

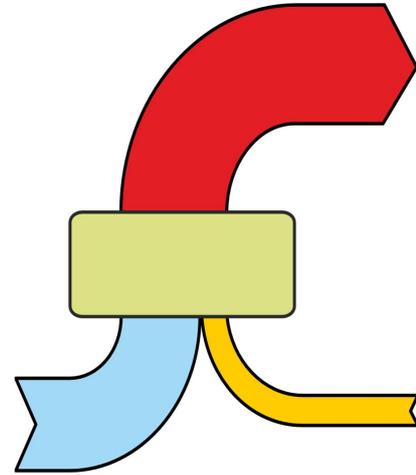
Klimaschutz im (Physik-)Unterricht

Test mit einer mobilen Wärmepumpe/Kälteanlage

Kurzfassung der Unterrichtsinhalte

Autoren:

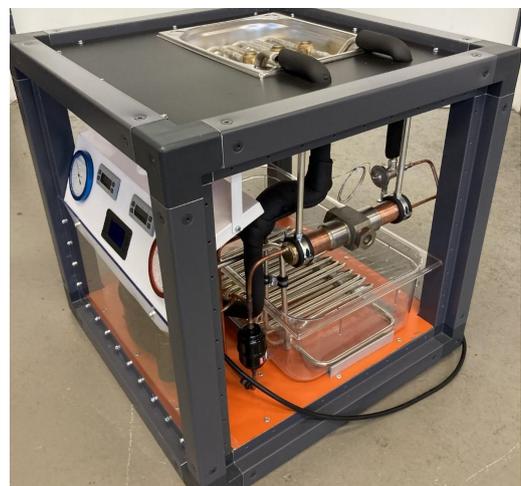
Michael Arnemann
Karsten Beermann
Wolfgang Müller
Jörn Schwarz



Weitere Informationen: <http://www.i-k-k-e.com/>

Inhalt

1. Einführung, Gegenstand und Ziele des Schulprojektes
2. Veränderung der Temperatur in der Erdatmosphäre und im Boden
3. Erderwärmung und mögliche physikalische sowie gesellschaftliche Folgen
4. Ursachen der Erwärmung der Erdatmosphäre
5. Internationale und nationale Politik
6. Individuelle Handlungsmöglichkeiten, Beispiele
7. Energetische Aspekte
8. Wärmepumpe/Kälteanlage
9. Indirekte und direkte Emissionen
10. Diskussion: Wohin geht die Reise?



1. Einführung, Gegenstand und Ziele

Projekt-Hintergrund

- § Die Möglichkeiten klimafreundlicher Verhaltensweisen sind Schülern und Schülerinnen mehrheitlich vor allem in bestimmten Bereichen, wie z. B. der Mobilität, bewusst. Für die Technik der „thermodynamischen“ Systeme trifft dies nicht zu. Sie ist nicht allgemein bekannt und in der Regel auch nicht Gegenstand des schulischen Unterrichts.
- § Die Bedeutung des Themas wird gerade wieder offensichtlich: Hitzewelle in China, Italien trocknet aus, Gletscherbrüche, zahlreiche Brände weltweit, zugleich gewaltige Überschwemmungen, Hitzetote
⊗ Anpassungsmaßnahmen werden dringlicher
- § Es wird umfangreiches Informationsangebot für (Physik-)Lehrer angeboten, um diese Lücke zu schließen.
- § Am Beispiel einer transportablen und steuerbaren Wärmepumpe/Kälteanlage zur gleichzeitigen Erzeugung von warmem und kaltem Wasser sollen einem haptischen Ansatz folgend die energetischen Prozesse veranschaulicht werden.
- § Die Zusammenhänge von Energieverbrauch, Temperatur sowie Wärme- bzw. Kälteleistung sollen in Versuchsreihen gemessen und ausgewertet werden. Zudem soll anhand der Einbindung der experimentellen Arbeiten in grundlegende theoretische Überlegungen mit Blick auf den Kohlenstoffkreislauf der Erde sowie unter Einbeziehung verschiedener Pfade der Energieerzeugung der unmittelbare Beitrag dieser Technik zur Minderung der Treibhausgasemissionen herausgearbeitet werden.
- § Mit diesem „erlebbareren Klimaschutz“ sollen sich Schüler und Schülerinnen ihrer Einflussmöglichkeiten bewusst werden und zugleich zusätzliche naturwissenschaftliche Erkenntnisse erlangen.

Lernziele der Ausbildung, Kompetenzen

Die Schüler

- § kennen die beobachtete Erwärmung der Atmosphäre,
- § können die relevanten Folgen benennen und
- § verstehen die Ursachen der Erwärmung u. a. als Folge eines gestörten Kohlenstoffkreislaufs
- § können die relevanten Treibhausgase und deren Emissionen benennen
- § kennen die Bedeutung der Gase aufgrund der bisherigen und zukünftigen Konzentration in der Atmosphäre
- § können politische Maßnahmen der Umweltpolitik nennen (z. B. das Klimaschutzgesetz in D)
- § können Emissionen, Energieverbrauch und Energiepreise für Gebäude einschätzen
- § verstehen den Unterschied von Energieformen (Arbeit, Wärme) und Energiestrom (Leistung)
- § verstehen die Funktion einer Wärmepumpe und die Notwendigkeit der Zufuhr von Arbeit als Technik zur Minderung von Treibhausgasemissionen beim Heizen
- § können Temperatur und Druck im Kreislauf und in der Wärmequelle und Wärmesenke messen und verstehen die Zusammenhänge
- § können die Vorteile von Wärmepumpen anhand von Energieeffizienz beschreiben
- § lernen das Tätigkeitsfeld des Kälteanlagenmechatronikers kennen

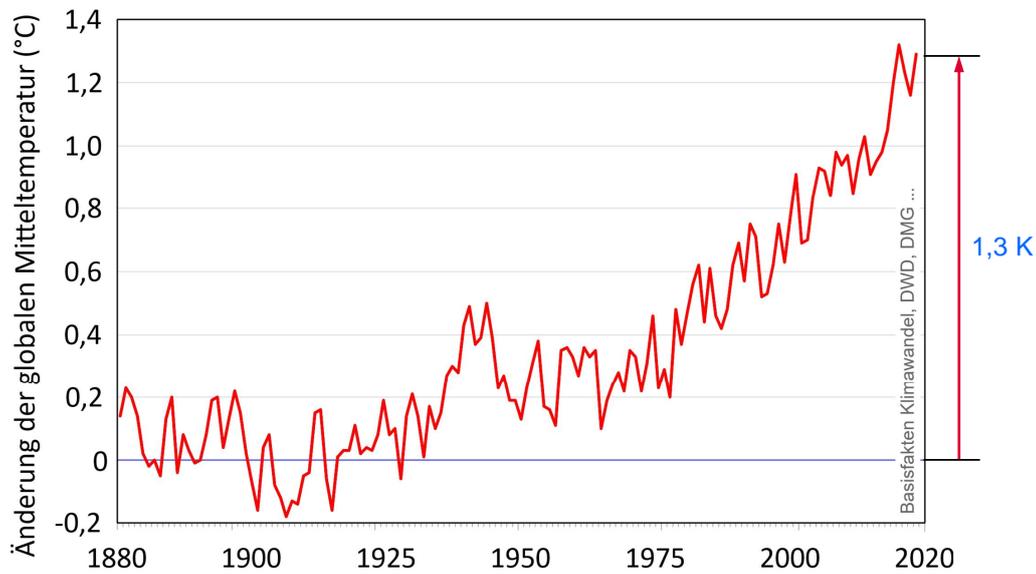
Während der Experimente arbeiten die Schüler in Kleingruppen, sie lernen dabei gruppendynamische Prozesse beim Lösen technischer Prozesse kennen

Randbedingungen

- Klassenstufe: 8. bis 12. Klasse
- 4 Unterrichtsstunden à 45 min

2. Veränderung der Temperatur in der Erdatmosphäre und im Boden

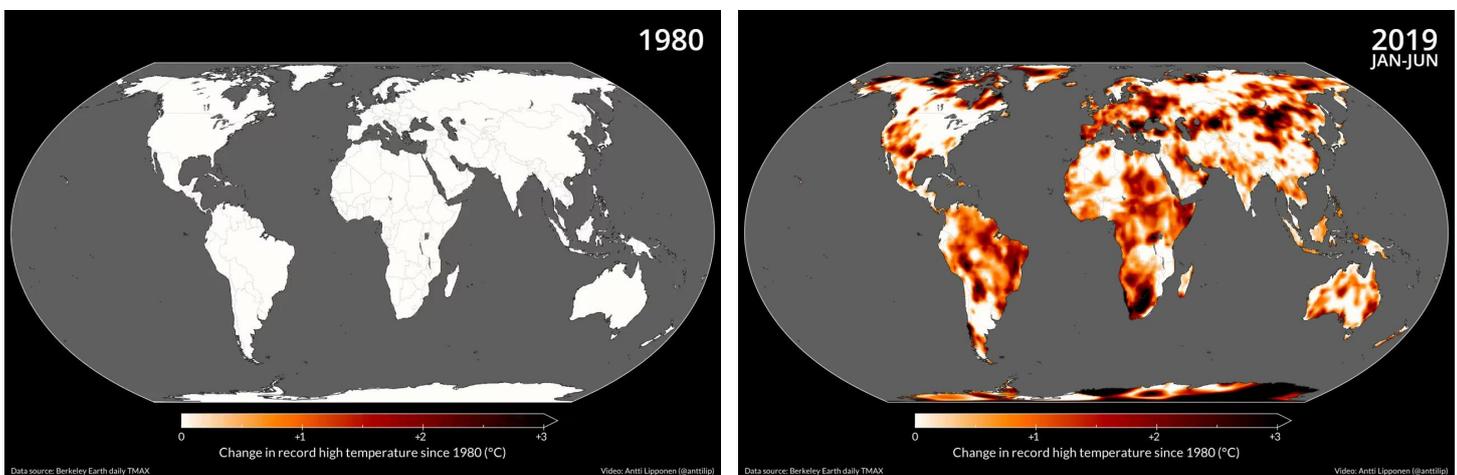
Globale Mitteltemperatur 1880 – 2019



- Die globale Mitteltemperatur ist um ca. 1,3 K angestiegen.

Die Erde hat Fieber.

Veränderung der gemessenen Höchsttemperaturen



Der Boden im Klimawandel

Die Bodenoberfläche ist die entscheidende Energieumsatzfläche Strahlung – Wärme – Verdunstung, Ihr Zustand entscheidet über Erderwärmung oder Verdunstung.

Nur der bewachsene und humusreiche Boden kann das Klima stabilisieren.

Der Boden ist eine wichtige Senke für Treibhausgase.

§ Der Boden erwärmt sich durch einen Wärmefluss von der Erdoberfläche

§ Der Boden erwärmt sich langsam, so dass sich in ca. 20 – 30 m Tiefe das klimatologische Jahresmittel einstellt.

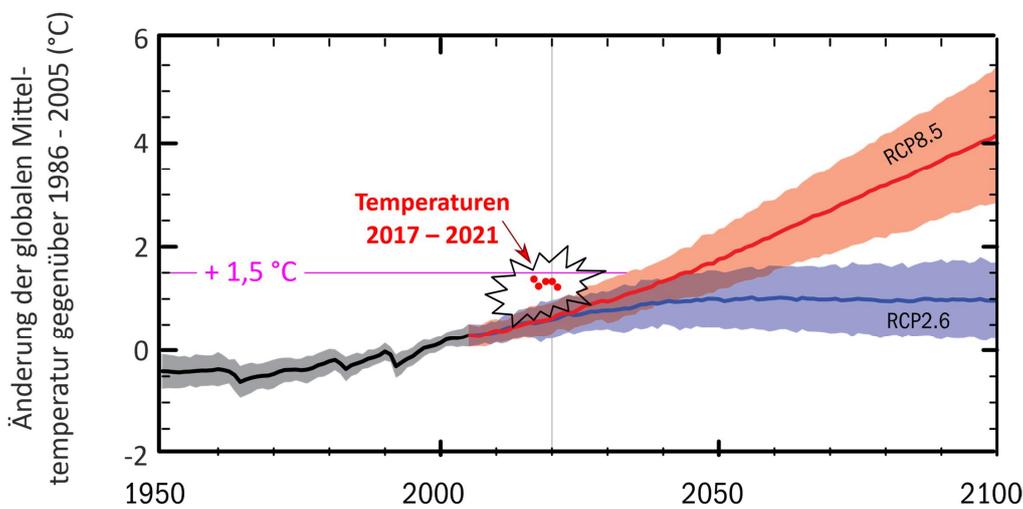
§ Die Temperatur ist dort in Deutschland seit Mitte der 80er Jahre um ca. 2 °C gestiegen.

Quelle: Prof. Thomas Foken, Vortrag Hochschule Neubrandenburg, 17.5.2022

Waldbrandkarte der NASA vom 7.8.2021



3. Erderwärmung und mögliche physikalische und gesellschaftliche Folgen Computersimulation zukünftiger Temperaturen



Ergebnis:

Anstieg auf +4 °C bzw. 1 °C ist möglich (jeweils ± Bandbreite)

Die globalen Mitteltemperaturen liegen bereits deutlich über dem „heißesten“ Szenario.

Es wird also noch schneller immer wärmer!

veröffentlicht vom Weltklimarat (IPCC) AR4, 2007, Diagramm ergänzt

Physikalische Ursachen und Folgen der Erderwärmung

- Hitzeperioden à [Austrocknung, Wüstenbildung, Waldbrände \(Extremwetter\)](#)
- Niederschlagsveränderungen à [Überschwemmungen, Austrocknung \(Extremwetter\)](#)
- Schmelzende Polkappen à [Meeresspiegel-Anstieg](#)
- Gletscherschmelze à [Trinkwasserverlust](#)
- Zunahme von Wirbelstürmen à [Schäden in „Stadt und Land“ \(Extremwetter\)](#)
- Verschiebung von Klimazonen à [Nahrungsmittelproduktion ...](#)
- ... und weitere mehr

Die Erwärmung der Atmosphäre ist bedrohlich.

Erderwärmung und mögliche gesellschaftliche Folgen

- Umweltflucht aus vertrockneten und überschwemmten Regionen
 - Anstieg von Versicherungsschäden
 - Gesundheitsbeeinträchtigungen
 - Politische, wirtschaftliche Instabilität in betroffenen Staaten
- ... und weitere mehr

„Wie kommt die Erderwärmung zustande, und was können wir dagegen unternehmen?“

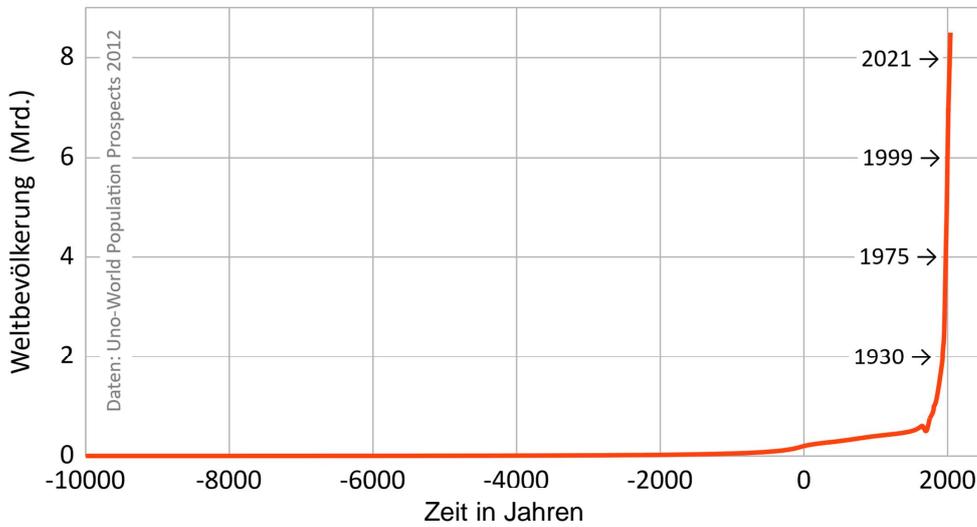
Zeitlicher Abstand **globaler** Klima-Schadensereignisse mit Kosten von über 1 Mrd. Dollar (Billion!)



1980 fanden alle ca. 80 Tage derartige Katastrophen statt, 2020: alle ca. 20 Tage
→ Klimaschutz ist aus *ökologischen* und *ökonomischen* Gründen zentrale Menschheitsaufgabe

4. Ursachen der Erwärmung der Erdatmosphäre

Entwicklung der Weltbevölkerung



- Vor 10 000 Jahren lebten ca. 10 000 Menschen auf der Erde (grobe Schätzung)
- Seit ungefähr 1750 wächst die Weltbevölkerung „explosionsartig“
- immer schneller brauchen immer mehr Menschen Nahrung, Energie, Rohstoffe ...
- und auf der Erde wird es immer wärmer.

Treibhauseffekt, physikalische Grundlagen

Wärmestrahlung

Wärmeabgabe, -emission

- § Materie strahlt Wärme ab
- § je höher die Temperatur um so mehr ...
- § je größer die Fläche um so mehr ...
- § ... hängt auch von Oberflächenmaterial ab.

Beispiele:

- § Feuer,
- § kochendes Wasser,
- § Lampe,
- § Heizung,
- § heiße Getränke,
- § Bildschirme, ...



è auch die Sonne!

Wärmestrahlung

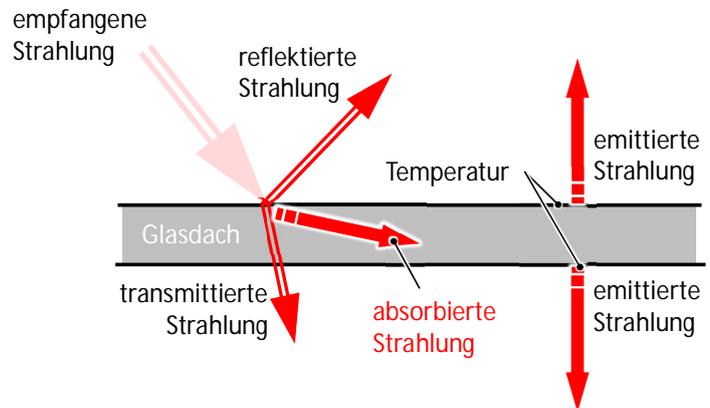
Empfangene, aufgenommene Wärmestrahlung (Absorption)

hängt ab von

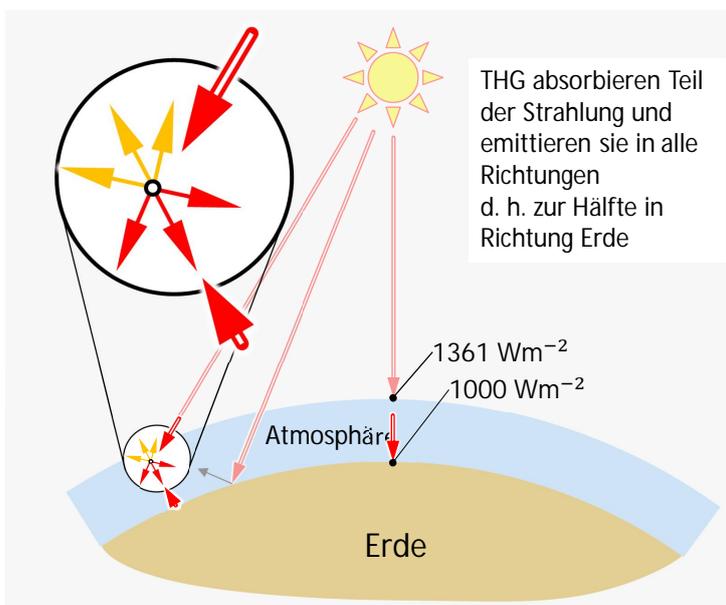
- § Temperatur des Strahlers,
- § Entfernung (wg. Strahlungsdichte),
- § Absorptionsfähigkeit,
 - Material,
 - Empfindlichkeit,
 - Oberflächenbeschaffenheit
- § Orientierung der Fläche zur Strahlung

Wirkung

- § Energiegehalt der Materie wird verändert
- § Temperatur kann steigen
- § Material strahlt Wärme ab



Treibhauseffekt durch die Atmosphäre



Atmosphäre (Verhalten wie Glas)

- § ist durchlässig für Sonnenlicht
- § ist nicht durchlässig für Wärmestrahlung (langwelliges Strahlung)
- § durch diese Strahlung erwärmt sich Atmosphäre

Trockene Atmosphäre besteht aus

- § 78 % Stickstoff, 21 % Sauerstoff, 0,934 % Argon: behindern die Strahlung nicht!
- § Einige Gase in der Atmosphäre wirken wie Glas im Treibhaus, werden darum **Treibhausgase** (THG) genannt
THG sind nur in sehr kleiner Menge in Atmosphäre ($\ll 1\%$); haben aber **große Wirkung!**
Je mehr THG, umso stärker die Wirkung.
- § Wasserdampf + Aerosole wirken auch als THG

Durchmesser Erde: 12742 km
Schichtdicke Atmosphäre: 50 km (dort $\rho = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$) bis 100 km

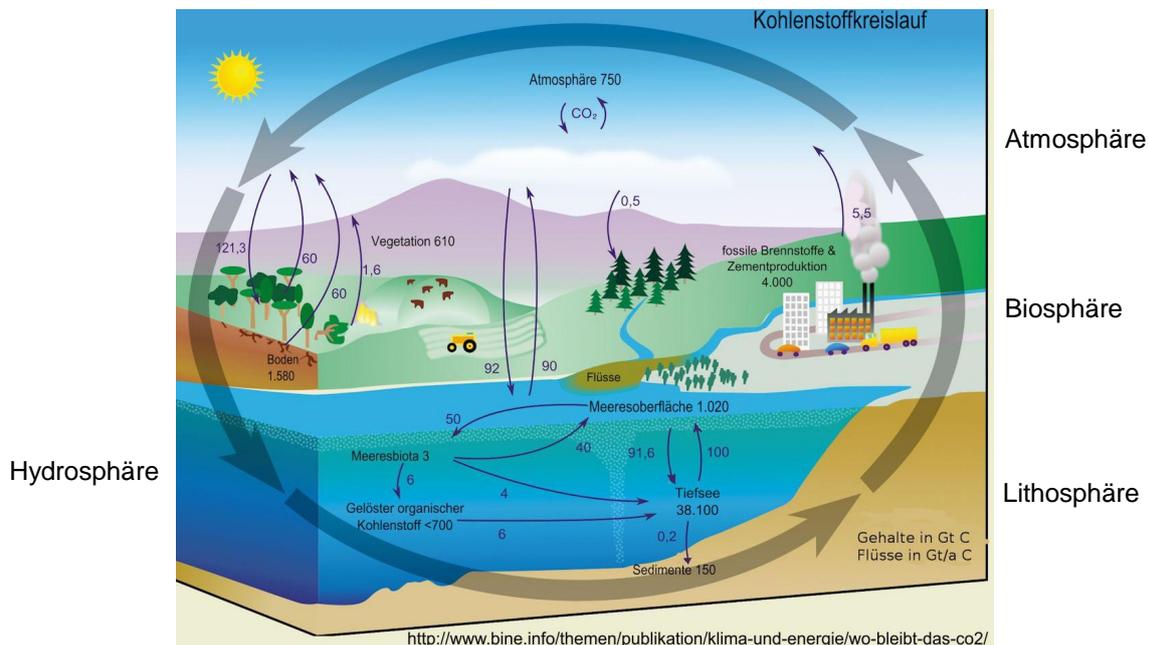
Treibhausgase – Entstehung und Treibhauswirksamkeit

Treibhausgase		Entstehung (global)	Treibhauswirksamkeit (gem. Weltklimarat 2014)
CO ₂	Kohlendioxid	Verbrennung von Kohle, Öl, Gas, Holz (kohlenstoffhaltig)	1
CH ₄	Methan	<p>≈ 75 % von Menschen verursacht: Landwirtschaft, Mülldeponien, Steinkohlebergbau, Öl- und Gasförderung ...</p> <p>≈ 25 % natürlich: tropische Mangrovenwälder, moorige Tundra, Termiten, Hydrate, Tiere (Kappas, M.)</p>	28 – 30
N ₂ O	Lachgas	<p>≈ 40 % von Menschen verursacht: Landwirtschaft, Chemie-Industrie ...</p> <p>≈ 60 % natürlich (Kappas, M., Klimatologie, 2009)</p>	265
F-Gase	fluorierte Kohlenwasserstoffe	technische Anwendungen (Treib- und Inertgase, Kältemittel ...)	1 – 23.900

Zur Vergleichbarkeit müssen bei einer Gesamtbetrachtung die Nicht-CO₂-Emissionen in CO₂-äquivalente Emissionen umgerechnet werden → Einheit: „CO₂-äq“

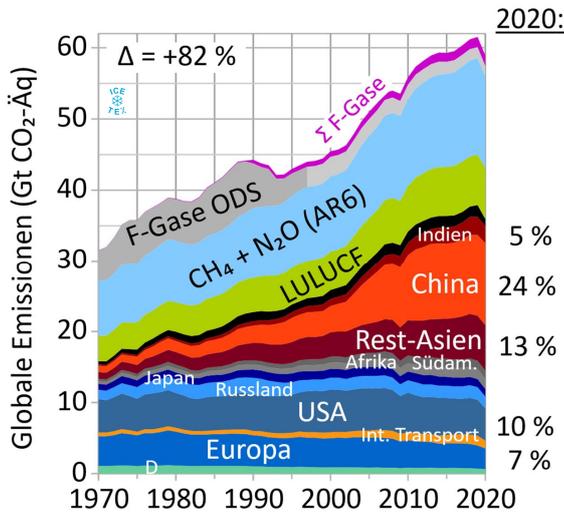
Kohlenstoffkreislauf der Erde

System chemischer Umwandlungen kohlenstoffhaltiger Verbindungen in globalen Sphären



Weltweite Treibhausgas-Emissionen nach Gasen

Datenquelle: Emission Database for Global Atmospheric Research, EU, 2021



CO₂-Emissionen der Energiewandlung

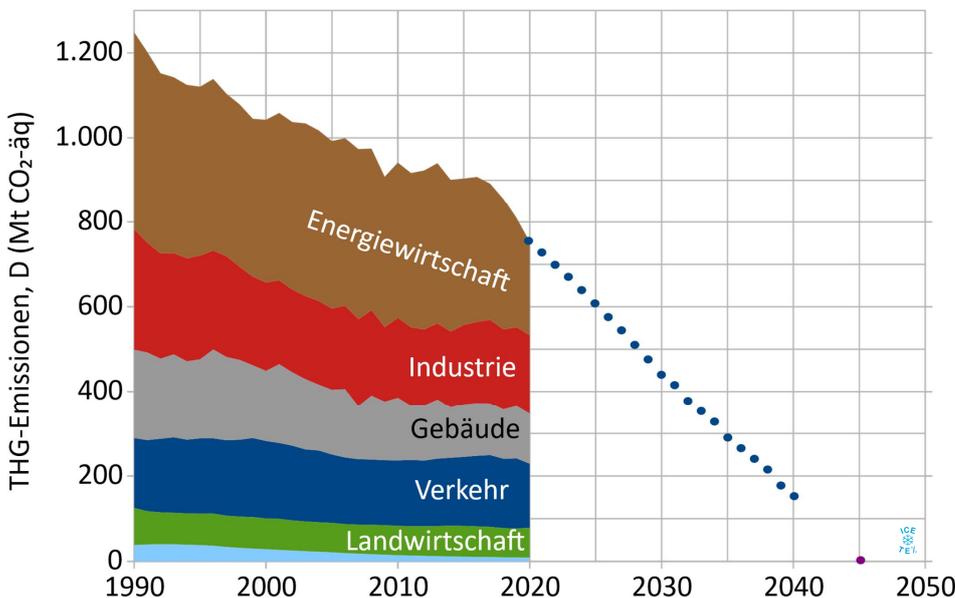
- § Anstieg 1970 – 2020: um 127 %
- § ungebremstes Wachstum
- § wenige, kurze Rückgänge

Emissionen nach Ländern

- § China u. Asien: höchste Emissionen
- § Anteil Deutschlands ≈ 1,3 %
- § Was sind Rest-Emissionen?

Nationale Treibhausgas-Emissionen bis 2045

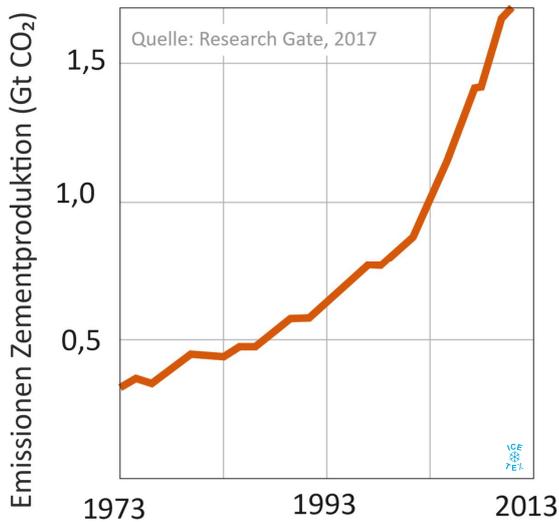
Klimaschutzgesetz 2021 – Bundesregierung



- Die Emissionen aller Sektoren sollen kontinuierlich zurückgehen
- Bis 2040 sind jährliche Minderungsziele angegeben, für 2045 nur das Endziel
- Die jährliche Minderung liegt bei ca. 30 Mio t CO₂-Äq
- Durchschnittliche Minderung 1990 – 2020 ≈ 16 Mt/a

Daten aus Klimaschutzgesetz, Diagramm: IceTeX

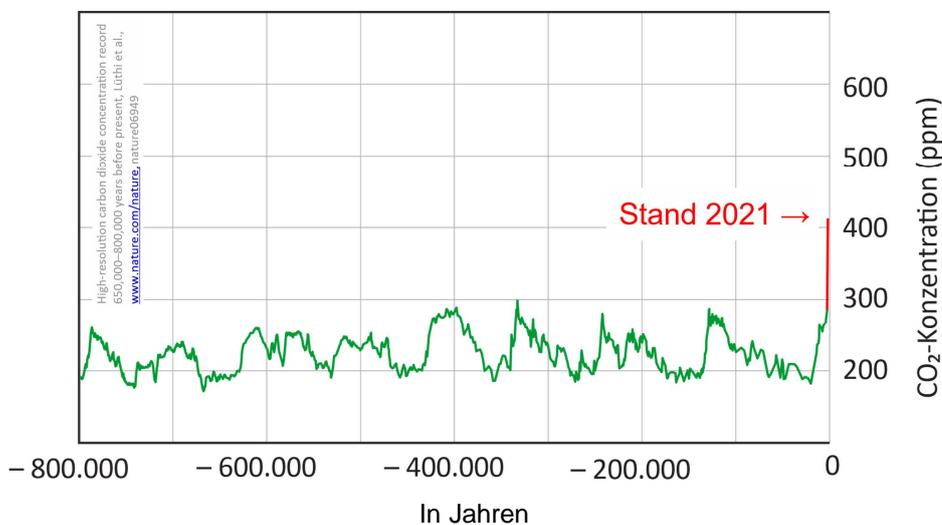
„Rest“-CO₂-Emissionen



CO₂-Emissionen aus Nicht-Energiegewinnungsprozessen

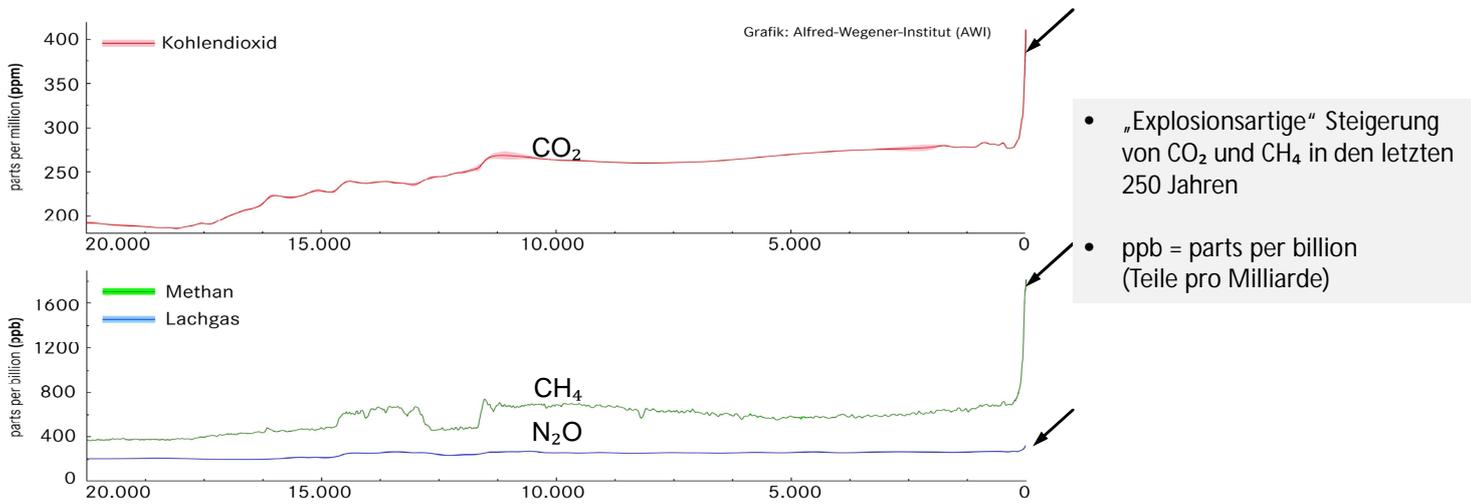
- § Zement- und Zementklinkerproduktion
- § Koksproduktion
- § Ammoniak-Produktion
- § Gichtgas (Hochöfenprozesse)
- § Kohle-, Öl-, Gasfeuer, Abfallverbrennung (zur Entsorgung)

Entwicklung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre während der zurückliegenden 800 000 Jahre



- § Einheit:
ppm = parts per million (Teile pro Million)
CO₂: 400 ppm = 0,04 %
- § CO₂-Konzentration in 800 000 Jahren: ca. 200 – 300 ppm
- § in den letzten 250 Jahren ist sie nahezu „explodiert“.

Atmosphärische Konzentration der wichtigsten Treibhausgase während der zurückliegenden 20 000 Jahre



5. Internationale und nationale Politik

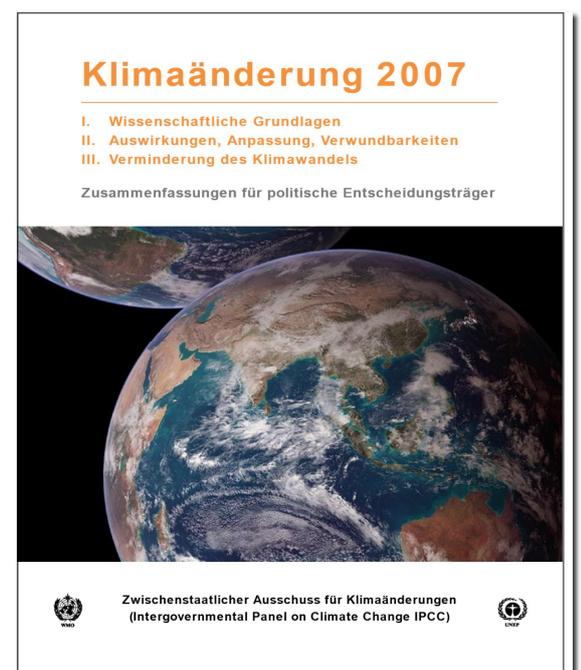
Sachstandsbericht des Weltklimarats (IPCC) 2007: Aufforderung an die Industrieländer

Zur Begrenzung des globalen
Temperaturanstiegs auf 2 °C

Senkung der CO₂-Emissionen gegenüber 1990

§ um 25 – 40 % bis 2020

§ um 80 – 95 % bis 2050



Abkommen von Paris (UN-Klimakonferenz im Dezember 2015)

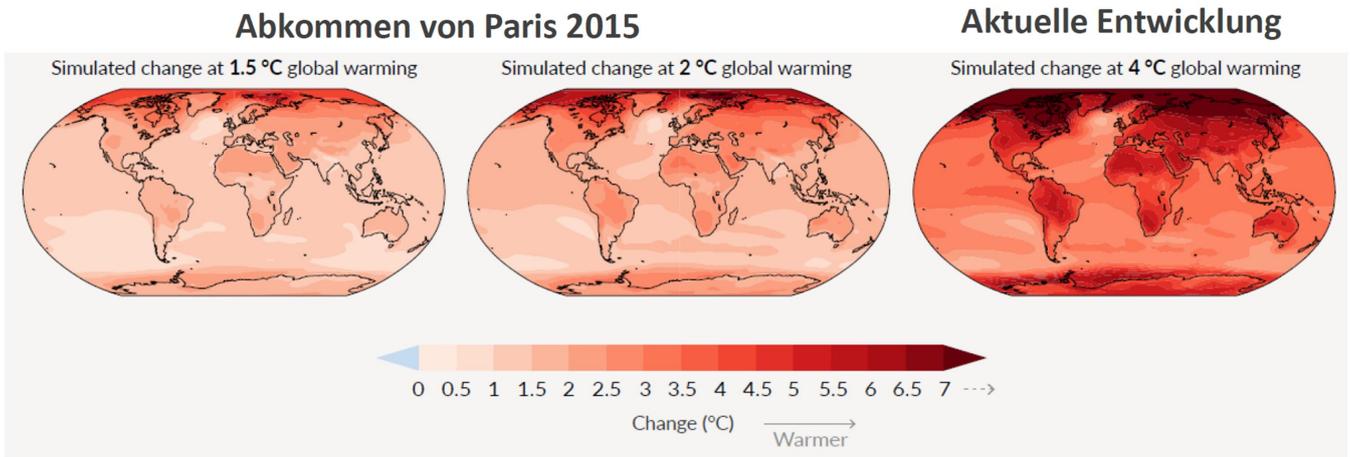
- § 197 Staaten einigten sich auf ein neues, globales Klimaschutzabkommen.
- § Trat am 4. November 2016 in Kraft, nachdem es von 55 Staaten, die mindestens 55 Prozent der globalen Treibhausgase emittieren, ratifiziert wurde.
- § Bildet ein anspruchsvolles Klimaregime mit universeller Geltung und völkerrechtlichen Pflichten für alle Staaten.
- § Das Abkommen von Paris verfolgt drei Ziele:
 - Erderwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter auf "deutlich unter" 2 °C, möglichst 1,5 °C zu begrenzen
 - Fähigkeit zur Anpassung an den Klimawandel soll gestärkt werden (gleichberechtigt zu Minderung der THG-Emissionen)
 - Finanzmittelflüsse sollen mit den Klimazielen in Einklang gebracht werden.

Weltklimarat 2021

Die Lage ist noch dramatischer!

- § Erderwärmung um 1,5 °C *könnte* bereits 2030 erreicht sein
 - § 10 Jahre früher als noch 2018 prognostiziert
 - § In Deutschland Anstieg bereits um 1,6 °C
- § Klimawandel wirkt sich schon heute in jeder Region der Welt aus
 - § Auftauen der Permafrostböden wird weitergehen
 - § Eis der Arktis hat niedrigsten Stand seit 1000 Jahren erreicht
- § Möglich: Kollaps der Atlantischen Umwälzströmung (Fernheizung unseres Kontinents würde wegfallen)

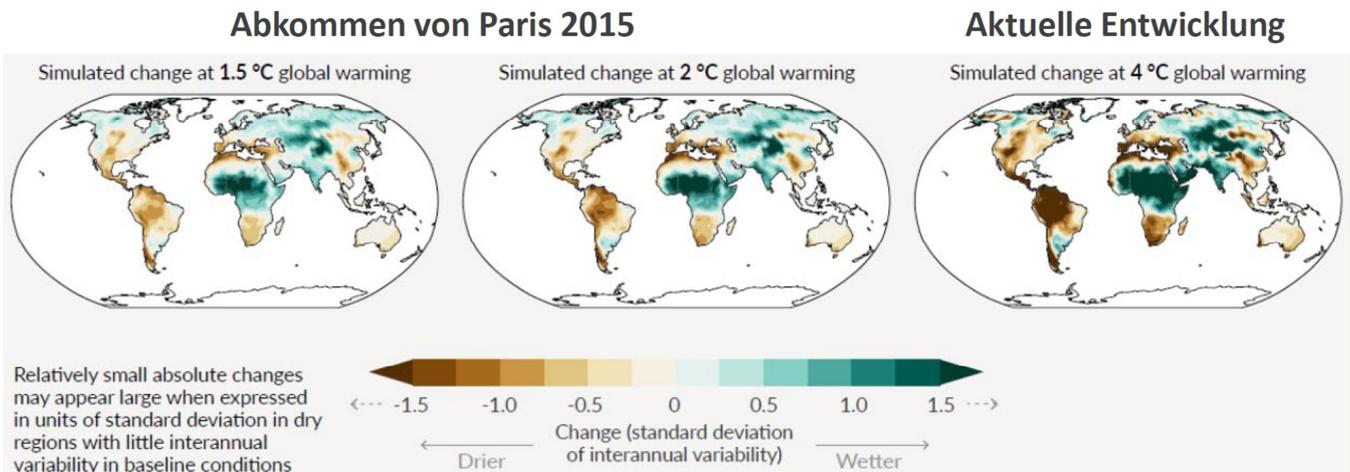
Globale Verteilung der Erwärmung



IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, et al. (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Globale Verteilung der Bodenfeuchte

Folgen erhöhter Bodentemperatur



IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, et al. (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Leitbild der Energieerzeugung und -nutzung

- ∅ keine Nutzung von auf Kohlenstoff-Verbrennung beruhenden Technologien
- ∅ Nutzung von weitestgehend CO₂-frei, insbesondere aus erneuerbaren Energien erzeugtem Strom
- ∅ Wärmebereitstellung im Gebäudebereich: Heizen ohne Gas und Öl (Wärmepumpen; Nutzung der Abwärme aus der Rückverstromung von Wasserstoff in dezentralen Systemen; Nutzung von Abwärme, insbesondere aus industriellen Prozessen)
- ∅ Wärmebereitstellung in der Industrie: Ersatz von Erdgas durch CO₂-frei erzeugtem Wasserstoff
- ∅ Verkehr: Umstellung auf elektrische Antriebe (Batterie oder Brennstoffzelle)

Strom ist das zentrale Element der zukünftigen Energieversorgung

6. Handlungsmöglichkeiten der Einzelnen, Beispiele

Individuelle Handlungsmöglichkeiten zum Klimaschutz

Mit steigendem Einkommen steigen auch die Konsumausgaben ebenso wie der Energieverbrauch und damit die CO₂-Emissionen

Energieeinsparen ohne Komfortverzicht ist trotzdem in den meisten Fällen möglich.

„Direkte“ Nutzung Fotovoltaik wo immer möglich

Mögliche Aktivitäten

- § Geräte und Leuchten:
höchste Effizienzklasse, z.B. Kühlgeräte, Staubsauger, Heizungsanlagen, ...
Vermeidung „Stand by“
- § Wohnen
Vermeidung von Wärmeverlusten, z. B. richtiges Lüften, „vernünftige“ Raumtemperatur, Nutzung Solarenergie
- § Ressourcen:
Sparsamer Umgang mit (Trink-)Wasser, aber auch Waschmittel
- § Verkehr: Nutzung Fahrrad, ÖPNV

Was ist „Arbeit“?



Das Hochheben einer **Wasserflasche** ist „Arbeit“

- Wieviel?
- hängt ab von
 - Gewicht
 - Erdanziehungskraft
 - Höhe
- je höher und je schwerer, desto mehr Arbeit

Zahlenbeispiel

- Gewicht = 1,275 kg
- Höhe = 1 m
- Erdbeschleunigung = 9,81 m/s²

Verrichtete Arbeit

$$W = m \cdot g \cdot h$$

$$W = 1,275 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m}$$

$$W = 12,5 \text{ Joule}$$

Was ist „Leistung“?



In welcher Zeit überträgt ein Mensch diese Energie?

- Antwort: in ca. 1 Sekunde

Leistung ist „Energie pro Zeit“, $\hat{=}$ **Energiestrom**

- $\rightarrow 12,5 \text{ J} / 1 \text{ s} = 12,5 \text{ J/s}$
- Abkürzung: 12,5 **W**

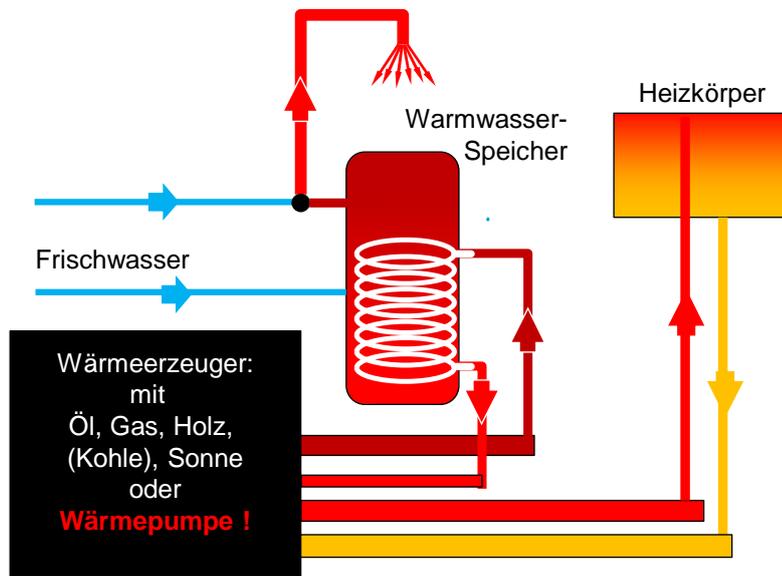
Wieviel Flaschen kann ein Mensch pro Minute anheben?

- theoretisch: 60
- praktisch: weniger als 60

Wieviel Flaschen kann ein Mensch pro Stunde anheben?

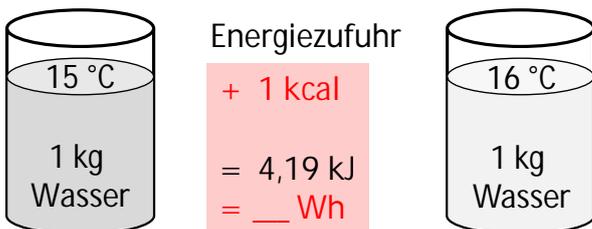
- theoretisch: $60 \cdot 60 = 3600$
- praktisch: weniger als 3600

Wärmeerzeuger: Öl, Gas, Holz, Wärmeverteilung



Thermische Speicherfähigkeit

spezifische Wärmekapazität von flüssigem Wasser : c_W



Energieversorger rechnen in kWh ab

Üben: (jetzt) „Umrechnen“ = Einheiten konvertieren

$$1 \text{ kJ} = \text{___ kWh} = ?$$

$$\rightarrow J = Ws = \frac{1}{3600} \text{ Wh}$$

$$1 \text{ kJ} = 0,277 \cdot 10^{-3} \text{ kWh} = 0,277 \text{ Wh}$$

$$4,19 \text{ kJ} = 1,16 \text{ Wh}$$

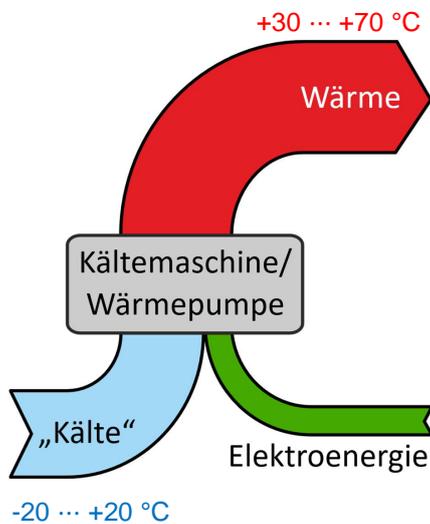
Wärme = Energie

Energiezufuhr = Wärmezufuhr

$$Q = m_W \cdot \Delta T \cdot c_W$$

$$Q = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ K} \cdot 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 4,19 \text{ kJ}$$

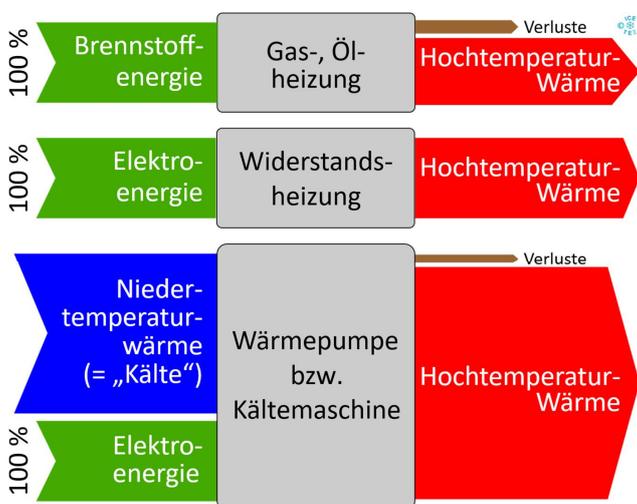
Energieflussdiagramm einer Wärmepumpe



Wärmepumpende Maschine

- mit *wenig* Elektroenergie
- wird *viel* Wärme von einem *niedrigen* auf ein *hohes* Temperaturniveau „gepumpt“

Energieeffizienz = **Energienutzen** zu **Energieaufwand**



- § Verbrennung fossiler Energieträger
- § 90 – 95 % Nutzen und 10 – 5 % Verluste

- § Elektrische Widerstandsheizung
- § ≈ 100 % Nutzen

§ **Primärenergiefaktor beachten (ENEG: 1,8)**

- § Elektrisch angetriebene Wärmepumpe
- § 200 – 500 % Nutzen (viele Einflussgrößen)
- § **Elektroenergie + Niedertemperaturwärme = abg. Wärme**

- § Jahresarbeitszahl (JAZ)
Verhältnis von **Wärmeenergie** zu **Elektroenergie** pro Jahr

8. Zur Kältemaschine/Wärmepumpe

Physik der nassen Hand



Wasser

- § hat das Bestreben zu verdampfen
- § aus flüssigem wird dampfförmiges Wasser (Phasenwechsel)
- § Verdampfung erfordert (Wärme-)energie
- § diese wird der Hand entzogen
- § die Hand wird dadurch kälter („Kälte“ wird erzeugt)

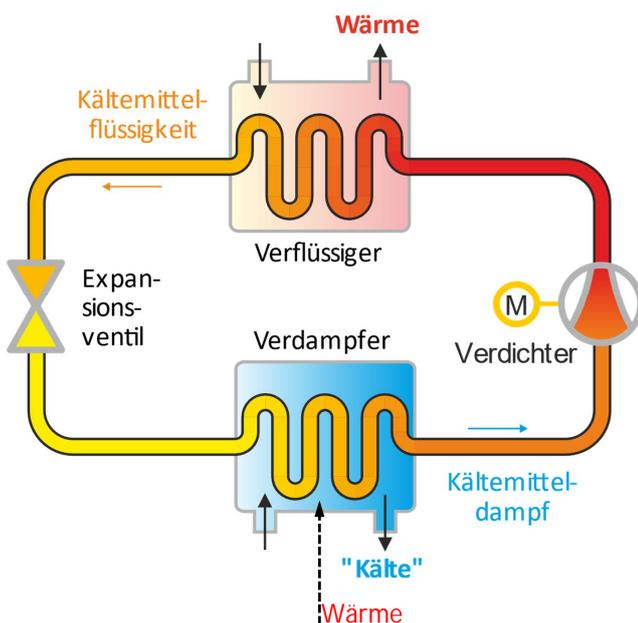
Wasserdampf (unsichtbar)

- § kann wieder flüssig werden:
durch Abkühlung oder durch Kompression
- § z. B. in einer Luftpumpe (Verdichter oder Kompressor)
 - durch Ansaugen von Wasserdampf
 - und anschließendes Komprimieren
- § dadurch wird der Wasserdampf warm

Kältemaschine

- § nutzt die Prozesse von Verdampfung und Verflüssigung mit Aufnahme von Wärme (Kälte) und Abgabe von Wärme in einem geschlossenen Kreislauf

Aufbau und Funktion der Versuchsmaschine



Rohrleitungen aus Kupfer

- § gefüllt mit einem „Kältemittel“
- § Verdichter saugt Kältemitteldampf an
- § dadurch steigen Druck und Temperatur

Wärmeübertrager(schlangen) in Gehäusen

- § umspült von Luft oder Wasser zur Zu- und Abfuhr von Wärme

im Verflüssiger

- § Kältemittel gibt Wärme ab
- § und kondensiert dabei (wird verflüssigt)
- § und gelangt über ein Ventil zum Verdampfer

im Verdampfer

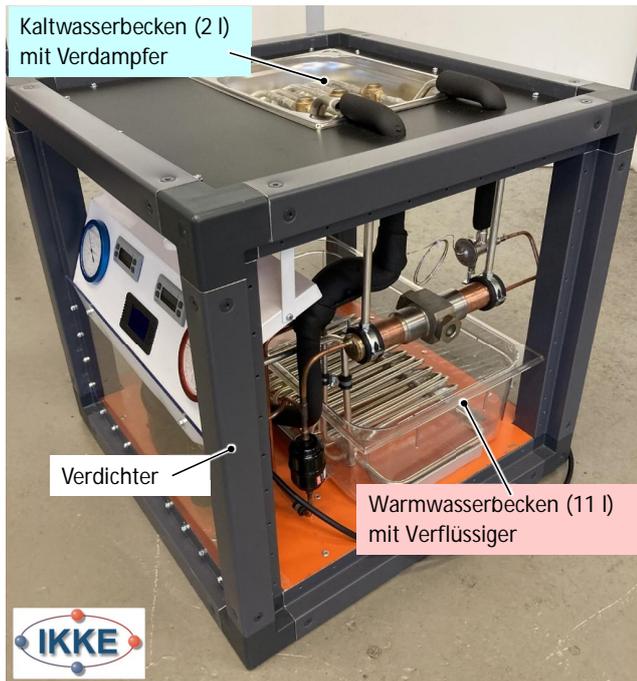
- § verdampft das Kältemittel und
- § wird wieder angesaugt

Kältemaschine, wenn die kalte Seite genutzt wird

Wärmepumpe, wenn die warme Seite genutzt wird

Wärmepumpende Maschine: übergeordneter Begriff

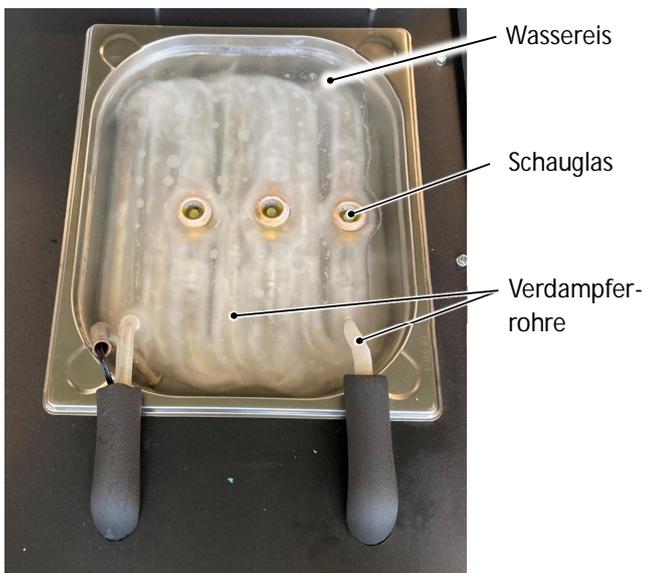
Labormodell einer Wärmepumpe



IKKE – Informationszentrum für
Kälte-, Klima- und
Energietechnik gGmbH

58 cm x 58 cm x 58 cm
38 kg

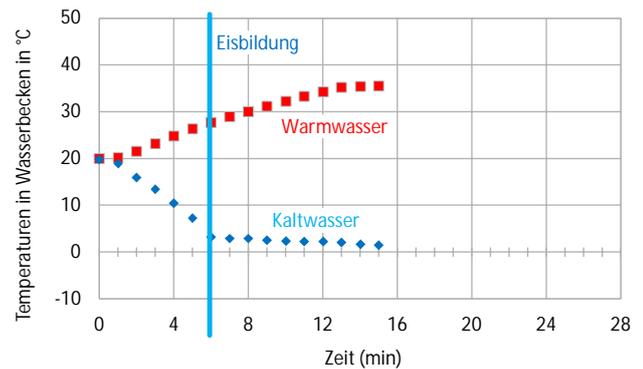
Labormodell einer Wärmepumpe Kaltwasserbecken



Versuchsdurchführung

Veranschlagte Versuchsdauer: 15 Minuten

- 1) beide Becken mit Wasser füllen
- 2) Netzstecker, einschalten
- 3) alle 60 Sekunden Werte in Excel-Tab. eintragen (gelbe Felder) automatische Auswertung und Darstellung der Grafiken



Zeit (min)	ϑ_{KW} (°C)	ϑ_{WW} (°C)	P (W)	P_m (W)	W (Wh)	ΣW (Wh)	Bemerkung	ϑ_{KW}^{**} (°C)	ϑ_{WW}^* (°C)	\dot{Q}_{WW} (W)	Q_{WW}/P Effizienz	ΣQ_{WW} (Wh)	$\Sigma Q_{WW}/\Sigma W$ Effizienz
0,0	19,3	19,5	202	202	0	0,00		19,8	20,0		0,00	0	
1,0	18,5	19,7	224	213,0	3,55	3,55		19,0	20,2	124	0,55	2,1	0,58
2,0	15,5	21,0	227	225,5	3,76	7,31		16,0	21,6	715	3,15	14,0	1,91
3,0	12,9	22,6	231	229,0	3,82	11,13		13,4	23,2	876	3,79	28,6	2,57
4,0	10,0	24,2	213	222,0	3,70	14,83		10,5	24,8	876	4,11	43,2	2,91
5,0	6,8	25,7	212	212,5	3,54	18,37		7,3	26,4	823	3,88	56,9	3,10
6,0	2,7	27,0	214	213,0	3,55	21,92	Beginn Eisbildung	3,2	27,7	715	3,34	68,8	3,14

9. Indirekte und direkte Emissionen Indirekte CO₂-Emissionen beim Versuch

Vorbemerkung zu „direkten“ Emissionen

- § Kältemittel ist Propan, kältetechnische Bezeichnung: R290, der GWP-Wert beträgt 3, zum Vergleich: $GWP(CO_2) = 1$.
- § Bei Undichtheit des Kältemittelkreislaufs (sehr selten) kann Kältemittel emittieren.
- § Man spricht dann von direkten Emissionen.
- § Mengen und Treibhauswirksamkeit sind vernachlässigbar.

Indirekte Emissionen: durch Stromverbrauch

- § Stromverbrauch beim Test → Arbeitsblatt

Anmerkungen:

Stromerzeugung und Stromverbrauch sind stets gleich hoch.

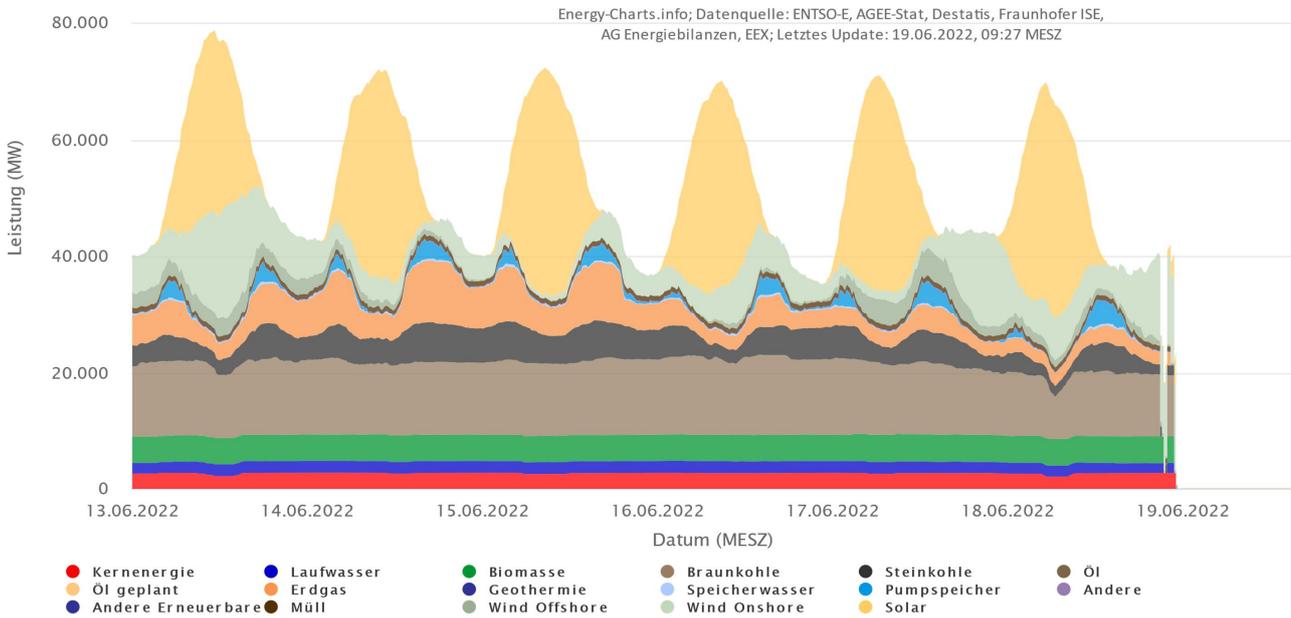
Der aus erneuerbaren Energien erzeugte Strom wird auf Grund der Vorrangregelung im EEG in der Regel vollständig in das Netz eingespeist. Lokale Netzbedingungen oder – selten – ein Überangebot an Strom aus erneuerbaren können zu Ausnahmen führen. Dann wird in der Regel die am meisten „störende“ Anlage abgeschaltet.

Der zusätzliche Stromverbrauch bei Einschalten eines elektrisch betriebenen Gerätes wird grundsätzlich durch Regelenergie gedeckt. Diese erzeugen in der Regel Kraftwerke der Mittelspannungsebene (Erdgas, Steinkohle). Umgekehrt wird bei Minderungen des Stromverbrauchs Regelenergie eingespart!

- § Aus den vorgenannten Gründen ist die Einsparung von Strom klimapolitisch bedeutsam.

Leistungsbestandteile im elektrischen Netz, Deutschland

Zugang zu Internetcharts <https://www.smard.de/home>



Datenerfassung und Auswertung

Wärmetransport

Physikalische Daten von Wasser¹:



Messdaten

Dauer des Versuches:	0,333	h
	Inhalt in kg	Temperaturänderung in K
Warmwasser	7,7	+15
Kaltwasser	2,59	-20
Elektroenergieverbrauch:	xxxx	Wh

Aufgaben

Wieviele Wärme hat das Warmwasser aufgenommen?	Wh
Wieviele Energie hat der Verdichter benötigt?	Wh
Wieviele Wärme wurde dem Kaltwasser entzogen?	Wh

Fragen

a) Was fällt dabei auf?

Es kommt mehr Energie im Warmwasser an als dem Kaltwasser entzogen wurde.

b) Wie ist die Auffälligkeit zu erklären?

Die Differenz ist die elektrische Energie, die dem Verdichter zugeführt wurde.

Elektrische Energie und Emissionen

Wie groß ist das Verhältnis von Wärme- und elektrischer Energie?	2,5
Wie groß ist das Verhältnis von Kälte- und elektrischer Energie?	1

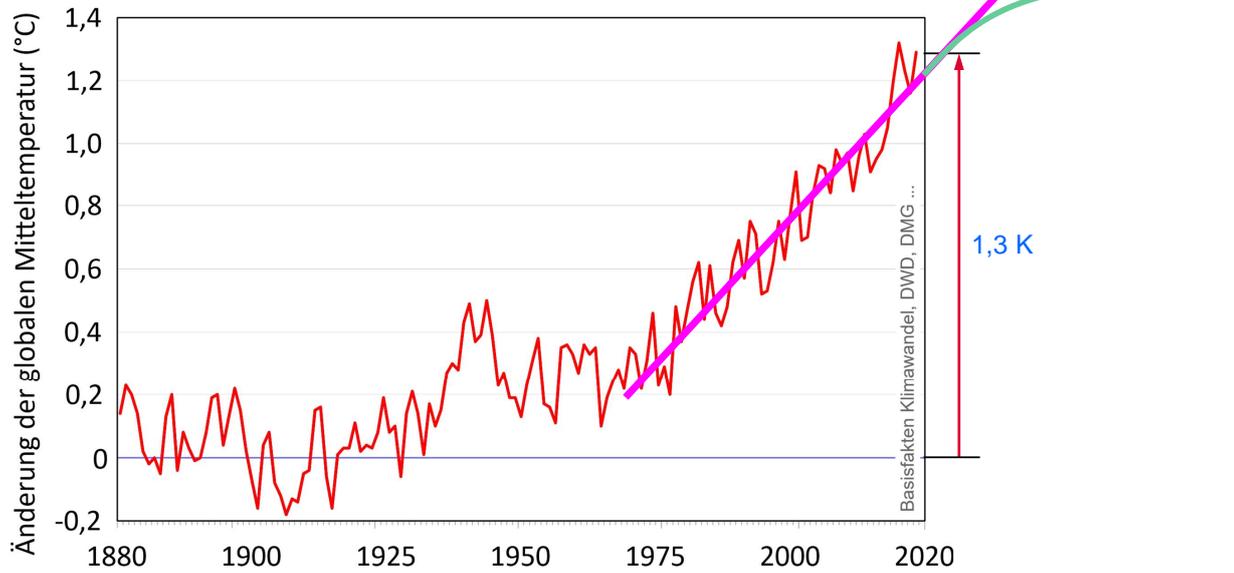
CO₂-Emissionen bei der Erzeugung der elektrischen Energie

Jahresdurchschnitt in Deutschland: 0,408 g CO ₂ /Wh	23 g CO ₂
Mittelwert von Gas- und Kohlekraftwerken: 0,857 g CO ₂ /Wh	48 g CO ₂

Frage: Wie hoch ist die Bandbreite der Emissionen beim durchgeführten Versuch?

8. Diskussion: Wohin geht die Reise?

Die globale Mitteltemperatur 1880 – 2019



So oder so könnte es weitergehen!

Kontakt

Dipl.-Ing. Karsten Beermann

+49 (0) 2065 83 92 60

beermann@i-k-k-e.com

<http://www.i-k-k-e.com/>