

Die Umsetzung des Themas „Treibhauseffekt“ im Unterricht – der digitale Experimentierkoffer

Dr. Matthias Hauck

Der neue Bildungsplan

Klasse 9/10

3.3.3 Wärmelehre

Die Schülerinnen und Schüler beschreiben reale Energieumwandlungen in Alltag und Technik. Sie beschreiben grundlegende Phänomene und Prozesse der Wärmelehre und wenden ihre Kenntnisse auf den sorgsamsten Umgang mit Energie sowie auf den Treibhauseffekt an. Sie sind für das Problem der nachhaltigen Energieversorgung sensibilisiert; sie diskutieren und bewerten verschiedene Lösungsansätze.

Die Schülerinnen und Schüler können

(6) den Unterschied zwischen *reversiblen* und *irreversiblen* Prozessen beschreiben

(7) ihre physikalischen Kenntnisse zur Beschreibung des *natürlichen* und *anthropogenen Treibhauseffektes* anwenden (zum Beispiel Strahlungsbilanz der Erde, Treibhausgas)

(8) Auswirkungen des Treibhauseffektes auf die Klimaentwicklung beschreiben (zum Beispiel anhand von Diagrammen, Szenarien und Prognosen)

(9) ihre physikalischen Kenntnisse anwenden, um mit *Energie* sorgsam und effizient umzugehen (zum Beispiel Klimaschutz, Nachhaltigkeit, Ökonomie)

(10) verschiedene Arten der Energieversorgung unter physikalischen, ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Aspekten vergleichen und bewerten (zum Beispiel fossile Brennstoffe, Kernenergie, Windenergie, Sonnenenergie)

P 2.3 Bewertung 8, 9, 10

I 3.3.4 Struktur der Materie

F GEO 3.2.2.3 Phänomene des Klimawandels

F GEO 3.3.4.1 Analyse ausgewählter Meeresräume

F NWT 3.2.2.2 Energieversorgungssysteme (*)

L BNE Bedeutung und Gefährdungen einer nachhaltigen Entwicklung; Kriterien für nachhaltigkeitsfördernde und -hemmende Handlungen

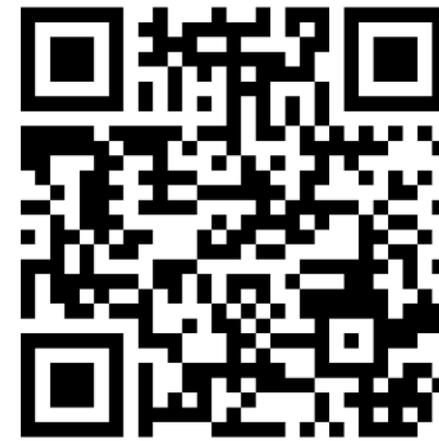
L BO Fachspezifische und handlungsorientierte Zugänge zur Arbeits- und Berufswelt

Wärmestrahlung

Der Leslie-Würfel



Welche der vier Seiten gibt die höchste Strahlungsleistung ab?

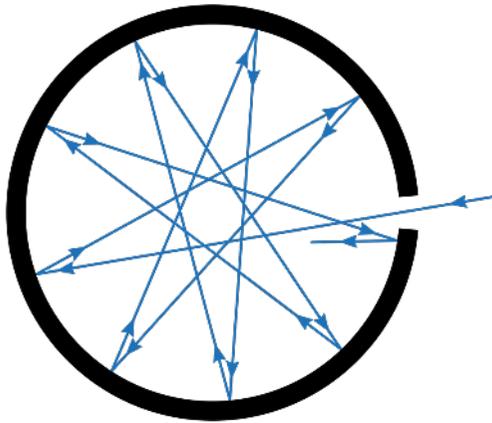


www.menti.com

Der Leslie-Würfel



Grundlagen



vollständige Absorption
elektromagn. Strahlung

$$S(\lambda, T) \cdot d\lambda = \frac{2 \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{c \cdot h}{k_B \cdot \lambda \cdot T}} - 1 \right)} \cdot d\lambda$$

Plancksche Strahlungsformel

Strahlungsflussdichte S eines schwarzen
Strahlers im Wellenlängenintervall $[\lambda; \lambda + d\lambda]$



Grundlagen

$$\frac{dS(\lambda, T)}{d\lambda} = 0$$



$$S(\lambda, T) \cdot d\lambda = \frac{2 \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5 \cdot (e^{\frac{c \cdot h}{k_B \cdot \lambda \cdot T}} - 1)} \cdot d\lambda$$

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ Km}$$

Planksche Strahlungsformel

Wiensches Verschiebungsgesetz

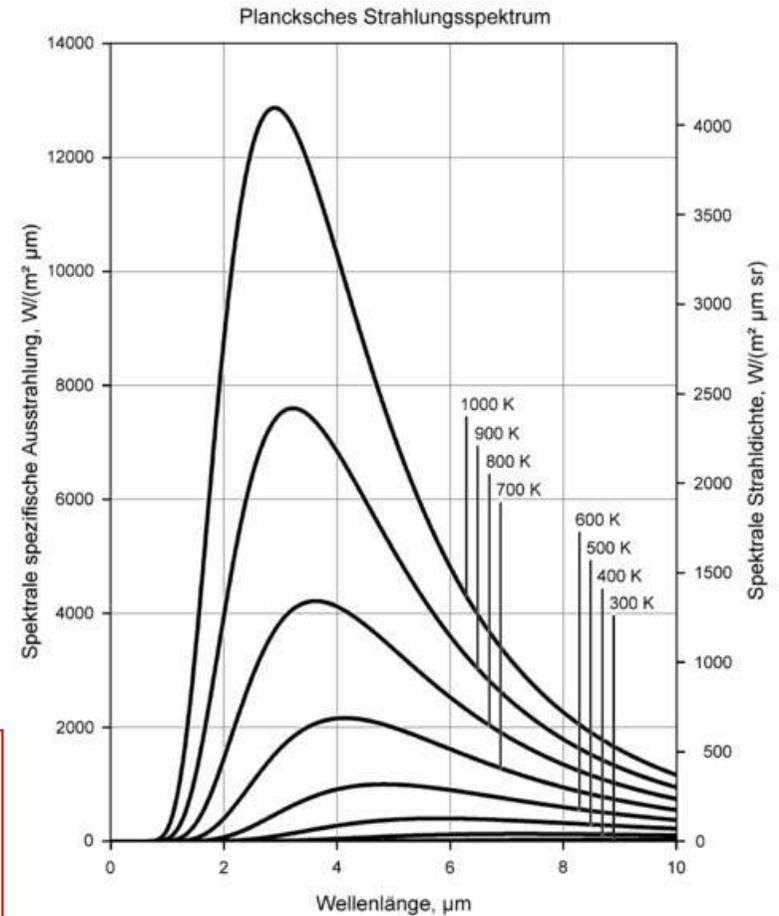
Abhängigkeit der Wellenlänge λ_{\max} des Maximums der Strahlungsflussdichte S und der Temperatur T.

Oberflächentemperatur der Sonne:

$$T = 6000 \text{ K}$$

da Strahlungsmaximum bei

$$\lambda_{\max} \approx 483 \text{ nm}$$



Grundlagen

$$S(\lambda, T) \cdot d\lambda = \frac{2 \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5 \cdot (e^{\frac{c \cdot h}{k_B \cdot \lambda \cdot T}} - 1)} \cdot d\lambda$$

Plancksche Strahlungsformel

$$S(T) = \int_0^\infty S(\lambda, T) \cdot d\lambda$$

$$P = A \cdot \sigma \cdot T^4$$

Stefan-Boltzmann-Gesetz

Strahlungsleistung S eines schwarzen Körpers auf die Fläche A.

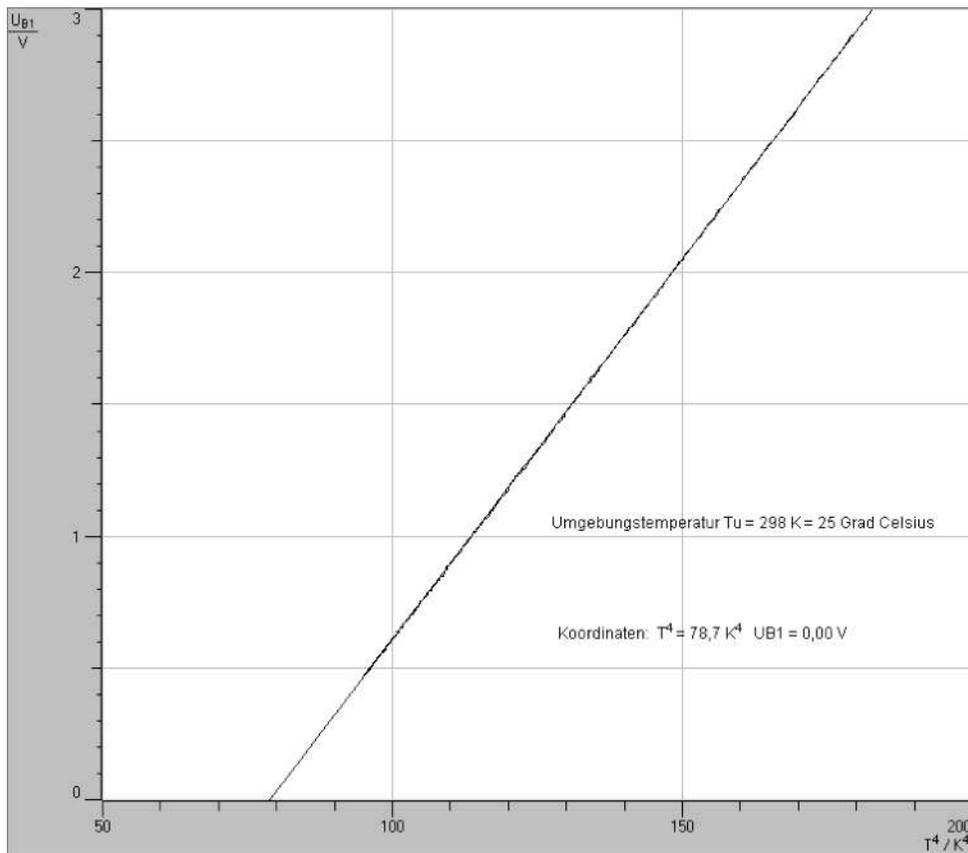
$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^{-2}K^{-4}}$$

Strahlungsleistung der Sonne:

$$P = A \cdot \sigma \cdot T^4 = A \cdot S_0$$

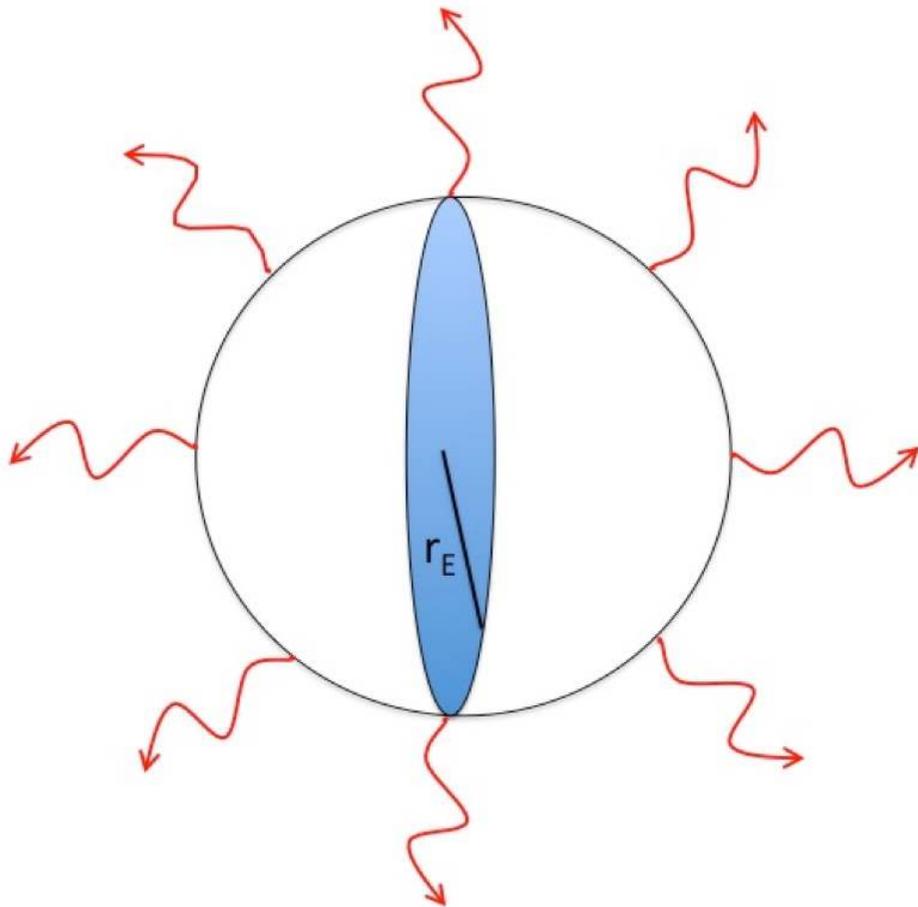
$$S_0 = 1368 \text{ W/m}^2 \text{ „Solarkonstante“}$$

Experimenteller Nachweis in der Schule



Messung von Temperatur und Strahlungsleistung (Thermosäule) mittels CASSY-Lab

Die Strahlungsbilanz der Erde



- eingestrahlte Sonnenenergie wird von Querschnittsfläche der Erde aufgenommen
- wird im thermischen Gleichgewicht wieder über die gesamte Erdoberfläche abgestrahlt

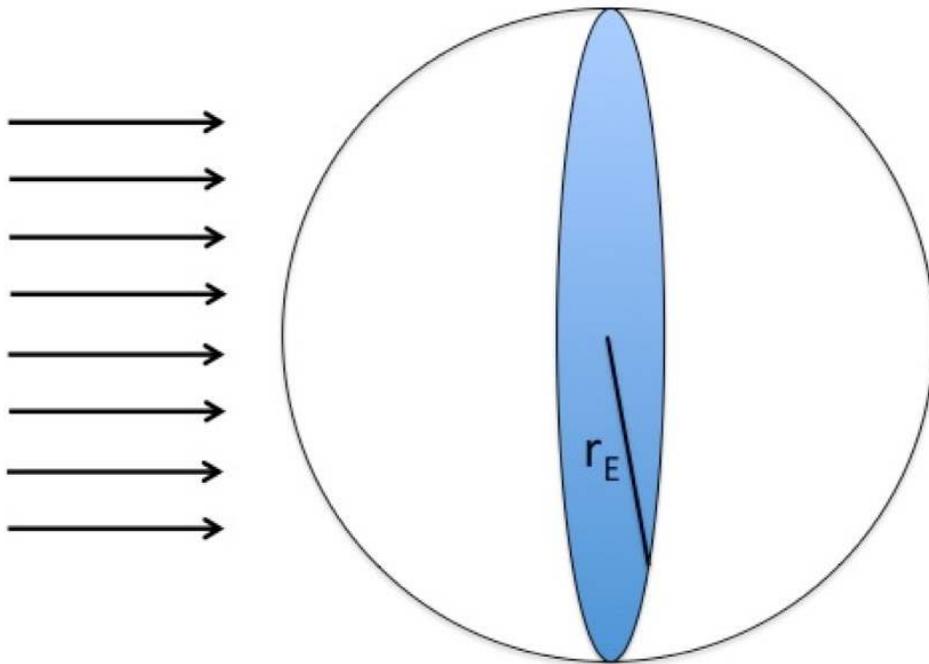
$$\pi r_E^2 \cdot S_0 = 4\pi r_E^2 \cdot S_E$$

Erde kein idealer schwarzer Strahler!

$$\pi r_E^2 \cdot S_0 = 4\pi r_E^2 \cdot \epsilon_{IR} \cdot \sigma \cdot T_E^4$$

$$\epsilon_{IR} = 0,96$$

Die Strahlungsbilanz der Erde



Eingestrahletes Sonnenlicht

- Streuung an Atmosphäre
- Reflexion an Wolken

„planetare Albedo“

$$A_p \approx 0,3$$

$$\pi r_E^2 \cdot S_0 \cdot (1 - A_p) = 4\pi r_E^2 \cdot \epsilon_{\text{IR}} \cdot \sigma \cdot T_E^4$$

$$\frac{S_0}{4} \cdot (1 - A_p) = \epsilon_{\text{IR}} \cdot \sigma \cdot T_E^4$$

Mittelwert der Oberflächentemperatur der Erde:

$$T_E = \sqrt[4]{\frac{\frac{S_0}{4} \cdot (1 - A_p)}{\epsilon_{\text{IR}} \cdot \sigma}} \approx 255 \text{ K} \approx -18^\circ \text{C}$$

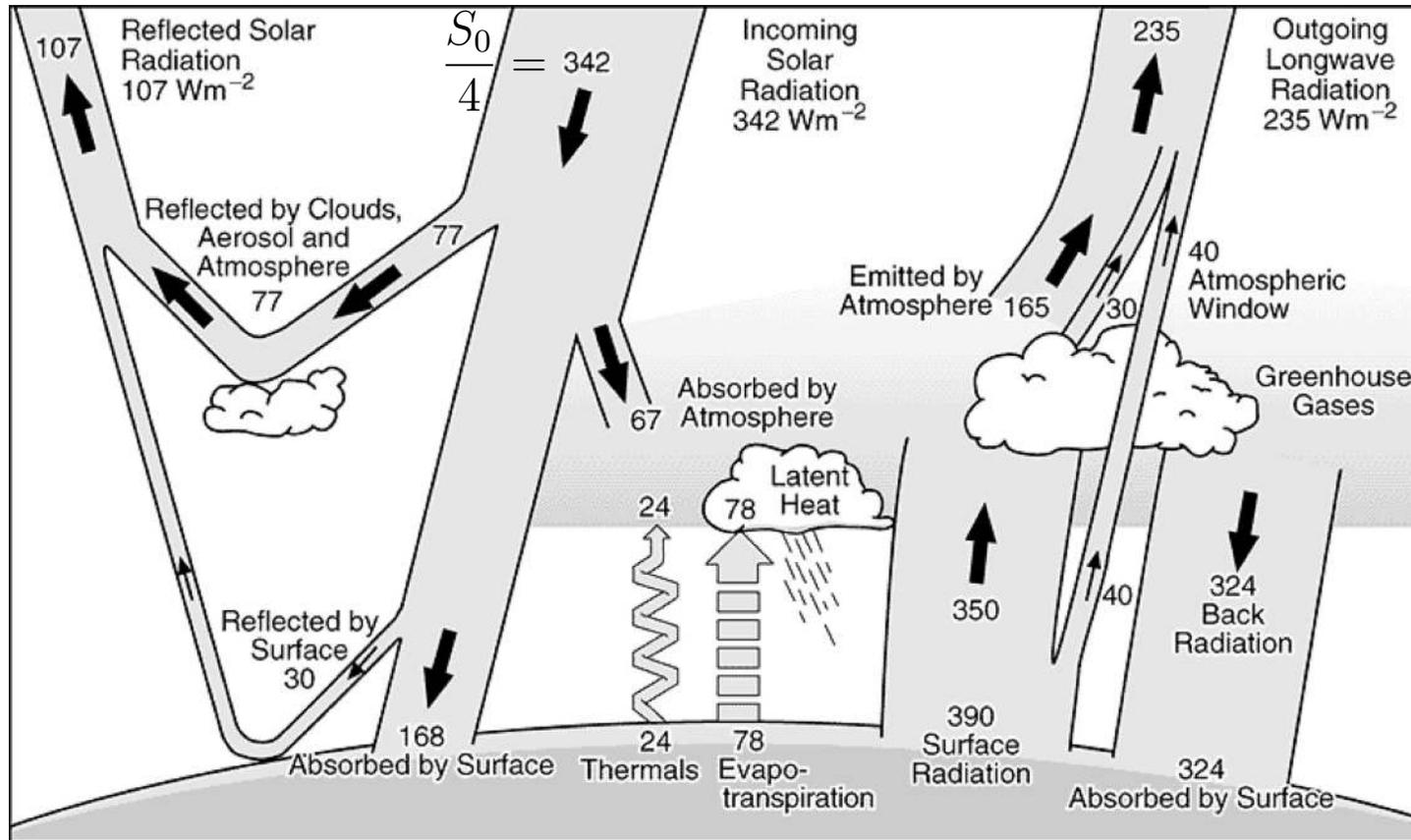
Der natürliche Treibhauseffekt

Formal durch die Einführung der so genannten Infrarot-Albedo $B \approx 0,38$ berücksichtigt:

$$\frac{S_0}{4} \cdot (1 - A_P) = \epsilon_{IR} \cdot \sigma \cdot T_E^4 \cdot (1 - B)$$

$$T_E = \sqrt[4]{\frac{\frac{S_0}{4} \cdot (1 - A_P)}{\epsilon_{IR} \cdot \sigma \cdot (1 - B)}} \approx 288 \text{ K} \approx 15^\circ\text{C}$$

Verteilung der Sonnenstrahlung von in der Erdatmosphäre



IPCC-Report 2001

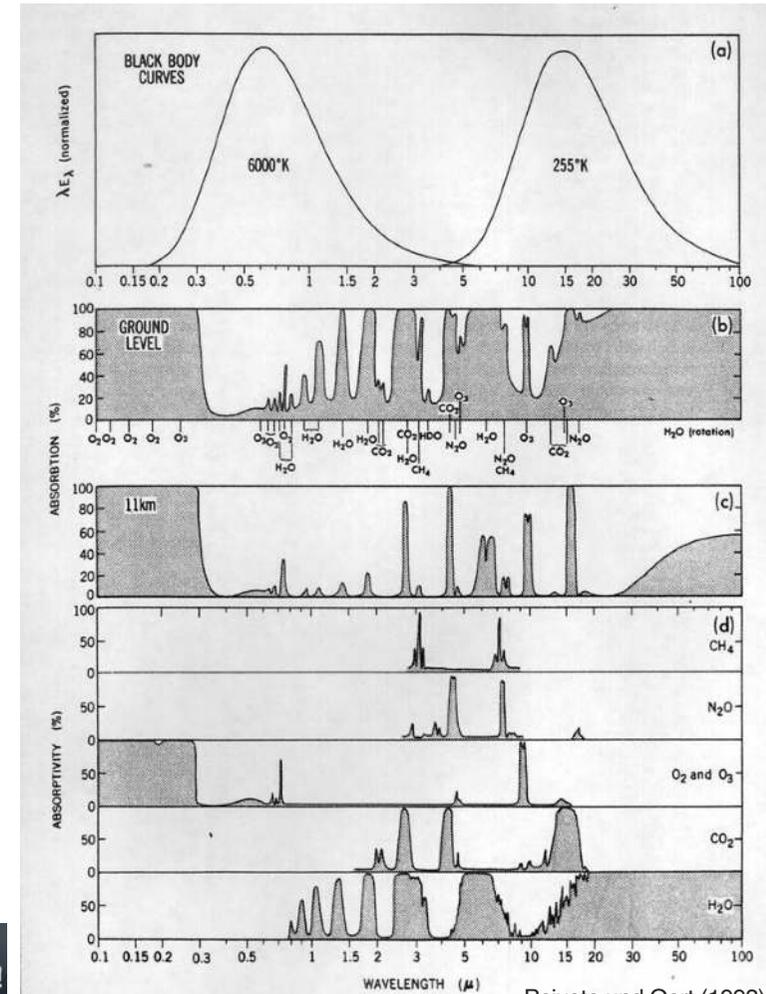
Der anthropogene Treibhauseffekt

$$T_E = \sqrt[4]{\frac{\frac{S_0}{4} \cdot (1 - A_P)}{\epsilon_{IR} \cdot \sigma \cdot (1 - B)}} \approx 288 \text{ K} \approx 15^\circ\text{C}$$

Natürlichen von anthropogenem Treibhauseffekt klar unterscheiden!



WIS wissenschaft in die schulen!



Peixoto und Oort (1993)

Experimenteller Nachweis in der Schule



**EXPERIMENTIEREN MIT
TREIBHAUSGASEN:
WELCHEN EINFLUSS ÜBEN
SIE AUS?**

Der digitale Experimentierkoffer



- Heidelberg School of Education (HSE)
- Physikalische Fakultät der Uni Heidelberg
- ZSL Regionalstelle Karlsruhe



Dr. Alda Suarez Arias



Prof. Dr. M. Weidemüller



Dr. Matthias Hauck



Der digitale Experimentierkoffer

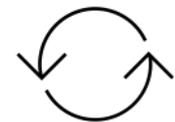


- Verknüpfung realer Experimentiervideos mit physikalischen Modellen
- Abkehr von passivem Konsum typischer Erklärvideos (z.B. YouTube)
- Aufbau von Kompetenzen und nachhaltiges Erlernen fachspezifischer Denkweisen im naturwissenschaftlichen Unterricht
- Förderung aktiver Auseinandersetzung der Schüler:innen mit physikalischen Inhalten

Der digitale Experimentierkoffer

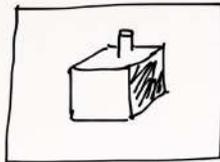


- Orientierung an typischen Forschungsprozessen
 1. Aufbau des Experiments
 2. Beobachtung der Phänomenologie
 3. Quantitative Messungen
 4. Einführung physikalischer Modelle
- Fehler sind erlaubt
werden durch Ausprobieren und Reflektion ausgeräumt



Der digitale Experimentierkoffer

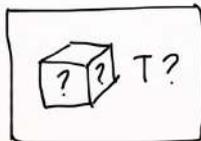
③ Leslie-Würfel



Motivation: Um die Emission der Erde intuitiver zu verstehen, machen wir einen Versuch

- Was genau ist ein Leslie-Würfel?
- Was können wir davon lernen?

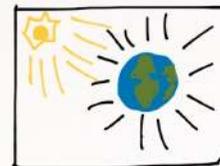
④ Konzeptfrage



Welche Seite hat eine höhere Abstrahlung?

- Multiple Choice
- ↳ Jeder Dozent kann die App auswählen

⑥ Die Strahlungsbilanz der Erde



Da wir besser die Abstrahlung eines schwarzen Körpers verstehen, können wir an unserem Modell weitermachen

Im thermischen Gleichgewicht erwarten wir, dass die Energie von der einfallenden Sonnenstrahlung an der Querschnittsfläche (πr_E^2) der Erde gleich ist mit der abgestrahlten Energie von der Erde über die gesamte Erdoberfläche

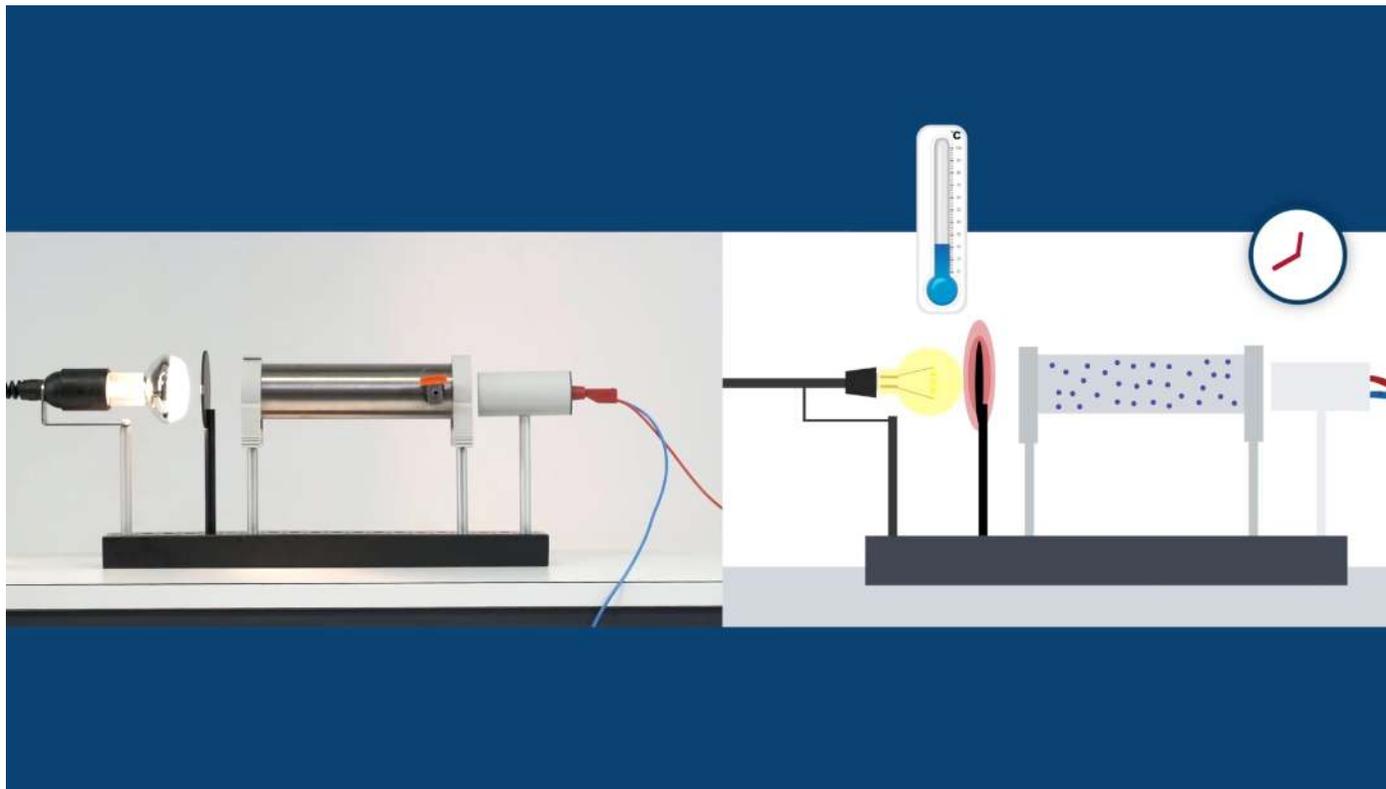
$$\pi r_E^2 S_0 = 4\pi r_E^2 \underline{S_E} \quad \text{S-B-Gesetz}$$

↳ Literatur

PLACE AKTUELL – FÖRDERPHASE V

Dieses Projekt gehört zu den vier Vorhaben, die in der fünften Förderphase des Programms PLACE aktuell (Projektstart: Sommersemester 2020; thematischer Schwerpunkt: „Nachhaltigkeit“) von einem hochschulübergreifenden Gremium ausgewählt wurden.

Der digitale Experimentierkoffer



Der digitale Experimentierkoffer



TREIBHAUSGASE ALS EINBAHNSTRASSE



Welches Tier ist hier abgebildet?

Herzlichen Dank!

Dr. Matthias Hauck

Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung
Regionalstelle Karlsruhe | Fachberater Physik

matthias.hauck@zsl-rska.de

