LEHRERINFO ZUM VIDEO

Thermodynamik – Wärme, Arbeit und Entropie

FACH	STUFE	DAUER	VIDEO
Physik	Gymnasium · Sek II (Matura/Abitur)	16 min	youtube.com/@Erklaerbaer

01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- Wärmemengen mit $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ sowie Schmelz- und Verdampfungswärme berechnen und Mischungstemperaturen bestimmen,
- die Gasgesetze (Boyle-Mariotte, Gay-Lussac, Amontons) und $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ mit Kelvin und Absolutdruck anwenden,
- die Temperatur kinetisch deuten ($\bar{E} = 3/2 \cdot k \cdot T$) und Molekülgeschwindigkeiten abschätzen,
- den 1. Hauptsatz $\Delta U = Q + W$ mit einer festgelegten Vorzeichenkonvention anwenden,
- Kreisprozesse im p-V-Diagramm deuten und Wärmekraftmaschinen mit dem Carnot-Wirkungsgrad beurteilen,
- den 2. Hauptsatz und die Entropie qualitativ erklären und die Leistungszahl von Wärmepumpen berechnen.

02 Voraussetzungen

Folge 8 Grundlagen („Wärme und Temperatur“): Teilchenmodell, Kelvin, Wärmeübertragung. Folge 6 („Druck“): $p = F/A$, Pascal und bar. Folge 5 Advanced: Energieerhaltung, Arbeit, Leistung. Mathematisch: Zehnerpotenzen, Quadratwurzel, Proportionalitäten, Fläche unter einem Graphen.

03 Ablauf des Videos

ZEIT	KAPITEL	INHALT UND PRAXISBEISPIEL
0:00	Einstieg	Kohlekraftwerk: 600 °C Dampf, über die Hälfte Abwärme · Ident · Serien-Fahrplan (Mini-Wasserturbine)
0:48	Was du brauchst	Temperatur und Kelvin · Wärme · Druck und Energieerhaltung

1:26	Wärmekapazität und Mischung	$\boldsymbol{c}$ von Wasser und Eisen · Tee und Milch → 65 °C · Schmelz- und Verdampfungswärme, Dampf auf der Haut PAUSE-FRAGE 126 kJ
3:04	Das ideale Gas	Boyle-Mariotte (Spritze), Gay-Lussac, Amontons · $\boldsymbol{p \cdot V = n \cdot R \cdot T}$ · Velopneu in der Sonne PAUSE-FRAGE 600 K
4:57	Kinetische Gastheorie	Druck aus Stössen · $\bar{\boldsymbol{E}} = 3/2 \cdot \boldsymbol{k \cdot T}$ · Stickstoff ≈ 500 m/s · absoluter Nullpunkt · Gay-Lussac anschaulich
6:13	Der erste Hauptsatz	$\Delta \boldsymbol{U} = \boldsymbol{Q} + \boldsymbol{W}$, Vorzeichen · Velopumpe wird warm · Spraydose wird kalt · Wolkenbildung
7:28	Die Wärmekraftmaschine	Kreisprozess im $\boldsymbol{p}$-$\boldsymbol{V}$-Diagramm · Nettoarbeit = eingeschlossene Fläche · Abwärme gehört zum Prinzip · Automotor 30 %, Kohlekraftwerk 45 %
8:33	Carnot und der zweite Hauptsatz	$\eta_{max} = 1 - \boldsymbol{T}_k/\boldsymbol{T}_w$ · Kraftwerk 65 % · 2. Hauptsatz · Entropie (Tinte im Wasser) · Merksätze
10:02	Wärmepumpe und Kühlschrank	Kältemittelkreislauf · Kühlschrank · $\varepsilon_{max} = 8{,}8$, real 3–4 · Fussbodenheizung
11:26	Turbinen-Baustein 8	Wirkungsgrad der Mini-Turbine 43 % · Verluste · Wasserkraft 90 % ohne Carnot-Grenze
12:22	Prüfungsfallen	vier Fallen (siehe 04)
13:07	Zusammenfassung	fünf Kernaussagen · Auflösung des Einstiegs
13:50	Quiz	4 Fragen · Endkarte Folge 9 Advanced

04 Typische Fehlvorstellungen und Prüfungsfallen

- Grad Celsius im Gasgesetz oder in der Carnot-Formel – immer Kelvin (Kapitel 3, 7, 10).
- Überdruck statt Absolutdruck – Absolutdruck = Überdruck + Luftdruck (Kapitel 3, 10).
- Vorzeichen von $\boldsymbol{Q}$ und $\boldsymbol{W}$ verwechselt – Konvention zuerst festlegen; im Video: zugeführt = positiv (Kapitel 5, 10).
- „Mit besserer Technik sind 100 % möglich." – Für Wärmekraftmaschinen nie (Carnot); Wasserkraft ist keine Wärmekraftmaschine (Kapitel 7, 9, 10).
- „Die Wärmepumpe erzeugt Energie aus dem Nichts." – Sie pumpt Umgebungswärme; die Energiebilanz stimmt (Kapitel 8).

05 Einsatz im Unterricht

Einstieg: Velopumpe mit zugehaltenem Ventil schnell pumpen und den Zylinder fühlen; Vermutungen sammeln.

Experiment: Mischungsversuch mit Thermometer; Spritze mit Manometer (Boyle-Mariotte); Kolbenprober im Wasserbad (Gay-Lussac); Peltier-Element als Wärmekraftmaschine.

Vertiefung: Aufgaben 4–10; Carnot-Kreisprozess im p-V-Diagramm skizzieren und die Teilschritte benennen.

Prüfungsvorbereitung: Kapitel 10 und das Arbeitsblatt (Aufgaben im Stil von Matura-/Abiturprüfungen).

Hinweis: Das Video verwendet die Konvention $\Delta U = Q + W$ (am System verrichtete Arbeit positiv). Die Entropie wird nur qualitativ (Zahl der Möglichkeiten) eingeführt. Sicherheit: heisses Wasser und Dampf nur unter Aufsicht.

06 Quellen

- Konstanten R = 8,314 J/(mol·K), k = 1,380649·10^{-23} J/K: CODATA 2018 – physics.nist.gov/constants
- Stoffwerte (Wasser 4,19 kJ/(kg·K), Schmelzwärme 334 kJ/kg, Verdampfungswärme 2257 kJ/kg, Eisen 0,45 kJ/(kg·K)): Kuchling, Taschenbuch der Physik, Hanser
- S. Carnot: Réflexions sur la puissance motrice du feu, Paris 1824
- Wirkungsgrade Kohle- und Wasserkraftwerke: Konstantin, P.: Praxisbuch Energiewirtschaft, Springer Vieweg
- Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen im Gebäudebestand ≈ 3–4: Fraunhofer ISE, Feldmessungen von Wärmepumpen – ise.fraunhofer.de
- Projektwerte der Mini-Wasserturbine: Serienplan Physik, Abschnitt „Roter Faden“ (Lernwerte, beim Bau messen)
- EDK: Rahmenlehrplan für die Maturitätsschulen (Physik) · KMK: Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (2020)

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

Thermodynamik – Wärme, Arbeit und Entropie

c_{Wasser} = 4,19 kJ/(kg·K) · Schmelzwärme Eis 334 kJ/kg · R = 8,314 J/(mol·K) · k = 1,38·10⁻²³ J/K · Temperaturen in Kelvin: $T = \vartheta + 273$.

1 Mischungstemperatur ●○○

300 g Wasser mit 20 °C werden mit 200 g Wasser mit 70 °C gemischt. Berechne die Mischungstemperatur (keine Verluste).

2 Eis schmelzen ●●○

Wie viel Wärme braucht man, um 0,2 kg Eis von 0 °C in Wasser von 20 °C zu verwandeln?

3 Boyle-Mariotte ●○○

Eine verschlossene Spritze enthält 50 mL Luft bei 1,0 bar. Sie wird bei konstanter Temperatur auf 20 mL zusammengedrückt. Berechne den Druck.

4 Luft im Zimmer ●●○

Ein Zimmer hat 60 m³ Luft bei 1013 hPa und 20 °C. Berechne die Stoffmenge n. Wie schwer ist die Luft ($M \approx 29$ g/mol)?

5 Velopneu am Morgen ●●○

Morgens bei 5 °C zeigt die Pumpe 3,0 bar Überdruck. Wie gross ist der Überdruck mittags bei 35 °C (Volumen konstant, Luftdruck 1,0 bar)?

6 Helium ●●●

Schätze die typische Geschwindigkeit von Heliumatomen (***m*** = 6,65·10⁻²⁷ kg) bei 300 K ab. Vergleiche mit Stickstoff (≈ 500 m/s) und begründe den Unterschied.

7 Erster Hauptsatz ●●○

Ein Gas nimmt 500 J Wärme auf und verrichtet dabei 200 J Arbeit an der Umgebung. Wie ändert sich seine innere Energie? Gib die Vorzeichenkonvention an.

8 Carnot ●●○

a) Dampfturbine: 540 °C, Kühlwasser 20 °C. b) Geothermie-Kraftwerk: 150 °C, Kühlung 20 °C. Berechne jeweils den maximalen Wirkungsgrad und vergleiche.

9 Wärmepumpe ●●●

Ein Haus mit Radiatoren braucht 55 °C Vorlauf, draussen sind −5 °C. Berechne ε_{max} und vergleiche mit der Fussbodenheizung aus dem Video (8,8). Was folgt daraus für die Planung?

10 Turbine: ganze Anlage ●●○

Das Wasser fällt 2 m tief, der Volumenstrom ist 7,1·10⁻⁵ m³/s. Berechne die Leistung des fallenden Wassers (***P*** = ρ·***g***·***h***·***Q***) und den Wirkungsgrad der ganzen Anlage bei 0,49 W an der Welle.

11 Quiz aus dem Video – kreuze an ●○○

a) Velopumpe warm ☐ Wärme von aussen ☐ Kompressionsarbeit erhöht ***U*** ☐ Druck bremst Teilchen

b) Wärmekraftwerk 100 %? ☐ ja ☐ nein ☐ nur im Winter

c) Gasgesetz in ☐ °C ☐ K ☐ °F

d) Wärmepumpe ☐ verletzt Energieerhaltung ☐ pumpt Umgebungswärme ☐ Strom hat mehr Energie

Lösungen

1 Mischungstemperatur

$T_M = (300 \cdot 20 + 200 \cdot 70) : 500 = 20\,000 : 500 = 40\ °C$

2 Eis schmelzen

$Q = 0{,}2 \cdot 334 + 4{,}19 \cdot 0{,}2 \cdot 20 = 66{,}8 + 16{,}8 \approx 83{,}6$ kJ (der grösste Teil fürs Schmelzen)

3 Boyle-Mariotte

$p_2 = p_1 \cdot V_1 : V_2 = 1{,}0$ bar $\cdot\ 50 : 20 = 2{,}5$ bar

4 Luft im Zimmer

$n = p \cdot V : (R \cdot T) = 1{,}013 \cdot 10^5 \cdot 60 : (8{,}314 \cdot 293) \approx 2{,}5 \cdot 10^3$ mol $\rightarrow m \approx 2500 \cdot 29$ g ≈ 72 kg

5 Velopneu am Morgen

Absolut 4,0 bar bei 278 K $\rightarrow p_2 = 4{,}0 \cdot 308 : 278 \approx 4{,}4$ bar absolut $\rightarrow \approx 3{,}4$ bar Überdruck

6 Helium

$v = \sqrt{(3 \cdot k \cdot T : m)} = \sqrt{(3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 : 6{,}65 \cdot 10^{-27})} \approx 1{,}4 \cdot 10^3$ m/s – fast dreimal so schnell wie Stickstoff, weil gleiche mittlere Energie bei siebenmal kleinerer Masse.

7 Erster Hauptsatz

Zugeführt = positiv: $Q = +500$ J, $W = -200$ J $\rightarrow \Delta U = +300$ J

8 Carnot

a) $1 - 293 : 813 \approx 0{,}64 = 64\ \%$ b) $1 - 293 : 423 \approx 0{,}31 = 31\ \%$ – je kleiner der Temperaturunterschied, desto kleiner der mögliche Wirkungsgrad.

9 Wärmepumpe

$\varepsilon_{max} = 328 : (328 - 268) = 328 : 60 \approx 5{,}5$ – deutlich weniger als 8,8. Niedrige Vorlauftemperaturen (grosse Heizflächen, gute Dämmung) machen die Wärmepumpe effizienter.

10 Turbine

$P = 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 2 \cdot 7{,}1 \cdot 10^{-5} \approx 1{,}40$ W $\rightarrow$ Wirkungsgrad der Anlage $0{,}49 : 1{,}40 \approx 35\ \%$

11 Quiz

a) Kompressionsarbeit erhöht U b) nein c) K d) pumpt Umgebungswärme