

Lehrerinformation zur Wärmespeicherung

Inhalt

1	Einleitung	2
2	Wärmespeicherung	5
2.1	Versuche zur Wärmespeicherung	5
<i>Versuch 1</i>	<i>Wasser als Latentwärmespeicher</i>	5
<i>Versuch 2</i>	<i>Der Paraffinbecher - Paraffin als Latentwärmespeicher</i>	7
<i>Versuch 3</i>	<i>Mikroverkapselung von Paraffin mit Alginat</i>	7
<i>Versuch 4</i>	<i>Thermobecher mit mikroverkapseltem Paraffin</i>	9
3	Schlussbemerkung zu den Versuchen der Wärmespeicherung	16
4	Quellenverzeichnis	17

1 Einleitung

Wärmedämmung beschreibt die Reduzierung des Durchgangs von Wärmeenergie durch ein umhüllendes / abgrenzendes Material, um einen Bereich entweder vor Abkühlung oder Erwärmung zu schützen. Sie ist für Lebewesen (Säugetiere), die ihre i.d.R. deutlich über der Umgebungstemperatur liegende Körpertemperatur aufrechterhalten müssen, essentiell. Abgesehen von Kleidung trägt auch die körpereigene Wärmedämmung und -regulation dazu bei (Fettschichten, natürlich vorkommende Behaarung bzw. Befiederung, Schwitzen, Zittern). Ökologisch und ökonomisch ist sie für Gebäude von großer Bedeutung, um beispielsweise den Heizwärmebedarf zu minimieren. Dies ist ein wichtiger Ansatzpunkt, da Strom und Wärme für die Wohnung heute größtenteils durch das Verbrennen von sogenannten fossilen Energieträgern wie z.B. Erdöl, Kohle oder Erdgas erzeugt wird. Dabei entsteht CO_2 , das sich negativ auf das Klima auswirkt („Treibhausgas“, Versuchsanleitungen zum Themenblock „Versuche zu Atmung und CO_2 “). Ziel ist es, die Produktion von CO_2 zu reduzieren, indem z. B. Energie effizienter genutzt wird oder Temperaturschwankungen durch wechselnde Außentemperaturen – z. B. im Wohnbereich – gepuffert werden, so dass weniger fossile Brennstoffe verbrannt werden müssen.

Es werden zwei Formen der Wärmespeicherung unterschieden, die *sensible* und die *latente* Wärmespeicherung. Bei der sensiblen Wärmespeicherung geht die Energiezufuhr mit einer Temperaturerhöhung einher. Sie ist also fühlbar oder „sensibel“ [1]. Beispiel wäre eine mit erhitztem Wasser gefüllte Wärmflasche. Der Begriff „Speicherung“ erscheint hier nur teilweise angebracht, da die eingebrachte Energie nicht gehalten, sondern nach Einspeisung sofort wieder abgegeben wird. Es ist wie ein Reifen mit offenem Ventil, aus dem die gerade eingepumpte Luft gleich wieder herausströmt.

Im Gegensatz dazu wird bei der sogenannten latenten Wärmespeicherung die Energie gespeichert, ohne dass sich die Temperatur des Speicherstoffs erhöht. Diese Art der Energiespeicherung geschieht während eines Phasenübergangs, z. B. vom festen in den flüssigen Zustand. Die zugeführte Energie dient in dieser Zeit ausschließlich dem Ändern des Aggregatzustands [1]. Die verwandten Materialien werden daher auch *Phase Change Materials* (PCM, deutsch: Phasenwechselmaterialien) genannt. Abb. 1-1 zeigt die Temperaturverläufe für einen Stoff ohne (blau) und einen mit Phasenübergang (rot) im betrachteten Temperaturbereich.

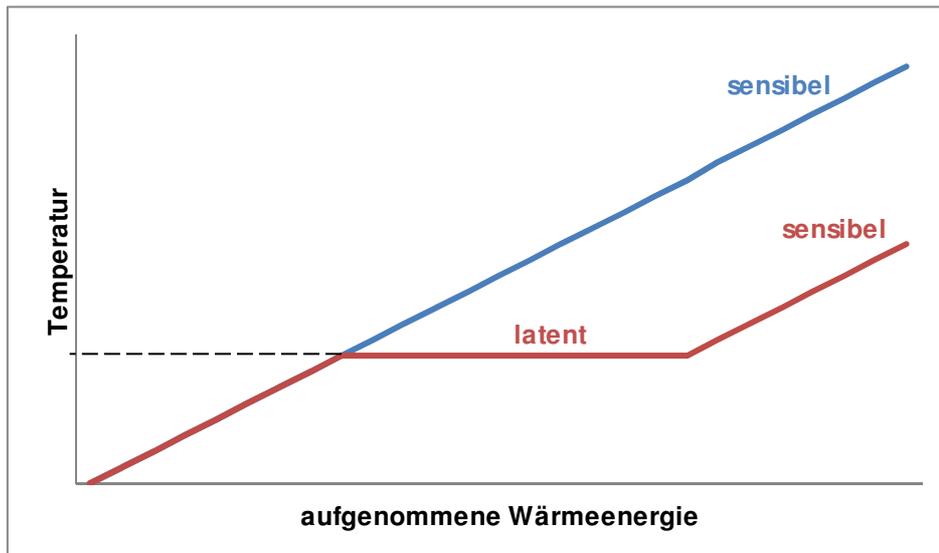


Abb. 1-1: Vergleich der Wärmespeicherung in Form von sensibler und latenter Energie [adaptiert nach 1]

Am Phasenübergang wird die zugeführte Energie zum Überwinden der Wechselwirkungskräfte zwischen den Molekülen verwendet. Die Temperatur erhöht sich nicht, bis das Material vollständig geschmolzen ist. Im Falle eines Phasenübergangs fest – flüssig ist die latente Wärme folglich gleich der Schmelzwärme des Speichermaterials. Die Verwendung von PCM hat folgende Vorteile:

1. Es ist möglich, in einem kleinen Temperaturbereich verhältnismäßig große Wärme- bzw. Kältemengen zu speichern und somit hohe Speicherdichten zu erreichen.
2. Da der Phasenübergang bei konstanter Temperatur über einen gewissen Zeitraum stattfindet, besteht die Möglichkeit Temperaturspitzen zu verhindern. Das Material hat eine „wärmepuffernde“ Wirkung.

Nun haben alle Stoffe Phasenübergänge (fest/flüssig bzw. flüssig/gasförmig). Wegen des geringen Volumeneffekts sind die Schmelz- und Erstarrungsvorgänge bevorzugt. Ein brauchbares PCM muss einen Phasenwechsel im gewünschten Temperaturbereich aufweisen und eine möglichst hohe Schmelzwärme (Schmelzenthalpie) aufweisen, damit der Effekt auch quantitativ brauchbar ist und der unter 1. genannte Vorteil erfüllt wird.

Das wohl bekannteste und für das Leben auf der Erde essentielle PCM ist Wasser. Der Phasenwechsel fest/flüssig findet bei 0 °C statt. Mit der Energie, die man benötigt, um 1 kg Eis zu schmelzen, könnte man die gleiche Menge Wasser auf 80 °C erhitzen. Die spezifische Schmelzenthalpie ist also im Vergleich zur spezifischen Wärmekapazität von Wasser relativ hoch (Schmelzenthalpie 334 kJ/kg, spezifische Wärmekapazität = die Energiemenge, die man benötigt, um ein kg Wasser um ein Grad zu erwärmen, ca. 4,19 kJ/kg·K, $334/4,19 = 80$) [2], wodurch die Energiedichte erheblich größer ist als bei Warmwasserspeichern.

Weitere PCMs für die unterschiedlichen Temperaturbereiche sind in Abb. 1-2 zu sehen.

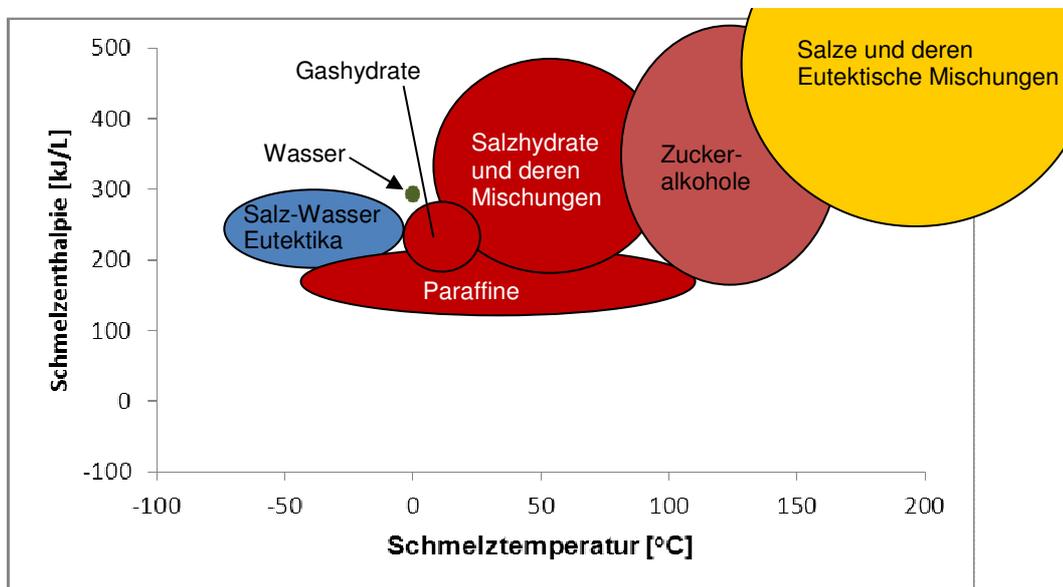


Abb. 1-2: Temperaturbereiche der Phasenübergänge von Materialklassen (PCMs) zur Latentwärmespeicherung [nach 1]

Für die Kältespeicherung unter 0 °C werden wässrige eutektische Salzlösungen (Salz-Wasser-Gemische, die, basierend auf dem thermodynamischen Prinzip der Gefrierpunktserniedrigung, die Schmelztemperatur des Wassers erniedrigen) eingesetzt. Um den Temperaturbereich zwischen 0 °C und 20 °C besser abzudecken, werden Gashydrate erforscht. Die Wärmespeicherung im Temperaturbereich von 5 °C bis 130 °C wird mit Hilfe von Salzhydraten und eutektischen Mischungen von Salzhydraten realisiert. Eine andere Materialklasse im selben Temperaturbereich sind die Paraffine. Sie werden oft wegen ihrer chemischen Reaktionsträgheit und somit einfachen Handhabung eingesetzt. Eine für die latente Wärmespeicherung neuere Materialklasse, die noch in der Entwicklung ist, sind Zuckeralkohole im Temperaturbereich 90–180 °C. Für Temperaturen oberhalb von 130 °C werden Salze sowie eutektische Mischungen von Salzen eingesetzt [1].

Da in der vorliegenden Versuchsreihe neben Eis/Wasser Paraffine als PCM eingesetzt werden, sollen diese hier näher betrachtet werden. „Paraffin“ (lat.: wenig verwandt bzw. wenig reaktionsfreudig) bezeichnet ein Gemisch aus Alkanen (gesättigte Kohlenwasserstoffe) mit der allgemeinen Summenformel C_nH_{2n+2} . Die Zahl n liegt für Hartparaffin zwischen 18 und 32 und die molare Masse damit zwischen 254 und 450 g/mol. Die Einteilung der Paraffine erfolgt in Weich-, Hartparaffin, Intermediate und Mikrowachse. Paraffinöle spielen nur eine untergeordnete Rolle, da sie als Nebenprodukt bei der Paraffinherstellung anfallen. Während Weichparaffin einen Schmelzpunkt bei etwa 45 °C aufweist, schmilzt Hartparaffin zwischen 50–60 °C. Die Intermediate liegen zwischen den Hartparaffinen und den Mikrowachsen und weisen Erstarrungspunkte von 60–70 °C auf [3] Mikrowachse weisen sogar Erstarrungspunkte zwischen 70 und 80 °C auf und enthalten Kettenlängen (n) von bis zu

75 Kohlenstoffatomen. Dieses breite Spektrum von Schmelzbereich (s. Abb. 1-3), je nach Anzahl der C-Atome, ist ein besonderer Vorteil der Paraffine.

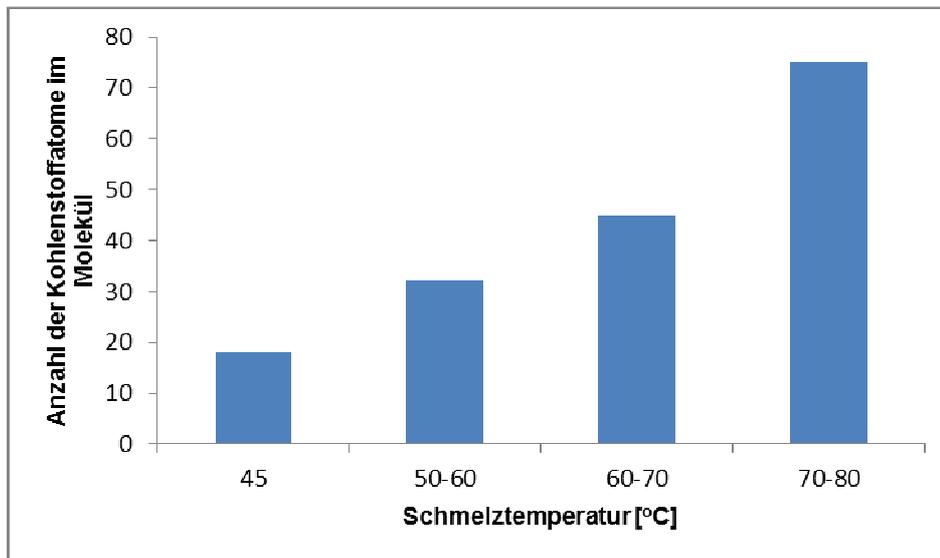


Abb. 1-3: Schmelztemperatur von Paraffinen (Alkanen) je nach Anzahl der Kohlenstoffatome im Molekül

Die Kohlenwasserstoffe, die die Hauptmasse des Erdöls ausmachen, sind mit die einfachsten organischen Verbindungen und daher auch als solche Gegenstand des Chemieunterrichts. Die hydrophoben Wechselwirkungen zwischen den Ketten, die von der Waals-Kräfte, werden hier thematisiert. Die Zunahme dieser Wechselwirkungsmöglichkeiten mit steigender C-Zahl erklärt das Ansteigen von Schmelz- und Siedepunkten.

Paraffin ist wachsartig brennbar, farb-, geruchs- und geschmacklos, ungiftig, elektrisch isolierend, wasserabweisend und gegenüber vielen Chemikalien reaktionsträge (inert). Es ist unlöslich in Wasser, aber leicht löslich in Benzin, Ether und Chloroform. Die Haupteinsatzgebiete von Paraffinen sind als Brennstoff, zur Versiegelung, Pflege und Konservierung sowie als Speichermedium in Latentwärmespeichern [3].

Im Folgenden werden wieder die PCM's im Allgemeinen behandelt.

Die PCM-Technik wird z.B. angewandt, wenn es gilt die Energieversorgung zu sichern (z. B. Temperaturpufferung in solaren Luftsystemen: Ausgleich von Schwankungen des solaren Energieangebotes durch höhere Speicherdichten der eingesetzten PCM), Platzmangel herrscht oder zusätzliches Gewicht eingespart werden muss. PCM finden Einsatz in Warmhalteplatten für die Gastronomie, in der mobilen Abwärmenutzung (Überschusswärme von Kraftwerken oder Produktionsanlagen wird gesammelt, in einem mobilen Latentwärmespeicher gespeichert, und anschließend z. B. mit einem LKW an einen anderen Ort transportiert, wo sie wirtschaftlich sinnvoll genutzt werden kann) im Kfz-Bereich oder auch in der Heizungs- und Baustoffindustrie als wärmepuffernde Baustoffe und auch zunehmend in Funktionstextilien. Diese können dadurch die Körper- oder Umgebungswärme aufnehmen, speichern und wieder abgeben. Bei Einsatz des Prinzips zur Solarwärmespeicherung als Heizenergie für den Winter sind zwar die Investitionen höher, dennoch spart das System gegenüber der Nutzung von Wassertanks oder Kies deutlich Platz [2].

Bei der Suche nach einem geeigneten PCM geht es nicht nur darum, ein Material zu finden, das Wärme in einem engen Temperaturbereich speichern kann. Es soll auch formbeständig und mechanisch belastbar sein und nicht mit angrenzenden Materialien reagieren. Durch die Verkapselung des Speichermaterials können diese Anforderungen erfüllt werden. Unter Verkapselung versteht man eine geschlossene Umhüllung des PCM. Je nach Größe der Kapsel bzw. des Behälters unterscheidet man zwischen *Makro*- und *Mikro*verkapselung [1].

Ein Beispiel für Makroverkapselung sind flache Container aus Kunststoff für Kühlelemente.

Mikrokapseln dagegen sind winzig kleine Container, die das flüssige oder feste Kernmaterial individuell mit einer festen Schale umschließen. Sie stellen eine sehr belastbare Verpackung dar, die die Phasenumwandlungen des *Kerns* einschließlich dessen Volumenänderung tolerieren (bei fest-flüssig gering). Besonders gut können in ihnen mit Wasser nicht mischbare Stoffe wie z. B. Paraffine eingeschlossen werden. Aufgrund ihrer geringen Größe sind sie gut dosierbar und besitzen infolge des hohen Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen einen guten Wärmeübergang. Hieraus ergeben sich spezielle Einsatzgebiete für Mikrokapseln, z.B. in der Textil- oder in der Baustoffindustrie [1].

2 Wärmespeicherung

Der Einsatz von Wärmespeichern ist interessant, da diese z. B. solare Wärme für Gebäude- oder auch Prozessanwendungen speichern könnten. Zudem sollen diese Materialien helfen, die Energiedichten zu optimieren und die Dämmeigenschaften zu verbessern, so dass Energie „eingespart“ werden kann. Dies ist die effizienteste Form, den CO₂-Ausstoß zu senken.

Insbesondere PCMs sollen in dieser Versuchsreihe näher betrachtet werden, da sie beispielhaft zeigen, wie man die fundamentalen Eigenschaften von Stoffen intelligent nutzen kann, um Wärmeflüsse zu regulieren und Temperaturänderungen zu dämpfen.

Der Themenblock “Wärmespeicherung“ beinhaltet vier Versuche. Im ersten Experiment wird Wasser als PCM und dessen Funktionsprinzip vorgestellt. Ein weiteres PCM (Paraffin) lernen die SchülerInnen in Versuch 2 kennen. In Versuch 3 führen die SchülerInnen eine Mikroverkapselung von Paraffin durch, dessen Produkt in Versuch 4 im Einsatz untersucht wird.

Das Versuchskonzept zum Thema Wärmespeicherung besteht somit aus folgenden Versuchen:

- 1 Wasser als Latentwärmespeicher
- 2 Der Paraffinbecher – Paraffin als Latentwärmespeicher
- 3 Mikroverkapselung von Paraffin mit Alginat
- 4 Thermobecher mit mikroverkapseltem Paraffin

2.1 Versuche zur Wärmespeicherung

V 1 – Wasser als Latentwärmespeicher

Wasser bzw. Eis schmilzt unter Normaldruck bei 0 °C. Ein zweiter Phasenübergang – flüssig/gasförmig - findet bei 100 °C statt. Wird Eiswasser erwärmt, durch Heizen oder infolge einer höher liegenden Umgebungstemperatur, bleibt die Temperatur trotz Energiezufuhr konstant, solange noch Eis schmilzt (s. Abb. 2-1). Dieser Prozess ist reversibel. Wenn das Wasser wieder zu Eis gefriert, wird die beim Schmelzen zugeführte Energie wieder freigesetzt.

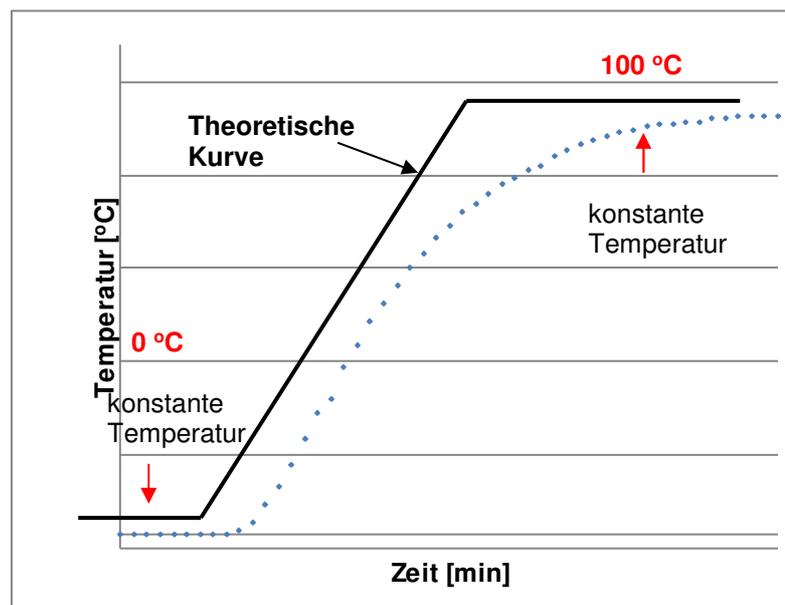


Abb. 2-1: Temperaturverlauf beim Erwärmen von Eis/Wasser (Kurvenverlauf in Punkten stellt die aufgenommene Kurve im Labor dar, während die schwarze Kurve die theoretisch erwartete Kurve demonstriert)

Der Eiswürfel im Getränk (festes Wasser) ist der bekannteste Latentwärmespeicher. Während er schmilzt, speichert er Wärmeenergie der umgebenen Flüssigkeit, die dadurch gekühlt wird.

In Versuch 1 sollen sich die SchülerInnen an einem allseits bekannten Stoff „Wasser“ das Prinzip eines Latentwärmespeichers (Phase Change Material, PCM) eigenständig erarbeiten. Während des Schmelzens von Eis erkennen sie, dass während der Phasenumwandlung Energie zugeführt wird, sich die Temperatur jedoch nicht ändert. Die zugeführte Energie geht jedoch nicht verloren, sondern verbleibt im Speichermedium Wasser, das diese Energie beim Erstarren wieder abgibt (reversibler Vorgang). Das Punktediagramm in Abb. 2-1 zeigt die im Labor aufgenommene Kurve. Durch Abwärmeverluste steuert sie allerdings nicht linear auf die 100 °C-Marke zu. Die theoretisch erwartete Kurve (schwarz) ist vergleichend im Diagramm abgebildet. Zudem herrscht im Labor bedingt durch die Abzüge leichter Unterdruck.

Obwohl man diesen Versuch bei Raumtemperatur durchführen könnte, wird geheizt, damit die Energiezufuhr offensichtlich ist. Dass diese auch erfolgt, wenn die Umgebungstemperatur höher ist als die des Wassers, wird möglicherweise nicht er-

kannt. Außerdem verläuft der Prozess so schneller, was für einen Versuch für SchülerInnen praktikabler ist. Durch Aufnahme eines Temperatur-Zeit-Diagramms können die SchülerInnen die latente sowie auch die sensible Wärmespeicherung (s. Abb. 1-1) im Kurvenverlauf erfassen.

Gleichzeitig werden im Rahmen dieses Versuchs die Aggregatzustände des Wassers thematisiert sowie die Messdatenaufnahme und Erstellung von Diagrammen geübt.

V 2 – Der Paraffinbecher

Paraffin als Latentwärmespeicher

Da der Schmelzpunkt von Wasser bzw. Eis bei 0 °C liegt, ist es zwar für das Kalthalten von Getränken (Eiswürfelzusatz) gut geeignet, nicht aber für die Regulierung der Raumtemperatur oder das Warmhalten von Getränken. Interessanter sind Stoffe, die zwischen 40 und 70 °C schmelzen. In diesem Bereich kommt Hartparaffin, ein Gemisch von gesättigten Kohlenwasserstoffen, zum Einsatz, das eine Schmelztemperatur von etwa 60 °C und eine Schmelzenthalpie zwischen 200 und 240 kJ/kg (Wasser: 333 kJ/kg) aufweist [4]. Die Wärmeabgabe beim Erstarren ist also etwa ein Drittel geringer als die von Wasser, dafür liegt sie aber im Nutzbereich. Ein weiterer Vorteil der Paraffine besteht darin, dass durch Variation der Kettenlänge (C-Zahl) der Schmelzbereich einstellbar ist (s. Kap. 1, Abb. 1-3). Somit kann mit Hilfe der Paraffine ein weiter Temperaturbereich der Latentwärmespeicherung abgedeckt werden.

In Versuch 2 stellen die SchülerInnen einen Paraffinbecher her. In diesen füllen sie temperiertes Wasser, welches sie über einen vorgegebenen Zeitraum bei einer Umgebungstemperatur von ~0 °C (Becher steht in einer Schale/Plastikschüssel, die mit Eis gefüllt ist) abkühlen lassen. Die Außen- bzw. Umgebungstemperatur wurde auf etwa 0 °C herabgesetzt, damit die SchülerInnen das Temperaturplateau beim Abkühlen des temperierten Wassers eher erreichen (nach etwa 50 min). Parallel wird ein Versuch ohne Paraffin (Wasser im einfachen Becherglas, das ebenfalls in der Eisschale steht) durchgeführt. Es wird ein Temperatur-Zeit-Diagramm von der Abkühlung des temperierten Wassers aufgenommen, an dem die SchülerInnen ähnliche Bereiche konstanter Temperatur im Kurvenverlauf erkennen können wie zuvor beim Wasser/Eis-Gemisch in Versuch 1. Allerdings liegt dieser Bereich nun bei etwa 54 °C (s. Abb. 2-2). Die SchülerInnen können aus diesem Versuch die Schlussfolgerung ziehen, dass Paraffin auch ein Latentwärmespeicher ist.

Des Weiteren vergleichen die SchülerInnen die beiden Abkühlungskurven des temperierten Wassers einmal im Paraffinbecher und einmal im einfachen Becherglas und erkennen den Unterschied im Verlauf: *mit* Plateau beim Phasenübergang für Paraffin im Paraffinbecher mit Paraffindeckel und einen exponentiellen Abfall ohne Haltephase im „nackten“ Becherglas (s. Abb. 2-2). Leider wird der Temperaturabfall auch während des Erstarrens nicht völlig aufgehalten, da das System nicht ausreichend isoliert ist und der Wärmeverlust an die Umgebung nicht völlig kompensiert werden kann. Daher ist das Plateau nicht so scharf ausgeprägt, sondern von einer schwachen Abkühlkurve überlagert.

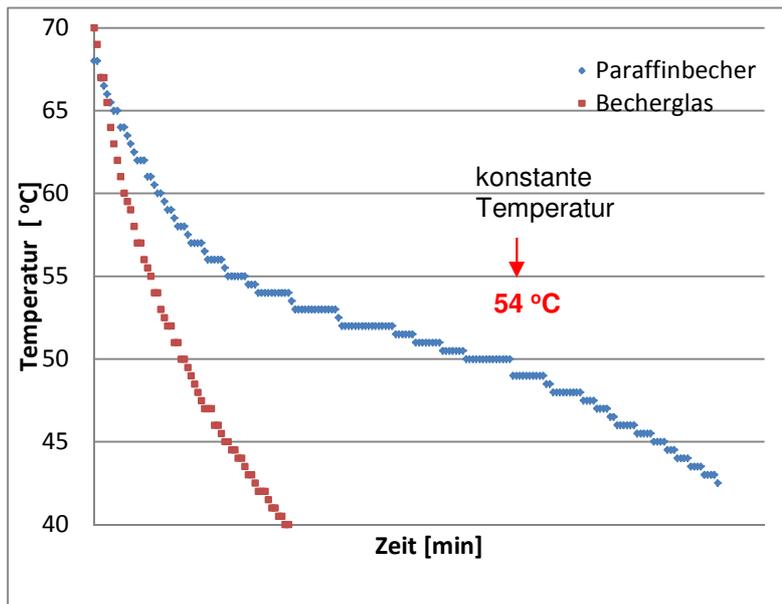


Abb. 2-2: Vergleich: Temperaturverlauf beim Abkühlen von temperierten Wasser im Paraffinbecher und im „nackten“ Becherglas

V 3 – Mikroverkapselung von Paraffin mit Alginat

Der Einsatz von „losem Paraffin“ zur Wärmedämmung ist – denkt man an Baustoffe – nicht praktikabel. In Versuch 3 lernen die SchülerInnen mit der Mikroverkapselung ein Verfahren kennen, das breite Anwendung findet, um Stoffe handhabbar und dosierbar zu machen oder sie vor äußeren Einflüssen wie Licht und Sauerstoff zu schützen. Die in Mikrokapseln eingeschlossenen Substanzen werden allgemein als Kernmaterial bezeichnet (s. Abb. 2-3). Mit zunehmendem Durchmesser nehmen die relative Wanddicke und damit die Stabilität der Mikrokapsel ab.

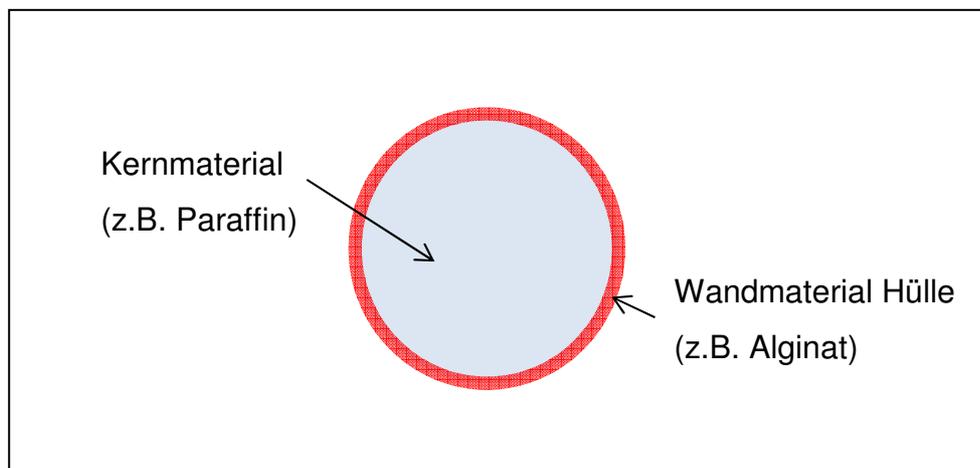


Abb. 2-3: Aufbau einer Mikrokapsel aus Hülle und Kernmaterial

Durch die Auswahl geeigneter Wandmaterialien können die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Mikrokapseln gezielt beeinflusst werden, so dass ihre Einsatzmöglichkeiten vielfältig sind (Verkapselung von Duftstoffen, Inhaltsstoffen von Kosmetika, Waschmitteln (Enzyme), Arzneistoffen, Pestiziden) [5].

Besonders gut können mit Wasser nicht mischbare Stoffe, wie z. B. die hier verwendeten Paraffine, eingeschlossen werden. Die Kapselhülle, die hierfür im Versuch 3 eingesetzt wird, besteht aus Alginat, das mit Calciumionen geliert. Alginat ist ein Polysaccharid, das aus 1,4- verknüpfter α -l-Guluronsäure (G) und β -d-Mannuronsäure (M) besteht (s. Abb. 2-4) [6].

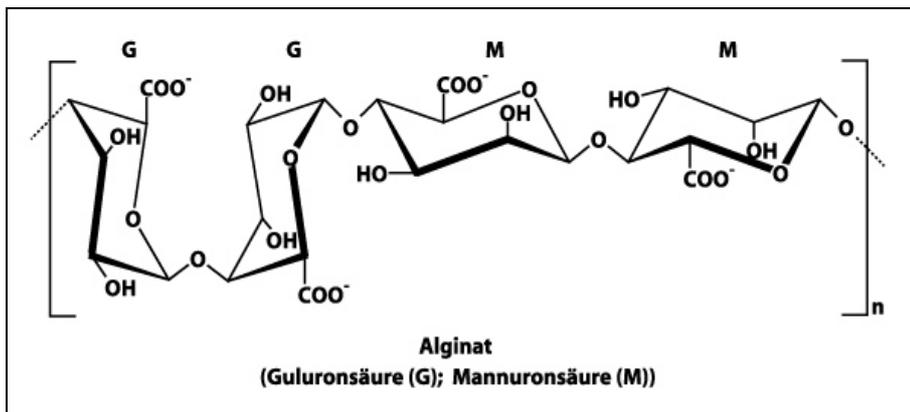


Abb. 2-4: Chemische Struktur von Alginat

Es bildet sogenannte *homopolymere* Bereiche, in denen viele Mannuronsäuren oder Guluronsäuren nebeneinander vorliegen (= als Block). Diese Blöcke werden als G- oder M-Blöcke bezeichnet. Daneben gibt es alternierende Bereiche, die man GM-Blöcke nennt. Die G-Blöcke bilden eine regelmäßige Zickzack-Struktur aus, die sich vermittelt durch gut in diese „Taschen“ passende Calciumionen zusammen lagern und so ein Netzwerk ausbilden. Da das Calcium in dieser Struktur wie ein Ei in einer Schachtel liegt, wird dieses Modell auch als „Eierschachtel“- oder „Eggbox“-Modell bezeichnet (s. Abb. 2-5) [5,6].

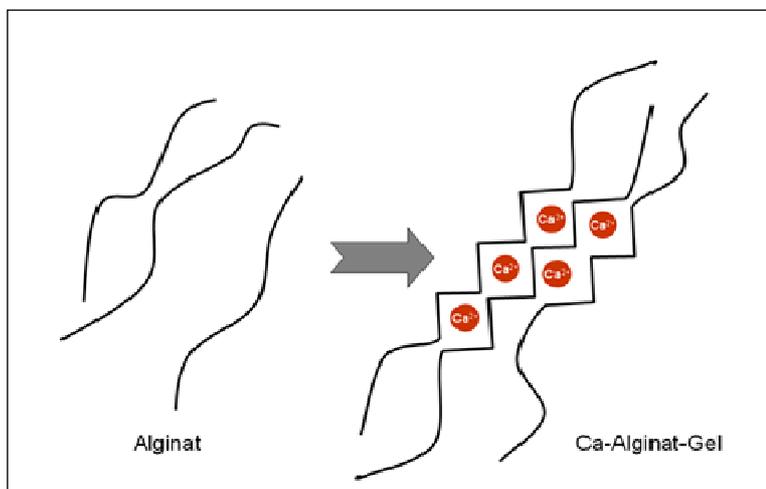


Abb. 2-5: Eierschachtel-„Eggbox“-Modell: Gelierung von Alginat mit Calciumionen [aus 5]

Beim Eintropfen der Alginatlösung in eine Calciumlösung bildet sich an der Kontaktfläche sofort eine Alginathaut. Dadurch wird die Oberfläche verfestigt (s. Abb. 2-6). Bei reiner Alginatlösung geliert nach und nach auch der Innenbereich durch das Eindiffundieren von Calciumionen.

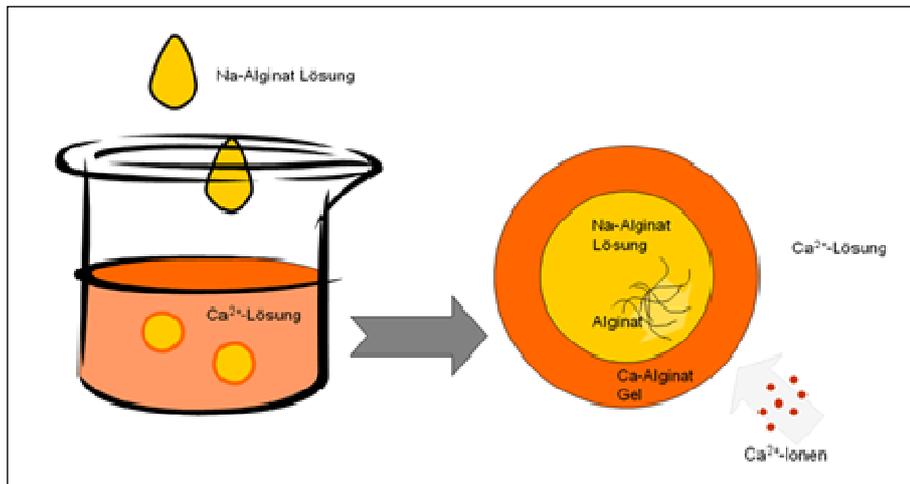


Abb. 2-6: Eintropfen einer Alginatlösung in eine Calciumlösung [Abb. aus 5]

Im vorliegenden Versuch wird bei der Verkapselung von Paraffin mit Alginat zusätzlich noch *Mulsifan* zugegeben. Es handelt sich hierbei um einen Emulgator für Paraffine von der Fa. Zschimmer und Schwarz. Dessen Zugabe ist wichtig, damit sich das wasserunlösliche Paraffin mit dem wasserlöslichen, polaren Alginat vermischen lässt. Beim Eintropfen wird das lipophile Paraffin in die Alginatkapsel eingeschlossen. Das Ergebnis sind kugelförmige Kapseln. Auf diese Weise wird die Kontaktfläche minimiert (kleine Oberfläche/Volumen).

Anhand dieses Versuches lernen die SchülerInnen ein aktuelles Verfahren kennen, um bestimmte Stoffe (z. B. Paraffin) in eine mechanisch belastbare Form zu bringen. Sie können das Produkt im nächsten Versuch für den Bau eines doppelwandigen Warmhaltebechers verwenden.

V 4 – Thermobecher mit mikroverkapseltem Paraffin

In Versuch 4 werden die in Versuch 3 hergestellten getrockneten Paraffin-Alginat-Kapseln eingesetzt, um einen Warmhaltebecher mit PCM herzustellen. Die Eigenschaften werden untersucht, indem wie bereits in Versuch 2, ein Temperatur-Zeit-Diagramm von der Abkühlungskurve des temperierten Wassers in diesem Becher aufgenommen wird. Eine typische Kurve, die die PCM-Eigenschaften des mikroverkapselten Paraffins erkennen lässt, ist in Abb. 2-7 gezeigt.

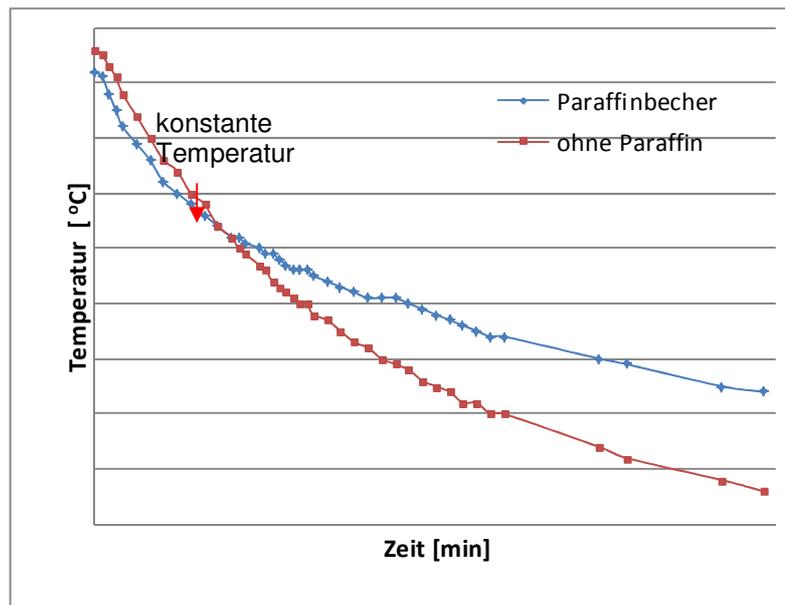


Abb. 2-7: Vergleich von Thermobecher mit mikroverkapseltem Paraffin und einfachem Becherglas: Abkühlungskurve von vortemperiertem Wasser

Im Bereich des Paraffinschmelzpunktes ist beim Paraffinbecher eine leichte Temperaturkonstanz zu erkennen. Diese ist deutlich schwächer ausgeprägt als beim Becher mit reinem Paraffin aus Versuch 2, da das Paraffin in der Alginatkapsel erst einmal durch das temperierte Wasser schmelzen muss, während in Versuch 2 das Paraffin bereits geschmolzen vorgelegt wird. Man kann jedoch den infolge des Phasenübergangs verzögerten Abkühlungsverlauf schön erkennen. Der Versuch soll daher durch Vortemperierung der Paraffin-Alginatkapseln noch verbessert werden. Damit die Wärmeverluste und die dadurch resultierende Überlagerung einer weiteren Abkühlung auf den typischen Kurvenverlauf möglichst gering gehalten werden können, wurde bereits ein selbst hergestellter Paraffindeckel (s. Versuchsvorschrift, Anhang 3, Versuch 2) eingesetzt. Dieser soll die Problematik von überlagerten Wärmeverlusten an die Umgebung einschränken wie der Deckel beim "coffee to go" oder beim Kochen in der Küche.

Dieser selbst hergestellte Warmhaltebecher soll das Prinzip einer demnächst auf den Markt kommenden PCM-Tasse demonstrieren. Es handelt sich hierbei um eine vom Münchner Fraunhofer Institut entwickelte Tasse (s. Abb. 2-8), die dank des eingesetzten PCMs (mikroverkapseltes Paraffin) die Temperatur von Heißgetränken auf die optimale Trinktemperatur von 58 °C abkühlt und diese für ca. 30 min hält [7]. Vermarktet soll die PCM-Tasse von der Fa. SND-Porzellan in Erlensee werden.

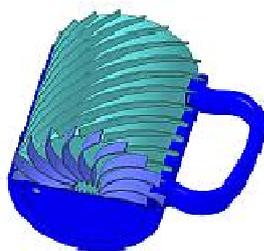


Abb. 2-8: Prototyp einer Tasse aus innovativen PCM [aus 7]

3 Schlussbemerkung zu den Versuchen zur Wärmeflussregulierung / Wärmedämmung

Mit Hilfe dieser Versuchsreihe sollen die SchülerInnen einen Einblick in die Funktionsweise von Latentwärmespeichern bzw. PCMs, die Einsatz in verschiedenen Bereichen der Wärmedämmung sowie der pharmazeutischen Industrie (z. B. Latentwärmeeakku für den Transport von Blutpräparaten) etc. finden, bekommen. Ein wesentlicher Aspekt einer effizienten Nutzung von Energie besteht darin, unerwünschte Wärmeverluste oder Erwärmung zu verhindern oder zumindest zu verlangsamen. Neben der einfachen „Isolierung“ bieten PCMs die Möglichkeit, Energie zu speichern. Da dies mit so elementaren Phänomenen wie dem Phasenübergang eines Stoffes verknüpft ist, ist das Beispiel besonders geeignet für den Schulunterricht. Die Änderung der Aggregatzustände steht am Anfang des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Es ist leicht nachzuvollziehen, dass man für die Phasenumwandlung Energie braucht. Dass die Temperatur während des Phasenübergangs konstant bleibt, ist experimentell leicht zu beobachten.

Die SchülerInnen lernen zwei unterschiedliche PCMs kennen (Wasser und Paraffin), die hinsichtlich ihrer Schmelztemperaturen für unterschiedliche Arbeitsbereiche eingesetzt werden können. Auch diese beiden typischen Stoffe sind ideal für den Unterricht geeignet. Wasser ist allgegenwärtig und seine besondere Eignung zur latenten Wärmespeicherung hat elementare Bedeutung für das Klima, was an dieser Stelle auch in Hinblick auf den Klimawandel diskutiert werden kann. Die Strukturen beider Stoffe sind sehr einfach. An Wasser kann man die H-Brücken, am Paraffin die hydrophoben Wechselwirkungen sowie den Zusammenhang von C-Zahl und Schmelzpunkt thematisieren.

Hinzu kommt mit Versuch 3 ein Anwendungsaspekt, der für die SchülerInnen den Bezug zum Alltag und zur Praxis herstellt. Sie lernen das Verfahren der Mikroverkapselung kennen, und damit eine wichtige und faszinierende Technik im Bereich der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Herstellung geeigneter PCMs für bestimmte Anwendungsbereiche verstehen. In Versuch 4 wird das mit den Paraffinkapseln hergestellte Produkt getestet.

Die Anwendung von Latentwärmespeichern hat in den letzten 20 Jahren stetig zugenommen. Aufgrund der Knappheit fossiler Energieträger sowie hoher Schadstoffemissionen, haben die PCMs an Bedeutung gewonnen. Ihre Fähigkeit Wärme während eines Phasenübergangs zu speichern und diese im umgekehrten Vorgang, des Erstarrens, wieder abzugeben, ermöglicht eine effiziente Energienutzung sowie Senkung des CO₂-Ausstoßes.

4 Quellenverzeichnis

- [1] http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/IV_2002/themen0402internetx.pdf
- [2] <http://de.wikipedia.org/wiki/Latentwärmespeicher>
- [3] <http://de.wikipedia.org/wiki/Paraffin>
- [4] <http://de.wikipedia.org/wiki/Wärmespeicher>
- [5] <http://www-chemgapedia.de>
- [6] <http://de.wikipedia.org/wiki/Alginsäure>
- [7] <http://www.lizzynet.de/wws/3246116.php>