

## Unordnung als Maß der Dinge – die Entropie

Hubert Giar, Gießen

**Niveau:** Sek. II

**Dauer:** 6 Unterrichtsstunden (Doppelstunden)

**Kompetenzen:** Die Lernenden können ...

- naturwissenschaftliche Definitionen, Regeln, Gesetzmäßigkeiten und Theorien auch zu Zustandsgrößen und den Gasgesetzen erarbeiten und anwenden
- naturwissenschaftliche Modelle erarbeiten und in ihren Gültigkeitsbereichen anwenden, hier insbesondere zu Entropie, Unordnung und Wahrscheinlichkeit
- Informationen aus Versuchen zu naturwissenschaftlichen Zusammenhängen erschließen und die Sachverhalte dokumentieren
- fachlich kommunizieren und argumentieren und dabei Symbole, Zeichen und Fachbegriffe im richtigen Zusammenhang korrekt verwenden
- fachbezogene Sachverhalte in naturwissenschaftlichen Zusammenhängen sachgerecht beurteilen und bewerten. Hier insbesondere in Hinblick auf die Richtung der Abläufe chemischer Reaktionen.

**Der Beitrag enthält Materialien für:**

- ✓ Projektunterricht
- ✓ Übungsaufgaben
- ✓ Schülerversuche
- ✓ differenzierte Lernangebote

I/F

### Hintergrundinformationen

Im Unterricht der gymnasialen Oberstufe wird die Entropie überwiegend bei spontan ablaufenden endothermen Reaktionen eingeführt und neben der Enthalpie als weitere Antriebskraft chemischer Reaktionen benannt. So ist es zumindest in Lehrbüchern, veröffentlichten Unterrichtsmaterialien oder Abituraufgaben zu entnehmen. Entropie- und Enthalpieänderungen und damit das Streben nach Unordnung und nach dem Energieminimum werden für Reaktionen untersucht und berechnet. Für die Erläuterungen zur Einheit der Entropie und zur Einführung des Faktors aus Temperatur und Entropiedifferenz sind oft detailliertere Betrachtungen notwendig. Das Streben des Systems nach minimaler Energie als Antriebskraft chemischer Reaktionen zu erkennen, ist für Lernende oft nicht plausibel, wenn diesem die Zunahme der Energie in der Umgebung gegenübersteht und das Streben nach dem Energieminimum somit scheinbar ungültig erscheint.

Für eine detailliertere Behandlung wird hier zunächst die Entropie in eine Auflistung bekannter Zustandsgrößen aufgenommen (**M 1**). Anschließend wird sie als Zustandsgröße beschrieben (**M 2–M 5**), die bei Übergängen von Wärmeenergie auftritt und deren Wert entscheidend von der Temperatur abhängt. Für ausgewählte Reaktionen werden die Änderungen von Wärmeenergie und Entropie im System gegenübergestellt, vor allem unter Einbeziehung der Entropieänderung in der Umgebung (**M 6, M 7**). In einem Schülerexperiment wird eine Entropieänderung gemessen (**M 8**). Die Betrachtungen zur Entropieänderung im abgeschlossenen System könnten mit der Einführung der freien Reaktionsenthalpie fortgeführt werden. Um hier die Bedeutung der Entropie nicht wieder zu relativieren, sollte das allerdings in einem anderen Kontext geschehen.

## Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit    SV = Schülerversuch    Ab = Arbeitsblatt/Informationblätter  
 ⌚ D = Durchführungszeit    LV = Lehrerversuch    Fo = Folie

GBU = Gefährdungsbeurteilung

# Die **Gefährdungsbeurteilungen** finden Sie auf **CD 58**.

<b>M 1</b>	<b>Ab</b>	<b>Entropie als Zustandsgröße</b>
<b>M 2</b>	<b>Ab</b>	<b>Entropie und Unordnung</b>
<b>M 3</b>	<b>Ab</b>	<b>Standardentropien</b>
<b>M 4</b>	<b>Ab mit SV</b>	<b>Wärmekapazität</b>
	⌚ V: 15 min	<input type="checkbox"/> Eisen (Rohr, Zylinder, Quader) mit einer Masse von etwa 200 g
	⌚ D: 30 min	<input type="checkbox"/> Dewargefäß mit Rührer und Thermometer (digital) <input type="checkbox"/> x/y-Schreiber
<b>M 5</b>	<b>Ab</b>	<b>Entropieänderungen</b>
<b>M 6</b>	<b>Ab</b>	<b>Reaktionsentropie</b>
<b>M 7</b>	<b>Ab</b>	<b>Entropie auf Wachstumskurs</b>
<b>M 8</b>	<b>Ab mit SV, GBU#</b>	<b>Verdampfungsentropie</b>
	⌚ V: 30 min	<input type="checkbox"/> Essigsäureethylester
	⌚ D: 30 min	<input type="checkbox"/> Zweifelhalskolben (250 ml) <input type="checkbox"/> Erlenmeyerkolben (250 ml Enghals als Vorlage) <input type="checkbox"/> Claisenaufsatz, Liebigkühler und Vorstoß <input type="checkbox"/> Heizpilz, Magnetrührer mit Rührfisch <input type="checkbox"/> Thermometer digital (1/100 Grad) <input type="checkbox"/> Waage

I/F

## Minimalplan

Ihnen steht nur wenig Zeit zur Verfügung? Dann lässt sich die Unterrichtseinheit auf **zwei Doppelstunden** kürzen. Die Planung sieht dann wie folgt aus:

<b>1. Stunde (M 1–M 3)</b>	Tragen Sie die Inhalte der drei Arbeitsblätter vor. Fügen sie dabei insbesondere die <b>Aufgaben 1</b> aus <b>M 2</b> und <b>3</b> aus <b>M 3</b> ein.
<b>2. Stunde (M 4–M 7)</b>	Beschränken Sie sich bei <b>M 4</b> auf die angegebenen Messwerte. Tragen Sie die Inhalte vor. Fügen Sie dabei insbesondere die <b>Aufgaben 1</b> aus <b>M 5</b> und <b>4</b> aus <b>M 6</b> ein.
<b>3./4. Stunde (M 8)</b>	Lassen Sie den Versuch als SV durchführen und die Aufgaben in Gruppenarbeit bearbeiten. Anschließend werden die Ergebnisse diskutiert.

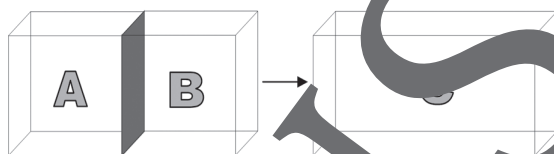
Die Erweiterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 20.

## M 1 Entropie als Zustandsgröße

**i** Die **Entropie** ist eine **Zustandsgröße**. Andere Zustandsgrößen sind die **Masse**, die **Stoffmenge** und die **Enthalpie**. Auch die **Temperatur**, der **Druck** und die **Dichte** sind Zustandsgrößen. Die Zustandsgrößen beschreiben einen Stoff in seiner **makroskopischen** Erscheinung. Verschiedene Zustandsgrößen können in Beziehungen (Abhängigkeit) zueinander stehen. Einige Zustandsgrößen ändern sich, wenn sich die Größe der betrachteten Stoffportion ändert. Das sind die **extensiven**, die anderen sind die **intensiven** Zustandsgrößen. Genauso wie von jedem Stoff die Masse und die Temperatur angegeben werden kann, kann auch dessen Entropie angegeben werden. Dabei hat das Doppelte einer Stoffportion auch die doppelte Entropie.

### Aufgaben

In einem Gedankenexperiment sind zwei gleich große Räume A und B durch eine bewegliche Wand voneinander getrennt. Beide Räume sind mit Neon gefüllt. Die hier ausgewählten Zustandsgrößen haben auf beiden Seiten jeweils die gleichen Werte. Durch Entfernen der Trennwand entsteht der Raum C.



- Berechnen Sie mit der allgemeinen Gasgleichung ( $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ , mit  $R = 8,31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ ) zunächst die fehlenden Werte für die ausgewählten Zustandsgrößen in den Räumen A und B. Ergänzen Sie die Werte in der Tabelle.
- Geben Sie die Werte für die Zustandsgrößen im Raum C an. Unterstreichen Sie die Zustandsgrößen, deren Werte im Vergleich zu A und B unverändert bleiben.
- In der allgemeinen Gasgleichung sind vier Zustandsgrößen enthalten, zwei extensive (e) und zwei intensive (i). Kennzeichnen Sie in der Tabelle diese Zustandsgrößen (mit e und i).
- Bestimmte extensive Zustandsgrößen lassen sich auf eine bestimmte Masse oder Stoffmenge beziehen. Aus extensiven werden intensive Zustandsgrößen. Finden Sie in der Tabelle solche Paare und markieren Sie diese jeweils mit gleichen römischen Zahlen.

Zustandsgröße	Symbol und Einheit	Wert in A bzw. B	Wert in C
Temperatur	T in K	298	
Masse	m in g		
Druck	p in hPa	1013	
Volumen	V in l	1	
Dichte	$\rho$ in g/cm <sup>3</sup>		
Stoffmenge	n in mol		
molare Masse	M in g/mol		
Molvolumen (1013 hPa und 298 K)	$V_m$ in l/mol		
Wärmekapazität	$C_p$ in J/K		
spez. Wärmekapazität	$c_p$ in J/(g·K)	1,03	

## M 4 Wärmekapazität

Jeder Stoff hat eine spezifische Wärmekapazität ( $c_p$ ). Diese ist eine intensive Zustandsgröße und gibt an, welche Wärmemenge notwendig ist, um ein Gramm einer Probe des Stoffes um eine Temperatur von 1 K zu erhöhen. Der Index zeigt an, dass die Werte jeweils bei konstantem Druck (1013 hPa) gelten. Die spezifische Wärmekapazität ist von der Temperatur abhängig. Bei 298 K beträgt der Wert für Wasser 4,183 J/(g·K) und ist bei 320 K um 0,001 J/(g·K) kleiner. Wasser hat eine vergleichsweise hohe spezifische Wärmekapazität. Mineralöl (Motoröl) kommt nur auf 1,85 J/(g·K). Das Abkühlen von warmen Körpern funktioniert mit Mineralöl nicht so gut wie mit Wasser (beim Einsatz gleicher Massen).

### Schülerversuch zur Wärmekapazität

Dieser Versuch kann mit unterschiedlichen Metallen durchgeführt werden. Im Schülerexperiment soll zunächst Eisen eingesetzt werden. Für die Metalle Kupfer, Silber und Blei liegen die Versuchsergebnisse vor und sind in der Tabelle unten angegeben. Der Schülerversuch kann mit weiteren Metallen wie Aluminium oder Zink durchgeführt werden.

⌚ Vorbereitung: 15 min ⌚ Durchführung: 15 min

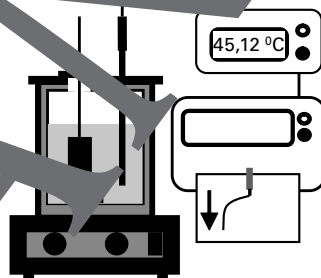
#### Chemikalien / Gefahrenhinweise

- Eisen (Rohr, Zylinder, Quader) mit einer Masse von etwa 200 g

#### Geräte

- Dewargefäß mit Rührer und Thermometer (digital)
- x,t-Schreiber

### Versuchsaufbau



### Versuchsdurchführung

- Bestimmen Sie die exakte Masse des Körpers aus Metall und bringen Sie den Metallkörper in einem Korb über dem Dewargefäß an.
- Bestimmen Sie die Temperatur des Metalls ( $\vartheta_{M1}$ ) mit einer Genauigkeit von 1/100 Grad ( $\vartheta_{M1}$  soll der Umgebungstemperatur entsprechen).
- Brüllen Sie das Dewargefäß mit Temperaturfühler und Rührer mit exakt so viel Wasser, dass sich mit dem Wasserwert des Dewargefäßes, inklusive Zubehör, die Masse des Körpers aus dem Metall ergibt.
- Für Variante A soll die Temperatur des Wassers etwa 45 °C betragen. Bestimmen Sie den genaueren Wert mit einer Genauigkeit von 1/100 Grad.
- Verbinden Sie den Temperaturfühler mit der Messeinheit und einem x,t-Schreiber und zeichnen Sie die Wassertemperatur (vorher,  $\vartheta_{W1}$ ) einige Minuten auf.
- Tauchen Sie den Eisenkörper in das Wasser des Dewargefäßes ein, öffnen Sie das Dewargefäß nur so kurz wie möglich. Zeichnen Sie die Temperatur noch einige Minuten weiter auf (nachher,  $\vartheta_{W2} = \vartheta_{M2} = \vartheta_2$ ).
- Stellen Sie die Temperaturänderungen ( $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$ ) fest und tragen Sie diese in die Tabelle ein.
- Für Variante B wird der Versuch mit etwa 35 °C für die Anfangstemperatur des Wassers und sonst gleichen Bedingungen wiederholt.

# Sie wollen mehr für Ihr Fach?

## Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



**Über 5.000 Unterrichtseinheiten**  
sofort zum Download verfügbar



**Webinare und Videos**  
für Ihre fachliche und  
persönliche Weiterbildung



**Attraktive Vergünstigungen**  
für Referendar:innen  
mit bis zu 15% Rabatt



**Käuferschutz**  
mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:  
**www.raabe.de**