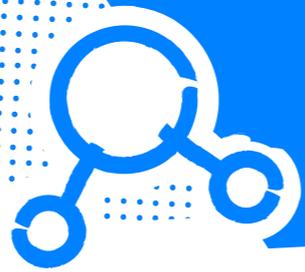
WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Widerstrebend richtet Hugi-Bugi seinen Blick nach vorne. Transgalaktische Elementarsubstanzlehre ist seiner Meinung nach das schlimmste Fach. Letztes Jahr wäre er fast durch die Prüfung gefallen. Jede Stunde berichtet Ehin-Butu begeistert von irgendwelchen, unendlich weit entfernten Planeten und Sonnensystemen, am liebsten von unbewohnten oder von solchen mit unwissenden Bewohnern.

Hugi-Bugi kann sich kaum noch erinnern, wann er das letzte Mal etwas über die anderen Planeten seines eigenen Planetenverbunds gehört hat. Ehin-Butu sagt immer, dass die anderen Planeten viel interessanter sind, weil sie sich so sehr von denen des Planetenverbunds unterscheiden, aber Hugi-Bugi versteht nicht, was an ein paar unbewohnten Planeten, zu denen nur Forschungsmissionen unternommen werden, so spannend sein soll.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Vorne räuspert sich Ehin-Butu merklich und kündigt begeistert an: „So meine Lieben, heute beginnen wir mit einem neuen Thema.“

Jupiter-Saturn setzt sich, wenn das überhaupt möglich ist, noch etwas aufrechter hin. Hinter Ehin-Butu erleuchtet eine Projektion die Wand. Vor dem Hintergrund des Weltraums entdeckt Hugi-Bugi einen Planeten, der überwiegend blau aussieht und nur einige braungrüne Flecken hat.



Bild 1: Erde (NASA/Apollo 17 crew; https://de.wikipedia.org/wiki/Erde#/media/File:The_Earth_seen_from_Apollo_17.jpg)



„Von den Bewohnern wird der Planet *Erde* genannt“, verkündet Ehin-Butu.

Hugi-Bugi hat noch nie davon gehört, aber zumindest gibt es Bewohner. Es kann also nur spannender werden als Ehin-Butus letzte Vorträge über Felsbrocken und Gaskugeln, die durch die Galaxie rauschen.

In der ersten Reihe drückt Jupiter-Saturn seinen Redebeitragsknopf: „Die Erde gehört zur Milchstraße, oder?“

Ehin-Butu nickt: „Ganz genau.“

„Oh nee! Nicht schon wieder Milchstraße!“, ruft Shahi-Ohlum resigniert dazwischen.

Ehin-Butu wirft ihm einen tadelnden Blick zu, bekommt aber keine Gelegenheit seine Wahl der Milchstraße zu verteidigen, weil Shahi-Ohlum sich noch weiter beschwert: „Aber wirklich. Immer reden wir über die Milchstraße. Die sind doch eh' alle unwissend da!“

Hugi-Bugis Hoffnung auf halbwegs interessante Lebensformen, die auf dieser *Erde* leben könnten, sinkt Richtung Nullpunkt.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Shahi-Ohlum!“, ermahnt Ehin-Butu. „Nur weil ein Planet nicht zu unserem Planetenverbund gehört, heißt das nicht, dass er uninteressant ist. Außerhalb des Planetenverbunds gibt es sehr viele interessante Planeten“, schwärmt Ehin-Butu und versucht zu überzeugen: „Gerade weil sie außerhalb unseres Planetenverbundes existieren, sind sie so wahnsinnig spannend! Auf der Erde zum Beispiel herrschen Bedingungen, die wir uns kaum vorstellen können, und trotzdem gibt es dort relativ weit entwickelte Lebewesen.“

Seit vielen Jahrhunderten werden die Erde und ihre Bewohner, besonders die sogenannten *Menschen*, von einem Nachbarplaneten, dem Mars, aus beobachtet und die Forscher haben erstaunliche Erkenntnisse gewonnen.“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls

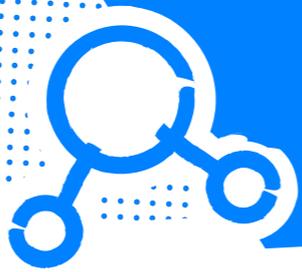


„Und welche sind das?“, fragt Hugi-Bugi, um seinen Freund zu unterstützen.

„Darüber wollte ich heute und in den nächsten Stunden mit euch sprechen“, verkündet Ehin-Butu. Dann macht er eine kleine Pause und wartet, bis er sich sicher ist, dass die ganze Klasse ihm zuhört, bevor er fortfährt: „Der für das Leben auf der Erde vermutlich wichtigste Stoff wird von den Bewohnern **Wasser** genannt. Weite Teile des Planeten sind mit dieser Substanz bedeckt. Dabei handelt es sich um die Bereiche, die hier in der Abbildung blau erscheinen“, erklärt Ehin-Butu und deutet mit der Hand auf die Abbildung hinter sich.



Bild 2: Erde (NASA/Apollo 17 crew; https://de.wikipedia.org/wiki/Erde#/media/File:The_Earth_seen_from_Apollo_17.jpg)



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Oha!“, ruft Hugi-Bugi etwas zu laut.

„Diese größeren Ansammlungen von Wasser, die sogar aus dem Weltall noch sichtbar sind, werden von den Bewohnern *Ozean* genannt“, erklärt Ehin-Butu. „Die Bewohner der Erde sind überzeugt, dass Leben ohne Wasser nicht möglich ist.“

„Warum?!“, fragt Shahi-Ohlum verständnislos.

„Was ist denn dieses Wasser?“, ruft auch Hugi-Bugi dazwischen.

In der Reihe vor ihnen drückt Jupiter-Saturn demonstrativ seinen Redebeitragsknopf und dreht sich nach einem aufmunternden Lächeln von Ehin-Butu zu den beiden um. „Als Wasser bezeichnen die Bewohner der Erde eine Flüssigkeit, deren Moleküle aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom aufgebaut sind. Die Summenformel ist **H₂O**.“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



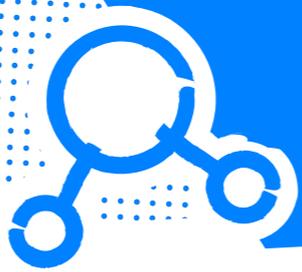
„Aha“, sagt Hugi-Bugi wenig überzeugt, da ihm diese Antwort überhaupt nicht weiterhilft, und fragt sich mal wieder, warum Jupiter-Saturn so was weiß.

„Die Annahme der Erdbewohner“, fährt Jupiter-Saturn fort, „dass ein Leben ohne Wasser nicht möglich ist, stammt vermutlich daher, dass es für die meisten Lebewesen auf *ihrem* Planeten zutrifft.“

Hugi-Bugi hat weiterhin das Gefühl, dass ihm leider der Durchblick fehlt: „Also auf der Erde gibt es ganz viel von diesem Wasser und das Molekül ist H_2O ... und diese Lebewesen da ... diese Menschen ... brauchen das Wasser?“, versucht er die Informationen der letzten zehn Minuten noch mal zusammenzufassen.

„Leben die da alle in diesem Ozean oder wie?“, fragt jetzt auch Shahi-Ohlum wieder.

„Die meisten höher entwickelten Bewohner der Erde leben nicht im Ozean“, korrigiert Jupiter-Saturn ihn und vergisst vor lauter Entsetzen über diese offenbar unglaublich unsinnige Vorstellung vorher seinen Redebeitragsknopf zu drücken.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Das Leben auf der Erde ist wahnsinnig spannend, wie ihr euch sicher vorstellen könnt“, unterbricht Ehin-Butu ihn. „Neben den Menschen gibt es auch noch eine unglaublich große Anzahl von sehr interessanten Kleinstlebewesen ... , von denen übrigens auch sehr viele im Meer leben ... “, beginnt Ehin-Butu wieder zu schwärmen, unterbricht sich dann aber mal wieder selbst: „Leider ist dieses Thema nur Bestandteil des Vertiefungskurses transgalaktische Elementarsubstanzlehre, den ihr später einmal belegen könnt ... , falls ihr diesen Kurs hier erfolgreich bestanden habt Für unseren Kurs hier ist nur vorgesehen, dass wir uns mit dem wichtigsten Stoff auf der Erde – dem Wasser – etwas näher beschäftigen“, schließt Ehin-Butu mit deutlicher Enttäuschung in der Stimme. Er scheint für diese Regelung nur wenig Verständnis aufzubringen.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Aber was ist denn jetzt dieses Wasser?!“, fragt Hugi-Bugi ungeduldig.

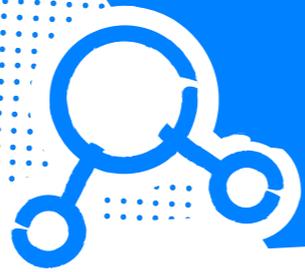
„Als Wasser wird, wie Jupiter-Saturn gerade richtig erklärt hat, die flüssige Form eines Stoffes bezeichnet, dessen Moleküle die Summenformel H_2O haben. Die Strukturformel des Moleküls seht ihr hier“, erklärt Ehin-Butu und blendet dabei eine neue Abbildung ein.



Bild 3: Strukturformel eines Wassermoleküls

Beschreibe den Aufbau des Wassermoleküls, bevor du weiter liest.





WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Wie ihr hier sehen könnt, ist ein **Sauerstoffatom** an zwei **Wasserstoffatome** gebunden“, fährt Ehin-Butu fort.



Bild 4: Strukturformel eines Wassermoleküls



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Das Sauerstoffatom und jedes Wasserstoffatom stellen für diese Bindung jeweils ein Außenelektron zur Verfügung“, erklärt Ehin-Butu weiter. „Je ein **Außenelektron des Sauerstoffatoms** und das **Außenelektron der Wasserstoffatome** bilden dann zusammen eine **Elektronenpaarbindung**, die die beiden beteiligten Atome zusammenhält.“

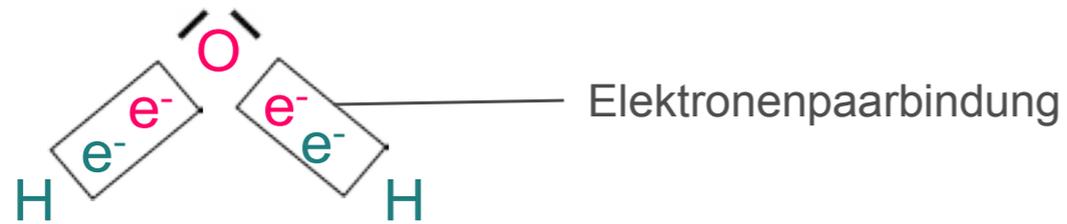


Bild 5: Elektronenpaarbindung im Wassermolekül



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Durch die Elektronenpaarbindung zum Sauerstoffatom erreichen die beiden **Wasserstoffatome** eine vollbesetzte Außenschale und dadurch einen energetisch günstigen, also stabilen Zustand“, fährt Ehin-Butu fort. „Wir betrachten hier zunächst nur die Wasserstoffatome. Das Sauerstoffatom ist daher ausgeblendet.“

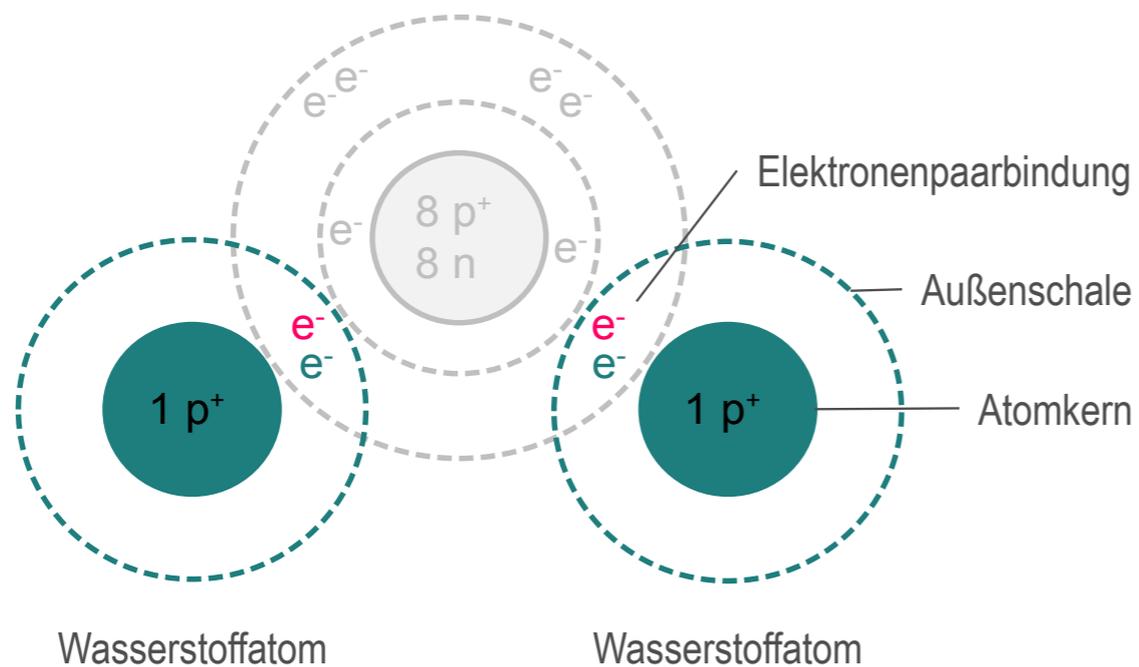


Bild 6: Edelgaskonfiguration der Wasserstoffatome im Wassermolekül



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Aber die haben doch dann nur zwei Elektronen!“, ruft Hugi-Bugi empört dazwischen.

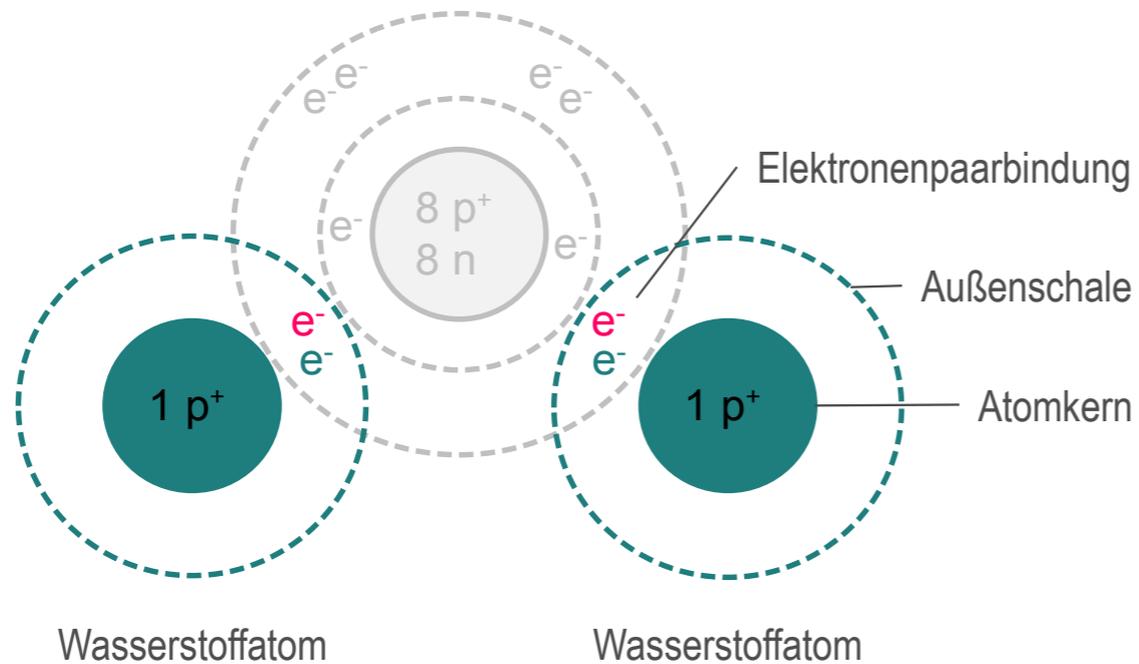
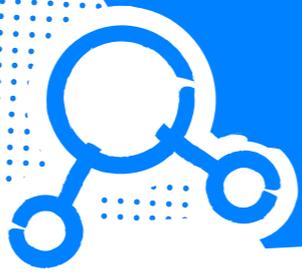


Bild 7: Edelgaskonfiguration der Wasserstoffatome im Wassermolekül

„Ich dachte die brauchen immer acht Elektronen, damit die stabil sind. Da gibt es doch diese Regel ...“, überlegt Hugi-Bugi weiter.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„**Edelgaszustand**“, flüstert Shahi-Ohlum ihm zu.

Jupiter-Saturn drückt vorne in der ersten Reihe schon wieder seinen Redebeitragsknopf: „Die Regel besagt lediglich, dass eine vollbesetzte Außenschale, wie bei den Edelgasen, zu einem besonders stabilen Zustand führt. Viele merken sich leider nur, dass die Edelgase ab der zweiten Periode über acht Außenelektronen verfügen“, fügt er mit einem kurzen Blick auf Hugi-Bugi hinzu. „Aber nicht jede vollbesetzte Außenschale muss immer zwangsläufig acht Elektronen umfassen. Die Atome der Elemente in der ersten Periode, wie zum Beispiel das Wasserstoffatom, haben auf der Außenschale nur Platz für zwei Elektronen.“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„**Wasserstoff** steht doch in der ersten Periode“, fügt Shahi-Ohlum hinzu, der ganz richtig vermutet, dass Jupiter-Saturns Erklärung Hugi-Bugi nicht wirklich weiter geholfen hat.

Ehin-Butu zeigt jetzt vorne einen Ausschnitt des Periodensystems:

	Hauptgruppe							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Periode	H Wasserstoff							He Helium
2. Periode	Li Lithium	Be Beryllium	B Bor	C Kohlenstoff	N Stickstoff	O Sauerstoff	F Fluor	Ne Neon

Bild 8: Ausschnitt aus dem Periodensystem der Elemente

„Wie du dich hoffentlich noch erinnerst, Hugi-Bugi, erreichen Wasserstoffatome bereits durch die Aufnahme eines Elektrons den stabilen Zustand des Edelgases Helium, das auch nur zwei Außenelektronen besitzt,“ erinnert Ehin-Butu, „während Atome ab der zweiten Periode deutlich mehr Elektronen aufnehmen müssen, bis sie den Edelgaszustand erreicht haben.“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Hugi-Bugi erinnert sich langsam: „Ja, klar!“, ruft er und legt dabei etwas zu viel Selbstverständlichkeit in seine Worte: „Haben wir doch gemacht!“

Sicherheitshalber sieht er sich dann aber doch Ehin-Butus Abbildung noch mal genauer an.

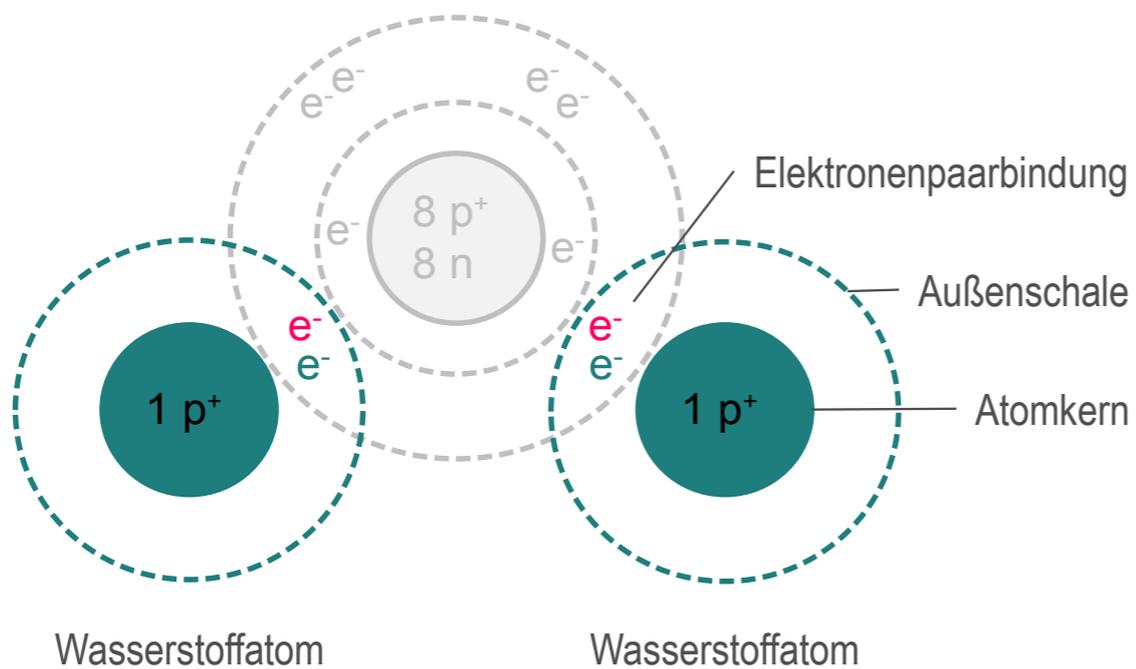


Bild 9: Edelgaskonfiguration der Wasserstoffatome im Wassermolekül

Erläutere, wie die Wasserstoffatome im Wassermolekül den Edelgaszustand von Helium erreichen, bevor du weiter liest.





WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Also, eigentlich hat so ein **Wasserstoffatom** nur **ein einziges eigenes Außenelektron**, weil es in der ersten Hauptgruppe steht ...“, überlegt Hugi-Bugi. „Aber wenn es eine Bindung mit dem Sauerstoffatom macht, dann kann es quasi ein **Außenelektron vom Sauerstoffatom** mitbenutzen ... und dann fühlt es sich so edel wie ... Helium.“

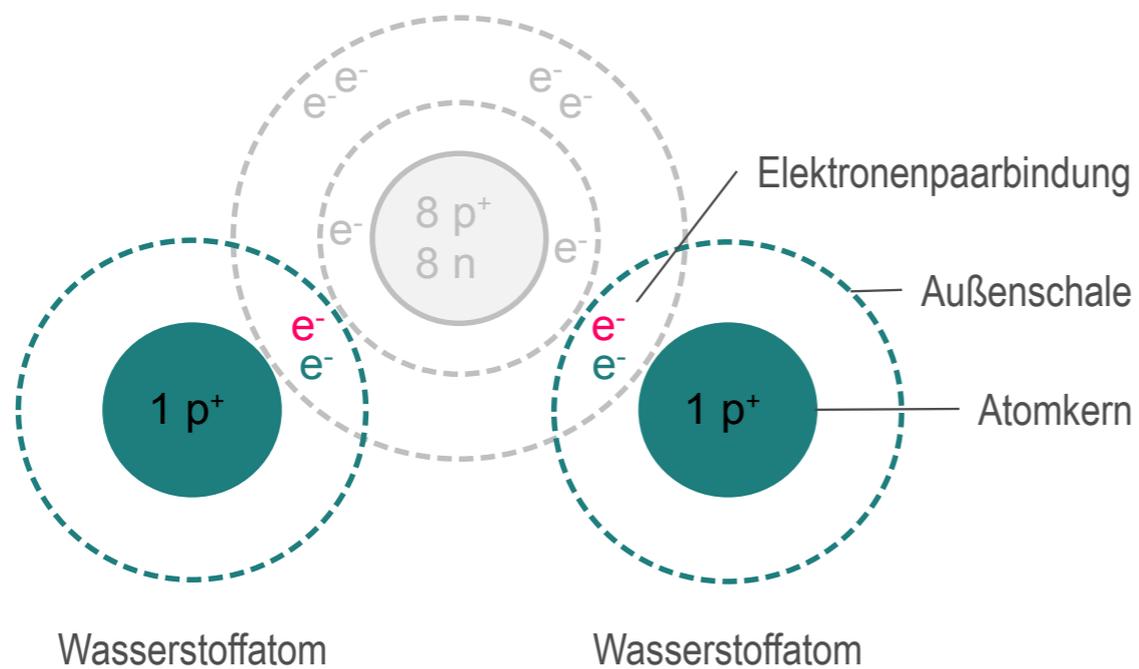
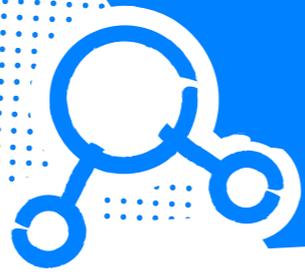


Bild 10: Edelgaskonfiguration der Wasserstoffatome im Wassermolekül



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Shahi-Ohlum nickt zustimmend, während Jupiter-Saturn mit dieser Erklärung nicht zufrieden ist. „Wasserstoffatome fühlen doch nicht!“, korrigiert er. „Das Wasserstoffatom erreicht durch das zusätzliche Elektron in der Elektronenpaarbindung mit dem Sauerstoffatom lediglich den stabilen Zustand des Edelgases Helium.“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Shahi-Ohlum schneidet hinter Jupiter-Saturns Rücken eine Grimasse. Ehin-Butu ist währenddessen schon wieder bei der Abbildung des Wassermoleküls: „Das **Sauerstoffatom** gehört zu den Atomen, die erst mit acht Außenelektronen den stabilen Edelgaszustand erreichen.

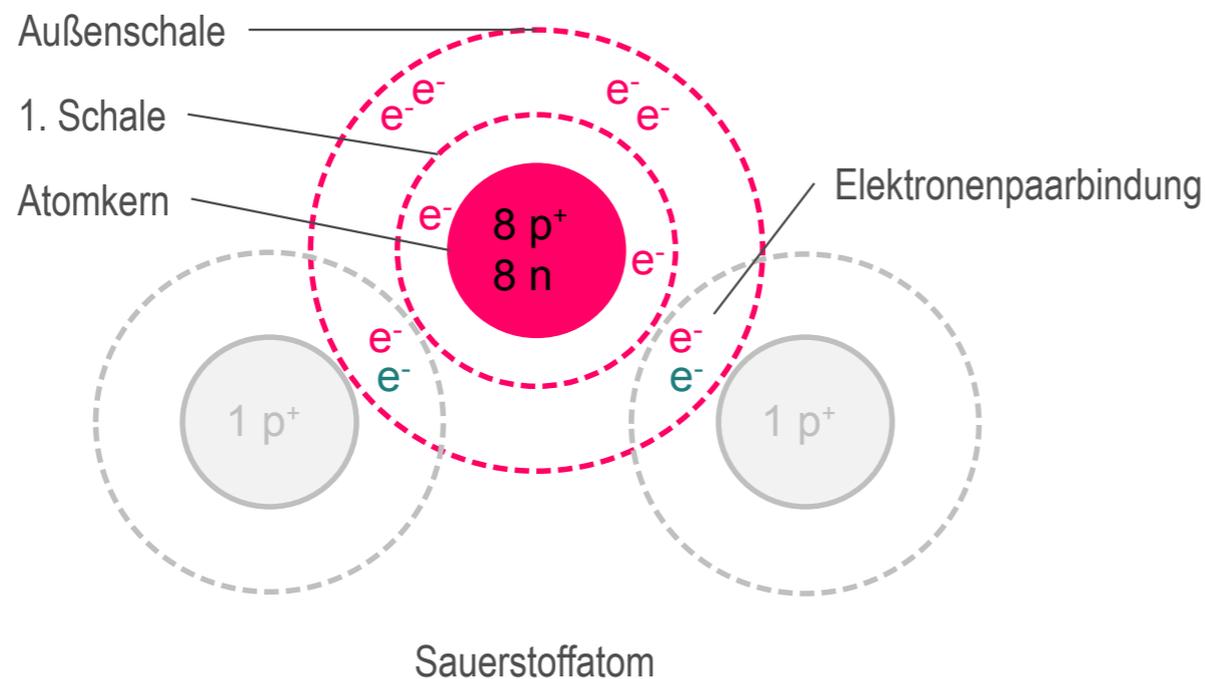


Bild 11: Edelgaskonfiguration des Sauerstoffatoms im Wassermolekül

Erläutere, wie das Sauerstoffatom im Wassermolekül den Edelgaszustand erreicht, bevor du weiter liest.



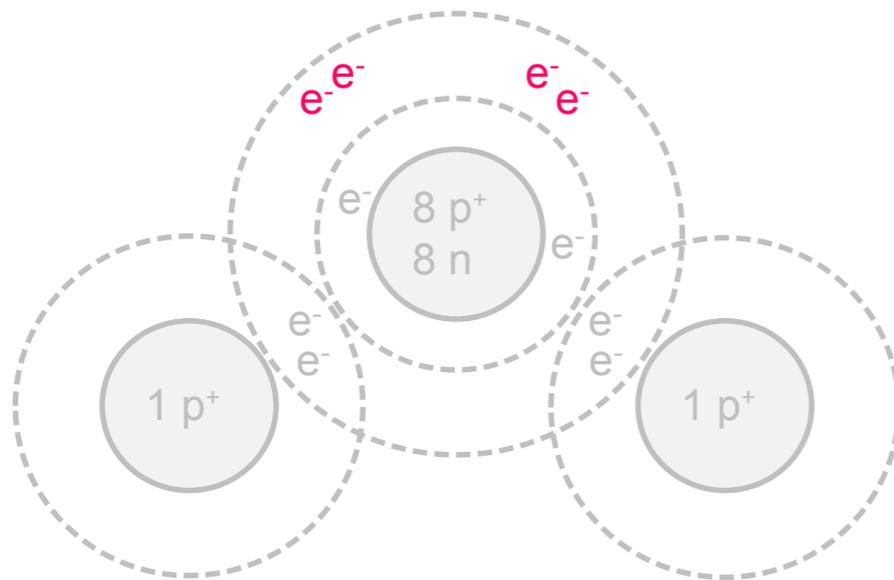


WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Neben den beiden Elektronen, die das Sauerstoffatom für die Bindung zu den Wasserstoffatomen zur Verfügung stellt“, fährt Ehin-Butu fort, „besitzt das **Sauerstoffatom** noch **vier weitere Außenelektronen**.



Sauerstoffatom

Bild 12: Außenelektronen des Sauerstoffatoms, die nicht an den Elektronenpaarbindungen beteiligt sind



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Diese vier Elektronen liegen im Wassermolekül als **freie Elektronenpaare** am Sauerstoffatom vor“, erklärt Ehin-Butu.

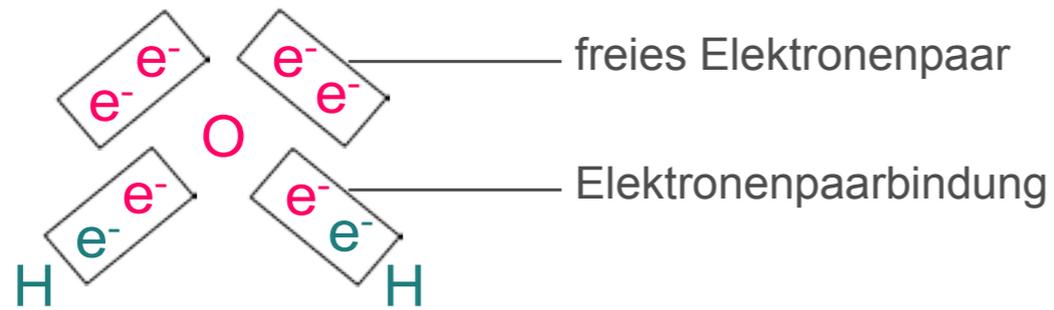


Bild 13: Bindende und freie Elektronenpaare im Wassermolekül



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Dieses Wassermolekül besteht also aus den **beiden Wasserstoffatomen**, die jeweils eine Elektronenpaarbindung mit dem **Sauerstoffatom** eingehen und den beiden freien Elektronenpaaren am Sauerstoffatom“, versucht Shahi-Ohlum zusammenzufassen. „Dadurch erreichen alle Atome im Molekül die Edelgaskonfiguration und das Molekül ist stabil ... Was soll daran so spannend sein?“

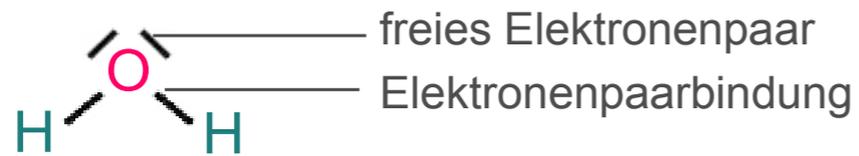
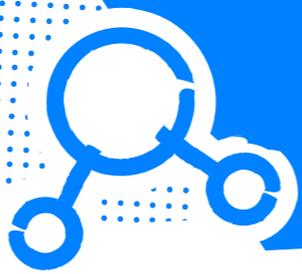


Bild 14: Bindende und freie Elektronenpaare im Wassermolekül



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Hugi-Bugi ist die Sache leider noch nicht so klar wie seinem Freund. Auch wenn er sich den Blick von Jupiter-Saturn schon vorstellen kann, muss er trotzdem noch mal nachfragen: „Warum ist das denn so um die Ecke geschrieben? Das O ist ja so ein bisschen höher als die beiden Hs ... so um die Ecke halt!“ Ehin-Butu wirkt alarmiert. Hugi-Bugi versteht leider erst jetzt, was Shahi-Ohlum da die ganze Zeit schon flüstert: „ ... **gewinkelt!**“, stammelt er schnell hinterher. „Ich meine, warum ist das da so gewinkelt?“



Bild 15: Strukturformel eines Wassermoleküls

Erläutere, warum die Struktur des Wassermoleküls als gewinkelt bezeichnet wird, bevor du weiter liest.





WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



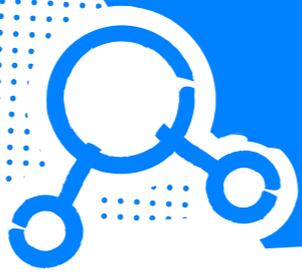
Jupiter-Saturn drückt seinen Redebeitragsknopf, bevor Hugi-Bugi seine Frage zu Ende gestellt hat. „Elektronenpaare ordnen sich um den Atomkern mit größtmöglichem Abstand zueinander an“, verkündet er.

Hugi-Bugi wirft Shahi-Ohlum einen verständnislosen Blick zu und hofft, dass sein Freund ihm das noch mal etwas genauer erklären kann.

„Die Elektronen sind doch alle negativ geladen“, erklärt Shahi-Ohlum. „Und weil Teilchen mit gleicher Ladung sich abstoßen, verteilen sich die Elektronenpaare so um den Atomkern herum, dass sie möglichst weit voneinander entfernt sind.“

Hugi-Bugi hat das Gefühl langsam wieder mitzukommen.

„Du musst halt nur immer dran denken, dass die Elektronenpaare sich nicht nur nach oben und unten und links und rechts um den Atomkern verteilen können, wie zum Beispiel die Zeiger bei einer Uhr, sondern auch hinten und vorne noch Platz ist“, fährt Shahi-Ohlum fort.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls

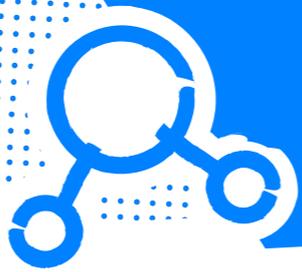


Während Hugi-Bugi in seiner Erinnerung wühlt und versucht sich die Verteilung der Elektronenpaare um den Atomkern herum vorzustellen, drückt Jupiter-Saturn schon wieder seinen Redebeitragsknopf: „Dadurch, dass die beiden freien Elektronenpaare nicht durch einen zweiten Atomkern beeinflusst werden, beanspruchen sie etwas mehr Platz für sich und drücken sozusagen die beiden bindenden Elektronenpaare etwas zusammen.“

„Ganz genau“, bestätigt Ehin-Butu begeistert.

Jupiter-Saturn lächelt selbstzufrieden. Hugi-Bugi raucht der Kopf. „Und *das* ist wichtig?“, fragt Shahi-Ohlum.

„Das wird später noch sehr wichtig sein!“, betont Ehin-Butu und macht dabei ein Gesicht, als würde er ein riesiges Geheimnis hüten.



WASSER → SEQUENZ 1

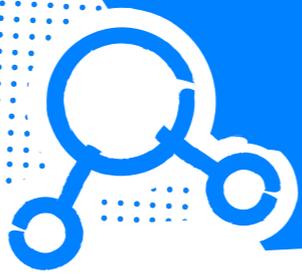
TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Ok, dieses Wasser ist also gewinkelt ...“, stimmt Shahi-Ohlum zu.

Ehin-Butu holt am Rednerpult hörbar Luft, Jupiter-Saturn übernimmt es daher für ihn, Shahi-Ohlum zu korrigieren: „Das *Wassermolekül* ist gewinkelt! Wasser ist eine Flüssigkeit und hat daher keine bestimmte Form.“

Shahi-Ohlum verdreht die Augen: „... das *Wassermolekül* ist also gewinkelt. Aber warum soll dieser Stoff jetzt so wichtig und spannend sein?!“



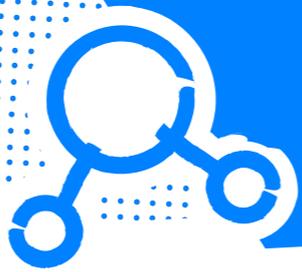
WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Auch auf der Erde herrscht normalerweise ein Zusammenhang zwischen Molekülmasse und Schmelzpunkt beziehungsweise Siedepunkt ...“, setzt Ehin-Butu zu einer Antwort an.

„Je größer die Molekülmasse, desto höher der Schmelz- und der Siedepunkt“, weiß Jupiter-Saturn. Er sieht aus, als würde er gerne mehrere Beispiele für diese Regel anführen, bekommt aber leider keine Gelegenheit dazu, weil Ehin-Butu bereits mit dramatischer Stimme verkündet: „Wasser weicht von dieser Regeln drastisch ab!“ Ehin-Butu macht eine kleine Pause, damit seine Schüler diese neue Information ausreichend würdigen können. „Schmelz- und Siedepunkt sind im Verhältnis zur Molekülmasse extrem hoch. Wirklich außergewöhnlich ist aber etwas anderes. Auf einer Forschungsmission hat das Erkundungsteam *Erde* entdeckt, dass ein Wasserstrahl durch einen elektrostatisch aufgeladenen Stab abgelenkt werden kann. Der Wasserstrahl fließt in diesem Fall nicht mehr gerade zu Boden, sondern er läuft in einer leichten Kurve.“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



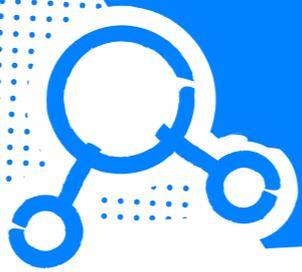
Hugi-Bugi ist durch diese Informationen nicht wirklich beeindruckt und wirft einen unsicheren Blick auf Shahi-Ohlum. Der blickt konzentriert nach vorne und hört Ehin-Butu zu. Dieser hohe Siedepunkt und die Sache mit dem Stab müssen also wirklich außergewöhnlich sein, wenn sogar Shahi-Ohlum interessiert zuhört.

„Das fließt um die Ecke?!“, fragt Shahi-Ohlum jetzt nach. „Wie soll das denn gehen?“

Das fragt Hugi-Bugi sich auch. Alle Flüssigkeiten, die er kennt, fließen auf dem kürzesten Weg von oben nach unten.

Fasse das Problem, das Ehin-Butu seinen Schülern präsentiert hat, mit eigenen Worten zusammen, bevor du weiter liest.



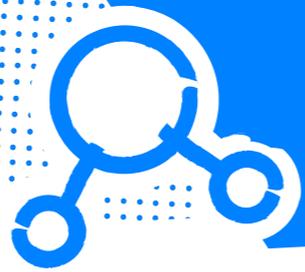


WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Mit einem elektrostatisch aufgeladenen Stab kann man einen Wasserstrahl dazu bringen leicht von der geraden Richtung abzuweichen. Das Wasser fließt dann sozusagen ein kleine Kurve“, erläutert Ehin-Butu und fährt mit seiner dramatischen Stimme fort: „Ihr seht also, dass Wasser ein Stoff mit außergewöhnlichen Eigenschaften ist und dadurch auch ein außergewöhnlich spannender Stoff. Die Erklärung für diese eigenartigen Stoffeigenschaften des Wassers hängt mit dem Aufbau des Wassermoleküls zusammen.“ Ehin-Butu macht mal wieder eine seiner dramatischen Pausen und Hugi-Bugi fragt sich, was am Aufbau eines so kleinen Moleküls so besonders sein soll. „Wir werden uns den Aufbau des Wassermoleküls und den Zusammenhalt der Moleküle daher in den folgenden Stunden genauer ansehen.“



WASSER → SEQUENZ 1

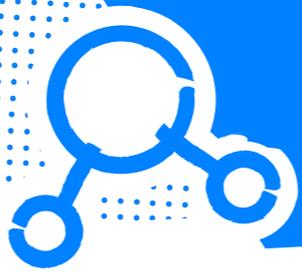
TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Aber wir wissen doch schon wie das Molekül aufgebaut ist!“, beschwert sich Shahi-Ohlum.
„H₂O, eben.“

„Allein mit der Summenformel wirst du die abweichenden Eigenschaften des Wassers wohl kaum erklären können“, verkündet Jupiter-Saturn mit einem kurzen Blick über die Schulter. Dann dreht er sich wieder nach vorne und sieht Ehin-Butu demonstrativ gespannt an.

Shahi-Ohlum schneidet Jupiter-Saturn hinter dessen Rücken noch eine Grimasse und richtet seinen Blick dann wieder nach vorne.



WASSER → SEQUENZ 1

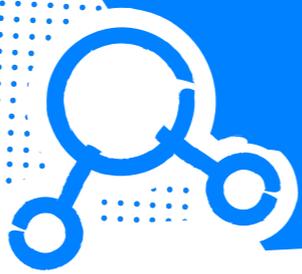
TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Als wir zuletzt über das Periodensystem der Elemente gesprochen haben“, beginnt Ehin-Butu jetzt vorne anscheinend den Vortrag, den er für heute vorbereitet hat, „haben uns vor allem der Aufbau der einzelnen Atome und die gemeinsamen Eigenschaften der Elementfamilien interessiert. Daher haben wir uns die Atommasse und die Ordnungszahl angesehen. Wenn wir das Periodensystem aber etwas genauer betrachten, werdet ihr feststellen, dass es darüber hinaus zu den Atomen jedes Elements noch weitere Informationen gibt.“

	Hauptgruppe							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Periode	1 H Wasserstoff 1			6 C Kohlenstoff 12	2,6 Elektronegativität			2 He Helium 4
2. Periode	3 Li Lithium 7	4 Be Beryllium 9	5 B Bor 11	6 C Kohlenstoff 12	7 N Stickstoff 14	8 O Sauerstoff 16	9 F Fluor 19	10 Ne Neon 20

Bild 16: Ausschnitt aus dem Periodensystem der Elemente



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Die Elektronegativität“, sagt Hugi-Bugi nach einem Blick ins Periodensystem.

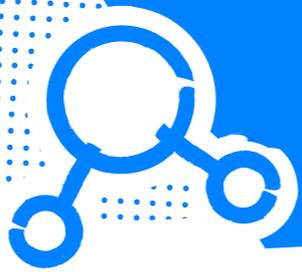
	Hauptgruppe							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Periode	1 H 2,2 Wasserstoff 1			6 → Ordnungszahl → C 2,6 ← Elektronegativität → Elementsymbol → Elementname → Atommasse in u → 12				2 He Helium 4
2. Periode	3 Li 2,1 Lithium 7	4 Be 1,6 Beryllium 9	5 B 2,0 Bor 11	6 C 2,6 Kohlenstoff 12	7 N 3,0 Stickstoff 14	8 O 3,4 Sauerstoff 16	9 F 4,0 Fluor 19	10 Ne Neon 20

Bild 17: Ausschnitt aus dem Periodensystem der Elemente

„Es heißt Elektr-o-negativität“, korrigiert Jupiter-Saturn ihn. „Ein Elektron ist immer negativ geladen, daher macht Elektro-nen-negativität doch gar keinen Sinn!“

„Aber Elektr-o-negativität oder was?“, fragt Hugi-Bugi herausfordernd.

„Die **Elektronegativität** beschreibt die Fähigkeit eines Atoms Bindungselektronen zu sich zu ziehen“, greift Ehin-Butu ein.



WASSER → SEQUENZ 1

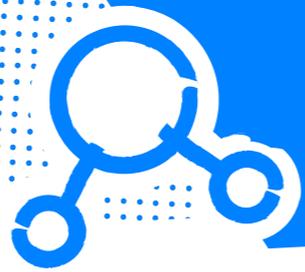
TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Also doch mit Elektronen“, beharrt Hugi-Bugi.

„Wie jetzt?“, ruft Shahi-Ohlum dazwischen.

„Bisher sind wir immer davon ausgegangen, dass die Bindungselektronen in einer Elektronenpaarbindung, wie sie zum Beispiel zwischen Wasserstoff- und Sauerstoffatom im Wassermolekül existiert, genau in der Mitte zwischen den beiden Atomkernen liegen“, erklärt Ehin-Butu.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Die **positiv geladenen Atomkerne** werden durch die **negativ geladenen Bindungselektronen** zusammengehalten“, weiß Jupiter-Saturn.

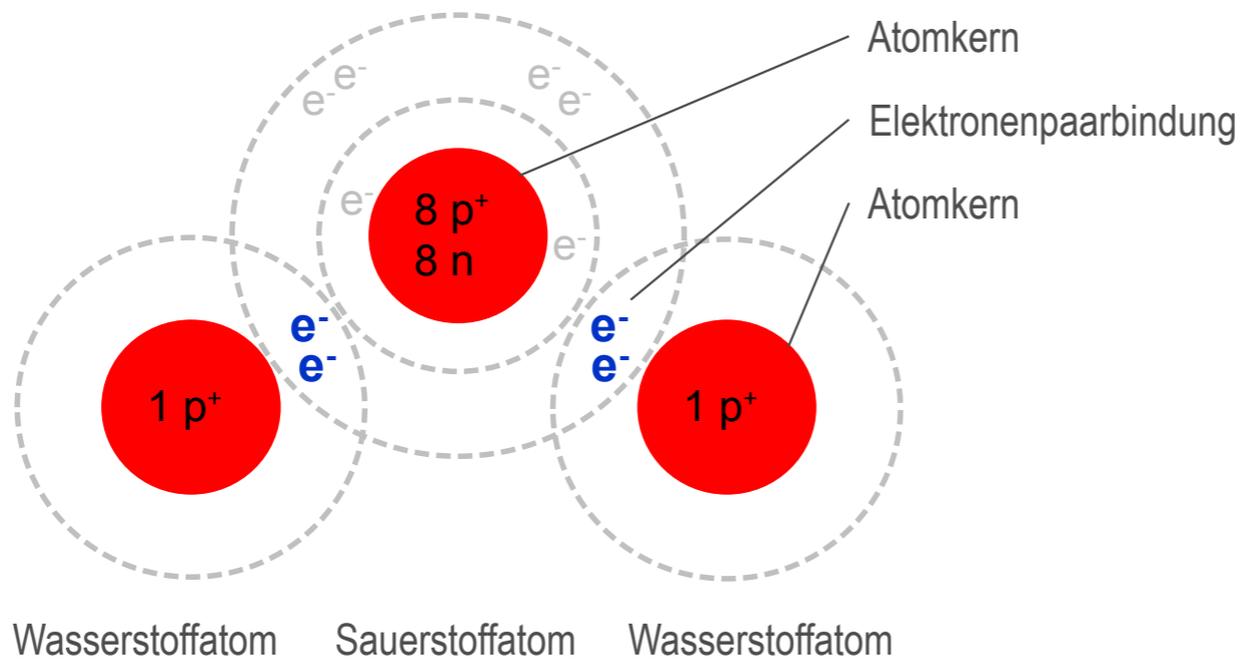


Bild 18: Ladungsverteilung im Wassermolekül



WASSER → SEQUENZ 1

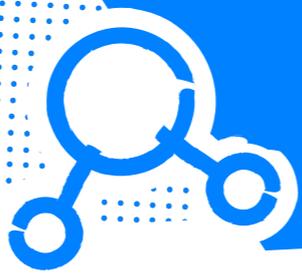
TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Ganz genau“, lobt Ehin-Butu, bevor er fortfährt. „Wenn wir jetzt aber einen Blick ins Periodensystem werfen, stellen wir fest, dass sich die Elektronegativitätswerte der einzelnen Elemente deutlich voneinander unterscheiden ...“

	Hauptgruppe							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Periode	1 H 2,2 Wasserstoff 1			6 → C 2,6 ← Elektronegativität Kohlenstoff 12				2 He Helium 4
2. Periode	3 Li 2,1 Lithium 7	4 Be 1,6 Beryllium 9	5 B 2,0 Bor 11	6 C 2,6 Kohlenstoff 12	7 N 3,0 Stickstoff 14	8 O 3,4 Sauerstoff 16	9 F 4,0 Fluor 19	10 Ne Neon 20

Bild 19: Ausschnitt aus dem Periodensystem der Elemente



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„**Wasserstoff** hat 2,2 Elektronegativität“, liest Shahi-Ohlum vor.

	Hauptgruppe								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1. Periode	1 H 2,2 Wasserstoff 1			6 Ordnungszahl → Elementsymbol → C 2,6 ← Elektronegativität Elementname → Kohlenstoff Atommasse in u → 12					2 He Helium 4
2. Periode	3 Li 2,1 Lithium 7	4 Be 1,6 Beryllium 9	5 B 2,0 Bor 11	6 C 2,6 Kohlenstoff 12	7 N 3,0 Stickstoff 14	8 O 3,4 Sauerstoff 16	9 F 4,0 Fluor 19	10 Ne Neon 20	

Bild 20: Ausschnitt aus dem Periodensystem der Elemente

„Man sagt: Das Wasserstoffatom hat einen Elektronegativitätswert von 2,2“, korrigiert Ehin-Butu.

„Gibt's keine Einheit?“, will Shahi-Ohlum wissen. „Sonst gibt's doch immer irgendeine Einheit!“

„Nein, die Elektronegativität hat keine Einheit“, bestätigt Ehin-Butu.

„Hm“, macht Shahi-Ohlum und wendet sich dann wieder dem Periodensystem zu.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



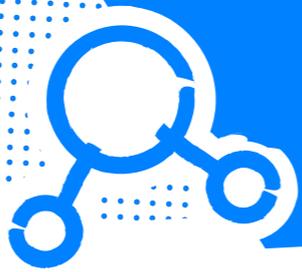
	Hauptgruppe								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1. Periode	1 H Wasserstoff 1			6 → Ordnungszahl → Elementsymbol → Elementname → Atommasse in u 12	2,6 ← Elektronegativität				2 He Helium 4
2. Periode	3 Li Lithium 7	4 Be Beryllium 9	5 B Bor 11	6 C Kohlenstoff 12	7 N Stickstoff 14	8 O Sauerstoff 16	9 F Fluor 19	10 Ne Neon 20	

Bild 21: Ausschnitt aus dem Periodensystem der Elemente

„Also das Wasserstoffatom hat eine Elektronegativität von 2,2 und das **Sauerstoffatom** ... 3,4.“

Diskutiere mithilfe der angegebenen Elektronegativitätswerte, ob das Sauerstoffatom oder das Wasserstoffatom Bindungselektronen stärker anzieht, bevor du weiter liest.





WASSER → SEQUENZ 1

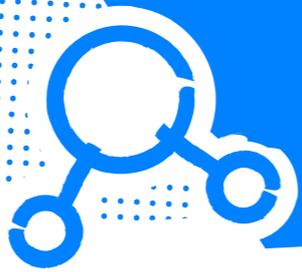
TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Was ist denn besser?“, will Hugi-Bugi wissen.

„Es erscheint mir sinnvoll, dass bei dem Atom mit dem höheren Elektronegativitätswert – in unserem Fall dem Sauerstoffatom – die Eigenschaft stärker ausgeprägt ist, es die Bindungselektronen also besser zu sich ziehen kann als das Wasserstoffatom“, mutmaßt Jupiter-Saturn in der ersten Reihe.

„Sehr gut, Jupiter-Saturn“, lobt Ehin-Butu ganz begeistert.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



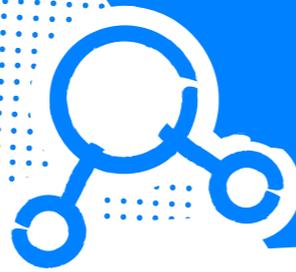
Hugi-Bugi ist mit Jupiter-Saturns Aussage weniger glücklich. „Was soll das denn heißen?!“, ruft er etwas verärgert dazwischen.

„Je höher der Elektronegativitätswert eines Atoms, desto besser kann es die Bindungselektronen an sich ziehen“, erläutert Ehin-Butu.

„Ich glaub', das Sauerstoffatom kann Elektronen besser zu sich ziehen als zum Beispiel ein Wasserstoffatom“, greift Shahi-Ohlum ein. „Deswegen hat das Sauerstoffatom einen höheren Elektronegativitätswert als das Wasserstoffatom.“

Erkläre, welche Auswirkungen die unterschiedlichen Elektronegativitätswerte von Wasserstoffatom und Sauerstoffatom auf die Bindungselektronen im Wassermolekül haben, bevor du weiter liest.





WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Ehin-Butu nickt ebenfalls zustimmend: „Sehen wir uns jetzt wieder eine Elektronenpaarbindung zwischen dem **Sauerstoffatom** und einem der beiden **Wasserstoffatome** im Wassermolekül an:



Bild 22: Elektronenpaarbindungen im Wassermolekül



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Die höhere Elektronegativität des Sauerstoffatoms führt dazu, dass sich die Bindungselektronen nicht genau in der Mitte zwischen Wasserstoff- und Sauerstoffatom befinden, sondern deutlich vom **Wasserstoffatom** weg in Richtung **Sauerstoffatom** verschoben sind“, erläutert Ehin-Butu.

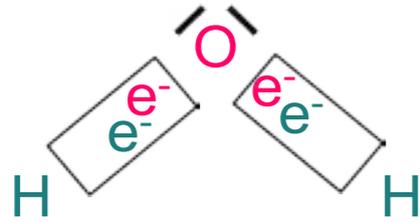


Bild 23: Verschobene Bindungselektronen im Wassermolekül



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Aber das eine Bindungselektron gehört doch dem Wasserstoffatom!“, beschwert sich Hugi-Bugi.

„Du hast recht“, bestätigt Ehin-Butu. Hugi-Bugi und Shahi-Ohlum schlagen unterm Tisch ein.

„Das **eine Elektron** der Bindung ist zwar vom **Wasserstoffatom** zur Verfügung gestellt worden, es wird aber trotzdem jetzt stärker vom **Sauerstoffatom** angezogen und daher in dessen Richtung verschoben“, erläutert Ehin-Butu.

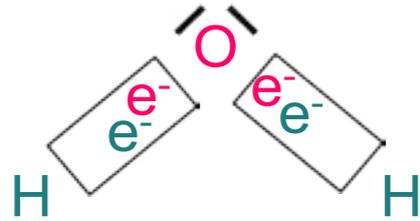
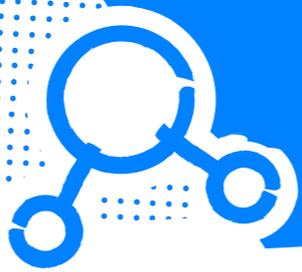


Bild 24: Verschobene Bindungselektronen im Wassermolekül



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls

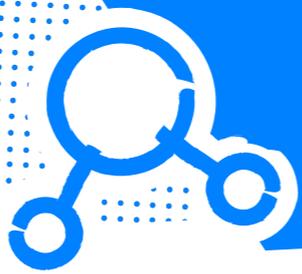


„Aber ist das nicht ... irgendwie ... unfair?“, fragt Hugi-Bugi weiter. „Für das Wasserstoffatom, mein' ich. Das braucht das Elektron doch auch!“

Ehin-Butu atmet vorne mal wieder hörbar ein, bevor er antworten kann: „Natürlich benötigt das Wasserstoffatom, genau wie das Sauerstoffatom, beide Bindungselektronen für den stabilen Edelgaszustand.“

Hugi-Bugi ruft „Eben!“ dazwischen und ist sehr zufrieden mit sich.

„Aber das Sauerstoffatom ist elektronegativer und zieht dadurch die Bindungselektronen stärker an als das Wasserstoffatom“, fährt Ehin-Butu fort. „Die Verschiebung der Bindungselektronen ist für das Wasserstoffatom, genau wie für das Sauerstoffatom, nicht ohne Konsequenz, ich würde hier aber lieber nicht von *unfair* sprechen wollen.“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Was soll denn: *nicht ohne Konsequenz* heißen?“, beschwert Shahi-Ohlum sich.

„Aber es ist doch unfair, wenn das Sauerstoffatom dem Wasserstoffatom sein Elektron wegnimmt“, beharrt Hugi-Bugi.

„Soweit ich das verstanden habe, nimmt das Sauerstoffatom dem Wasserstoffatom das Bindungselektron nicht *weg*, sondern zieht es nur näher zu sich“, mischt Jupiter-Saturn sich in die Diskussion ein. „Es ist also immer noch eine Elektronenpaarbindung zwischen Sauerstoff- und Wasserstoffatom, nur dass die Bindungselektronen eben nicht genau in der Mitte zwischen den Atomkernen liegen.“

Ehin-Butu nickt Jupiter-Saturn bestätigend zu: „Jupiter-Saturn hat das gerade sehr schön beschrieben“, lobt er. „Es handelt sich weiterhin um eine Elektronenpaarbindung. Das Elektron wird also nicht von einem Atom auf ein anderes übertragen, sondern lediglich in dessen Richtung *verschoben*“, betont Ehin-Butu.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Also: Wenn ein Atom elektronegativer ist als sein Bindungspartner, kann es die Bindungselektronen besser anziehen und deswegen werden die dann zu diesem Atom hin verschoben“, fasst Shahi-Ohlum zusammen.

Ehin-Butus Bestätigung veranlasst Hugi-Bugi und Shahi-Ohlum zu einem weiteren Abklatschen unterm Tisch. „Diese spezielle Form der Elektronenpaarbindung, die auftritt, wenn Bindungspartner sich deutlich in ihrer Elektronegativität unterscheiden, wird als **polare Atombindung** bezeichnet.



WASSER → SEQUENZ 1

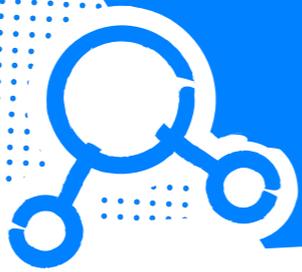
TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Um deutlich zu machen, dass sich die Bindungselektronen näher bei einem der beiden Bindungspartner befinden, wird in Abbildungen für polare Atombindungen häufig ein solches Dreieck verwendet“, erläutert Ehin-Butu. „Die Spitze des Dreiecks zeigt auf das Elementsymbol des Atoms mit dem geringeren Elektronegativitätswert, die breite Seite befindet sich auf der Seite des Atoms, das die Bindungselektronen stärker anzieht.



Bild 25: Polare Atombindungen im Wassermolekül



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Durch die verschobenen Bindungselektronen kommt es an beiden Atomen zu **Partialladungen**“, fährt Ehin-Butu fort.

„Parts-Was?“, fragt Hugi-Bugi schon wieder dazwischen.

„*Par-tial-la-dung-en*“, sagt Jupiter-Saturn übertrieben deutlich, als müsse die alleinige Wiederholung des Begriffs Hugi-Bugi schon weiterhelfen.

„Durch die Verschiebung der Bindungselektronen herrscht um den Wasserstoffatomkern ein Elektronenmangel“, erklärt Ehin-Butu, „während um das Sauerstoffatom herum ein Elektronenüberschuss besteht. Das Wasserstoffatom ist daher teilweise positiv geladen, während das Sauerstoffatom leicht negativ geladen ist.“

Erläutere den Begriff Partialladung mit eigenen Worten, bevor du weiter liest.





WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls

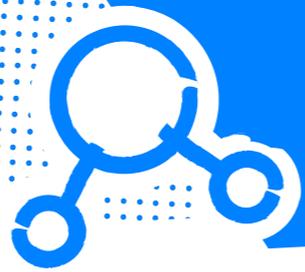


Hugi-Bugi ruft laut „Hä?“ und auch Shahi-Ohlum scheint Ehin-Butus Erklärung nicht ganz verstanden zu haben: „Also haben die Wasserstoffatome zu wenig Elektronen und sind H^+ und das Sauerstoffatom hat zu viele Elektronen und ist O^{2-} ?“

„Vermutlich nicht“, schaltet sich Jupiter-Saturn mal wieder ein. „Wenn beide Atome wirklich Ladungen tragen würden, hieße das ja, dass tatsächlich Elektronen übertragen worden wären und sie sich jetzt vollständig beim Sauerstoffatom befänden. In diesem Fall läge aber keine Elektronenpaarbindung vor, sondern eine Ionenbindung. Ehin-Butu hat aber gerade gesagt, dass es sich um eine polare Atombindung handelt, also können es keine Ionen sein.“

Hugi-Bugi wird von so vielen Fachbegriffen in einem Satz immer ganz schwindelig. Shahi-Ohlum scheint aber verstanden zu haben, was Jupiter-Saturn gesagt hat: „Die sind also nicht H^+ und O^{2-} , weil die Wasserstoffatome ihre Elektronen nicht wirklich an das Sauerstoffatom abgegeben haben. Und weil die Elektronen nicht richtig übertragen worden sind, sind das keine Ionen. Aber trotzdem sind die ein bisschen geladen? Und deswegen ist es keine normale Elektronenpaarbindung, sondern so eine polare Atombindung?“

„So könnte man es sagen“, bestätigt Ehin-Butu.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Bei Molekülen deren Atome sich nicht in ihrer Elektronegativität unterscheiden, befinden sich die Bindungselektronen genau in der Mitte zwischen den Atomkernen der Bindungspartner“, fährt Ehin-Butu fort. „Das **Wasserstoffmolekül** ist ein Beispiel für eine solche **unpolare Elektronenpaarbindung**, bei der sich die Bindungselektronen genau mittig zwischen den Atomkernen befinden.“



Bild 26: Elektronenverteilung im Wasserstoffmolekül



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Bei Atomen, die sich stärker als Wasserstoff- und Sauerstoffatom in ihrer Elektronegativität unterscheiden, wird das Außenelektron des weniger elektronegativen Atoms – zum Beispiel eines Natriumatoms – auf das elektronegravere Atom – zum Beispiel ein Chloratom – übertragen, weil das Chloratom so stark an dem Elektron zieht“, erläutert Ehin-Butu. „Dadurch entstehen ein positiv geladenes Natrium-Kation und ein negativ geladenes Chlorid-Anion.

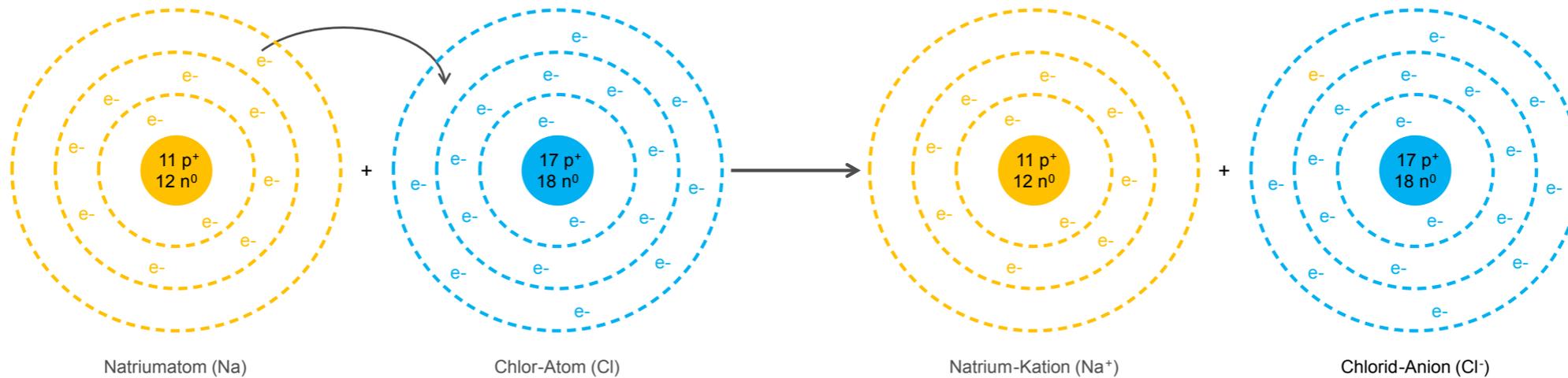


Bild 27: Elektronenübertragung von einem Natrium-Atom auf ein Chlor-Atom



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Bei polaren Atombindungen, wie sie zum Beispiel im Wassermolekül vorliegen, liegen die Bindungselektronen zwar nicht genau in der Mitte zwischen den Atomkernen der Bindungspartner – wie beim Wasserstoffmolekül – aber sie werden auch nicht komplett übertragen – wie zum Beispiel im Falle des Natriumchlorids“, erklärt Ehin-Butu weiter. „Bei polaren Atombindungen sind die Bindungselektronen lediglich etwas in Richtung des Atomkerns des elektronegativeren Atoms verschoben.

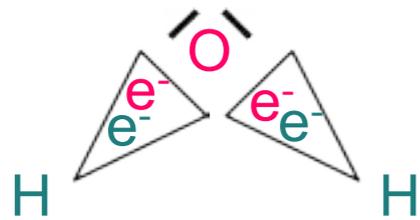
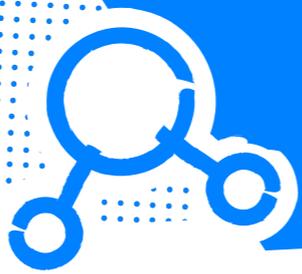


Bild 28: Polare Atombindung im Wassermolekül

Erläutere den Unterschied zwischen einer polaren Atombindung und einer Ionenbindung, bevor du weiter liest.





WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Durch diese Verschiebung der Elektronen fehlt dem Wasserstoffatom zwar kein ganzes Elektron, weil es ja nicht komplett auf das Sauerstoffatom übertragen wurde, aber das Elektron steht dem Wasserstoffatom auch nicht mehr komplett zur Verfügung, weil es ein Stück zum Sauerstoffatom verschoben wurde“, fährt Ehin-Butu fort. „Am Wasserstoffatom kommt es daher zu einem leichten Elektronenmangel. Der ist nicht so stark, dass es zum H^+ -Ion wird, aber trotzdem so stark, dass es auch kein normales Wasserstoffatom ohne Ladung mehr ist. Das Wasserstoffatom trägt nur zum Teil eine positive Ladung, die als Partialladung bezeichnet wird. Am Sauerstoffatom ist es genau umgekehrt. Durch die verschobenen Elektronen der Wasserstoffatome verfügt das Sauerstoffatom über etwas mehr negative Ladung als es normalerweise aufweist. Das Sauerstoffatom trägt daher zwei negative Partialladungen.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Um Partiaalladungen zu kennzeichnen, verwenden wir das kleine Delta“, erklärt Ehin-Butu. „ δ^+ steht für eine **positive Partiaalladungen**, δ^- für eine **negative Partiaalladung**.“

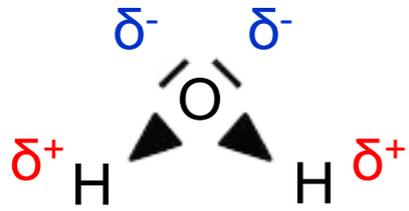
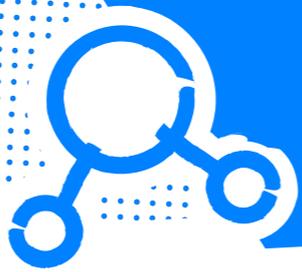


Bild 29: Partiaalladungen im Wassermolekül

Erläutere kurz die Besonderheiten des Wassermoleküls, bevor du weiter liest.





WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Ok, in diesem Wassermolekül gibt es also diese polare Atombindung zwischen den Wasserstoffatomen und dem Sauerstoffatom“, fasst Shahi-Ohlum zusammen.

„Weil das Sauerstoffatom elektronegativer ist und die Bindungselektronen zu sich zieht“, ergänzt Hugi-Bugi.

„Dadurch kommt es zu Partialladungen an den Atomen“, fügt Jupiter-Saturn hinzu. „Die Wasserstoffatome sind partial positiv geladen, das Sauerstoffatom ist partial negativ geladen.“

Ehin-Butu nickt.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



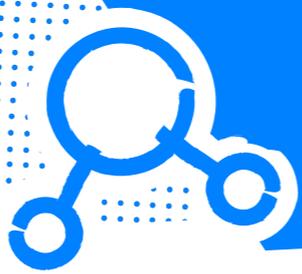
„Und das ist das Geheimnis von diesem Wassermolekül?“, fragt Hugi-Bugi. „Deswegen ist das so ein komischer Stoff?“

„Ich gehe mal davon aus, dass die Sache etwas komplizierter ist“, wirft Jupiter-Saturn ein. „Wenn ich mir die Elektronegativitätswerte ansehe, ist damit zu rechnen, dass in sehr vielen Verbindungen polare Atombindungen auftreten, daher wird dieser Sachverhalt allein nicht ausreichen, um die besonderen Eigenschaften des Wassers zu erklären.“

„Sehr richtig“, bestätigt Ehin-Butu. „Die polare Atombindung ist keine hinreichende Erklärung für die Eigenschaften des Wassers. Die Sache ist noch ein bisschen komplizierter ...“

„Oh nee!“, ruft Hugi-Bugi, dem die Sache eigentlich schon lange kompliziert genug ist.

Jupiter-Saturn wirft Hugi-Bugi über die Schulter einen kurzen Blick zu, bevor er laut überlegt: „Wenn der Fluss eines Wasserstrahls von einem elektrostatisch aufgeladenen Stab abgelenkt wird, haben die Partialladungen bestimmt etwas damit zu tun ...“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Sehr richtig“, lobt Ehin-Butu ihn mal wieder. „Wenn wir uns das Wassermolekül noch mal genau ansehen, werdet ihr feststellen, dass das Wassermolekül nicht nur polare Atombindungen und Partiaalladungen aufweist, sondern noch über eine weitere Besonderheit verfügt ... Jupiter-Saturn hat gerade schon richtig erkannt, dass in vielen Verbindungen polare Atombindungen vorliegen, die entsprechenden Stoffe aber nicht die besonderen Eigenschaften des Wassers aufweisen.“

Jupiter-Saturn nickt stolz, Hugi-Bugi wirft ihm dafür einen bösen Blick zu und Shahi-Ohlum verdreht die Augen.

„Durch die gewinkelte Struktur des Wassermoleküls bilden sich im Wassermolekül zwei Bereiche“, setzt Ehin-Butu seine Erklärung fort: „Einen, in dem die **negativen Partiaalladungen** liegen, und einen zweiten, in dem die **positiven Partiaalladungen** liegen.“

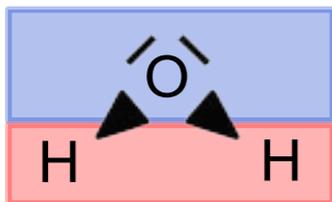


Bild 30: Pole mit entgegengesetzter Ladung im Wassermolekül



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Dadurch ergeben sich im Wassermolekül zwei Pole“, erläutert Ehin-Butu: „Ein Pol, an dem sich die **positive Teilladung** konzentriert, und ein Pol mit der **negativen Teilladung**. Moleküle, die über zwei unterschiedlich geladene Pole verfügen, werden als **Dipole** bezeichnet.“

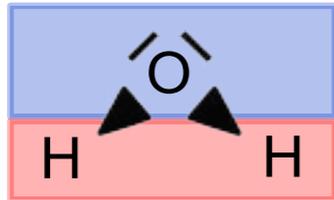


Bild 31: Pole mit entgegengesetzter Ladung im Wassermolekül

Erläutere den Begriff Dipol mit eigenen Worten, bevor du weiter liest.





WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Also wenn man ein Molekül so aufteilen kann, in einen Teil, wo die positiven ... Partialladungen sind, und einen mit den negativen Partialladungen ... dann ist das so ein Dipol“, fasst Hugi-Bugi noch mal zusammen.

Ehin-Butu nickt und Hugi-Bugi und Shahi-Ohlum klatschen unterm Tisch ab.

„Und was hat dieser Dipol mit dem Stab und der Kurve zu tun, die das Wasser fließt?“, fragt Shahi-Ohlum.

„Ich nehme an, dass die Ladung, die der elektrostatisch aufgeladene Stab trägt, etwas damit zu tun hat“, vermutet Jupiter-Saturn.

„Ganz genau“, bestätigt Ehin-Butu begeistert.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Wenn ihr euch vorstellt, dass der Stab neben den Wasserstrahl gehalten wird, wie ihr es in dieser Abbildung sehen könnt,

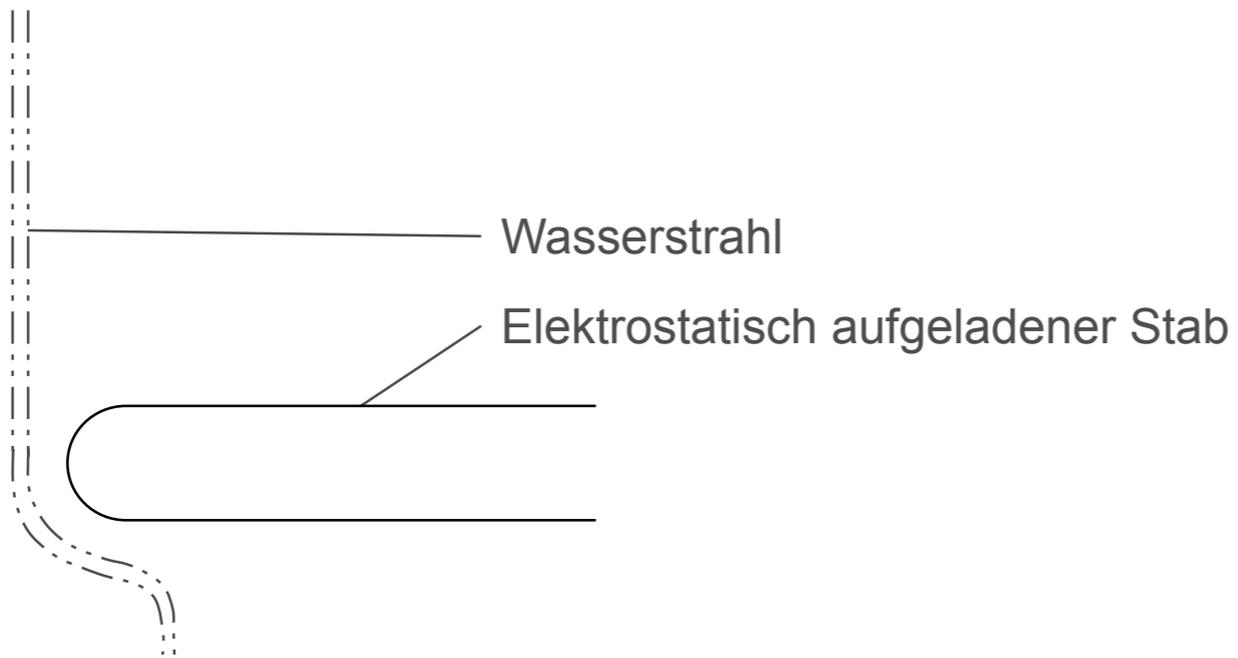


Bild 32: Wasserstrahl, der von einem elektrostatisch aufgeladenen Stab abgelenkt wird

dann ordnen sich die Wassermoleküle so an, dass ihre positiven Pole sich in Richtung des Stabs ausrichten, weil sie von diesem angezogen werden.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Die **negativ geladenen Pole** werden vom Stab abgestoßen, da sie die gleiche Ladung tragen“, fährt Ehin-Butu fort. „Sie befinden sich daher auf der vom Stab abgewandten Seite des Moleküls.

Ihr könnt es euch etwa so vorstellen, wie es auf dieser Abbildung dargestellt wird, auch, wenn die Größenverhältnisse in der Abbildung natürlich nicht ganz richtig sind: Alle **positiven Pole** der Wassermoleküle sind in Richtung des **negativ geladenen** Stabs ausgerichtet.“

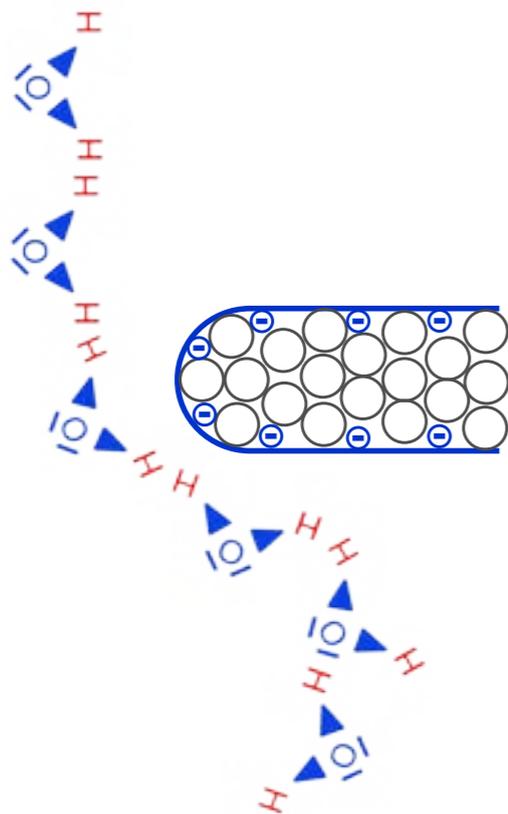
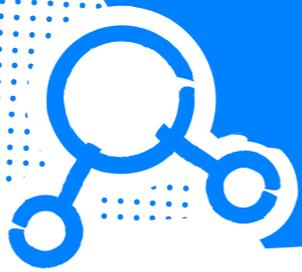


Bild 33: Wassermoleküle, die die von einem elektrostatisch geladenen Stab angezogen werden



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Und dadurch fließt das Wasser dann um die Ecke?“, fragt Hugi-Bugi.

„Durch die Anordnung der Wassermoleküle weicht der Strahl etwas von der geraden Richtung ab. Er fließt natürlich nicht richtig um die Ecke“, schränkt Ehin-Butu ein.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Und das hat alles mit diesen Bindungselektronen zu tun ...“, überlegt Hugi-Bugi.

„Also wegen dieser Elektronegativität ziehen die Sauerstoffatome die Bindungselektronen näher zu sich ...“, versucht Shahi-Ohlum zusammenzufassen.

„... und dadurch gibt es diese Partiaalladungen im Molekül“, ergänzt Hugi-Bugi stolz.

„... und wegen der gewinkelten Struktur des Moleküls gibt es dann einen positiven und einen negativen Pol im Molekül“, fährt Shahi-Ohlum fort.

„Die gewinkelte Struktur führt dazu, dass sich die Partiaalladungen in unterschiedlichen Bereichen des Moleküls finden“, mischt sich Jupiter-Saturn ein. „Diese Anordnung der Partiaalladungen wird als Dipol bezeichnet.“

„Und wenn die Wassermoleküle dann an so einem geladenen Stab vorbeikommen, wird der eine Teil vom Molekül angezogen und der andere nicht und dann fließt das Wasser so eine Kurve“, fasst Shahi-Ohlum zusammen.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



„Richtig“, bestätigt Ehin-Butu sichtlich zufrieden mit sich. „Ich denke für heute habt ihr jetzt auch wirklich genug gelernt“, überlegt Ehin-Butu mit einem Blick auf die Zeitanzeige: „Die Stunde ist ja auch fast um ... dann machen wir heute ausnahmsweise mal etwas früher Schluss ... “

Hugi-Bugi, der selbst gerade einen Blick auf die Zeitanzeige geworfen hat, kann sein Glück kaum fassen und springt eilig von seinem Platz auf. „Heute hab’ ich transgalaktische Elementarsubstanzlehre voll gecheckt!“, ruft er begeistert und klatscht noch mal mit Shahi-Ohlum ab.

Im Flur merkt er dann, dass er vor Freude über das frühzeitige Ende der Stunde seinen Stickstoffshake auf seinem Tisch vergessen hat. Während Shahi-Ohlum wartet, rennt er schnell noch mal zurück in den Raum. Ehin-Butu ist zum Glück noch da, weil Jupiter-Saturn noch einige Fragen hat. „ ... das besprechen wir dann nächste Stunde“, hört Hugi-Bugi Ehin-Butu gerade noch sagen, als er mit seinem Stickstoffshake aus dem Raum hüpfet.



TESTE DEIN WISSEN

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



Erkläre die folgenden Begriffe kurz in eigenen Worten, bevor du weiter liest:

1) Wasser

.....
.....
.....

6) Elektronegativität

.....
.....
.....

2) H_2O

.....
.....
.....

7) Polare Atombindung

.....
.....
.....

3) Elektronenpaarbindung

.....
.....
.....

8) Partiaalladung

.....
.....
.....

4) Edelgaszustand

.....
.....
.....

9) Unpolare Elektronenpaarbindung

.....
.....
.....

5) Freies Elektronenpaar

.....
.....
.....

10) Dipol

.....
.....
.....





TESTE DEIN WISSEN

TEIL I: Struktur des Wassermoleküls



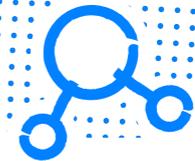
- 1) **Wasser:** Stoff, dessen Moleküle aus zwei Wasserstoffatomen bestehen, die an ein Sauerstoffatom gebunden sind (Summenformel H_2O).
- 2) **H_2O :** Summenformel des Wassermoleküls.
- 3) **Elektronenpaarbindung:** Bindung zwischen zwei Atomen, für die jedes Atom ein Elektron aus seiner äußeren Schale zur Verfügung stellt.
- 4) **Edelgaszustand:** Zustand, in dem die äußere Schale eines Atoms genau so voll besetzt ist wie bei einem Edelgas.
- 5) **Freies Elektronenpaar:** Zwei Elektronen der äußeren Schalen, die nicht zur Bindung mit einem anderen Atom genutzt werden.
- 6) **Elektronegativität:** Fähigkeit eines Atoms Elektronen anzuziehen.
- 7) **Polare Atombindung:** Elektronenpaarbindung zwischen zwei Atomen, die sich stark in ihrer Elektronegativität unterscheiden, so dass die Bindungselektronen nicht mittig zwischen den Atomkernen liegen, sondern in Richtung des elektronegativeren Atoms verschoben sind.
- 8) **Partiellladung:** Teilladung eines Atoms, die durch die ungleiche Verteilung der Bindungselektronen zwischen den Atomkernen verursacht wird.
- 9) **Unpolare Elektronenpaarbindung:** Elektronenpaarbindung zwischen zwei Atomen, die sich gar nicht oder nur wenig in ihrer Elektronegativität unterscheiden, so dass sich die Bindungselektronen mittig zwischen den Atomkernen befinden.
- 10) **Dipol:** Molekül, das zwei Bereiche mit entgegengesetzten Partiellladungen aufweist.



**SUPER, DAS WAR
TEIL I**

Zum nächsten Teil:

- » **TEIL II:** Oberflächenspannung
- » **TEIL III:** Wasserstoffbrücken

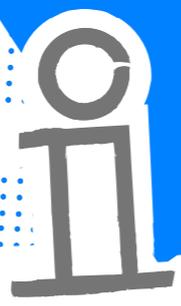




Das erwartet dich hier

Mithilfe des folgenden Textes kannst du wiederholen, dass Wasser ein Stoff ist, dessen Moleküle die Summenformel H_2O haben. Im Wassermolekül erreichen alle Atome durch die Elektronenpaarbindungen den Edelgaszustand. Durch die Elektronegativitätsdifferenz zwischen Wasserstoffatom und Sauerstoffatom sind die Elektronenpaarbindungen zwischen den Atomen polar und die Atome tragen Partialladungen. Du wiederholst auch, wie das mit dem Dipolcharakter des Wassermoleküls zusammenhängt.

Außerdem lernst du, dass die elektrostatische Wechselwirkung zwischen ungleichnamig geladenen Polen zweier Dipolmoleküle als Dipol-Dipol-Wechselwirkung bezeichnet wird.



EINFÜHRUNG

BEVOR DU LOSLEGST, BITTE LESEN

TEIL II: Oberflächenspannung



Zur Arbeit mit dem Material

Es ist wichtig, dass du dir den folgenden Text aufmerksam durchliest, so dass du möglichst viel lernst. Wenn du zwischendurch zurückblättern möchtest, um etwas noch einmal nachzuschauen oder eine Textstelle noch einmal zu lesen, kannst du dies jederzeit machen.

Der Text besteht aus Abschnitten. Um erfolgreich mit dem Text lernen zu können, solltest du dir am Ende jedes Abschnitts überlegen:

1. Was habe ich in diesem Abschnitt Neues erfahren?
2. Wie passt das, was ich neu erfahren habe, zu dem, was ich vorher schon wusste oder bereits gelesen habe?
3. Welche Fragen habe ich noch?

Lies erst danach den nächsten Abschnitt.



EINFÜHRUNG

BEVOR DU LOSLEGST, BITTE LESEN

TEIL II: Oberflächenspannung



Zum Aufbau des Materials

Am Ende einiger Abschnitte wirst du kleine Aufgaben finden. Schätze zunächst wieder ein, ob du den vorangegangenen Abschnitt verstanden hast und bearbeite danach die Aufgabe. Blättere um, wenn du die Aufgabe so gut wie möglich bearbeitet hast.



Einige Aufgaben kannst du direkt am Bildschirm bearbeiten und deine Lösungen abspeichern. Dieses Symbol verdeutlicht dir, dass du die Lösung direkt in das pdf in das vorgesehene Kästchen schreiben und abspeichern kannst.

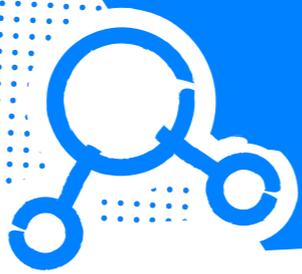


Du kannst dir aber auch natürlich einen normalen Schreibblock und einen Stift an die Seite legen und dort all das notieren, was für dein Lernen hilfreich ist. Dann kannst du auch solche Aufgaben bearbeiten, bei denen du etwas zeichnen musst.

Schreib dir am besten immer oben auf die Seite im Schreibblock, welchen Text du dort gerade bearbeitest.



Am Ende jedes Textes erwarten dich zusammenfassende Aufgaben, mit denen du überprüfen kannst, was du gelernt hast. Außerdem gibt es am Ende jedes Textes noch einmal eine Übersicht, in der die wichtigsten neuen Begriffe kurz erklärt werden. Diese Übersicht kannst du auch nutzen, um zu überprüfen, ob du die letzte Aufgabe richtig gelöst hast.



Jetzt geht es los mit

TEIL II: Oberflächenspannung

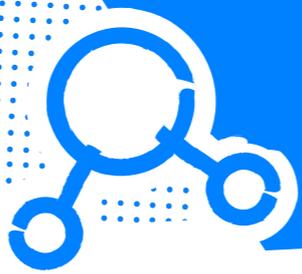
Wie an jedem Montagmorgen ist Hugi-Bugi auf dem Planeten Azzegoro auf dem Weg zum Unterricht in transgalaktischer Elementarsubstanzlehre. Und wie jeden Montagmorgen ist Hugi-Bugi spät dran. Heute ist er allerdings nicht allein unterwegs, sondern mit seinem besten Freund Shahi-Ohlum. Die beiden waren noch am Kiosk und haben sich jeder einen Stickstoffshake gekauft. Hugi-Bugi liebt diese Shakes. Leider mögen auch alle anderen Schüler dieses neue Getränk, so dass Hugi-Bugi und Shahi-Ohlum sehr lang am Kiosk anstehen mussten. Ehin-Butu erwartet sie bereits an der Tür und blickt vorwurfsvoll auf die Zeitanzeige, als er sie um die Ecke biegen sieht.

„‘tschuldige, Ehin-Butu!“, sagt Hugi-Bugi gut gelaunt und schlendert an Ehin-Butu vorbei in den Klassenraum.

Dort sitzt Jupiter-Saturn natürlich schon mit erwartungsvoll nach vorn gerichtetem Blick auf seinem Platz.

Während Ehin-Butu sich zum Vortragspult begibt, nimmt Shahi-Ohlum noch einen Schluck aus seinem Shake.

„So meine Lieben, wie ihr euch sicher erinnert, haben wir in der letzten Woche mit einem neuen Thema angefangen“, beginnt Ehin-Butu die Stunde. Jupiter-Saturn hat bereits seinen Redebeitragsknopf gedrückt – wahrscheinlich ein neuer Rekord. „Wer von euch kann denn noch mal zusammenfassen, was wir in der letzten Stunde gelernt haben?“, fragt Ehin-Butu.



Jupiter-Saturn zappelt erwartungsvoll auf seinem Platz. „Er will wohl unbedingt die wichtigsten Ergebnisse der letzten Stunde zusammenfassen“, überlegt Hugi-Bugi und tauscht einen kurzen Blick mit Shahi-Ohlum. „Die letzte Stunde transgalaktische Elementarsubstanzlehre war gar nicht sooooo übel“, grübelt Hugi-Bugi weiter. Er hat sogar verstanden, was Ehin-Butu erzählt hat ... „worum ging es da noch mal?“

„Hugi-Bugi!“, Ehin-Butu reißt Hugi-Bugi aus seinen Gedanken. So vorwurfsvoll wie er guckt, hat er Hugi-Bugis Namen nicht zum ersten Mal gesagt.

„Ja?“, fragt Hugi-Bugi etwas verwirrt.

„Kannst du bitte zusammenfassen, was wir in der letzten Stunde gelernt haben!“, fordert Ehin-Butu ihn auf.

„Ja klar“, sagt Hugi-Bugi schnell und kramt gleichzeitig panisch in seiner Erinnerung. „ ... es ging ... ehm ... um diesen Planeten ... *Erbe*, glaub' ich ... “

„*Erde*“, korrigiert Jupiter-Saturn automatisch und fährt dann auch direkt fort. „Wir haben über die Erde gesprochen. Ein kleiner Planet in einem Sonnensystem der Milchstraße.“



„Erde, genau“, greift Hugi-Bugi Jupiter-Saturns Hinweis auf. Langsam erinnert er sich auch wieder. „Auf der Erde gibt es ganz viel **Wasser** in diesen Ozeanen ... und über dieses Wasser haben wir geredet.“

Ehin-Butu nickt vorne, sieht aber nicht so aus, als ob er mit Hugi-Bugis Zusammenfassung schon zufrieden sei.

„Die Moleküle vom Wasser bestehen aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom ...“, überlegt Hugi-Bugi weiter.

„**H₂O**“, ergänzt Shahi-Ohlum.

„Richtig, die Formel ist H₂O“, greift Hugi-Bugi auch diese Ergänzung dankbar auf. „Wenn man das Wassermolekül aufmalt, sind die Atome nicht alle in einer geraden Linie, sondern das Sauerstoffatom ist etwas höher als die Wasserstoffatome“, berichtet Hugi-Bugi weiter. „Das nennt man dann gewinkelt.“

Ehin-Butu nickt wieder und blendet die entsprechende Abbildung ein.

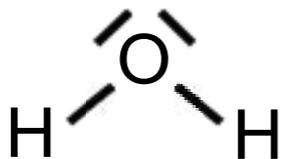
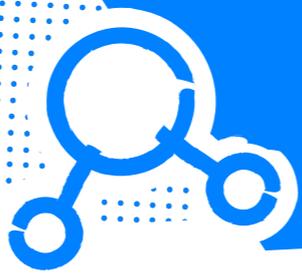


Bild 1: Strukturformel eines Wassermoleküls



„Im Wassermolekül sind die Wasserstoffatome durch **Elektronenpaarbindungen** mit dem Sauerstoffatom verbunden“, mischt sich Jupiter-Saturn schon wieder ein.

„Bei der Elektronenpaarbindung geben das Wasserstoffatom und das Sauerstoffatom jeder ein Außenelektron und daraus wird dann das Paar. Und die Atome teilen sich das Elektronenpaar dann und denken sie wären Edelgase, weil sie nicht merken, dass das andere Atom das Elektronenpaar mitbenutzt“, quasselt Hugi-Bugi dazwischen.

Jupiter-Saturn wirft ihm nur einen kurzen mitleidigen Blick zu: „Atome denken doch nicht!“, dann fährt er belehrend fort: „Das muss man so sagen: Durch die Elektronenpaarbindung erreichen die Wasserstoffatome die **Edelgaskonfiguration** von Helium. Das Sauerstoffatom besitzt außerdem zwei **freie Elektronenpaare**. Zusammen mit den beiden Elektronenpaarbindungen erreicht es so ebenfalls die Edelgaskonfiguration.“

„Wegen der **Elektronegativität**, also der Fähigkeit die Bindungselektronen zu sich zu ziehen, sind das aber keine normalen Elektronenpaarbindungen im Wassermolekül“, korrigiert Shahi-Ohlum schadenfroh Jupiter-Saturn. „Das Sauerstoffatom kann die Bindungselektronen stärker anziehen als das Wasserstoffatom. Dadurch verschieben sich die Bindungselektronen ein bisschen in Richtung des Sauerstoffatoms. Bindungen mit so verschobenen Elektronen werden **polare Atombindungen** genannt!“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL II: Oberflächenspannung



Das kann Jupiter-Saturn natürlich nicht auf sich sitzen lassen: „Die unterschiedlichen Elektronegativitäten von Wasserstoff- und Sauerstoffatomen, die die polare Atombindung hervorrufen, führen außerdem zu **Partialladungen** an den Atomen. Das Sauerstoffatom verfügt über etwas zu viel negative Ladung und ist daher **partial negativ geladen**. Den Wasserstoffatomen fehlt durch das verschobene Elektron etwas negative Ladung. Sie sind daher **partial positiv geladen**. Man schreibt dafür ein kleines Delta mit der entsprechenden Ladung an die Atome“, referiert Jupiter-Saturn eifrig.

Ehin-Butu blendet automatisch die entsprechende Abbildung ein.

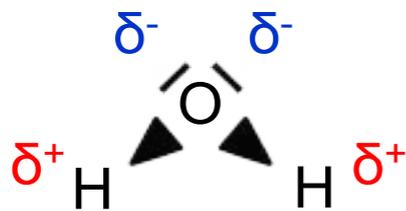
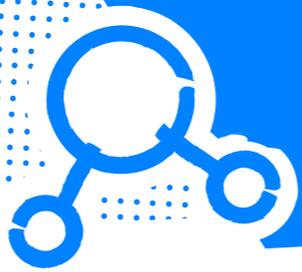


Bild 2: Partialladungen im Wassermolekül



„Man kann sehen, dass die Elektronen nicht normal in der Mitte zwischen den Atomkernen sind, sondern ein bisschen in Richtung des Sauerstoffatoms verschoben sind“, ergänzt Hugi-Bugi, der das Gefühl hat auch mal wieder etwas sagen zu müssen.

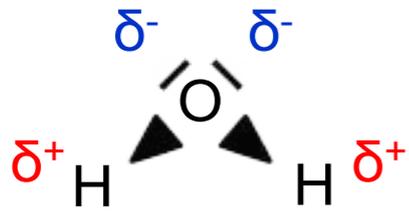
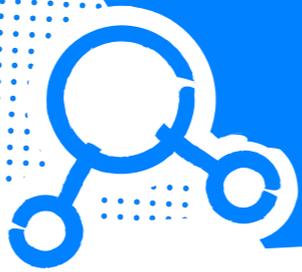


Bild 3: Partialladungen im Wassermolekül

„Deswegen ist da dieses Dreieck als Bindung eingezeichnet.“



Shahi-Olum und Jupiter-Saturn achten allerdings nicht auf ihn.

„Damit allein lässt sich das besondere Verhalten des Wassers – zum Beispiel das gegenüber einem elektrostatisch aufgeladenen Stab – aber noch nicht erklären“, beharrt Shahi-Ohlum mit einem triumphierenden Blick zu Jupiter-Saturn. „Wegen der gewinkelten Struktur gibt es im Wassermolekül dann einen Bereich mit **negativer Partiaalladung** beim Sauerstoffatom und einen mit **positiver Partiaalladung** bei den Wasserstoffatomen.“

„Moleküle, bei denen diese beiden Pole mit unterschiedlicher Partiaalladung so deutlich getrennt vorliegen, werden **Dipole** genannt“, schiebt Jupiter-Saturn während einer Atempause von Shahi-Ohlum ein.

Ehin-Butu nickt und klickt eine Abbildung weiter, dann wandert sein Blick zurück zu Hugi-Bugi.

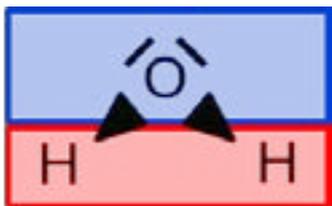
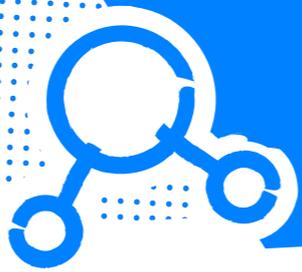


Bild 4: Pole mit entgegengesetzter Ladung im Wassermolekül



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL II: Oberflächenspannung



„... wollte ich alles auch sagen“, ruft Hugi-Bugi schnell. „Und deswegen ... also wegen der polaren Atombindung und den Partialladungen, die es deswegen gibt, und dem Dipol fließt das Wasser dann um die Ecke, wenn man da diesen elektro-dings Stab daneben hält.“

„Der **positiv geladene Pol** der Wassermoleküle wird von einem **elektrostatisch negativ aufgeladenen Stab** angezogen“, mischt Jupiter-Saturn sich wieder ein. „Dadurch wird der Wasserstrahl etwas abgelenkt und fließt in einem Bogen.“

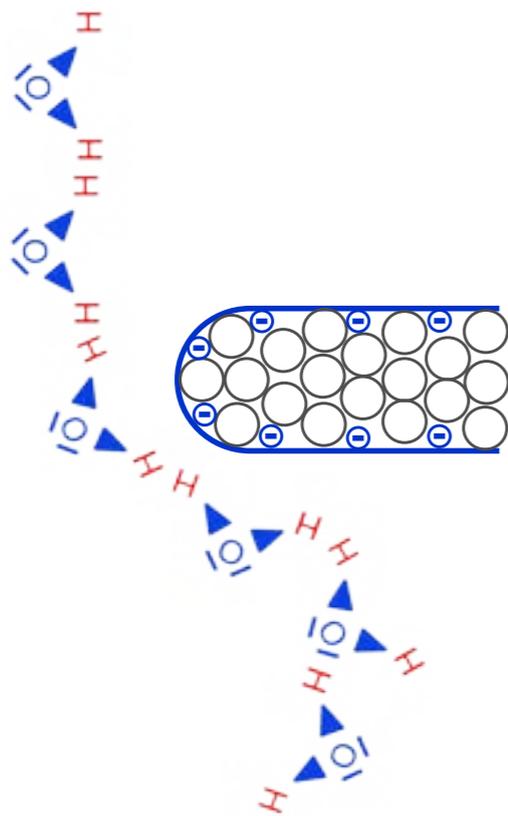


Bild 5: Wassermoleküle, die von einem elektrostatisch geladenen Stab angezogen werden

„Sag' ich doch!“, antwortet Hugi-Bugi etwas verärgert.



„Es gibt darüber hinaus noch ein weiteres spannendes Phänomen in Bezug auf das Wasser, das wir im Rahmen dieses Einführungskurses transgalaktische Elementarsubstanzlehre behandeln werden ... Natürlich ist das Thema Wasser damit noch lange nicht abgeschlossen ...“, erklärt Ehin-Butu. „Auf der Erde beschäftigt man sich sehr intensiv mit dem Thema Wasser und gerade die vielen Kleinstlebewesen, die es dort im Wasser gibt, sind wahnsinnig spannend“, schwärmt Ehin-Butu weiter. „Auf der Erde gibt es äußerst spannende Lehrveranstaltungen, die ich zu gerne mal besuchen würde ... allerdings“, erklärt er dann und kehrt auf den Boden der Tatsachen zurück, „sind das leider Themen, die wir erst im Vertiefungskurs transgalaktische Elementarsubstanzlehre behandeln werden können. Auch wenn das natürlich sehr schade ist ...“

Hugi-Bugi ist sehr dankbar für diese Regelung und auch Shahi-Ohlum sieht nicht so aus, als würde er es bedauern, vorerst nichts über Kleinstlebewesen auf der Erde zu erfahren. Jupiter-Saturn vorne in der ersten Reihe guckt natürlich ein bisschen traurig.

„Eines dieser faszinierenden Lebewesen auf der Erde werden wir uns heute allerdings etwas genauer ansehen können“, verkündet Ehin-Butu freudestrahlend.

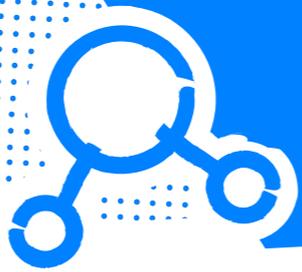
Jupiter-Saturn in der ersten Reihe ruft sofort: „Oh cool!“, während Hugi-Bugi und Shahi-Ohlum einen verzweifelten Blick tauschen.



„Bei einer Expedition des Erkundungsteams *Erde* zur Erforschung des Wassers sind unsere Forscher auf dieses Lebewesen gestoßen und da es über diese außergewöhnlichen Fähigkeiten verfügt, die sie sich zunächst nicht erklären konnten, wurde diese Aufnahme angefertigt ...“, berichtet Ehin-Butu.



Bild 6: Wasserläufer [Katja Schulz, cc-by-2.0]



„Oha! Der sieht voll gruselig aus!“, ruft Shahi-Ohlum und sieht schnell weg.

Auch Hugi-Bugi ist von diesem Lebewesen wenig begeistert. „Voll der Hässliche“, flüstert er Shahi-Ohlum zu und fragt dann etwas lauter: „Ist das so ein ... eh ... Mensch?“

„Natürlich nicht!“, korrigiert Jupiter-Saturn ihn sofort und wirft ihm über die Schulter einen vernichtenden Blick zu. „Menschen haben nur zwei Beine und keine Flügel. Wenn ich mit meiner Vermutung richtig liege, handelt es sich hier um ein Insekt.“

Hugi-Bugi hat noch nie davon gehört.



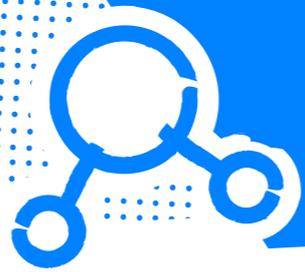
„Sehr richtig“, lobt Ehin-Butu. „Hierbei handelt es sich allerdings um ein besonderes Insekt. Wenn ihr genau hinseht, erkennt ihr vielleicht, worauf es sitzt ... “

Hugi-Bugi riskiert noch einen Blick auf die Abbildung. Shahi-Ohlum betrachtet dagegen konzentriert einen Punkt an der Wand einige Meter neben der Abbildung und sieht aus, als wäre er gerne woanders.



Bild 7: Wasserläufer [Katja Schulz, cc-by-2.0]

„Sieht aus wie Folie oder so“, überlegt Hugi-Bugi laut.



Jupiter-Saturn betrachtet konzentriert die Abbildung und ruft dann plötzlich: „Ist das etwa einer dieser berühmten Wasserläufer? Mein Vater hat mir davon erzählt ... “



Bild 8: Wasserläufer [Katja Schulz, cc-by-2.0]

„Wasserläufer?“, fragt Shahi-Ohlum und vergisst vor Staunen sich zu ekeln.



„Sehr richtig!“, lobt Ehin-Butu Jupiter-Saturn wieder.

„Oh, ich wollte schon immer mal einen sehen!“, schwärmt Jupiter-Saturn los.

„Wasser-läufer?“, fragt Shahi-Ohlum währenddessen noch mal.

Auch Hugi-Bugi kommt nicht ganz mit: „Heißt das, dieses Ding kann auf dem Wasser laufen?“, fragt er nach. „Haben wir nicht letzte Woche die ganze Zeit darüber gesprochen, dass Wasser eine Flüssigkeit ist?“

Shahi-Ohlum nickt zur Unterstützung: „Eben. Wie soll das denn gehen? Man kann doch nicht auf Flüssigkeiten laufen!“

„Der Wasserläufer kann aber auf dem Wasser laufen“, weiß Jupiter-Saturn.

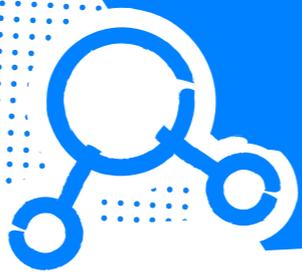
„Und wie macht er das?“, fragt Shahi-Ohlum herausfordernd nach.

Zu Hugi-Bugis Freude sieht Jupiter-Saturn nicht so aus, als ob er darauf eine Antwort geben könnte.

„Diese spannende Frage werden wir heute klären“, verkündet Ehin-Butu in diesem Moment mit dramatischer Stimme.

Fasse das Problem, das Ehin-Butu seinen Schülern präsentiert hat, mit eigenen Worten zusammen, bevor du weiter liest.





WASSER → SEQUENZ 1

TEIL II: Oberflächenspannung



„Warum können Wasserläufer denn auf dem Wasser laufen, obwohl Wasser flüssig ist?“, fragt Hugi-Bugi ungeduldig.

„Warum gehen die nicht unter?“, fragt auch Shahi-Ohlum.

„Das hat etwas mit dem Wasser zu tun“, setzt Ehin-Butu an.

„Und diesen Partiaalladungen?“, fragt Hugi-Bugi.

„Die haben auch etwas damit zu tun“, bestätigt Ehin-Butu, woraufhin Hugi-Bugi und Shahi-Ohlum unterm Tisch abklatschen.

„Letzte Woche haben wir gelernt, dass Wassermoleküle Dipole sind, also über zwei räumlich getrennte Bereiche mit unterschiedlicher Ladung verfügen“, erklärt Ehin-Butu.

Shahi-Ohlum atmet sichtlich erleichtert aus, als Ehin-Butu die Abbildung wechselt.

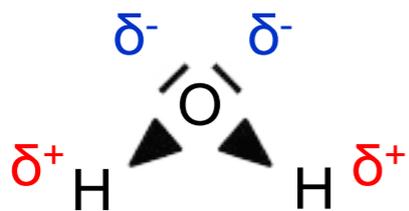


Bild 9: Partiaalladungen im Wassermolekül



„Die Partiaalladungen führen dazu, dass sich die Wassermoleküle innerhalb der Flüssigkeit auf eine bestimmte Art und Weise anordnen“, fährt Ehin Butu fort. „Wie ihr wisst, stoßen sich Teilchen mit gleichnamiger Ladung gegenseitig ab, während Teilchen mit ungleichnamiger – also entgegengesetzter – Ladung sich anziehen“, erinnert Ehin-Butu. „Zwei Wassermoleküle ordnen sich daher immer so zueinander an, dass neben dem **partial positiv geladenen Teil** des einen Wassermoleküls der **partial negativ geladene Teil** des anderen Wassermoleküls liegt.“

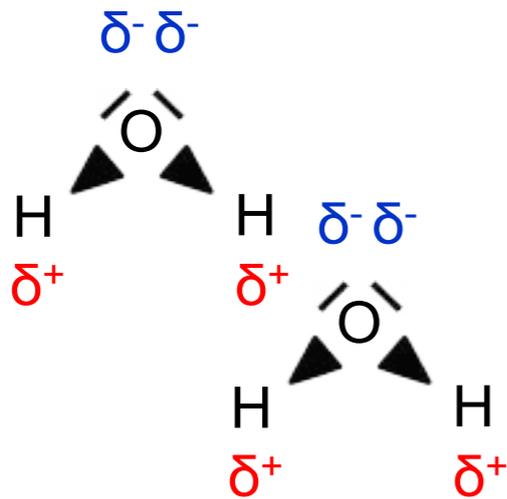


Bild 10: Zwei Wassermoleküle



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL II: Oberflächenspannung

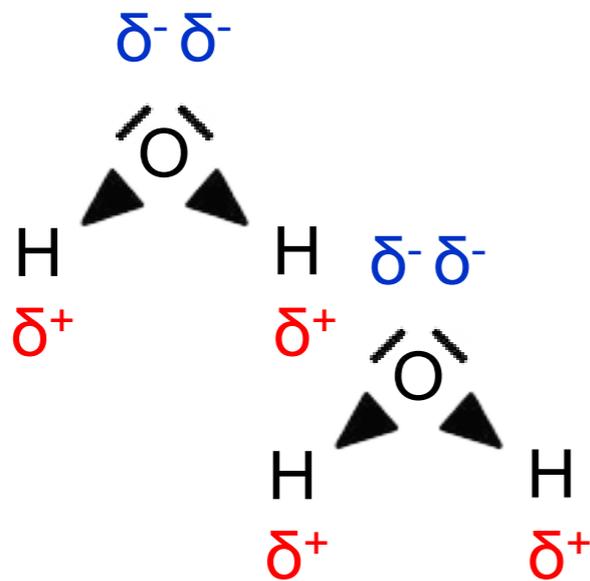


„Immer Plus neben Minus“, sagt Hugi-Bugi.

„Die Bereiche mit positiver Partiaalladung ordnen sich neben Bereichen mit negativer Partiaalladung an“, korrigiert Jupiter-Saturn. „So dass Abstoßung gleicher Ladungen vermieden wird ...“, überlegt er dann.

„Sehr gut!“, lobt Ehin-Butu begeistert. „Die Pole mit entgegengesetzten Ladungen ziehen sich gegenseitig an. Wenn wir uns vorstellen, dass sich jetzt noch ein drittes Wassermolekül neben diesen beiden Molekülen anordnet ...“

Ergänze ein drittes Wassermolekül in der Abbildung, bevor du weiterliest.





„Dann kann es wieder so daneben“, ruft Hugi-Bugi und ist stolz, dass er das sofort verstanden hat.

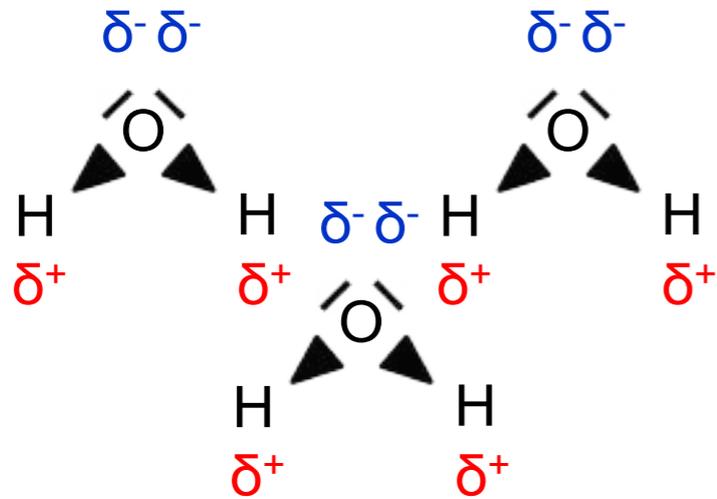


Bild 11: Drei Wassermoleküle

„Dann sind wieder die Bereiche mit positiver Partiaalladung neben denen mit negativer Partiaalladung.“



„Oder aber das dritte Molekül positioniert sich unter den beiden anderen Molekülen“, schlägt Jupiter-Saturn vor. „Auch dort ist es möglich, dass sich der negative Pol des einen Wassermoleküls neben den positiven Polen des anderen Wassermoleküls befindet.“

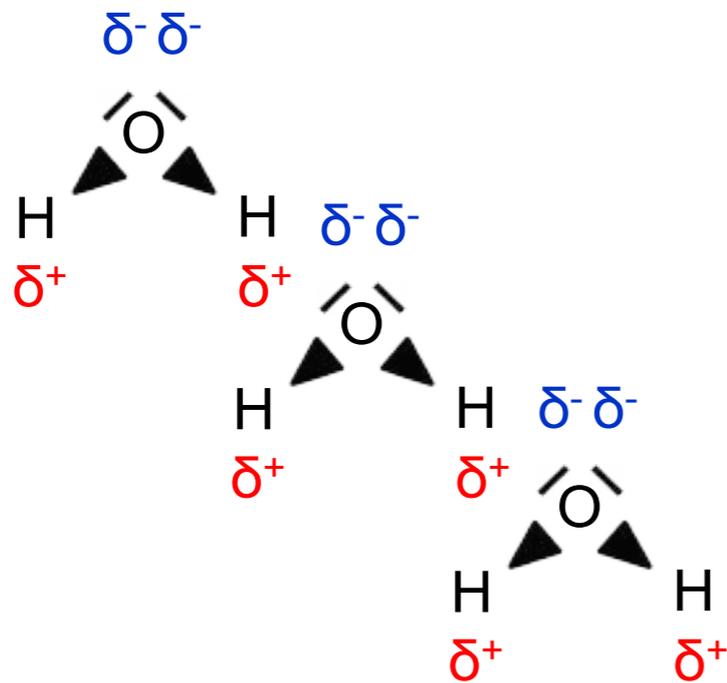


Bild 12: Drei Wassermoleküle



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL II: Oberflächenspannung

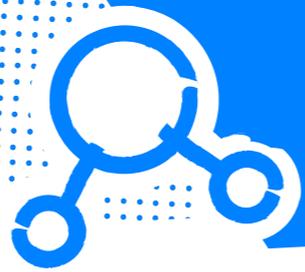


„Richtig“, bestätigt Ehin-Butu noch einmal. „Ihr seht also, es ist möglich Dipolmoleküle so anzuordnen, dass sich jeweils die unterschiedlich geladenen Pole zweier Moleküle anziehen. Dadurch werden die Moleküle relativ stark zusammengehalten. Diese Anziehung zwischen den Dipolmolekülen wird als **Dipol-Dipol-Wechselwirkung** bezeichnet.“

Erläutere das Phänomen der Dipol-Dipol-Wechselwirkung mit eigenen Worten, bevor du weiter liest.



A large empty rectangular area with a dotted blue border, intended for the user to write their explanation.



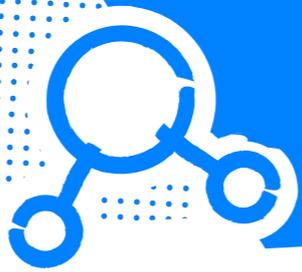
WASSER → SEQUENZ 1

TEIL II: Oberflächenspannung



„Wenn also so ein Stoff ... wie zum Beispiel Wasser ... diese Dipolmoleküle hat, dann bleiben die Moleküle besser zusammen, weil sie sich gegenseitig mit diesen Dipol-Dipol-Wechselwirkungen anziehen ...“, versucht Hugi-Bugi zusammenzufassen.

Ehin-Butu nickt bestätigend und Hugi-Bugi und Shahi-Ohlum klatschen unter dem Tisch ab.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL II: Oberflächenspannung



„Ok, hab' ich voll gecheckt“, verkündet Hugi-Bugi und ignoriert Jupiter-Saturn, der sich zu ihm umgedreht hat und ein wenig überzeugtes Gesicht macht. „Aber was hat das mit diesem Wasser-geher zu tun?“

„Wasserläufer“, korrigiert Ehin-Butu ihn. „Da kommen wir jetzt gleich zu. Die starken Anziehungskräfte zwischen den Wassermolekülen halten die Moleküle zusammen. Wassermoleküle, die innerhalb der Flüssigkeit liegen, werden entsprechend aus allen Richtungen von anderen Wassermolekülen angezogen.“

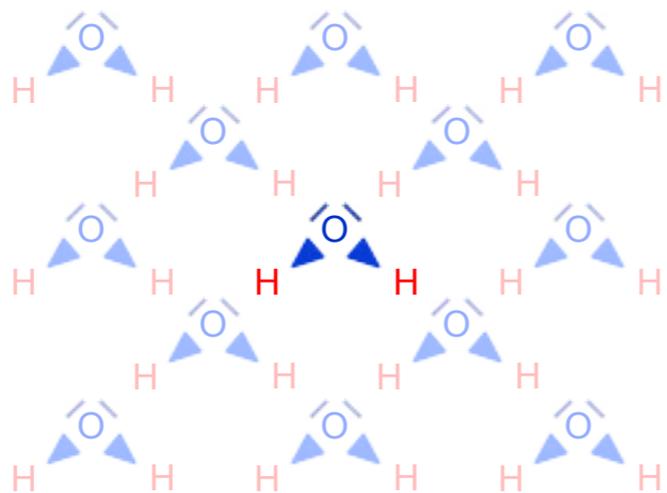


Bild 13: Dipol-Dipol-Wechselwirkungen in der Mitte der Flüssigkeit

Gib an, wie viele Nachbarmoleküle Anziehungskräfte auf das Wassermolekül in der Mitte der Abbildung ausüben, bevor du weiter liest.





WASSER → SEQUENZ 1

TEIL II: Oberflächenspannung



Wenn ihr euch jetzt die Oberfläche des Wassers vorstellt“, fährt Ehin-Butu fort, „werden die Wassermoleküle, die ganz oben an der Oberfläche liegen, nicht aus allen Richtungen von benachbarten Wassermolekülen angezogen. Da sich über ihnen keine weiteren Wassermoleküle befinden, wirken nach oben auch keine Anziehungskräfte.

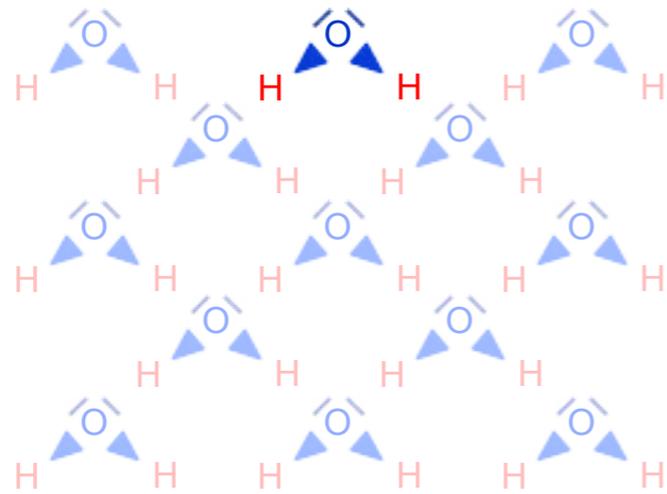


Bild 14: Dipol-Dipol-Wechselwirkungen an der Oberfläche

Gib an, wie viele Nachbarmoleküle Anziehungskräfte auf das Wassermolekül an der Wasseroberfläche ausüben, bevor du weiter liest.





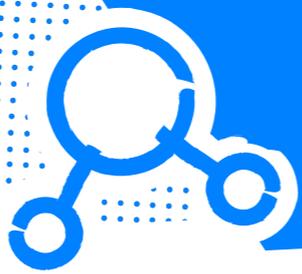
Die Anziehungskräfte, die an der Wasseroberfläche zwischen den benachbarten Wassermolekülen wirken, verteilen sich dadurch auf weniger Moleküle im Inneren und zur Seite. Sie sind dadurch etwas stärker als in der Mitte der Flüssigkeit“, erläutert Ehin-Butu. „Bei Stoffen mit starken Anziehungskräften zwischen den Molekülen führt dies dazu, dass die Oberfläche der Flüssigkeit sozusagen unter Spannung steht.

Um die Oberfläche dieser Flüssigkeiten durchbrechen zu können – also sozusagen die Wassermoleküle an einer Stelle auseinanderzuschieben, muss eine gewisse Kraft aufgewandt werden“, erklärt Ehin-Butu.

„Wie jetzt?“, fragt Shahi-Ohlum dazwischen.

„Wenn du einen Gegenstand in eine Flüssigkeit eintauchen willst, muss du die Moleküle der Flüssigkeit verdrängen, damit sich der Gegenstand dazwischen durch bewegen kann“, weiß Jupiter-Saturn.

„Du musst also die Anziehungskräfte zwischen den Molekülen überwinden, damit du sie verdrängen kannst“, fügt Ehin-Butu hinzu.



„Also muss ich diese Dipol-Dipol-Wechselwirkung kaputt machen, damit ich zum Beispiel meinen Strohhalm in das Wasser stecken kann?“, fragt Hugi-Bugi und schielt dabei zu seinem halbvollen Stickstoffshake.

„Die Dipol-Dipol-Wechselwirkungen gehen dadurch nicht kaputt“, korrigiert Ehin-Butu ihn. „Aber du musst sie an der Stelle, an der du deinen Strohhalm eintauchen willst, zumindest zeitweise überwinden ... “

„Ist das dann da so fest oder was?“, fragt Shahi-Ohlum, der sich das immer noch nicht vorstellen kann.

„Es ist doch flüssig ... “, gibt Hugi-Bugi zu bedenken, „da kann es doch nicht fest sein, oder?“

„Wenn du wirklich versuchen solltest Hugi-Bugis Strohhalm in Wasser einzutauchen, wirst du nicht merken, dass du die Dipol-Dipol-Wechselwirkungen überwindest. Es wird für dich keinen spürbaren Widerstand geben“, erklärt Ehin-Butu. „Dafür übst du im Verhältnis zu den Dipol-Dipol-Wechselwirkungen viel zu viel Kraft aus.“

Shahi-Ohlum wirft sich in Pose und grinst zufrieden.



„Der Wasserläufer dagegen ist extrem leicht“, fährt Ehin-Butu fort. „Die Kraft, die er mit seinem Körpergewicht ausübt, genügt nicht, um die Anziehung zwischen den Wassermolekülen zu überwinden ... “

„Und deswegen kann der auf dem Wasser stehen?“, fragt Shahi-Ohlum noch mal nach.

„Hat er dich gerade fett genannt?“, fragt Hugi-Bugi Shahi-Ohlum währenddessen leise.

Ehin-Butu räuspert sich deutlich und wirft Hugi-Bugi einen kurzen Blick zu, der ihn zum Schweigen bringt. „Die Anziehungskräfte zwischen den Wassermolekülen sind stark genug, um ein so leichtes Gewicht, wie beispielsweise das des Wasserläufers, zu tragen“, erklärt Ehin-Butu, „Wenn es richtig verteilt ist.“



„Was soll das denn heißen?“, fragt Shahi-Ohlum schon wieder nach.

„Ich glaub', er meint, du bist zu klein für dein Gewicht“, flüstert Hugi-Bugi seinem Freund empört zu.

„Hugi-Bugi!“, ermahnt Ehin-Butu ihn mit strengem Blick. Dann atmet er einmal tief durch, bevor er mit seiner Erklärung fortfährt: „Der Wasserläufer besitzt sechs Beine, die sein Gewicht tragen. Dadurch trägt jedes Bein einen geringeren Anteil am Gesamtgewicht als bei Lebewesen, die beispielsweise nur zwei Beine haben.“

Hugi-Bugi und Shahi-Ohlum nicken konzentriert.

Jupiter-Saturn muss natürlich: „Ein Sechstel“ sagen.



„Der Wasserläufer nutzt zusätzlich noch einen weiteren Trick, um sein Körpergewicht weiter zu verteilen“, verkündet Ehin-Butu. „Wenn ihr genau hinseht, erkennt ihr, dass er nicht einfach die Enden seiner Beine auf die Wasseroberfläche aufgesetzt hat, sondern sogar recht große Teile seiner Beine auf der Wasseroberfläche aufliegen.“

Ehin-Butu blendet erneut die Abbildung des Wasserläufers ein. Shahi-Ohlum zappelt unruhig auf seinem Platz hin und her und betrachtet die Tischplatte vor sich.



Bild 15: Wasserläufer [Katja Schulz, cc-by-2.0]



„Stimmt“, sagt Hugi-Bugi. „Und deswegen geht er nicht unter?“

„Mit seinen sechs Beinen, die zum Teil auf dem Wasser liegen, gelingt es dem Wasserläufer eine verhältnismäßig große Kontaktfläche zum Wasser zu schaffen, erläutert Ehin-Butu. Sein Gewicht wirkt über diese Fläche verteilt auf das Wasser. Dadurch sinkt der Druck, den der Wasserläufer mit seinem Gewicht auf die Kontaktfläche mit der Wasseroberfläche ausübt. Schließlich ist dieser Druck sogar so gering, dass er nicht mehr ausreicht die Wassermoleküle an der Oberfläche zu verdrängen.“

„Kraft, Druck, Gewicht!?!“, beschwert Hugi-Bugi sich. „Das ist doch hier nicht transgalaktische Elementargeößenlehre!“

„Was für ein Druck?“, fragt auch Shahi-Ohlum nach. „Der liegt doch nur auf dem Wasser! Der drückt doch nicht.“

„Wie ihr sicherlich im Kurs transgalaktische Elementargeößenlehre gelernt habt“, fährt Ehin-Butu mit einem Blick zu Hugi-Bugi fort, „entsteht ein Druck, wenn eine Kraft auf eine Fläche wirkt.“

Hugi-Bugi erinnert sich dunkel.

„Die Kraft hängt mit dem Gewicht zusammen“, mischt Jupiter-Saturn sich ein.



Ehin-Butu nickt zustimmend, bevor er fortfährt: „An seinem Gewicht kann der Wasserläufer nichts verändern. Er wiegt nun einmal so-und-so-viel und übt daher eine entsprechende Gewichtskraft aus.

Der Wasserläufer kann aber dafür sorgen, dass die Auflagefläche auf dem Wasser größer wird. Dann wirkt seine Gewichtskraft auf eine größere Fläche verteilt und dadurch wird der Druck geringer.“

Erläutere, wie der Wasserläufer den Druck, den er auf die Wasseroberfläche ausübt, verringert.



A large empty rectangular box with a dotted blue border, intended for the student's explanation.



Hugi-Bugi blickt bei diesen ganzen Zusammenhängen von Gewicht, Kraft, Druck und so weiter leider nie so ganz durch. Er wirft Shahi-Ohlum einen verzweifelten Blick zu.

„Stell' dir vor, wir knuffen Jupiter-Saturn mit dem leeren Becher unseres Stickstoffshakes“, erklärt Shahi-Ohlum leise. „Dann merkt er das zwar, aber es tut ihm nicht weh. Wenn wir ihn aber mit der gleichen Kraft mit unseren Strohhalmen pieksen ...“, fährt Shahi-Ohlum fort und fuchtelt mit dem Strohhalm in Jupiter-Saturns Richtung.

„Aua“, beschwert Jupiter-Saturn sich als Shahi-Ohlum ihn mit dem Strohhalm erwischt hat. „Was soll das denn?!“

Shahi-Ohlum grinst und taucht den Strohhalm zufrieden wieder in seinen Shake. „Dann hat man ein schönes Beispiel für den Zusammenhang zwischen Druck, Kraft und Fläche.“

Hugi-Bugi grinst: „Also je kleiner die Fläche ist, desto größer ist der Druck“, überlegt er.

„Beim Wasserläufer ist es wohl genauso“, erklärt Shahi-Ohlum leise weiter. „Wenn er auf seinen Zehenspitzen auf dem Wasser stehen würde, würden die Dipol-Dipol-Wechselwirkungen dem Druck vielleicht nicht mehr standhalten können und der Wasserläufer würde mit den Zehenspitzen die Wasseroberfläche durchbrechen ... vorausgesetzt so ein Wasserläufer hat überhaupt Zehenspitzen.“



„Und wenn er versuchen würde auf einem Bein zu stehen?“, fragt Hugi-Bugi laut weiter. „Würde er dann auch untergehen?“

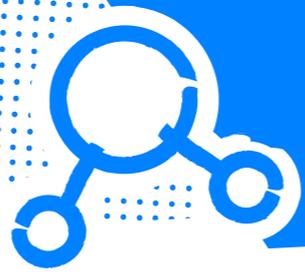
„Dadurch würde die Gewichtskraft des Wasserläufers auf eine deutlich geringere Fläche wirken“, erläutert Jupiter-Saturn und wirft Shahi-Ohlum einen beleidigten Blick über die Schulter zu. „Der Druck würde demnach steigen und der Wasserläufer würde wahrscheinlich untergehen.“

Ehin-Butu nickt vorne, aber Hugi-Bugi ist noch nicht ganz zufrieden. „Also wenn ich meinen Strohhalm nicht in die Wasseroberfläche pieksen würde“, überlegt er, Jupiter-Saturn dreht sich bei diesen Worten nervös um, „sondern versuchen würde den Strohhalm ganz vorsichtig der Länge nach auf die Wasseroberfläche zu legen, könnte er dann auch darauf liegen bleiben?“

„Wahrscheinlich ja“, antwortet Ehin-Butu, der ein bisschen genervt wirkt und gleichzeitig zur Zeitanzeige blickt.

Erkläre, warum der Wasserläufer nicht untergeht, bevor du weiter liest.





„Also diese Wassermoleküle ordnen sich immer so an, dass Plus neben Minus ist“, versucht Shahi-Ohlum das Gelernte noch mal zusammenzufassen.

„Sie ordnen sich so an, dass sich Pole mit ungleichnamigen Partialladungen nebeneinander befinden“, präzisiert Jupiter-Saturn.

„Die ziehen sich dann an“, fährt Shahi-Ohlum fort ohne Jupiter-Saturn zu beachten, „und machen diese Dipol-Dipol-Wechselwirkungen.“

„Und alle Wassermoleküle in der Flüssigkeit ... wechselwirken dann miteinander“, ergänzt Hugi-Bugi.



„Außer die an der Oberfläche“, fährt Shahi-Ohlum fort, „die haben nicht so viele Wassermoleküle um sich herum, mit denen sie Dipol-Dipol-Wechselwirkungen eingehen können.“

„Auf die Wassermoleküle an der Oberfläche wirken weniger Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, da sie weniger Nachbarmoleküle haben“, präzisiert Jupiter-Saturn erneut. „Dadurch wirken aber die wenigen Kräfte, die dort wirken, gleichzeitig auch stärker.“

Shahi-Ohlum ignoriert ihn wieder: „Um die Wasseroberfläche zu durchbrechen, muss man mehr Kraft aufwenden als die Dipol-Dipol-Wechselwirkungen.“

„Weil der Wasserläufer sehr leicht ist und sein bisschen Gewicht auch noch auf eine große Fläche verteilt, reicht seine Gewichtskraft nicht aus, um die Dipol-Dipol-Wechselwirkungen ... eh ... zu überwinden“, erklärt Hugi-Bugi. „Deswegen kann er auf dem Wasser sitzen ohne unterzugehen.“

Ehin-Butu nickt zufrieden, Hugi-Bugi und Shahi-Ohlum klatschen unterm Tisch ab.



„Dann beenden wir unsere Stunde heute ausnahmsweise noch mal etwas früher“, verkündet Ehin-Butu. Sofort rutscht Hugi-Bugi von seinem Platz und schnappt sich seinen Stickstoffshake. Vorne versucht Ehin-Butu noch darüber zu informieren, was er für die nächste Stunde geplant hat, aber außer Jupiter-Saturn hört ihm niemand mehr zu.

„Heute habe ich transgalaktische Elementarsubstanzlehre schon wieder voll gecheckt!“, berichtet Hugi-Bugi Shahi-Ohlum an der Tür begeistert. „Ich bin voll schlau! Wenn wir ab jetzt voll Streber werden, können wir ja vielleicht doch irgendwann mit zu einer Forschungsmission“, quasselt er weiter, während sie über den Flur schlendern und Shahi-Ohlum seinen Stickstoffshake schlürft. „Stell’ dir vor, wir zwei dürften zur Erde fliegen!“, schwärmt Hugi-Bugi weiter.

Auch Shahi-Ohlum wirkt begeistert: „Mit unserem eigenen Raumschiff“, träumt er. „Aber diesen Wasserläufern will ich lieber nicht begegnen“, fügt er dann hinzu und schüttelt sich.

Hugi-Bugi lacht ihn ein bisschen aus. Als er Shahi-Ohlums beleidigtes Gesicht sieht fügt er hinzu: „Wir haben ja dann so Schutzanzüge und voll die Spezialausrüstung und so ... “



TESTE DEIN WISSEN

TEIL II: Oberflächenspannung



Erkläre den Begriff Dipol-Dipol-Wechselwirkung kurz in eigenen Worten, bevor du weiter liest.



Empty dotted-line box for writing the answer.





TESTE DEIN WISSEN

TEIL II: Oberflächenspannung



Dipol-Dipol-Wechselwirkung:

Anziehung zwischen ungleichnamig geladenen Polen zweier Dipolmoleküle aufgrund von elektrostatischen Wechselwirkungen.

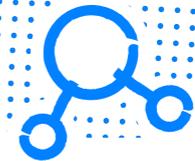




**SUPER, DAS WAR
TEIL II**

Zum nächsten Teil:

» **TEIL III: Wasserstoffbrücken**.....





WASSER → SEQUENZ 1

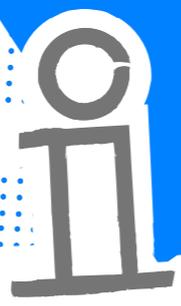
TEIL III: Wasserstoffbrücken



Das erwartet dich hier

Mithilfe des folgenden Textes kannst du wiederholen, dass im Wassermolekül (H_2O) alle Atome durch Bildung von Elektronenpaarbindungen den Edelgaszustand erreichen. Durch die Elektronegativitätsdifferenz zwischen Wasserstoffatom und Sauerstoffatom sind die Elektronenpaarbindungen zwischen den Atomen polar und die Atome tragen Partialladungen. Du wiederholst auch, wie das mit dem Dipolcharakter des Wassermoleküls zusammenhängt und wie elektrostatische Wechselwirkung zwischen Dipolmolekülen zu Dipol-Dipol-Wechselwirkungen führen.

Außerdem lernst du, was Wasserstoffbrücken sind.



EINFÜHRUNG

BEVOR DU LOSLEGST, BITTE LESEN

TEIL III: Wasserstoffbrücken



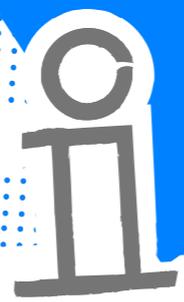
Zur Arbeit mit dem Material

Es ist wichtig, dass du dir den folgenden Text aufmerksam durchliest, so dass du möglichst viel lernst. Wenn du zwischendurch zurückblättern möchtest, um etwas noch einmal nachzuschauen oder eine Textstelle noch einmal zu lesen, kannst du dies jederzeit machen.

Der Text besteht aus Abschnitten. Um erfolgreich mit dem Text lernen zu können, solltest du dir am Ende jedes Abschnitts überlegen:

1. Was habe ich in diesem Abschnitt Neues erfahren?
2. Wie passt das, was ich neu erfahren habe, zu dem, was ich vorher schon wusste oder bereits gelesen habe?
3. Welche Fragen habe ich noch?

Lies erst danach den nächsten Abschnitt.



EINFÜHRUNG

BEVOR DU LOSLEGST, BITTE LESEN

TEIL III: Wasserstoffbrücken



Zum Aufbau des Materials

Am Ende einiger Abschnitte wirst du kleine Aufgaben finden. Schätze zunächst wieder ein, ob du den vorangegangenen Abschnitt verstanden hast und bearbeite danach die Aufgabe. Blättere um, wenn du die Aufgabe so gut wie möglich bearbeitet hast.



Einige Aufgaben kannst du direkt am Bildschirm bearbeiten und deine Lösungen abspeichern. Dieses Symbol verdeutlicht dir, dass du die Lösung direkt in das pdf in das vorgesehene Kästchen schreiben und abspeichern kannst.

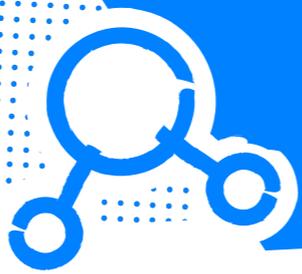


Du kannst dir aber auch natürlich einen normalen Schreibblock und einen Stift an die Seite legen und dort all das notieren, was für dein Lernen hilfreich ist. Dann kannst du auch solche Aufgaben bearbeiten, bei denen du etwas zeichnen musst.

Schreib dir am besten immer oben auf die Seite im Schreibblock, welchen Text du dort gerade bearbeitest.



Am Ende jedes Textes erwarten dich zusammenfassende Aufgaben, mit denen du überprüfen kannst, was du gelernt hast. Außerdem gibt es am Ende jedes Textes noch einmal eine Übersicht, in der die wichtigsten neuen Begriffe kurz erklärt werden. Diese Übersicht kannst du auch nutzen, um zu überprüfen, ob du die letzte Aufgabe richtig gelöst hast.



Jetzt geht es los mit

TEIL III: Wasserstoffbrücken

Auf dem Planeten Azzegoro ist Hugi-Bugi mal wieder auf dem Weg zu seinem Klassenraum für transgalaktische Elementarsubstanzlehre. Anders als sonst hat Hugi-Bugi es an diesem Montagmorgen eilig dort hinzukommen. Damit er pünktlich ist, hat er sogar auf seinen Lieblingsstickstoffshake vom Kiosk verzichtet. Seit letzter Woche träumen Shahi-Ohlum und er davon an einer Forschungsmission zur Erde teilzunehmen. Sie haben sogar ein bisschen recherchiert und einige interessante Bilder von diesen Menschen entdeckt, die dort leben. Die sehen vielleicht seltsam aus ...

Als Hugi-Bugi den Raum betritt, wirft Ehin-Butu ihm vom Vortragspult aus einen erstaunten Blick zu. Es ist wahrscheinlich das erste Mal, dass Hugi-Bugi zu seinem Kurs pünktlich erscheint. Auf dem Weg zu seinem Platz muss Hugi-Bugi allerdings feststellen, dass Shahi-Ohlum noch nicht da ist. Jupiter-Saturn sitzt natürlich schon auf seinem Platz in der ersten Reihe und putzt demonstrativ die Gläser seiner Brille.

Ehin-Butu wirft einen prüfenden Blick auf die Zeitanzeige und beschließt dann die Tür zu schließen. Hugi-Bugis Blick wandert hektisch von Shahi-Ohlums leerem Platz zu Ehin-Butu, der die Tür schließt. „Wo bleibt Shahi-Ohlum nur?“, fragt Hugi-Bugi sich.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



Ehin-Butu hat die Tür fast geschlossen, als Shahi-Ohlum sich in letzter Minute hindurchzwängt. Unter dem vorwurfsvollen Blick von Ehin-Butu versucht er möglichst schnell und möglichst unauffällig zu seinem Platz zu kommen. Mit zwei vollen Stickstoffshakes in den Händen gelingt ihm das allerdings nicht besonders gut.

„Wo warst du denn?“, zischt er Hugi-Bugi zu, als er seinen Platz erreicht und die beiden Shakes abgestellt hat. „Ich hab ewig am Kiosk auf dich gewartet!“

„Shahi-Ohlum!“, ermahnt Ehin-Butu ihn, „Ich würde jetzt wirklich gerne beginnen.“

„Alles klar“, sagt Shahi-Ohlum schnell und richtet seinen Blick nach vorne.



„In den letzten beiden Stunden haben wir uns mit dem Planeten Erde und einem für ihn wichtigen Stoff – dem Wasser – beschäftigt“, erinnert Ehin-Butu und räuspert sich dann: „Wer von euch kann denn noch mal zusammenfassen, was wir gelernt haben?“

Jupiter-Saturn drückt natürlich sofort seinen Redebeitragsknopf und zappelt erwartungsvoll auf seinem Platz. „Heute kommt *der* nicht dran“, denkt Hugi-Bugi und drückt ebenfalls entschlossen seinen Redebeitragsknopf. Heute ist er gut vorbereitet.

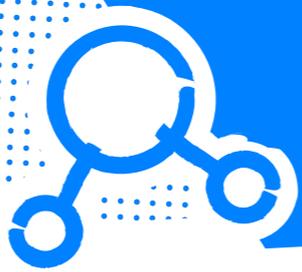
Ehin-Butu nimmt sie allerdings beide nicht dran und lässt seinen Blick weiter durch die Klasse schweifen. Als er entdeckt, dass Shahi-Ohlum gerade einen der beiden Stickstoffshakes zu Hugi-Bugi hinüberschiebt, hält er inne: „Shahi-Ohlum!“, sagt er vorwurfsvoll.

„Ja?“, fragt Shahi-Ohlum und sieht ihn schuldbewusst an.

„Kannst du noch mal zusammenfassen, was wir in den letzten beiden Stunden gelernt haben?“, wiederholt Ehin-Butu.

„Klar“, antwortet Shahi-Ohlum. „Es ging um den Planeten Erde, auf dem es dieses **Wasser** gibt.“

„Soweit waren wir schon“, unterbricht Ehin-Butu ihn ungehalten.



„Das Wassermolekül besteht aus einem Sauerstoffatom und zwei Wasserstoffatomen“, quasselt Shahi-Ohlum hektisch weiter. „Die Formel von dem Molekül ist H_2O . Die Atome sind durch **Elektronenpaarbindungen** miteinander verbunden. Dafür stellt jedes der Atome Außenelektronen zur Verfügung und die teilen sie sich, so dass alle Atome die **Edelgaszustand** erreichen. Das Sauerstoffatom hat außerdem noch zwei **freie Elektronenpaare**, dadurch ist das Wassermolekül **gewinkelt**.“



Bild 1: Wassermolekül



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



Hugi-Bugi nickt zur Unterstützung, während Shahi-Ohlum tief Luft holt.

„Es gibt da aber noch die **Elektronegativität**“, berichtet Shahi-Ohlum dann weiter und stellt erleichtert fest, dass Ehin-Butu schon etwas besänftigter guckt. „Das Sauerstoffatom kann die Bindungselektronen stärker zu sich ziehen als die Wasserstoffatome. Deswegen sind die Bindungselektronen nicht genau in der Mitte zwischen den beiden Atomkernen, sondern etwas näher am Sauerstoffatom ...“, Shahi-Ohlum scheint den Faden verloren zu haben und er sieht hilfesuchend zu Hugi-Bugi.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



Hugi-Bugi wirft noch einen kurzen, triumphierenden Blick zu Jupiter-Saturn und legt dann los: „Eine solche Bindung, bei der die Bindungselektronen etwas näher am elektronegativeren Atom sind, wird **polare Atombindung** genannt. Die Verschiebung der Bindungselektronen führt dazu, dass die beiden Atome **Partialladungen** tragen. Die Elektronen von den Wasserstoffatomen sind vom Wasserstoffatomkern ein bisschen weiter weg als normalerweise, deswegen sind die Wasserstoffatome partial positiv geladen. Das Sauerstoffatom hat nicht nur seine eigenen Elektronen um sich herum, sondern es hat zusätzlich noch die Außenelektronen von den Wasserstoffatomen nah zu sich gezogen, daher ist das Sauerstoffatom partial negativ geladen. Dafür schreibt man dann so ein **Delta-Minus (δ^-)** oder **Delta-Plus (δ^+)**.“

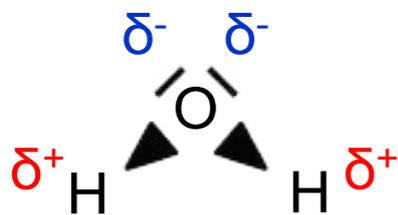


Bild 2: Polare Atombindungen und Partialladungen im Wassermolekül



Hugi-Bugi blickt stolz in die Runde. So schlau war er in transgalaktischer Elementarsubstanzlehre noch nie. Jupiter-Saturn ist so überrascht, dass er die kurze Pause noch nicht mal nutzt, um das Wort an sich zu reißen. Hugi-Bugi wirft Shahi-Ohlum schnell einen auffordernden Blick zu.

„Eh ... genau“, stottert Shahi-Ohlum, „Moleküle, die diese ungleichnamigen Partialladungen an unterschiedlichen Stellen haben, werden **Dipole** genannt“, ergänzt er dann, „deswegen kann das Wasser diese Sachen, die die anderen Stoffe nicht können. Und deswegen kann dieser ...“, Shahi-Ohlum schüttelt sich kurz angewidert, „... dieser Wasserläufer auch auf dem Wasser laufen.“



Ehin-Butu sieht nicht ganz zufrieden aus, erlöst Shahi-Ohlum aber nach einem Blick auf die Zeitanzeige. „Heute werden wir uns nochmal mit einem wichtigen Phänomen im Zusammenhang mit dem Wasser beschäftigen“, verkündet er dann. „Jupiter-Saturn hat mich letzte Stunde schon danach gefragt.“ Jupiter-Saturn nickt eifrig; Shahi-Ohlum und Hugi-Bugi verdrehen die Augen, während Ehin-Butu ein Bild einblendet.

„Dieses Bild ist ebenfalls vom Erkundungsteam *Erde* aufgenommen worden“ erläutert Ehin-Butu.



Bild 3: Eis und Wasser [<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/20/Tafeleisberg.jpg>]

„Ihr seht hier flüssiges Wasser und darin schwimmt die feste Form des Wassers, die von den Bewohnern der Erde als *Eis* bezeichnet wird.“

„Ist das Eis dieses weiße da oben?“, fragt Shahi-Ohlum nach.

Ehin-Butu nickt.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



Hugi-Bugi mustert das Bild neugierig, fragt sich aber mal wieder, was daran so außergewöhnlich sein soll. Da Shahi-Ohlum ein nachdenkliches Gesicht macht und Jupiter-Saturn schon wieder seinen Redebeitragsknopf gedrückt hat, fragt er aber lieber erstmal nicht laut nach.

„Normalerweise weist ein Stoff im festen Zustand eine höhere Dichte auf als in flüssiger Form, so dass zu erwarten ist, dass der Feststoff auf den Grund einer Flüssigkeit sinkt, wenn beide aus demselben Stoff bestehen“, weiß Jupiter-Saturn. „Es ist eher ungewöhnlich, dass die feste Form eines Stoffes auf der flüssigen Form schwimmt.“

Beschreibe das Problem, das Ehin-Butu seinen Schülern präsentiert hat, bevor du weiter liest.



Empty rectangular box with a dotted blue border for writing the answer.



„Hä?“ macht Hugi-Bugi, während Ehin-Butu Jupiter-Saturn zustimmend zunickt.

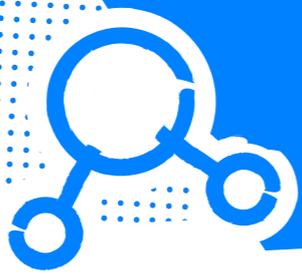
„Wenn ein Stoff fest wird ... also wenn er erstarrt, rücken die Teilchen doch dichter zusammen“, erinnert Shahi-Ohlum seinen Freund. „Die Teilchen in einer Flüssigkeit sind normalerweise wesentlich weiter voneinander entfernt als im Feststoff. Deswegen weisen Feststoffe normalerweise eine höhere Dichte auf als derselbe Stoff in flüssiger Form. Das Eis müsste also unten im flüssigen Wasser liegen anstatt oben auf dem Wasser zu schwimmen.“

„Wenn du dir zum Beispiel eine brennende Kerze vorstellst“, erläutert Ehin-Butu, „dann hat das flüssige Wachs eine geringere Dichte als das feste Wachs. Ein Stück festes Wachs sinkt daher auf den Grund des flüssigen Wachs.“

Hugi-Bugi erinnert sich an die Experimente, die Shahi-Ohlum und er mit brennenden Kerzen durchgeführt haben ... sie haben immer wieder festes Wachs vom Rand der Kerze abgebrochen und in das flüssige Wachs unter der Flamme geworfen ... Shahi-Ohlums Mutter hat ziemlich doll geschimpft, als sie die beiden dabei erwischt hat ...

Ehin-Butu sieht Hugi-Bugi erwartungsvoll an.

„Wenn ich Wachskrümel in das flüssige Wachs geworfen habe, sind die untergegangen und nicht oben auf dem flüssigen Wachs geschwommen“, überlegt Hugi-Bugi. „Aber warum schwimmt dieses Eis dann da oben?“, fragt Hugi-Bugi laut, weil er die Sache mit dem Eis leider noch nicht so richtig verstanden hat.



„Das ist eine sehr gute Frage!“, greift Ehin-Butu die Frage zu Hugi-Bugis Überraschung auf.

Begeistert klatscht Hugi-Bugi unter dem Tisch mit Shahi-Ohlum ab.

„Zwischen Wassermolekülen herrscht eine besondere Form von Wechselwirkungen“, beginnt Ehin-Butu seinen Vortrag.

„Wissen wir doch“, unterbricht Shahi-Ohlum ihn, der immer noch versucht, seine Verspätung wieder gutzumachen. „Diese **Dipol-Dipol-Wechselwirkungen**. Deswegen hat Wasser auch so einen hohen Schmelz- und Siedepunkt. Die Moleküle ordnen sich so an, dass immer ungleichnamige Pole nebeneinander liegen, weil die sich dann anziehen können und dadurch besser zusammengehalten werden als bei anderen Stoffen, die nicht aus Dipolmolekülen aufgebaut sind.“

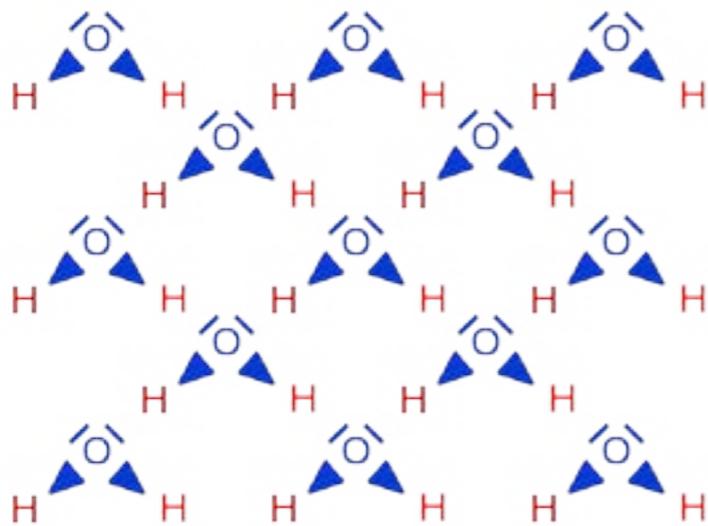
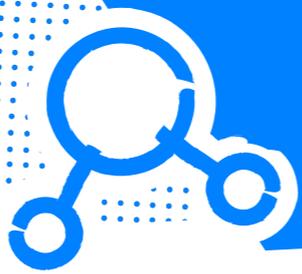


Bild 4: Dipol-Dipol-Wechselwirkungen zwischen Wassermolekülen



Ehin-Butu nickt: „Da hast du zwar recht, aber die gewöhnlichen Dipol-Dipol-Wechselwirkungen reichen nicht aus, um alle Eigenschaften des Wassers zu erklären.“

„Aber das haben *Sie* doch letzte Stunde so erklärt!“, beschwert Shahi-Ohlum sich.

Hugi-Bugi nickt unterstützend.

„Das ist auch nicht falsch“, verteidigt Ehin-Butu sich.

„Ich nehme an, Ehin-Butu wird die Informationen der letzten Stunde jetzt ergänzen, so dass wir auch heute etwas lernen“, vermutet Jupiter-Saturn.

Ehin-Butu nickt dankbar, während Shahi-Ohlum mal wieder eine Grimasse hinter Jupiter-Saturns Rücken schneidet.

„Dipol-Dipol-Wechselwirkungen finden sich nicht nur zwischen Wassermolekülen sondern auch zwischen den Molekülen anderer Stoffe“, erklärt Ehin-Butu. „Die Eigenschaften des Wassers unterscheiden sich aber von denen anderer Stoffe, weil zwischen den Wassermolekülen eine besonders starke Form der Dipol-Dipol-Wechselwirkungen herrscht.“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



Wie ihr euch sicherlich erinnert, besteht ein Wassermolekül aus **zwei Wasserstoffatomen** und einem **Sauerstoffatom**. Im Wassermolekül verfügt das Sauerstoffatom über zwei freie Elektronenpaare.

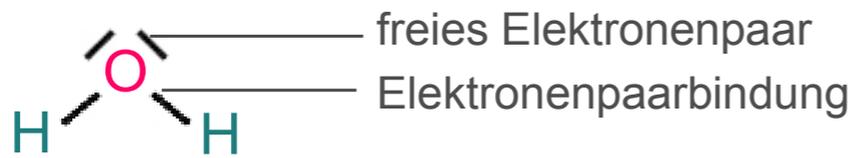


Bild 5: Wassermolekül



Hugi-Bugi nickt eifrig; das hat er verstanden.

„Auf Grund der unterschiedlichen Elektronegativität entsteht zwischen Wasserstoffatom und Sauerstoffatom eine polare Atombindung und es kommt zu Partialladungen an den Atomen“, wiederholt Ehin-Butu.

Hugi-Bugi nickt immer noch.

„Das Sauerstoffatom verfügt daher über etwas zu viel negative Ladung, während den Wasserstoffatomen negative Ladung fehlt“, erläutert Ehin-Butu weiter. „Wenn wir uns jetzt ein zweites Wassermolekül neben unserem ersten hier vorstellen, herrscht dort natürlich die gleiche Situation: Wasserstoffatome mit **positiver**, Sauerstoffatom mit **negativer Partialladung**.“

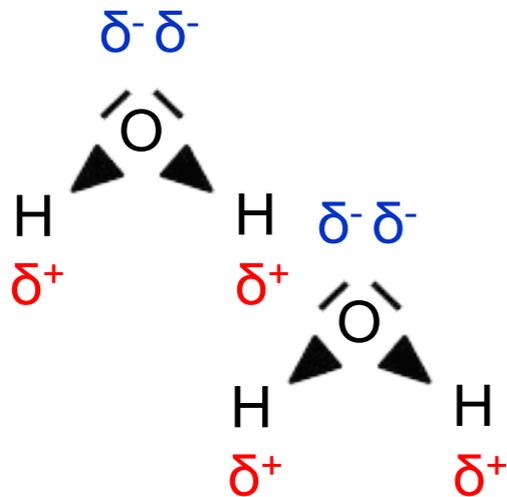
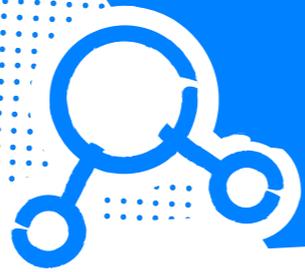


Bild 6: Dipol-Dipol-Wechselwirkung zwischen zwei Wassermolekülen



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



„Die Anziehung zwischen den ungleichnamigen Polen zweier Dipole treten nicht nur bei Wassermolekülen, sondern auch bei einer Reihe anderer Moleküle auf“, fährt Ehin-Butu fort.

Hugi-Bugi hat mittlerweile aufgehört zu nicken, weil ihm der Nacken wehtut und er sich nicht sicher ist, worauf Ehin-Butu hinauswill.

„Das Wassermolekül verfügt aber über eine zusätzliche Besonderheit, die den Zusammenhalt zwischen den Wassermolekülen verstärkt.“



Das Sauerstoffatom im Wassermolekül verfügt nicht nur über einen leichten Überschuss negativer Ladungen und ist daher partial negativ geladen“, setzt Ehin-Butu seinen Vortrag fort. „Es besitzt darüber hinaus auch noch zwei freie Elektronenpaare. Mit diesen freien Elektronenpaaren können Wassermoleküle sogenannte **Wasserstoffbrücken** zu anderen Wassermolekülen eingehen.

Dabei ziehen sich ein **freies Elektronenpaar** eines Wassermoleküls und ein **partial positiv geladenes Wasserstoffatom** eines anderen Wassermoleküls gegenseitig an.

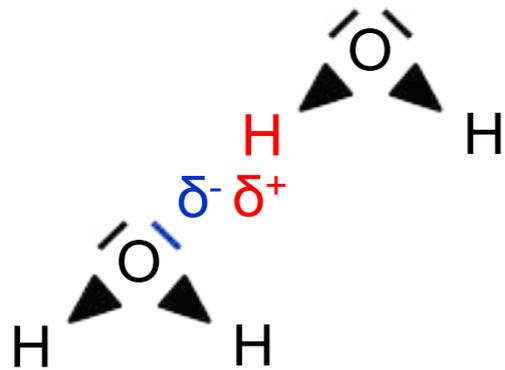


Bild 7: Anziehung zwischen einem freien Elektronenpaar und einem polar gebundenen Wasserstoffatom



Da diese Anziehung zwischen dem freien Elektronenpaar und dem polar gebundenen Wasserstoffatom besonders stark und für die Menschen sehr wichtig ist, hat sie einen eigenen Namen bekommen“, erklärt Ehin-Butu weiter. „In Abbildungen werden diese **Wasserstoffbrücken** meist durch diese **drei Punkte** symbolisiert.“

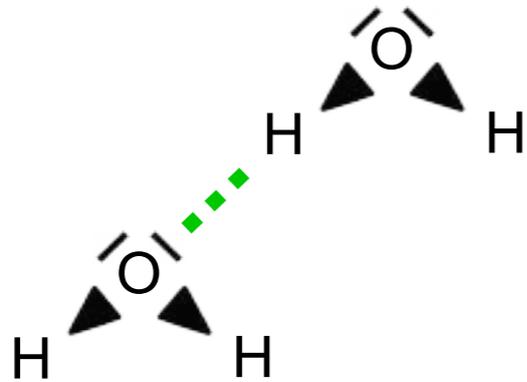
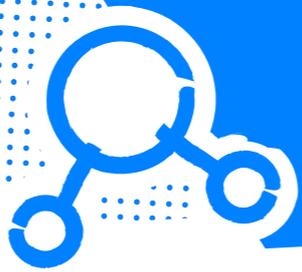


Bild 8: Wasserstoffbrückenbindung zwischen zwei Wassermolekülen



„Also macht das Sauerstoffatom dann eine Bindung zu diesem Wasserstoffatom von dem anderen Wassermolekül?“, fragt Hugi-Bugi nach.

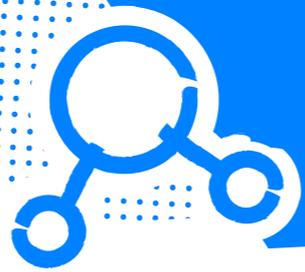
„Aber dann ist das doch gar nicht mehr $H_2O!$ “, beschwert Shahi-Ohlum sich. „Das ist ja dann ein ganz anderer Stoff ... H_4O_2 .“

„Ich glaube nicht, dass es sich bei dieser Wasserstoffbrücke um eine Bindung handelt, wie sie zwischen Wasserstoff- und Sauerstoffatom *innerhalb* eines Wassermoleküls vorliegt“, mischt sich Jupiter-Saturn ein. „Sonst könnte sie einfach durch einen Strich dargestellt werden, wie die anderen Bindungen auch, und man bräuchte nicht noch extra einen Namen dafür.“

Ehin-Butu nickt: „Jupiter-Saturn hat das sehr gut erkannt: Die Wasserstoffbrücke stellt keine Bindung wie die Elektronenpaarbindung dar. Durch eine Wasserstoffbrücke entsteht also kein H_4O_2 -Molekül, sondern die beiden Wassermoleküle werden lediglich etwas fester zusammengehalten.“

Erkläre, inwiefern sich ein H_4O_2 -Molekül von zwei Wassermolekülen, die über eine Wasserstoffbrücke miteinander verbunden sind, unterscheiden würde, bevor du weiter liest.





WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



„Aber dann sind die doch verbunden!“, beharrt Hugi-Bugi.

„Eine Wasserstoffbrücke ist keine feste Bindung“, korrigiert Ehin-Butu noch mal. „Wenn Wasser flüssig ist, besteht eine Wasserstoffbrücke zwischen zwei Wassermolekülen auch nicht dauerhaft, wie es für eine Bindung zwischen Atomen der Fall ist. Durch die Bewegung der Moleküle werden Wasserstoffbrücken ständig neu gebildet und wieder gelöst.“

„Also machen die immer nur kurz eine Wasserstoffbrücke“, versucht Hugi-Bugi zusammenzufassen. „Und deswegen macht man nicht so einen Strich ... , wie bei einer richtigen Bindung, sondern nur diese Punkte.“

„Und das macht das Wasser so besonders?“, fragt Shahi-Ohlum ein wenig ungläubig.



„Wenn wir uns das Wassermolekül noch mal genau ansehen, werdet ihr feststellen, dass ein Wassermolekül nicht nur *eine* Wasserstoffbrücke zu *einem* weiteren Wassermolekül eingehen kann“, erklärt Ehin-Butu, „sondern zu *vier* weiteren Wassermolekülen Wasserstoffbrücken bilden kann.“

„Wie soll das denn gehen?“, fragt Hugi-Bugi dazwischen.

„Ich gehe davon aus, dass ein Wassermolekül nicht nur an dem einen der beiden freien Elektronenpaare eine Wasserstoffbrücke ausbilden kann“, überlegt Jupiter-Saturn. „Es ist anzunehmen, dass das Wassermolekül an beiden freien Elektronenpaaren **Wasserstoffbrücken** zu Wasserstoffatomen von zwei weiteren Wassermolekülen bilden kann.“

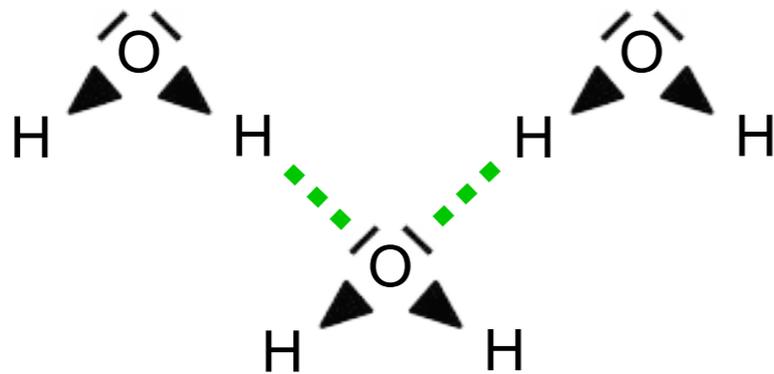


Bild 9: Wasserstoffbrückenbindung zwischen drei Wassermolekülen



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



„Ach so!“, ruft Shahi-Ohlum, der die Sache offenbar gerade verstanden hat. „Wenn jedes Wassermolekül an seinen freien Elektronenpaaren Wasserstoffbrücken zu Wasserstoffatomen eingehen kann, dann können noch zwei weitere Wassermoleküle **Wasserstoffbrücken** mit den Wasserstoffatomen unseres Wassermoleküls hier in der Mitte eingehen.“

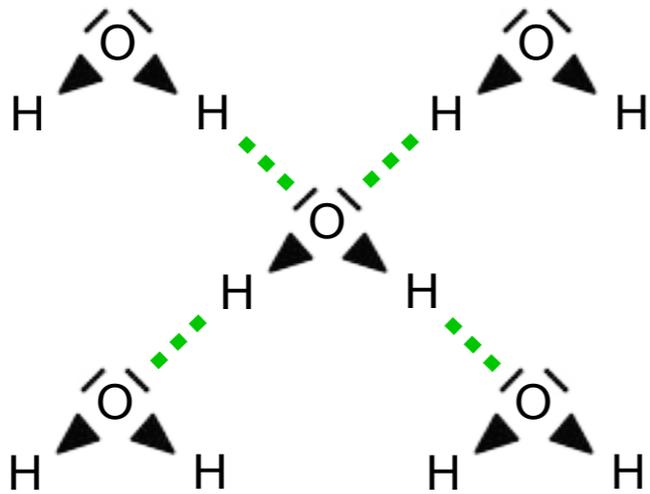


Bild 10: Wasserstoffbrücken zwischen fünf Wassermolekülen

Erläutere, warum jedes Wassermolekül vier Wasserstoffbrücken zu anderen Wassermolekülen eingehen kann, bevor du weiter liest.





Ehin-Butu nickt zufrieden. Hugi-Bugi raucht währenddessen der Kopf: „Also jedes Wassermolekül hat ein Sauerstoffatom mit zwei freien Elektronenpaaren“, überlegt er. „Und an denen kann es zwei Wasserstoffbrücken zu Wasserstoffatomen von anderen Wassermolekülen machen. Dadurch gibt es dann schon mal **zwei Wasserstoffbrücken**.

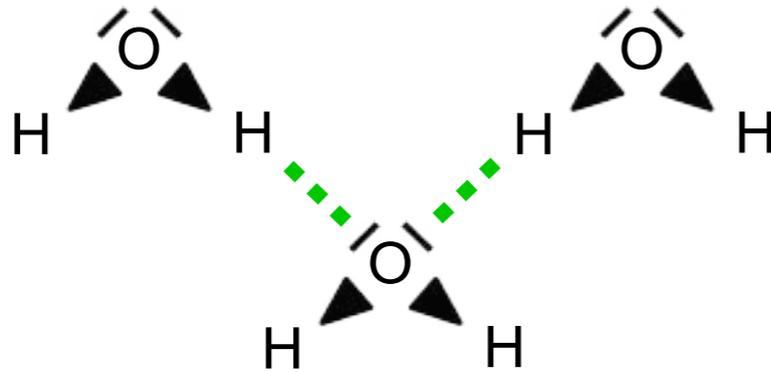


Bild 11: Wasserstoffbrücken zwischen drei Wassermolekülen



Außerdem kann das Wassermolekül noch mit seinen beiden Wasserstoffatomen Wasserstoffbrücken zu zwei anderen Wassermolekülen eingehen ... dadurch geht jedes Wassermolekül dann **vier Wasserstoffbrücken** ein.“

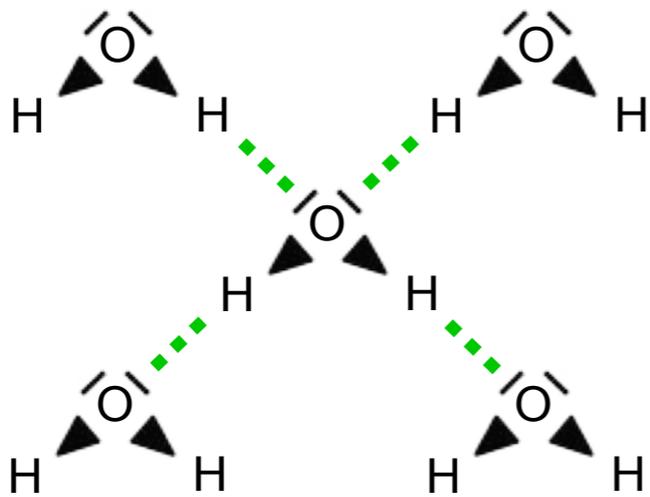
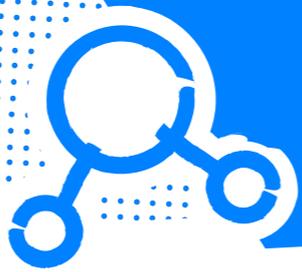


Bild 12: Wasserstoffbrücken zwischen fünf Wassermolekülen

„Aber das geht ja dann immer so weiter“, überlegt Shahi-Ohlum. „Die beiden Wassermoleküle oben können noch drei Wasserstoffbrücken mit drei weiteren Wassermolekülen eingehen. Und die Wassermoleküle unten können auch jeweils noch drei Wasserstoffbrücken mit drei weiteren Wassermolekülen eingehen. Und immer so weiter. Bis ... eh ... bis unendlich?“

„Am Rande der Flüssigkeit ist vermutlich Schluss“, gibt Jupiter-Saturn zu bedenken und erntet dafür mal wieder einen bösen Blick von Shahi-Ohlum.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



„In der Flüssigkeit sind die Wassermoleküle natürlich ununterbrochen in Bewegung, so dass es nie zu einem perfekten Netz aus Wasserstoffbrücken kommt, das sich durch die ganze Flüssigkeit zieht“, gibt Ehin-Butu zu bedenken. „Aber alle Wassermoleküle gehen ständig Wasserstoffbrücken zu immer neuen Nachbarmolekülen ein. Dadurch sind die einzelnen Moleküle stärker miteinander verbunden als in anderen Flüssigkeiten. Aber diese Wasserstoffbrücken werden eben auch genauso schnell wieder gelöst.“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



„Und was ist mit diesem schwimmenden Eis?“, fragt Hugi-Bugi.

„Ich nehme an, das hängt mit diesen Wasserstoffbrücken zusammen“, vermutet Jupiter-Saturn.

„Ganz genau“, lobt Ehin-Butu. „Wenn Wasser abgekühlt wird und zu erstarren beginnt, bewegen sich die Wassermoleküle langsamer. Irgendwann reicht die Bewegungsenergie der Wassermoleküle nicht mehr aus, um Wasserstoffbrücken, die sich einmal gebildet haben, wieder zu trennen. Dadurch bleiben immer mehr Wasserstoffbrücken bestehen und weitere Wasserstoffbrücken werden gebildet.“

Mit der Zeit entsteht dann ein perfektes Netz aus Wassermolekülen, die jeweils vier Wasserstoffbrücken zu Nachbarmolekülen ausgebildet haben; so wie ihr euch das gerade vorgestellt habt. Wenn das passiert ist, bewegen sich die Wassermoleküle nur noch schwach auf ihren Positionen im Netz, können diese aber nicht mehr verlassen. Zu diesem Zeitpunkt ist das Wasser erstarrt – also zu Eis geworden.“



WASSER → SEQUENZ 1

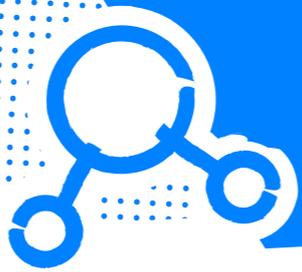
TEIL III: Wasserstoffbrücken



„Oha“, macht Hugi-Bugi etwas zu laut. „Dann sind die Wassermoleküle ja voll so eingesperrt in diesem Netz.“

Jupiter-Saturn wirft ihm einen mitleidigen Blick zu. „Ich sehe allerdings noch nicht den Zusammenhang zwischen der Ausbildung des Netzes aus Wassermolekülen durch Wasserstoffbrücken und dem auf dem Wasser schwimmenden Eis“, gesteht er dann.

„Nun, durch die Anordnung im festen Zustand“, setzt Ehin-Butu an, „in der jedes Wassermolekül eine feste Position hat, ist der Abstand zwischen den Wassermolekülen größer – verglichen mit der Situation im flüssigen Wasser. Im Wasser bewegen sich die Wassermoleküle viel schneller und liegen deswegen auch dichter aneinander, weil sie nicht von vier fest an ihnen ziehenden Wasserstoffbrücken an einer Stelle festgehalten werden.“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



Hugi-Bugi, der gerade noch freudig gegrinst hat, ruft jetzt plötzlich wieder „Was?!“

„Ich dachte in Feststoffen sind die Teilchen immer dichter zusammen als in einer Flüssigkeit?“, ruft auch Shahi-Ohlum sichtlich irritiert.

„Du hast recht“, bestätigt Ehin-Butu, was Shahi-Ohlum und Hugi-Bugi zu einem weiteren Abklatschen unterm Tisch veranlasst. „Normalerweise führt die Abnahme der Bewegungsenergie beim Erstarren dazu, dass die Teilchen eines Stoffes dichter zusammenrücken. Dadurch ist die Dichte der *meisten* Stoffe im festen Zustand höher als im flüssigen.“

„Im flüssigen Zustand haben die so voll Power und wuseln die ganze Zeit so chaotisch rum!“, ergänzt Shahi-Ohlum.

„Ich würde es nicht so ausdrücken, aber im Prinzip hast du recht“, bestätigt Ehin-Butu.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



„Im festen Wachs, zum Beispiel, sind die Teilchen dichter angeordnet als im flüssigen Wachs“, greift Ehin-Butu den Faden dann wieder auf. „Daher sinken feste Wachsstückchen in flüssigem Wachs nach unten.“

Beim Wasser ist es genau umgekehrt: Wasser hat eine höhere Dichte als Eis. Die Wassermoleküle ordnen sich im Eis so an, dass möglichst viele Wassermoleküle vier Wasserstoffbrücken zu benachbarten Wassermolekülen eingehen können. Dadurch entstehen Ringe, so wie es in dieser Abbildung zu sehen ist.“

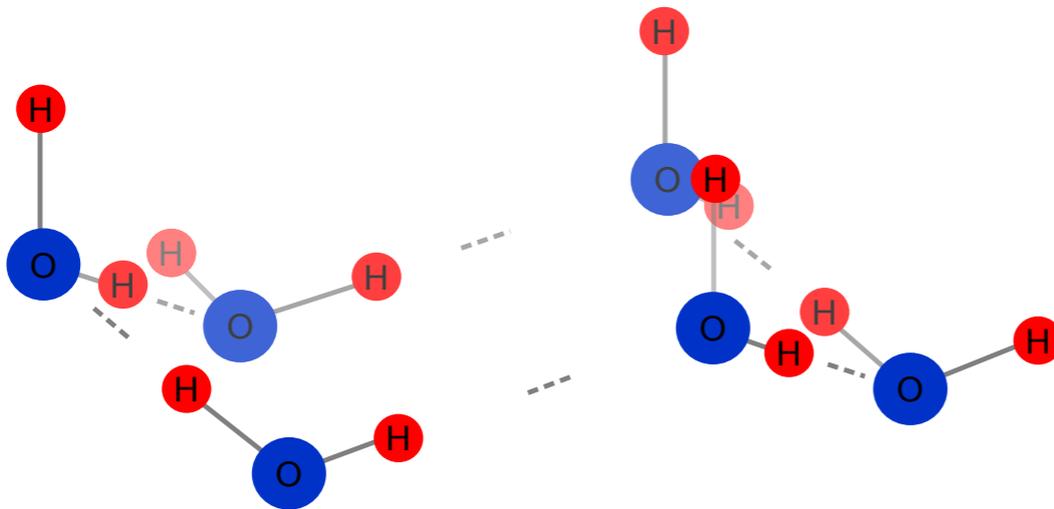


Bild 13: Anordnung der Wassermoleküle im Eis



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



„Also drehen die sich immer so ein bisschen, damit das **freie Elektronenpaar** von dem einen genau auf das **polar gebundene Wasserstoffatom** des anderen Wassermoleküls zeigt“, sagt Shahi-Ohlum.

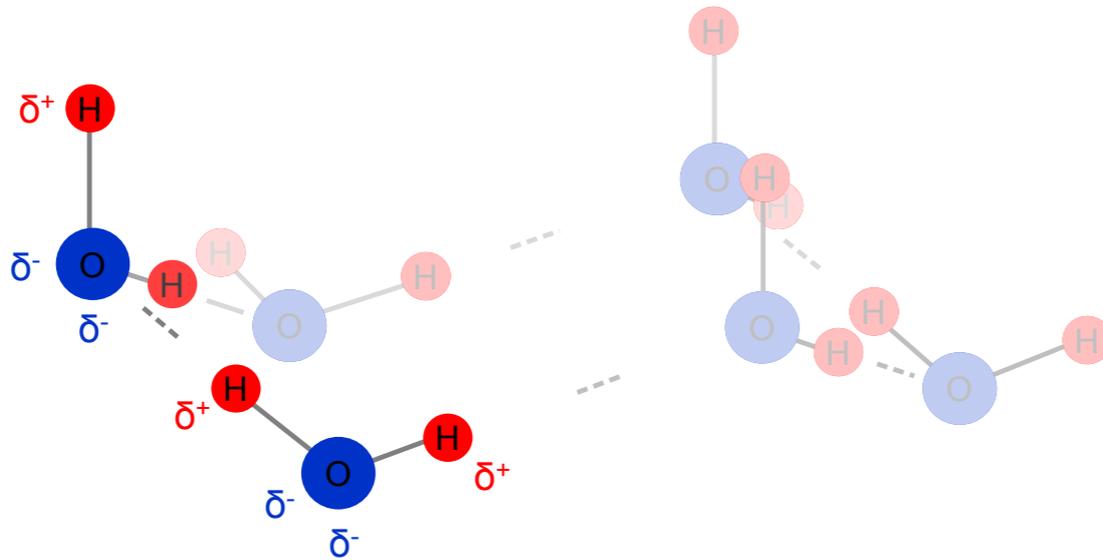


Bild 14: Anordnung der Wassermoleküle im Eis

„Richtig“, bestätigt Ehin-Butu.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



„Aber die haben doch jetzt gar nicht alle vier Wasserstoffbrücken, obwohl die so verdreht sind!“, beschwert sich Hugi-Bugi. „Die haben alle nur zwei Brücken!“

„Das stimmt“, bestätigt Ehin-Butu, woraufhin Hugi-Bugi und Shahi-Ohlum erneut unterm Tisch abklatschen. „In unserer Abbildung sind alle Wassermoleküle jeweils nur zwei Wasserstoffbrücken eingegangen, aber, wenn die Wassermoleküle so angeordnet sind wie in der Abbildung, können sie problemlos weitere Wasserstoffbrücken eingehen: zur Seite, nach vorne und nach hinten.“

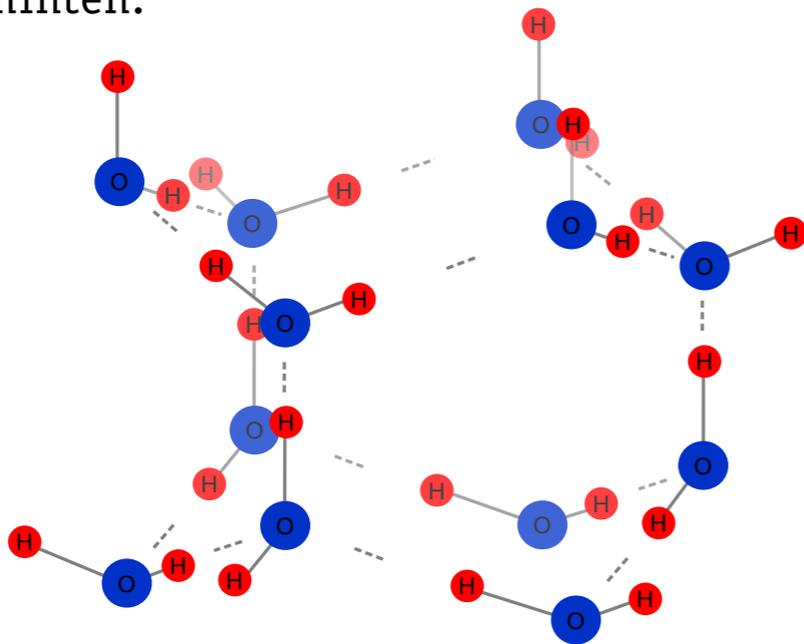
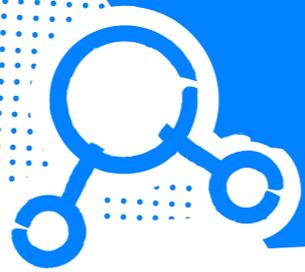


Bild 15: Anordnung der Wassermoleküle im Eis

„Oha. Dann entstehen da ja so Tunnel“, ruft Hugi-Bugi rein.

„Bei dieser Anordnung der Wassermoleküle scheint das Netz unendlich erweiterbar zu sein“, überlegt Jupiter-Saturn währenddessen.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



„Aber warum entsteht denn da in der Mitte so ein Tunnel?“, fragt Hugi-Bugi ungeduldig. „Die könnten doch noch dichter zusammenrutschen und da in der Mitte ist doch noch Platz!“

Shahi-Ohlum nickt zur Unterstützung.

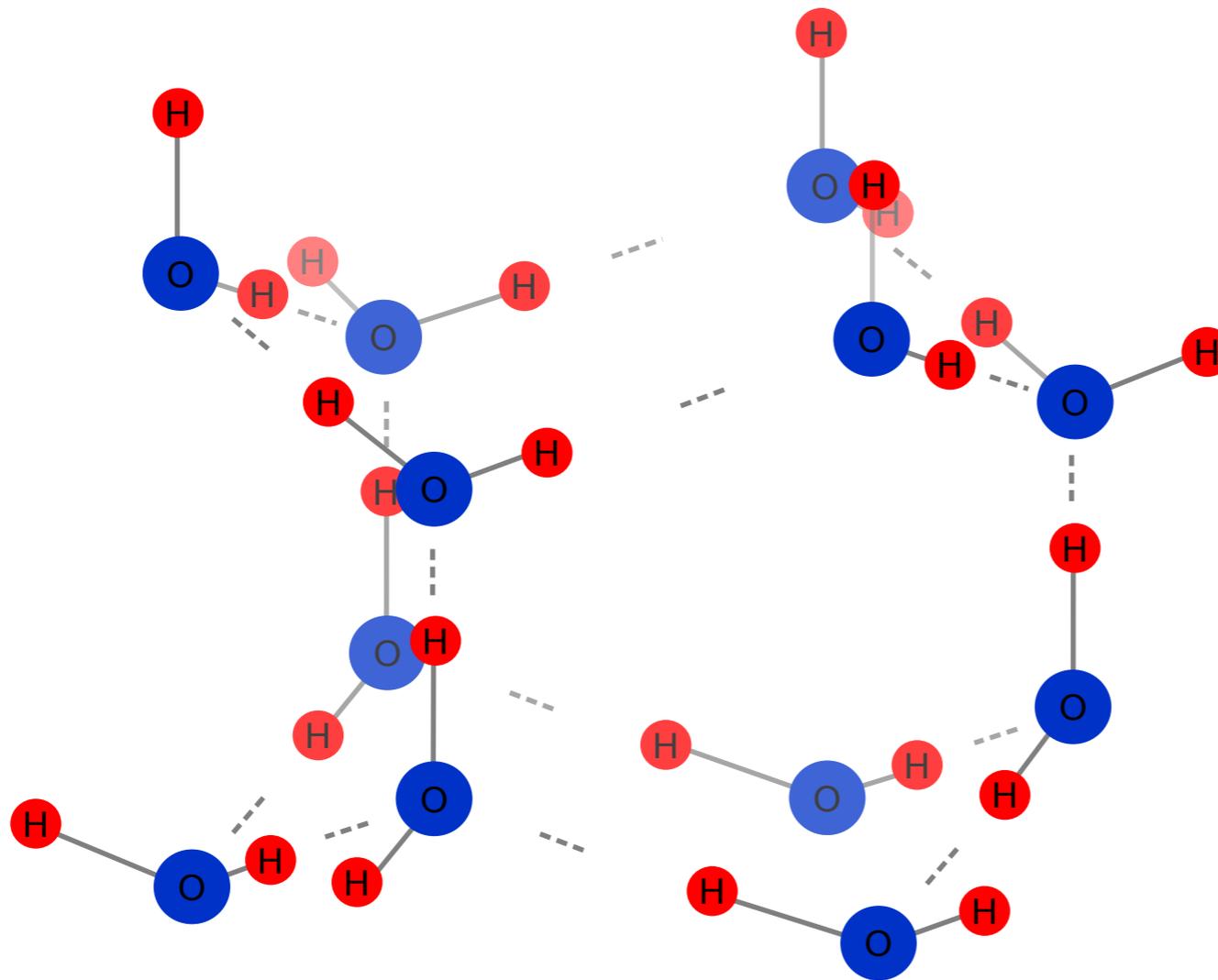


Bild 16: Anordnung der Wassermoleküle im Eis



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



„Bisher haben wir immer nur den Fall betrachtet, dass Wassermoleküle mit ihren ungleichnamig geladenen Bereichen aufeinander treffen“, beginnt Ehin-Butu.

„Und dann ziehen die sich an“, ruft Hugi-Bugi rein. „Das sieht man ja da. Immer schön ordentlich abwechselnd **positiver Pol** und **negativer Pol**.“

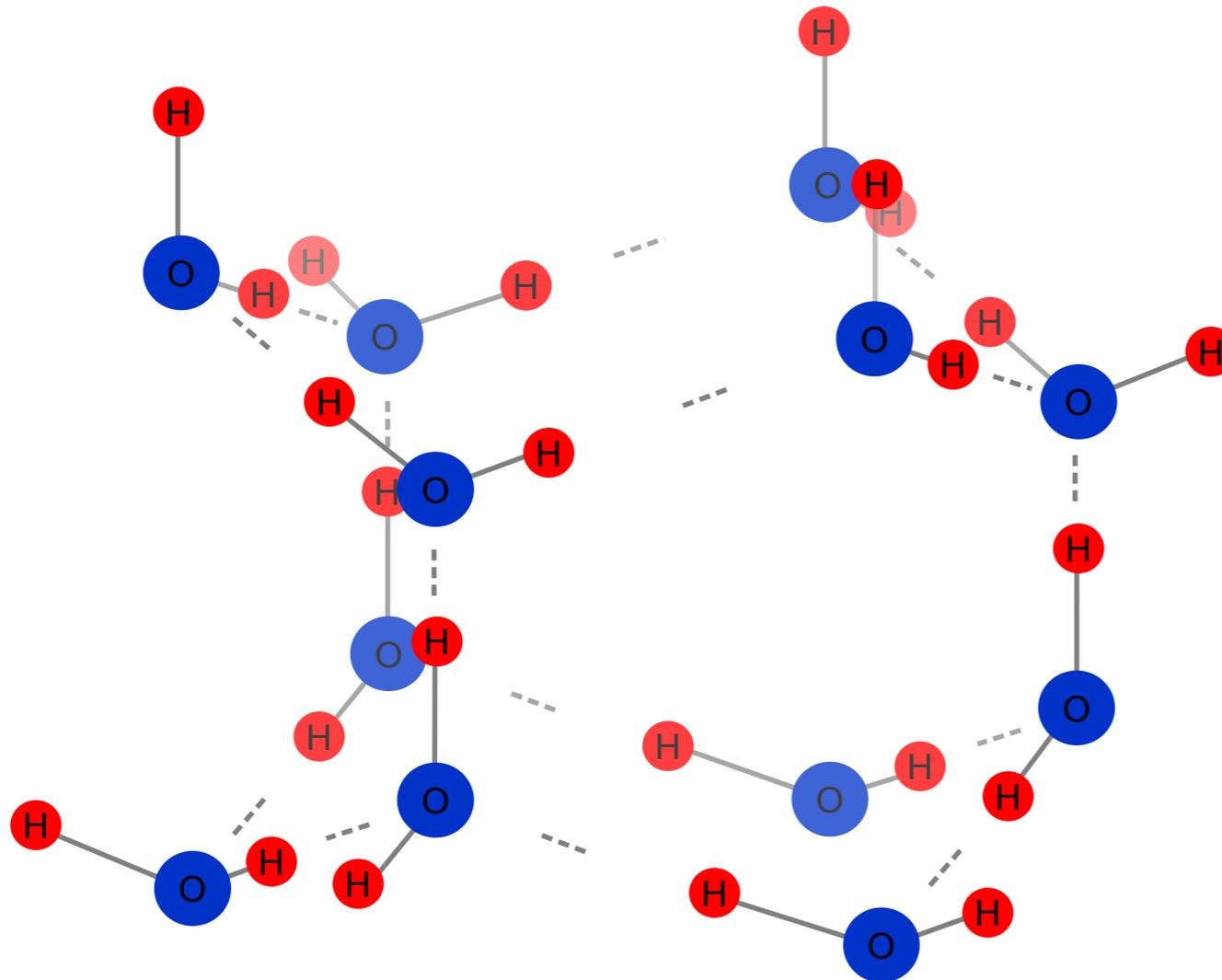


Bild 17: Anordnung der Wassermoleküle im Eis



„Aber natürlich treffen Wassermoleküle nicht immer nur mit ihren ungleichnamig geladenen Polen aufeinander“, fährt Ehin-Butu fort. „Es passiert genauso häufig, dass Wassermoleküle mit ihren gleichnamig geladenen Polen aufeinander treffen.“

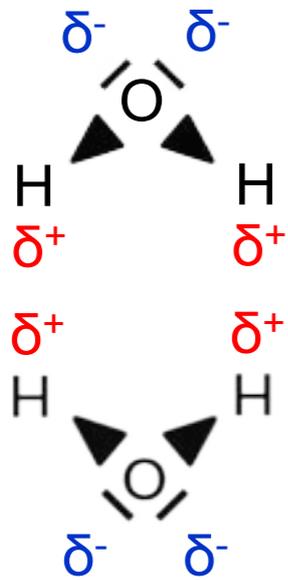
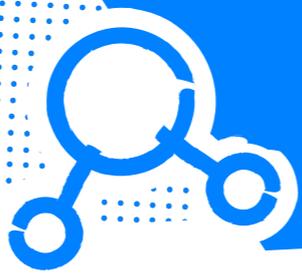


Bild 18: Abstoßung zwischen gleichnamig geladenen Polen

„In diesem Fall sollten sich die Moleküle auf Grund der gleichnamigen Ladungen abstoßen“, verkündet Jupiter-Saturn.



Hugi-Bugi ist sich mal wieder nicht so sicher, was Jupiter-Saturn meint und blickt hilfeschend zu Shahi-Ohlum.

„Plus und Plus stößt sich ab, meint er“, erklärt Shahi-Ohlum leise. „Und Minus und Minus auch. Das ist so, als wenn du zwei Magnete zusammenbringen willst. Die flutschen immer wieder auseinander.“

„Wer in transgalaktischer Elementargrößenlehre aufgepasst hat, weiß natürlich, dass unser Phänomen hier nichts mit Magnetismus zu tun hat“, korrigiert Jupiter-Saturn mit einem viel-sagenden Blick über die Schulter, „Moleküle sind selbstverständlich keine Magnete ...“

„Aber so kann man es sich ganz gut vorstellen“, erwidert Shahi-Ohlum und wirft Jupiter-Saturn einen bösen Blick zu.

„Also flutschen die Moleküle wieder auseinander, wenn die falschherum aufeinander treffen?“, fragt Hugi-Bugi laut.

„Ich würde es lieber so formulieren, wie Jupiter-Saturn es vorhin vorgeschlagen hat“, erwidert Ehin-Butu, „aber der Gedanke ist richtig: Wenn zwei Wassermoleküle mit ihren partial negativ geladenen Polen aufeinander treffen, stoßen sie sich gegenseitig ab.“

Erkläre, was passiert, wenn zwei Wassermoleküle jeweils mit ihren partial positiv geladenen Polen aufeinander treffen, bevor du weiter liest.





Andersherum stoßen sich die Moleküle auch ab, wenn sie mit ihren partial positiv geladenen Polen aufeinander treffen“, erläutert Ehin-Butu.

„Also ziehen die sich an, wenn Plus und Minus sich treffen“, fasst Hugi-Bugi zusammen.

„Und wenn Plus und Plus sich treffen oder Minus und Minus, dann stoßen die sich ab“, ergänzt Shahi-Ohlum.

„Zwischen ungleichnamigen Ladungen herrschen elektrostatische Anziehungskräfte, während sie durch gleichnamige Ladungen der Abstoßung unterliegen“, sagt Jupiter-Saturn vorne in der ersten Reihe.

„Haben wir doch gesagt“, beschwert Shahi-Ohlum sich und verdreht dabei die Augen.

„Kommen wir zu Hugi-Bugis Frage zurück“, erinnert Ehin-Butu, bevor Jupiter-Saturn etwas erwidern kann. Hugi-Bugi grinst stolz, weil er eine gute Frage gestellt hat.

„Wenn den Wassermolekülen bei sinkender Temperatur wenig Bewegungsenergie zur Verfügung steht, ordnen sich die Wassermoleküle so an, dass jedes Wassermolekül vier Wasserstoffbrücken zu vier Nachbarmolekülen eingehen kann. In diesem Zustand gleichen sich die Abstoßung der gleichnamigen Pole und die Anziehung der gleichnamigen Pole aus, so dass die Moleküle eine feste Position einnehmen.“



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



„Ist ja auch viel chilliger“, sagt Hugi-Bugi etwas zu laut. „Keiner hat Bock dauernd rumgezerrt und rumgeschubst zu werden.“

„Und da in der Mitte vom Tunnel würden die ganz übel rumgeschubst“, ruft Shahi-Ohlum, der Ehin-Butus mahnden Blick nicht bemerkt hat.

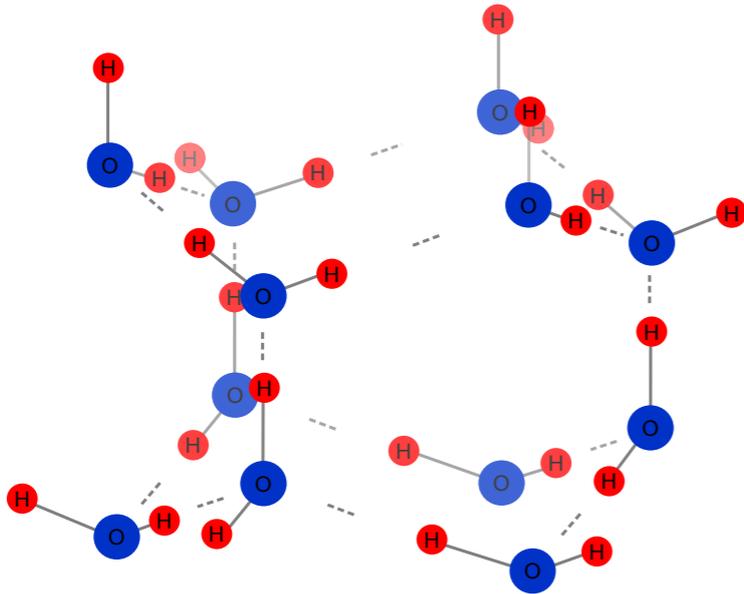
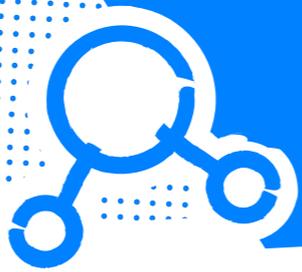


Bild 19: Anordnung der Wassermoleküle im Eis

Hugi-Bugi nickt: „Stimmt, da würde ich auch nicht reinwollen.“

Erläutere die Vorteile, die die Anordnung innerhalb der Ringe für die Wassermoleküle hat, bevor du weiter liest.





WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



„Diese Anordnung innerhalb der Ringform bietet den Wassermolekülen also den Vorteil, dass jedes Wassermolekül vier Wasserstoffbrücken zu vier Nachbarmolekülen eingehen kann, so dass sich Anziehung und Abstoßung zwischen den Polen die Waage halten“, fasst Jupiter-Saturn zusammen.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



Hugi-Bugi betrachtet einen Moment fasziniert das Bild an der Wand: Jedes Wassermolekül ist so ausgerichtet, dass es mit den beiden freien Elektronenpaaren und den beiden polar gebundenen Wasserstoffatomen Wasserstoffbrücken zu anderen Wassermolekülen eingehen kann. Gleichzeitig verhindert diese Anordnung, dass sich Wassermoleküle mit den gleichnamig geladenen Polen ihrer Nachbarmoleküle zu nah kommen.

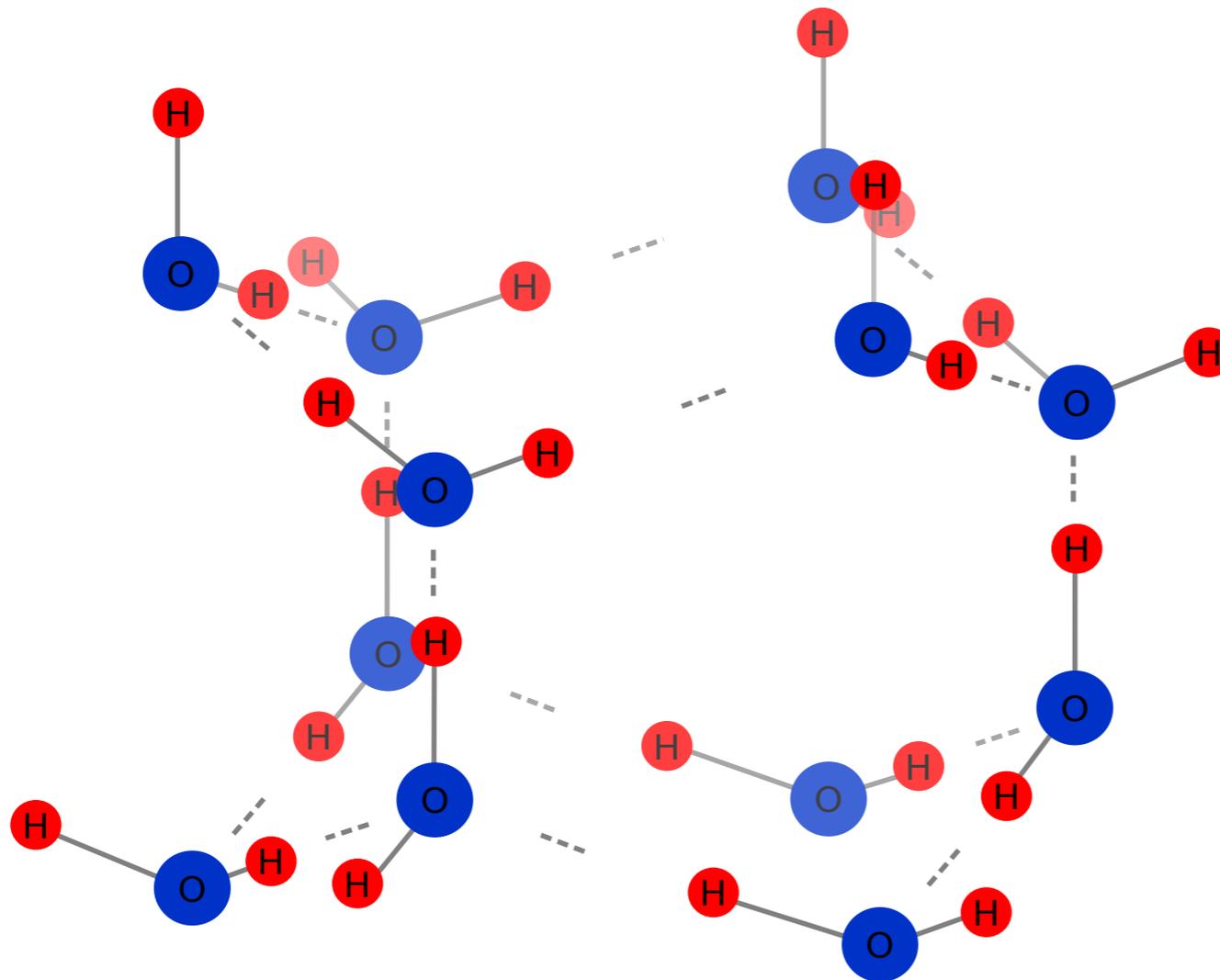


Bild 20: Anordnung der Wassermoleküle im Eis



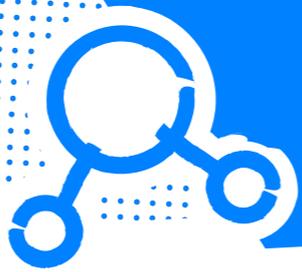
Einen Moment ist es ganz ruhig in der Klasse, dann hopst Jupiter-Saturn plötzlich sehr aufgeregt auf seinem Platz auf und ab und drückt hektisch den Redebeitragsknopf: „Aber das heißt doch“, quasselt er aufgeregt los, als Ehin-Butu ihn endlich bemerkt hat, „dass die Dichte des Wassers größer ist, als die des Eises.“

Auf Grund der Bewegungsenergie bewegen sich die Wassermoleküle im flüssigen Zustand chaotisch durcheinander und bilden immer neue Wasserstoffbrücken zu anderen Wassermolekülen, während sie gleichzeitig alte Wasserstoffbrücken trennen. Dadurch sind die Wassermoleküle dann durchschnittlich dichter zusammen als im Eis, weil dort, aufgrund der fehlenden Bewegungsenergie, eine feste Anordnung vorherrscht, in der sich Anziehungskräfte und Abstoßungskräfte die Waage halten ... und deswegen hat das Eis eine geringere Dichte als das Wasser ... und deswegen schwimmt das Eis dann auf dem Wasser!“, schließt Jupiter-Saturn etwas atemlos.

Erläutere, warum Wasser eine höhere Dichte hat als Eis, bevor du weiter liest.



A large rectangular area enclosed by a blue dotted border, intended for a student's response to the prompt above.



WASSER → SEQUENZ 1

TEIL III: Wasserstoffbrücken



Shahi-Ohlum sieht erst einen Moment so aus, als wollte er genervt mit den Augen rollen, dann ruft er aber: „Stimmt!“, und vergisst vor Begeisterung Jupiter-Saturn einen bösen Blick zuzuworfen. „Wenn die Wassermoleküle so ordentlich angeordnet sind wie im Eis, nehmen sie mehr Platz ein, also sind weniger Wassermoleküle an einer Stelle als im Wasser, wenn die Moleküle unordentlich verteilt sind. Dadurch ist die Dichte vom Eis dann geringer.“

Langsam hat auch Hugi-Bugi den Durchblick. „Und beim Wachs, das nicht diese Wasserstoffbrücken machen kann, sind die Teilchen, wenn der Stoff fest ist, dichter zusammen, als wenn der Stoff flüssig ist. Dann sind im festen Zustand also mehr Teilchen auf einer Stelle und die Dichte ist größer ... und deswegen können bei diesen Stoffen die festen Stückchen nicht auf der Flüssigkeit schwimmen.“

„Sehr gut“, lobt Ehin-Butu.

Hugi-Bugi und Shahi-Ohlum klatschen mal wieder unterm Tisch ab.



„Also wegen des Sauerstoffatoms mit den beiden freien Elektronenpaaren kann das Wassermolekül diese Wasserstoffbrücken machen ...“, versucht Shahi-Ohlum zusammenzufassen.

„Man braucht das Sauerstoffatom mit den freien Elektronenpaaren *und* ein polar gebundenes Wasserstoffatom für Wasserstoffbrücken“, korrigiert Jupiter-Saturn ihn.

„Sonst hat das Elektronenpaar doch keinen, mit dem es die Brücke machen kann!“, ergänzt Hugi-Bugi stolz.

„Im flüssigen Wasser verfügen die Moleküle über viel Bewegungsenergie“, fährt Jupiter-Saturn fort. „Die Wasserstoffbrücken, die im Wasser entstehen, werden daher auch immer wieder gelöst, so dass die Wassermoleküle sich innerhalb der Flüssigkeit frei bewegen können.“

„Und wenn es kalt wird, machen die Moleküle immer noch diese Wasserstoffbrücken, haben aber dann nicht mehr genug Bewegungsenergie, um sie wieder zu lösen, und dann sitzen sie in diesem Netz aus Wassermolekülen fest“, fügt Hugi-Bugi hinzu.

„Und dieses Gitter aus Wassermolekülen, die alle mit vier Wasserstoffbrücken mit ihren Nachbarn verbunden sind, nimmt mehr Platz ein als flüssiges Wasser, in dem die Moleküle sich alle unordentlich rumbewegen“, schaltet Shahi-Ohlum sich wieder ein. „Und deswegen hat das Eis eine geringere Dichte als das Wasser und kann oben schwimmen.“



Ehin-Butu nickt zufrieden: „Ganz genau. Jetzt wisst ihr schon eine ganze Menge über das Wasser. Leider werden wir uns in diesem Kurs mit den vielen anderen spannenden Aspekten – wie zum Beispiel der Frage, warum das Wasser für das Leben auf der Erde so wichtig ist – nicht mehr beschäftigen können. Ich hoffe aber, dass ihr später mal den Vertiefungskurs transgalaktische Elementarsubstanzlehre belegt ... “

Hugi-Bugi und Sahi-Ohlum tauschen einen kurzen Blick. Eigentlich haben sie keine Lust einen Zusatzkurs transgalaktische Elementarsubstanzlehre zu belegen. Allerdings ist der Pflicht, wenn man an einer Forschungsmission zu einem anderen Planeten teilnehmen will ... Hugi-Bugi würde sich diese Menschen gerne mal genauer ansehen. Sahi-Ohlum hat zwar etwas Angst vor den Wasserläufern auf der Erde, ist aber sehr neugierig auf das viele Wasser in den Ozeanen dort ...



„Nächste Stunde widmen wir uns dann dem Staub auf R28Z“, verkündet Ehin-Butu vorne gerade, „einem Asteroiden, der vor 2027 Jahren übrigens mal in nur 100.000 Kilometern Entfernung an unserem Planeten vorbeigeflogen ist.“

„Oh, davon habe ich gehört“, ruft Jupiter-Saturn natürlich begeistert. „Dort soll es diese ganz speziellen Staubpartikel geben ... “

Ehin-Butu nickt zustimmend. „Heute haben wir aber leider nicht mehr genug Zeit für dieses äußerst spannende Thema ... “, erklärt Ehin-Butu dann mit einem Blick auf die Zeitanzeige.

Erleichtert rutscht Hugi-Bugi von seinem Platz und verlässt mit Shahi-Ohlum dem Raum. „Zum Glück dauert es bis zur nächsten Stunde noch eine Woche“, denkt Hugi-Bugi, während er seinen Stickstoffshake schlürft.

„Stell’ dir vor, wir fahren irgendwann zur Erde“, sagt Shahi-Ohlum, der den Staub auf R28Z offenbar schon verdrängt hat, „und dann haben wir diese coolen Forscheranzüge und diese ganzen Instrumente und so und können uns dieses Wasser selbst ansehen ... “

„Und diese Menschen“, fügt Hugi-Bugi hinzu und stellt sich vor, wie er mit Shahi-Ohlum zusammen die Erde erkundet.



TESTE DEIN WISSEN

TEIL III: Wasserstoffbrücken



Erkläre den Begriff Wasserstoffbrücke kurz in eigenen Worten, bevor du weiter liest:



Empty rectangular box for writing the answer.





TESTE DEIN WISSEN

TEIL III: Wasserstoffbrücken



Wasserstoffbrücke:

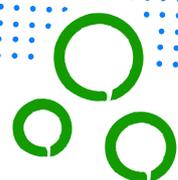
Anziehung zwischen einem freien Elektronenpaar eines Wassermoleküls und einem partial positiv geladenen Wasserstoffatom eines anderen Wassermoleküls. Aufgrund der ungleichnamigen Ladungen ziehen sich die beiden Wassermoleküle gegenseitig elektrostatisch an. Diese Anziehung ist vergleichsweise stark und wird als Wasserstoffbrücke bezeichnet.





SUPER, DAS WAR SEQUENZ 1

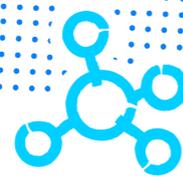
Weitere THEMENBEREICHE:



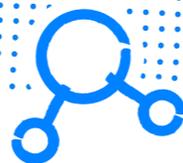
STOFFE



REDOX-
REAKTION



ALKANE



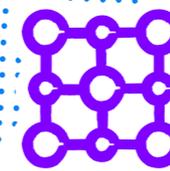
WASSER



ATOMBAU



SÄUREN



SALZE



MODELL-
VORSTELLUNGEN



ERKENNTNIS-
GEWINNUNG