

# A. Energieformen

## V. Arbeit, Energie und Leistung

### A. Energieformen

Energie tritt in verschiedenen Formen auf.

- Mechanische Energie: kinetische Energie (= Bewegungsenergie) und potentielle Energie (= Lageenergie)
- Innere Energie: chemische Energie, thermische Energie, Kernenergie
- Strahlungsenergie
- Elektrische Energie

Energie kann nicht erzeugt oder vernichtet werden. Es können nur verschiedene Energieformen ineinander umgewandelt werden.

Das sagt der Energieerhaltungssatz: In einem abgeschlossenen System ist die Gesamtenergie konstant.

## B. Die Arbeit W

### B. Die Arbeit W

„Goldene Regel der Mechanik“: Man kann Kraft sparen, wenn man den Weg verlängert. (Zum Beispiel wenn man bergauf im Zick-Zack-Kurs fährt.)

Aber das Produkt aus Kraft und Weg ist dabei immer konstant. Dieses Produkt nennt man in der Physik Arbeit W.

Arbeit = Kraft (in Wegrichtung) mal Weg

$$W = F \cdot s$$

Die Einheit der Arbeit ist das Joule (J).      $[W] = J = N \cdot m$

Ein Joule wird also verrichtet, wenn die Kraft von einem Newton entlang des Weges 1 m wirkt. (Z.B. verrichtet man ca. ein Joule, wenn man 100 g Schokoladetafel 1 m hoch hebt.)

Immer wenn Arbeit verrichtet wird, geht Energie von einem Körper auf einen anderen über oder es wird eine Energieform in eine andere umgewandelt.

Energie ist also die „gespeicherte Arbeit“. Also ist die Einheit der Energie auch das Joule.

## C. Die Hebearbeit und die Beschleunigungsarbeit

### C. Die Hebearbeit und die Beschleunigungsarbeit

Hebearbeit: Wenn man einen Körper aufhebt, dann verrichtet man Hebearbeit. Die potentielle Energie des Körpers wird dabei größer.

Beispiel: Wenn man einen 2-Liter Flasche Wasser, die 2 kg Masse hat 1,5 m hoch aufhebt, dann hat man die Hebearbeit  $W = 2 \cdot 10 \cdot 1,5 = 30 \text{ J}$  verrichtet.

Beschleunigungsarbeit: Wenn man einen Körper von 0 auf die Geschwindigkeit  $v$  beschleunigt, dann verrichtet man Beschleunigungsarbeit. Die kinetische Energie des Körpers wird dabei größer.

Beispiel: Wenn ein Auto mit 1400 kg von 0 m/s auf 10 m/s beschleunigt wird, dann wird die Beschleunigungsarbeit  $W = \frac{1}{2} \cdot 1400 \cdot 10^2 = 70\,000 \text{ J} = 70 \text{ kJ}$  verrichtet.

Beispiel: Wenn ein Auto mit 1400 kg von 10 m/s auf 20 m/s beschleunigt wird, dann wird die Beschleunigungsarbeit

$W = \frac{1}{2} \cdot 1400 \cdot 20^2 - \frac{1}{2} \cdot 1400 \cdot 10^2 = 280\,000 - 70\,000 = 210\,000 \text{ J} = 210 \text{ kJ}$  verrichtet!

Weitere Arten von Arbeit:

Verformungsarbeit, um einen Körper, z.B. Plastilin, zu verformen.

Spannarbeit, um z.B. eine Feder zu spannen.

## D. Die Leistung P

### D. Die Leistung P

Leistung ist Arbeit pro Zeit.  $P = W/t$

Die Einheit der Leistung ist das Watt.  $[P] = W = \text{J/s}$

Ein Watt bedeutet, dass in einer Sekunde die Arbeit 1 Joule verrichtet wird.

Beispiel: Wie groß ist die Leistung, wenn man in einer halben Sekunde eine 2-Liter Flasche Wasser, die 2 kg Masse hat, 1,5 m hoch aufhebt? (Rechne selbst!)

Andere Einheiten für die Leistung sind die Pferdestärke PS und die Kilowattstunde kWh. Es gilt: 1 kWh = 3 600 000 J.

## Das geozentrische und das heliozentrische Weltbild

### A. Das Geozentrische Weltbild

In einem Weltbild versucht man, die Welt möglichst im Ganzen zu beschreiben.

In vielen alten Mythen stellt man sich die Welt als Scheibe dar. (Mesopotamien, Iran, ...)

Die Erde ist eine Kugel

Schon in der Antike war bekannt, dass die Erde eine Kugelform hat.

Aristoteles (ca. 340 v.Chr.) kannte folgende Argumente für die Kugelform der Erde:

- Der Erdschatten auf dem Mond bei einer Mondfinsternis ist rund.
- Wenn am Meer Schiffe von der Küste wegsegeln, wird zuerst das Segel unsichtbar.
- In südlicheren Ländern stehen südliche Sternbilder höher.

Eratosthenes (3. Jahrhundert v.Chr.) gelang es sogar, ungefähr den Erdumfang auszurechnen.

#### Geozentrisches Weltbild

Lange und systematische Beobachtungen des Himmels und Berechnungen führten zum geozentrischen Weltbild,

das z.B. Aristoteles formulierte:

- Im Zentrum (= Mittelpunkt) des Universums ruht die kugelförmige Erde.
- Die Erde ist von Kugeln aus Kristall umgeben. (= Himmelsphären) Diese bestehen aus dem durchsichtigen

„Äther“. Im Weltbild von Aristoteles (, das heute NICHT mehr gilt!!!) ist der Äther das „5. Element“ neben Feuer,

Wasser, Luft und Erde.

- Auf den Himmelsphären befinden sich die Himmelskörper (Sonne, Mond, 5 bekannte Planeten, Fixsterne).

Sonne, Mond und Planeten sind perfekte Kugeln, die sich auf perfekten Kreisbahnen um die Erde bewegen.

Das Modell von Aristoteles konnte nicht erklären, warum die Planeten am Himmel Schleifen- und Kurvenbahnen haben.

Um dieses Problem zu lösen, veränderte Ptolemäus ca. 150 n.Chr. das geozentrische Weltbild.

Das geozentrische Modell von Ptolemäus

- Die Planeten bewegen sich auf kleinen Kreisen (= Epizykel), deren Mittelpunkte sich auf großen Kreisen (= Deferent) um die Erde bewegt.
- So können die Schleifen- und Kurvenbahnen erklärt werden.

Ca. 1300 Jahre lang, bis zum Ende des 15. Jahrhunderts, behielt man das geozentrische Weltbild des Ptolemäus

## B. Das heliozentrische Weltbild und die Kopernikanische Wende

Nikolaus Kopernikus

stellt ein neues Weltbild auf, das die Kurven- und Schleifenbahnen der Planeten und die Merkur- und Venusbahn gut

eleganter erklären kann, als das geozentrische Weltbild. (1543: „De revolutionibus orbium coelestium“)

Heliozentrisches Weltbild des Kopernikus

- Die Sonne (= Helios) ruht im Zentrum des Universums.
- Alle Planeten, auch die Erde, bewegen sich auf Kreisbahnen um die Sonne.
- Die Rotation der Erde ist die Ursache für die scheinbare Bewegung der Himmelskörper in 24 Stunden.
- Das neue heliozentrische Weltbild wird von der Wissenschaft und Theologie zur Zeit des Kopernikus heftig bekämpft.
- Da Kopernikus (fälschlicherweise) von Kreisbahnen der Planeten ausgeht, ist sein Modell zwar eleganter, aber nicht genauer als das von Ptolemäus. Die Planetenbahnen können noch nicht korrekt vorhergesagt werden.

Galileo Galilei

- perfektioniert und nützt das Fernrohr (Teleskop), um den Himmel zu beobachten.

Viele seiner Beobachtungen sind im Widerspruch zum geozentrischen Weltbild und bestätigen das heliozentrische Weltbild.

- Er entdeckt vier Jupitermonde.

- Die Jupitermonde kreisen um den Jupiter und nicht um die Erde!

- Wenn es „Himmelssphären“ gäbe, würden die Jupitermonde sie zerstören.

- Die Venus hat Phasen wie der Mond.

- Kann nur erklärt werden, wenn die Venus um die Sonne kreist und nicht um die Erde.

- Die Mondoberfläche ist nicht glatt!

- Der Mond ist keine perfekte Kugel.

- Er entdeckt Sonnenflecken.

- Die Sonne ist keine perfekte Kugel.

- Er sieht 1604 eine Supernova („Sternexplosion“)

- Der Fixsternhimmel ist nicht unveränderlich.

## Tycho Brahe

- Beobachtet 1572 einen „neuen Stern“ (Supernova) und wird damit berühmt.

- Beobachtet 1577 einen Kometen.

- Führt in der berühmten Sternwarte Uraniborg in Dänemark (ohne Fernrohr, das war noch nicht erfunden) sehr

genaue Beobachtung der Planetenbewegung und des Sternenhimmels durch.

- Formuliert ein eigenes Weltbild: Im Zentrum der Welt ist die Erde. Die Sonne kreist sich um die Erde. Alle anderen

Planeten kreisen um die Sonne.

- In Prag beginnt er 1600 im Auftrag von Kaiser Rudolf, die Planetenbahnen noch genauer zu berechnen.

- (→ Rudolfinische Tafeln, die von Galilei fertiggestellt werden. )

## Johannes Kepler

lehrte an der Universität Graz Mathematik und wurde von Tycho Brahe als Assistent nach

Prag geholt. Dort wurde er Tycho's Nachfolger als kaiserlicher Hofmathematiker am Hof Rudolfs II. Er analysierte die Bahn des Mars und entdeckte so die Keplerschen Gesetze.

Die Keplerschen Gesetze

1) Die Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen. In einem Brennpunkt ist die Sonne.

2) Die Linie zwischen Planet und Sonne überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.

( → Der Planet ist im Perihel (= sonnennächster Punkt) schneller als im Aphel (= sonnenfernster Punkt). )

3) Die Quadrate der Umlaufzeiten von 2 Planeten verhalten sich wie die 3. Potenzen der großen Halbachsen.

## C. Unser Sonnensystem

- Unser Sonnensystem entstand vor ca. 4,6 Milliarden Jahren.

- Das Sonnensystem besteht neben der Sonne aus

- vier inneren kleineren Planeten: Merkur, Venus, Erde, Mars

- dem Asteroidengürtel aus ca. 100 000 – 10 000 000 Asteroiden

- vier äußeren großen Planeten: Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun

- dem Kuiper-Gürtel aus ca. 1 000 000 000 Objekten, dazu gehören die Zwergplaneten Pluto und Eris

- der Oort'schen Wolke, die kugelförmig um das Sonnensystem herum liegt

- Das Sonnensystem befindet sich im äußeren Teil unserer Heimatgalaxis, der Milchstraße.

- Die Milchstraße ist eine scheibenförmige Spiralgalaxis.

- Sie besteht aus ca. 1000 Milliarden Sternen.

- Sie hat einen Durchmesser von ca. 100 000 Lichtjahren.

- Das sichtbare Universum besteht aus geschätzt 100 Milliarden Galaxien und dürfte ca.

13,8 Milliarden Jahre alt sein.

## VII. Das Gravitationsgesetz von Newton

Das gleiche Gesetz ist die Ursache dafür, dass ein Apfel auf den Boden fällt und dass sich der Mond um die Erde dreht. Das

war Newtons geniale Idee. Es handelt sich um die allgemeine Massenanziehung, die besagt, dass alle Körper sich wegen ihrer

Masse anziehen.

Der Mond fällt sozusagen um die Erde herum.

## GRAVITATIONSGESETZ

- Die Gravitationskraft zwischen zwei Körpern ist proportional zum Produkt der Massen.  $F_G = m_1 \cdot m_2$

- Die Gravitationskraft zwischen zwei Körpern ist indirekt proportional zum Quadrat des Abstands.  $F_G = 1/r^2$

- Es gilt:  $F = G \cdot (m_1 \cdot m_2 / r^2)$

$F_G$  - Gravitationskraft

$m_1$  und  $m_2$  - (schwere) Massen der beiden Körper

$r$  - Abstand der Schwerpunkte der beiden Körper

- Gravitationskonstante,  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 /$

$\text{kg}^2$

+ Das Gravitationsgesetz von Newton erklärt, warum sich die Planeten gemäß den Kepler'schen Gesetzen bewegen.

+ 1797 gelang es Henry Cavendish als erstem, die Gravitationskonstante  $G$  mit Hilfe einer Drehwaage zu messen.

## Satelitten

Ein Satellit ist ein Körper, der sich in einer Umlaufbahn um einen zweiten Körper mit deutlich mehr Masse befindet.

Natürliche Satelliten: Monde um Planeten; Planeten und Asteroiden um Sterne

Künstliche Satelliten: z.B. z.B. Erdsatelliten, Mars-Orbiter -

Das Gravitationsgesetz sagt für das „Zwei-Körper-Problem“ (z.B. Planet um Sonne) folgende Bahnen voraus:

Geschlossene Bahnen:

Kreis,

Ellipse

Offene Bahnen (Satellit kommt nicht zurück):

Parabel,

Hyperbel

Die Bahn wird durch die Geschwindigkeit des Satelliten bestimmt

## Erfolge und Grenzen von Newtons Gravitationsgesetz

Das Mehrkörperproblem und die Entdeckung des Neptun

-Nicht nur die Sonne, sondern auch die anderen Planeten beeinflussen die Bahn eines Planeten.

Dadurch bewegen sich die Planeten nicht auf exakten Ellipsen.

- 1781 entdeckte Wilhelm Herschel den Planeten Uranus. Seine Bahn stimmte nicht mit der vorherberechneten überein.

- Man vermutete, dass seine Bahn von einem unbekannten Planeten beeinflusst wurde.

Der Astronom Le Verrier berechnete, wo sich dieser Planet befinden müsste.

- 1846 entdeckte Galle mit Hilfe dieser Berechnungen den neuen Planeten: Neptun.

## Die Periheldrehung des Merkur

- Auch die Bahn des inneren Planeten, des Merkur, stimmte nicht mit der vorherberechneten überein.

- Das Perihel (= sonnennächster Punkt) verschiebt sich bei jedem Umlauf ein bisschen.

In 100 Jahren um  $0,148^\circ$ .

- Davon konnten  $0,012^\circ$  nicht durch den Einfluss der anderen Planeten erklärt werden.

-Wieder vermutete man einen unbekannten Planeten, diesmal innerhalb der Merkurbahn.

Man nannte ihn Vulkan und suchte ihn mehrere Jahrzehnte lang.

- Der hypothetische Planet Vulkan wurde bis heute nicht gefunden. Er existiert nicht.

Die erfolgreiche Gravitationstheorie von Newton kam bei der Erklärung der Merkurbahn an eine Grenze. In der Nähe von

großen Massen ist sie nicht exakt genug und daher falsch. Für viele Anwendungen z.B. in der Raumfahrt ist Newtons



Gravitationstheorie aber eine gute Näherung.

Im Jahr 1916 legte Einstein eine neue Theorie der Gravitation vor: Die allgemeine Relativitätstheorie (ART).

Mit dieser Theorie konnte er die Periheldrehung des Merkur genau vorhersagen.

## VIII. Grundlagen der Thermodynamik ( = Wärmelehre)

### A. Thermische Bewegung

- + Die ungeordnete Bewegung von Atomen und Molekülen nennt man thermische Bewegung.
- + Z.B. bei Reibung wird geordnete kinetische Energie (Ein Körper bewegt sich.) in ungeordnete kinetische Energie umgewandelt.

(Der Körper wird langsamer, die ungeordnete Bewegung der Teilchen wird größer. → der Körper und die Umgebung erwärmen

sich.)

Die Brown'sche Bewegung ist die unregelmäßige Bewegung eines kleinen sichtbaren Teilchens. Sie wird durch Stöße mit noch

kleineren unsichtbaren Teilchen, welche sich ungeordnet bewegen (thermische Bewegung), verursacht.

### B. Temperatur und Temperaturskalen

- + Die Temperatur ist ein (indirektes) Maß für die thermische Bewegung.

(Je größer also die durchschnittliche ungeordnete Bewegungsenergie der Atome und Moleküle eines Objekts ist, desto größer

ist die Temperatur dieses Objektes.)

- + Messgeräte zur Temperaturmessung heißen Thermometer.
- + Bekannte Temperaturskalen sind: Celsius-, Kelvin- und Fahrenheitskala.
- + Die Temperatur ist eine SI-Basisgröße und die SI-Einheit für die Temperatur ist das Kelvin K.

Eine Temperaturskala benötigt zwei Fixpunkte, die genau definiert werden.

Im Alltag benutzen wir meist die Celsius-Skala.

### Fixpunkte der Celsius-Skala

0° C - Schmelzpunkt von Eis bei einem Druck von ca. 1 bar

100° C - Siedepunkt von Wasser bei einem Druck von ca. 1 bar

(Genau ist die Celsius-Skala über die Kelvin-Skala definiert: Temperatur in °C = Temperatur in K – 273,15 )

In der Physik nützt man häufig die Kelvin-Skala.

### Fixpunkte der Kelvin-Skala

0 K - Absoluter Nullpunkt - Tiefste mögliche Temperatur → Es gibt keine thermische Bewegung mehr.

273,16 K - Tripelpunkt des Wassers - Wasser ist bei bestimmten Temperatur-Druck-Paar sowohl flüssig, gasförmig und fest.

Der absolute Temperatur-Nullpunkt 0 K aus prinzipiellen physikalischen Gründen nicht erreicht werden.

## C. Ausdehnung durch Erwärmung

- Die meisten Körper vergrößern bei Erwärmung ihr Volumen.
- Die Volumenänderung ist bei Gasen größer als bei Flüssigkeiten und bei Flüssigkeiten größer als bei Festkörpern.
- Die Ausdehnung ist vom Material abhängig.

### Anwendung zur Temperaturmessung

- Flüssigkeitsthermometer → An der Höhe der Flüssigkeitssäule kann man die Temperatur ablesen.
- Bimetallstreifen → Aus zwei verschiedenen Metallen,  
die sich bei Erwärmung unterschiedlich stark ausdehnen. →  
→ Bimetallstreifen verbiegt sich bei Erwärmung. →  
→ Wird als Thermometer oder Thermostat in Bügeleisen, Wasserkocher, elektrischen Sicherungen benützt.

### Beispiele in der Technik

- Brücken → Zumindest ein Ende der Brücke wird beweglich gelagert, damit Wärmeausdehnung die Brücke nicht beschädigt.
- Zentralheizung → Benötigt ein Expansionsgefäß, damit bei Wärmeausdehnung der Druck in den

Rohren nicht zu groß wird.

- Stromleitungen → Müssen im Sommer ausreichend durchhängen, damit sie im Winter lang genug sind.

## Die Anomalie des Wassers

- Wasser besitzt die größte Dichte bei 4 °C.

- Unterhalb von 4 °C nimmt die Dichte wieder ab. (Zwischen 0° und 4° zieht Wasser sich bei Erwärmung also zusammen.)

- Wasser besitzt eine größere Dichte als Eis.

Beispiel in der Natur

Da Eis eine geringere Dichte als Wasser besitzt, schwimmt es auf dem Wasser.

Seen frieren also zunächst an der Oberfläche. Am Grund tiefer Seen hat das Wasser eine

Temperatur von 4 °C, da Wasser bei dieser Temperatur seine größte Dichte besitzt.

Fische und andere Wasserlebewesen können dort den Winter überleben.

## D. Wärme und spezifische Wärmekapazität

Wärme

Wenn sich Objekte oder Substanzen mit unterschiedlicher Temperatur berühren, dann geht Wärme (ungeordnete

Bewegungsenergie) vom Körper mit höherer Temperatur zum Körper mit niedriger Temperatur über.

(Solange, bis beide die gleiche Temperatur haben.)

Spezifische Wärmekapazität

→ Die Energie (also Wärme), die man benötigt, um die Temperatur eines Körpers zu erhöhen, hängt vom Material des Körpers ab.

→ Die spezifische Wärmekapazität  $c$  sagt, wie viel Energie nötig ist, um 1 kg eines Materials um 1 K (also 1°C) zu erwärmen.

→ Die Einheit von  $c$  ist  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

$\cdot \text{K}^{-1}$

→ Wasser hat eine sehr große spezifische Wärmekapazität.

Einige Werte für die spezifische Wärmekapazität  $c$

Material spezifische Wärmekapazität  $c$  in  $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

Eisen 450 Formel für die benötigte Wärme  $Q$  (in J),

Aluminium 920 um eine Masse  $m$  (in kg) um die Temperatur  $dT$  (in K) zu erhitzen

Luft 1000  $Q = c \cdot m \cdot dT$

Wasser 4190

Beispiel: Ein Liter Wasser (entspricht 1 kg) wird in einem Eisentopf mit 1,2 kg Masse erhitzt.

Berechne die nötige Energie, um das Wasser (und den Topf) von  $20^\circ\text{C}$  auf  $100^\circ\text{C}$  zu erhitzen.

Die Temperaturdifferenz ist  $80^\circ\text{C}$ , also 80 K. (Temperaturdifferenzen sind in  $^\circ\text{C}$  und K gleich groß.

Energie, um Wasser zu erwärmen:  $Q = c \cdot m \cdot dT = 4190 \cdot 1 \cdot 80 = 335\,200 \text{ J} = 335,2 \text{ kJ}$

Energie, um Eisen zu erwärmen:  $Q = c \cdot m \cdot dT = \quad \cdot \quad \cdot 80 = \quad \text{J} = \quad \text{kJ}$

Gesamtenergie:  $\quad \text{kJ}$

Nachteil der hohen Wärmekapazität von Wasser:

Das Erwärmen von Wasser beim Kochen oder Baden verbraucht sehr viel Energie.

Vorteil der hohen Wärmekapazität von Wasser:

Maritimes Klima: Das Meer speichert im Sommer wegen seiner hohen Wärmekapazität viel Energie, ohne sich dabei stark zu

erwärmen. Diese Energie wird im Winter wieder abgegeben. Das Klima am Meer ist daher das ganze Jahr über relativ ausgeglichen.

In der Mitte der Kontinente (weit entfernt vom Meer), sind die Temperaturunterschiede viel größer. (→ Kontinentales Klima).

## E. Wärmeübertragung

Es gibt drei Möglichkeiten der Wärmeübertragung:

- Wärmeleitung

- Wärmeströmung (= Konvektion)

- Wärmestrahlung

Wärmeleitung

Wenn es in einem Körper eine Temperaturdifferenz gibt, „fließt“ Wärme vom heißeren zum kälteren Ende.

Das nennt man Wärmestrom. Dabei fließt keine Materie, sondern Energie.

Metalle sind gute Wärmeleiter, Holz und Styropor sind schlechte Wärmeleiter.

Die Formel für den Wärmestrom  $I$  ist:  $I = a \cdot (A/d) \cdot dT$

$I$  - Wärmestrom in J/s

$a$  - Wärmeleitfähigkeit des Materials in W/(mK)

$A$  - Querschnitt in m<sup>2</sup>

$d$  - Wanddicke in m

$dT$  - Temperaturdifferenz

Um Wärmeverluste durch eine Wand zu verringern kann man also -

- die Fläche der Wand verkleinern oder die Wanddicke vergrößern,
- Materialien mit kleiner Wärmeleitfähigkeit als Wärmeisolation benutzen (z.B. Styropor),
- die Temperaturdifferenz verringern.

## Wärmeströmung = Konvektion

Wärme und Materie wird transportiert.

Freie Konvektion: Erwärmte Gase oder Flüssigkeiten dehnen sich aus, ihre Dichte sinkt und auf Grund der Gravitation steigen sie auf, während kältere dichtere Gase und Flüssigkeiten absinken.

Beispiele: Erwärmen von Wasser in Gewässern oder im Kochtopf, Golfstrom im Meer, Heizen von Räumen, Tiefdruckgebiete

Erzwungene Konvektion: Konvektion durch Pumpen oder Ventilatoren.

## Wärmestrahlung

Durch die thermische Bewegung der Teilchen eines Objekts entsteht Wärmestrahlung.

Die Intensität und das Maximum der Strahlung hängen von der Temperatur des Objekts ab.

Bei Zimmertemperatur liegt das Maximum der Wärmestrahlung im Bereich von infrarotem Licht.

Die Sonne mit einer Oberflächentemperatur von ca. 6000 K und ihr Strahlungsmaximum ist im Bereich von sichtbarem Licht.

Bei Wärmestrahlung handelt es sich um sogenannte elektromagnetische Wellen.

## F. Hauptsätze der Thermodynamik

### 1. Hauptsatz der Thermodynamik

- Der 1. Hauptsatz ist eine Erweiterung des Energieerhaltungssatzes:

„Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden. Es können nur verschiedene Energieformen ineinander

umgewandelt werden.“

- Wärme ist eine Übertragung von Energie, wie auch Arbeit.

- Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik sagt:

„Man kann die innere Energie eines Systems durch Zufuhr von Arbeit oder Wärme vergrößern.“

Die innere Energie ist die Summe der ungeordneten Bewegungsenergie (entspricht der Temperatur) und der Bindungsenergie

(entspricht dem Aggregatzustand – fest, flüssig, gasförmig) der Teilchen des Systems.

### 2. Hauptsatz der Thermodynamik

+ Ein System nimmt von selbst immer den wahrscheinlichsten Zustand an. Das ist der Zustand mit der größeren

Unordnung. (Der größeren „Entropie“.)

+ Eine Folge des 2. Hauptsatzes ist, dass Wärme von alleine immer vom wärmeren zum kälteren Körper übergeht

## G. Aggregatzustände und Phasenübergänge

Aggregatzustände

- Aggregatzustände sind unterschiedliche Zustände eines Stoffes,

die sich durch Änderungen von Temperatur oder Druck

ineinander umwandeln können.

- Die wichtigsten Aggregatzustände sind, flüssig und gasförmig.
- Es gibt noch weitere Aggregatzustände, wie z. B. das Plasma.

#### Phasenübergänge

- Die Umwandlung von einem Aggregatzustand in einen anderen nennt man Phasenübergang.
- In der Abbildung siehst du die Bezeichnungen der Phasenübergänge.
- Bei Phasenübergängen ändern sich die Bindungen zwischen den Teilchen.

(Am stärksten gebunden sind die Teilchen bei Festkörpern.)

- Bei Phasenübergängen muss Energie zugeführt werden bzw. Energie wird frei.
- Die Temperatur verändert sich während des Phasenübergangs nicht.

Bei diesen Phasenübergängen muss Energie zugeführt werden: Schmelzen, verdampfen, sublimieren.

Bei diesen Phasenübergängen wird Energie frei: Erstarren, kondensieren, resublimieren.

#### Temperatur-Energie-Diagramm von Wasser

Das Diagramm zeigt, wie sich Eis bei normalem Luftdruck verändert, wenn man Energie zuführt:

- Bis  $0^{\circ}\text{C}$  steigt die Temperatur von Eis.
- Bei  $0^{\circ}\text{C}$  bleibt die Temperatur (trotz Energiezufuhr) konstant, bis das Eis in Wasser umgewandelt ist.
- Zwischen  $0^{\circ}\text{C}$  und  $100^{\circ}\text{C}$  steigt die Temperatur von Wasser.
- Bei  $100^{\circ}\text{C}$  bleibt die Temperatur (trotz Energiezufuhr) konstant, bis das Wasser in Wasserdampf umgewandelt ist.
- Über  $100^{\circ}\text{C}$  steigt die Temperatur von Wasserdampf.

#### Phasendiagramm von Wasser

Der Aggregatzustand eines Stoffes hängt nicht nur von der Temperatur, sondern auch vom Druck ab.

Das ist im Phasendiagramm dargestellt.

- Bei 1 bar ist der Schmelzpunkt  $0^{\circ}\text{C}$  und der Siedepunkt  $100^{\circ}\text{C}$ .

- Bei weniger Druck ist der Siedepunkt tiefer.

(z.B. auf hohen Bergen. Dort kocht Wasser schon unter  $100^{\circ}\text{C}$ .)

- Bei mehr Druck ist der Siedepunkt höher.

(z.B. im Druckkochtopf → Man spart Energie, weil die Speise kürzer kocht.)

Kritischer Punkt: Ab diesem Punkt gibt es keinen Unterschied mehr zwischen fest und flüssig.

Tripelpunkt: Bei genau dieser Temperatur und diesem Druck kann Wasser fest, flüssig und gasförmig sein. (→ Fixpunkt der Kelvinskala)