

KÄLTEPACKUNG



Fotos: Wärmekissen-Reaktion: Links - Vor Nutzung; Mitte- Nach Einleiten der Kristallisation; Rechts - Zum Schluss zur optimalen Wärmeabgabe durchkristallisiert und bereit zum Wiederaufladen

Allgemeine Beschreibung

Kälte-/Wärmetherapie

Sofort-Kältepackung - zur Akutbehandlung

Schon nach einem kräftigen Druck auf den Innenbeutel wird die Komresse innerhalb weniger Sekunden bis zu -2°C kalt und hält die Temperatur ca. 15-20 Minuten. Sie ist deshalb nicht wegzudenken bei akuten Verletzungen im Sport und anderen Aktivitäten sowie nach Mückenstichen.

Jetzt auch in hautfreundlichem Beutel mit Kindermotiv.

Gehört in jede Freizeittasche.

Kälte in Sekundenschnelle (2003)

Technische Beschreibung

2 ineinandergeschweißte Beutel

EXPERIMENT: KÄLTEPACKUNG: LÖSEN VON AMMONIUMNITRAT

Geräte:

Becherglas (50 ml), Glasstab, Löffelspatel, Thermometer

Chemikalien:

Ammoniumnitrat, Wasser

Durchführung:

Das Becherglas wird zur Hälfte mit Wasser gefüllt und die Temperatur bestimmt. Drei Spatellöffel Ammoniumnitrat werden in das Wasser gegeben, es wird mit dem Glasstab gerührt und die Temperatur beobachtet. Die niedrigste Temperatur wird notiert.

Informatives über Kältepackungen:

Wenn man sich einen Knöchel verstaucht, sollte man sofort mit Eis kühlen, damit sich die geplatzen Blutgefäße um die Verstauchung herum zusammenziehen und so der Bluterguss möglichst gering ausfällt. Da man aber nicht immer Eis zur Verfügung hat, greifen Athleten häufig zu sogenannten Kältepackungen. Sie bestehen aus einem unterteilten Plastikbeutel, der in der einen Abteilung einen weißen Feststoff und getrennt davon in der anderen Abteilung blau gefärbtes Wasser enthält. Der weiße Feststoff ist Ammoniumnitrat, NH_4NO_3 , dessen Lösungsenthalpie positiv ist. Benötigt man die Kältepackung, dann zerreißt man die

Trennwand zwischen dem Ammoniumnitrat und dem Wasser, indem man den Beutel quetscht. Beim Vermischen der beiden Komponenten löst sich das Salz. Die endotherme Reaktion entzieht der Umgebung (dem verstauchten Knöchel) Energie. Dadurch wird der Knöchel gekühlt. An der blauen Farbe erkennt der Benutzer, ob die Trennwand zerrissen wurde. Die blaue Farbe vermittelt auch den ästhetischen Eindruck von Kälte – ein roter Farbstoff besäße diese psychologische Wirkung nicht.

WÄRMEPACKUNG

- Packung zur Wärme- oder Kältetherapie. Diese Größe ist besonders gut als Handwärmer einsetzbar. Einmal aktiviert und in die Tasche gesteckt, haben Sie über eine Stunde einen Platz, um sich die Finger immer wieder aufzuwärmen.
- wiederverwendbar
- ungiftig
- ungefährlich
- hautsympathisch
- universell einsetzbar
- unabhängig von Strom

Funktionsweise

Die Lavatherm-Packung enthält Natrium-Acetat und ist nicht giftig. Durch Biegen des Aktivator-Stäbchens wird eine Kettenreaktion ausgelöst, und die Flüssigkeit geht in einen festen Zustand über. Durch diese Reaktion wird die Packung auf eine Temperatur von ca. 54 Grad Celsius erwärmt.

Durch Erhitzen der Packung im Wasserbad verflüssigen sich die Kristalle wieder. Danach einfach abkühlen lassen und Ihr Lavatherm ist wieder einsatzbereit. Solange die Packung nicht beschädigt wird, kann dieser Vorgang beliebig oft wiederholt werden.

Sie können Lavatherm auch im Kühlschrank aufbewahren und es so zusätzlich als Kälte-Packung benutzen.

Bei Beschädigungen beachten

Nach Hautkontakt mit dem Beutelinhalt sind die betroffenen Stellen vorsichtshalber mit klarem Wasser zu spülen. Verschmutzte Kleidung wechseln und mit Wasser auswaschen. Achtung:

Für die Anwendung bei Säuglingen und Kleinkindern nicht geeignet!

Nicht in der Mikrowelle erhitzen!

EXPERIMENTE: WÄRMEPACKUNG: BILDUNG EINER UNTERKÜHLTEN NATRIUMACETAT-SCHMELZE

Variante I

Geräte:

2 Reagenzgläser, Löffelspatel, Messzylinder (10 ml), Waage, Gasbrenner, evtl. Trichter, Thermometer, Glasstab

Chemikalien:

Natriumacetat (wasserfrei)

Durchführung:

Man wägt in zwei saubere Reagenzgläser je 5 g Natriumacetat ein und gibt jeweils 2 ml Wasser hinzu. Nun erwärmt man die Gemische über der Flamme des Gasbrenners, bis alles Natriumacetat gelöst ist. Es ist darauf zu achten, dass auch die Natriumacetatkristalle, die im oberen Teil des Reagenzglases haften, vollständig gelöst und in die Lösung herabgespült werden. Dann stellt man die Reagenzgläser ab und taucht in ein Reagenzglas einen Thermofühler.

Haben die Lösungen in etwa Raumtemperatur erreicht, löst man im ersten Reagenzglas die Kristallisation durch Einwerfen eines kleinen Natriumacetatkristalls und im zweiten Reagenzglas durch Reiben der Reagenzglaswand (im Inneren der Lösung) mit einem sauberen Glasstab aus. Um die erhebliche Wärmetönung (Exothermie) zu spüren, sollte man ein Reagenzglas in die Hand nehmen und den Temperaturanstieg mit Hilfe des Thermometers bestimmen.

Hinweis:

Sollte die Kristallisation schon während des Abkühlens einsetzen, waren Kristallisationskeime (evtl. Schmutz) vorhanden. Der Versuch muss wiederholt werden.

Informatives über Wärmepackungen:

Bergsteiger, die in den Herbst- und Wintermonaten in großen Höhen übernachten, haben oft Wärmepackungen in ihrem Gepäck. Diese bestehen meistens aus einer übersättigten Lösung eines Salzes und einer kleinen Metallplatte. Wird nun die Metallplatte gedrückt bzw. gerieben, wird das Salz zum Kristallisieren angeregt. Dieser Vorgang ist exotherm. Wärmepackungen können aber auch aus einem festen Salz und Wasser bestehen. Sie funktionieren dann ähnlich wie die Kältepackungen, nur mit dem Unterschied, dass die gewählten Salze eine negative Lösungsenthalpie aufweisen. Diese sind beispielsweise wasserfreies Calciumchlorid, CaCl_2 , oder wasserfreies Magnesiumsulfat, MgSO_4 .

Variante II

Modellexperiment: Natriumacetat-Trihydrat-Lösung als Latentwärmespeicher

Du musst darauf achten, dass du frisches Salz verwendest. Denn das Trihydrat neigt wie viele andere Salzhydrate dazu, bei längerem Stehen sein Hydratwasser abzugeben. Dabei werden die zunächst glasigen Kristalle pulvrig weiß; man sagt, dass die Kristalle "verwittern". Wundere dich außerdem nicht über die Mengenangaben: Dieses Salz löst sich in der Wärme nahezu unbegrenzt in Wasser.

In einen Weithals-Erlenmeyerkolben (500 ml) gibst du 50 ml Wasser. Stelle ein Thermometer hinein. Gib dann 500 g frisches Natriumacetat-Trihydrat zu. Verschließe das Glas mit einem dicken Wattebausch. Zum Lösen kochst du die Salz/Wasser-Mischung kurz auf. Wenn alles Salz gelöst ist, läßt du auf etwa 20 °C abkühlen. Das Glas nicht anstoßen, damit der metastabile Zustand erhalten bleibt!

Zum "Anstoßen" rührst du die abgekühlte Lösung mit dem Thermometer um oder kratzt mit einem Metall- oder Glasstab von innen an der Glaswand. Schlagartig beginnt die Kristallisation; gleichzeitig beobachtest du einen starken Anstieg der Temperatur. Beachte, wie lange der Kristallkuchen seine Temperatur hält! Zeichne ein Temperatur/Zeit-Diagramm (-> Bild). Sollte die Kristallisation ausbleiben, gibst du einen Impfkristall von Natriumacetat-Trihydrat zu.

Die Mischung wird für weitere Versuche oder für Wiederholungen aufbewahrt. Dazu wird der Erlenmeyerkolben luftdicht verschlossen. Im Falle der häufigen Nutzung musst du ab und zu verdampfendes Wasser ersetzen. Aber nur sehr wenig Wasser zugeben! Wenn Wasser fehlt,

erhältst du beim Abkühlen auf Zimmertemperatur keine übersättigte Lösung, da sofort Kristallbildung einsetzt.

Die Erklärung

Auch die Latentwärmespeicherkissen enthalten Natriumacetat-Trihydrat $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$. Dieses liegt im "geladenen Zustand" in einer übersättigten Lösung vor. Bei vorsichtiger Handhabung bleibt die Kristallisation des Salzes über einen weiten Temperaturbereich aus. Man kann den Zustand tagelang erhalten. Erst durch "Anstoßen" wird der Zustand gestört; das Natriumacetat-Trihydrat kristallisiert schlagartig aus und gibt die im System gespeicherte Wärme ("latente Wärme") frei. Diesen scheinbaren Zustand nennt man "metastabil".



Die Ionen bauen zunächst das Ionengitter auf. Simultan nehmen Wassermoleküle in den Zwischenräumen des Ionengitters festgelegte Plätze ein, wobei sie auch noch ihre Dipole exakt ausrichten. Die Wassermoleküle bilden sozusagen ein Gitter im Kristallgitter. Die Anzahl der Wassermoleküle pro Formeleinheit ist genau definiert. In unserem Beispiel sind es drei. Ein Teil der bei diesem Vorgang freigesetzten latenten Wärme ist die Lösungswärme bzw. Kristallisationswärme des Salzes. Allerdings erklärt diese allein nicht die starke Wärmetönung der Kristallbildung. Wichtig für die kräftige Erwärmung des Kissens ist auch die parallel ablaufende, stark exotherme Bildung des Wassermolekül-Gitters. Bei dieser Bildungswärme des Salzhydrats handelt es sich ebenfalls um eine latente Wärme.

Es handelt sich bei der unterkühlten Lösung im "geladenen" Wärmekissen um ein metastabiles System, das auf einen Anstoß zum Reagieren wartet. Beim Reiben mit einem Glasstab erzeugt man Kratzstellen, die "aktive Stellen" sind und als Kristallisationskeime wirken. Diese können zum Beispiel Ionen binden, die erste Kristallstrukturen bilden, aus denen heraus das ungehemmte und lawinenartige Kristallwachstum einsetzt. Bei Glas kann es ein Ionenaustauschereffekt sein. Beim Durchschnappen des Knackfroschs bzw. durch Bewegen der Stahlklicker kann es an den Stellen, wo im Blech durch eine Stanze der Druckpunkt ("Knackpunkt") gesetzt wurde, ähnliche Phänomene geben. Denn das Biegen oder Schlagen von blankem Metall legt frische kristalline Oberflächen frei, die die Kristallisation des Salzes aus der übersättigten Umgebung auslösen können. Gleiches gilt auch bei Kunststoffplättchen, die in Wärmekissen ebenfalls verwendet werden. Denn diese weisen ebenfalls kristalline Bereiche auf.

Schallphänomene scheiden aus; die verdichtende Schallwelle beim Knacken oder Kratzen löst die Kristallisation nicht aus. Im hochfrequenten Ultraschallbad wird das Wärmekissen nämlich nicht ausgelöst.

Variante III

Demonstration der latenten Wärme bei der Umwandlung von Natriumacetat in sein Trihydrat

Bringe die Mischung aus Variante II erneut zum Lösen, indem du sie auf etwa 70°C erhitzt (Thermometer verwenden!). Dabei das Glas schwenken oder mit einem Glasstab solange rühren, bis die Kristalle restlos geschmolzen sind.

Dann gibst du einen Rührfisch und ein Thermometer hinein. Den Erlenmeyerkolben mit Alufolie gut abdecken. Die Bildung von Kristallen an der Glaswand stört nicht. Stelle den Erlenmeyerkolben auf ein Rührwerk und lies die Temperatur ab.

Ist die Temperatur bei etwa 65°C angelangt, beginnst du, ab und zu mit einem Glasstab an der Innenwand des Kolbens zu reiben. Bei etwa 58°C beobachtest du, dass die Mischung im Kratzbereich beginnt, trübe zu werden und zu kristallisieren. Nun brauchst du auch nicht mehr zu kratzen. Sollte die Kristallisation dennoch ausbleiben, so wirf einen Impfkristall von Natriumacetat-Trihydrat hinein.

Die genaue Untersuchung des Temperaturverlaufs bei Wärmekissen

Zum "Laden" des Wärmekissens erhitzt du das feste Salzhydrat so weit, dass es schmilzt. Dazu musst du es auf etwa 60 °C erwärmen.

Die Temperatur bleibt solange bei 58 °C stehen, bis das Kristallwassergitter zusammengebrochen ist und das Schmelzen beginnt. Erst danach steigt die Temperatur weiter an. (Dies ist ein typisches Charakteristikum von latenter Wärme. Dieses Phänomen des Temperaturhaltepunkts kennst du von anderen Gleichgewichten wie bei den Aggregatzustandsänderungen. Z. B. verharrt das System Flüssiges Wasser/Eis so lange bei 0 °C, bis alles Eis geschmolzen ist.)

Bei einem Vorgang mit Freisetzung von latenter Wärme ändert sich also der Zustand des Systems, ohne dass sich dessen Temperatur ändert. Dies kannst du auch bei der Umwandlung von vollständig gelöstem Natriumacetat in sein festes Salzhydrat zeigen. Dabei darfst du es natürlich nicht (wie in Versuch 2 gezeigt) zu einem metastabilen Zustand kommen lassen. Deshalb musst du die Kristallisation vor Erreichen der Umwandlungstemperatur durch Kratzen mit einem Glasstab an der Glaswand anregen. Andernfalls gibst du einen Impfkristall hinzu.

Unterkühlte Schmelzen oder Flüssigkeiten

Eine Flüssigkeit oder Schmelze (man verwendet den Begriff Schmelze bei Stoffen, die bei Raumtemperatur normalerweise fest sind) erstarrt normalerweise an ihrem Schmelzpunkt, etwa Wasser bei 0°C. Viele Flüssigkeiten kann man aber auch unterhalb ihres Schmelzpunkts abkühlen, ohne dass sie fest werden. Solche unterkühlten Flüssigkeiten bezeichnet man als metastabil, da ihr Erstarren plötzlich einsetzen kann. Oftmals kann das Erstarren einer unterkühlten Flüssigkeit auch gezielt ausgelöst werden, etwa dadurch, dass man einen Kristallisationskeim hinzufügt. Viele kennen vielleicht das Phänomen, dass bei einer Außentemperatur von -5°C eine Wasserpfütze plötzlich gefriert, wenn man sie mit einem Stab (= Kristallisationskeim) berührt.

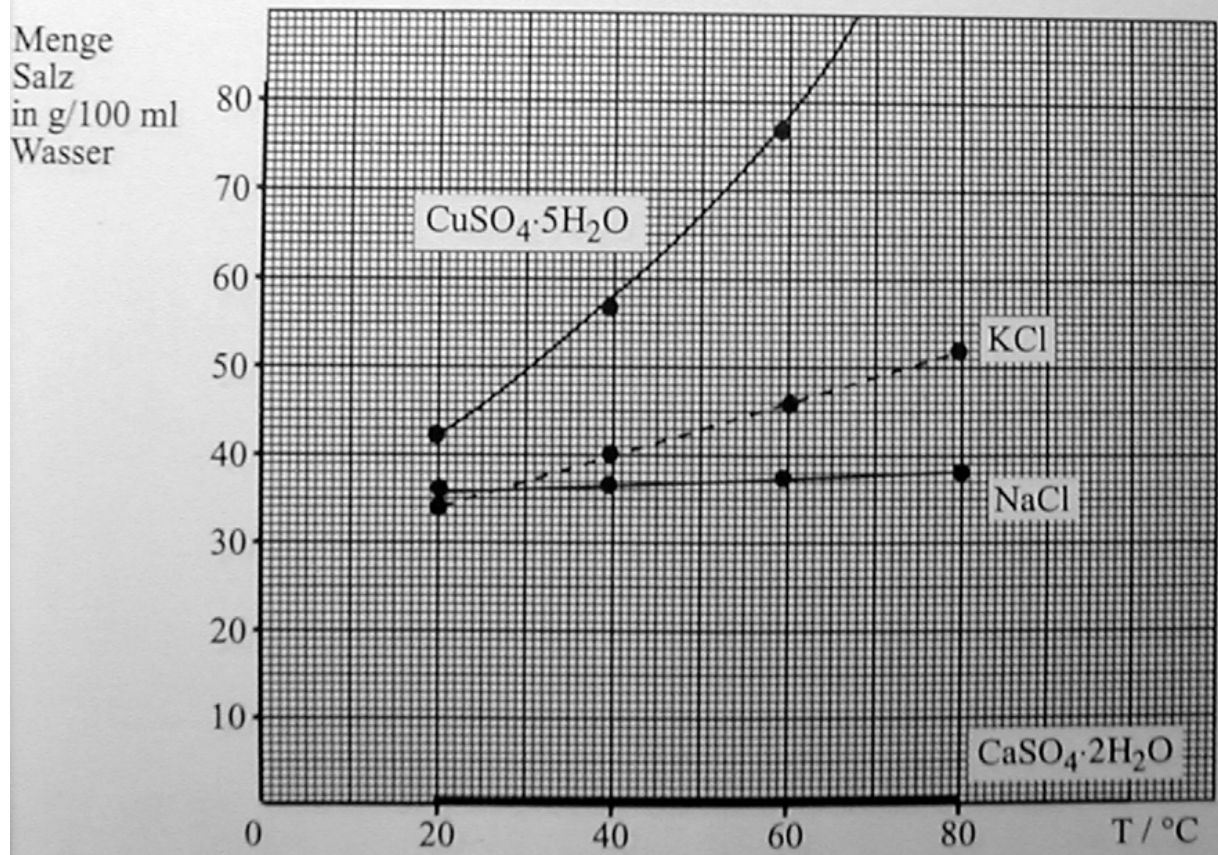
Natriumacetat, eine unterkühlte Salzschnmelze als Taschenwärmer

Die Kombination der oben beschriebenen Effekte, Freisetzung von Ionengitterenergie beim Erstarren eines Salzes und Unterkühlung von Flüssigkeiten, kann man auf einfache, aber sehr effektive Weise für die Konstruktion einer Taschenheizung nutzen, die ohne Strom oder Feuer auskommt. Festes Natriumacetat, das Natriumsalz von gewöhnlichem Essig, wird bei 54°C flüssig, doch kann die Schmelze bis auf etwa -10°C abgekühlt werden, ohne dass sie wieder fest wird. Setzt der Erstarrvorgang jedoch ein wird die Ionengitterenergie frei, und die Schmelze erwärmt sich bis zu ihrem Schmelzpunkt von 54°C und hält auch diese Temperatur, bis sie komplett erstarrt ist.

Ein Knackfrosch als Auslöser

Trotz eisiger Kälte warme Hände: Kristallisationswärme von Salzen macht es möglich. Wie funktionieren solche Taschenwärmer, die man ganz leicht nachbauen oder billig kaufen kann? Der entscheidende Trick bestand noch darin, einen Auslöser für das Erstarren des unterkühlten Natriumacetats zu finden, damit man die Heizung auch nach Belieben anstellen kann. Dies wird dadurch erreicht, dass in der Natriumacetatschmelze ein Stahlplättchen vorhanden ist, das beim Knicken ein Geräusch macht, wie man es von den als Kinderspielzeug bekannten Knackfröschen kennt. Durch die hierdurch ausgelöste Schallwelle verdichtet sich die Lösung für einen kurzen Moment der ausreicht, um die Kristallisation des Natriumacetats auszulösen. Dabei steigt die Temperatur, wie oben erklärt, auf wohlige 54°C für die Dauer des Erstarrvorgangs an, der bei den im Handel befindlichen, handgroßen Taschenheizungen etwa eine Stunde dauert.

Die Löslichkeit verschiedener Salze als Funktion der Temperatur



Zur Lebensdauer des Wärmekissens

Zum Laden des Wärmekissens wird empfohlen, es so lange in kochendes Wasser zu legen, bis das Salz geschmolzen ist. Darunter leidet die Kunststoffumhüllung. Wie wir gesehen haben, schmilzt das Salz bereits bei 58 °C. Erhitzen auf 60-70 °C reicht deswegen völlig aus und verlängert außerdem die Lebensdauer des Kissens.

Auf keinen Fall aber sollte man Wärmekissen in der Mikrowelle erhitzen. Die Wärmekissen können dabei platzen.

Glaubersalz als mögliches Latentwärme-System

Ein anderes Salz, mit dem du diese Effekte gut zeigen kannst, ist das Natriumsulfat. Es liegt im Glaubersalz als Dekahydrat mit der Zusammensetzung $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ vor. Glaubersalz schmilzt bereits bei 32,5 °C in seinem Kristallwasser. Mit ihm kannst du prinzipiell die gleichen Versuche durchführen wie mit dem Natriumacetat. Nur ist die Wärmeausbeute wegen des niedrigeren "Schmelzpunktes" geringer.

Wasserfreies Natriumsulfat dient in der organischen Chemie als Trocknungsmittel für Lösemittel. Außerdem hilft es bei chemischen Reaktionen, bei denen Wasser entsteht, das aus dem Gleichgewicht entfernt werden muß. Jetzt kannst du auch erklären, was in jedem Chemiebuch für Praktiker steht: Man kann mit Natriumsulfat keine über 32,5 °C heißen Lösungen trocknen.

Technische Realisierung in der Autoheizung

Als besonders geeignet für technische Anwendungen im Auto erwies sich ein Latentwärmespeicher auf der Basis einer Mischung von Magnesiumnitrat-Hexahydrat $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ mit Lithiumnitrat LiNO_3 . (Der Zusatz von Lithiumnitrat ist nur notwendig, um eine homogene Lösung zu erhalten.) Diese Salzmischung schmilzt zwischen 70 und 80 °C. Die Wärmedichte der Salzmischung beträgt 182 J/cm³! Das reicht aus, um nach "Anstoßen" der metastabilen Mischung Innenraum sowie Frontscheibe und je nach Größe der Anlage manchmal sogar noch den Motor aufzuheizen.

1. Theorie und Beispiele

Das Molekular-Gitter

Wenn man ein Salz durch Erwärmen zum Schmelzen bringt, muss man daher beträchtliche Mengen an Energie aufwenden, die sogenannte Ionengitterenergie, um das Ionengitter zu zerstören. Umgekehrt wird die Ionengitterenergie in Form von Wärme frei, wenn ein Salz vom flüssigen zum festen Zustand erstarrt.

Unterkühlte Schmelzen

Eine Schmelze erstarrt normalerweise an ihrem Schmelzpunkt, etwa Wasser bei 0°C. Viele Flüssigkeiten kann man aber auch deutlich unterhalb ihres Schmelzpunkts abkühlen, ohne dass sie fest werden. Solche unterkühlten Schmelzen bezeichnet man als metastabil, da ihr Erstarren plötzlich einsetzen kann. Oftmals kann das Erstarren auch gezielt ausgelöst werden, etwa dadurch, dass man einen Kristallisationskeim - manchmal genügt ein Staubkorn - der Schmelze hinzufügt.

Natriumacetat, eine unterkühlte Salzschnmelze als Taschenwärmer

Die Kombination der oben beschriebenen Effekte, Freisetzung von Ionengitterenergie beim Erstarren eines Salzes und Unterkühlung von Schmelzen, kann man auf einfache, aber sehr effektive Weise für die Konstruktion einer Taschenheizung nutzen, die ohne Strom oder Feuer auskommt. Festes Natriumacetat, das Natriumsalz von gewöhnlichem Essig, wird bei 54°C flüssig, doch kann die Schmelze bis auf etwa -10°C abgekühlt werden, ohne dass sie wieder fest wird. Setzt der Erstarrvorgang jedoch ein, wird die Ionengitterenergie frei, und die Schmelze erwärmt sich bis zu ihrem Schmelzpunkt von 54°C und hält auch diese Temperatur, bis sie komplett erstarrt ist.

Der "Knackfrosch", Keramikstäbchen oder Feder als Auslöser

Der entscheidende Trick bestand noch darin, einen Auslöser für das Erstarren des unterkühlten Natriumacetats zu finden, damit man die Heizung auch nach Belieben anstellen kann. Dies wird dadurch erreicht, dass in der Natriumacetatschmelze ein Stahlplättchen vorhanden ist, das beim Knicken ein Geräusch macht, wie man es von den als Kinderspielzeugen gebräuchlichen Knackfröschen kennt. Durch das Knicken entsteht also eine akustische Welle, die durch die Schmelze läuft und sie für einen kurzen Moment verdichtet. Dies genügt, um einen Kristallisationskeim zu erzeugen und das Erstarren der Schmelze auszulösen.

Dabei steigt die Temperatur, wie oben erklärt, auf wohlige 54°C für die Dauer des Erstarrvorgangs an, der bei den im Handel befindlichen, handgroßen Taschenheizungen etwa ein bis zwei Stunden in Anspruch nimmt. Der Taschenwärmer kann immer wieder benutzt werden: Bringt man das Natriumacetat durch Erwärmen in kochendem Wasser wieder zum Schmelzen, wird er wieder aktiviert. Beim Schmelzen wird das Natriumacetat in sein Trihydrat umgewandelt.

In jedem Schullabor findet sich Natriumacetat, so dass in Schulversuchen leicht unterkühlte Schmelzen hieraus hergestellt und die hier beschriebenen Effekte beobachtet werden können. Bei Temperaturen von -10°C darf man die Taschenheizung nicht in der Kälte liegen lassen, da der Erstarrvorgang sonst von alleine beginnt.

Der Taschenwärmer kann immer wieder benutzt werden: Bringt man das Natriumacetat wieder zum Schmelzen, etwa durch Erwärmen in kochendem Wasser, wird er wieder aktiviert.

In jedem Schullabor findet sich Natriumacetat, so dass in Schulversuchen leicht unterkühlte Schmelzen hieraus hergestellt und die hier beschriebenen Effekte beobachtet werden können. Eine schöne Anleitung findet sich hier.

Für alle die, denen die Chemie hierbei egal ist und die einfach nur warme Hände bei der eisigen Kälte haben möchten: Den hier beschriebenen Taschenwärmer kann man zum Preis von etwa €4 kaufen. Doch Vorsicht: Bei den gegenwärtigen Temperaturen von -10°C darf man die Taschenheizung nicht in der Kälte liegen lassen, da der Erstarrvorgang bei dieser Temperatur von alleine beginnt.



KRISTALLISATIONSKEIME IN DER NATUR

Schmelzen

Schnee schmilzt bekanntlich bei Temperaturen über 0°C (eigentlich ist nicht die Lufttemperatur dafür ausschlaggebend, sondern die Feuchttemperatur). Beim Schmelzen ist allerdings der Taupunkt noch $<0^{\circ}\text{C}$, weshalb Schmelzen nicht mit Tauen verwechselt werden darf. Da der Taupunkt der Luft beim Schmelzvorgang noch negativ ist, "rettet" sich der Schnee praktisch selbst: der durch Kondensation entstandene Wasserfilm auf der Schneedecke gefriert und entzieht der schneenahen Luft somit Energie (also Wärme). Schmelzen kann der Schnee auch bei Temperaturen $<0^{\circ}\text{C}$, nämlich durch Sonneneinstrahlung, dann spricht man aber eher von Sublimation (der Schnee „verdampft“). Je trockener die Luft ist, desto weniger schmilzt der Schnee, da Verdampfen der Umgebungsluft Energie (also Wärme) entzieht, und sie somit abkühlt (Sublimationskälte).

Schnee

Schnee ist die feste Form des Wassers. Sind die Temperaturen in einer Wolke genügend tief, so lagern sich an Kondensationskernen unterkühlte Wassertröpfchen an, und bilden eine Kristallstruktur, je nach Wolkentemperatur Nadeln, Säulen, Plättchen oder Dendriten (Sterne). Sind die Schneekristalle schwer bzw. groß genug ($\sim 1,5\text{mm}$), beginnen sie zu fallen, und durchlaufen Luftschichten unterschiedlicher Temperatur, was zur Folge hat, dass eine einzelne Flocke fortwährender Veränderungen unterworfen ist. Hat es in den untersten Luftschichten nun um die 0°C oder weniger, dann fällt der Schnee bis zum Boden und bildet, bei genügender Menge, eine Schneedecke. Man unterscheidet:

- Pulverschnee: "trockener" Schnee, klebt auch unter Druck nicht zusammen, die Dichte liegt unter 60kg/m^3
- Nassschnee: sehr schwer und "nass", es lässt sich Wasser herauspressen, Dichte = 500kg/m^3
- Feuchtschnee (Pappschnee): klebt unter Druck zusammen (Schneeball!), es lässt sich jedoch kein Wasser herauspressen

Eine andere Möglichkeit ist die Einteilung nach dem Alter:

- Neuschnee: frisch gefallener Schnee, der nicht älter als drei Tage ist
- Altschnee: Schnee, der bereits 3 Tage oder länger liegt
- Harsch: Altschnee, der durch Schmelzen und erneutes Gefrieren eine gefrorene Oberflächenschicht gebildet hat
- Firn: mindestens ein Jahr alt, die Dichte ist sehr hoch ($<0,6\text{g/cm}^3$), durch Schmelzen und erneutes Gefrieren können bereits Eisbrocken entstanden sein. Aus Firnschnee können im Laufe der Zeit Gletscher entstehen.

Aerosol

In der Meteorologie auch als Kondensationskern bezeichnet. Sind in der Regel kleine feste, flüssige oder gasförmige Teilchen mit hygroskopischen Eigenschaften (Hygroskopie) in der Luft. Diese Teilchen können natürlichen oder anthropogenen (durch den Menschen verursachten) Ursprungs sein. Natürliche Aerosole wären beispielsweise Salze (aus den Ozeanen) oder Ascheteilchen (aus Vulkanausbrüchen). Anthropogene Aerosole (die über den Kontinenten schon bis zu 20% aller Aerosole ausmachen) wären beispielsweise Nitrate oder Sulfate, welche durch diverse Abgase in die Atmosphäre gelangen (die wesentlich für den sauren Regen verantwortlich sind). Ohne Aerosolteilchen wäre Niederschlag nicht möglich, somit ist in einer zu 100% reinen Luft erst Niederschlag ab einer relativen Luftfeuchte von 800% (!!) möglich. Da dies in der Natur nicht vorkommt, sind Aerosole unerlässlich. "Reine" (z.B. über Ozeanen), Luft enthält ca. 1000 Kerne/cm³, "verschmutzte" (wie über Großstädten) um bis das 100fache mehr. Aerosole sind für den Energiehaushalt der Erde nicht ganz unbedeutend.

Aus einem Internetforum

Titel: toller Handwärmer

Autor: Peter Prenosil

Hi Leute,

gerade habe ich etwas tolles entdeckt: einen Handwärmer.

Bei diesem Handwärmer ist eine klare Flüssigkeit in einem Plastikbeutel. In der Flüssigkeit ist ein gewölbtes Metallplättchen. Wenn man das Metallplättchen ein wenig knickt, bis es "ploppt", dann kristallisiert die Flüssigkeit schlagartig aus und es wird warm. Das besondere daran ist, daß man es immer wieder verwenden kann, wenn man es nach gebrauch für etwa 10 Minuten in kochendes Wasser legt bis die Flüssigkeit wieder klar wird.

Weiß vielleicht jemand wie das genau funktioniert und was für eine Flüssigkeit das ist?

Titel: Re: toller Handwärmer

Autor: Florian

Hi Peter,

bei der Lösung handelt es sich um eine unterkühlte Schmelze, z.B. von Natriumthiosulfat (Fixiersalz). Der Schmelzpunkt von Natriumthiosulfat liegt bei ca. 50°C. Kühlt man diese Schmelze auf unter 50°C ab, so erstarrt sie nicht, sondern bleibt zunächst weiter flüssig (meist aufgrund des Fehlens eines Keimkristalls). Wenn nun die Kristallisation plötzlich induziert wird (z.B. durch das Knicken des Metallplättchens), so wird das ganze wieder warm, da beim Kristallisieren der Schmelze Kristallisationswärme abgegeben wird (dies entspricht der Energiemenge, die zum umgekehrten Vorgang, dem Schmelzen nämlich, erforderlich ist). Durch einlegen in kochendes Wasser kann das Thiosulfat wieder geschmolzen werden und der Vorgang kann von Neuem beginnen.

Titel: Re^2: toller Handwärmer

Autor: Rainer

Wenn nun die Kristallisation plötzlich induziert wird (z.B. durch das Knicken des Metallplättchens),

Hallo,

es hat mich auch schon lange interessiert, wie diese Handwärmer funktionieren. Das interessanteste Detail ist: was passiert beim Knicken des Metallplättchens? Warum löst das die Kristallisation aus?

Titel: Kristallkeime

Autor: Michael Kling

es hat mich auch schon lange interessiert, wie diese Handwärmer funktionieren. Das interessanteste Detail ist: was passiert beim Knicken des Metallplättchens? Warum löst das die Kristallisation aus?

Kristallisation benötigt Keime. Diese können kleine, geordnet Bereiche in der unterkühlten Schmelze selbst sein.

In einer Schmelze sind die Atome/Moleküle (ideal betrachtet) vollkommen regellos angeordnet. Durch das Hineindrücken oder Umknicken dieses Metallstreifens entstehen punktuell kräftige Druckwellen, die dazu führen können, das sich an einige Stellen die Atome/Moleküle etwas regelmässiger anordnen. (Unregelmässiger als unregelmässig geht ja nicht) und schon läuft die Kristallisation praktisch schlagartig ab.

WEITERE WÄRMEKISSEN

Düsseldorf (RP). Es gibt sie bei Aldi, Tchibo und im Versandhandel: Luftdicht verschweißte kleine Kunststoffbeutel, die bei eisigen Temperaturen die Hände wieder auftauen (sollen). Egal, ob sie unter der Bezeichnung Taschenwärmer, Wärmekissen oder Chemisches Heizkissen verkauft werden - der Inhalt ist gleich.

Der im Beutel enthaltene Feststoff wird so lange in kochendes Wasser gelegt, bis sein Inhalt geschmolzen ist. Nach dem Abkühlen ist der Akku für den winterlichen Einsatz präpariert. Man startet die Wärmeproduktion, indem man das in der Flüssigkeit mit eingeschweißte Stahlplättchen („Knackfrosch“) durchbiegt. Binnen Sekunden verfestigt sich die Flüssigkeit, die Temperatur im Beutel steigt um etwa 35 Grad Celsius; diese Wärme hält bemerkenswert lange an.

Wärmekissen: Schnelle Wärme aus Kristallen

Jeder Autofahrer weiß: Wenn man im Winter den Motor seines Wagens gestartet hat, dauert es sehr lange, bis die Heizung Wärme abgibt. Neuerdings verspricht die Auto-Industrie, dass sie eine Technologie entwickelt hat, mit der direkt nach dem Start der Innenraum des Autos aufgeheizt und die Scheiben enteist werden können. Das Stichwort heißt Latentwärmespeicher (lat. *lateo*, lat. *verborgen sein*).

Wie funktioniert so ein Wärmekissen?

Man kann es kurz machen: Die Kristallisationswärme heizt das Kissen auf. Das sollte eigentlich schon zur Erklärung ausreichen. Denn wenn ich Kristalle schmelze, muss ich Energie zuführen. Und wenn die Schmelze wieder auskristallisiert, wird diese Wärme wieder frei. Aber wie auch im Leben ist alles etwas komplizierter.

Es sind viele physikalische sowie chemische Vorgänge bekannt, bei denen Energie bzw. Wärme gespeichert und rasch wieder freigesetzt wird. Für die technische Anwendung sind aber einige Bedingungen zu erfüllen: Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe müssen leicht umkehrbar sein: In der Zeit des Energieüberflusses soll von den Substanzen Wärme aufgenommen werden. Diese verändern sich dabei so, dass sie die Wärme speichern. Bei Wärmenachfrage müssen die Stoffe die Wärme rasch wieder abgeben. Dabei dürfen sie nicht allzu sehr ihr Volumen ändern. Denn sonst könnten ja die Behälter, in denen sie aufbewahrt werden, platzen. Der aufgeheizte Körper soll die Wärme möglichst lange halten.

Das Phänomen

In Spezial-Geschäften für Camping- oder Sportbedarf werden Latentwärmekissen angeboten, die wie Akkumulatoren wieder aufgeladen werden können. Beim Aufladen wird ein fester kristalliner Körper "geschmolzen". Wir wollen jetzt schon sagen: Es ist eigentlich kein Schmelzen, sondern letztlich nur ein Lösungsvorgang. (Dazu später mehr.) Bleiben wir also bei der Bezeichnung "lösen".

DIE WÄRMESPEICHER DER BUNDESWEHR

Frage: Ein Schüler hat mir heute ein Wärmekissen der Bundeswehr mitgebracht. Das funktioniert nicht mit Natriumacetat, sondern ist aus Stoff und mit einem dunklen Pulver gefüllt. Man gibt 2-4 Esslöffel Wasser durch eine Ecke hinein, und das Kissen wird 8 h warm. Und dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden. Das Einzige, was man zur Regeneration machen muss, ist das verklumpte Pulver ab und zu mit einem Hammer wieder zu verfeinern. Ich kann mir überhaupt nicht vorstellen, wo die Wärme bei der wiederholten Anwendung herkommen soll.

Die von uns vorgestellten Beispiele beruhen auf der Freisetzung von Kristallisations- und Hydratbildungswärme: "Schnelle Wärme aus Kristallen". Auch die Bundeswehr verfügt über ein Wärmekissen. Das entwickelt so viel Wärme, dass die Soldaten damit sogar ihr Essen kochen können. Die Leute geben zu der festen Mischung etwas Wasser, dann wird sie heiß. Und das Tolle ist, dass man die Wärmeabgabe steuern kann - durch Öffnen oder Schließen des Gefäßes. Öffnet man es, wird die Masse rasch heiß, schließt man das Gefäß, kühlt sie ab. Was steckt dahinter? Soviel sei schon jetzt gesagt: Die Bundeswehr arbeitet (wie alle Armeen) nicht mit subtilen Kristallen, sondern - wie es einer Armee ansteht - mit Eisen. Hier ist das Rezept der Mischung, das für uns der Lehrer Patrick Geiger ausgetüftelt hat.

Versuch 1: Wärmekissen auf Eisenbasis

Mische 16 g Eisenpulver, 3 g frische, feine Aktivkohle (mit Holzkohle funktioniert gar nichts) und 3 g Kochsalz. Das Ganze wird gut vermischt und in ein Becherglas (50 ml; hohe Form) gegeben. Zu diesem Gemisch gibst du noch ca. 5 ml Wasser (nicht zu viel!) und verrührst gut. Anschließend formst du die Masse locker zu einem Haufen. Wichtig: Die Masse darf nicht zusammengedrückt werden.

Wir messen die Temperatur - am besten mit einem elektronischen Thermometer.

Ergebnis: Im oberen Teil der Masse erhielten wir Temperaturen von etwa 80 °C. Die Wärme hält sich einige Stunden lang.

Merkwürdig ist, dass vor allem im oberen Bereich - ja sogar an der Oberfläche - die höchste Temperatur zu messen ist. Liegt das vielleicht an der Luftzufuhr?

Versuch 2: Wärmekissen und Luft

Die Mischung wird in einen 1l-Gefrierbeutel gefüllt. Verschließen wir ihn, kühlt der Beutel aus, beim Öffnen erwärmt er sich rasch wieder. Das können wir schon mit der Hand fühlen.

Der folgende Versuch zeigt, dass der Luft-Sauerstoff für die Erwärmung verantwortlich ist.

Versuch 3: Wärmekissen und Sauerstoff

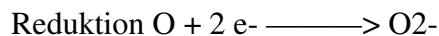
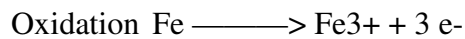
Der Gefrierbeutel aus Versuch 2 wird mit reinem Sauerstoff aus der Druckflasche prall gefüllt und verschlossen.

Ergebnis: Der Sauerstoff war innerhalb von 5 min verbraucht. Der Beutel war aus diesem Grund komplett zusammengefallen. Die Temperatur stieg rasch an und ging sogar an die Grenzen dessen, was ein Gefrierbeutel aushält.

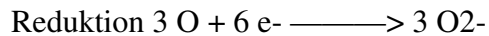
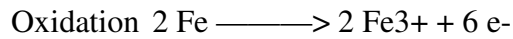
Was steckt chemisch hinter dem eisernen Wärmekissen?

Woran denken wir, wenn wir die Mischung "Eisen, Natriumchlorid und Wasser" betrachten? Das Stichwort ist "Rosten". Und das ist eine Oxidation. Oxidationsmittel ist Sauerstoff - wie im richtigen Leben.

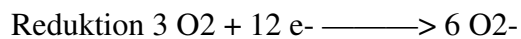
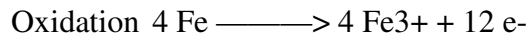
Zur Herleitung der Reaktionsgleichung zerlegen wir die Reaktion formal in die Oxidation und die Reduktion.



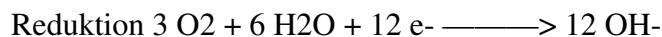
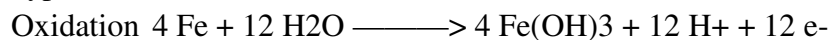
Wir gleichen die Ladungen aus und multiplizieren dazu die Ox-Gleichung mit 2, die Red-Gleichung mit 3.



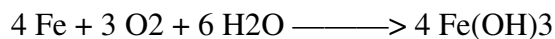
Sauerstoff liegt als O_2 vor.



Nun muss noch das Wasser ins Geschäft kommen. Denn die O^{2-} -Ionen sind echt hypothetisch...



Nun können wir daraus durch Addition die Gesamtreaktionsgleichung herleiten. (Dabei müssen wir noch die Reaktion $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ einkalkulieren.)



$\text{Fe}(\text{OH})_3$ - ist das nicht Rost? (Genau genommen ist Rost eher FeOOH ; aber das ist hier nicht so wichtig.) Wenn das Wärmekissen lange genug benutzt worden ist, stellen wir fest, dass es nur noch aus Rost besteht. Um den zu erkennen, spülen wir die Aktivkohle ab.

Das alles kennen wir unter dem Stichwort Korrosion. In diesem Fall handelt es sich um die Sauerstoffkorrosion. Aber wer hätte gedacht, dass bei so einem schleichenden Prozess wie dem Rosten soviel Energie frei gesetzt wird? Zur Erinnerung: Eisen ist ziemlich unedel. Hier läuft der Rostprozess dazu noch besonders rasch ab - fast so wie bei einer Verbrennung. Da wird die Oxidationsenergie genau so rasch frei. Wie gut Eisen brennen kann, zeigen wir mit dem Versuch vom pyrophoren Eisen.

Es gibt noch einen ähnlichen Versuch zur Theorie des hier beschriebenen Wärmekissens:

"Feuer durch Wasser". Hierbei setzen wir statt Eisen Zink ein. Nach den

Versuchsbedingungen handelt es sich außerdem um eine Säurekorrosion. Das

Versuchsergebnis zeigt im Übrigen, dass die dort vorgestellte Mischung auf keinen Fall als Füllmaterial eines Wärmekissens geeignet ist.

Und wozu sind Kochsalz und Aktivkohle nötig?

Hier läuft ein elektrochemischer Vorgang ab. Stichwort: Lokalelement. Das Kochsalz ist ein Elektrolyt, der Ionenwanderungen und Elektronenübergänge unterstützt.

Die Aktivkohle wirkt anders, eigentlich katalytisch. Sie adsorbiert Sauerstoff, aktiviert ihn und reicht ihn an das Eisen weiter. Dazu kommt noch, dass sie die Eisenteilchen auf Abstand hält und so den Gas-Austausch erleichtert.

Wie entsorgt man die Kissen?

Die Kissen wärmen so lange, wie in ihnen Eisen vorhanden ist, das oxidiert werden kann.

Bleibt noch die Frage, wie man die Kissen entsorgen soll. Da Rost unschädlich für die Umwelt ist, kann es in den Hausmüll geworfen werden. Wichtig ist vor allem aber, die Kissen vor dem Wegwerfen zu entschärfen, sie also durch Wasser zum starken Rosten zu veranlassen. Sonst könnten sie den Mülleimer in Brand setzen.

Für Spezialisten: Nun bleibt noch die Frage nach der freigesetzten Energie

In vielen Büchern wie zum Beispiel dem Holleman-Wiberg (der Bibel der Anorganiker)

findet man für chemische Reaktionen fast immer Angaben zur Reaktionswärme (Enthalpie).

Aber zur Oxidation des Eisens oder gar zum Rosten haben wir nichts gefunden.

Wir können jedoch die Standardbildungsenthalpien ΔH (Reaktionswärme) heranziehen. Unter dieser für die chemische Forschung und Reaktionsplanung wichtigen Energiegröße versteht man die hypothetische Enthalpie bei der Bildung der Substanz aus den Elementen bei 25 °C. Die Standardbildungsenthalpien findet man in allen größeren Tabellenwerken zur Chemie.
 ΔH für $\text{Fe}(\text{OH})_3$ bzw. $\text{Fe}_2\text{O}_3 = -197 \text{ Kcal / mol} = -824,2 \text{ KJoule / mol}$
Zum Vergleich ist hier die Standardbildungsenthalpie von flüssigem Wasser:
 ΔH für $\text{H}_2\text{O} (\text{fl}) = -68,32 \text{ Kcal / mol} = -285,9 \text{ KJoule / mol}$
Wer hätte gedacht, welche Energien beim Rosten von Eisen freigesetzt werden!

2. Berechnung der Energie: Aus einem weiteren Internetforum

Hallo, kann mir einer bei folgender Aufgabe helfen?!

Eine Kältepackung enthält 75 g Ammoniumnitrat und 250 g Wasser. Um wieviel Grad wird die Temperatur erniedrigt, wenn die beiden Stoffe gemischt werden? - Nehmen sie hierzu an, dass sämtliche während des Lösevorgangs absorbierte Energie vom Wasser bereitgestellt wird.

$\Delta H_{\text{sol}}(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 26,0 \text{ kJ/mol}$; molare spezifische Wärme $C(\text{H}_2\text{O}) = 75,3 \text{ J/mol K}$

Also, beginnen solltest du mit dem Ausrechnen der Anzahl Mol von Wasser und Ammoniumnitrat.

Dann kannst du aus der Stoffmenge des Ammoniumnitrats die Menge an Energie berechnen, die freigesetzt wird, wenn es gelöst (solvatisiert) wird. $n_{\text{NH}_4\text{NO}_3} \cdot \Delta H_{\text{sol}}$.

Dann hast du also die Energie und diese wird dazu verwendet, das Wasser zu erwärmen. $\Delta H = c \cdot n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T$. Umstellen ergibt ΔT .

Mit 80g/mol für NH_4NO_3 ergibt sich $n_{\text{NH}_4\text{NO}_3}$ zu 0.9375 mol.

Das macht eine Energie von 24.375 kJ, die freigesetzt werden sollte.

Was die ca. 13.89 mol Wasser um ca 23°C erwärmen sollte.

Rechne es aber selber und verwende korrekte Daten, nicht meine gerundeten Werte! -

Vielleicht habe ich mich auch verrechnet, das kann vorkommen!

alpha,alpha,

ne KÄLTE Packung... Mit den Vorzeichen hast du wirklich nicht, oder? 😊

Ich wollt schon immer mal so "obercool" klingen. Kotz.

Aber, mal im ernst. Das ist natürlich korrekt, nur in die falsche Richtung. Denn positive ΔH bedeuten energie aufnahme, die dem System in Form von Temperatur entzogen wird.

Man merkt schon: Mir is langweilig! 😊

😊Meo! - danke für die Korrektur! 😊

Nein, mit den Vorzeichen habe ich es wirklich nicht! - Vorzeichenfehler waren noch immer Kavaliersdelikte!

Kennst du die Geschichte von Moffitt und seinem Vorzeichenfehler, der dennoch wichtige Resultaten bei der theoretischen Berechnung der Drehung von Licht lieferte? - So kann es gehen...