



# Die Wärmekapazität

Sandra Schneider, WS 15/16, Victoria Clauß, SS 20

## **Einstieg 1:**

*„Ich würde mein Geld auf die Sonne und die Solartechnik setzen. Was für eine Energiequelle! Ich hoffe, wir müssen nicht erst die Erschöpfung von Erdöl und Kohle abwarten, bevor wir das angehen.“ Zitat Thomas Edison [3]*

*Dieses Zitat stammt, wie man erwarten würde, nicht von der aktuellen Bundesministerin für Wirtschaft und Energie Brigitte Zypries, sondern von Thomas Edison. Also schon im 19. Jahrhundert hat man erkannt, dass es sich bei der Sonne um eine riesige Energiequelle handelt. [3] Aber erst in den letzten 20 Jahren, nachdem die Prognosen auf die Ausschöpfung der fossilen Brennstoffe aufmerksam gemacht haben, gewinnt die Energie aus der Sonne immer mehr an Bedeutung. Diese Energie kann bereits mittels Solarzellen für die menschlichen Haushalte nutzbar gemacht werden. [7] Um die tagsüber produzierbare Solarenergie für die Nacht, wenn sie benötigt wird, zu speichern, werden Tanks gefüllt mit Wasser verwendet wegen der hohen Wärmekapazität von Wasser. [7] Aber ist das die ultimative Lösung oder ist ein anderes Speichermedium effizienter? Und wie groß müsste ein Tank sein, um die Sonnenenergie im Sommer für den gesamten Winter zu speichern? Denn so könnten wir uns ja unabhängig vom Stromversorger mit Energie versorgen.*

**Einstieg 2:** *Sommer, Sonne, Temperaturen meist über 25 Grad und nassgeschwitzte Klamotten. Dies beschreibt wohl ziemlich genau die heißen Sommertage. Viele Deutsche haben sich im Jahr der Corona-Pandemie deshalb einen Swimming Pool angeschafft, um sich ein bisschen Urlaub nach Hause zu holen. So kann man sich nach einem langen Arbeitstag in einem stickigen Büro oder Labor erst einmal abkühlen. Doch trotz allem scheuen viele oft noch den Sprung ins kühle Nass. Lediglich, wenn viele ganz heiße Tage aufeinander folgen und sich das Wasser um einige Grad erwärmt, wird der Sprung ins kalte Wasser gewagt. Aber woran liegt es, dass das Wasser erst bei mehreren heißen Tagen hintereinander auch bis zum Grund wärmer wird und wieso bleibt es dann so lange warm? Wenn sich das Wasser beispielsweise wie die Außentemperatur verhalten würde, müsste die Wasser-Temperatur eigentlich wie die Außentemperatur während der 24 Stunden schwanken.*

## **1 Was man wissen muss, um Solarenergie zu speichern**

Statt viel Geld für Experimente im großen Maßstab aus dem Fenster zu werfen, um das perfekte Medium zur Speicherung der Solarenergie zu finden, ist es sinnvoller Zeit in eine Berechnung zu investieren. Ein paar weiße Blätter sind bekanntlich billiger als ein Dutzend Häuser mit Speichertanks. Daher wird im Folgenden die mathematische Herleitung formuliert.

### **1.1 Herleitung aus dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik**

Schon einige Jahre vor Thomas Edison wurde der 1. Hauptsatz der Thermodynamik wie folgt formuliert: Die Änderung der Inneren Energie als Zustandsfunktion ist gleich die Summe der Änderung der Wärme und der Arbeit. Als Formel ausgedrückt heißt das [1]:

$$dU = \Delta Q + \Delta W$$

Es ist nur Volumenarbeit erlaubt, sodass  $\Delta W$  als  $-p \cdot dV$  umgeschrieben werden kann. Da die Wärmekapazität eine Änderung innerhalb eines Temperatur-Gradienten beschreibt, will man die Formel als Ableitung formulieren. Die Änderung der Wärme  $\Delta Q$  ist äquivalent zu der partiellen Ableitung der inneren Energie  $U$  nach der Temperatur bei konstantem Volumen. Die Volumenarbeit ist somit die partielle Ableitung der inneren Energie nach dem Volumen bei konstanter Temperatur. Somit kann folgende Gleichung aufgestellt werden [1]:

$$dU = \Delta Q + \Delta W = \Delta Q - p \cdot dV = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV$$

Da die Sonne ein Wärmelieferant ist, wird die Gleichung nach  $\Delta Q$  umgestellt und man erhält folgenden Term für  $\Delta Q$  [1]:

$$\Delta Q = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV + p \cdot dV$$

Wendet man das Distributivgesetz an, so kann  $dV$  ausgeklammert werden. Die  $dV$ -abhängigen Terme können gleich 0 gesetzt werden, da es sich um einen isochoren Prozess handelt. Von einem isochoren Prozess spricht man, wenn das Volumen konstant bleibt. Die Ableitung von konstanten Termen ist stets 0. Durch Äquivalenzumformung der partiellen Ableitung nach der Temperatur stellt man eine Gleichheit von  $\partial Q$  und  $\partial U$  bei konstantem Volumen auf. Durch die erhaltene Gleichung ist  $C_V$  wie folgt definiert („:=“ steht für die Definition von mathematische Symbolen) [1]:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \underbrace{\left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right]}_{= 0 \text{ (da isochorer Prozess)}} dV \\ &= 0 \text{ (da isochorer Prozess)} \\ C_V &:= \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \end{aligned}$$

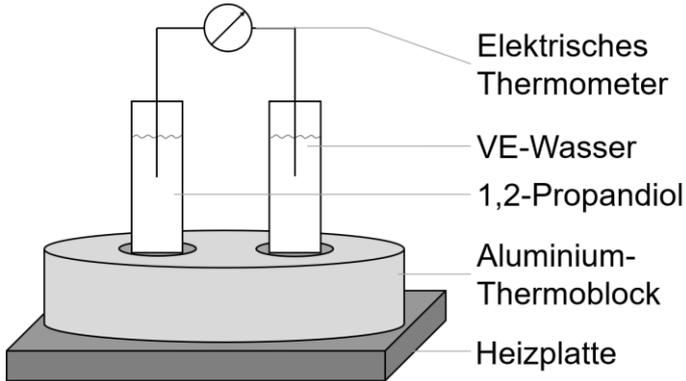
Die hergeleitete Formel bedeutet in Worten, dass die Wärmekapazität die Wärmemenge beschreibt, die nötig ist, um ein System um 1 °C zu erwärmen. Bezieht man diese Wärmemenge auf 1 kg, so spricht man von der spezifischen Wärmekapazität. [2]

Mit der Formel für die Enthalpie und unter Berücksichtigung, dass es sich um einen isobaren Prozess handelt, kann analog die Formel für  $C_P$  formuliert werden. Ein isobarer Prozess ist ein Vorgang bei konstantem Druck [1]:

$$\begin{aligned} dH &= dU + p \cdot dV + V \cdot dp \\ C_p &:= \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_p \end{aligned}$$

## 1.2 Spezifische Wärmekapazität

Nachdem die Wärmekapazität definiert wurde, ist es sinnvoll die Wärmekapazitäten verschiedener Materialien zu vergleichen, um das beste Speichermedium zu finden. Eine stoffspezifische Liste der Wärmekapazität kann dargestellt werden, wenn eine Norm eingeführt wird. Bezieht man sich auf 1 kg, so spricht man von der spezifischen Wärmekapazität. [2] Der folgende Versuch dient zum Vergleich der spezifischen Wärmekapazitäten zweier Flüssigkeiten: Wasser und 1,2-Propandiol (auch Propylenglykol genannt):

<b>Experiment</b>	Vergleich der spezifischen Wärmekapazitäten zweier Flüssigkeiten	
<b>Material</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 Reagenzgläser (RG, 30 mm)</li> <li>• Elektrisches Thermometer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aluminium-Thermoblock</li> <li>• Heizplatte</li> </ul>
<b>Chemikalien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VE-Wasser</li> <li>• 1,2-Propandiol</li> </ul>	
<b>Durchführung</b>	<p>Versuchsaufbau:</p>  <p>Abb. 1: Schematische Skizze des Versuchsaufbaus.</p> <p>Ein RG wird mit VE-Wasser und das zweite RG mit gleich viel 1,2-Propandiol befüllt. Beide RGs werden in den Aluminium-Thermoblock gestellt, der auf einer Heizplatte steht. Während des Versuchs wird von beiden Flüssigkeiten jeweils die Temperatur mittels eines elektrischen Thermometers gemessen. Die Heizplatte wird angeschaltet, sodass beide Flüssigkeiten gleichzeitig und gleich stark erhitzt werden (durch den Aluminium-Thermoblock gewährleistet). Sobald eine Temperatur von ca. 80 °C bei einer der beiden Flüssigkeit erreicht wird, werden beide Temperaturen notiert und die Heizplatte abgestellt. Der Temperaturverlauf der beiden Flüssigkeiten wird beobachtet.</p>	
<b>Beobachtung</b>	Die Temperatur des 1,2-Propandiols sinkt schneller als die Temperatur des Wassers.	
<b>Interpretation</b>	Wasser kann die zugeführte Energie in Form von Wärme besser speichern, weil dessen spezifische Wärmekapazität höher ist.	

Analog kann dieses Experiment mit weiteren Materialien durchgeführt werden, sodass die spezifische Wärmekapazität als Materialkonstante in einer empirischen Tabelle festgehalten werden kann. Ein Ausschnitt davon ist in folgender Tabelle zu sehen:

Tab. 1: Spezifische Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit ausgewählter Materialien im Vergleich. [4] [5] [6]

Material	Spezifische Wärmekapazität $\left[\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}\right]$	Wärmeleitfähigkeit $\left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right]$
Wasser	4,187	0,6
Ethanol	2,428	0,165
Glycerin	2,428	0,285
Schwefelsäure	1,386	0,33

Magnesium	1,034	170
Luft	1,0054	0,024
Aluminium	0,896	237
Glas	0,6 - 0,8	1,0
Kupfer	0,381	401

Oft wird die spezifische Wärmekapazität mit der Wärmeleitfähigkeit gleichgesetzt. In der obigen Tabelle wird deutlich gezeigt, dass diese Gleichheit nicht gilt. Die Wärmeleitfähigkeit beschreibt die Fähigkeit Energie in Form von Wärme durch ein Material zu transportieren. [5] Ein typisches Beispiel dazu: Legt man eine Kartoffel ins Lagerfeuer und dazu eine Kartoffel, die in Alufolie eingewickelt wurde, so wird man sich bei der in Alufolie eingewickelten Kartoffel mehr verbrennen als bei der normalen Kartoffel. Das liegt daran, dass Aluminium eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit besitzt, d.h. Aluminium leitet Wärme sehr gut und sehr schnell auf die Hand weiter, sodass man sich verbrennt. In der Tabelle wird deutlich, dass Materialien mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit nicht zwingend eine hohe spezifische Wärmekapazität besitzen. Somit sollte man darauf achten, diese beiden Begriffe nicht zu verwechseln.

## 2 Nun kann man Solarenergie speichern

Möchte man nun Solarenergie speichern, so braucht man ein Speichermedium mit einer hohen Wärmekapazität, d.h. es kann viel Energie aufnehmen bis es sich erwärmt, also wieder Energie in Form von Wärme abgibt. [2] Laut Tabelle 1 eignet sich somit Wasser als Speichermedium am besten. Wie viel Energie ein solcher Wassertank genau speichern kann, wird im Folgenden näher untersucht.

### 2.1 Wasser als Speichermedium

Als Beispiel nehmen wir einen 300 L Wassertank und gehen von einer Temperaturdifferenz von 45 °C aus, welche im Hochsommer auf den Hausdächern schnell erreicht werden kann. Somit lässt sich die speicherbare Energie wie folgt berechnen [7]:

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T}{3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}} = \\
 &= \frac{300 \text{ dm}^3 \cdot 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 45 \text{ K}}{3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}} = \\
 &= 15,7 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Ein Tank mit 300 L Fassungsvermögen an Wasser kann also 15,7 kWh speichern. Bei einem Preis von 28,7 ct pro kWh werden somit 4,50 € gespart.

So schön das klingt, wird aber in der Praxis trotzdem meist kein reiner Wassertank verwendet, da einige physikalischen Eigenschaften von Wasser dieses System dafür unbrauchbar machen: Der Schmelz- und Siedepunkt von Wasser. [2] Im Winter werden in Deutschland oft Minustemperaturen erreicht und die Schmelztemperatur von Wasser liegt bei 0 °C. Das heißt also, dass das Wasser gefrieren wird und wegen der Anomalie des Wassers der Tank zu platzen droht. Im Sommer entsteht ein ähnliches Problem. In der Berechnung der gespeicherten Energiemenge geht man von einer Temperaturdifferenz aus, die im Beispiel 45 °C betrug. Allerdings beträgt die tatsächliche Temperatur im Sommer auf den Hausdächern meist über 100 °C, sodass das Wasser mit einer Siedetemperatur von 100 °C anfängt zu sieden. Der Wasserdampf benötigt als Gas ebenso mehr Volumen als Wasser und damit könnte der Tank auch platzen. [7] Also wird ein

anderes Speichermedium gesucht mit ähnlicher Wärmekapazität aber mit kleinerer Schmelztemperatur und größerer Siedetemperatur. Die Industrie hat das Problem mit einem Wasser-Propylenglykol-Gemisch gelöst. [7]

## 2.2 Wasser-Propylenglykol-Gemisch als Speichermedium

Das genutzte Wasser-Propylenglykol-Gemisch hat eine deutliche niedrigere Schmelztemperatur von  $-56\text{ °C}$ , sodass im Winter das Einfrieren verhindert wird. Außerdem wird mit einer Siedetemperatur von  $162\text{ °C}$  das Problem im Sommer auch vermieden. [2] Aber kann dieses Speichermedium genauso viel Energie speichern wie Wasser? Wegen der niedrigeren spezifischen Wärmekapazität von  $3,65\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$  wird die Energiemenge geringer sein. [4] Zum Vergleich wird die speicherbare Energie von einem 300 L Tank und einer Temperaturdifferenz von  $45\text{ °C}$ , aber mit einem Wasser-Propylenglykol-Gemisch als Speichermedium wie oben berechnet [7]:

$$E = \frac{V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T}{3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}} = \frac{300 \text{ dm}^3 \cdot 1,02 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 3,65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 45 \text{ K}}{3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}} = 13,9 \text{ kWh}$$

Ein Tank mit 300 L Fassungsvermögen an Wasser-Propylenglykol kann also 13,9 kWh speichern. Bei einem Preis von 28,7 ct pro kWh werden somit 4,00 € gespart, d.h. also ungefähr 11 % weniger als mit einem reinen Wassertank.

## 2.3 Vergleich der beiden Speichermedien

Abschließend werden die beiden Speichermedium tabellarisch miteinander verglichen. Dabei sind die jeweils besseren Eigenschaften grün markiert.

Tab. 2: Vergleich der beiden Speichermedien Wasser und Wasser-Propylenglykol-Gemisch bezüglich ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie aus ökonomischer Sicht. [2] [4]

	Wasser		Wasser-Propylenglykol-Gemisch
Schmelztemperatur	0 °C	>	-56 °C
Siedetemperatur	100 °C	<	162 °C
Spezifische Wärmekapazität	4,18 kJkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	>	3,65 kJkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Viskosität	1,0 mm/s	<	5,0 mm/s
Entsorgung	Abfluss		Deponie
chemische Reaktivität	gering		Cracken, Oxidation
Kosten	sehr gering	<	gering

Auf den ersten Blick würde Wasser ein besseres Speichermedium für die Solarenergie sein, vor allem wegen der höheren Wärmekapazität. Wie schon erwähnt ist Wasser aber wegen der Schmelz- und Siedetemperatur für die Praxis nicht brauchbar. Daher nimmt man die Nachteile des Wasser-Propylenglykol-Gemischs im Kauf und schließt die Gefahren der Explosion durch niedrigere Schmelz- und höhere Siedetemperatur aus. Somit kann das Medium ohne Bedenken in der Praxis verwendet werden.

Nachdem nun das passenden Speichermedium gefunden wurde, wird noch berechnet, wie groß ein Tank sein müsste, um einen 4-Personen-Haushalt in den Wintermonaten

September bis März (das entspricht ca. 3700 kWh) selbst mit Energie zu versorgen. Das Volumen des Tanks ist direkt proportional zur benötigten Energie und indirekt proportional zur Dichte des Speichermediums sowie zur spezifischen Wärmekapazität und zur Temperaturdifferenz. Mit einem Umrechnungsfaktor ergibt sich folgende Formel [7]:

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{E * 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}}{\rho * C_p * \Delta T} = \\
 &= \frac{3700 \text{ kWh} * 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}}{1,02 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} * 3,65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 45 \text{ K}} = \\
 &= 79,50 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Der Tank müsste demnach ein Volumen von 79,50 m<sup>3</sup> besitzen. Zur besseren Vorstellung könnten die Maße dieses Tanks 6,3 m x 6,3 m x 2 m betragen. Mit diesem Tank könnte man ungefähr 1060 € sparen und das nur durch Nutzen der Solarenergie, die uns die Sonne täglich schenkt.

### 3 Energiebedarf zur Erwärmung verschiedener Stoffe

Bei der Erwärmung von Stoffen muss berücksichtigt werden, dass der Stoff nicht den Aggregatzustand ändert, da dies beispielsweise zur Ausdehnung führen kann.

#### 3.1 Energiebedarf bei der Erwärmung eines Swimming-Pools

Mit Hilfe der Formel zur Berechnung der Wärmekapazität kann festgestellt werden, wie viel Wärme in Form von Energie hineingesteckt werden muss, damit sich ein Körper erwärmt. Somit kann berechnet werden, wie viel Wärmemenge Q einem Swimming Pool zugefügt werden muss, damit er sich beispielsweise von 18 °C auf 23 °C erwärmt, das Fassungsvermögen des Wasserbeckens beträgt dabei beispielsweise 12000 Liter:

$$\begin{aligned}
 \Delta Q &= C * dT * V \\
 \Delta Q &= 4,187 \frac{\text{J}}{\text{K} * \text{g}} * 5 \text{ K} * (12000 * 10^3) \text{ g} \\
 &= 251220 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Der enorme Energiebedarf von 251220 kJ lässt darauf schließen, dass die Kosten, um eine Swimming Pool zu erwärmen, exorbitant hoch sind. Das Ergebnis erklärt auch, dass es auf natürliche Weise mehrere sehr warme Tage mit einer hohen Sonneneinstrahlungsrate bedarf, damit sich das Wasser um nur wenige Grad erwärmt. Allerdings kann aufgenommene Wärme aufgrund der hohen spezifischen Wärmekapazität von Wasser (Tab. 1) lange gespeichert werden. Würde man einen Swimmingpool mit einer Heizung ausstatten, so fallen die Energiekosten bestenfalls nur einmalig an.

#### 3.2 Energiebedarf zur Erwärmung von Gasen

Die in 3.1 angewendete Formel kann nicht für alle Stoffe gleichermaßen verwendet werden. Beim Erhitzen von Gasen dehnen sie sich aus, sodass sich das Volumen ändert. Je nachdem in welcher Form ein System vorliegt, muss deshalb zwischen C<sub>P</sub> und C<sub>V</sub> unterschieden werden [1].

C<sub>V</sub> gibt die Wärmemenge an, die je Kelvin Temperaturerhöhung zugeführt werden muss, wenn das Volumen konstant gehalten wird (isochor). Bei C<sub>P</sub> bleibt dagegen der Druck konstant (isobar).

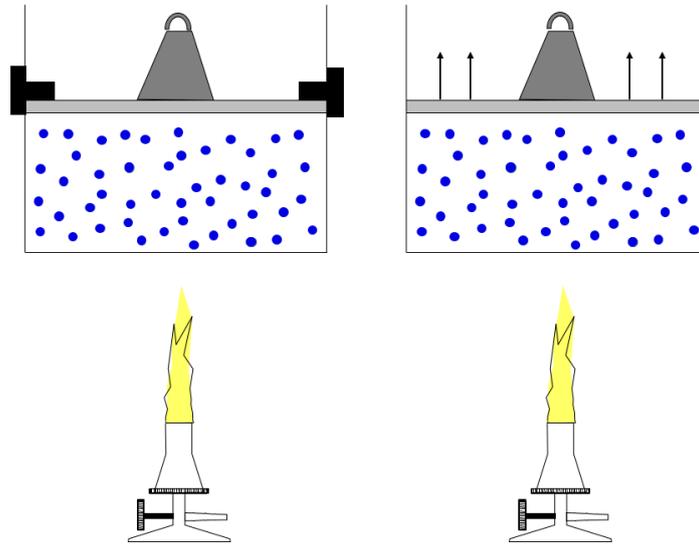


Abb. 2: Schematische Darstellung der Erwärmung eines Gases unter isochoren (links) und isobaren (rechts) Bedingungen.

Unter isochoren Bedingungen steigt der Druck im Gefäß an, da sich das Gas nicht ausdehnen kann. Bei isobaren Bedingungen kann sich das Gas ausdehnen, sodass der Druck konstant gehalten wird. Das Volumen nimmt somit je Kelvin um einen bestimmten Betrag zu. Betrachtet man Abbildung 2, so fällt auf, dass das Gas dabei Arbeit leisten muss. Würde man beiden Systemen somit die gleiche Wärmemenge zuführen, so würde unter isobarer Bedingung die Temperaturerhöhung kleiner ausfallen, da ein Teil, der in Form von Wärme zugeführten Energie, für die Arbeitsleistung, Anheben des Gewichts, verwendet wird. Deshalb muss unter isobaren Bedingungen mehr Energie zugeführt werden, um eine gleiche Temperaturerhöhung zu erzielen:  $C_P > C_V$ .

Die Differenz  $C_P - C_V$  gibt somit die Wärmemenge an, die unter isobaren Zuständen zusätzlich zugeführt werden muss. Mit Hilfe des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik kann diese Größe aus den Zustandsgleichungen berechnet werden. [1]

$$\Delta Q = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV + p * dV$$

Somit kann die zusätzlich benötigte Wärmemenge im isobaren Fall ermittelt werden. Dazu müssen die Änderungen der inneren Energie betrachtet werden.

Allgemein gilt für die Änderung der inneren Energie [1]:

$$dU = \Delta Q + \Delta W = \Delta Q - p * dV = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV$$

Isochor:

$$dU = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT = C_V * dT$$

Isobar:

$$dU = \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV + C_V * dT$$

Die Änderung der inneren Energie ist unter isobaren Bedingungen um  $\left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV$  größer als unter isochoren Bedingungen. Deshalb gilt:

$$(C_P - C_V) = \frac{\Delta Q}{dT} = \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] * \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

## 4 Messung der Wärmekapazität

Allgemein kann von sämtlichen Stoffen die Wärmekapazität mit Hilfe von Kalorimetern gemessen werden, beispielsweise mit einem Bombenkalorimeter (Abb. 3). Ein Bombenkalorimeter ist so aufgebaut, dass weder Energie noch Arbeit mit der Umgebung ausgetauscht werden können und stellt somit ein abgeschlossenes System dar, wird auch adiabatisches System genannt. Die Probe wird in die kalorimetrische Bombe gegeben und dort unter Sauerstoffatmosphäre gezündet und verbrannt. Die Bombe steht in einem Kalorimeter-Gefäß, welches mit Wasser gefüllt ist. Man nutzt in diesem Fall Wasser als Kalorimeter-Flüssigkeit, da die Wärmekapazität von Wasser bekannt ist. Bei der Verbrennung wird Energie in Form von Wärme frei, die vom Wasserbad des Kalorimeters aufgenommen wird, wodurch sich die Temperatur des Wassers erhöht. Aus der gemessenen Temperaturänderung im Vergleich zur Anfangstemperatur des Wassers kann die Verbrennungswärme nach der Grundgleichung der Wärmelehre berechnet werden. [1]

$$Q = C * m * \Delta T$$

Dabei ist Q die Wärmemenge (in Joule), die dem Stoff zugeführt oder entzogen wird, m die Masse der Substanz (in kg), C die spezifische Wärmekapazität (in  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ ) und  $\Delta T$  die Temperaturänderung (in K).

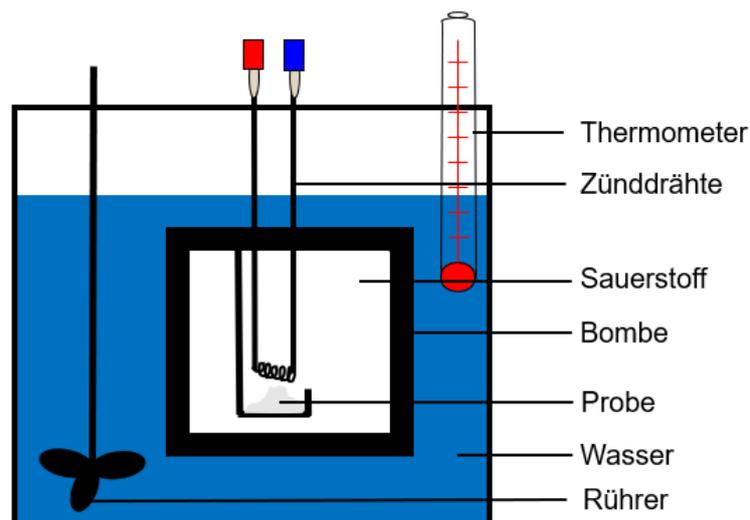


Abb. 3: Aufbau eines Bombenkalorimeter, erstellt auf Grundlage von [9].

Da das Kalorimeter allerdings selbst in gewissem Maße am Wärmeaustausch beteiligt ist, muss vor Probenmessung die Kalorimeterkonstante  $C_{\text{Kal}}$  (= Wärmekapazität des Kalorimeters) bestimmt werden, was der Eichung des Kalorimeters entspricht. Die Eichung kann mit einer Substanz mit bekannter und konstanter Wärmekapazität durchgeführt werden.

**Zusammenfassung:** Schon Edison erkannte die Energie der Sonne. Mit Hilfe von Tanks wird die Energie der Sonne gespeichert. Wegen seiner hohen spezifischen Wärmekapazität liegt es nahe Wasser als Speichermedium zu verwenden, aber dessen physikalischen Eigenschaften verwerfen diesen Plan. Also wird oft ein Gemisch von Propylenglykol und Wasser benutzt, auch wenn man einige Vorteile des Wassertanks einbüßen muss. Um über den Winter zu kommen, müsste man einen Tank mit einem Volumen von  $79,50 \text{ m}^3$  bauen und damit könnte man ca. 1060 € sparen. Die Maße eines solchen Tanks könnten zum Beispiel  $6,3 \text{ m} \times 6,3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$  betragen. Die Wärmekapazität ist für jeden

Stoff spezifisch und ist nicht zu verwechseln mit der Wärmeleitfähigkeit. Die Wärmekapazität kann mit Hilfe eines geeichten Kalorimeters bestimmt werden. Die hohe Wärmekapazität von Wasser, sorgt dafür, dass einmal aufgenommene Energie in Form von Wärme lange gespeichert werden kann, sodass ein Swimming Pool nicht durchgehend beheizt werden muss. Zudem beeinflusst es auch das Klima an Küstenregionen. Im Sommer ist es angenehmer als im Inland, da sich die Gegenden nicht so schnell aufheizen. Umgekehrt bewirkt dies auch, dass sich im Winter das Wasser langsamer abkühlt, weshalb das Klima in den Wintermonaten an Küsten eher milder als im Inland ist. [8]

**Abschluss 1:** *Es wird versucht, erneuerbare Energien immer besser zu speichern, um mehr Unabhängigkeit von Stromversorgern und von fossilen Brennstoffen als Energiequelle zu erreichen. Mittlerweile kann man auch Schmelzen als Speichermedium oder sogar Lithiumionen-Akkus zum Speichern in Form von elektrischer Energie verwenden. Wir können also gespannt sein, was die Zukunft für uns bereithält. [7]*

**Abschluss 2:** *Ein Problem, was sich aufgrund der hohen Wärmekapazität von Wasser ergibt: Falls weiterhin durchgehend heiße Tage mit hoher Sonneneinstrahlung folgen und die Temperaturen über Nacht nicht übermäßig sinken sollten, könnte es dazu kommen, dass ein Swimming Pool zu einer unangenehm warmen Brühe wird. In diesem Falle müsste die hohe Wärmekapazität von Wasser bestenfalls gesenkt werden.*

#### **Quellen:**

1. Atkins, P. W.: Kurzlehrbuch physikalische Chemie, 4. Auflage, 2006.
2. Czeslik, C., Seemann, H., Winter, R.: Basiswissen physikalische Chemie, 1. Auflage, 2001.
3. [http://www.die-klimaschutz-baustelle.de/klimawandelzitate\\_energie.html](http://www.die-klimaschutz-baustelle.de/klimawandelzitate_energie.html) (Stand: 11.08.2020).
4. [https://www.chemie.de/lexikon/Liste\\_der\\_spezifischen\\_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4ten.html](https://www.chemie.de/lexikon/Liste_der_spezifischen_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4ten.html) (Stand: 11.08.2020)
5. <http://www.chemie.de/lexikon/W%C3%A4rmeleit%C3%A4higkeit.html> (Stand: 11.08.2020).
6. [https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/publikationen/buecher/Kohlrausch/Tabellen/Kohlrausch\\_3\\_Tabellen\\_und\\_Diagramme\\_Waerme.pdf](https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/publikationen/buecher/Kohlrausch/Tabellen/Kohlrausch_3_Tabellen_und_Diagramme_Waerme.pdf) (Stand: 11.08.2020).
7. [https://de.wikipedia.org/wiki/Thermische\\_Solaranlage](https://de.wikipedia.org/wiki/Thermische_Solaranlage) (Stand: 11.08.2020).
8. [https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Klima%C3%A4nderungen\\_in\\_Europa](https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Klima%C3%A4nderungen_in_Europa) (Stand: 11.08.2020)
9. <https://www.ahoeftler.de/maschinenbau/thermodynamik-waermelehre/waerme/kalorimetrie/480-bombenkalorimeter.html> (Stand: 11.08.2020)