

Experimentalchemie

Ziel und Zweck:

Durch Laborexperimente und etwas Theorie die chemischen Zusammenhänge praxisnah erläutern.

Erstellt durch: Lars Rominger

INHALTSVERZEICHNIS

1. Prolog
2. Farbige Schaumslange
3. Feuer löschen mit Essig und Natron
4. Künstlicher Schnee
5. Wasser in Wein - Verwandlung
6. Pharaoschlange
7. Brummender Gummibär
8. Chemische Gleichgewichte im Mineralwasser
9. Cola-Mentos-Fontäne
10. Kunststoff-Analyse (Erkennung)
11. Polyurethanschaum
12. Slime
13. Faden aus Polyvinylalkohol
Themenkreis Faserverbundkunststoffe: PVA schützt Fasern vor Beschädigung.
14. Expandiertes Polystyrol
15. Superabsorbierende Polymere

16. 007 und die Wissenschaft
17. Alles ist Zahl (Avogadro Konstante u.a.)
18. Aufstellen von chemischen Formeln und Gleichungen
19. Brownsche Bewegung
20. Einführung in die Relativitätstheorie
21. C₆₀ – Molekül - ein Jungbrunnen?
22. Eine Synthese aus Diamant- und Gold-Standard
23. Backen für Chemiker
24. Schwindung und Eigenspannungen bei Kunststoffen
25. Plasma – 4. Aggregatzustand
26. Die Sätze der Thermodynamik mit Einsteins trinkender Ente
27. Lichtgeschwindigkeit mit Schokolade und Mikrowelle messen
28. Backpulver – Rakete
29. Kartoffel – Uhr
30. Polymer mit Selbstheilungseigenschaften
31. Quellen

1. Prolog

Unendlich viel kann mit einem gelungenen Experiment vermittelt werden:

- Immer wieder eine neue Metapher für das Wesen der Chemie, die nie aufgehört hat, Kunst, Schönheit, Handwerk, Wissenschaft und Umgang mit Stoffen und ihren Veränderungen zu sein.
- Der Schlusspunkt, die Zusammenfassung der wesentlichen Bestandteile eines Prinzips.
- Das intellektuelle Erwachen, das zum chemischen Erkennen führt.
- Die grundlegende Frage, die einem Dozenten aus der Fassung bringt, und wenn sie auch nur von wenigen gestellt wird: „Was geschieht nun wirklich?“
- Die Rückkehr in die Wirklichkeit; Wissenschaft lebt von der Abwechslung zwischen den Höhenflügen der Phantasie und dem Kontakt mit der ewig verwirrenden irdischen Realität. Lehren bedeutet, in Symbolen zu reden – in Worten, in Begriffen und in Theorien. Ein Experiment bleibt auf dem Boden: Es mag inszeniert sein, doch es ist immer greifbar.

2. Farbige Schaumschlange

Summary

Eine farbige Schaumschlange windet sich um die PET-Flasche fast wie Zahnpasta aus einer überdimensionierten Tube.



Abb. 1: Farbige Schaumschlange

Chemikalien / Geräte:

- PET-Flasche (½ Liter) oder ähnliches hohes Gefäss mit kleiner Öffnung
- Wasserstoffperoxid 6%, ca. 1 dl.
- Spülmittel (einen grossen Spritzer)
- Trockenhefe (1 Teelöffel)
- ein Glas mit etwas warmem Wasser
- geeignete Unterlage, z.B. ein Backblech
- Trichter

- optional: Lebensmittelfarbe (einige Tropfen)

Gefahrenhinweise

Beim Hantieren mit Wasserstoffperoxid wird empfohlen, Schutzbrille, Handschuhe und Labormantel (oder einen Malkittel) zu tragen. Wasserstoffperoxid ist (je nach Konzentration) ein starkes Oxidationsmittel, d.h. es bleicht Textilien und verätzt die Haut. Kontakt mit Kleidern, Haut und v.a. mit den Augen ist deshalb unbedingt zu vermeiden! Die Reaktivität/Gefahr nimmt mit der Konzentration zu, weshalb wir den Versuch nur mit 6%iger Lösung durchführen. Im Notfall sofort betroffene Stelle mit Wasser spülen.

Anleitung:

- Schutzbrille, Labormantel und Handschuhe anziehen
- Trockenhefe in einem Glas mit einigen Teelöffeln warmem Wasser anrühren, Klumpen dabei entfernen
- Wasserstoffperoxid von einer erwachsenen Person mit einem Trichter in die PET-Flasche füllen lassen
- Lebensmittelfarbe und Spülmittel dazugeben und anschliessend etwas schwenken
- Hefelösung rasch in die PET-Flasche schütten und die Hand schnell zurückziehen, die Reaktion beginnt sofort!

Beobachtung

Rasch bildet sich viel Schaum, steigt aus der PET-Flasche auf und fliesst schlangenförmig auf die Unterlage.

Erklärung

a) Allgemein

Wasserstoffperoxid*, kurz H_2O_2 , ist eine chemisch instabile Verbindung. Sie zersetzt sich in Wasser (H_2O) und Sauerstoff (O_2), doch diese Reaktion verläuft normalerweise sehr langsam. Mit der Trockenhefe als Katalysator wird diese Reaktion beschleunigt. Es entsteht plötzlich sehr viel Sauerstoff auf einmal und bildet mit dem Spülmittel Schaum. Die PET-Flasche wird dabei warm, da die Reaktion exotherm ist; das heisst, es wird Wärme freigesetzt. Es kann so warm werden, dass über dem Schaum etwas Wasserdampf aufsteigt.

Der Schaum ist nicht mehr gefährlich, da das Wasserstoffperoxid zerfallen ist. Er sollte jedoch trotzdem nicht in Mund oder Augen geraten. Elefantenzahnpasta darf nicht als Zahnpasta verwendet werden!

* Wasserstoffperoxid (H_2O_2) ist eine schwache Säure und ein starkes Oxidationsmittel. Applikationen: Bleichmittel (Blondieren von Haaren, bei Jägern wird es verwendet um Tierschädel weiss zu bleichen usw.) und Desinfektionsmittel u.a. in hochkonzentrierter Form auch als Komponentenraketen einsetzbar.

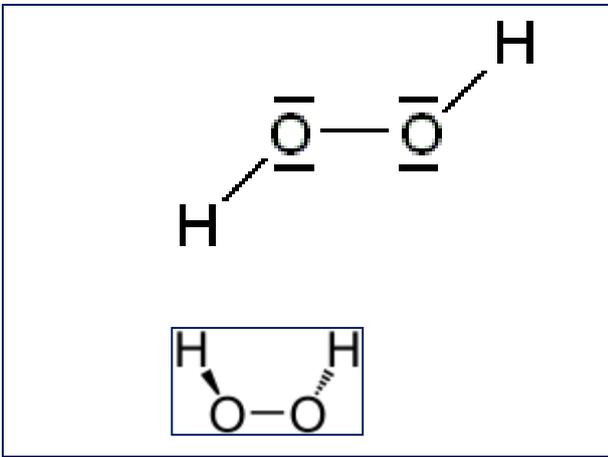


Abb. 2: Strukturformel Wasserstoffperoxid (planar und im Raum)

b) Katalysator

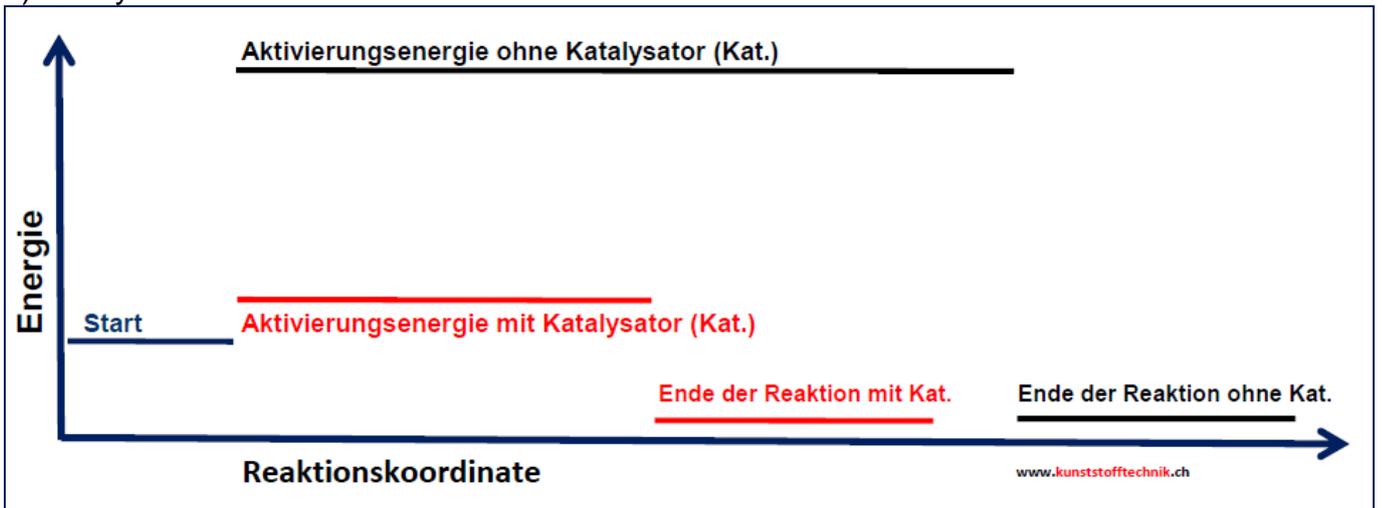


Abb. 3: Einfluss des Katalysators (Hefe) auf das Experiment

b1) Katalysatoren in der Kunststofftechnik:

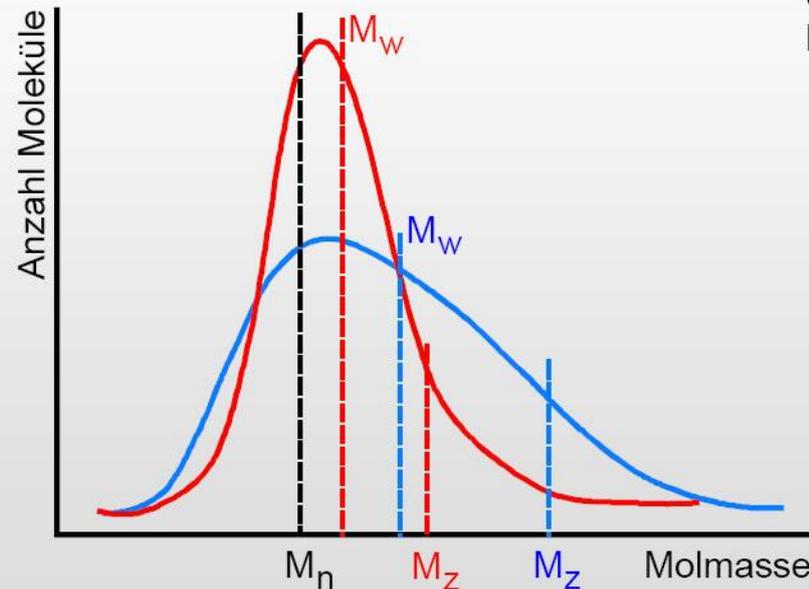
Einsatz von Metallocen-Katalysatoren erbrachte einen Quantensprung bei der Herstellung von Kunststoffen.

Resultat:

Enge Molmassenverteilung und erweitertes Steifigkeits- und Zähigkeitsspektrum und praktisch keine in Heptan löslichen Anteile mehr vorhanden. vgl. Abb. 3.

Die Makromoleküle in einem Polymer besitzen in der Regel keine einheitliche, exakt definierte Molmasse.

Polymere → **Molmassenverteilung** → charakterisiert durch unterschiedliche Molmassenmittelwerte



Molmassenverteilungen zweier unterschiedlich breit verteilter Polymere mit gleichem Zahlenmittelwert (schematisch).

Abb. 4: Einfluss von Metallocen-Katalysatoren bei der Molmassenverteilung von Kunststoffen
 Rote Kurve = Mit Metallocen-Katalysatoren. => Enge Molmassenverteilung.
 Blaue Kurve = Ohne Metallocen-Katalysatoren. => Breitere Molmassenverteilung.

c) Energieumsetzungen bei chemischen Reaktionen

c1) Allgemein

Bei chemischen Reaktionen wird immer Energie umgesetzt. Die meisten Reaktionen dienen der Umwandlung von Sonnenenergie in chemisch gespeicherte Energie (Photosynthese) bzw. der Freisetzung von ehemals gespeicherter Sonnenenergie aus fossilen Brennstoffen (Energieversorgung unserer Zivilisation) und aus Nahrungsmitteln (Umsetzung von Nahrungsmitteln im Körper).

Bei der Angabe des Energiegehaltes von Nahrungsmitteln ist es üblich den Energiegehalt in kJ/Gramm oder kJ/100 Gramm anzugeben, manchmal wird auch noch die veraltete Einheit "Kalorie" verwendet.

Bei Brennstoffen wird der "Heizwert" angegeben.
 In der Chemie bedient man sich der Einheit kJ/mol.

Prinzipiell gibt es:

exotherme Reaktionen

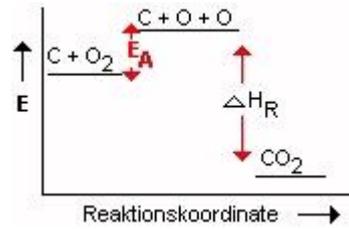
endotherme Reaktionen

- Reaktionen, bei denen Energie freigesetzt wird, um sie zu starten bedarf es der "Aktivierungsenergie"

- Reaktionen, die nur unter Energiezufuhr stattfinden.

Exotherme Reaktionen: z. B. Verbrennungen

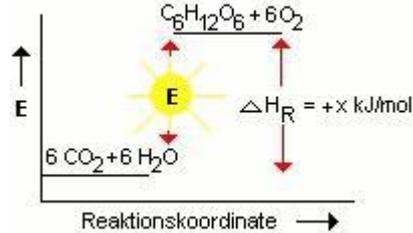
Durch die Aktivierungsenergie E_A werden Moleküle in einzelne Atome zerlegt. Diese reagieren zu anderen Molekülen, dabei wird die Reaktionsenergie H_R frei. Bei exothermen Reaktionen wird die freiwerdende Energie (H_R) mit negativem Vorzeichen ("altruistisch") angegeben.



Exotherme Reaktionen mit Katalysator: Aktivierungsenergie wird herabgesetzt, Reaktion wird beschleunigt.

Endotherme Reaktionen: z. B. die Photosynthese

Die Pflanze synthetisiert aus Kohlendioxid und Wasser die Glucose, die Energie kommt von der Sonne. In Glucose steckt also Sonnenenergie, die bei der "Verbrennung" im Körper wieder frei wird.

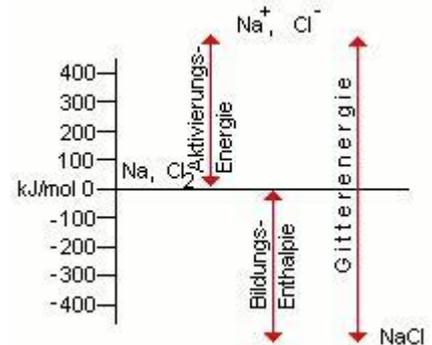


C2) Die Bildung von NaCl aus den Elementen

Wofür ist die Aktivierungsenergie nötig?

Was ist die Bildungsenthalpie (die freiwerdende Energie)?

Wie groß ist die Gitterenergie (die überwunden werden muss, um den Kristall zuschmelzen)?



$Na_s \Rightarrow Na_g$	Sublimierungsenergie	Na löst sich von den anderen Atomen	+ 109 kJ/mol endotherm
$Na_g \Rightarrow Na^+ + e^-$	Ionisierungsenergie	e^- wird von Na gelöst	+ 495 kJ/mol endotherm
$1/2 Cl_2 \Rightarrow Cl$	Dissoziationsenergie	Cl_2 -Molekül wird gespalten	+ 121 kJ/mol endotherm
$Cl + e^- \Rightarrow Cl^-$	Ionisierungsenergie	Cl wird ionisiert	- 347 kJ/mol exotherm

"Aktivierungsenergie" + 378 kJ/mol **endotherm**
Gitterenergie die bei der Kristallbildung frei wird - 789 kJ/mol **exotherm**

"Bildungsenthalpie" für 1 mol NaCl - 411 kJ/mol **exotherm**

THUNDERBALL, 1965



Wasserstoffperoxid (H_2O_2) ist u.a. in hochkonzentrierter Form auch als Komponentenraketen einsetzbar.

Bildquelle: <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=783518301663083&set=a.314165885264996.95866.266350353379883&type=1&theater>

3. Feuer löschen mit Essig und Natron

Chemie im Alltag: Kohlendioxid aus Essig und Natron

Erstellt von / am: Lars Rominger / 19. Mai 2013

Ziel und Zweck:
Durch ausgewählte Laborexperimente die chemischen Zusammenhänge praxisnah erläutern.



NaHCO_3 (s) (Natriumhydrogencarbonat)



$\text{CH}_3\text{-COOH}$ (aq) (Essigsäure)



© 2012- by www.kunststofftechnik.ch

19. Mai 2013 1 / 9

Inhaltsverzeichnis

1. Prolog
2. Zutaten
3. Versuchsaufbau
4. Reaktionsgleichung
5. Wichtige Hintergrundinformationen
6. Dank | Abschluss | Quellen

1. Prolog

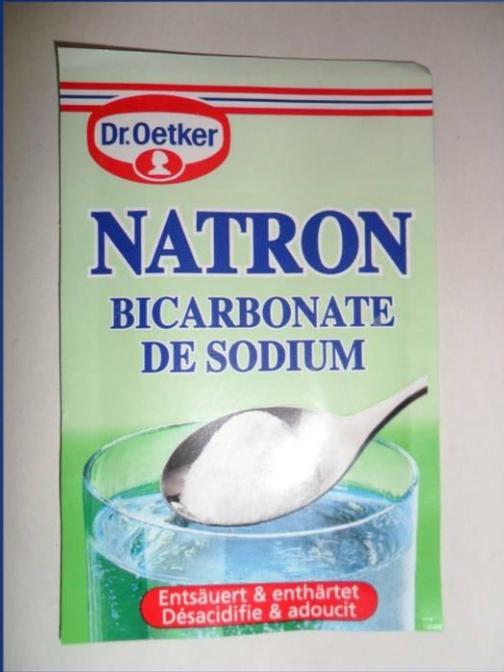
Unendlich viel kann mit einem gelungenen Experiment vermittelt werden:

- Immer wieder eine neue Metapher für das Wesen der Chemie, die nie aufgehört hat, Kunst, Schönheit, Handwerk, Wissenschaft und Umgang mit Stoffen und ihren Veränderungen zu sein.
- Der Schlusspunkt, die Zusammenfassung der wesentlichen Bestandteile eines Prinzips.
- Das intellektuelle Erwachen, das zum chemischen Erkennen führt.
- Die grundlegende Frage, die einem Dozenten aus der Fassung bringt, und wenn sie auch nur von wenigen gestellt wird: „Was geschieht nun wirklich?“
- Die Rückkehr in die Wirklichkeit; Wissenschaft lebt von der Abwechslung zwischen den Höhenflügen der Phantasie und dem Kontakt mit der ewig verwirrenden irdischen Realität.

Lehren bedeutet, in Symbolen zu reden – in Worten, in Begriffen und in Theorien. Ein Experiment bleibt auf dem Boden:
Es mag inszeniert sein, doch es ist immer greifbar.

2. Zutaten

Natron



$\text{NaHCO}_3 \text{ (s)}$ (Natriumhydrogencarbonat)

Tafelessig

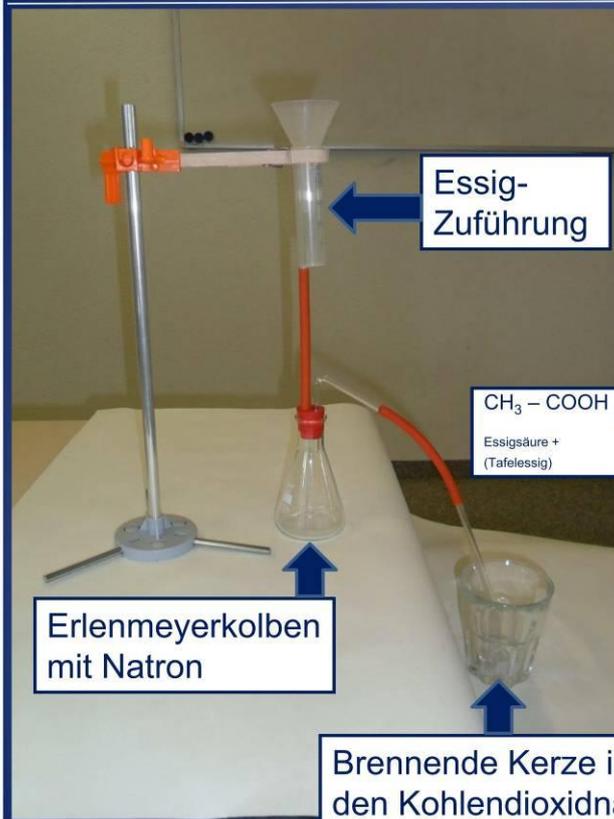


$\text{CH}_3 - \text{COOH} \text{ (aq)}$ (Essigsäure)

© 2012- by www.kunststofftechnik.ch

19. Mai 2013 4 / 9

3. Versuchsaufbau



© 2012- by www.kunststofftechnik.ch

19. Mai 2013 5 / 9

4. Reaktionsgleichung



Essigsäure + Natriumhydrogencarbonat \Rightarrow Natriumacetat + Wasser + Kohlendioxid
(Tafelessig) (Natron)

Hinweis:

Die Essigsäure könnte z.B. aus Wein hergestellt werden:



5. Wichtige Hintergrundinformationen (1/2)

Kohlenstoffdioxid – ein schweres Gas

Riesige Mengen Kohlenstoffdioxid sind in Kalkstein sowie in vielen verwendeten Chemikalien wie Soda (Natriumcarbonat) und oder Natron (Natriumhydrogencarbonat) chemisch gebunden.

Dichte einiger Gase [g/L]:

Wasserstoff:	0.09
Stickstoff:	1.25
Luft:	1.29
Sauerstoff:	1.43
Kohlenstoffdioxid:	1.98
Chlor:	3.21

Verzieht sich in Kellern und Senken

Wer? Das Kohlenstoffdioxid natürlich. Wegen seiner im Vergleich zur Luft höheren Dichte sammelt sich Kohlenstoffdioxid in Höhlen und Grotten. Es entsteht bei jeder Art von Gärung u.a. bei der alkoholischen Gärung des Weines. In Weinkellern oder Reparaturen in tiefen Brunnenschächten prüft man den Kohlenstoffdioxid-Gehalt der Luft am einfachsten mit einer brennenden Kerze. Wenn sie erlischt, ist für atmenden Lebewesen Gefahr in Verzug. Man sollte auch nicht beim Übernachten im Freien sein Lager in einer Mulde aufschlagen. Nachts atmen die Pflanzen wie Menschen und Tiere Kohlenstoffdioxid aus, das sich bei Windstille in Senken ansammeln könnte. Ein Kohlenstoffdioxid-Gehalt über 8% kann Gesundheitsschäden (Kopfschmerzen, Blutdruckanstieg, Schwindel) zur Folge haben. Kohlenstoffdioxid ist nicht giftig, aber es verdrängt den lebenswichtigen Sauerstoff.

5. Wichtige Hintergrundinformationen (2/2)

Der Versuch mit der brennenden Kerze die nach der Kohlenstoffdioxid-Einwirkung erlischt, zeigt zweierlei:

1. Nicht nur, dass Kohlenstoffdioxid „schwer“ ist, sondern auch
2. dass man mit Kohlenstoffdioxid Flammen löschen kann.

Davon macht man in verschiedenen Typen von Handfeuerlöschern Gebrauch.

Das Kohlenstoffdioxid hält für den Brand erforderlichen Sauerstoff vom Brandherd zurück.

Die Kohlenstoffdioxidschnee-Löscher setzen festes, tiefgekühltes Kohlenstoffdioxid frei, das in den gasförmigen Zustand übergeht und zugleich durch Abkühlung (Verdunstungskälte) wirkt.

Beim Trockenlöscher setzt die Brandhitze aus Natriumhydrogencarbonat Kohlenstoffdioxid frei.

Der Schaumlöscher bedeckt den Brandherd mit Kohlenstoffdioxid enthaltendem Schaum.

© 2012- by www.kunststofftechnik.ch

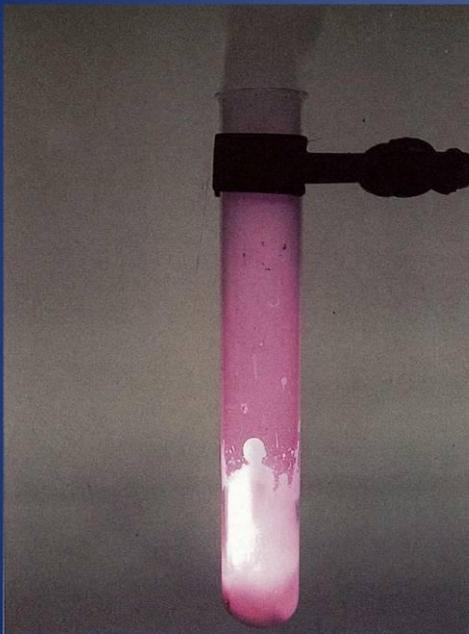
19. Mai 2013 8 / 9

6. Dank | Abschluss | Quellen

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

So eine Arbeit wird eigentlich nie fertig.

Man muss sie für fertig erklären, wenn man nach Zeit und Umständen das Mögliche getan hat. Johann Wolfgang von Goethe, „Italienreise“ (1787)



Lebe um zu lernen

Lerne um zu leben

Quellen:

- www.science.com
- Lars Rominger, Qualitative Kunststoffanalytik, 3., überarbeitete Auflage. ISBN: 9783831100521 82
- Hans Rudolf Christen. Allgemeine Chemie. Verlag Salle.
- Charles E. Mortimer und Ulrich Müller. Chemie. Verlag Thieme, Stuttgart
- Walter Friedli. Repetitorium Allgemeine und anorganische Chemie – Teil 1 : Atombau und Bindungslehre. Diesterweg Verlag.
- Walter Friedli. Repetitorium Allgemeine und anorganische Chemie – Teil 2: Stöchiometrie – Reaktionstypen. Diesterweg Verlag.
- Walter Friedli. Repetitorium Organische Chemie. Diesterweg Verlag.
- Kunststoffchemie für Ingenieure. Wolfgang Kaiser, Hanser Verlag.
- Adolf Franck. Kunststoff-Kompodium. Vogel-Verlag, Würzburg.
- Technologie der Kunststoffe. Walter Michaeli, Helmut Greif, Leo Wolters, Franz-Josef Vossebürger
- Otto Schwarz. Kunststoffkunde. Vogel-Verlag, Würzburg.
- Hans Domininghaus. Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften. Springer Verlag, Heidelberg.
- Kunststoff Taschenbuch. Saechtling, Oberbach, Hanser Verlag.

© 2012- by www.kunststofftechnik.ch

19. Mai 2013 9 / 9

4. Künstlicher Schnee

Summary:

Schnee im Sommer? Dafür muss man nicht auf Berggipfel klettern; es geht auch viel leichter. Hier wird gezeigt wie man Kunstschnee herstellen kannst, wie er bei Indoor Wintersportanlagen verwendet wird.



Abb. 5: Künstlicher Schnee

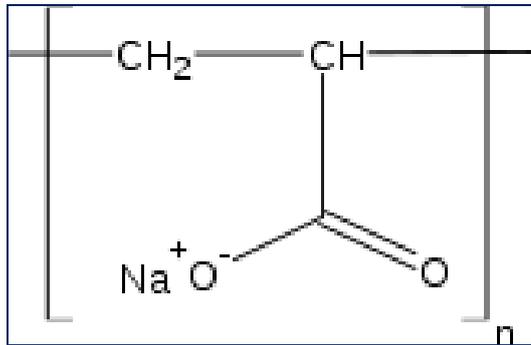


Abb. 6: Natrium-Polyacrylat

Chemikalien / Geräte:

- 7.5 Gramm Natrium-Polyacrylat
- 2 Becher (die je 200ml fassen)
- Messlöffel oder eine genaue Waage

Anleitung

- 7.5 Gramm (oder 15ml) Natrium-Polyacrylat in einen der Becher geben.
- In den anderen Becher 180ml Wasser füllen.
- Nun das Wasser rasch in den Becher mit dem Pulver giessen.
- Das Pulver beginnt zu „wachsen“. Sobald der Becher überquillt, den Kunstschnee langsam ausgiessen.

Der Kunstschnee kann in einem Beutel in den Tiefkühler gelegt werden. Nach einigen Stunden wird er gefroren sein und sich wie richtiger Schnee anfühlen.

Gefahrenhinweise

Entsorgung: Der Schnee kann in einem Plastikbeutel wochenlang aufbewahrt werden. Bei Nichtgebrauch kann er mit dem Haushaltsmüll entsorgt werden.

Erklärung:

Der Kunststoff Natrium-Polyacrylat ist eine langkettige chemische Verbindung. Diese Ketten können Wassermoleküle aufnehmen und dehnen sich so auf ein Vielfaches ihrer Grösse. Solche „Wasseraufsauger“-Stoffe werden übrigens beispielsweise auch in Babywindeln eingesetzt.

5. Wasser in Wein - Verwandlung

Summary

„Trick“ aus der Antike. Statt Wasser in Wein, wird „Limonade“ in „Wein“ und zurück verwandelt. Verblüffend einfach. Didaktisch: Farbkomplex in verschiedenen sauren Milieu.



Abb. 7: Wasser in Wein - Verwandlung

Chemikalien / Geräte

Tannin

(FeCl_3)

(H_2SO_4)

1000 ml Kunststoffbecher

6 x 300 ml Kunststoffbecher

Hahnenwasser

Anleitung

Zuerst wird das Tannin mit handwarmen Wasser im grossen Becher gelöst. = Limonade.

In Becher 2 haben wir vorgängig die Eisenchloridlösung beigegeben.

Wir schütten in die ersten drei Becher die Limonade.

Im ersten Becher passiert nichts.

Im zweiten Becher entsteht Wein.

Im dritten Becher passiert wieder nichts

Nun schütten wir den Inhalt aller Becher zurück in den grossen Becher – es entsteht

Wein. In Becher 4 und 5 haben wir vorgängig Schwefelsäure gegeben.

Wir verteilen den Wein in die Becher 4, 5 und 6.

In 4 und 6 entsteht wieder Limonade in Nummer 5 bleibt es Wein.

Schütten wir den Inhalt der drei Becher erneut zurück in den grossen Becher, dann haben wir wieder Limonade

Gefahrenhinweise

Das Experiment gehört nicht in Kinderhände!

Alle verwendeten Stoffe sind mehr oder weniger gesundheitsschädlich, korrosiv, reizend oder ätzend. Eisenchloridlösung ist reizend und kann insbesondere auch Stoffe nachhaltig verfärben. Achtung auf Spritzer.

Die verwendete Schwefelsäure ist ca. 50%ig und ätzend. Jeglicher Kontakt mit Augen und Haut ist zu vermeiden. Im Fall von Augen- und Hautkontakt sind die Betroffenen Körperteile mit viel Wasser zu reinigen. Haftung Die Durchführung des Experiments erfolgt auf eigene Verantwortung. Ausreichende chemische und technische Kenntnisse sowie notwendige Schutzvorrichtungen werden vorausgesetzt.

Weder „Limonade“ noch „Wein“ sind geniessbar! Nicht einnehmen!

Entsorgung: Das Reaktionsprodukt kann gut verdünnt über das Abwasser entsorgt werden.

Erklärung

Das „Limonadenpulver“ ist Tannin, das Gallussäure, 3,4,5-Trihydroxibenzoessäure, enthält. Versetzt man eine wässrige Tanninlösung mit Eisenchlorid FeCl_3 , dann entsteht ein schwarz gefärbter Komplex – Wein.

Gibt man der Lösung Säure zu, dann zerfällt der Komplex und es wird wieder die Farbe der Tanninlösung sichtbar.

Stellen Sie 6 Becher in eine Reihe auf. Becher 1,3 und 5 bleiben leer. In Becher 2 geben wir ca. 1 ml Eisenchloridlösung FeCl_3 . In Becher 4 und 6 jeweils ca. 5 ml Schwefelsäure H_2SO_4 . Geben Sie die „Zauberflüssigkeiten“ im Verborgenen in die Becher, so dass dies vor den Zuschauern unbemerkt bleibt.

Gallussäure: $\text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})_3(\text{COOH})$ – zyklische Anordnung

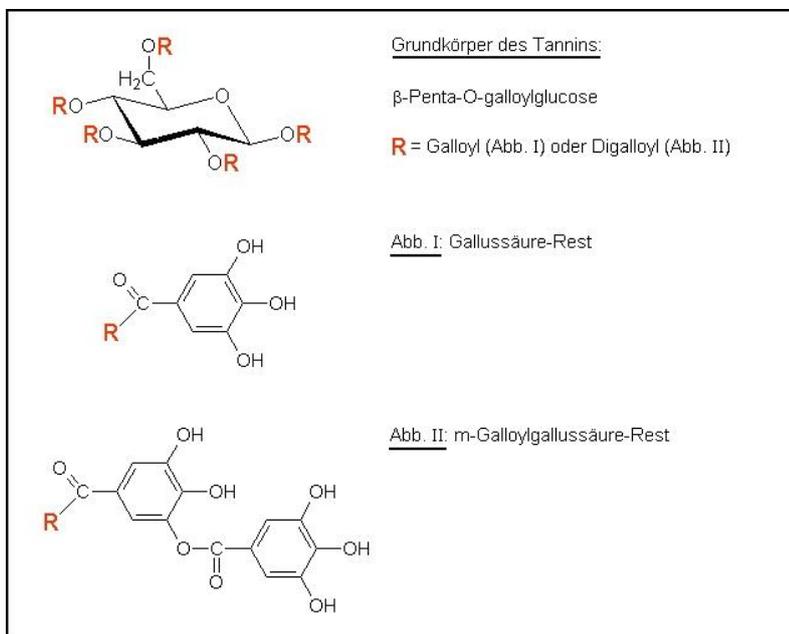


Abb. 8: Grundkörper des Tannin

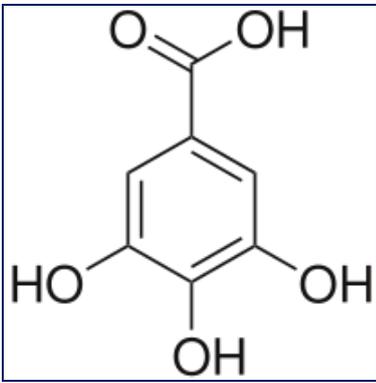


Abb. 9: 3,4,5-Trihydroxibenzoessäure (Gallussäure)

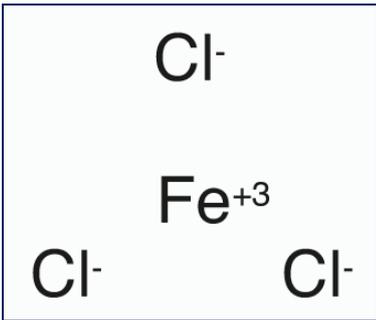


Abb. 10: Fe-III-chlorid wasserfrei FeCl_3

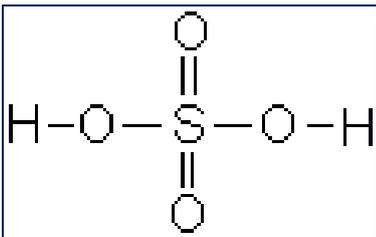


Abb. 11: Schwefeläure, H_2SO_4

6. Pharaoschlange

Summary:

Friedrich Wöhler (1800-1882) erfand einen Jahrmarktsrenner, die Pharaonenschlange:

Sie besteht aus einem Kegel mit gepresstem gräulich-weissen Pulver, das auf einer feuerfesten Unterlage angebrannt wird. Bläuliche Flamme, daraus stieg phantastisch geformtes Ungetüm von braungelber Farbe auf, das wohl geeignet war, die Erinnerungen an die Erzählung in der Bibel nachzuprüfen, derzufolge Moses und seiner Begleiter vor dem Pharao niedergeworfene Stäbe in Schlangen verwandelte...

Zitiert nach O. Krätz, *Historisch-chemische Versuche*, Aulis-Verlag, Köln, 1987, 63.

So jedenfalls schilderte der Farbenchemiker O.N. Witt diesen Versuch.

Das gräulich-weiße Pulver war $\text{Hg}(\text{SCN})_2$, ein starkes Gift. Deshalb bringen wir dieses Experiment in einer harmloseren Form, ohne dass wir auf den schönen Schauloeffekt verzichten müssen.

Chemikalien / Geräte:

Chemikalien: Sand, Ethanol, Emser Pastillen. Geräte: Feuerfeste Unterlage oder Porzellanschale, Schutzbrille, Schutzhandschuhe. vgl. Abb. 12.

Anleitung

Auf einer feuerfesten Unterlage oder in einer Porzellanschale wird Sand zu einem Kegel aufgeschüttet. In dessen Spitze steckt man 3-4 Emser Pastillen, die im wesentlichen NaHCO_3 und gepulverten Zucker enthalten, tränkt diese mit mindestens 5ml Ethanol und entzündet den Alkohol. Nach dem Abtrennen des Alkohols beginnen sich die Pastillen bei Erreichen der entsprechenden Temperaturen zu schwärzen, sie blähen sich auf, und schliesslich erhebt sich aus dem „Vulkankegel“ eine schwarze poröse Masse, einer Schlange gleich, die immer grösser wird und – daumendick – bis zu 1m lang werden kann. vgl. Abb. 13.

Gefahrenhinweise

Schutzbrille und Schutzhandschuhe tragen.

Entsorgung: Die Rückstände werden über den Hausmüll entsorgt.

Erklärung:

Die aus dem Natriumhydrogencarbonat beim Erhitzen entstehenden Gase erzeugen mit dem geschmolzenen Zucker einen äusserst voluminösen Schaum. Schliesslich verbrennt ein Teil des Zuckers unter Verkohlung. Die Mischung aus dem zersetzten Salz und der Kohle ergibt den schaumartig zur Schlange aufgetriebenen Rückstand der Emser Pastillen.



Abb. 12: Pharaoschlange aus Emser-Pastillen (vorher)



Abb. 13: Pharaoschlange aus Emser-Pastillen (nachher)

7. Brummender Gummibär

Summary:

Dieses Summary ist mehr als Einleitung gedacht.

Berchtold Brecht, Herzog von Zähringen, soll, als er die Stadt Bern gründete, ausgerufen haben:

„... so wie der Bär das grösste und mächtigste Tier des Landes sei, so werde die nach ihm benannte Stadt mächtig werden.“

Als Symbol der Tapferkeit erscheint der Bär auf dem von Kaiser Friedrich II. im Jahre 1213 gegründeten Ritterorden vom Bären, welchen er aus Dankbarkeit für seine Anhänger gestiftet hatte, die ihm beistanden, Otto IV. aus dem Reiche zu verjagen.

Chemikalien / Geräte:

Chemikalien: Kaliumchlorat, Gummibärchen. Gerätschaften: Grosses Reagenzglas, Bunsenbrenner, Stativ, Muffe, Klammer, Schutzbrille, Schuthandschuhe.

Anleitung

10g Kaliumchlorat werden im Reagenzglas über dem Bunsenbrenner aufgeschmolzen. Danach gibt man ein Gummibärchen hinzu. Das Gummibärchen verbrennt unter intensiven Aufglühen, tanzt auf der Salzschmelze und erzeugt ein merkliches Geräusch. vgl. Abb. 14. Vorsicht! Häufig ist die Reaktion so heftig, dass ein Teil des Kaliumchlorats mit dem entstehenden Kohlendioxid und Wasser hinausgeschleudert wird. Daher sollte das Reagenzglas leicht schräg eingespannt und nicht auf den Beobachter gerichtet werden. *D.M. Sullivan, J. Chem. Educ., 1992, 69, 326.*

Gefahrenhinweise

Die Reaktion muss hinter einem Schutzschild oder in einem Abzug durchgeführt werden. In der Nähe des Versuchs dürfen sich keine brennbaren Stoffe befinden, und die Unterlage muss feuerfest sein. Kaliumchlorat ist ein sehr starkes Oxidationsmittel, die meisten organischen Stoffe werden unter Feuererscheinung oder explosionsartig zersetzt.

Entsorgung: Das überschüssige Kaliumchlorat wird mit wässriger Salzsäure verkocht und anschliessend mit Natronlauge neutralisiert. Die Salzlösung kann dann gefahrlos in das Abwasser gegeben werden.

Erklärung:

vgl. bitte nachfolgende Abbildungen.

Chemieexperiment: Brummender Gummibär

Ziel und Zweck:
Durch ausgewählte Laborexperimente die chemischen Zusammenhänge praxisnah erläutern.



Abb. 14: Auszug 1 von 4 aus Chemieexperiment „Brummender Gummibär“

5. Erklärung | Hintergrund 1 von 2

Es ist anzunehmen, dass beim Versuch mit dem Gummibärchen bei der Temperatur des geschmolzenen Kaliumchlorats, Wasser aus der Gummibärchenmasse freigesetzt wird und mit dem Kaliumchlorat zu Chlorsäure reagiert.

Diese leitet dann die Verbrennung der Zucker (Saccharose, Glucose, Fructose) im Gummibärchen ein.

Desweiteren disproportioniert Kaliumchlorat ab 400°C zu Kaliumchlorid und Kaliumperchlorat, welches dann selbst sehr rasch in Sauerstoff und Kaliumchlorid zerfällt.

Dabei wird die Gelatine im Gummibärchen unter Feuererscheinung zu CO_2 und Wasser oxidiert. Das Brummen und Rauschen entsteht durch die bei der Verbrennung entstehenden Gase, die das Bärchen immer wieder mit sich reißen.

Abb. 15: Auszug 2 von 4 aus Chemieexperiment „Brummender Gummibär“

5. Erklärung | Hintergrund 2 von 2

Die in dem Gummibärchen befindliche Gelatine wird als Polypeptid unter der Feuererscheinung zu Kohlenstoffmonoxid und Wasser oxidiert. Der benötigte Sauerstoff kommt aus der Disproportionierung von Kaliumchlorat zu Kaliumchlorid und Kaliumperchlorat, welche beim Schmelzen ab 400 °C auftritt:



Zusätzlich entsteht durch Freisetzung von Wasser und dessen Reaktion mit dem Kaliumchlorat Chlorsäure, welche mit der freigesetzten Energie aus der Oxidierung der Gelatine den Zucker mit seiner hohen Aktivierungsenergie nun oxidieren lässt:



Abb. 16: Auszug 3 von 4 aus Chemieexperiment „Brummender Gummibär“

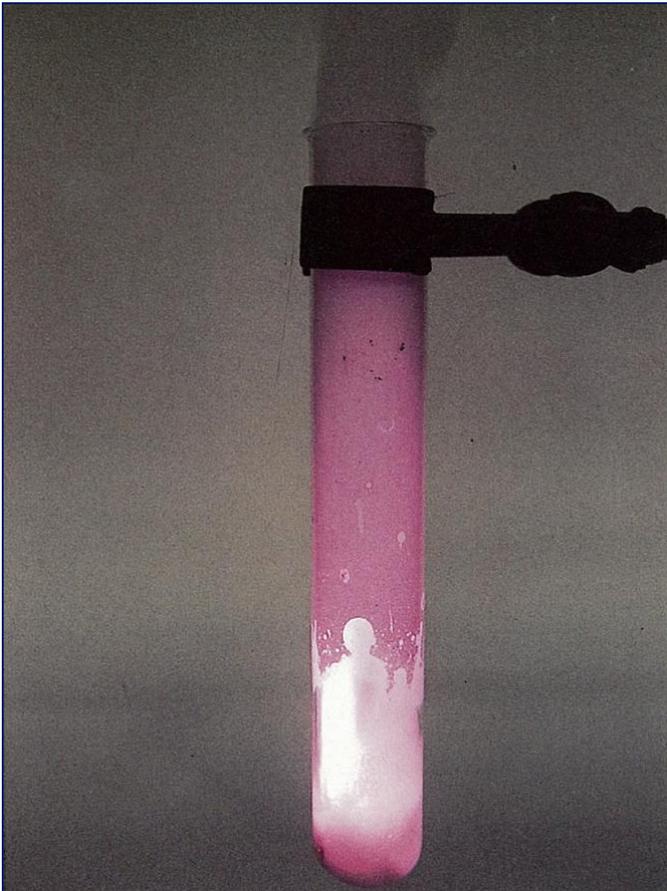


Abb. 17: Auszug 4 von 4 aus Chemieexperiment „Brummender Gummibär“

8. Chemische Gleichgewichte im Mineralwasser

Summary:

Mineralwasser regen den Appetit an, steigern die Darmtätigkeit, fördern die Verdauung, wirken harntreibend und – natürlich – löschen den Durst: Wahre Wundermittel, die aus den Tiefen der Natur gewonnen werden. Sie enthalten Hydrogencarbonate und wertvolle Spurenelemente, sind für den Verbrauch enteisend und meist mit CO₂-Zusatz versehen. Wer hat nicht nach einer ausgedehnten abendlichen Party oder am Neujahrsmorgen die segensreiche Wirkung eines gut gekühlten Mineralwassers gelernt?

Chemikalien / Geräte:

Gefüllte Mineralwasserflasche mit Verschluss und ohne natürliche oder künstliche färbende Zusätze, Tropfpipette, 0.1prozentige alkoholische Lösung von Bromkresolgrün, Schutzbrille.

Anleitung

Die verschlossene Flasche wird vorher im Eisschrank (oder während der Demonstration im Eisbad) stark gekühlt. (0°C). Man öffnet die Flasche, giesst rasch ca. 1/3 des Inhaltes aus, versetzt den restlichen Flascheninhalt mit 3 Tropfen Bromkresolgrün und verschliesst aufs neue. Die Lösung wird klar gelb. Nun lässt man zunächst ca. 10 Min. bei Raumtemperatur stehen, schüttelt danach die Flasche mehrmals heftig, öffnet sorgfältig den Verschluss, um den CO₂-Druck abzufangen, und wiederholt diesen Vorgang solange, bis kaum noch Druck zu verspüren ist. Die Farbe des Mineralwassers ist nun grün. Die geöffnete Flasche wird jetzt im heissen Wasserbad einige Minuten erhitzt. Nach dem Abkühlen sollte die Lösung tiefblau sein.

Gefahrenhinweise

Schutzbrille tragen. Ansonsten müssen keine besonderen Vorkehrungen getroffen werden.

Erklärung:

Bromkresolgrün ist eine Indikatorsäure mit $PK_s = 4.7$, die die Lösung im pH-Bereich < 3.8 gelb färbt. Ursache ist die durch die Auflösung des CO₂ in Wasser entstehende Hydrogencarbonat, das bei Abkühlung des Mineralwassers und unter Druck ausreichend H₃O⁺ - Ionen liefert. Siehe bitte nachfolgenden Gleichungen.

Öffnet man die Flasche, entweicht ein grosser Teil des CO₂, so dass sich im nunmehr vorliegenden pH-Bereich $3.8 < pH < 5.4$ eine grüne Farbe ausbildet. Beim drastischen Erhitzen des Flascheninhaltes werden die Reste des gelösten Gases ausgetrieben, damit erhöht sich der pH-Wert, und die Indikatorfarbe schlägt um in ein intensives Blau.

C.A. Snyder, D.C. Snyder, J. Chem. Educ., 1992, 69, 573.



Kohlendioxid

Hitze

Kohlensäure



Kohlensäure

Hydrogencarbonation



Hydrogencarbonation

Carbonation

9. Cola-Mentos-Fontäne

Summary:

Durch eine vorwiegend physikalisch geprägte Reaktion wird eine 2 Liter Cola-Flasche innerhalb von Sekunden entleert.

Chemikalien / Geräte:

2l Coca Cola light

Eine Rolle Mentos® Bonbons

Fountain-Tube™ Set

Anleitung



Abb. 18: Anleitung Cola-Mentos



Abb. 19: Anleitung Cola-Mentos



Abb. 20: Anleitung Cola-Mentos



Abb. 21: Anleitung Cola-Mentos



Abb. 22: Anleitung Cola-Mentos

Gefahrenhinweise

Schutzbrille tragen wird empfohlen, ist jedoch nicht zwingend.

Der Versuch wird am besten mit Cola light unter freiem Himmel durchgeführt.

Zuckerhaltige Süssgetränke hinterlassen klebrige "Spuren".

Ansonsten müssen keine besonderen Vorkehrungen getroffen werden.

Erklärung:

Beim Hineinfallen der Mentos in die Cola sinken diese auf den Boden. Auf diesem Weg trifft das Mentos auf das gelöste Kohlenstoffdioxid. Die Oberfläche der Mentos ist sehr rau; unter einem Rasterelektronenmikroskop sieht die Oberfläche der Mentos, wie eine spitze Bergkette aus. An dieser Oberfläche kann sich Kohlenstoffdioxid sehr leicht anlagern. Die Oberfläche der Mentos wirken als Kristallisationspunkte und erlauben so dem Gas Blasen zu formen. Es entsteht eine Form von Kettenreaktion. Immer mehr Kohlenstoffdioxid schliesst sich nun zu grösseren Blasen zusammen, die sich teilweise lösen und aufsteigen. Durch diese Bewegung in der Cola wird noch mehr Kohlenstoffdioxid freigesetzt und steigt nach oben zum Flaschenhals auf. All diese Vorgänge verlaufen in Sekunden und so explosionsartig, dass die überwiegende Menge an Kohlenstoffdioxid aus der Lösung gelöst wird und aufsteigt. Dabei reisst das Gas Teile der Flüssigkeit mit sich, die auf Grund der Schaumbildfähigkeit der Cola als Fontäne aus der Flasche spritzen. Grund für all dies ist also die grosse, raue Oberfläche der Mentos. Auch der Einsatz von Siedesteinen, Salz oder Puderzucker führen zu ähnlichen Effekten.

10. Kunststoff-Analyse (Erkennung)

Themenkreis: Leichtverständliche Einführung in die Kunststoffchemie.
Angewandte Kunststoffanalytik

Kunststoffchemie, -analytik

Lead	Sie können Kunststoffe schnell und professionell identifizieren. Sie wenden selektive Analysemethoden an und lernen dadurch die verschiedenen Kunststoff-Eigenschaften kennen und bringen diese mit ihrer chemischen Zusammensetzung in Zusammenhang.
Lernziele	Sie lernen wichtige Methoden der Kunststofferkennung kennen. [L1] Durch die Anwendung von physikalischen und chemischen Methoden lernen Sie die verschiedenen Eigenschaften der Kunststoffe kennen. [L2] Sie können anhand der Strukturformel eines Kunststoffes ihre Grundeigenschaften ableiten. [L3] Sie können anhand der chemischen Zusammensetzung eines Kunststoffes voraussagen, wie der physikalische oder chemische Test ausfallen wird. [L4]
Inhalt	Analyse von verschiedenen Kunststoffen unter Anwendung von nachfolgenden Methoden: 1.0 Allgemeine Unterscheidung 1.1 Dichte 2.0 Chemische Unterscheidung 2.1 Thermisches Verhalten I 2.2 Thermisches Verhalten II 2.3 pH-Bestimmung 2.4 Beilsteinprobe 3.0 Mechanische Unterscheidung 3.1 Bruchtest 3.2 Oberflächenhärte 4.0 Löslichkeits-Unterscheidung 4.1 Lsgm. I (GK4) 4.2 Lsgm. II (GK5)

Aufzeigen der Zusammenhänge von einzelnen Testergebnissen zur Strukturformel der Kunststoffe.
Einfache Beispiele wie man aufgrund der Strukturformel die Grundeigenschaften ableiten kann.

Umfang	ca. 15 Minuten
Voraussetzungen	Allgemeine Chemie und Technologie der Kunststoffe
Hinweis	N/A
Lehrmittel / Hilfsmittel	Zusammenfassende Kopien auf Lehrmittelbasis. Laborkoffer KEK Kunststoff-Erkennungs-Kit.
Methoden	80% Praktische Anwendung. 20% Theorie.
Selbstlernzeit	N/A
Lernkontrolle	Allgemeine Verständnisfragen zu Kunststoffchemie und –analytik.
Bescheinigung	N/A

Messprotokoll zur Analyse mit dem Laborkoffer KEK Kunststoff-Erkennungs-Kit

Untersuchtes Teil _____

Datum der Analyse _____

Prüfer/In _____ Unterschrift: _____

Bestimmung der Eigenschaften

Resultat der Analyse

Verhalten im Wasser (Seite 8*) schwimmt
 sinkt

Brandverhalten ausserhalb der Flamme (Seite 9*) brennt russend
 brennt nicht russend
 brennt unter Koksbildung
 erlischt

Brennbarkeit (Seite 9*) kaum anzündbar
 brennt in der Flamme, erlischt ausserhalb
 brennt nach Anzünden weiter
 brennt heftig, verpufft

pH-Bestimmung (Seite 10*) sauer: pH 1 bis 5
 neutral: pH 5 bis 9
 basisch: pH 9 bis 14

Beilsteinprobe (Seite 11*) positiv
 negativ

Bruchprobe (Seite 12*) Spröbruch
 Weissbruch

Fingernagelprobe (Seite 13") Kratzspuren sichtbar
 Kratzspuren nicht sichtbar

Lösungsmittel A klebt (Seite 14*) ja
 nein
 Oberfläche wird angegriffen, matt

Lösungsmittel B (Seite 14*) Oberfläche wird angegriffen, matt
 Keine Veränderung der Oberfläche

Bestimmung des Kunststoffes (Seite 72*) _____

* Literatur: Lars Rominger "Qualitative Kunststoffanalytik - Thermoplaste – Leichtverständliche Einführung". 3. überarbeitete Auflage.
www.kunststofftechnik.ch

11. Polyurethanschaum

Polyurethanschaum

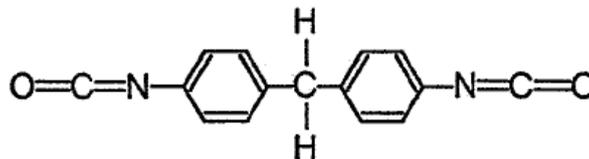


Versuchinhalt

Herstellung eines Polyurethan-Hartschaumes durch Mischen zweier Lösungen:

- die Lösung **II** enthält als Reaktionskomponente ein Diisocyanat, (Komp. II)
- die Lösung **I**, enthält als Reaktionskomponente ein Polyol (Diol oder Triol), ein Treibmittel und einen Katalysator. (Komp. I)

Formel des Isocyanates von 4,4'-Diphenylmethan :



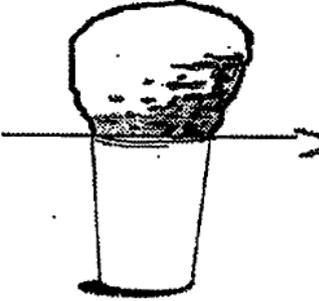
Formel eines Polyoles:



Ein guter PUR-Schaum muß bestimmte Qualitätskriterien erfüllen. Während der im Versuch vorgeführten Synthese sollen die Schüler einige Tests kennelemen, die in der Industrie eingesetzt werden, um die Qualität eines PUR-Schaumes zu überprüfen.

– miß die **Startzeit**: Zeitpunkt, zu dem der Schaum zu „steigen“ beginnt: Bringe wenige Millimeter über dem Boden des Bechers eine Markierung an und halte den Zeitpunkt fest, an dem die Markierung verschwindet.



<p>– Bestimme den Zeitpunkt, zu dem der Schaum die Hälfte der Becherhöhe erreicht: Bringe in halber Becherhöhe eine Markierung an und halte den Zeitpunkt fest, an dem der Schaum diese Markierung erreicht.</p>	
<p>– Bestimme den Zeitpunkt, zu dem der Schaum den Becherrand erreicht: Lege einen Bleistift oder eine Spatel über den Becher und halte den Zeitpunkt fest, an dem der Schaum den Bleistift oder die Spatel erreicht</p>	
<p>– Bestimme den Zeitpunkt, zu dem der Schaum zu „steigen“ aufhört: beobachte den Schaum genau, bringe ev. in der Nähe des Becherrandes eine Markierung an und halte den Zeitpunkt fest, ab dem sich der Schaum nicht mehr bewegt.</p>	
<p>– Bestimme die Dichte des Schaumes: Bestimme die Masse and das Volumen des leeren Bechers. Entferne nach Ende des Versuches den Schaum, der über den Becherrand gestiegen ist. Bestimme das Gewicht des schaumgefüllten Bechers und berechne die Dichte des Schaumes.</p>	



Material und Geräte

- 1 Kunststoffbecher, möglichst transparent
- 2 Stück 5 ml Spritzen
- 1 Glasstab

- 1 Uhr
- 1 Metallspatel
- 1 Filzstift
- Schere oder Messer
- Waage (auf 0,1 oder 0,01 g genau)
- 5 ml Lösung I
- 5 ml Lösung II
- Lebensmittelfarbe



Sicherheitshinweise

Versuch unbedingt im Abzug ausführen !!!

4,4' Diphenylmethandiisocyanat nicht einatmen. Es verursacht Reizungen der Augen, der Haut und der Atemwege.



Versuchsanleitung

- Kunststoffbecher auf eine Papierunterlage stellen.
- Mit Hilfe einer Spritze ungefähr 5 ml Lösung I in den Becher füllen.
- Mit einer zweiten Spritze ungefähr das gleiche Volumen Lösung II zugeben.
- 2 bis 3 Tropfen einer wässrigen Farbstofflösung zugeben (die Zugabe geringer Mengen Wasser unterstützt den Schäumungsvorgang.)
- Mit Hilfe eines Glasstabes die Lösungen gut mischen, ca. 15 Sekundeniterrühren und dann stoppen.

Bestimme:

- die Startzeit
- den Zeitpunkt, zu dem der Schaum die Hälfte der Becherhöhe erreicht
- den Zeitpunkt, zu dem der Schaum den Becherrand erreicht
- den Zeitpunkt, zu dem der Schaum zu „steigen“ aufhört

Bestimme die Dichte des Schaumes.



Beobachtungen

.....



Anwendungen

Durch die Reaktion von Diisocyanaten and linearen Diolen entstehen lineare, **thermo-**plastische **Polyurethane**, die leicht zu formen sind (z.B. Skischuhe). Polyurethane, die durch die Reaktion von Diisocyanaten (v.a. aromatischen Diisocyanaten) und Triolen (oder Polyolen) entstehen, sind vernetzt und **duroplastisch**.

Läuft die Polykondensation in Gegenwart von Wasser ab, das mit Isocyanaten unter Abspaltung von CO_2 reagiert, entsteht ein Kunststoffschäum, entweder hart oder weich und elastisch, ein **Polyurethanschäum** (PUR-Schäum).

Er wird vor allem als Isolationsmaterial und für die Herstellung von Polstermöbeln, Sitzen und Matratzen verwendet. Die Schaumbildung erreicht man, indem man einem der Ausgangsstoffe vor der Reaktion ein Treibmittel zusetzt. Die Reaktionswärme (die Polykondensation verläuft exotherm) sorgt für die Verdampfung des Treibmittels.

Slime

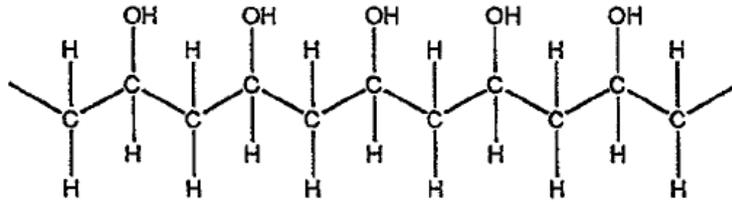


Versuchsinhalt

Vous allez préparer du slime, un produit baveux, visqueux, en mélangeant deux solutions :

- einer wässrigen Polyvinylalkohollösung
- einer wässrigen Boraxlösung.

Formel von Polyvinylalkohol:



Formel von Natriumtetraborat (Borax) : $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$



Material und Geräte

- 1 transparente Kunststoffbecher
- 1 Meßzylinder
- Pipette (auf ml ablesbar)
- Glasstab
- 20 mL wässrige Polyvinylalkohollösung (10 %)
- Lebensmittelfarbe
- 7 mL wässrige Boraxlösung (2 %)



Sicherheitshinweise

- Von Polyvinylalkohol gehen keine Gefahren aus.
- Borax verursacht beim Verschlucken Vergiftungen.
- Slime nicht in den Mund nehmen, nach dem Berühren von Slime Hände gut waschen.
- Slime möglichst nicht mit Kleidern oder Möbeln in Kontakt bringen.
- Sobald Slime seine Eigenschaften verliert, in den Müll werfen.



Versuchsanleitung

- In einen Kunststoffbecher 20 ml der wässrige Polyvinylalkohollösung gießen.
- Einige Tropfen Lebensmittelfarbe zugeben.
- 7 mL Boraxlösung zugeben und den Becherinhalt mit einem Glasstab gut mischen.
- Das Reaktionsprodukt aus dem Becher nehmen und mit den Händen kneten. Das Material wird fest und zeigt sehr spezifische Eigenschaften, die man als viskoelastisches Verhalten bezeichnet. Am Beispiel von Slime lassen sich die Besonderheiten dieses viskoelastischen Verhaltens sehr gut demonstrieren (schnelles und langsam Dehnen; Eine Kugel formen und diese auf einer harten Unterlage aufprallen lassen)

Um unliebsame Überraschungen zu vermeiden, den Meßzylinder, der zum Abmessen der Ausgangslösungen verwendet wird, sehr sorgfältig mit Wasser ausspülen!

Versuchsvarainte für 9 Schüler

- Der Versuch wird - bei sonst gleichen Bedingungen - mit unterschiedlichen Mengen Boraxlösung durchführt, wobei die Menge der verwendeten Boraxlösung von 1ml bis 9 ml gesteigert wird. Jeder der 9 Schüler führt den Versuch mit einer anderen Menge Boraxlösung durch.
- Aus dem Vergleich der Eigenschaften der 9 Produkte läßt sich das beste Mengenverhältnis der Ausgangsstoffe ableiten.
- Für die Proben, die nicht die gewünschten viskoelastischen Eigenschaften zeigen, soll eine Möglichkeit gefunden werden, sie nachträglich zu verbessern.



Beobachtungen

.....



Anwendungen

Polyvinylalkohol (PVA) haftet sehr gut auf saugenden Materialien wie z.B. Papier, Karton und Geweben. Es wird daher für die Herstellung von Klebern und Leimen (z.B. Holzleimen, Fliesenkleber usw.) verwendet. In der Textilindustrie werden die Fasern vor ihrer Verarbeitung (Stricken, Weben usw.) mit PVA behandelt, um sie vor Beschädigung zu schützen. Aus dem fertigen Produkt läßt sich PVA leicht mit Wasser entfernen.

PVA wird für die Behandlung von Papier und Karton für die Lebensmittelverpackung eingesetzt, da PVA-Beschichtungen transparent, lichtecht, fettdicht und lebensmittelecht sind.

PVA eignet sich auch zur Herstellung von Verpackungen für Produkte, die in wässriger Umgebung verwendet werden wie z.B. Badesalze, Desinfektionsmittel, Farbstoffe, Insektizide u.ä.. Da sich die Verpackung im Wasser auflöst, ist es nicht nötig die Produkte auszuwickeln. In Krankenhäusern werden Wäschesäcke aus PVA verwendet: Die Schmutzwäsche gelangt ohne Auspacken zum Waschen und zur Desinfektion. Im Industrieanlagen- und Apparatebau werden Membranen, Dichtungen, Rohren usw. mit PVA behandelt, um ihre Beständigkeit gegen Schmiermittel, Öle, Treibstoffe oder Lösungsmittel zu erhöhen.

Faden aus Polyvinylalkohol



Versuchsinhalt

Herstellen eines Polymerfadens aus einer Lösung von Polyvinylalkohol.



Material und Geräte

- 1 50 ml Becherglas
- 1 kleines Häkchen (z.B. aus einer Büroklammer)
- 10 ml wässrige Polyvinylalkohollösung (4 %)
- Lebensmittelfarbe
- 10 ml Aceton



Sicherheitshinweise

- Von Polyvinylalkohol gehen keine Gefahren aus
- Aceton ist leicht brennbar; nicht in der Nähe von Hitzequellen hantieren.



Arbeitsanleitung

- Ungefähr 10 ml wässrige Polyvinylalkohollösung in ein 50 ml Becherglas gießen
- Einige Tropfen Lebensmittelfarbe zugeben.
- Das Becherglas neigen und die Polyvinylalkohollösung mit dem gleichen Volumen Aceton überschichten. An der Grenzfläche der beiden Lösungen bildet sich ein weißlicher Film aus Polyvinylalkohol.
- Mit einem kleinen Häkchen den Polymerfilm erfassen und langsam herausziehen. Es läßt sich ein 40 –bis 60 cm langer Faden ziehen.
- Den Faden auf einem Stück Aluminiumfolie trocknen lassen.



Beobachtungen

.....

.....



Anwendungen

Siehe Blatt 5

Expandiertes Polystyrol

a. Schäumen von Polystyrol



Versuchsinhalt

Demonstration des Schäumvorganges von treibmittelhaltigen (Treibmittel: Pentan) Polystyrolteilchen.

Alternative: Demonstration der direkten Herstellung von Schaumstoffteilen durch Schäumen von treibmittelhaltigen (Pentan) Polystyrolteilchen in einer Form



Material und Geräte

- 1 großes Becherglas (600 bis 800 ml), gefüllt mit Wasser
- 1 Wärmequelle (Heizplatte)
- 1 kleiner Löffel (Kaffeelöffel)
- 1 Tee-Ei (für die Alternative)
- 5 g schäumbares Polystyrol



Sicherheitsvorkehrungen

Pentan bildet mit Luft explosive Gemische. Vermeide: offene Flammen, elektrische Funken, Schweißfunken, elektrostatische Aufladungen. Absolutes Rauchverbot!



Versuchsanleitung

- In einem großen Becherglas Wasser zum Kochen bringen.
- Sobald das Wasser kocht, zwei Kaffeelöffel treibmittelhaltiges Polystyrol zufügen.

Variante :

- In einem großen Becherglas Wasser zum Kochen bringen.
- In ein Tee-Ei wenig (1 kleiner Löffel) treibmittelhaltiges Polystyrol einfüllen.
- Das Tee-Ei für einige Minuten in das kochende Wasser hängen, herausheben und unter fließendem Wasser abkühlen.
- Das Tee-Ei öffnen und die entstandene Form entnehmen.



Beobachtungen

.....
.....



Anwendungen

Geschäumtes oder expandiertes Polystyrol (EPS) hat folgende charakteristische Eigenschaften: geringe Wärmeleitfähigkeit, Druckfestigkeit and gute Stoßabsorption. Es ist sehr empfindlich gegen organische Lösemittel, aber unempfindlich gegen Wasser, wäßrige Salzlösungen, Säuren und Basen.

Es wird in erster Linie zur Wärmedämmung von Gebäuden eingesetzt, und als Schutzverpackung gegen Stoß, Kälte, Hitze.

b. Löslichkeit von Schaumpolystyrol



Versuchsinhalt

Gute Löslichkeit von Polystyrol in organischen Lösemittel wie z.B. Aceton



Material und Geräte

- 1 250 ml Meßzylinder
- 1 50 ml Becherglas
- Schere
- 1 Pinzette
- einige kleine Stücke Polystyrolschaum
- 1 Becher aus geschäumtem Polystyrol
- 1 transparenter Polystyrolbecher
- Aceton



Sicherheitsvorkehrungen

Da die verwendeten Substanzen zum Teil leicht entzündlich sind, nicht in der Nähe von Wärmequellen oder offenen Flammen arbeiten.



Versuchsanleitung

1. Den 250 ml Meßzylinder bis zu ca. 3/4 mit kleinen Stückchen Polystyrolschaum füllen, 25 ml Aceton zugeben und mischen. Das Volumen der Mischung festhalten.
2. Einen Becher aus Polystyrol über ein Becherglas halten, 25 ml of Aceton eingießen und den Becherboden beobachten.
3. Aus einem transparenten Polystyrolbecher einen ca. 0,75 cm breiten Streifen schneiden und mit einer Pinzette festhalten. In der Mitte des gebogenen Streifens einen Tropfen Aceton auftragen und beobachten.



Beobachtungen

1.
2.
3.

Herstellung von expandierten Polystyrol (EPS)

Summary

Beim expandierten Polystyrol (EPS) wird das flüssige Treibmittel Pentan bereits während des Polymerisationsprozesses eingearbeitet. Bei Einwirkung von heissem Wasser wird die Matrix (Polystyrol) erweicht und vergrößert sich um das 50-fache, da das eingearbeitete Pentan in die Gasphase übergeht.

Chemikalien / Geräte

Schutzbrille
Schutzhandschuhe
Heizplatte
Becherglas (mind. 500ml)
Wasser
Tee-Ei
Expandierbares Polystyrol
Löffel



Abb. 1: Heizplatte mit Becherglas

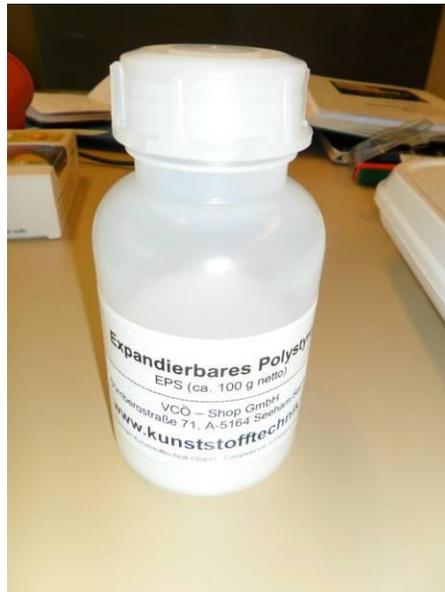


Abb. 2: Expandierbares Polystyrol



Abb. 3: Expandierbares Polystyrol vor dem Erhitzen (Durchmesser 0.3mm)



Abb. 4: Expandierbares Polystyrol nach dem Erhitzen (Durchmesser ca. 15 mm)



Abb. 5: Tee-Ei



Abb. 6: Expandiertes Polystyrol aus Tee-Ei
(grössere Einsatzmenge; feine Körnung)



Abb. 7: Expandiertes Polystyrol aus Tee-Ei
(kleinere Einsatzmenge; grobe Körnung)

Gefahrenhinweise

Schutzbrille und Schutzhandschuhe tragen

Anleitung:

Wasser im Becherglas auf der Heizplatte bis zum Siedepunkt erwärmen.
Expandierbares Polystyrol hineingeben. (1x lose und 1x im Tee-Ei).

Beobachtung und Erklärung

Das beschriebene Vorprodukt (expandierbares Polystyrol EPS) liegt als Pulver vor. Die Einzelfragmente sind dabei kugelförmig und weisen einen Durchmesser von 0.3mm auf. Wird das Pulver nun in kochendes Wasser hineingegeben, erweicht das Polystyrol, da die Glasübergangstemperatur t_g zwischen 90 – 100°C liegt. Durch die Erweichung der Matrix kann das innewohnende Treibmittel Pentan (Siedepunkt 36.1°C) verdampfen. Dadurch vergrössern sich die Kugeln um das 50-fache.

Superabsorbierende Polymere



Versuchsinhalt

Mit Hilfe eines superabsorbierenden Polymers ist es möglich, große Mengen Wasser schnell verschwinden zu lassen.



Material und Geräte

- 1 transparenter Kunststoffbecher
- 1 Kaffeelöffel
- 1 Glasstab
- superabsorbendes Polymer
- deionisiertes Wasser
- Kochsalz



Sicherheitshinweise

Bei Kontakt mit Wasser bilden die superabsorbierenden Polymerteilchen ein extrem voluminöses klumpiges Gel. Nicht verschlucken!



Versuchsanleitung

1. Einen Kaffeelöffel hochabsorbierendes Polymer in einen Kunststoffbecher füllen. Aussehen und Größe der Polymerkörner beobachten.
2. Ungefähr 125 ml Wasser in den Becher gießen. Das Wasser in einem hohen Strahl in den Becher gießen, damit Wasser und Polymer gut durchmischt werden. Den Becher umdrehen.
3. Die Dauer der Reaktion (bis das Wasser vollständig absorbiert ist) und das Aussehen des Reaktionsproduktes festhalten.
4. Einen Kaffeelöffel voll Kochsalz zugeben und mit dem Löffel oder dem Glasstab gut umrühren.



Beobachtungen

1.

2.



Anwendungen

Superabsorber sind Funktionspolymere, darunter versteht man Polymere die sehr spezifische Eigenschaften aufweisen und genau aufgrund dieser Eigenschaften eingesetzt werden. In diesem Beispiel ist es die hohe Absorptions- und Speicherefähigkeit.

Bestimmte Materialien können Flüssigkeiten absorbieren andere wieder Gase:

- **Natriumpolyacrylat:** wird in Hygieneprodukten und Babywindeln verwendet und sein Saugvermögen ist 60 mal höher als das von Zellstoff.
- **Polyacrylamid:** kann das 400-fache seines Eigenvolumens an Wasser absorbieren, und wird daher in besonders trockenen Gebieten dem Boden als Wasserspeicher zugesetzt.

Gasabsorbierende Polymere werden -verpackt in einer dünnen Folie - an der Innenseite von Verpackungen angebracht, da sie die Haltbarkeit verschiedener Produkte verlängern können:

- **Sauerstoffabsorber:** sie hemmen die Bildung der Mikroorganismen, die für das Verderben von verpackten Lebensmitteln verantwortlich sind. Der Abbauprozess verläuft dadurch so langsam, daß Brot in solchen Verpackungen drei Jahre lang aufbewahrt werden kann.
- **Ethenabsorber:** Ethen wird von Früchten während des Reifungsvorganges freigesetzt und wirkt selbst als Beschleuniger für den Reifungsprozess. Durch den Einsatz von Ethenabsorbem läßt sich daher die Lagerzeit von Früchten, Gemüse und Blumen deutlich verlängern.
- Absorber für **Ammoniak** und **Schwefeldioxid** werden vor allem in den Tropen verwendet, um Verwesungsgerüche zu bekämpfen.

16. 007 und die Wissenschaft

Beispiel: Wodka-Martini [Chemie, Biochemie und Physik]

16.1 Einleitung

James Bond nimmt seinen Wodka-Martini immer geschüttelt und nicht gerührt zu sich.

Flemings Originalrezept:

Ein trockener Martini – in einem tiefen Champagner-Kelch. Dazu 3 Mass Gordon's. 1 Mass Wodka. 0.5 Mass Kina Lillet. Schütteln bis eiskalt, dann mit einem grossen Stück Limonenschale servieren.

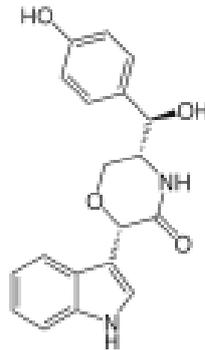
16.2 Aufgabenstellung

Wieso nimmt James Bond seinen Wodka-Martini immer geschüttelt und nicht gerührt zu sich?

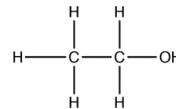


Abb. 1: James Bond mit einem Martini

Quelle: <http://www.thedrinksbusiness.com/2012/04/james-bond-swaps-martini-for-heineken>



Aromatische Verbindung



Ethanol

16.3 Erklärung I: Mehr Geschmack [Chemie und Physik]

Die Untersuchung der molekularen Struktur des Getränks gibt Aufschluss.

Wodka-Martini ist eine Flüssigkeit, die ein Gemisch aus relativ grossen und relativ kleinen Molekülen ist. Die grossen Moleküle sind meistens sogenannte aromatische Verbindungen, die ringförmige Atomanordnungen beinhalten. Solche Moleküle bestimmen oftmals den Geschmack eines Getränks, worauf ihr Name auch schon hindeutet.

Ethanol hingegen ist ein kleines, kompaktes Molekül und ist nichts anderes als Alkohol.

Ein Wodka-Martini ist also ein Gemisch aus grossen und kleinen Teilchen, wobei die grossen für den Geschmack und die kleinen für die Wirkung verantwortlich sind.

Was hat dies nun mit der Aufgabenstellung zu tun?

Bei Gemischen aus grossen und kleinen Teilen tritt der sogenannte Paranus-Effekt auf.

Dieser Effekt besagt, dass, wenn ein solches Gemisch in einem Behälter nur lange genug geschüttelt wird, sich die grossen Teilchen an der Oberfläche anreichern.

Wenn man sich schon einmal gefragt hat, wieso in einer Müsli-Tüte die Haselnüsse immer oben liegen, obwohl sie doch die grössten und schwersten Zutaten sind, dann ist das eine praktische Konsequenz des Paranus-Effekts. Abb. 2 verdeutlicht diesen Effekt. Der Grund dafür ist, dass es sich um einen reinen Packungsdichteeffekt handelt.

Immer wenn beim Schütteln eine kleine Kugel einmal in eine Lücke nach unten gerutscht ist, dann kommt sie aus dieser Lücke nicht mehr heraus.

Deswegen gibt es für die kleinen Kugeln nur eine Richtung, nämlich nach unten.

Dies bedeutet, dass sich die grossen Kugeln, selbst wenn sie viel schwerer sind als die kleinen, nach oben bewegen müssen und sich an der Oberfläche des Behälters anreichern.

Nun ist allen klar, warum James Bond seine Wodka-Martinis schütteln lässt. Bei einem gerührten Cocktail sind die grossen und die kleinen Moleküle gleichmässig im Glas verteilt. Bei dem geschüttelten Getränk sind die grösseren Teilchen (die zyklischen Verbindungen, Aromate) an der Oberfläche angereichert – und diese Teilchen sind für den Geschmack verantwortlich.

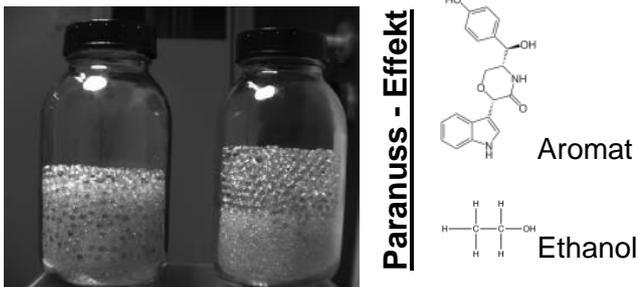


Abb. 2: Beispiel zum Paranus-Effekt. Gemisch aus kleinen und grossen Gaskugeln vor (links) und nach dem Schütteln (rechts). Auf den Martini übertragen: Die grossen aromatischen Moleküle kommen oben und die kleinen Ethanol-Moleküle unten zu liegen.
Quelle: S. Herminghaus: "Dynamics of wet granular matter". *Advances in Physics* 54 (2005) 221

Es ist klar, dass James Bond seinen Wodka-Martini nie austrinkt. Im Gegenteil, da er stets von einem Abenteuer zum nächsten hetzt, schafft er immer nur höchstens einen Schluck seines geliebten Drinks. Dieser eine Schluck soll aber möglichst gut schmecken und dafür sorgt der Paranus-Effekt.

16.4 Erklärung II: Weniger freie Radikale [Chemie, Biochemie]

Im Jahre 1999 haben die Autoren C.C. Trevithick, M.M. Chartrand, J. Wahlmann, F. Rahmann, M. Hirst und J.R. Trevithick vom Department of Biochemistry, Faculty of Medicine and Dentistry an der Universität in London (Western Ontario, Kanada) einen Artikel mit dem Titel: „Shaken, not stirred: bioanalytical study of the antioxidant activities of martinis.“ im *British Medical Journal* veröffentlicht¹.

Wird der Cocktail geschüttelt, dann werden die sogenannten freien Radikale in der Flüssigkeit besser aufgelöst. Die freien Radikale sind sehr aggressiv und entstehen wenn Sauerstoff-Moleküle zerlegt werden. Zu diesen freien Radikalen gehören unter anderem auch Wasserstoffperoxid²-Moleküle. Diese Moleküle spielten bereits als Antrieb beim Raketenrucksack eine Rolle. Freie Radikale sind in der Regel sehr reaktionsfreudige chemische Substanzen.

Gerührt bleiben freie Radikale teilweise im Getränk zurück und können im Körper Schaden anrichten: Nehmen freie Radikale im Körper überhand, dann begünstigen sie Krankheiten wie Krebs, Arteriosklerose und den grauen Star. Im Alkohol sind zudem sogenannte Polyphenole enthalten – pflanzliche Gerbstoffe, die gesund sind, weil sie freie Radikale entschärfen können.
Fazit: Der geschüttelte Martini vernichtet doppelt so viele Radikale wie der gerührte.
Die obige Aussage ist wissenschaftlich untermauert¹.

Quelle: ¹British Medical Journal. C.C. Trevithick et al, *BMJ* Volume 319 1825, December 1999. Seite 1600 - 1602.

²Wasserstoffperoxid (H₂O₂) ist eine schwache Säure und ein starkes Oxidationsmittel. Applikationen: Bleichmittel (Blondieren von Haaren, bei Jägern wird es verwendet um Tierschädel weiss zu bleichen usw.) und Desinfektionsmittel u.a. in hochkonzentrierter Form auch als Komponentenraketen einsetzbar.

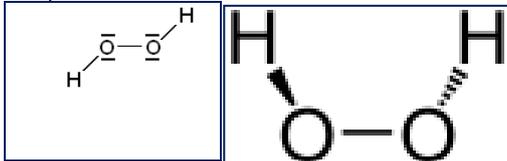


Abb. 3: Strukturformel Wasserstoffperoxid (planar und im Raum)
Quelle: Rominger, Lars: *Chemie – Experimente*.

17. Alles ist Zahl

1. Vollkommene Zahlen

		Hauptgruppen							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Schalen	1								
	2				C				
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								

Ganz besondere und seltene Zahlen sind solche, deren Teiler addiert sie selbst ergeben – dies sind die vollkommenen Zahlen. Die 6 hat die Teiler 1, 2 und 3 und ist daher eine vollkommene Zahl, denn $1+2+3=6$. Die nächste vollkommene Zahl ist 28, denn $1+2+4+7+14=28$. Nicht nur im pythagoreischen Bund hatten die vollkommenen Zahlen eine grosse Bedeutung, sondern auch in anderen Kulturen. Gott schuf alle Dinge in 6 Tagen, weil diese Zahl vollkommen ist. Der Mond umkreist die Erde in 28 Tagen.

Abb. 1: Kohlenstoff besitzt 6 Protonen und 4 Valenzelektronen

Nebst der 6 Protonen ist auch die Positionierung des C in der 4 Hauptgruppe im Periodensystem der Elemente bestechend. Die Vierwertigkeit bzw. Vierbindigkeit ermöglicht dem C u.a. auch die Möglichkeit zu makromolekularen chemischen Verbindungen.

Quelle: Rominger, Lars: Aufstellen von chemischen Formeln und Gleichungen.

2. Befreundete Zahlen

Die Pythagoreer machten die erstaunliche Entdeckung, dass 220 und 284 befreundete Zahlen sind. Das Paar 220 und 284 wurde zum Symbol der Freundschaft. Sie sind eng mit den vollkommenen Zahlen verwandt. Die Teiler von 220 sind 1, 2, 4, 5, 10, 11, 20, 22, 44, 55 und 110, ihre Summe ist 284.

Die Teiler von 284 wiederum sind 1, 2, 4, 71 und 142, ihre Summe ist 220.

Jakob schenkte Esau 220 Tiere. Theologen glauben, diese Zahl, die eine Hälfte des befreundeten Zahlenpaares, sei Ausdruck für Jakobs Liebe zu Esau.

3. Phantastische Zahlen; Avogadro-Konstante: $6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Die Avogadro-Konstante (gelegentlich auch *Loschmidt-Zahl* genannt) hat eine grosse historische Bedeutung für den Nachweis, dass die Materie aus Atomen besteht. Entsprechend der Definition der atomaren Masseinheit u beträgt die Masse m von $6,022 \times 10^{23}$ Atomen ^{12}C im Grundzustand exakt 12 g. Auf Kohlenstoff-12 werden die molaren Massen aller anderen Elemente bezogen.

Wenn jemand einen Schluck Wasser trinkt, hat er damit nicht weniger als $6,022 \times 10^{23}$ Wassermoleküle zu sich genommen. Ein Wassertropfen enthält etwa so viele Wassermoleküle, als sich im ganzen Mittelmeer Wassertropfen befinden.

Eine anschauliche Betrachtung brachte auch Erwin Schrödinger in seinem Buch „Was ist Leben?“ ein. Lord Kelvin: „Nehmen wir einmal an, dass man alle in einem Glas Wasser enthaltenen Moleküle mit einem Kennzeichen versehen könnte. Dann leere man das Glas in den Ozean aus und rühre diesen um und um, bis die gekennzeichneten Moleküle auf allen 7 Weltmeere verteilt sind. Und wenn man dann irgendwo auf einem der Meere ein Glas Wasser schöpfte, dann würde man darin immer noch ungefähr 100 gekennzeichnete Moleküle finden.“

Richard Feynmann schlägt in seinen Vorlesungen einen anderen Vergleich vor um die Grösse von Atomen zu veranschaulichen. „Wenn ein Apfel auf die Grösse der Erde vergrössert wird, dann haben die Atome des Apfels etwa die natürliche Grösse des Apfels.“

Im Universum gibt es 5 – 10 mal mehr Sterne, als Sandkörner an allen Stränden der Welt zusammen, aber ein einzelnes Sandkorn enthält mehr Atome, als es Sterne im Universum gibt.

4. Die Zahl Pi

Hans-Henrik Stølum, ein Geologe an der Universität Cambridge, hat das Verhältnis zwischen der Gesamtlänge von Flüssen und der direkten Entfernung von Quelle und Mündung berechnet. Dieses Verhältnis ist zwar je nach Fluss verschieden, der Mittelwert ist jedoch etwas grösser als 3, das heisst, die tatsächliche Flusslänge dies dreimal so gross wie die Luftlinie. Tatsächlich beträgt das Verhältnis etwa 3.14 und entspricht damit einem Wert in der Nähe von pi, dem Verhältnis des Umfangs eines Kreises zu seinem Durchmesser. Ein Kreis ist vollkommen. Eine Ellipse ist unvollkommen. Ellipse leitet sich vom griechischen Wort für „mangeln“ ab. Der Mangel der Ellipse besteht darin, kein Kreis zu sein.



Abb. 2: Flussschleife der Aller (Bild: Alex Hindemith, PD)

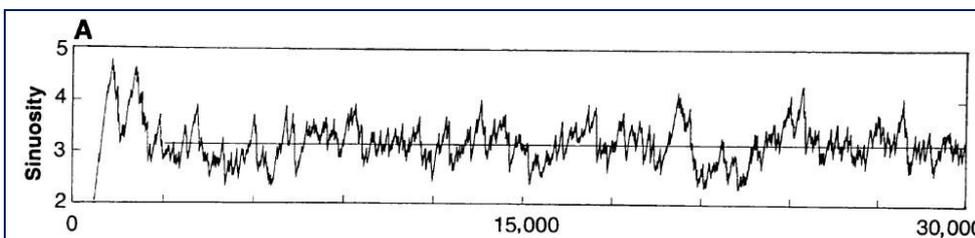


Abb. 3: Mittelwertbildung 3.14. (Grafik von Hans-Henrik Stølum)

5. Imaginäre Zahlen

Ein Buchhalter konnte wohl eine Goldmünze in die Hand nehmen, oder auch eine halbe, doch eine negative Münze konnte er nicht greifen.

Dieses Verlangen nach Vollständigkeit führte die Hindus zur Erfindung der negativen Zahlen. $0 - 1 = -1$. Doch was ist denn die Quadratwurzel von minus 1? Lösung: i

Der deutsche Mathematiker Gottfried Leibniz beschrieb im siebzehnten Jahrhundert ganz treffend die seltsame Natur dieser Zahl: „Die imaginären Zahlen sind eine feine und wunderbare Zuflucht des göttlichen Geistes, beinahe ein Amphibium zwischen Sein und Nichtsein.“

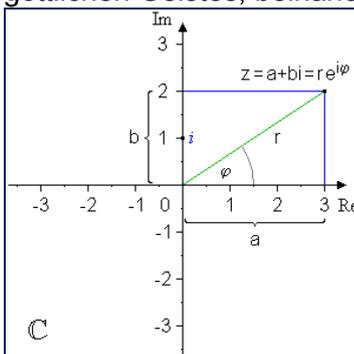


Abb. 4: Darstellung einer komplexen Zahl in der Gaussebene

Quelle: Wikipedia. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/Gaussplane_kartesianAndPolar.png

6. Reise zum Mond



Frage: Wie oft muss man ein Blatt Papier falten, damit es so dick wird, dass es bis zum Mond reicht?

Antwort: 42-mal

Für mathematisch Interessierte: Die Distanz zum Mond beträgt 384'400 km. Ein gewöhnliches Blatt Papier hat eine Dicke von etwa 0.1 mm.

Das Problem führt auf folgende Exponentialgleichung:

$$10^{-4} \cdot 2^x = 3.844 \cdot 10^8$$

Deren Lösung lautet wie folgt:

$$x = \frac{LN \frac{3.844 \cdot 10^8}{10^{-4}}}{LN 2} = 41.8057$$

Winner of the innovations-cheque from the Federal Department of Economic Affairs Switzerland.

designed by Ronald Hirschner - ronald-hirschner@bluewin.ch

Abb. 5: Hot Polymer CF 273. (Innovationspreis)

Pythagoras oder die 9. Sinfonie von Beethoven

1. Ziel und Zweck

Erklärung der Grundzahlen am Beispiel des Lehrsatz von Pythagoras

2. Einleitung

Gemäss Überlieferung liess man Lehrlinge bei ihrer Einweisung in der Schule des Pythagoras auf vier zählen: Eins, zwei, drei, vier. Hatten sie die Zahl „Vier“ ausgesprochen, wurden sie mit der Bemerkung unterbrochen: „Nun habt ihr die Formel ausgesprochen. Wer sich bewusst ist, was die Eins, Zwei, Drei, Vier bedeutet, kann die Türe zum Geheimnis der Schöpfung öffnen.“

3. Erklärung

Die Zahl „Drei“ mit dem Begriff „Mann“ ausgedrückt, findet ihre Vollendung bzw. die Erfüllung ihres Daseins in der Zahl „Neun“. => (3^2) .

Analoges gilt für die Zahl „4“ (Frau) => Vollendung: 16 sowie für die Zahl „5“ (Kind) => Vollendung: 25. Das Kind ist dabei ein Symbol für die Synthese. Diese Synthese kann sich in allen Disziplinen (Wort, Ton, Melodie, Mathematik, Physik, Chemie, Biologie usw.) ausdrücken.

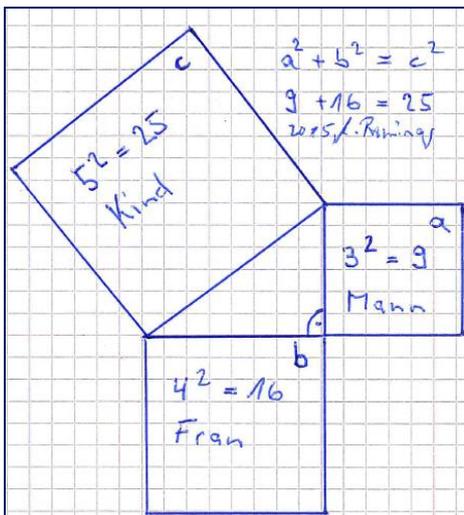


Abb. 1: Pythagoras und Schöpfung. Nach Prof. Weinreb.

Legende zu Abb. 1:

a) 3 => Mann [Vater, Feuer, neue Erde].

Erfüllung des Mannprinzips:

$$3^2 = 9.$$

b) 4 => Frau [Mutter, Wasser, diese Welt, 4 Mondphasen, 4 Jahreszeiten, 4 Himmelsrichtungen,...]

Erfüllung des Frauprinzips:

$$4^2 = 16$$

c) 5 => Kind [Im weiteren Zyklus wird die 5 (Kind) entweder 3 (Mann) oder 4 (Frau)]

Erfüllung des Kindprinzips:

$$5^2 = 25$$

4. Zusammenfassung und Diskussion

Die Synthese von Mann (9) und Frau (16) führt zum Kind (25).

Könnte Goethes Faust, ein Gemälde von z.B. Vincent van Gogh oder Beethovens 9. Sinfonie die Synthese der Begegnungen von Polaritäten, von Weiblichem und Männlichem, von gleichwertiger Materie und Geist sein?

Handelt es sich um einen Zufall, dass die klassischen Seitenverhältnisse von Fernsehern und Monitoren 4:3 war und der heutige Standard der Geräte bei 16:9 liegt?

18. Aufstellen von chemischen Formeln und Gleichungen

Ziel und Zweck:

Mittels einiger einfachen Regeln (Lewis-Formel u.a.) und Anwendungsbeispielen den Weg zur korrekten chemischen Formel und dem Aufstellen der Gleichung aufzeigen.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Die Regeln nach Lewis
2. Aufstellen einer Lewis-Formel am Beispiel CO_2
3. Anwendungsbeispiele
4. Aufstellen von chemischen Gleichungen mit Hilfe der Oxidationszahlen

1. Die Regeln nach Lewis

Bei der Darstellung von Atomen oder Molekülen in der Lewis-Schreibweise müssen einige Regeln berücksichtigt werden:

1.1 Die Valenzschale ist in der ersten Periode bereits mit zwei Elektronen vollständig gefüllt. Die Anzahl der formal möglichen Bindungen, die Bindigkeit, wird durch die Zahl der einfach besetzten Orbitale in der äussersten Schale bestimmt.

1.2 Wasserstoff- und Halogen-Atome erreichen jeweils mit einem weiteren Elektron Edelgaskonfiguration. Sie sind einbindig. Vgl. Abb. 1.

		Hauptgruppen							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Schalen	1	H							
	2							F	
	3							Cl	
	4							Br	
	5							I	
	6							At	
	7								

Abb. 1: Wasserstoff- und Halogen-Atome sind einbindig

1.3. Sauerstoff- und Stickstoff-Atome dagegen benötigen zwei und drei Elektronen für eine abgeschlossene Edelgasschale, d. h. das Sauerstoff-Atom muss zwei Bindungen eingehen, das Stickstoff-Atom muss drei Bindungen eingehen. Ein Sauerstoff-Atom ist somit zweibindig, ein Stickstoff-Atom ist dreibindig. Ein Stickstoff-Atom kann aber auch sein noch freies Elektronenpaar für die Bindung zur Verfügung stellen, so dass Ammonium-Kationen entstehen, beispielsweise durch Addition eines Protons. In diesem Fall ist das Stickstoff-Atom sogar vierbindig. vgl. Abb. 2.

Periodensystem der Elemente									
		Hauptgruppen							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Schalen	1								
	2					N	O		
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								

Abb. 2: Sauerstoff-Atome sind zweibindig. Stickstoff-Atome sind meist dreibindig

1.4 Auch Kohlenstoff- und Silicium-Atome sind vierbindig. vgl. Abb. 3.

Periodensystem der Elemente									
		Hauptgruppen							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Schalen	1								
	2				C				
	3				Si				
	4								
	5								
	6								
	7								

Abb. 3: Kohlenstoff- und Silicium-Atome sind vierbindig

1.5 Besitzt ein Atom unbesetzte d-Orbitale, kann die Zahl von acht Aussenelektronen, das Oktett, leicht überschritten werden.

1.6 Können mehrere Lewis-Formeln für ein Molekül formuliert werden, sollte die Anordnung mit der geringsten Energie gewählt werden: Dies ist gleichbedeutend mit höchstmöglicher Zahl von Bindungen, Ausbildung energiereicher Bindungen und maximale räumliche Entfernung der Atome voneinander.

2. Aufstellen einer Lewis-Formel

Kohlenstoffdioxid hat die Summenformel CO_2 .

Zum Aufstellen der Lewis-Formel muss zunächst die Zahl der Aussenelektronen bestimmt werden. Kohlenstoff, C, steht in der vierten Hauptgruppe (Gruppe 14), besitzt also vier äussere Elektronen. vgl. Abb. 4.

		Hauptgruppen							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Schalen	1								
	2				C				
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								

Abb. 4: Kohlenstoff besitzt vier Valenzelektronen

Sauerstoff, O, steht in der sechsten Hauptgruppe (Gruppe 16) und hat somit sechs Valenzelektronen. vgl. Abb. 5.

		Hauptgruppen							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Schalen	1								
	2						O		
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								

Abb. 5: Sauerstoff besitzt sechs Valenzelektronen



Abb. 6: Lewis-Diagramme von Kohlen- und Sauerstoff-Atomen

Die Summe aller Valenzelektronen beträgt im Kohlenstoffdioxid $1 \times 4 + 2 \times 6 = 16$.

Werden diese 16 Elektronen auf Elektronenpaare verteilt, stehen $16 : 2 = 8$ Elektronenpaare zur Verfügung.

Die drei Atome des Kohlenstoffdioxids können nun auf zwei unterschiedliche Weisen angeordnet werden:



Die Anordnung (1) würde zu einer Bindung zwischen zwei Sauerstoffen und einer Kohlenstoff-Sauerstoff-Bindung führen. Die Anordnung (2) hätte zwei Kohlenstoff-Sauerstoff-Bindungen zur Folge. Welche Anordnung ist energetisch günstiger ?

Eine Kohlenstoff-Sauerstoff-Bindung ist polarer als eine Bindung zwischen zwei gleichen Sauerstoffen und damit energiereicher, also "stärker".

Nachdem Anordnung (2) nach den oben dargestellten Regeln ausgewählt wurde, müssen jetzt nur noch die acht Elektronenpaare so verteilt werden, dass jedes der Atome ein Elektronenoktett erhält.

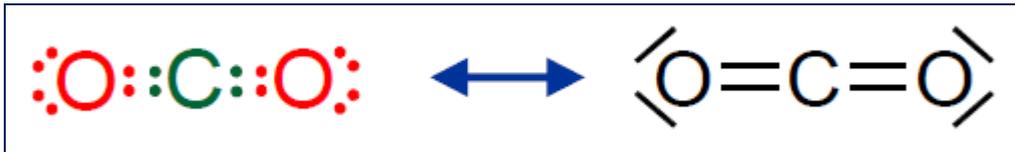


Abb. 7: Lewis-Diagramm von Kohlenstoffdioxid. Punkteschreibweise (links), übliche Strichschreibweise (rechts).

Eine Bindung zwischen zwei gleichen Elementen wird als homonuklear bezeichnet. Sind zwei verschiedene Elemente miteinander verbunden, handelt es sich um eine heteronukleare Bindung.

3. Anwendungsbeispiele

Beispiel 1: Phosphor verbindet sich mit Wasserstoff. Was für eine chemische Verbindung entsteht?

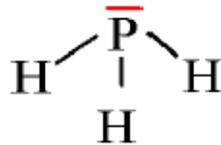
Periodensystem der Elemente

		Hauptgruppen							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Schalen	1	H							
	2								
	3					P			
	4								
	5								
	6								
	7								

Lars Rominger, www.kunststofftechnik.ch

Abb. 8: Beispiel Phosphor verbindet sich mit Wasserstoff

1. Phosphor P hat **5** Elektronen und benötigt 3 Elektronen um die Oktettregel zu erfüllen.
2. Wasserstoff H hat **1** Elektron und benötigt 1 Elektron um die Sättigung zu erreichen.
3. Somit braucht Phosphor drei Wasserstoff bzw. 3 Elektronen um sich zu sättigen.
4. Das Wasserstoff erhält im Gegenzug je ein Elektron vom Phosphor um selber gesättigt zu sein.
5. Lösung: PH_3



Allgemeiner Hinweis: Die nichtbindenden-freien Elektronenpaare sind **rot** gekennzeichnet!

Elektronenpaarkontrolle:

Die Summe aller Valenzelektronen beträgt im PH_3 : $1 \times 5 + 3 \times 1 = 8$.

Werden diese 8 Elektronen auf Elektronenpaare verteilt, stehen $8 : 2 = 4$ Elektronenpaare zur Verfügung.

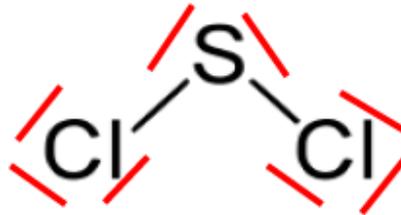
Beispiel 2: Schwefel verbindet sich mit Chlor. Was für eine chemische Verbindung entsteht?

Periodensystem der Elemente

		Hauptgruppen							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Schalen	1								
	2								
	3						S	Cl	
	4								
	5								
	6								
	7								

Lars Rominger, www.kunststofftechnik.ch

1. Schwefel S hat **6** Elektronen und benötigt 2 Elektronen um die Oktettregel zu erfüllen.
2. Chlor Cl hat **7** Elektronen und benötigt 1 Elektron um die Oktettregel zu erfüllen.
3. Somit braucht Schwefel zwei Chlor bzw. 2 Elektronen um sich zu sättigen.
4. Das Chlor erhält im Gegenzug je ein Elektron vom Schwefel um selber gesättigt zu sein.
5. **Lösung SCl_2**



Allgemeiner Hinweis: Die nichtbindenden-freien Elektronenpaare sind **rot** gekennzeichnet!

Abb. 9: Beispiel Schwefel verbindet sich mit Chlor

Elektronenpaarkontrolle:

Die Summe aller Valenzelektronen beträgt im SCl_2 : $1 \times 6 + 2 \times 7 = 20$.

Werden diese 20 Elektronen auf Elektronenpaare verteilt, stehen $20 : 2 = 10$ Elektronenpaare zur Verfügung.

4. Aufstellen von chemischen Gleichungen mit Hilfe der Oxidationszahlen

4.1 Aufgabenstellung

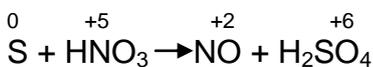
Schwefel wird durch konzentrierte Salpetersäure zu Schwefelsäure oxidiert, wobei Stickoxid entsteht. Bitte schreiben Sie die Gleichung.

4.2 Erstellen des „Gerippe“



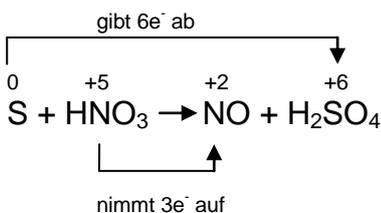
4.3 Bestimmung der Oxidationszahlen und der Elektronenverschiebungen

Der Einfachheit halber setzen wir gleich die Oxidationszahlen für die einzelnen Elemente (S und N) über die Symbole in der Gleichung. Das Ausrechnen dieser Oxidationszahlen können, falls nicht bekannt, im Periodensystem der Elemente nachvollzogen werden.



Jeder Schwefel geht von 0 in +6 über, gibt also 6 Elektronen ab, wird somit oxidiert.

Jeder Stickstoff geht von +5 in +2 über, nimmt 3 Elektronen auf, wird somit reduziert:



4.4 Chemische Gleichung fertigstellen

Stimmt man das Aufnehmen und Abgeben der Elektronen wieder aufeinander ab, so sieht man, dass 2N in die Gleichung gebracht werden müssen, um die 6 Elektronen, die der Schwefel abgibt, unterzubringen. Also steht unsere Gleichung schon:



Rechnet man nach, so erkennt man, dass rechts und links in der Gleichung entsprechende Mengen von Atomen stehen. Eine Ergänzung von Wassermolekülen oder dergleichen auf einer der beiden Seiten ist also nicht mehr nötig.

19. Brownsche Bewegung

1. Definition

Als brownsche Bewegung (oder brownsche Molekularbewegung) wird die vom schottischen Botaniker Robert Brown im Jahr 1827 wiederentdeckte Wärmebewegung von Teilchen Gasen und Flüssigkeiten bezeichnet. Dabei beschreibt jedes Atom oder Molekül eine Bewegung, deren Intensität temperaturabhängig ist. Weniger bekannt ist, dass bereits 1785 Jan Ingenhousz die Bewegung von Holzkohlestaub auf Alkohol beschrieb.

2. Entdeckung

Robert Brown beobachtete im Jahr 1827 unter dem Mikroskop, wie Pollen in einem Wassertropfen unregelmässig zuckende Bewegungen machten. Ursprünglich und gleichzeitig irrtümlich nahm Brown an, dass dies ein Hinweis auf die Lebenskraft sei, die lange Zeit von Wissenschaftlern der organischen Chemie als existent vermutet wurde. Diesen Effekt konnte er aber letzten Endes in weiteren empirischen Experimenten auch an *eindeutig unbelebten* Staubkörnchen beobachten.

Eine beweisbare Erklärung liefern die Moleküle des Wassertropfens, die permanent von allen Seiten gegen die grösseren, sichtbaren Pollenteilchen stoßen, wie 1860 durch die maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung auch mathematisch exakt beschrieben werden konnte. Dass es sich um eine Folge der Bewegung der Flüssigkeitsmoleküle und nicht anderer Ursachen handelt, bewies zuerst Christian Wiener 1863 in Experimenten.

3. Erklärung

Ein Kolloid stösst pro Sekunde etwa 10^{21} -mal mit einem Lösungsmittelmolekül zusammen. Dadurch erfährt es jedes Mal eine Kraft, was zu einer zufälligen Bewegung, einem sogenannten Random Walk (vgl. Abb. 1) führt. Ohne äussere Einflüsse ist die Wahrscheinlichkeit einer Bewegungsänderung in jede Richtung gleich gross. Daher erhält man bei längerer Betrachtung für die Summe der Richtungsänderung Null.

Diffusion, Osmose und Thermophorese basieren auf dieser Bewegung der Teilchen.

3.1 Anschauliche Beispiele

Ameisenhaufen

Man kann sich die Brownsche Bewegung wie folgt vorstellen: Man steht einige Meter entfernt von einem Ameisenhaufen, einzelne Ameisen sind nicht zu sehen. Legt man nun ein Taschentuch auf den Haufen und beobachtet dieses aus derselben Entfernung, so sieht man, dass sich das Taschentuch bewegt. Man kann somit das Gesamtverhalten untersuchen, aber nicht das Verhalten eines "einzelnen".

Verdunstung

Für diesen Fall müssen wir annehmen, dass nicht alle Teilchen sich gleich schnell bewegen. Einige müssen sehr langsam oder sehr schnell sein. Die meisten Teilchen haben eine durchschnittliche Geschwindigkeit. Wie kommt nun ein Teilchen zu einer höheren Geschwindigkeit? Es kann nun vorkommen, dass 2 Teilchen gleichzeitig auf das eine Teilchen prallen. Dieses Teilchen wird dann so schnell, dass es sich frei machen kann und gasförmig wird. Zurück bleiben die langsameren Teilchen. Dies zeigt der Thermometer mit einer tieferen Temperatur an. So erklärt man das Kältegefühl*, das beim Verdunsten des Wassers im Haar spürbar ist. (*Verdunstungskälte).

Zweidimensionale Brownsche Bewegung

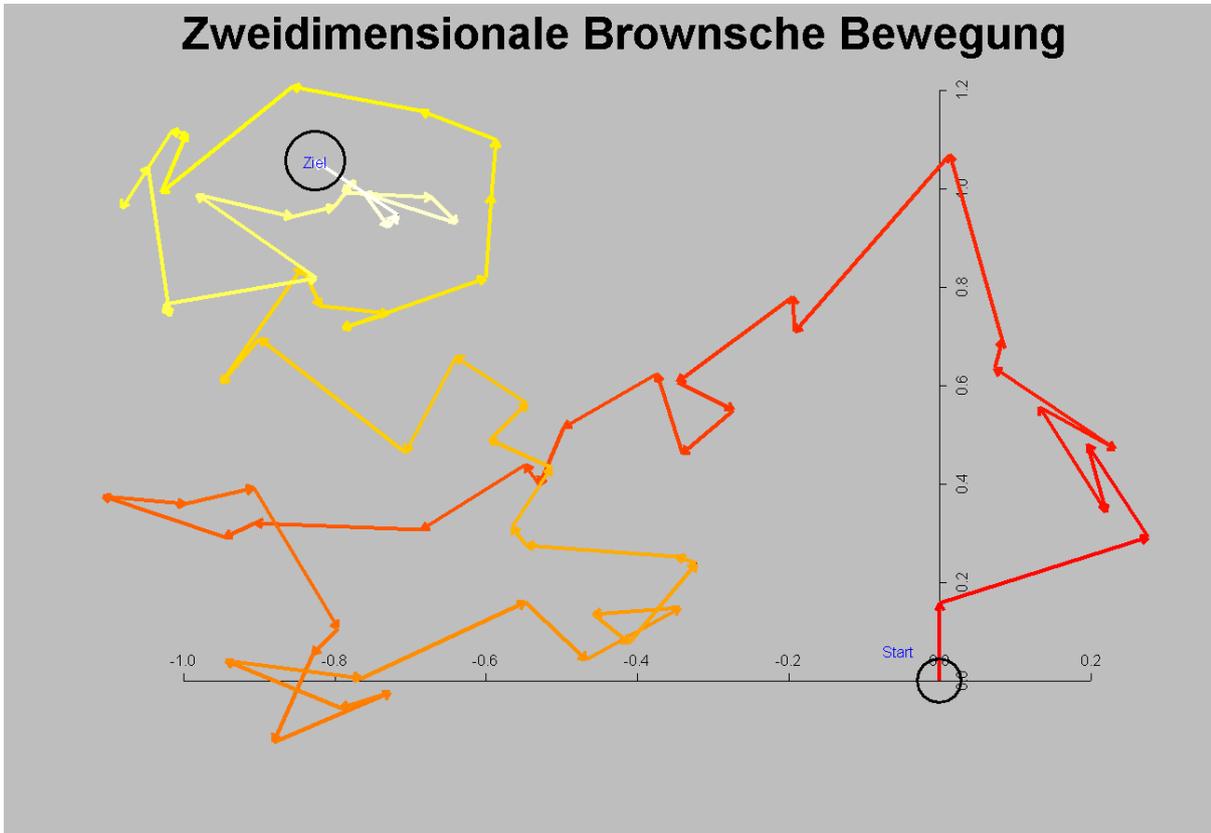


Abb. 1: Zweidimensionelle Brownsche Bewegung (Random Walk)

4. Mathematisches Modell

Verwendet man den Wiener-Prozess als mathematisches Modell für die Bewegung, so kann man σ^2 als mittlere quadratische Verschiebung eines Teilchens pro Zeiteinheit verstehen und experimentell schätzen. Albert Einstein (1905) und Marian Smoluchowski (1906) konnten zeigen, dass

$$\sigma^2 = \frac{RT}{N_A 3r\pi\eta}$$

gilt, wobei R die universelle Gaskonstante, T die absolute Temperatur, N_A die Avogadro-Konstante, r der Radius eines brownischen Teilchens und η die Zähigkeit (innere Reibung) der Flüssigkeit bzw. des Gases ist. So lässt sich die Boltzmannkonstante $k_B = \frac{R}{N_A}$ experimentell bestimmen. U. a. hierfür erhielt Jean Baptiste Perrin 1926 den Nobelpreis für Physik.

In der Mathematik ist eine *brownsche Bewegung* $B = (B_t)_{t \in [0, \infty]}$ ein zentrierter Gauss-Prozess mit Kovarianzfunktion $\text{Cov}(B_t, B_s) = \min(t, s)$ für alle $t, s \geq 0$. Der resultierende stochastische Prozess ist heute zu Ehren von Norbert Wiener, der die wahrscheinlichkeitstheoretische Existenz desselben 1923 bewies, als Wiener-Prozess bekannt.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, eine brownische Bewegung zu konstruieren:

- die abstrakte Konstruktion anhand des Schemas von Kolmogorow, wobei man dann Probleme mit der Pfadstetigkeit bekommt.
- Die Lévy-Ciesielski-Konstruktion: Hierbei wird die brownische Bewegung mit Hilfe der durch das Haarsystem auf $C([0, 1])$ induzierten Schauderbasis bereits als stochastischer Prozess mit stetigen Pfaden konstruiert.
- Seien Z_0, Z_1, \dots unabhängig und standardnormalverteilt.

dann ist

$$S(t) = Z_0 t + \sum_{k=1}^{\infty} Z_k \frac{\sqrt{2} \sin(k\pi t)}{k\pi}$$

eine brownische Bewegung.

Die brownische Bewegung spielt auch bei der Simulation von Aktienkursverläufen eine Rolle, ausserdem dient sie als Grundlage der Erforschung von Warteschlangen.

20. Einführung in die Relativitätstheorie

Betrachtungen zu Laserschwert und Photonentorpedo

Thema: Strahlungsdruck

Aufbau: LarsWars - Klassische Elektrodynamik - Relativitätstheorie

Aufgabenstellung



Darth Vader aus StarWars stösst mit 37ms sein Laserschwert gegen einen feindlichen Roboter.

Der Droide hat 41 kg und das Schwert hat die Klasse 100 MW / 456 nm.

Quelle: www.computer-ag.info

Welchen Rückstoss erhält der feindliche Roboter unter der Annahme, dass er dem Laserschwert standhält und das Licht zu schlucken vermag ?

Kurze Denkpause. Nicht zu lösen mit Zigarettenbeeinträchtigung.



Quelle: www.computer-ag.info

Lösung:

$$\Delta v = \frac{p_t}{m_D} = \frac{E}{cm_D} = \frac{P_L t}{cm_D} = \frac{100 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 37 \cdot 10^{-3} \text{ s}}{3.00 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 41 \text{ kg}} = \underline{\underline{0.30 \text{ mm/s}}}$$

Wir kennen den Impuls $p_i = E/c$ eines Photons oder eines Lichtstrahls, die Aufgabenstellung wäre somit lösbar.

Die Leistung kann aus einer StarWars - Szene abgeleitet werden: Dort wurde mit einem Hieb mit einem Laserschwert ein Bein abgetrennt. Um eine Scheibe Wasser von 1 cm Dicke und 100 cm^2 Fläche in wenigen Millisekunden zu verdampfen, sind Größenordnung 100 MW nötig.

May the Force be with you!

Leiten wir den Impuls p_i eines Photons wie folgt her:

$$\frac{E}{p_i} = \frac{\gamma mc^2}{\gamma mv} = \frac{\gamma mc^2}{\gamma mc} = c \Rightarrow p_i = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Leider ist beim Photon $\gamma = \infty$ und $m = 0$, wir müssen also einen undefinierten Term mit einem undefinierten Term kürzen. Das ist aber gar nicht so einfach, denn die Beziehung $E^2 = m^2 c^4 + p_1^2 c^2$ hilft nur scheinbar weiter, denn sie wird üblicherweise für ein materielles Teilchen hergeleitet.

Es ist nicht a priori sicher, dass sie auch für masselose Photonen gilt. Berechnen wir den Strahlungsdruck mit Hilfe des Impulses. Fällt Licht senkrecht auf eine Fläche und wird vollständig reflektiert, so ist der Druck p_D :

$$p_D = \frac{F}{A} = \frac{|\Delta \vec{p}|}{\Delta t A} = \frac{|2 \vec{p}_i|}{\Delta t A} = \frac{2E}{c \Delta t A} = 2 \frac{J}{c}$$

Diese Rechnung kann man umdrehen und aus dem Strahlungsdruck den Impuls der einfallenden Strahlung bestimmen:

$$p_i = \frac{J \Delta t A}{c} = \frac{E}{c}$$

Wenn man den Strahlungsdruck direkt herleiten könnte, hätten wir somit eine Lösung des Problems.

Strahlungsdruck in der klassischen Elektrodynamik

Dass elektromagnetische Strahlung Druck auf eine bestrahlte Fläche ausübt, wurde 1871 von James Clerk Maxwell theoretisch hergeleitet und 1900 von Pjotr Nikolajewitsch Lebedev experimentell nachgewiesen.¹ Fällt eine elektromagnetische Welle auf einen Metallspiegel, so erzeugt der elektrische Feldstärkevektor Ströme im Metall. Der magnetische Feldstärkevektor übt Kräfte auf diese Ströme aus, welche die Ursache des Strahlungsdrucks sind.

Das Ergebnis ist $p_D = 2J/c$

Dasselbe Gesetz gilt natürlich auch für Schallwellen.

Strahlungsdruck im Photonenbild

Ein Photonentorpedo der Länge l und Querschnittsfläche A enthalte N Photonen der Frequenz f respektive Gesamtenergie $E = Nh f$. Er treffe ein spiegelndes Raumschiff, das mit Geschwindigkeit v flieht. Bei der Reflexion tritt Dopplereffekt auf: Die Frequenz der Photonen und damit deren Energie vermindert sich.

Der Dopplereffekt bei Reflexion an einem bewegten Spiegel ist in erster Ordnung:

$$\frac{\Delta f}{f} \approx 2 \frac{v}{c}$$

Damit ist der Energieverlust des Torpedos bei senkrechter Reflexion:

$$\Delta E = Nh \Delta f = \frac{2Nhfv}{c} = \frac{2Ev}{c}$$

Der Photonentorpedo erbringt mechanische Leistung während der Reflexion:

$$P = Fv \Rightarrow \frac{\Delta E}{\Delta t} = p_D Av \Rightarrow \frac{2Ev}{\Delta t c} = p_D Av \Rightarrow p_D = \frac{2E}{A \Delta t c} = \frac{2J}{c}$$

Somit haben wir den Strahlungsdruck hergeleitet, ohne die dynamische Masse des Photons zu verwenden.

Strahlungsdruck in der Relativitätstheorie

Darth Vader übt das Zustechen mit dem Laserschwert vor dem Spiegel.

Wir betrachten den Vorgang im Ruhesystem des Spiegels respektive des Schwerts.

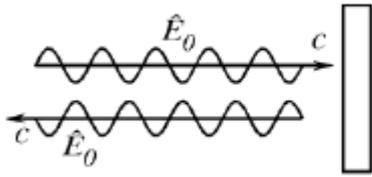


Abbildung 1: Der Spiegel ist in Ruhe. Die einfallende und die reflektierte elektromagnetische Welle haben dieselbe Amplitude \hat{E}_0 . Die Welle falle senkrecht auf den Spiegel.

Sei E_0 die Amplitude der elektrischen Feldstärke einer ebenen, monochromatischen, elektromagnetischen Welle im Vakuum (Abb. 1). Die Amplitude des magnetischen Felds ist proportional dazu: $E_0 = cB_0$. Elektrische und magnetische Feldstärkevektoren stehen senkrecht zueinander und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.

Die über eine Schwingungsdauer gemittelte Energiedichte dieser Welle ist

$$w = \frac{1}{2} \epsilon_0 \hat{E}_0^2$$

und die Energieflussdichte

$$J = wc = \frac{1}{2} \epsilon_0 \hat{E}_0^2 c$$

Was passiert mit dieser Energieflussdichte, wenn wir das Bezugssystem wechseln? (Abb. 2)

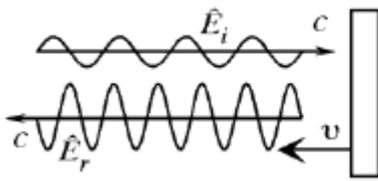


Abbildung 2: Der Spiegel bewege sich mit Geschwindigkeit v . Die einfallende und die reflektierte elektromagnetische Welle haben verschiedene Amplituden.

Die Feldstärken im Ruhesystem des Laserschwerts (Abb. 2) lassen sich durch eine Lorentztransformation aus denen im Ruhesystem des Spiegels (Abb. 1) herleiten.

In erster Ordnung gilt

$$\hat{E}_i = \hat{E}_0 - v\hat{B}_0$$

im Ruhesystem des Schwerts. Die exakten Transformationsgleichungen findet man in ². Es folgt in unserem Fall:

$$\hat{E}_i = \gamma(1 - \beta)\hat{E}_0 \text{ und } \hat{E}_r = \gamma(1 + \beta)\hat{E}_0 \text{ wobei } \beta = v/c \text{ und } \gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$$

Weil sich der Spiegel bewegt, muss man bei der Energieflussdichte der auftreffenden oder reflektierten Strahlung die relative Geschwindigkeit einsetzen:

$$J_i = w_i(c + v) = \frac{1}{2} \epsilon_0 \hat{E}_i^2 (c + v) = \gamma^2 (1 - \beta)^2 \frac{1}{2} \epsilon_0 \hat{E}_0^2 c (1 + \beta) = (1 - \beta) J$$

$$J_r = w_r(c - v) = \frac{1}{2} \epsilon_0 \hat{E}_r^2 (c - v) = \gamma^2 (1 + \beta)^2 \frac{1}{2} \epsilon_0 \hat{E}_0^2 c (1 - \beta) = (1 + \beta) J$$

Der Unterschied von einfallender und reflektierter Energie ist gleich der Druckarbeit:

$$J_r - J_i = p_D v$$

Nun ist aber

$$J_r - J_i = (1 + \beta) J - (1 - \beta) J = 2\beta J = 2\omega J / c$$

Somit folgt für den Strahlungsdruck wie bereits in der klassischen Elektrodynamik hergeleitet:

$$p_D = 2J/c$$

Diese Rechnung ist im Wesentlichen eine vereinfachte Darstellung von Albert Einsteins Herleitung³.

Quellen:

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Radiation_pressure

² J.D. Jackson, "Klassische Elektrodynamik", de Gruyter Verlag, 1982

³ Albert Einstein, "Zur Elektrodynamik bewegter Körper" Annalen der Physik, 4. Folge, Band 17, 1905, Seiten 891-921



21. C₆₀ – Molekül - ein Jungbrunnen?

1. Chemische Annäherung

Bereits aus der Molekülstruktur des C₆₀ (vgl. Abb. 1) können wichtige Grundeigenschaften abgeleitet werden, die das chemische Verhalten wesentlich beeinflussen.

Im C₆₀ sind sämtliche Kohlenstoffatome sp²- hybridisiert und in ihren Eigenschaften identisch. Darüber hinaus ist jedes Atom mit drei weiteren über eine Doppel- und zwei Einfachbindungen verknüpft, wobei Doppel- und Einfachbindungen alternierend auftreten.

Für ein derartiges Molekül würde man annehmen, dass es aromatischen Charakter besitzt, d.h. die pi-Elektronen sind delokalisiert, und alle Bindungen sind von gleicher Länge. Jedoch ist dies beim C₆₀ nicht der Fall. Die Bindungen zwischen zwei Kohlenstoff-Sechsringen sind mit 138 pm deutlich kürzer als die Bindungen zwischen einem Fünf- und einem Sechsring (145 pm).

Sie besitzen Doppelbindungscharakter, während die letzteren Einfachbindungscharakter aufweisen. Dies schliesst somit eine vollständige Delokalisierung der pi-Elektronen aus.

In der Tat weist das C₆₀ Reaktionen auf, die denen konjugierter, elektronenarmer Polyalkene gleichen.

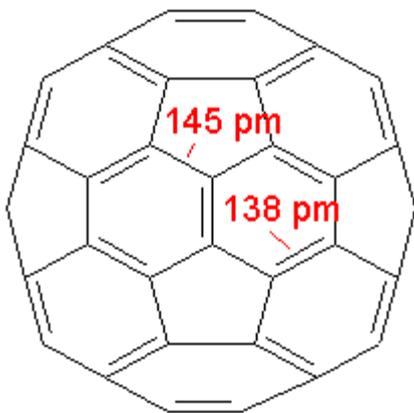


Abb. 1: Struktur des C₆₀-Buckminsterfullerens

2. Praktische Ableitung

Aufgrund der in Punkt 1 beschriebenen Bindungsverhältnisse im Molekül kann somit davon ausgegangen werden, dass das C₆₀ extrem viele Radikale aufnehmen und binden kann.

D.h. es handelt sich bei diesem Molekül um einen ausgesprochenen Radikalfänger. Die Radikalfänger sollen bei der Haut für den Alterungsprozess mitverantwortlich sein. Deswegen kommt das C₆₀-Molekül zum Beispiel in Anti-Aging-Cremes zur Anwendung.

Noch interessanter ist jedoch die Tatsache, dass die orale Gabe von C₆₀ aufgelöst in Olivenöl (0,8 mg/ml) in wiederholten Dosen (1,7 mg/kg Körpergewicht) bei Ratten nicht nur keine chronische Giftigkeit zur Folge hat, sondern die Lebensdauer der Ratten nahezu verdoppelt.

Quellen: Tarek Baati, Fanchon Bourasset, Najla Gharbi, Leila Njim, Manef Abderrabba, Abdelhamid Kerkeni, Henri Szwarc, Fathi Moussa: *The prolongation of the lifespan of rats by repeated oral administration of [60]fullerene*, *Biomaterials*, Volume 33, Issue 19, June 2012, S. 4936–4946.

22. Eine Synthese aus Diamant- und Gold-Standard

Hot Polymer CF 273. Der Wissenschaft zuliebe Werkstoff-Innovation in der Kunststoffchemie

Kunststoffe werden im Alltagsleben als perfekte Isolatoren wahrgenommen. Der spritzgiessbare Faserverbundkunststoff Hot Polymer CF 273 verhält sich jedoch in mancher Hinsicht wie ein Metall.

Damit ein Werkstoff Strom leiten kann, muss es über bewegliche Elektronen verfügen. Bei den Metallen bewerkstelligen dies deren äusseren Elektronen. Diese Elektronen verfügen über keine klar zugeordnete Atomzugehörigkeit und können sich deswegen im Metallgitter frei in alle Raumrichtungen bewegen. Im Gegensatz zu den Metallen sitzen bei Isolatoren oder Nichtleitern wie Diamant und vielen Kunststoffen die Elektronen in Einfachbindungen zwischen benachbarten Atomen fest.

Eine Mittelstellung nimmt Graphit ein – ein enger Verwandter des Diamanten. Beim Graphit sind innerhalb einer Schicht bestimmte Elektronen frei beweglich. Dieser Effekt kann mit dem andersartigen molekularen Aufbau begründet werden. Von den vier Valenzelektronen des Kohlenstoffs werden nur deren drei genutzt, um Sechsecke analog einem bienenwabenartigen ebenen Gerüst zu bilden. Die p-Orbitale (hantelförmige Aufenthaltsräume) des vierten Elektrons ragen beim Graphit zu beiden Seiten aus der Schicht heraus und überlappen sich so zu einem halb gefüllten Leitungsband. Dies ermöglicht eine Bewegung in zwei Dimensionen (anisotrop), somit exakt innerhalb der Schichten.

Hot Polymer CF 273 verfügt über aufgrund des hohen Metallcharakters über delokalisierte Elektronen in allen Raumrichtungen (isotrop), kann jedoch im Gegensatz zu reinen Metallen trotzdem wie ein thermoplastischer Kunststoff spritzgegossen werden und verfügt im Vergleich zu Werkstoffen von Mitbewerbern über eine signifikant höhere Leitfähigkeit. vgl. Abb. 1.



Abb. 1: Leitfähigkeits-Ergebnisse Hot Polymer CF 273 im Vergleich zu Werkstoffen von Mitbewerbern. (Auszug).

23. Backen für Chemiker

„LarsWars“ - Cake

INHALTSVERZEICHNIS

1. Zielstellung mit Begründung
2. Vorwissen
3. Experiment
 - 3.1 Apparatur
 - 3.2 Messgeräte
 - 3.3 Stoffe
4. Durchführung
 - 4.1 Aufbau
 - 4.2 Versuch
 - 4.3 Beobachtung
 - 4.4 Entsorgung
5. Folgerung
 - 5.1 Deutung und Ergebnis
 - 5.2 Ausblick
6. Literatur und Bearbeitung
 - 6.1 Autor (Text)
 - 6.2 Literatur

1. Zielstellung mit Begründung

Schnellste und einfachste Herstellung eines laktosefreien Kuchen in DarthVader-Form.
Synthese: < 10 Min. Aushärtezeit: < 60 Min.

2. Vorwissen

Der Schwierigkeitsgrad ist bewusst tief gehalten, denn in der Regel haben Chemiker keine Back-Kenntnisse.

3. Experiment

3.1 Apparatur



Abb. 1: Backofen

Abb. 3: Darth-Form (Metall)



Abb. 2: Darth-Form (Silikon)



- Mischbehälter mit Fassungsvermögen > 3 Liter
- Rührereinheit

3.2 Messgeräte

Standard-Joghurtbecher 180g (=> wird als Volumen-Masseinheit verwendet)
Temperaturregelung und Zeitmessung

3.3 Stoffe

Eier
Zucker
Sonnenblumenöl
Joghurt auf Soyabasis
Mehl
Backpulver

4. Durchführung

4.1 Aufbau

vgl. 3.1 Apparatur

4.2 Versuch

- Backofen bei Umluft auf 170°C vorheizen.
- Die nachfolgenden Zutaten in den Mischbehälter (vgl. 3.1 Apparatur) geben und gut verrühren bzw. homogenisieren.
Masseinheit: Standard-Joghurtbecher 180g. Nachfolgend als Becher bezeichnet. (vgl. 3.2 Messgeräte. Volumen-Masseinheit).
- 4 Eier
- 2 Becher Zucker
- 2 Becher Sonnenblumenöl
- 1 Becher Joghurt auf Soyabasis
- 4 Becher Mehl
- 1 Pck. Backpulver
- Den Rührteig in die vorbereiteten Darth-Backformen (vgl. Bild 2; 3 und 4) abfüllen.



Abb. 4: In Darth-Formen abgefüllter Rührteig

- Im vorgeheizten Backofen bei Umluft und 170°C ca. 60 Min. backen.

4.3 Beobachtung



Abb. 5: Rührteig in Darth-Formen nach 1Std. bei 170°C

4.4 Entsorgung

Es müssen keine besonderen Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden.

5. Folgerung

5.1 Deutung und Ergebnis

Beim Backen laufen eine Vielzahl von chemischen Reaktionen ab: von der Denaturierung von Eiweiss, Zucker-Reaktionen (\Rightarrow Sandmeyerreaktion), CO_2 -Entwicklung von Treibmitteln, Verkleisterung der Stärke u.a.

Eine besondere Bedeutung kommt dem Backpulver (eine Mischung aus einer CO_2 -Quelle, meist Natriumhydrogencarbonat oder Kaliumhydrogencarbonat und einem Säuerungsmittel, oftmals Dinatriumdihydrogendiphosphat oder Monocalciumorthophosphat als Säureträger, Trennmittel und ev. Aromastoffe) zu.

Durch die im Backofen erzeugte Hitze von 170°C und der Feuchtigkeit reagiert das Natron (Natriumhydrogencarbonat) mit der Säure (Dinatriumdihydrogendiphosphat) und setzt Kohlenstoffdioxid frei, dadurch entstehen kleine Gasbläschen, dass zur Auflockerung des Teiges führt. Die chemische Reaktion lässt sich dabei wie folgt formulieren:



Da die Zielvorgabe (vgl. Pkt. 1 Zielstellung mit Begründung) des LarsWars-Cake u.a. die Schnelligkeit war, haben wir keine Backhefe verwendet. D.h. die Zugabe von Backpulver verkürzt die Zubereitungszeit signifikant, da Hefepilze und Bakterien zur Produktion von CO_2 mehr Zeit benötigen (Zeitfenster: 0.5 Std. bis zu 24 Std.). Allerdings muss angemerkt werden, dass sich die Teigsorten in den Kriterien Geschmack und Konsistenz erheblich unterscheiden.



Abb. 6: LarsWars - Cake

5.2 Ausblick

Die Reihe „Backen für Chemiker“ wird fortgesetzt.

6. Literatur und Bearbeitung

6.1 Autor (Text)

Lars Rominger

6.2 Literatur

Experimentalchemie

Quelle: <http://www.kunststofftechnik.ch/pdf/experimentalchemie.pdf>

24. Schwindung und Eigenspannungen bei Kunststoffen

I) Schwindung

1. Einleitung

Thermoplastische Kunststoffe sind viskoelastische Werkstoffe. Sie zeigen die als Kriechen bekannte Eigenschaft, sich zeit-, temperatur- und lastabhängig zu verformen. Nach Entlastung nimmt ein Formteil je nach Höhe und Dauer der Belastung seine ursprüngliche Gestalt ganz oder teilweise wieder an. Die rückstellbare Verformung entspricht dem elastischen, die bleibende dem plastischen Anteil. Dieses viskoelastische Verhalten (Stichwort: Maxwell-Modell) muss bei der Dimensionierung von Formteilen entsprechend berücksichtigt werden.

2. Verarbeitungsschwindung

Schwindung zwischen den Massen des Werkzeugs und denen des Formteils bei Raumtemperatur. Sie resultiert aus der Volumenkontraktion der Formmasse im Spritzgiesswerkzeuges infolge Abkühlung, Änderung des Aggregatzustandes und der Kristallisation. Sie wird durch die Geometrie (freie oder behinderte Schwindung) und die Wanddicke des Formteils bestimmt. Zudem spielen Anschnittlage und -grösse, die Verarbeitungsparameter sowie die Lagerzeit, v.a. bei erhöhten Temperaturen (vgl. Pkt. 4. Generell. Stichwort „Relaxationsprozesse“) eine entscheidende Rolle. Das Zusammenwirken dieser verschiedenen Faktoren macht eine exakte Vorhersage der Schwindung schwierig.

3. Nachschwindung

Abhängig von den Verarbeitungsbedingungen (vgl. Abb. 1) kann es zu einer Nachschwindung der Bauteile kommen.

4. Generell

Bei Raumtemperatur ist der Schwindungsprozess bei Kunststoffen nach 72 Stunden vollständig abgeschlossen. (Stichwort: Warmmasstabelle). Bei erhöhten Temperaturen ($> 60^{\circ}\text{C}$) werden in der Regel Relaxationsprozesse angestoßen. (Stichwort: Memory-Effekt, behinderte Schwindung, Eigenspannungen mit Spannungsriss-Folge bzw. Dehnung $> 0.3\%$).

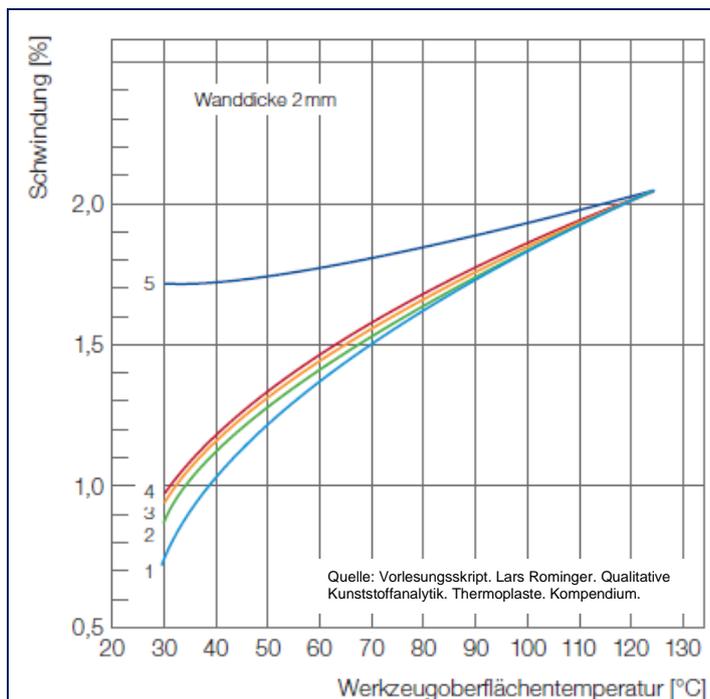


Abb. 1: Schwindung von unverstärktem Polybutylenterephthalat in Abhängigkeit von der Werkzeugoberflächentemperatur und den Bedingungen nach der Verarbeitung¹.

¹ Messlänge: 107mm. Massetemperatur: 265°C. Nachdruck: 660bar.

Legende:

1. Schwindung 1 Stunde nach dem Spritzgiessen vermessen.
2. Nachschwindung 24 Stunden nach dem Spritzgiessen gemessen.
3. Nachschwindung 14 Tage nach dem Spritzgiessen gemessen.
4. Nachschwindung 60 Tage nach dem Spritzgiessen gemessen.
5. Nachschwindung nach dem Tempern gemessen (120°C / 24 Std.)

5. Praktischer Exkurs: Spritzgussparameter und der Einfluss auf die Schwindung

Spritzgussparameter die zu einer erhöhten Schwindung führen:

Parameter	Einstellung	Einfluss	Referenz
Massetemperatur	Erhöhen	Geringfügig	N/A
Einspritzgeschwindigkeit	Senken	Geringfügig	N/A
Nachdruck	Senken	Signifikant	Abb. 2 und 3.
Werkzeugtemperatur	Erhöhung	Signifikant	Abb. 4 und 5.

5.1 Einfluss von Massetemperatur und Einspritzgeschwindigkeit

Massetemperatur und Einspritzgeschwindigkeit beeinflussen die Schwindung nur wenig. Mit ansteigenden Massetemperaturen und abnehmender Einspritzgeschwindigkeit erhöht sich die Schwindung geringfügig.

5.2 Einfluss des Nachdruckes

Gezielte Nachdruckänderungen sind ein besonders wirksames Mittel für Masskorrekturen (siehe Abb. 2 und 3). In manchen Fällen ist es zweckmässig, den Nachdruck stufenweise zurückzunehmen, um übermässige Eigenspannungen zu vermeiden. Aus demselben Grund soll die Nachdruckzeit so begrenzt werden, dass gerade keine Einfallstellen mehr entstehen.

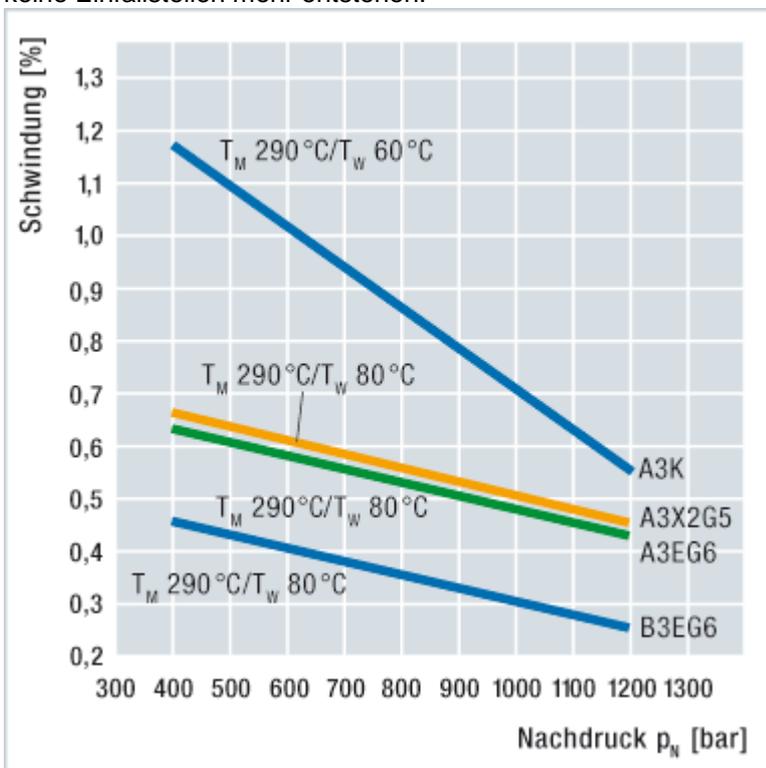


Abb. 2: Schwindung von Ultramid A und B in Abhängigkeit vom Nachdruck; Testkästchen: Dicke = 1,5 mm

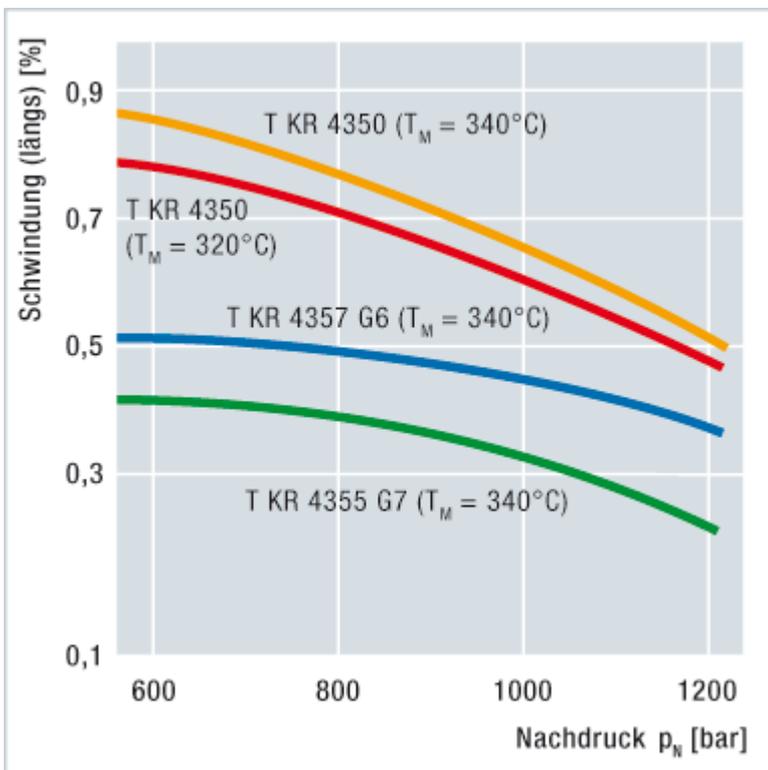


Abb. 3: Schwindung von Ultramid T in Abhängigkeit vom Nachdruck; Testkästchen: Dicke = 1,5 mm; TW = 80 °C

5.3 Einfluss der Werkzeugtemperatur

Unter Werkzeugtemperatur ist hier die Werkzeugoberflächentemperatur zu verstehen. Wie in Abbildung 4 und 5 ersichtlich, nimmt die Schwindung bei steigender Werkzeugtemperatur stark zu. Durch Optimierung der Werkzeugtemperatur können oftmals die Masse in den erforderlichen Toleranzbereich gebracht werden.

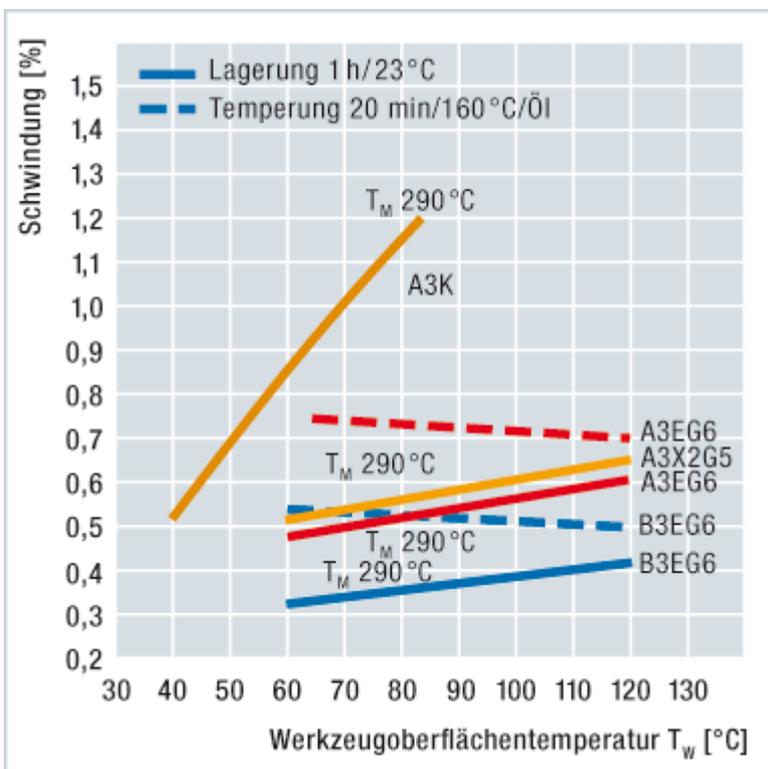


Abb. 4: Schwindung von Ultramid A und B in Abhängigkeit von Werkzeugoberflächentemperatur und Temperung; Testkästchen: Dicke = 1,5 mm

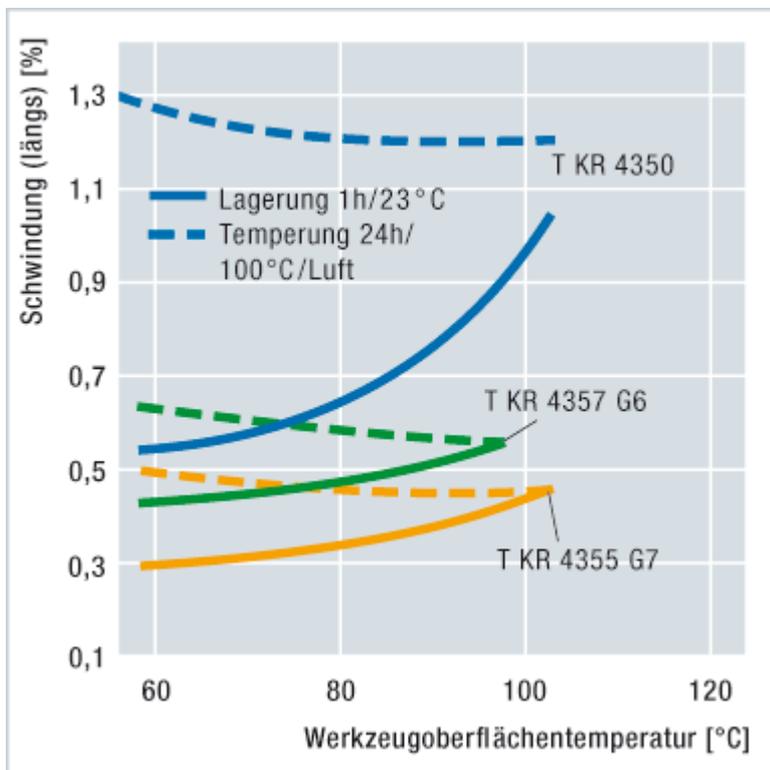
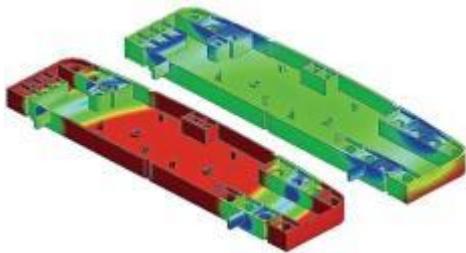


Abb. 5: Schwindung von Ultramid T in Abhängigkeit von der Werkzeugoberflächentemperatur und Temperung; Testkästchen: Dicke = 1,5 mm; Nachdruck = 800 bar; TM = 340 °C

Mit Computersimulation volumetrische Schwindung reduzieren



Mit Design of Experiment steht dem Anwender ein Hilfsmittel zur Verfügung, um auf Basis vorhandener Berechnungsergebnisse systematisch mittels statistischer Versuchsplanung schneller und effizienter, optimale Prozessparameter zu erzielen. Benötigt wird in der Regel ein Minimum an manuellen Eingabedaten seitens des Anwenders. Anschliessend führt das Modul mit der Taguchi-Methode eigenständig und parallel Iterationen der Ergebnisse durch. Bei einem vorliegenden Bauteil traten volumetrische Schwindungen zwischen 0,01 bis 3,31% auf. Ziel war es, diese zu minimieren. Mit den mittels Design of Experiment optimierten Spritzgussparametern konnte die volumetrische Schwindung auf 0,16 bis 1,48% reduziert werden.

II) Eigenspannungen und Spannungsrisssproblematik

1. Einleitung in die Spannungsrisssproblematik

Wie der Begriff „Spannungsrisse“ aussagt, sind Spannungen und damit Dehnungen ihre wesentliche Ursache. Dehnungen entstehen:

- a) durch Gewichtsbelastungen, Federkräfte, Presssitze usw.
- b) infolge ungünstiger Verarbeitung, z.B.: Abkühleigenspannungen, Eigenspannung durch Expansion, Eigenspannung durch Strömungseffekte.
- c) infolge ungünstiger Formteilgestaltung, z.B.: scharfe Kanten, ungünstige Lage des Angusses und des Anschnittes, ungleiche Wanddicken, ungünstige Rippengestaltung, umspritzte Metalleinlagen.

Folgende Arten von Spannungen können unterschieden werden:

1.1 Abkühleigenspannungen

Abkühleigenspannungen entstehen durch die ungleiche Temperaturverteilung im Formteil (=> warmer Kern, kalter Rand), dabei entstehen zwangsläufig Dehnungsbehinderungen der einzelnen Schichten, was wiederum Eigenspannungen und thermische Kontraktion auslöst.

1.2 Eigenspannung durch Expansion

Prinzipiell sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- Entformung unter Restdruck
- zu weich ausgelegtes Werkzeug

Entformung unter Restdruck entsteht wenn im Innern des Teiles noch ein Restdruck herrscht, der auf die äusseren Schichten drückt, dabei werden die äusseren Schichten gedehnt.

So entstehen in den äusseren Schichten Zugspannungen, die möglicherweise so gross sein können, dass das Bauteil zerstört wird. (Spannungsrisse).

Zu weich ausgelegte Werkzeuge gehen oft mit dem „Symptom Entformungsschwierigkeiten“ einher. Das zu weich ausgelegte Werkzeug gibt dem Spritz- bzw. Nachdruck nach und das Formteil kann sich in der Kavität wie bei einem Hinterschnitt „verkrallen“.

1.3 Eigenspannung durch Strömungseffekte

Wie das Wort „Strömungseffekte“ bereits vermuten lässt, entstehen die Eigenspannungen durch spezifische Fließströmungen. Im speziellen, oder besser gesagt spezifisch sind damit die Dehnströmungen gemeint, die über die Eigenart verfügen eine **biaxial verstreckte** Fließfront zu erzeugen, die an der Aussenwand des Formnestes schlagartig eingefroren wird.

Diese Randschichten bewirken nach der Entformung eine starke Zugbeanspruchung.

=> Spannungsrisssbildung.

Extrembeispiel: Füllen von Formteilecken. Die Ecken werden erst am Ende des Formfüllvorgangs mit dem Nachdruck gefüllt. Da die Aussenhaut bereits stark abgekühlt ist, kommt dies einer Kaltverstreckung gleich. In diesem Bereich entstehen sehr hohe Zugspannungen und stellt so einen sehr gefährdeten Bereich für Spannungsrisssbildung dar!

2. Einleitung in die Lösungsmitteltests

Bei Einwirkung von bestimmten Mitteln entstehen nach kurzer Zeit Risse, wenn eine für die betreffende Kunststoff-Prüfmedium-Kombination charakteristische Dehngrenze überschritten wird. Dies kann ausgenützt werden, um festzustellen, ob die inneren Spannungen einen bestimmten zulässigen Wert überschreiten. **Nachfolgend sind Lösungsmittel-Tests beschrieben, bei deren Bestehen im praktischen Einsatz keine Risse zu befürchten sind.**

3. Lösungsmitteltest am Beispiel Polycarbonat (PC)

Prüfmedium: Toluol und n-Propanol (Mischungsverhältnis 1:3)

Prüfdauer: 3 Minuten.

Wartezeit: 30 Minuten.

Prüfungsablauf:

- a) Die Formteile werden während der Prüfdauer ins Prüfmedium (23+/-2°C) getaucht.
- b) Nach der Entnahme der Formteile sofort durch Abwischen, Abspülen oder Abblasen vom Prüfmedium befreien.
- c) Nach Ablauf der Wartezeit werden die Teile auf entstandene Risse geprüft. Am deutlichsten kommen dies bei transparenten Teilen zum Vorschein. Bei nicht transparenten Teilen muss mit einem Mikroskop genau kontrolliert werden.
- d) Risse bedeuten, dass im Teil Dehnungen in der Grössenordnung von 0.3% oder grösser vorhanden sind, die in der Praxis zur Rissbildung führen können.
- e) Geprüfte Teile dürfen nicht weiter verwendet werden.

Bei deren Bestehen sind im praktischen Einsatz keine Risse zu befürchten.

Weitere Empfehlungen für rissauslösende Medien bei Prüfung der Spannungsrisseignung verschiedener Kunststoffe

Kunststoff-Kurzzeichen	Rissauslösende Medien	Eintauchzeit
PE	Tensid Lösung (2%), 50°C Tensid Lösung (2%), 70°C Tensid Lösung (5%), 80°C	> 50 Std. 48 Std. 4 Std.
PP	Chromsäure, 50°C	
PS	n-Heptan Petroleum-Benzin, Siedebereich 50 – 70°C n-Heptan : n-Propanol (1:1)	
SB	n-Heptan Petroleum-Benzin, Siedebereich 50 – 70°C n-Heptan : n-Propanol (1:1) Ölsäure	
SAN	Toluol : n-Propanol (1:5) n-Heptan Tetrachlorkohlenstoff	15 Min.
ABS	Diöctylphthalat Toluol : n-Propanol (1:%) Methanol Essigsäure (80%) Toluol	15 Min. 20 Min. 1 Std.
PMMA	Toluol : n-Heptan (2:3) Ethanol n-Methylformamid	15 Min.
PVC	Methanol Methylenchlorid Aceton	30 Min. 3 Std.
POM	Schwefelsäure (50%), örtliche Benetzung	bis 20 Min.
PC	Toluol : n-Propanol (1:3 bis 1:10) Tetrachlorkohlenstoff Natronlauge (5%)	3 – 15 Min. 1 Min. 1 Std.
PC + ABS	Methanol : Ethylacetat (1:3) Methanol : Essigsäure (1:3) Toluol : n-Propanol (1:3)	
PPE + PS	Tributylphosphat	10 Min.
PBT	1n-Natronlauge	
PA 6	Zinkchloridlösung (35%)	20 Min.
PA 66	Zinkchloridlösung (50%)	1 Std.
PA 6-3-T	Methanol Aceton	1 Min.
PSU	Ethylenglykolmonoethylether Essigsäure-Ethylester 1,1,1-Trichlorethan : n-Heptan (7:3) Methylglykolacetat Tetrachlorkohlenstoff 1,1,2-Trichlorethan Aceton	1 Min. 1 Min.
PES	Toluol Ethylacetat	1 Min. 1 Min.
PEEK	Aceton	
PAR	Natronlauge (5%) Toluol	1 Std. 1 Std.
PEI	Propylencarbonat	

Tabelle nach Saechtling. Kunststoff Taschenbuch. Hanser.

III) Weitere Methoden zur Sichtbarmachung von Eigenspannungen, Orientierungen und Kristallisationsgrad

Es gibt eine Vielzahl von Methoden um eingefrorene Spannungen, Orientierungen und Kristallisationsverhalten messen zu können.

Molekül-Orientierungen:

Bei amorphen bzw. transparenten Kunststoffen mit Hilfe der Polarisationsoptik (polarisiertes Licht), da orientierte Teile doppelbrechend sind. Bei teilkristallinen Kunststoffen eignet sich die röntgenographische Methode und über das Messen der Schrumpfung.

Füllstofforientierungen:

Röntgenographisch oder durch optische Auswertung von Anschliffen bzw. Dünnschnitten; Mikrotomschnitt.

Kristallisationsverhalten:

Die Kristallite sind so klein, dass sie im Lichtmikroskop nicht mehr erkennbar sind, sondern nur noch mit dem Raster-Elektronen-Mikroskop (REM).

Die Kristallite bilden jedoch Überstrukturen, sog. Sphärolite, die lichtmikroskopisch gut zu erkennen sind. Der Prozentsatz des kristallinen Anteils, kann röntgenographisch, ultrarotspektroskopisch, Kernresonanzspektroskopie und mit Differential-Scanning-Calorimetry (DSC) gemessen werden.

Nachfolgend wird auf das polarisierte Licht näher eingegangen:

Einleitung

Einen Lichtstrahl kann man sich als Welle vorstellen die sich in einer Ebene schwingend in eine Richtung bewegt. Nehmen wir mal ein paar Lichtstrahlen von der Sonne, die auf Sie zukommen. Diese würden sich (nahezu) parallel bewegen. Und ein jeder würde in einer gedachten Ebene auf Sie zu schwingen (wie wenn Sie von vorne auf eine Sinuslinie schauen würden).

Von normalen Lichtquellen breitet sich diese Wellen ungerichtet (nicht polarisiert) aus. Also können sie in allen erdenklichen Ebenen auf Sie zu schwingen. Dann gibt es aber etwas, was sich Polarisator nennt. Dies kann man sich vorstellen wie einen Kamm, der dann nur Wellen durchlassen würden die in der Ebene der Kammzinken laufen. vgl. Abb. 2. Also können wir uns dahinter "gekämmtes" Licht vorstellen – dies nennt sich dann polarisiertes Licht.

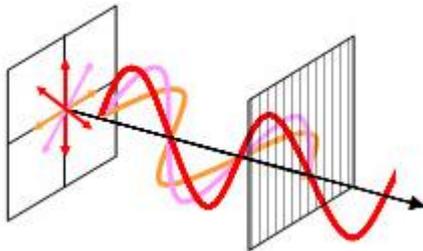


Abb. 2: Polarisiertes Licht (Kamm-Modell).

Licht kann seine Polarisation ändern je nachdem, was wir damit machen. Mit dem Polarisator können wir z.B. nur Licht einer Schwingungsebene durchlassen, alle anderen Lichtstrahlen werden geblockt und ausgelöscht.

Um es etwas komplizierter zu machen: Alles ist noch frequenzabhängig. Sprich grünes und rotes Licht wird sich entsprechend anders verhalten. Und es kann sich auch etwas ändern, wenn man das Licht durch einen Körper scheint, der augenscheinlich überall die gleichen Eigenschaften hat.

Was noch zu sagen ist: der Mensch nimmt polarisiertes Licht im Normalfall nicht als solches wahr. Der Mensch kann es ohne Hilfsmittel kaum unterscheiden von "normalem" Licht. Aber wenn man das polarisierte Licht ändert und es dann nochmals durch einen Polarisator (der zweite heisst dann aber Analysator) filtert, dann kann man es sichtbar machen durch die Auslöschung bestimmter Wellenlängen.

Versuch mit Alltagsgegenständen

Was wir für einen einfachen Versuch jetzt brauchen sind drei Dinge:

- einen Polarisator, (bzw. eine polarisierende Lichtquelle)
- einen Analysator,
- und ein paar Anschauungsstücke.

Das letzte ist leicht. Einfach alles aus transparentem Kunststoff hernehmen, was Ihnen in die Finger fällt. Sobald der Versuch funktioniert, wird Ihnen alles Mögliche an untersuchungswerten transparenten Kunststoffteilen in die Finger fallen.

Für den Anfang nehmen wir mal eine einfache CD-Hülle oder ein Geodreieck.

Als polarisierende Lichtquelle nehmen wir einen Flüsskristallbildschirm. (z.B. einen Laptopbildschirm, einen frei stehenden Flachbildschirm, ein Handydisplay dürfte auch gehen.)

Je grösser desto besser natürlich. So ein Gerät sendet (im Vergleich zu einem normalen Bildschirm) polarisiertes Licht aus wegen seiner Kristallstruktur.

Und das letzte hat leider nicht jeder im Haus aber sicher noch viele: wir brauchen einen Polfilter Wer einen Fotoapparat daheim hat (auf Kompaktkameras eher nicht), hat so einen Filter zum Aufschrauben vielleicht. Auch hier gilt: je grösser, desto besser. Ansonsten kann man die auch für ein paar Franken bestellen. Ob der Filter zirkulär polarisierend ist oder nicht stört uns nicht sehr, da dies nur eine zweite Schicht kameraseitig für die Kameraelektronik ist. Drehen Sie den Filter deshalb dann einfach andersherum.

Was auch geht, ist eine 3D-Brille (z.B. aus einem IMAX -Kino). Es muss jedoch eine sein, die einfach nur grau und simpel aussieht. (Rot-Grün-Brillen funktionieren nicht, Shutterbrillen auch nicht). Die sollten Sie aber entweder abnehmen und vor Ihren Anschauungsgegenstand halten oder ein Auge schliessen wenn Sie sie aufhaben. Grund: Da die Gläser verschieden polarisieren und Ihr Gehirn sonst verschiedene Farbinfos von beiden Augen erhält.

So, wenn wir denn jetzt alles haben kann der Versuch starten:

Wir halten einfach den transparenten Kunststoffgegenstand vor unsere helle Quelle polarisierten Lichtes und davor nochmal den Polfilter.

Das gerade noch farblos transparente Anschauungsobjekt erscheint in den schönsten Farben.

Überleitung in die Kunststoffanalytik

Wen jetzt noch ein bisschen die Physik dahinter interessiert: Die meisten Kunststoffe wirken durch ihren Aufbau aus langen Kettenmolekülen auch polarisierend. Natürlich wiederum abhängig von der Wellenlänge (= Farbe) Ihres Lichtes. Die Polarisationsseigenschaften eines Kunststoffes hängen dann vor allem von der Ordnung der Moleküle zueinander ab. In einem amorphen Kunststoff sind die Molekülketten normalerweise gleichmässig durcheinander. Doch wenn der Kunststoff im Laufe seines Verarbeitungslebens Spannungen ausgesetzt ist, können sich die Moleküle auch mehr oder weniger in eine Richtung ausrichten / strecken. Dies ist z.B. der Fall beim Urformen (z.B. durch Scherspannungen an der Formwand beim Spritzgiessen eines CD-Covers) oder Umformen (z.B. Zugspannungen beim Spritzblasen einer Flasche). Je grösser die eingefrorenen (durch Abkühlung quasi gefangenen) Spannungen an einer Stelle, desto bunter wird Ihr Polarisationsbild werden (können auch die Ableitungen der Spannung sein). Also können Sie die buntesten Stellen Ihrer Anschauungsstücke erwarten: tendenziell bei Spritzgussteilen, bei relativ dünner Wanddicken bei sonst grossen Abmassen, ungleichen Abkühlbedingungen, an Rippen, kleinen Ecken, Kanten und Löchern und Querschnittsänderungen (siehe auch Heuversche Kreise und im Anhang „Exkurs Spannungsrissproblematik“) und auch stark an der Einspritzstelle. Entsprechend schaut unser CD-Cover und Geodreieck an diesen Stellen also aus.

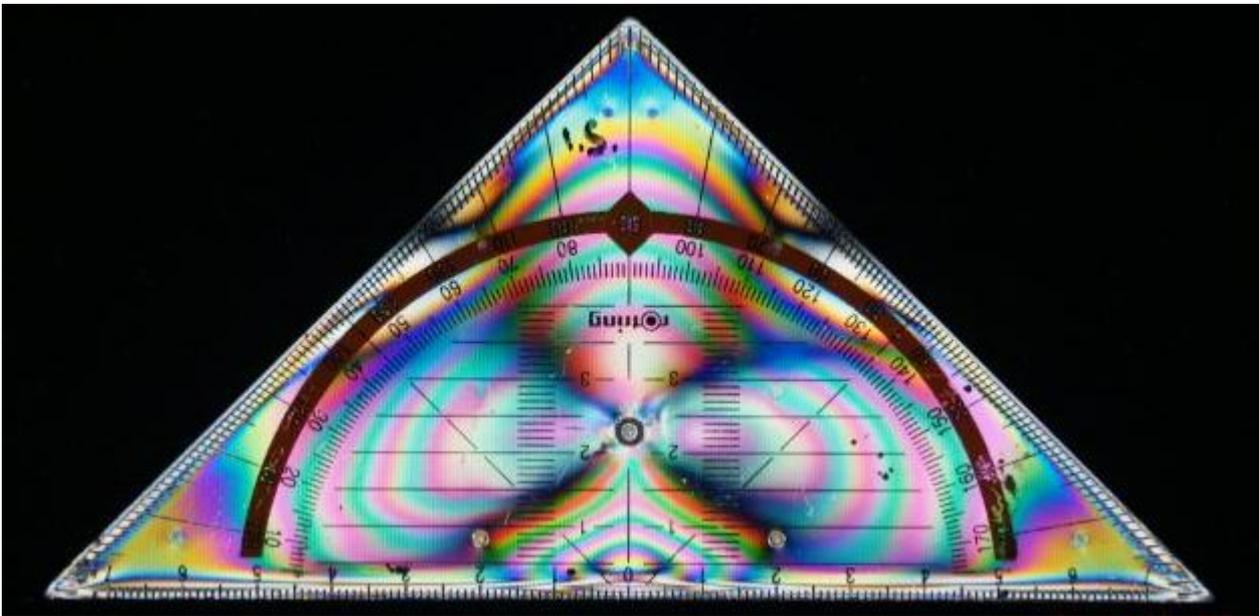


Abb. 3: Betrachtung eines Geodreiecks mit polarisiertem Licht

Für die Abbildung 3 wurde ein Geodreieck auf einen weissen Bereich eines LCD Bildschirms gelegt und durch ein Polarisationsfilter fotografiert. Das Polarisationsfilter wurde so gedreht, dass es das Licht des Bildschirms nicht durchlässt. Das Geodreieck dreht die Polarisationsrichtung so, dass wieder ein Teil des Lichtes durchgelassen wird. Die Drehung ist offensichtlich von der Farbe des Lichtes abhängig und wird durch mechanische Spannungen im Kunststoff verursacht, die beim Spritzgiessen entstehen.

Vor der Verbreitung von Finite Elemente Methoden hat man polarisiertes Licht übrigens hergenommen um Spannungsspitzen und potentielle Versagensstellen unter Belastung an Bauteilmodellen im Prototypenstatus zu finden.

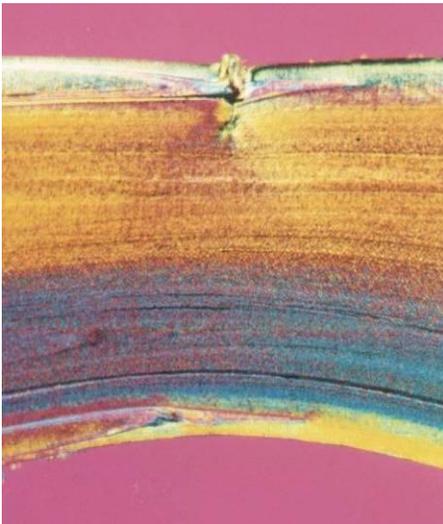
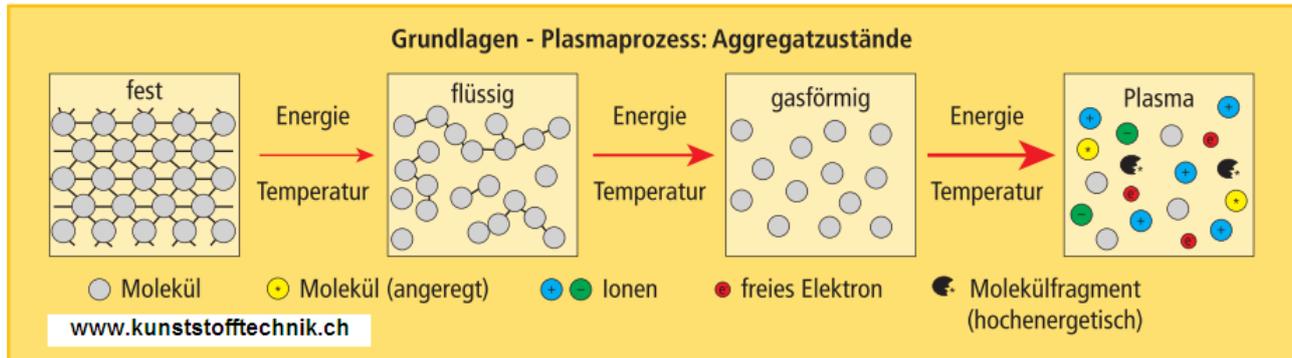


Abb. 4: Fehlernachweis: Spritzgussteil aus PA 6.6 Dünnschnitt, polarisiertes Durchlicht, 100 : 1

25. Plasma - 4. Aggregatzustand

Übersicht



Definition

Ein Plasma (gr. „Gebilde“) ist in der Physik ein Gas, das teilweise oder vollständig aus freien Ladungsträgern, wie Ionen oder Elektronen, besteht.

Unter Plasma versteht man ein (teil-) ionisiertes Gas in dem neben neutralen Gasmolekülen und -fragmenten auch freie Elektronen und Kationen vorkommen, und welches somit leitend ist. Hinzu kommt eine grosse Anzahl angeregter Molekülzustände, die unter Abgabe von elektromagnetischer Strahlung zum Grundzustand zurückkehren, was zum charakteristischen Leuchten des Plasmas führt.

Vorkommen

Ein Teil des „leeren“ Raums zwischen den Himmelskörpern befindet sich im Plasmazustand; ausserdem die Sonne und andere Sterne.

Auf der Erde findet man z.B. in Blitzen natürliche Plasmen. Flammen haben trotz schwacher Ionisierung (abhängig von der Temperatur) auch teilweise Eigenschaften eines Plasmas.

Thermisch und nichtthermische Plasmen

Um ein Plasma technisch anwenden zu können, muss man es erzeugen. Dies geschieht meist mit Hilfe einer Gasentladung. Die bei der Entstehung eines Plasmas benötigte Energie kann sehr unterschiedliche Quellen haben. So kommen in der Natur Plasmen z.B. auf der Sonne vor, sowie in Blitzen und Flammen, aber auch in den als Nordlicht bezeichneten atmosphärischen Phänomenen. Die weitaus häufigste Art der technischen Erzeugung von Plasmen ist die gezielte Einstrahlung von elektrischen Feldern. Je nach verwendeter Frequenz unterscheidet man dabei

zwischen Wechselstrom (50 Hz), Audio (KHz)-, Radio (MHz)- Frequenz oder Mikrowellenplasmen (GHz). Technisch genutzt werden Plasmen z.B. in Leuchtstoffröhren und in jüngerer Zeit vor allem in der Oberflächentechnik. Eine gängige Unterscheidung von Plasmen ist die Aufteilung in heisse (thermische) und kalte (nichtthermische) Plasmen:

Bei **thermischen Plasmen** ist der Druck des Gases relativ hoch, was die Anzahl der Zusammenstösse zwischen den Teilchen (neutrale, geladene, angeregte, nicht angeregte) erhöht und damit die Übertragung der Energie zwischen ihnen begünstigt. Das Ergebnis ist ein Plasma, das sich im thermodynamischen Gleichgewicht befindet, in dem also alle Teilchen annähernd die gleich hohe Energie aufweisen, was wir als "heiss" empfinden.

Nichtthermische Plasmen entstehen demgegenüber bei reduzierten Drücken (ca. $1 - 10^4$ Pa). Hier ist die mittlere freie Weglänge so gross, dass ausser durch Elektronenstoß keine nennenswerte Energieübertragung zwischen den Teilchen stattfinden kann, dass also kein thermisches Gleichgewicht entstehen kann. Makroskopisch betrachtet liegt das System bei Raumtemperatur, enthält aber einen gewissen Anteil an Teilchen, nämlich Elektronen, die sehr hohe Energien (Temperaturen) aufweisen (bis zu 10^5 °C). Diese energiereichen Elektronen und die energiereiche Strahlung von Elektronenübergängen sind zur Induktion von chemischen Reaktionen an Oberflächen bzw. in oberflächennahen Bereichen befähigt, die selbst die Modifizierung stabiler chemischer Strukturen beinhalten kann. Gleichzeitig findet keine thermische Belastung dieser Oberfläche statt, da die makroskopische Temperatur der Umgebung angepasst ist.

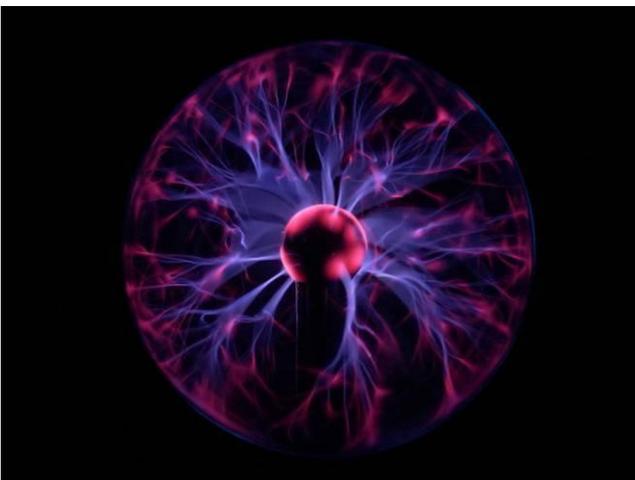


Abb. 1 Plasma in einer Plasmalampe

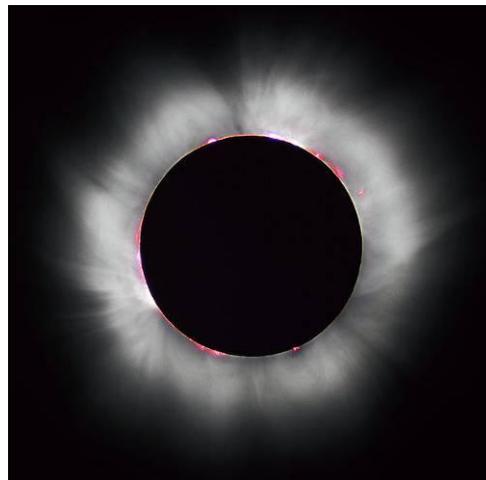


Abb. 2 Plasma der Sonnenatmosphäre



Abb. 3 Polarlicht



Abb. 4 Blitze

Quelle Abbildungen 1 – 4: Wikipedia

Plasma-Anwendung in der Kunststofftechnik

Jede Materialoberfläche hat eine bestimmte Oberflächenspannung.

Jede Flüssigkeit, jede Farbe, jeder Klebstoff hat eine Eigenspannung. Die sichere und langzeitstabile Haftung einer Beschichtung setzt voraus, dass die Oberflächenspannung des Materials grösser ist als die der Flüssigkeit. Durch die gezielte Plasma-Vorbehandlung wird eine deutliche Steigerung der Oberflächenspannung erreicht, um die Materialien im nächsten Prozessschritt optimal bedrucken, verkleben oder beschichten zu können.

Eine einfache Methode zur Messung der Oberflächenspannung auf Kunststoff oder anderen Materialien ist die Bestimmung mit Testtinten.

Kunststoffe besitzen überwiegend geringe Oberflächenspannungen (häufig kleiner als 28mN/m). Sollen diese bedruckt werden, sind für Lösungsmittelfarben Oberflächenspannungen über 40mN/m erforderlich bzw. über 56mN/m für UV- trocknende Systeme. Werden auf Wasser basierende Farbsysteme eingesetzt, so sind Oberflächenspannungen über 72mN/m notwendig.

Zusammenfassend ermöglichen Plasma-Vorbehandlungen eine gezielte Änderung der Oberflächeneigenschaften wie:

- Aktivierung: extreme Erhöhung der Flächenbenetzbarkeit, Bildung reaktiver Oberflächen.
- Reinigung: Entstaubung oder Entfettung, Mikroreinigung und Neutralisation.
- Beschichtung: Funktionalisierung von Oberflächen durch Beschichtung mit Zusatzstoffen.
- Verbesserung der adhäsiven Eigenschaften durch Plasmatechnologie.
- Verbesserung der Haltbarkeit und Zuverlässigkeit von Verklebungen.

Oberflächenenergie

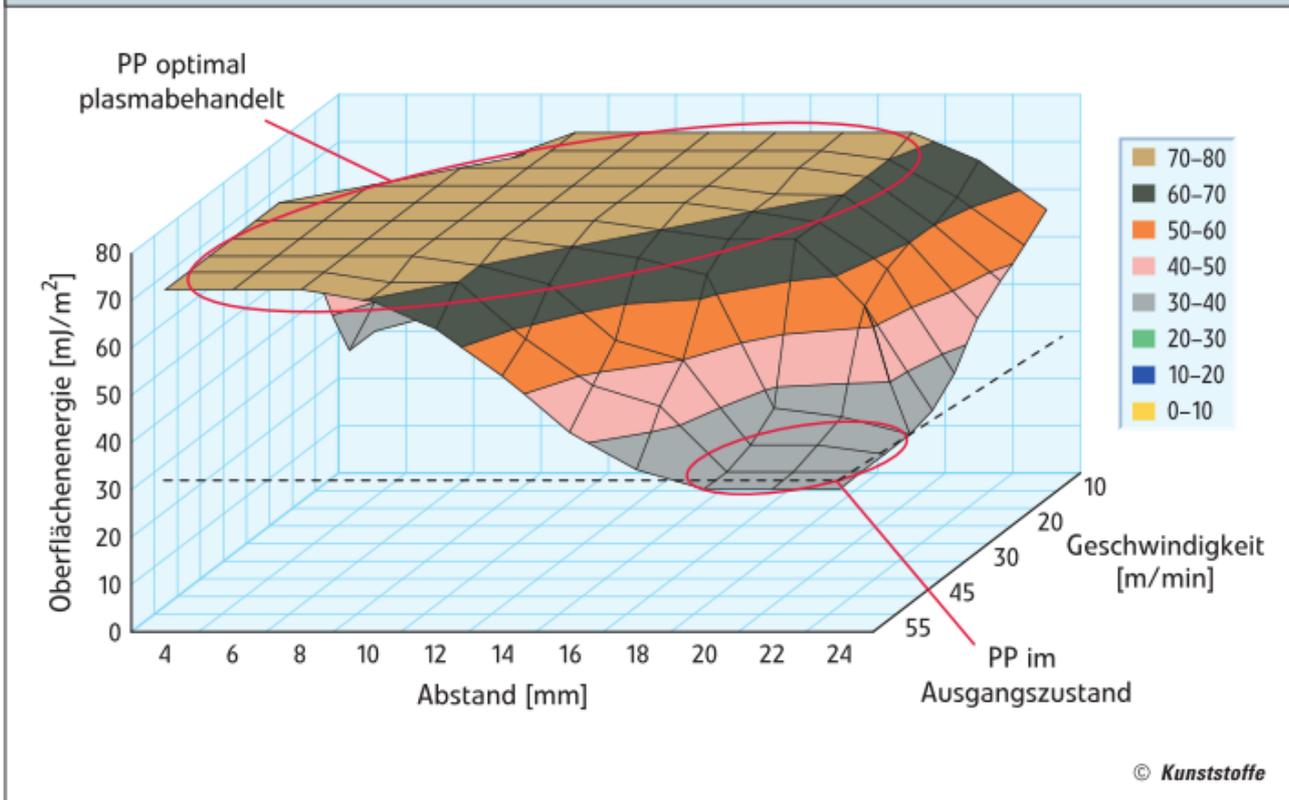


Abb. 5: Dargestellt ist eine Kunststoffoberfläche, die in Abhängigkeit von Abstand und Geschwindigkeit mit Plasma vorbehandelt wurde. Die Oberfläche wird nach der Behandlung polar und die Oberflächenenergie steigt auf $> 72 \text{ mJ/m}^2$ bei grossem Prozessfenster.
Quelle: Fachzeitschrift Kunststoffe.



Abb. 6 Plasmabehandlung eines Kunststoffprofils (Foto: Plasmamatreat)

26. Die Sätze der Thermodynamik mit Einsteins trinkender Ente

Die Hauptsätze der Thermodynamik

Der nullte Hauptsatz

Merksatz: Zwei sich berührende Körper haben dieselbe Temperatur, sobald das thermische Gleichgewicht erreicht ist.

Zwei sich berührende Körper tauschen ständig Wärme aus, wobei mehr Wärme vom wärmeren auf den kälteren Körper strömt als umgekehrt. Angenommen, ein Körper befindet sich im thermischen Gleichgewicht wenn die von ihm empfangene Wärmemenge der abgegebenen der abgegebenen entspricht. Dann ist und bleibt die Temperatur an all seinen Punkten gleich.

Der erste Hauptsatz

Definition: Die Summe der Energie ist konstant.

D.h. ohne Energiezuführung entsteht keine Arbeit.

Der erste Hauptsatz ist häufig als die Unmöglichkeit für die Existenz eines Perpetuum-Mobiles erster Art formuliert worden, das heisst, die Unmöglichkeit auf irgend eine Art Arbeit zu leisten ohne dabei Energie aufzunehmen.

Der zweite Hauptsatz

Merksatz: Entwertung der Energie bzw. die Entropie nimmt zu.

Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik macht es uns unmöglich, eine gegebene Wärmemenge vollständig in Arbeit umzuwandeln. Es wurde auch bereits die Unmöglichkeit beschrieben, ein Perpetuum-Mobile zweiter Art zu erzeugen, d.h. ein Mobile, das mit einem einzigen Medium Wärme austauscht, um Arbeit zu leisten. Ein Beispiel hierfür wäre ein Boot, das sich allein durch Nutzung der Meereshwärme fortbewegen würde und dabei das Wasser abkühlt.

Der dritte Hauptsatz

Merksatz: Am absoluten Nullpunkt ist die Entropie gleich 0.

Manchmal wird unter dem dritten Hauptsatz das Nernstsche Wärmetheorem verstanden. Dieses besagt, dass die Entropie am absoluten Nullpunkt (-273.16 Grad Celsius) gleich Null ist.

Praktisches Beispiel zu den Hauptsätzen der Thermodynamik:

Einsteins trinkende Ente

Geräte:

Einsteins trinkende Ente (vgl. Abb. 1)

Becher (vgl. Abb. 1)

u. U. Unterlage

Vakuumblock

u. U. Hebevorrichtung

Chemikalien:

Wasser



Abb. 1: Einsteins trinkende Ente in Ruhe- bzw. Ausgangsposition.



Abb. 2: Einsteins trinkende Ente in Aktion.

Versuchsdurchführung und -beobachtung:

Der Becher sollte zweckmässigerweise eine solche Höhe besitzen, dass die Ente bei annähernd waagerechter Haltung mit ihrer Schnabelspitze in das Wasser eintaucht. Eingeleitet wird der Versuch durch ein ausgiebiges Befeuchten des Kopffilzes. Danach beginnt die Ente in periodischen Abständen zu „trinken“, d. h. sie neigt sich schwankend, taucht den Schnabel ins Wasser, pendelt zurück und beginnt das Spiel von vorn. (vgl. Abb. 2 und).



Abb. 3: Einsteins Trinkende Ente beim Trinken.

Nach mehrmaligem Hin- und Herbewegen wird über Ente und Becherglas die Glasglocke gestülpt: Die Ente bleibt nach einiger Zeit stehen. Beschleunigt wird dieser Vorgang durch ein leichtes Anfeuchten der Glockeninnenwand. Wird die Glocke entfernt, fängt die Ente wieder an zu „trinken“.

Setzt man die Ente in eine entsprechende Vorrichtung ein, so kann ihre Bewegung genutzt werden, um ein Gewicht anzuheben.

Erklärung:

Die Ente ist eine Stoffkraftmaschine, die die chemische Potenzialdifferenz zwischen dem flüssigen Wasser im Becherglas (μ_1) und dem Wasserdampf in der Umgebungsluft (μ_2) ausnutzt. Auf Grund des Phänomens der Massenwirkung liegt das Potenzial des in der Luft verdünnten Wasserdampfes unterhalb desjenigen von flüssigem Wasser, der Verdunstungsvorgang $\text{H}_2\text{O}[\text{l}] \rightarrow \text{H}_2\text{O}[\text{g}]$ läuft also freiwillig ab.

Der dem Gefälle des chemischen Potentials, $\mu_1 [\text{H}_2\text{O}[\text{l}]] \rightarrow \mu_2 [\text{H}_2\text{O}[\text{g}]]$, folgende Dampfstrom vom Filz in die Umgebungsluft ist mit einem Entropiestrom gekoppelt. Der Dampf schleppt etwa dreimal so viel Entropie mit, wie in dem flüssigen Wasser vorher enthalten war. Dadurch kühlt der nasse Filz aus, und es beginnt Entropie aus dem Innern des Kopfes

nachzufließen, so dass sich der Kopf relativ zum Hinterteil abkühlt und ein Teil des Dampfes der sehr niedrig siedenden Füllflüssigkeit darin kondensiert. Zum Ausgleich des entstehenden Unterdruckes steigt Flüssigkeit aus dem unteren Behälter durch das Steigrohr in den Kopf. Dadurch verlagert sich der Schwerpunkt der Ente schliesslich so weit nach oben, dass sie nach vorn kippt. Beim dadurch hervorgerufenen „Trinken“ gelangt das untere Ende des Steigrohres über die Flüssigkeitsoberfläche, so dass nun Dampf nach oben und zugleich Flüssigkeit abwärts strömen kann, der Dampfdruck also wieder ausgeglichen wird. Der Schwerpunkt kehrt in die Ausgangslage zurück, die Ente richtet sich auf und das Spiel beginnt von vorn. Solange der Kopf der Ente feucht bleibt, wiederholt sich der Vorgang des „Trinkens“ periodisch.

Wenn die Glasglocke über Ente und Wasser gestellt wird, reichert sich die Luft darunter immer mehr mit Wasserdampf an. Die chemischen Potentiale von Wasser und (gesättigtem) Wasserdampf werden gleich, so dass die Potenzialdifferenz für den Antrieb Null wird: Die Ente kommt zum Stehen.

Der Einsatz der Ente in der Hebevorrichtung belegt, dass es sich tatsächlich um eine Stoffkraftmaschine handelt. So kann mit ihrer Hilfe die beim Übergang vom höheren Potenzial μ_1 des flüssigen Wassers im Becherglas zum niedrigeren Potenzial μ_2 des in der Umgebungsluft verdünnten Wasserdampfes gelieferte Energie ($W < 0$) genutzt werden: $W = n(\mu_2 - \mu_1)$ n stellt die Stoffmenge des Wassers dar.

27. Lichtgeschwindigkeit mit Schokolade und Mikrowelle messen

Chemikalien / Geräte

Eine Tafel Schokolade
Lineal
Taschenrechner
Mikrowelle

Anleitung

Die Schokoladentafel muss, unbeweglich in der Mikrowelle liegend (mit der Längsseite parallel zum Fenster in dem Mikrowellenherd in die Nähe des Magnetrons platziert, d.h. auf der Seite, auf der sich die Knöpfe zur Bedienung befinden) solange auf der höchsten Stufe erhitzt werden, bis sich kleine, sichtbare Schmelzpunkte gebildet haben. Dafür reichen normalerweise 40 Sekunden aus. Länger als 60 Sekunden sollte das Experiment in der Mikrowelle aus Sicherheitsgründen nicht durchgeführt werden. Der Abstand zwischen zwei Schmelzpunkten (= resultierende Hot-Spots bzw. Wellenbauch) entspricht dabei genau der Hälfte der Länge einer Mikrowelle. Elektromagnetische Wellen, somit auch Mikrowellen, bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit vorwärts.

Auswertung und Berechnung

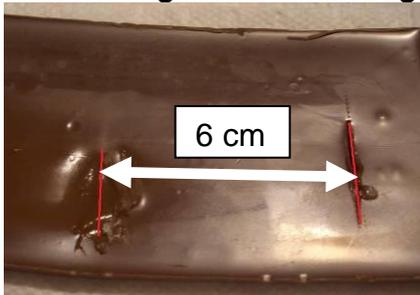


Abb. 1: Schokolade nach dem Mikrowelleneinsatz

Der „Hotspot-Abstand ist gleich 6 cm (vgl. Abb. 1), dies entspricht einer halben Wellenlänge.
Somit ist $\lambda = 12 \text{ cm} = 0.12\text{m} = 12 \times 10^{-2}\text{m}$.
Bei den meisten Mikrowellenherden ist die Frequenz
 $f = 2.455 \text{ GHz} = 2.455 \times 10^9 \text{ 1/s}$
 $c = \lambda \times f = 12 \times 10^{-2}\text{m} \times 2.455 \times 10^9 \text{ 1/s} = \underline{2.946 \times 10^8 \text{ m/s}}$
Literaturwert der Lichtgeschwindigkeit $c = 2.997 \times 10^8 \text{ m/s}$
Dies kommt dem Literaturwert sehr nahe. Abweichung: 1.7%

28. Backpulver - Rakete

Chemikalien / Geräte

Backpulver (vgl. Abb. 1)

Essig (vgl. Abb. 2)

Cosmic Rocket, empfohlen von Science Museum London (vgl. Abb. 3)

Geeignete Startposition im Freien für Cosmic Rocket (vgl. Abb. 4)



Abb. 1: Backpulver NaHCO_3 (s)
(Natriumhydrogencarbonat)



Abb. 2: Essig. $\text{CH}_3 - \text{COOH}$ (aq)
(Essigsäure)



Abb. 3: Cosmic Rocket



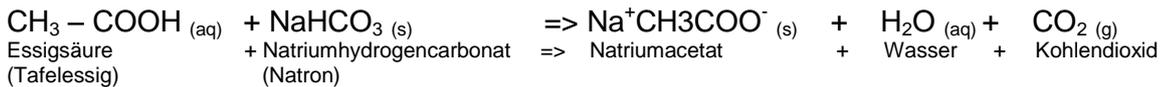
Abb. 4: Abschussrampe im Freien für Cosmic Rocket

Anleitung

Die von Science Museum London empfohlene „Cosmic Rocket“ funktioniert mit einem Gemisch aus Backpulver und Essig. Dafür füllt man in die Rampe etwa vier Gramm Backpulver und in den Raketenkörper ca. 25 bis 30 Milliliter Essig (separate Anleitung beachten). Dann steckt man die Rakete in die Rampe, schüttelt kräftig, stellt die Rakete hin und wartet auf den Start.

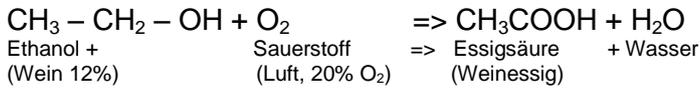
Der Essig und das Backpulver reagieren nun miteinander. Das Backpulver enthält ein Säuerungsmittel und Natriumhydrogencarbonat, auch Natron genannt. Kommt das Natron wie zum Beispiel im Kuchenteig mit Wasser in Kontakt reagiert es mit dem Säuerungsmittel und es entsteht Kohlendioxid in Form kleiner Gasbläschen. Diese sorgen dafür, dass der Kuchen schön locker wird. Fügt man zu Natron Essig hinzu, so entsteht plötzlich sehr viel Kohlendioxid.

Die Reaktionsgleichung lautet wie folgt:



Hinweis:

Die Essigsäure könnte z.B. aus Wein hergestellt werden, dann lautet die Reaktionsgleichung wie folgt:



Durch das Kohlendioxid steigt der Druck in der Rakete, bis sich diese schliesslich aus der Verankerung löst und wegfiegt. Das Gas entweicht nach unten. Die Rakete erfährt einen Rückstoss und steigt nach oben.

Achtung: Cosmic Rocket ausschliesslich im Freien verwenden.
Niemals auf Menschen, Tiere oder Gegenstände zielen.

28. Kartoffel - Uhr

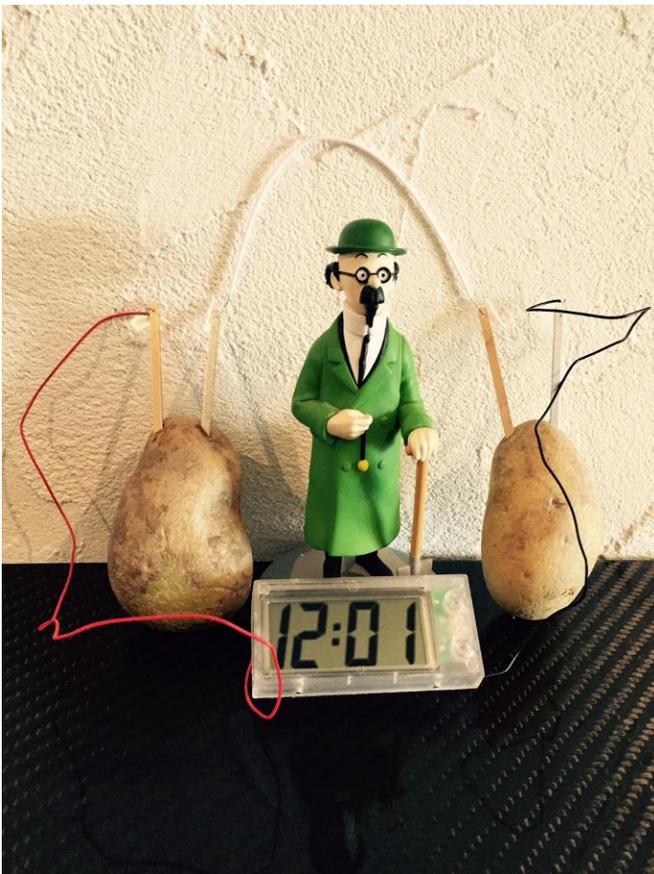


Abb. 1: Kartoffel – Uhr

Die Kupfer- und Zinkstreifen (Elektroden) und die Kartoffel (Elektrolyt) funktionieren zusammen wie eine Batterie. Mit der erzeugten Energie lässt sich eine Uhr betreiben. Die erste Batterie wurde von dem italienischen Wissenschaftler Alessandro Volta (1745 – 1827) gebaut. Er baute einen Stapel aus Metallplatten zwischen denen jeweils ein in Salzwasser getränktes Tuch lag. Dadurch wurde elektrischer Strom produziert. Diese Batterie ist heute als Voltasche Säule bekannt.

30. Polymer mit Selbstheilungseigenschaften

Ein Schnitt in der Haut oder ein Knochenbruch heilt früher oder später von selbst. Ein Kratzer im Autolack oder ein Riss in der Tragfläche eines Flugzeugs dagegen nicht. Materialien mit Selbstheilungskräften könnten helfen, die Lebensdauer von Produkten zu verlängern und Reparaturen zu vereinfachen. Krzysztof Matyjaszewski und seine Kollegen von der Carnegie Mellon University (Pittsburgh, USA) und von der Kyushu University (Japan) haben jetzt ein Polymer entwickelt, das sich bei Bestrahlung mit UV-Licht selbst reparieren kann – immer und immer wieder. Hierbei handelt es um das erste Material, bei dem sich gekappte kovalente chemische Bindungen wiederholt neu knüpfen und sich ausserdem völlig getrennte Stücke fusionieren lassen.

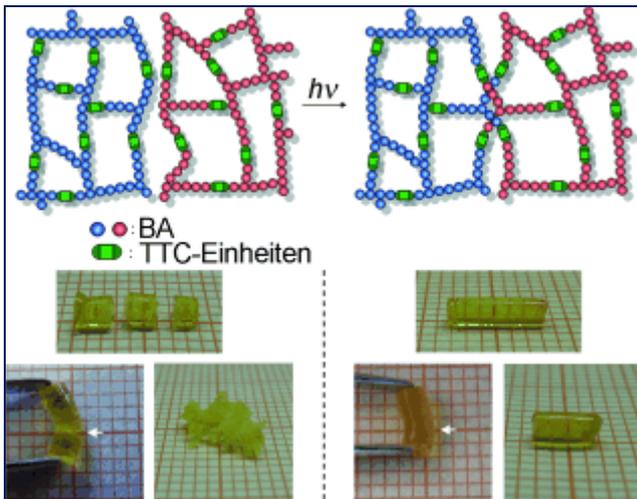


Abb. 1: Mit Trithiocarbonat(TTC)-Einheiten (vgl. auch Abb. 2) vernetzte Polymere wurden durch RAFT-Polymerisation hergestellt. Die selbstheilenden Systeme oder makroskopischen Zusammenschlüsse entstanden bei UV-Bestrahlung des vernetzten Polymers in Lösung und im Festkörper. Es gelang sogar der Zusammenschluss vollständig getrennter Teile (BA = Butylacrylat; vgl. auch Abb. 3). Quelle: *Angewandte Chemie*

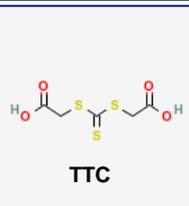


Abb. 2: Trithiocarbonat. [TTC]
IUPAC Name: 2-(carboxymethylsulfanyl-carbothiolsulfanyl)acetic acid.
CAS Registry Number: 6326-83-6.
Molekülformel: C₅H₆O₄S₃
Molekulargewicht : 226.2937 g/mol.
Quelle: Chemical Register

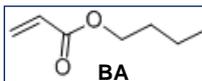


Abb. 3: Butylacrylat [BA]
Quelle: Rominger Kunststofftechnik GmbH

Das neue polymere Material des amerikanisch-japanischen Teams ist dagegen stabil und repariert sich immer wieder aufs Neue selber. Das Erfolgsgeheimnis: Das Polymer ist über Trithiocarbonat-Einheiten (vgl. Abb. 2) quervernetzt. Es handelt sich dabei um Kohlenstoffatome, die drei Schwefelatome tragen. Je zwei davon binden mit ihrem zweiten Bindungsarm ein weiteres Kohlenstoffatom. Diese Gruppen haben eine besondere Eigenschaft: unter UV-Bestrahlung können sie sich umstrukturieren. Das Licht spaltet eine Kohlenstoff-Schwefel-Bindung der Trithiocarbonat-Gruppen. Dabei entstehen zwei Radikale – Moleküle mit einem freien, ungepaarten Elektron. Diese sind sehr reaktiv und greifen nun ihrerseits weitere Trithiocarbonat-Gruppen an, wobei neue Kohlenstoff-Schwefel-Bindungen geknüpft, andere gespalten werden und neue freie Radikale entstehen. (vgl. Abb. 1). Die Reaktionskette wird gestoppt, wenn zwei Radikale miteinander reagieren.

Es gelang den Forschern, ein eingeschnittenes Polymerstückchen durch Bestrahlung zu heilen – entweder in einer Flüssigkeit oder direkt als Feststoff. Dazu wurden die Schnittkanten einfach fest aneinandergedrückt und bestrahlt. Durch die beschriebene radikalische Neuorganisation der Kohlenstoff-Schwefel-Bindungen wuchsen die Schnittkanten wieder zusammen.

Quelle:

Repeatable Photoinduced Self-Healing of Covalently Cross-Linked Polymers through Reshuffling of Trithiocarbonate Units. Y. Amamoto, et. al., *Angew. Chem.* 2011.

So eine Arbeit wird eigentlich nie fertig.

Man muss sie für fertig erklären, wenn man nach Zeit und Umständen das Mögliche getan hat.

Johann Wolfgang von Goethe, „Italienreise“ (1787)

31. Quellen:

- www.science.com
- VCÖ-Shop GmbH, Dürnbergstrasse 71, 5164 Seeham-Salzburg, Österreich
- Lars Rominger, Qualitative Kunststoffanalytik. 3., überarbeitete Auflage. ISBN: 9783831100521 82
- Hans Rudolf Christen. Allgemeine Chemie. Verlag Salle.
- Charles E. Mortimer und Ulrich Müller. Chemie. Verlag Thieme, Stuttgart
- Walter Friedli. Repetitorium Allgemeine und anorganische Chemie - Teil 1 : Atombau und Bindungslehre. Diesterweg Verlag.
- Walter Friedli. Repetitorium Allgemeine und anorganische Chemie - Teil 2: Stöchiometrie – Reaktionstypen. Diesterweg Verlag.
- Walter Friedli. Repetitorium Organische Chemie. Diesterweg Verlag.
- Kunststoffchemie für Ingenieure. Wolfgang Kaiser, Hanser Verlag.
- Adolf Franck. Kunststoff-Kompendium. Vogel-Verlag, Würzburg.
- Technologie der Kunststoffe. Walter Michaeli, Helmut Greif, Leo Wolters, Franz-Josef Vossebürger
- Otto Schwarz. Kunststoffkunde. Vogel-Verlag, Würzburg.
- Hans Domininghaus. Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften. Springer Verlag, Heidelberg.
- Kunststoff Taschenbuch. Saechtling, Oberbach, Hanser Verlag.

Irgendwo muss man einen Schlusstrich ziehen.