

Dr. Gerhard Heywang
Bayer Industry Services
BIS-OEF-HKS, Q 26
51368 Leverkusen
gerhard.heywang_gh@bayerindustry.de

Wasser - ein alltägliches Wunder !?

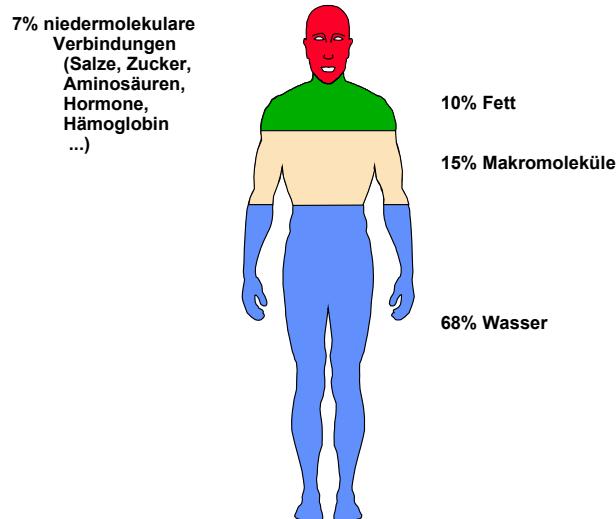
-Vortragsmitschrift Versuche fettgedruckt -

Gestatten Sie mir zu Beginn eine Frage: Wofür steht die folgende chemische Summenformel?



Für uns Menschen! Auf dem folgenden Bild sehen Sie die Zusammensetzung des Menschen nach unterschiedlichen Stoffgruppen. Der hohe Wasseranteil erklärt auch den hohen Anteil der Wasserstoff- und Sauerstoff-Atome in der Summenformel.

Der Durchschnittsmensch



Der Wassergehalt in Lebewesen und Nahrungsmitteln deckt ein weites Spektrum ab - wie das nächste Bild belegt.

Qualle	99%
Rettich, Gurke	95%
Wein, Coca-Cola	88%
Apfel, Birne	85%
Schnecke	82%
Mensch, Hühnerei	68%
Holz, Wodka	50%
Brot	40%
Braunkohle	30%
Honig	20%
Getreidekorn	15%
Speckstein	5%

Die Quallen bestehen zu 99 % aus Wasser; deshalb sind sie auch recht schwabbelige Tierchen. Überraschender Weise aber enthält die doch recht harte Gurke oder der Rettich

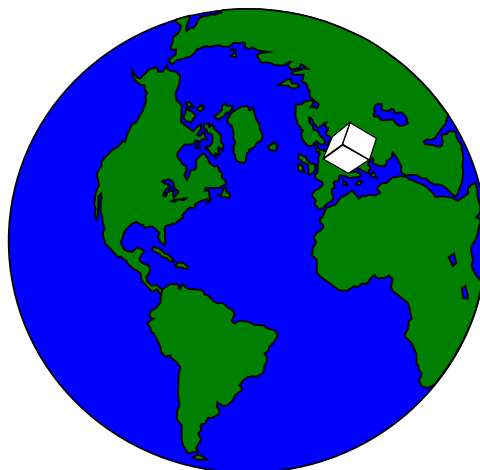
immer noch 95 % Wasser. Die Flüssigkeiten Wein und Coca Cola haben einen Wassergehalt von nur etwa 88 %. Beim Wein liegt es am Alkohol, bei Coca Cola am Zucker. Eine Weinbergschnecke ist durchaus wässriger als wir Menschen; sie besteht zu 82 % aus Wasser, wenn man das Schneckenhaus nicht mit berücksichtigt. Ein Hühnerei besteht zu 65 % aus Wasser; frisches Holz und Wodka - extrem unterschiedlich in ihren Eigenschaften - bestehen jeweils zu 50 % aus Wasser. Honig hat nur 20 % und ein trockenes Getreidekorn immerhin noch 15 % Wasser.

Gehen wir nun weiter vom Wassergehalt in verschiedenen Produkten zu den Wassermengen auf unserer Erde:

Wassermengen auf der Erde		
	Menge [km³]	Menge [%]
Weltmeer	1 348 000 000	97,39
Polareis, Meereis, Gletscher	27 820 000	2,01
Grundwasser, Bodenfeuchte	8 062 000	0,58
Seen und Flüsse	225 000	0,02
Atmosphäre	13 000	0,001

Immerhin sind mehr als 97 % des Wassers in Form der salzhaltigen Weltmeere vorhanden. 2 % der Gesamt finden wir als Polareis, Meereseis und Gletscher. 90 % des Eises befinden sich in der Antarktis, 9 % liegen auf Grönland und die restliche Eismenge auf unserer Erde macht nur 1 % aus. In der Atmosphäre ist der Wasseranteil sehr niedrig, etwa in der Größenordnung von 0,01 %. Insgesamt ist also Süßwasser auf der Erde mit nur knapp 3 % recht wenig vertreten. Es ist durchaus vorstellbar, dass zukünftige Kriege über die „Süßwasserfrage“ initialisiert werden

Ist nun die Wassermenge auf unserer Erde eher groß oder eher klein? Angesichts der Weltmeere stimmen Sie sicher für groß. Vielleicht ändern Sie Ihre Meinung, wenn Sie die nächste Folie sehen:



Hier ist unsere Erdkugel: grün das Land und blau das Meer. Die Meere nehmen etwa 3/4 der Oberfläche ein; nur etwas mehr als 1/4 ist festes Land. Wenn man nun einmal die gesamte Wassermenge, die auf der Erde vorhanden ist, in einen Würfel umformt, so hat dieser eine Kantenlänge von 1.100 km. Der weiße Würfel auf dem Globus geht von Leverkusen bis nach Rom, Hermannstadt und Warschau und 1.100 km in die Höhe. So gesehen ist auf unserem Erdenball doch recht wenig Wasser vorhanden. Für diejenigen, die sich 1.100 km Höhe nicht

vorstellen können: Verteilt man die Wassermenge auf Europa, so liegt der Wasserspiegel in 170 km Höhe! Leichter vorstellbar???

Im 1. Experiment fülle ich eine Schale mit Eis (ca. 3 kg). Dieses Eis hat - wie hinlänglich bekannt – einen Schmelzpunkt von 0 °C, Die Temperatur des Eises beträgt etwa – 6 °C. Wir kontrollieren das mit einem Thermometer. Wegen der Lufträume, die zwischen den Eisstückchen vorhanden sind, zeigt dieses Thermometer auch nach längerer Zeit noch eine Temperatur von 1 oder 2 positiven Graden an. Erst, wenn so viel Eis geschmolzen ist, dass der Thermometerkopf ganz im Wasser taucht, was 20-30 Minuten dauert, könnten wir die Temperatur 0°C ablesen.

Nun gebe ich zu diesem Eis „bisschen“ (ein halbes kg) Salz und vermische es intensiv. Es finden nun mehrere Prozesse statt. Das Salz geht in Lösung. Deshalb muss das Eis zumindest anteilig in den flüssigen Zustand übergehen. Dieser Vorgang benötigt Wärme. Da bei diesem Experiment keine Wärme von außen zugefügt wird, holt sich das Gemisch diese "Wärme" aus dem Eis selbst. Dies führt zu einer Abkühlung. Salzhaltiges Wasser ist auch bei Temperaturen unter 0 °C noch flüssig. Wenn Eis, Salz und gesättigte Salzlösung gleichzeitig vorliegen erhält man immer eine Temperatur von -18 °C. Dieses Experiment ist übrigens auch die Basis dafür, dass die Temperaturskala von Fahrenheit bei -18 °C ihren Nullpunkt hat.

Wir nutzen nun die Kälte dieses Kältebades, um eine kleines Gefäß zu sprengen. Dazu fülle ich ein verschraubbares Reagenzglas mit Wasser. Nach dem Verschließen „vergrabe“ ich dieses Reagenzglas in der Eis-Kochsalzmischung. Nach 5 Min. gibt es einen gut vernehmbaren Ton, der anzeigt, dass das Glas gesprengt ist.

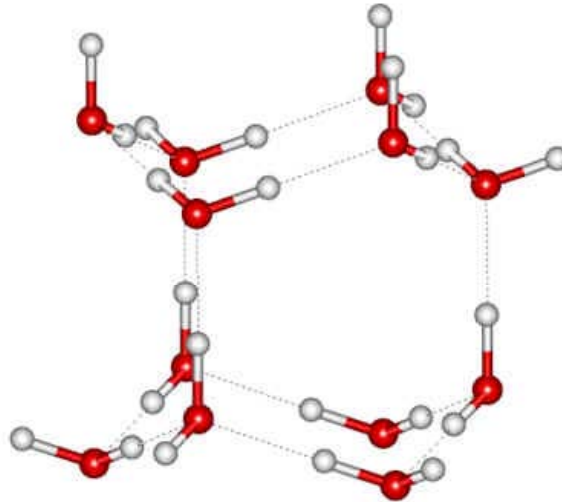
Warum dehnt sich Wasser sich beim Erstarren aus, wo sich doch in der Regel die Materialien bei Erhöhung der Temperatur ausdehnen (es gibt noch ein paar wenige weitere Ausnahmen von dieser Regel)?

Bevor ich auf die Erläuterung eingehe, möchte ich noch ein weiteres Experiment vorführen, das uns auf andere Weise zeigt, dass Eis leichter ist als Wasser :

In einen 2-Liter-Messzylinder gebe ich zunächst Wasser und dann ein kompaktes Eisstück (man füllt hierzu einen Joghurt-Becher mit Wasser und stellt ihn am Vortrag in die Tiefkühltruhe. Dieses Eis hat die Temperatur, auf die die Tiefkühltruhe eingestellt ist!) als Modell für einen Eisberg. Das Eis schwimmt auf dem Wasser. Nun wird weiteres Wasser bis zur 2-Liter-Marke aufgefüllt. Wie ändert sich der Wasserspiegel, wenn das Eis schmilzt? Das dauert etwas, daher möchte ich Ihnen in der Zwischenzeit etwas über Eisberge in der Natur erzählen:

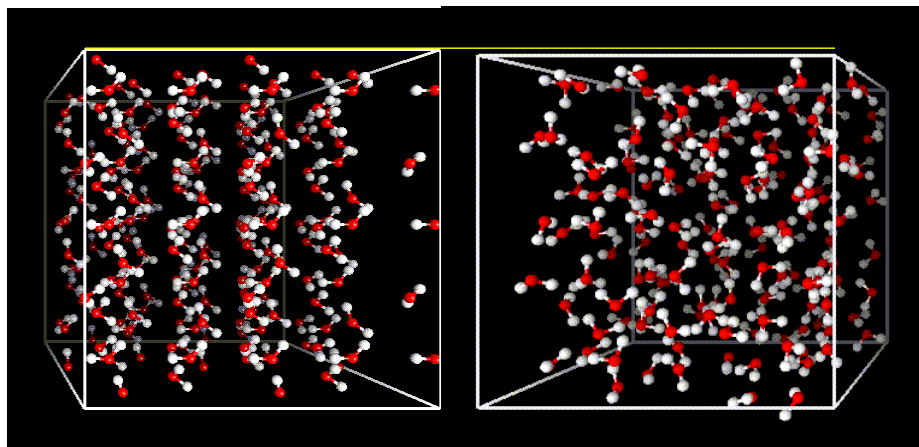
Eisberge bilden sich durch Abbruch an den Enden von Gletschern, dem sogenannten Kalben, ins Meer. In der Glacier Bay in Nordamerika haben die Eisberge eine Mächtigkeit von etwa 60 m und in der Längen-Breitenausdehnung schwanken sie zwischen einhundert und mehreren hundert Metern. In der Antarktis hat man wesentlich größere Eisberge beobachten könnten. 1995 löste sich ein Eisberg, der die Fläche Belgiens hatte!

Da das Eis nun immer noch nicht geschmolzen ist, schauen wir uns den Kristallverband des Wassers im festen Zustand an:



Wasser besteht aus den Elementen Wasserstoff und Sauerstoff. Die Wasserstoffatome sind weiß eingezeichnet und die Sauerstoffatome rot markiert. Die Bindungen zeigen, dass ein Sauerstoffatom an zwei Wasserstoffatome gebunden ist. Im festen Zustand bilden sich zusätzliche, schwächere Bindungen aus, so dass jedes Sauerstoffatom tetraedrisch von 4 Wasserstoffatomen umgeben ist. Bei dieser Anordnung haben 2 Wasserstoffatome einen kurzen Abstand und diejenigen, die über die sogenannte Wasserstoffbrückenbindung koordiniert sind, haben einen etwas längeren Abstand (gestrichelte Linie). Möchte man nun Sauerstoffatome mit einer tetraedrischen Umgebung von Wasserstoffatomen in einem Festkörperverbund anordnen, so gibt es die hier angegebene Möglichkeit der Anordnung. Sie wird normalerweise gebildet (insgesamt gibt es 12 verschiedene Eisstrukturen!). Hierbei werden durch die Sauerstoffatome mit ihren Wasserstoffatomen relativ große Hohlräume gebildet.

Wenn das Eis schmilzt, erwartet man, dass sich die Struktur ausdehnt, was tatsächlich auch primär stattfindet. Bei dieser Ausdehnung wird der Hohlraum größer, so dass in diesem Bereich ein weiteres Wassermolekül Platz hat. Wenn aber nun gerade dieses Volumen durch Wassermoleküle ausgefüllt wird, dann schrumpft das gesamte Volumen, d.h. die Dichte des Materials wird größer bzw. der Platzbedarf für das flüssige Wasser ist geringer.

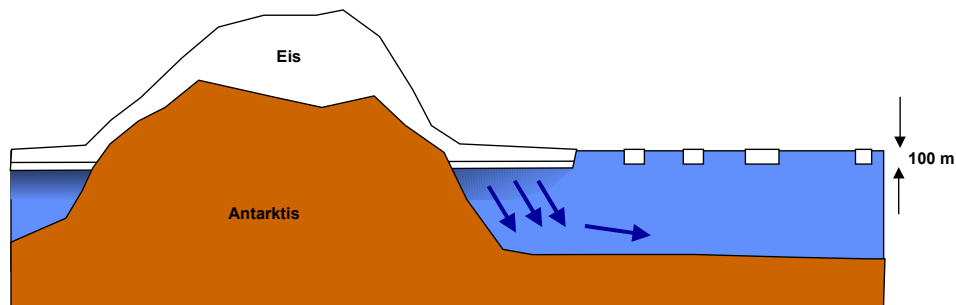


Sie sehen hier auf dem Bild links eine Computersimulation von 200 Wasserstoffmolekülen, die in einer sogenannten Einheitszelle (nicht im kristallografischen Sinn!) angeordnet sind. Man sieht den regelmäßigen Aufbau durch die Wassermoleküle, die Wasserstoffbrückenbindungen sind hier der Übersichtlichkeit halber weggelassen.

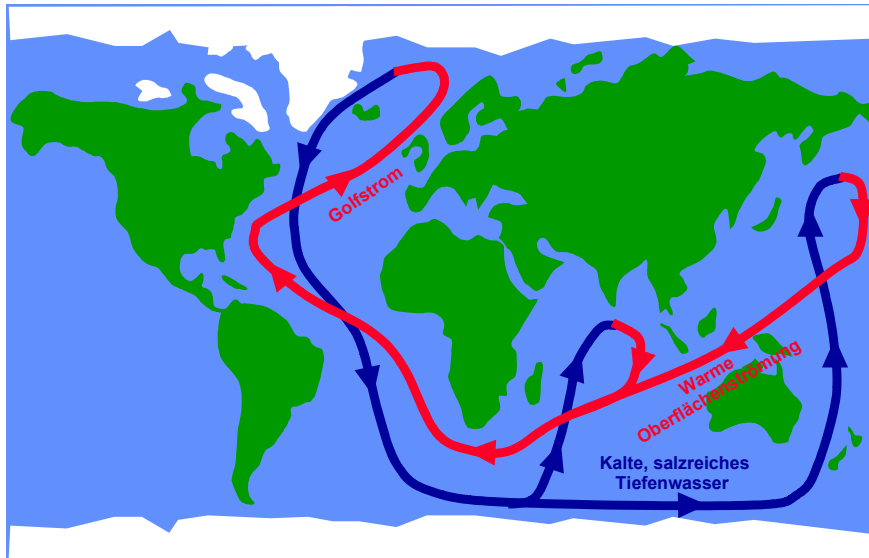
Auf der rechten Seite sehen wir die Computersimulation für flüssiges Wasser. Der Computer berechnet die Lage der Wassermoleküle, die nun nicht mehr geordnet sind, und man sieht, dass in dieser Zelle die Kantenlänge deutlich geringer ist. Die Kantenlänge ist in allen 3 Richtungen jeweils etwas mehr als 2 % verkürzt, so dass man schließlich ein Volumen hat, das nur etwa 91 % des festen Eises einnimmt.

Schauen wir nun wieder zu unserem Messzylinder mit Eisberg. Er ist inzwischen aufgetaut, und der Wasserspiegel dieses Messzylinders steht weiterhin genau auf der 2-Liter-Marke. Ist ja auch klar, Eis verdrängt soviel Wasser, wie es seinem Gewicht und seiner Dichte entspricht. Die Menge an Eis kann nach dem Aufschmelzen nicht plötzlich an Volumen zulegen, weil sich die Dichte auf 1 g/cm^3 erhöht.

Die Antarktis und die Eiskappe am Nordpol sind als „Pumpen“ extrem wichtig für die Ausbildung des Golfstroms, der Warmwasserheizung Europas. Wie kommt das?



Fangen wir bei der Antarktis an: Auf dem Kontinent liegt eine etwa 2200m mächtige Eiskappe, die weit in das Meer hineinreicht. Die Besonderheit ist, dass die Eisplatte auf dem Meer „nur“ eine Dicke von etwa 100 m erreicht. Danach brechen am äußeren Rand Eisberge bis Größe Belgiens (tatsächlich ist das im Februar 1995 passiert) ab. Die Risse, die das Losreißen der Eisberge ermöglichen, entstehen durch Spannungen in der Eisplatte, die dadurch entstehen, dass das Meerwasser unterhalb der Kappe von unten anfriert. Bei diesem Prozess bildet sich Süßwassereis und die Salzkonzentration unter der Eisschicht steigt im Vergleich zum restlichen Meerwasser. Das höher salzhaltige Wasser hat eine höhere Dichte als vor dem Gefrierprozess und fällt im wahrsten Sinn des Wortes nach unten. Dadurch bilden sich Kaltwasserströme aus, die zunächst in Richtung Indien bzw. an Australien und Japan vorbeiströmen. Sobald diese Ströme an die Oberfläche kommen, werden sie nach Süden umgelenkt und aufgeheizt. Die Reise geht nun um Afrika in die Karibik und von dort aus weiter nach Europa. Am Nordpol bzw. unter der dortigen Eisplatte findet nun wieder der gleiche bereits bei der Antarktis beschriebene Prozess statt und das Kaltwasser fließt in der Tiefe zum Südpol zurück, wo der nächste „Pumpvorgang“ stattfindet. Die Kalt- und Warmwasser-Ströme sind mit 500 etwa 2m großen automatisch gesteuerten Unterwasser-sonden während der letzten 10 Jahre ermittelt worden (Die Sonden werden abgesenkt und ermitteln tiefenabhängig die Strömungen und deren Temperaturen, nach dem Auftauchen werden die Daten an einen Satelliten zur weiteren Verarbeitung gesandt.).



Durch das Arbeiten mit Eis habe ich kalte Hände bekommen. Warme Hände bekomme ich mit einem einfachen Versuch, den ich nun gleich mit Ihnen allen zusammen durchführen möchte:

Nehmen Sie Ihre Hände - wie ich - vor den Mund und hauchen Sie hinein. Was verspüren Sie? Es wird warm. Halten Sie nun Ihren Handrücken vor den Mund und blasen Sie ganz sanft über den Handrücken. Spüren Sie nun auch noch, dass es warm wird? Nein! Nun nehmen Sie einen kalten Luftstrom wahr. Warum?

Die Menschen bestehen nicht nur zu 68 % aus Wasser, sie scheidet es auch an verschiedenen Stellen, z.B. über die Haut, wieder aus. Beim Blasen über die Haut verdunstet das ausgeschiedene Wasser. Bei der Verdunstung wird Energie benötigt, die die Wassermoleküle der Haut entziehen. Und Energie entziehen bedeutet, kälter werden.

Die ist keine Sinnestäuschung: **Ein Thermometer zeigt die Raumtemperatur mit 20 °C an. Ein Gazestreifen oder Zellstoff mit einem Gummi wird am Kopf des Thermometers fixiert und befeuchtet. Die Temperatur ist weiterhin 20 °C. Dieses Thermometer hat eine Schnur mit der man es im Kreise herumfliegen lassen kann. Nach etwa zehn Umrundungen ist die Temperatur auf 15 °C abgesackt. Je nach der Luftfeuchtigkeit im Raum fällt die Temperatur bei weiteren Umrundungen nochmals um 2 °C oder 3 °C.** Die für die Verdunstung benötigte Wärme führt zur Abkühlung des Thermometers. Da die Abkühlung so lange fortschreitet, bis der Wasserdampfdruck der Umgebung erreicht wird, kann man diesen Versuch auch zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit nutzen.

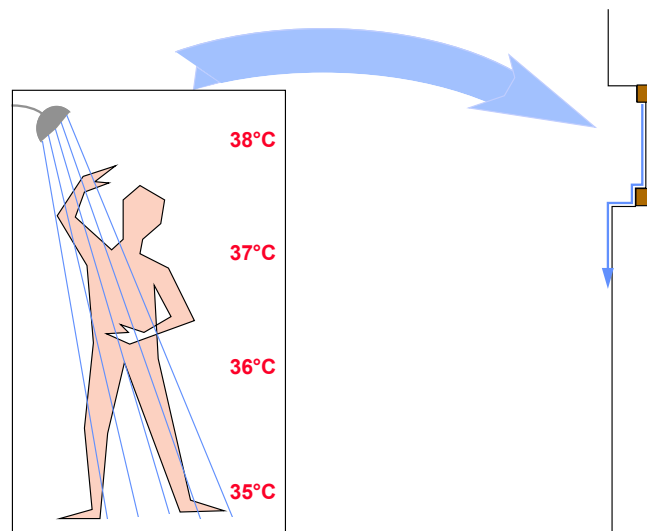
Die Verdunstungskälte hat bei der Bestimmung der Meerestemperaturen zu Problemen geführt: Am Anfang des 20. Jahrhunderts meinte man, dass die Meere extrem schnell warm geworden sind. Diesen Effekt hat es, Gott sei Dank, nicht gegeben. Die Ursache für diese Interpretation war eine ungeschickte Vorgehensweise zur Bestimmung der Temperaturen in den Meeren.

Früher bestimmte man die Meerestemperatur, indem man einen Eimer ins Wasser warf und mit einem Seil wieder an Bord zog. Danach hielt man ein Thermometer in das Wasser und wartete, bis sich die Temperaturanzeige nicht mehr veränderte. Diese Temperatur und die geografische Lage wurden notiert. Später und heute leitet man das Meerwasser an einem Thermometer im Inneren eines Schiffes vorbei, wo die Temperatur exakt in Abhängigkeit von

den geografischen Lage ermittelt wird. Bei dieser Methode misst man höhere Temperaturen. Woher kommt das?

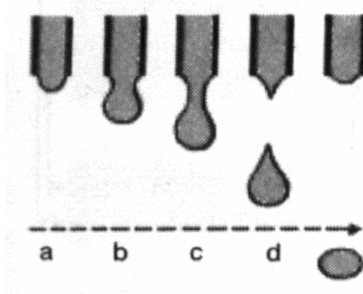
Beim alten Verfahren findet beim Herausziehen des Eimers durch die Fahrtwinde eine Abkühlung des Eimers und seines Inhaltes durch Verdunstung statt. Diese setzt sich dann auch noch fort bei der Zeit, die benötigt wird, um den Temperatenausgleich abzuwarten.

Nachstellungen ergaben, dass bei Eiseneimern die Temperatur um $0,7\text{ °C}$ und im Fall von Holzeimern immer noch $0,3\text{ °C}$ zu niedrig angezeigt wird. Da man in der Vergangenheit nicht notiert hat, ob man die Wassertemperatur mit Eiseneimern oder Holzeimern gemessen hat, sind die alten Angaben über die Meerestemperaturen ziemlich „für die Katz“.

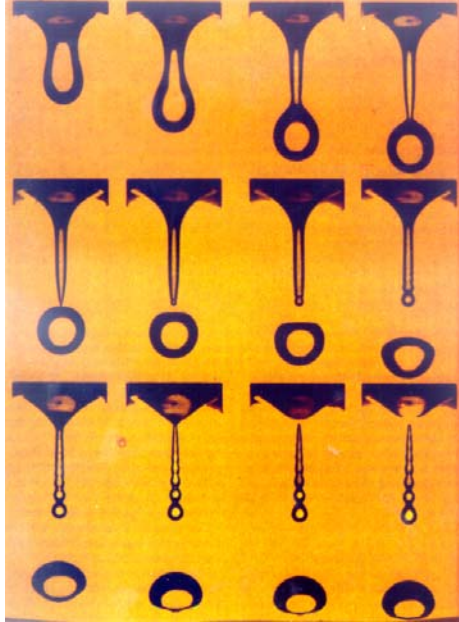


Mit der Verdunstungskälte mache ich beim allmorgendlichen Duschbad meine Erfahrungen. Angenehme Duschverhältnisse habe ich, wenn das Wasser beim Austritt aus der Brause eine Temperatur von 38 °C hat. Dann hat es in der Schulterpartie 37 °C , in der Körpermitte 36 °C und bei den Füßen 35 °C . Dieser Temperaturabfall beruht darauf, dass die einzelnen Wassertropfen beim Fall durch die Luft auch Wasserdampf abgeben und dabei abkühlen. Zu Beginn des Duschens geht die Temperatur bei den Füßen bis herunter auf 34 °C oder sogar 33 °C . Die Abnahme der Temperatur hängt auch von der Tropfengröße ab. Je kleiner die Tropfen, desto stärker der Temperaturabfall. Eigentlich müsste sich ein Gleichgewicht einstellen, wenn der Wasserdampf in der Duschkabine gesättigt ist. Da die Duschkabinen oben offen sind, sucht sich der Wasserdampf die kälteste Stelle im Raum - meist den Spiegel oder das Fenster - und kondensiert.

Die Dusche ist auch aus anderer Sicht ein interessantes Gerät: Betrachtet man den Wasserstrahl direkt am Brausekopf, so sieht man einen gleichmäßigen Strahl, was man leicht mit der Hand erfühlen kann. In größerer Entfernung - etwa 20 cm - bilden sich dann aus diesem Strahl Tropfen. Wie sieht denn der Übergang zwischen Wasserstrahl und Tropfen aus?



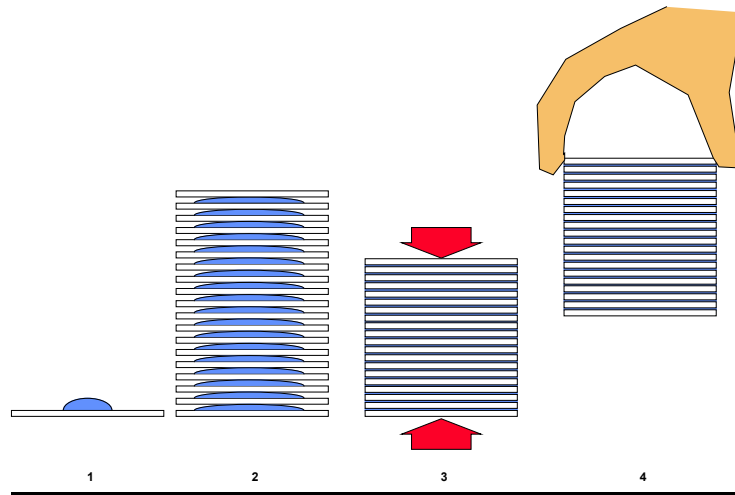
Auf diesem Bild sehen Sie eine leider übliche Darstellung für das Abreißen eines Wassertropfens (Lexikon, Neuauflage 1996). Wassertropfen bilden nicht die sogenannte Tropfenform. Man hat schon vor Jahren mit Hochgeschwindigkeitskameras das Tropfen eines Wasserhahns untersucht. Das Anfangsstadium entspricht wohl noch der Lexikondarstellung, aber dann sieht alles anders aus.



Man sieht die Strukturen bei der Tropfenbildung auch in wesentlich kleineren Dimensionen beim berühmten in den Kaffee fallenden Milchtropfen (1936!).

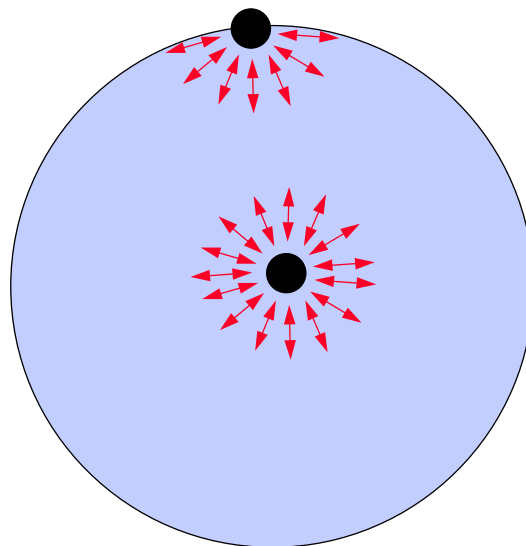


Ich habe hier 10 verschiedene Kunststoff-Plättchen und lege das erste auf den Tisch und gebe einen Wassertropfen drauf. Auf das Plättchen mit dem Wassertropfen wird nun das nächste Plättchen gelegt und wieder ein Tropfen Wasser gegeben. Dies wiederhole ich bis zum letzten Plättchen. Nach kurzem Zusammendrücken, kann man den ganzen Stoß an der obersten Platte nach oben heben.



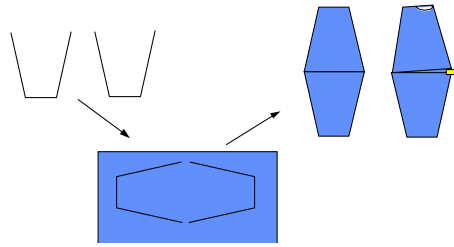
Die Plättchen lassen sich seitlich leicht verschieben. Quer dazu müsste eine große Oberfläche geschaffen. Hier trägt die Oberflächenspannung zum Gelingen des Experimentes bei. Dieses Experiment geht auch mit Objektträgern, Glasplatten etc.

Oberflächenspannung



Die hohe Oberflächenspannung ist ein ganz wichtiges Phänomen beim Wasser. In flüssigem Wasser werden die Moleküle im Inneren durch Wechselwirkungen gleichmäßig den anderen angezogen. An der Grenzfläche zur Luft (oder auch anderen mit Wasser nicht mischbaren Flüssigkeiten) findet die Wechselwirkung nur in Richtung zum wässrigen Medium statt. So ergibt sich eine Kraft, die versucht, die Oberfläche zu minimieren.

Die Erfahrung zeigt, dass Wasser aus einem Trinkglas sofort herausfließt, wenn man das Gefäß auf den Kopf stellt. Das muss aber nicht sein: **Werden zwei ganz normale, handelsübliche Gläser, ohne geschliffene Ränder unter Wasser zusammengefügt, kann man die beiden Becher auf den Tisch stellen, dass der eine Becher normal und der andere auf dem Kopf steht.**



Das Wasser bleibt in der oberen Hälfte des Bechers und fließt nicht aus. Übrigens auch für Geld nicht: **Man kann ein 5-Cent-Stück zwischen die beiden Ränder schieben. Nun ist der Abstand zwischen den Gläsern an der einen Seite mindestens ein Millimeter groß geworden und trotzdem bleibt das Wasser in der oberen Hälfte. Wegen des Unterdrucks durch das Anheben des oberen Glases wird eine Luftblase eingesaugt.** Das Wasser läuft nicht aus, weil das Wasser durch die Oberflächenspannung daran gehindert wird.

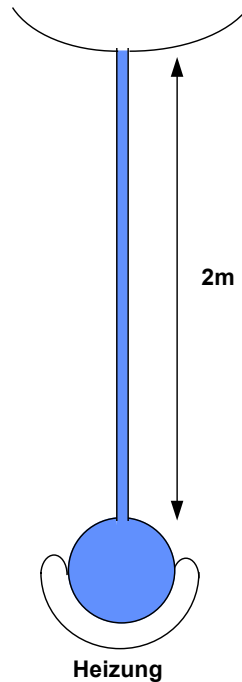
Ein 1l-Erlemeyer-Kolben mit Wasser gefüllt und mit einem Filterpapier abgedeckt kann man mit der Öffnung nach unten halten, ohne dass das Wasser ausfließt. Auch dies ist in der Oberflächenspannung begründet (und durch den Luftdruck der das Filterpapier nach oben drückt).

Durch die Benetzung eines z.B. grünen Textiltuchs mit Wassertropfen werden diese vollständig aufgesaugt. Es erscheint an den nassen Stellen durch die geänderte Lichtbrechung fast schwarz. Ein zweites genau so grünes Tuch ist präpariert mit einem wasserabweisenden Stoff (fluorierte Alkylsulfonsäureester an der Cellulose-Faser). Hier bleibt die grüne Farbe erhalten und das Wasser bildet eine Pfütze, als wäre es eine Plastikfolie. Beide Sorten von Tüchern werden gebraucht. Die Benetzung ist zum Beispiel nötig, wenn man Geschirr abtrocknen möchte, für Zeltplanen oder Anoraks sind die wasserabweisenden Stoffe aus einsichtigen Gründen von Vorteil.

In einer Kristallisierschale mit Wasser schwimmen kleine Papierscheibchen (Papierlocher). Nach kurzem Eintauchen eines Stücks Seife geschieht erst einmal nichts. Wird die befeuchtete Seife erneut ins Wasser eingetaucht, stieben die Papierschnitzel auseinander. Die Seifenmoleküle aus der befeuchteten Seife verbreiten sich sehr schnell auf der Oberfläche des Wassers. Seifenmoleküle haben ein wasserträgliches und ein nicht wasserträgliches Ende. Die mit dem Wasser nicht verträglichen Enden verbreiten sich nur auf der Wasseroberfläche und reißen die Papierschnitzel mit.

Kommen wir nun zum gasförmigen Wasser: **Ich erhitze über einem Campingbrenner in einer Getränkedose (gehalten mit einer Tiegelszange) etwa 10 ml Wasser zum Sieden. Wenn aus der Dose Wasserdampf austritt, ist die ursprünglich in der Dose vorhandene Luft verdrängt und durch Wasserdampf von 100° C ersetzt. Nun wird die Dose kopfüber in kaltes Wasser getaucht. Der Wasserdampf kondensiert schlagartig; es entsteht ein großer Unterdruck.** Da das Wasser eine träge Masse darstellt, wird es nur untergeordnet in die Dose eingesogen. Wegen des Unterdrucks implodiert die Dose unter beachtlicher Geräusentwicklung.

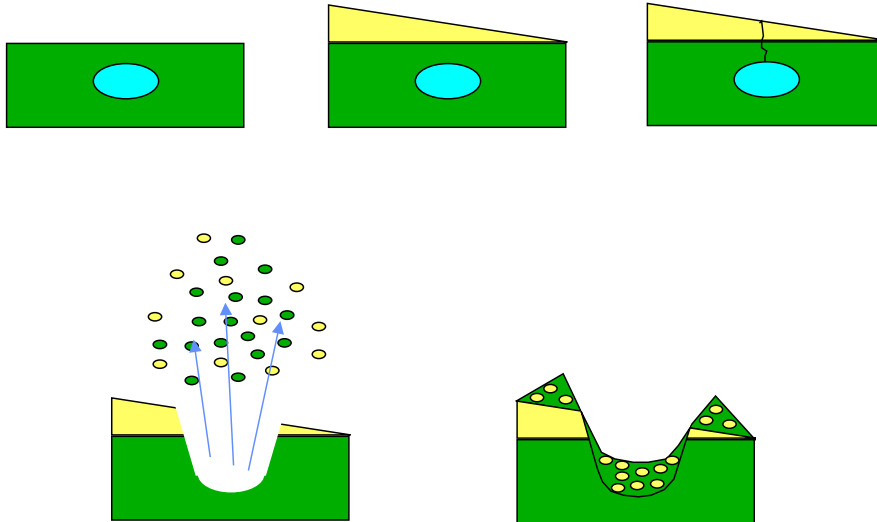
Das Wechselspiel von überhitztem Wasser und Wasserdampf ist das Funktionsprinzip eines Geysirs.



Das Geysir-Modell besteht aus einem beheizbaren Vorratsgefäß mit Wasser. Dieses Behältnis ist „verschlossen“ mit einer Wassersäule, die sich im Schlauch befindet, der in etwa 2 m Höhe in eine Auffangschüssel mündet. Der Geysir ist vergleichbar mit einem Schnellkochtopf: Hier baut sich bei geschlossenem Deckel ein Druck auf. Durch diesen Überdruck siedet das Wasser nicht, wie üblicherweise bei 100 °C, sondern bei 110 °C. Und bei diesen erhöhten Temperaturen finden dann schnellere Garprozesse statt. Daher auch der Name: Schnellkochtopf. (Aus Sicherheitsgründen haben Schnellkochtöpfe ein Überdruckventil)

Bei einem Geysir ist das ähnlich: Zunächst wird das Wasser im Vorratsbehälter erwärmt. Durch die 2 m lange Wassersäule im Schlauch wird ein Druck auf den beheizten Bereich ausgeübt, so dass das Wasser hier erst bei etwa 105 °C siedet; dann steigen Wasserdampfblasen im Schlauch auf. Dadurch wird die Menge des Wassers im Schlauch und somit auch das Gewicht der drückenden Wassersäule reduziert. Wegen des geringeren Drucks siedet das Wasser verstärkt (Siedeverzug). Dadurch wird der gesamte Inhalt des Schlauches verdrängt und unser Geysir spuckt. Das Gefäß leert sich etwa zur Hälfte. Durch das zurückfließende Wasser aus der Auffangschüssel wird der Inhalt des Vorratsgefäßes auf ca. 75 °C abgekühlt. Das in die Säule zurückgeflossene Wasser übt nun wieder seinen Druck aus und das Spielchen beginnt von Neuem, da die Heizung weiterläuft. In diesem Modell tritt der Siedevorgang alle 5 Min. ein. In Island gibt es einen Geysir, der alle 3,5 Min. zur Eruption kommt (Strokkur ca. 15 m hoch). Üblicherweise speien Geysire im Zeitrahmen von 4-24 Stunden mit einer Höhe bis zu 60 m (Old Faithfull im Yellowstone Park)

Die Eruptionen der Geysire sind imposante Naturschauspiele und touristische Attraktionen. Es gibt Kraterlandschaften z.B. in Norden Islands, die keine Vulkankrater sind, da in deren Mitte kein Lava-Schlot zu finden ist. Die Bildung dieser sogenannten Explosionskrater beruht auf dem gleichen Phänomen wie die Eruption eines Geysirs. Im nächsten Bild sehen Sie die Erklärung in mehreren Stufen:



Eine unterirdische Ansammlung von Wasser wird von glühender, etwa 1000 - 1200 °C heißer Lava überflossen. Dabei wird das Wasser erhitzt. Da das Erdreich und die Lava einen großen Druck (viel stärker als die Wassersäule beim Geysir) erzeugen, wird das Wasser mehrere 100 °C heiß. Dabei möchte sich das Wasser ausdehnen; da das wegen des „Deckels“ nur sehr schwer geht, bildet sich ein sehr hoher Druck aus. Schließlich kommt es zu einem oder mehreren Rissen in den über dem Wasser liegenden Schichten. Der Druck entspannt sich sehr rasch und das vollkommen überhitzte Wasser verdampft praktisch augenblicklich. Durch die Volumenzunahme des gasförmigen Wassers und die Entspannung des Drucks wird das Erdreich der Umgebung und die überstehende Lava hochgeschleudert. Das Wasser verdampft wegen der Hitze praktisch vollständig. Das Erdreich und die Lava fallen zurück und bilden den Explosionskrater. Es gibt in Island solche Krater mit einem Durchmesser bis zu 500 m.

Bei den Versuchen haben wir bisher im wesentlichen immer Wasser in reiner Form eingesetzt. Im Folgenden wollen wir uns mit ein paar Versuchen beschäftigen, bei denen Verbindungen in Wasser gelöst sind.

Das nächste Experiment wird in einem 2-l-Messzylinder durchgeführt:

Man füllt etwa 200 ml gesättigte Kochsalzlösung, sozusagen ein Stück „Totes Meer“, ein. Man kann Salz zu etwa 28 % in Wasser lösen. Diese Lösung hat dann eine deutlich erhöhte spezifisches Gewicht, d.h. Teile schwimmen leichter auf dieser wässrigen Lösung. Ich habe ein spezielles Teil ausgesucht, nämlich ein gekochtes Ei. Es entspricht in der Dichte in etwa dem Menschen und wir geben nun dieses Ei in unser „Totes Meer“ - es schwimmt. Als nächsten Schritt nehme ich Leitungswasser und überschichte die Salzlösung. Ein Ei geht in normalem Wasser unter. Wenn ich die Überschichtung des Wasser geschickt mache, dann erzeuge ich einen sogenannten Dichtegradienten: oben ist relativ verdünnte (leichte) Kochsalzlösung; unten im Messzylinder bleibt die Dichte noch recht hoch. Das Ei beginnt langsam abzusinken, und wenn ich nicht zu viele Wirbel erzeuge, kann ich einen Zustand einstellen, bei dem das Ei in halber Höhe zum Schweben kommt.

Das Phänomen, dass man im Salzwasser besser schwimmen kann, kennen Sie vielleicht alle.

Ich sprach vorhin schon einmal darüber, dass das Wasser die Menschen an verschiedenen Stellen wieder verlässt. Eine Möglichkeit zur Vermeidung von kleinen Überschwemmungen ist der Einsatz von Windeln - insbesondere bei Kleinkindern. Eine Windel ist scheinbar nichts besonderes. Sie wissen aber aus der Werbung, dass es offensichtlich doch Unterschiede gibt. Beispielsweise wird eine blaue Flüssigkeit, wie allabendlich zu sehen, aufgesaugt oder nicht,

d.h. die eine Windel bleibt feucht, und die andere Windel fühlt sich trocken an. Die Ursache für dieses Trockenwerden sind sogenannte Superabsorber. (teilneutralisierte vernetzte Polyacrylsäure)

Ich habe hier ein 0,25 g Superabsorber (kann man aus Windeln herauspräparieren!) mitgebracht, um Ihnen zu zeigen, wie die "Wasserverfestigung" funktioniert:

In ein 100 ml Becherglas gebe ich diese 0,25 g Superabsorber und füge aus einer Spritzflasche gefärbtes destilliertes Wasser auf diesen Superabsorber, wobei der Wasserstrahl für eine gute Durchmischung sorgen muss. Das Wasser verfestigt sich nach Kontakt mit dem Superabsorber. Wenn wir 80 ml Wasser zugeben, kann man das Glas auf den Kopf stellen und es läuft nicht heraus. Wenn man 100 ml zu diesem Becherglas gibt und der Superabsorber ist wirklich gut benetzt worden, dann ist der Glaseinhalt auch dann noch fest. Im Idealfall kann man mit 1 g Superabsorber 1 l destilliertes Wasser verfestigen, zu einem Gel erstarren lassen.

Die Flüssigkeit, die der menschliche Körper ausscheidet, ist relativ salzhaltig, insofern ist der Effekt nicht so gut. Mit physiologischer Kochsalzlösung (0,1%) kann man immerhin noch 80 ml Flüssigkeit mit 1 g Superabsorber verfestigen. In einer Windel sind in der Größenordnung 6g - 10g Superabsorber eingebettet.

Ein anderes Polymer, das sehr stark polare Gruppen hat und in der Natur gebildet wird, ist Stärke. **Ich habe hier Maisstärke, bekannt unter den Namen Maizena oder Mondamin, und gebe davon etwa 30 g in eine Glasschüssel. Zu dieser Stärke gebe ich etwas Wasser. Sie wird fest. Und wenn ich weiteres Wasser dazugebe, wird ein sehr zäher Brei daraus, eine sogenannte dilatante Flüssigkeit. Sie fließt ohne Druckeinwirkung; unter Druck dagegen verfestigt sie sich, so dass man die Flüssigkeit problemlos mit schnellen Fingerbewegungen hochheben kann. Mit einer ruckartigen Bewegung mit dem Löffel in der Flüssigkeit kann man sogar die ganze Schüssel hochheben.** (Man kann auch das Publikum erschrecken, man gießt einen Teil des Breies auf eine Unterlage, legt ein Brett darüber und schlägt mit dem Hammer auf das Brett. Wider Erwarten fliegt der Brei nicht ins Publikum, da sich der Brei unter Druck verfestigt).

Wasser lagert sich geordnet an die Oberfläche der Stärke an. **Im nächsten Schritt gebe ich zu dieser Masse festen Zucker und zwar wiederum ca. 30 g. Ich rühre ihn jetzt, zunächst mit Brachialgewalt in den weißen Brei ein. Die Masse wird immer dünnflüssiger.** Und es dauert gar nicht lang, dann ist sie ausgesprochen dünnflüssig und kann wie Wasser ausgegossen werden.

Die Löslichkeit von Zucker ist in Wasser ganz hervorragend, und in unserem Experiment steht das Wasser vor der Frage: Soll es sich anlagern an das Stärkemehl oder soll es mit Zucker in Lösung gehen? Aufgrund der Entropie geht das Wasser viel lieber mit dem Zucker in Lösung und ist frei beweglich. Das Stärkemehl liegt dann als Aufschlammung in der volumenmäßig wesentlich größeren Zuckerlösung vor.

Die Lehre aus diesem Experiment ist eigentlich schon lange bekannt. Wenn man Kuchen backt, der viel Mehl enthält, dann darf man nur wenig Zucker dazugeben. Oder umgekehrt, wenn man süßen Kuchen backen will, darf man nur wenig Mehl dazugeben, sonst fließt der Teig nämlich so auseinander, dass er nicht mehr als Kuchenteig gehandhabt werden kann.

Bei unseren bisherigen Experimenten haben wir im wesentlichen physikalische Effekte beobachtet und studiert. (Physiker können sich ohne Chemie wunderbar über – aber auch nur

– ein ganz hervorragendes Vakuum unterhalten. Chemiker ohne Physik sind arbeitslos. Es ist sogar noch viel dramatischer, Chemiker und Physiker wären gar nicht existent und könnten auch nicht leben, was übrigens für alle Lebewesen gilt)

Jetzt möchte ich zum Ende des Vortrages noch ein bisschen darauf zu sprechen kommen, dass wir das Wasser ja auch ganz speziell brauchen, um Chemie zu betreiben

Ich habe hier zwei Pulver. Eines ist Natriumhydrogencarbonat - Hauptbestandteil des Backpulvers (Backpulver aus dem Haushalt ist nicht geeignet, da es bereits ein Säuerungsmittel enthält; Versuch für Leute über 18 Jahre: Man nehme ein Schnapsglas, fülle eine Packung Backpulver ein, versetze es mit Wasser und ziehe ein Condom darüber) - und das andere ist Zitronensäure Die beiden Verbindungen lösen sich nur sehr langsam in Wasser. Wenn die beiden Pulver miteinander vermischt werden, passiert nichts. Wenn ich aber dieses Gemisch in Wasser schüttele, dann findet eine extrem starke Gasentwicklung statt - das Gas ist Kohlendioxyd - und führt direkt zu einer Brauselimonade, die aber mangels Zucker und Aromastoffen nicht schmeckt. Die Bildung von Kohlendioxyd ist nur möglich, wenn die beiden Feststoffe gleichzeitig im Wasser vorhanden sind. Für die Reaktion ist das Wasser der ganz entscheidende Partner.

Die Eigenschaft des Wassers, chemische Reaktionen zu ermöglichen, gehört zu den ganz wesentlichen Vorgängen des Lebens. Ausnahmslos alle biochemischen Prozesse benötigen Wasser als Lösemittel!

Aspirin-C-Brausetabletten enthalten ebenfalls Natriumhydrogencarbonat, Citronensäure sowie Ascorbinsäure und als eigentlichen Wirkstoff Acetylsalicylsäure. Die Tabletten brausen auf, wenn man sie ins Wasser gibt. In einer pneumatischen Wanne fange ich das sich bildende Kohlendioxid auf. Nachdem sich die Tablette aufgelöst hat, messen wir ein Gasvolumen von etwa 40 - 55 ml (ist abhängig von der Raumtemperatur). Weil dies Experiment so schön ist, machen wir es in der gleichen Apparatur noch einmal. Überraschender Weise werden nun weitere 160 - 190 ml Kohlendioxid gebildet. Beide Tabletten haben – garantiert durch die Qualitätskontrolle der Bayer AG – die gleiche Zusammensetzung. Die Erklärung ist: Beim ersten Auflösungsversuch wird ein Großteil des Kohlendioxids in Wasser bis zur Sättigung gelöst. Bei der zweiten Tablette wird praktisch das gesamte gebildete Kohlendioxid in den Gasraum der pneumatischen Wanne gesammelt, da das Wasser bereits mit Kohlendioxid gesättigt ist.

Ein vergleichbares Phänomen können wir auch in der sogenannten Polyurethanchemie beobachten. Ich habe hier 2 Reaktionskomponenten (Polyol und Methylendiphenyl-diisocyanat). Diese kann man vergleichen mit Jungen und Mädchen. Nach der Reaktion bilden die Komponenten miteinander eine Riesenkette, bei der alternierend - im übertragenen Sinn -Mädchen und Jungen einander die Hand geben. Das Ergebnis ist ein Kunststoff.

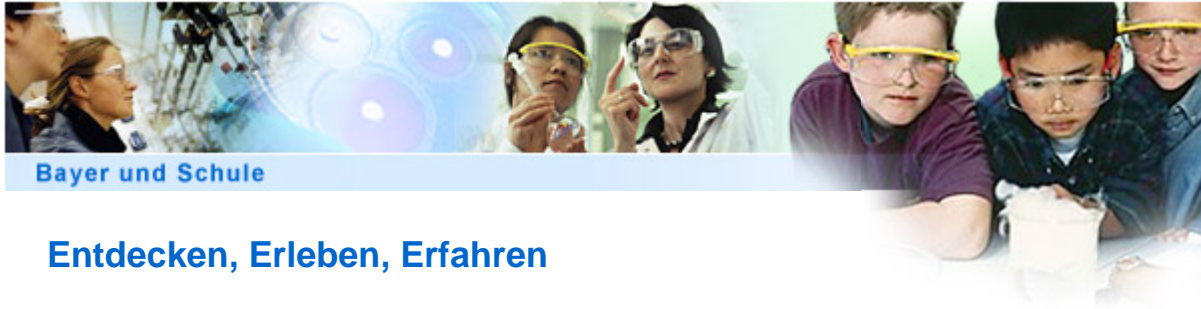
Ich mache diesen Versuch zunächst ohne Wasser und rühre die beiden Komponenten in einer Aluminiumschale zusammen. Zunächst bilden die braune Flüssigkeit und die farblose Flüssigkeit zwei Phasen. Durch die innige Vermischung wird eine trübe Mischung erzeugt und nach einer gewissen Zeit wird das Gemisch klar. Nach dem der sogenannte Gelpunkt eingetreten ist, wird das Material trübe, dann fest und hart. Jetzt sind alle Moleküle miteinander in Reaktion getreten und es hat sich ein fester Kunststoff aus den beiden flüssigen Komponenten gebildet.

Nun wiederhole ich den gleichen Versuch. Diesmal ist in der einen Komponente etwas Wasser enthalten. Am Anfang ist alles genau wie vorhin auch. Die Konsistenz wird

breiartig und trübe - sieht aus wie Vanillepudding - aber dann schäumt das Material auf und erstarrt als Halbkugel mit einem Durchmesser von etwa 25 cm.

Bei diesem 2. Versuch reagiert das Wasser mit den Isocyanatgruppen, vergleichbar zu unserem vorherigen Limonaden-Experiment, und bildet Kohlendioxyd. Dieses treibt das Polymer auf, und im Gegensatz zu unserem 1. Versuch, in dem wir nur einen kompakten Kunststoffkloß erzeugt haben, liegt nun ein großartiger Pilz vor. (Die genaue Beschreibung des Schäumversuches findet man im Internet unter www.schule.bayer.de. Dort sind auch Bestellformulare abrufbar, über die die Chemikalien kostenlos an Schulen geliefert werden.)

Das war's, ich habe Ihnen viele Experimente mit Wasser gezeigt. Ein Großteil davon können Sie auch zu Hause wiederholen. Ich wünsche Ihnen dabei viel Spaß!



Bayer und Schule

Entdecken, Erleben, Erfahren

In unserer Gesellschaft ist Lernen ein lebenslanger Prozess. Immer rasantere technische Veränderungen und die Internationalisierung der Wirtschaft machen es nötig, alle beruflichen Qualifikationen ständig weiterzuentwickeln. Doch der Prozess des lebenslangen Lernens beginnt spätestens in der Schule.


Als Unternehmen der pharmazeutisch-chemischen Industrie bemerken wir die rückläufige Quantität an naturwissenschaftlicher Grundausbildung im Schulalltag. Im Rahmen unserer gesellschaftlichen Verantwortung, aber auch aus ureigenstem unternehmerischen Interesse, versuchen wir deshalb hier unterstützend tätig zu werden.

Die Bayer AG pflegt seit vielen Jahren regelmäßige Kontakte zu Lehrern und Schülern aus dem Umfeld der Standorte [Leverkusen](#), [Dormagen](#), [Wuppertal-Eiberfeld](#), [Krefeld-Uerdingen](#), [Brunsbüttel](#) und [Bitterfeld](#). Wir wollen damit u.a. das Verständnis für Chemie und Naturwissenschaften wecken und die Akzeptanz dieses wichtigen Wirtschaftszweiges unseres Landes steigern sowie Berufsbilder vorstellen. Hierzu bieten wir zielgruppen- und bedarfsorientierte Programme für Lehrer und Schüler aller Jahrgangsstufen und Schulformen an.

Die Angebote wurden immer weiter verbessert und differenziert, so dass Interessenten heute aus einer breitgefächerten Themenvielfalt wählen können. Theorie und Praxis lassen sich auf diese Weise in ihren Zusammenhängen verstehen. Wir möchten eine Brücke zwischen persönlichem Alltag und der Welt der Industrie schlagen.

Diese Website stellt die aktuellen Projekte und Angebote der Bayer AG für Schulen vor.

Die [Bayer-Schulbroschüre](#) hilft Lehrern aus den verschiedenen Programmen das für sie Richtige zu entdecken. Außerdem können [Manuskripte zu Schulversuchen](#) für Chemiekurse der Sekundarstufe II bestellt werden. Darüber hinaus haben Lehrer die Möglichkeit, Materialien für den Chemieunterricht anzufordern. Die hierfür benötigten Chemikalien stellt Bayer nach Auswahl der Versuche kostenlos zur Verfügung.

nach oben 

Letzte Änderung: 17. May 2004

 [Seite drucken](#)

 [Links](#)

Bildung und Forschung bei Bayer

Ausbildung bei Bayer


Jobs & Karriere bei Bayer

 [Video](#)

100 Jahre Bildung

 [Bestellservice für Lehrer](#)

 [Wissenschaft erleben im BayLab/Wuppertal](#)

 [Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie](#)