

Reaktion von Zitronensäure und Backpulver

Ergebnis: Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre wird praktisch bewiesen. Reaktionen verlaufen freiwillig, wenn gasförmige Reaktionsprodukte entstehen. Gasförmige Stoffe besitzen stets eine hohe Entropie. Reaktionen, bei denen gasförmige Reaktionsprodukte entstehen, sind unumkehrbar (irreversibel).

Durch- : Aus Backpulver und Zitronensäure wird ein Gemisch hergestellt. Ein Teil des Gemischs wird in ein Gefäß mit Wasser gegeben. Vor und nach der Zugabe wird die Temperatur gemessen.

Arbeits- : Im Backpulver sind Natriumhydrogenkarbonat und Stärke enthalten. Von beiden Stoffen geht keine Gefahr aus. Die Zitronensäure kann auf der Haut oder im Auge einen brennenden Schmerz verursachen. Die betroffene Hautstelle gründlich mit Wasser spülen. Geht die Zitronensäure in den Mund, dann ist dieser mit Wasser zu spülen. Bei Kontakt mit dem Auge ist die Augenspülflasche an das Auge zu halten und der Kopf nach vorn zu neigen. Jetzt die Flasche mit Kraft zusammendrücken und das Auge spülen. Zitronensäure ist mit dem Symbol des Ausrufezeichens und der Aufschrift Achtung, Gefahr gekennzeichnet.



Achtung, Gefahr!

Reaktionsverlauf

Wie schnell die beiden Stoffe miteinander reagieren, ist an der Gasentstehung gut zu sehen. Die Temperatur des Wassers verringert sich dabei. Zitronensäure und Natriumhydrogencarbonat nehmen bei der Reaktion Wärme aus der Umgebung auf, das ist typisch für eine endotherme Reaktion. Endotherme Reaktionen verlaufen nur, wenn Wärmeenergie zugeführt wird. Zugleich entsteht ein gasförmiger Stoff aus den beiden festen Stoffen Zitronensäure und Natriumhydrogencarbonat.

Zu beachten ist, dass die beiden Stoffe nur reagieren, weil sie im Wasser gelöst werden.

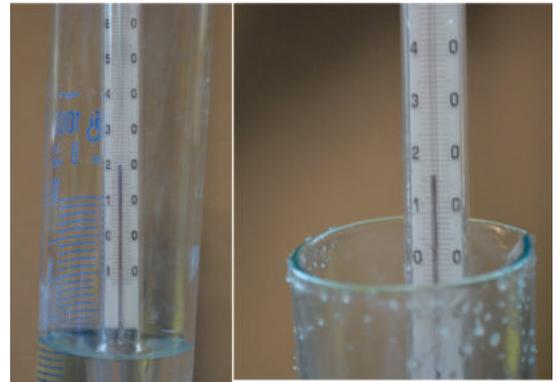
Das Gemisch aus Zitronensäure und Backpulver lässt keine Reaktion erkennen. Erst in dem Augenblick, wo sie gemeinsam ins Wasser gelangen beginnt die Reaktion.

Die für die Reaktion benötigte Wärme wird dem Wasser entzogen. Die Wassermoleküle gehen in einen höher geordneten Zustand über. Den höchsten Ordnungszustand haben sie beim festen Aggregatzustand im Eiskristall und die geringste Ordnung im Wasserdampf. Somit gilt, je niedriger die Wassertemperatur, desto höher ist die Ordnung der Wassermoleküle. Die Ordnung der Wassermoleküle begründet sich durch ihre elektrischen Partiaalladungen (lat. pars, Teil). Die Teilladungen entstehen durch die polarisierten Atombindungen im Wassermolekül. Das Sauerstoffatom besitzt die größere Elektronegativität und somit einen größeren Anteil der Bindungselektronen. Jedes der beiden Wasserstoffatome verfügt also nur über den kleineren Anteil der Bindungselektronen.

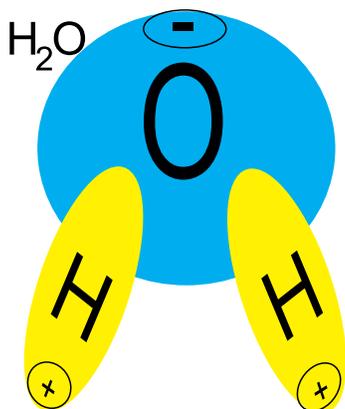
Das Wassermolekül besitzt demzufolge eine negative und zwei positive Partiaalladungen, die eine teilweise Ordnung ermöglichen. Wasser mit Raumtemperatur hat einen kleinen Teil geordneter Moleküle, die verbleibenden befinden sich im chaotischen Zustand. Durch die Reaktion der Zitronensäure mit Backpulver entsteht das Gas Kohlenstoffdioxid und die Temperatur nimmt ab. Ein Teil der Wassermoleküle aus dem chaotischen Zustand tritt in den geordneten Zustand über. Der Anteil mit geordneten Molekülen wird insgesamt größer



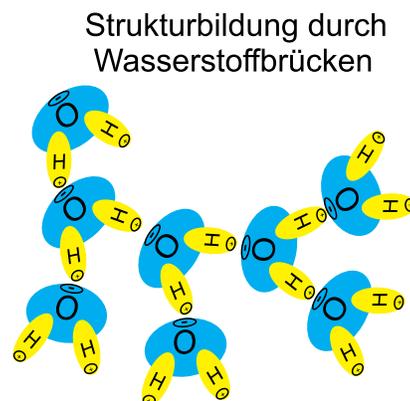
Das Gemisch aus Zitronensäure und Backpulver führt nicht zu einer Reaktion. Das im Backpulver enthaltene Natriumhydrogencarbonat ist der Reaktionspartner der Zitronensäure.



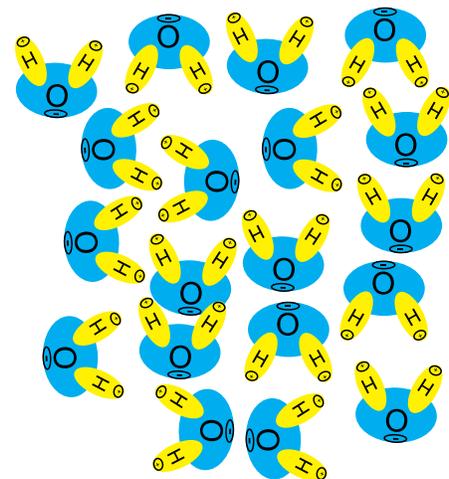
Die Temperatur des Wassers sinkt von 21,4 Grad auf 17 Grad.



Die Partiaalladungen am Wassermolekül.



Strukturbildung durch Wasserstoffbrücken
Bei 20°C hat der kleinere Teil der Moleküle eine geordnete Struktur.



Bei 20°C sind die meisten Wassermoleküle chaotisch verteilt.

In einem Liter Wasser mit der Temperatur von 20°C befinden sich die meisten Wassermoleküle im Chaos. Ein geringer Teil bildet durch die Wasserstoffbrücken eine Struktur. Ständig verlassen Wassermoleküle die Struktur und gehen ins Chaos über. Aus dem Chaos treten ständig Wassermoleküle in die Struktur ein. Je höher die Temperatur ist, desto mehr Wassermoleküle befinden sich im Chaos und um so schneller erfolgt der Wechsel zwischen Struktur und Chaos (Thermodynamik).

Entropie

Die Reaktion von Zitronensäure und Backpulver verläuft freiwillig und ist unumkehrbar (irreversibel). Das Maß für das Unumkehrbare ist die Entropie. Zudem wird die Entropie benutzt, um Ordnungszustände zu beschreiben. Dabei gilt, dass die Unordnung spontan bzw. freiwillig entsteht und für das Erlangen von Ordnung eine Arbeit notwendig ist.

Bevor das Gemisch in das Wasser gegeben wird, ist der Zustand der Ordnung höher, weil die beiden Stoffe nur vermischt wurden. Im Wasser lösen sie sich und dies führt zur Zunahme der Unordnung, durch die chemische Reaktion steigt diese weiter. Entsteht durch eine chemische Reaktion ein Gas, so wird eine hohe Unordnung erzielt. In Gasen besteht der geringste Zustand der Ordnung, in Flüssigkeiten steigt der Ordnungszustand und in Feststoffen ist er am größten.

Die beobachtete Reaktion verläuft spontan, irreversibel und unter Abnahme der Wassertemperatur, weil die Entropie stark ansteigt.

Weitere Beispiele für irreversible Vorgänge mit Zunahme der Entropie sind das Schmelzen von Eiswürfeln zu Wasser oder das Vermengen von einem Liter Wasser mit 10°C und einem Liter Wasser mit 50°C, die zwei Liter Wasser mit 30°C können sich nicht spontan wieder trennen. Um den Ausgangszustand herzustellen, müssen die zwei Liter Wasser geteilt werden. Der eine Teil muss in den Kühlschrank und der andere muss auf 50 Grad erwärmt werden. Es ist also Arbeit aufzuwenden, um den Vorgang rückgängig zu machen und es muss erneut Energie übertragen werden.

Der erste Hauptsatz der Wärmelehre (Thermodynamik) trifft die Aussage, dass chemische Reaktionen freiwillig ablaufen, wenn Energie frei gesetzt wird. Wird ein Stück Holz entflammt, dann verbrennt es vollständig.

Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre sagt aus, dass Reaktionen freiwillig ablaufen, wenn die Entropie zunimmt.

Reaktionsgleichung

Zitronensäure + Natriumhydrogencarbonat \longrightarrow Natriumzitrat + Wasser + Kohlenstoffdioxid

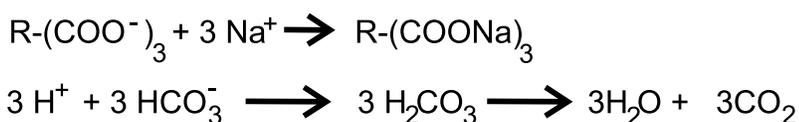


Die Zitronensäure besitzt drei Carboxylgruppen -COOH (Trikarbonsäure), die für die Reaktion maßgeblich sind. Zur Vereinfachung wird die Zitronensäure wie folgt dargestellt $\text{R}-(\text{COOH})_3$

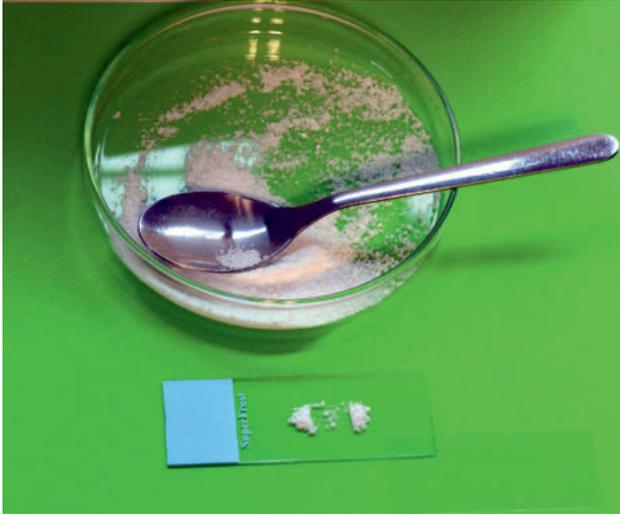
1. Dissoziation der Zitronensäure und des Natriumhydrogencarbonats im Wasser



2. Die beiden Teilreaktionen



Eine Variation der Durchführung



Das Zitronensäure-Backpulver Gemisch auf einen Objektträger geben und mit Schultinte oder Methylenblaulösung beschichten. Sofort ein Deckglas auflegen und mikroskopieren. Warum kein pures Wasser verwenden? Weil es durch den Farbstoff ein schöneres Erlebnis ist.

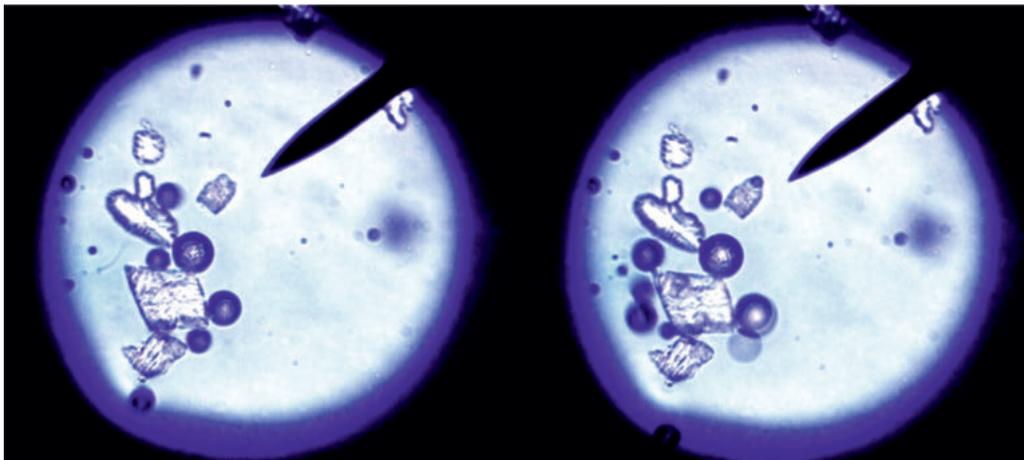


Wenn anstelle des Backpulvers Kalziumkarbonat verwendet wird, dann ist ein noch besseres Ergebnis erzielbar. Kalziumkarbonat löst sich nicht so gut im Wasser und es bleiben kleine Kristalle zurück. An den Kristallen reagiert die Zitronensäure und die Gasentwicklung ist an diesem Ort besonders deutlich zu sehen.

Die Reaktion läuft zwar recht schnell ab, mit dem Mikroskop können jedoch über mehrere Minuten Bereiche gefunden werden an denen die CO_2 -Bildung stattfindet.



Sequenz aus einem Video: Die Entstehung des Kohlenstoffdioxids zeigt sich in kleinen Bläschen, die sich schnell zu größeren vereinigen.



Kristalle des Kalziumkarbonats sind Ausgangspunkt für die Bildung des Kohlenstoffdioxids. Durch den blauen Farbstoff sind die Fotos kontrastreicher und kräftig.