

# Energieeffiziente Anlagenplanung

Unterrichtsinhalte zum Selbstlernskript



## 5 Fragen zum Einstieg

1. Wie sehen Sie die Zukunft der Kälte-, Klima- und Wärmepumpenbranche?
2. Welche Kältemittel werden zukünftig eingesetzt?
3. Ist der Klimawandel in Deutschland angekommen?
4. Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt?
5. Fühlen Sie sich von Politik und Medien gut informiert?

## Antike

Erfindung der Lasur (Beschichtung) im Innenbereich von Tongefäßen

Ton ist porös und saugt Wasser auf

Wasser verdunstet -> Kühleffekt

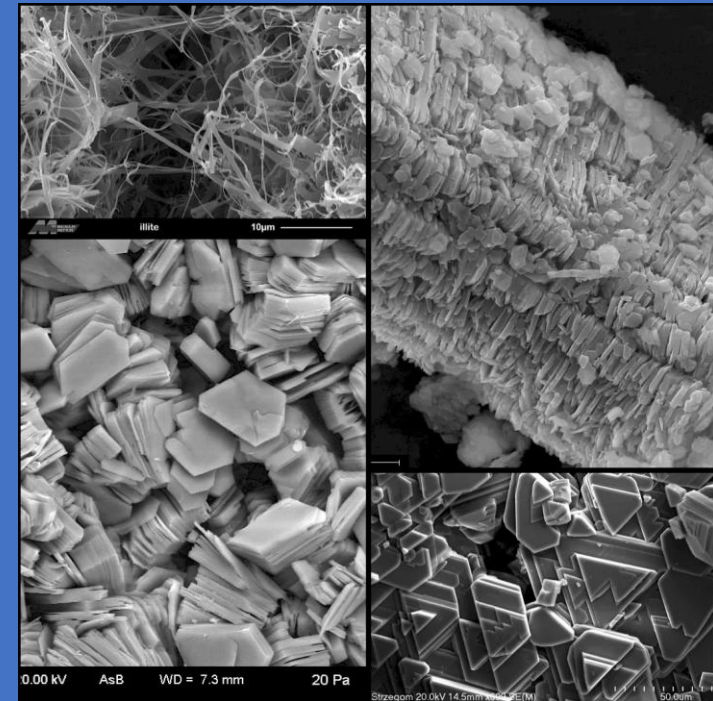


>1000 v.  
Christus

# Vergangenheit der Kältetechnik

Partikelgröße  $< 0,002 \text{ mm}$

Kleinste Partikelgröße aller Mineralien



>1000 v.  
Christus

## Aufgabe:

Ein Tonkrug hat ein trockengewicht von 6,3 kg. Nach einem Wasserbad wiegt der Krug 8,2 kg.

Welche Wärmeenergie kann über die Verdunstung maximal Abgeführt werden?

>1000 v.  
Christus

## Ergebnis:

$$m_{\text{Wasser}} = m_{\text{nass}} - m_{\text{trocken}} = 8,2 \text{ kg} - 6,3 \text{ kg} = 1,9 \text{ kg}$$

$$Q = m \times r = 1,9 \text{ kg} \times 2256,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 4286,78 \text{ kJ}$$

>1000 v.  
Christus

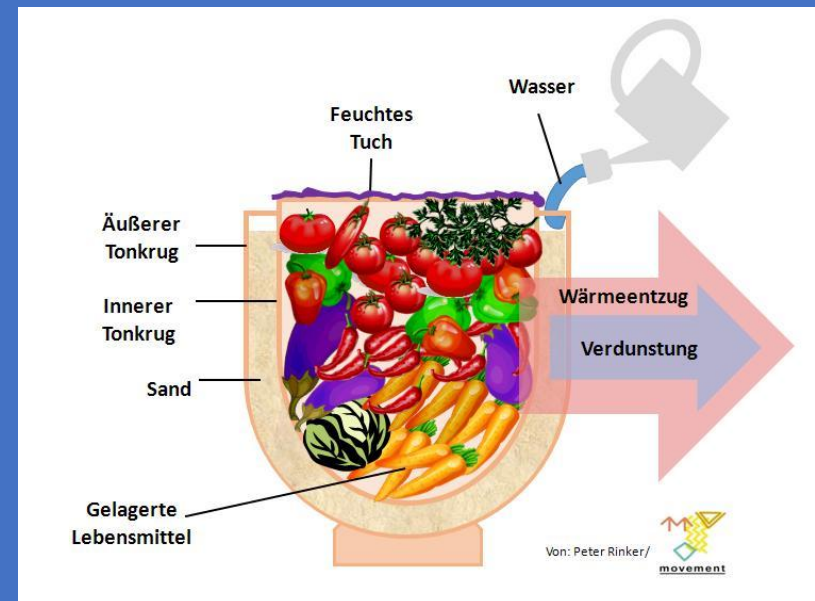
# Vergangenheit der Kältetechnik

## Ist das aktuell?

### Tonkrugkühler

Von 1990 bis 2010 mehr als  
100.000 Stück in Nigeria verteilt

Außentemperaturen von bis 40°C  
Innentemperaturen von 13°C – 22°C



>1000 v.  
Christus

# Vergangenheit der Kältetechnik

Wichtige Form der Haltbarmachung  
Von Lebensmitteln an Orten ohne  
Strom.



Quelle:  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Tonkrug%C3%BCher>

>1000 v.  
Christus

# Vergangenheit der Kältetechnik

## Das Jahr „0“

Nutzung von Eis und Schnee  
Aus den Alpen

Gefährliche gewinnung

Luxusgut für Adelige



>1000 v.  
Christus

0

# Vergangenheit der Kältetechnik

## Mittelalter

Alchemisten experimentierten  
mit Salzen

Salze lassen Eis schneller schmelzen  
(endotherme Reaktion)

Schnellere Abkühlung von Behältern  
im Eisbad



>1000 v.  
Christus

0

Mittelalter

## Aufgabe

Wie viel Energie wird benötigt um 5kg Eis ( $T = -4^{\circ}\text{C}$ ) aufzutauen?

Welche Leistung wird benötigt um die Energie in 12 h abzuführen?

Welche Leistung wird benötigt um die Energie in 3 h abzuführen?



## Aufgabe

$$Q = m \times c \times \Delta T + m \times q$$
$$= 5\text{kg} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} \times 4\text{K} + 5\text{kg} \times 333,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1752,1\text{kJ}$$

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{1752,1\text{kJ}}{12 \times 3600\text{s}} = 0,0405 \text{ kW}$$

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{1752,1\text{kJ}}{3 \times 3600\text{s}} = 0,1622 \text{ kW}$$

>1000 v.  
Christus

0

Mittelalter

## 19. Jahrhundert

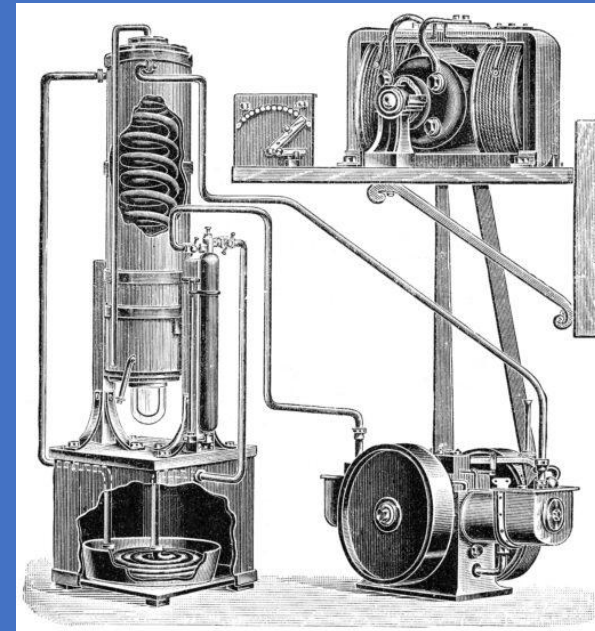
1867 Erfindung des Verbrennungsmotors

1876 Erfindung der Kompressionskältemaschine

1879 Erfindung des Gleichstrom Generators

1885 Erfindung eines Motorbetriebenen Wagens

1897 Erfindung des Selbstzündmotors



>1000 v.  
Christus

0

Mittelalter

19.  
Jahrhundert

## 20. Jahrhundert

Einführung des Elektromotors sorgt für neue Bauformen von Kälteanlagen

Erstmals Direktverdampfung für Luft möglich

Nach zweitem Weltkrieg ende von Eiskellern und Einführung von Kühlräumen und Kühlschränken



>1000 v.  
Christus

0

Mittelalter

19.  
Jahrhundert

20.  
Jahrhundert

# Zukunft der Kältetechnik

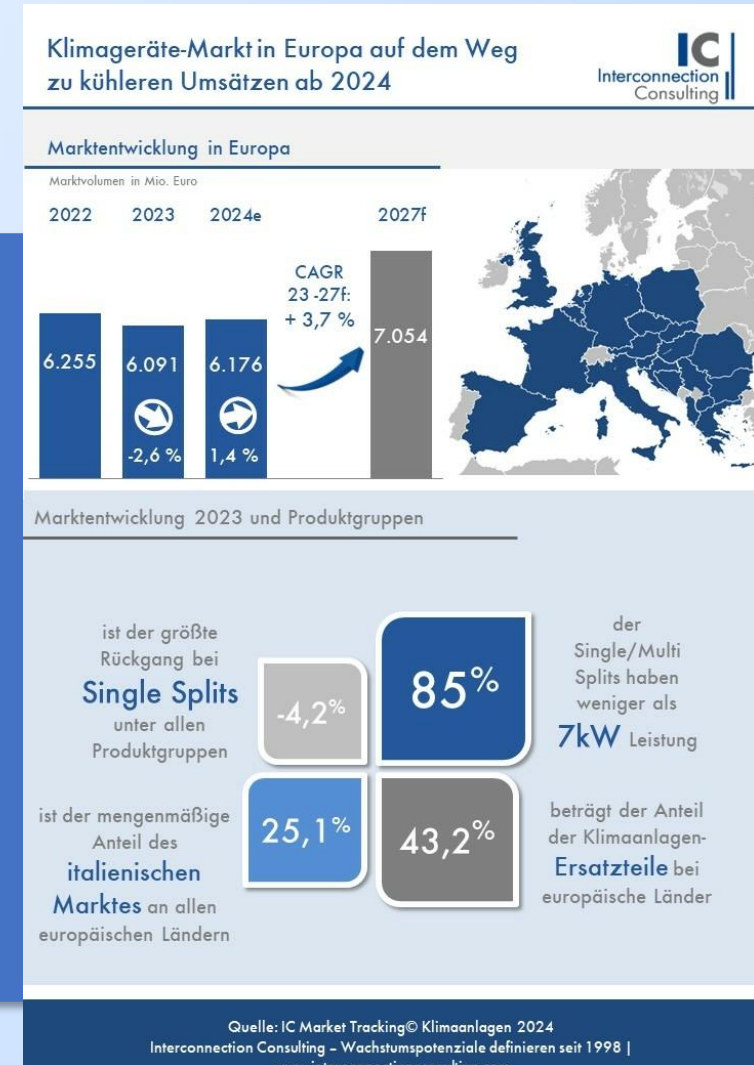
## Zukunft

Steigende Absatzmärkte im Klimasektor

Steigende Absatzmärkte im Prozesskältesektor

Steigende Absatzmärkte im Gewerbekältesektor

Steigende Absatzmärkte im Wärmepumpensektor



>1000 v.  
Christus

0

Mittelalter

19.  
Jahrhundert

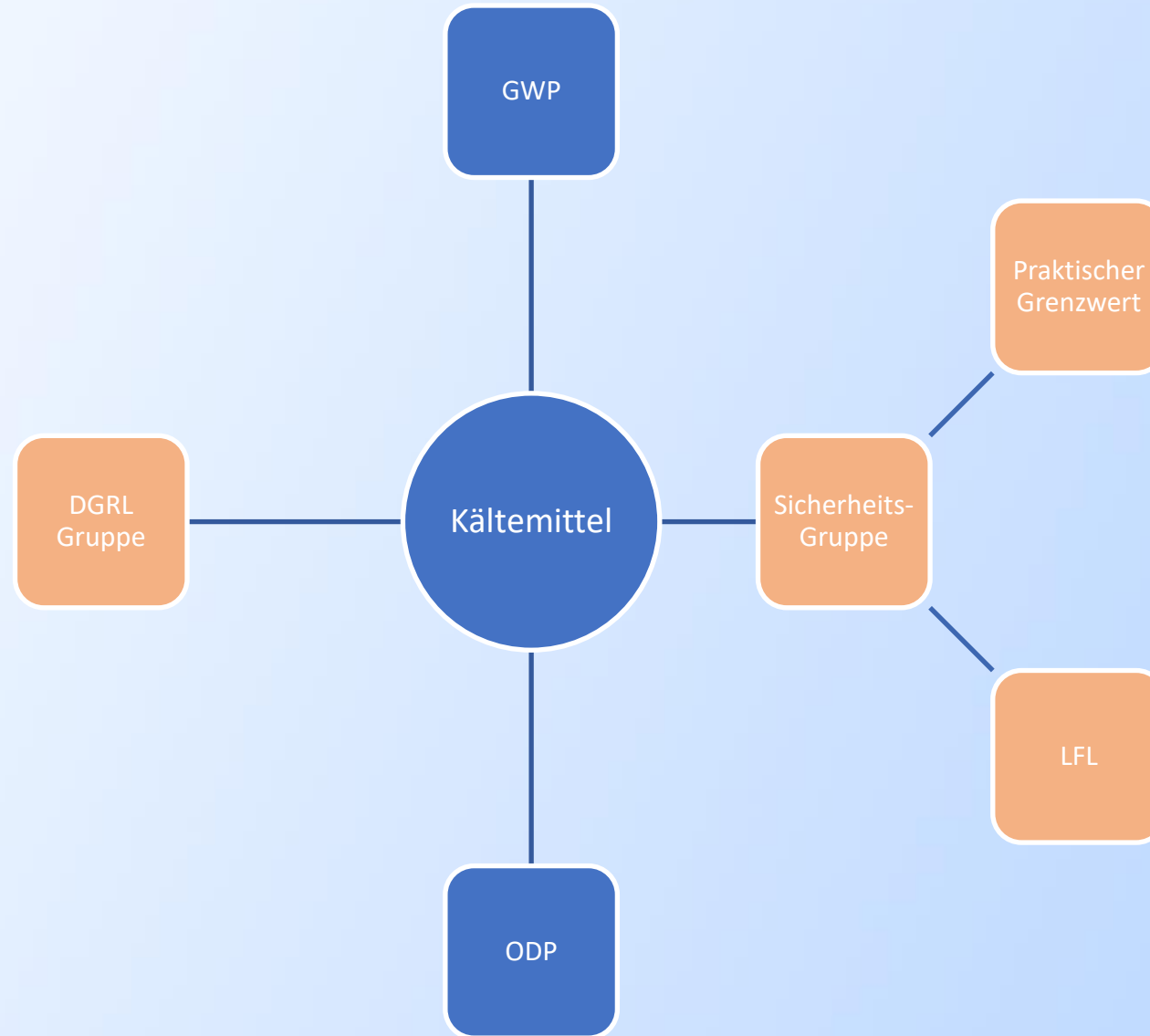
20.  
Jahrhundert

Zukunft?

## 5 Fragen zum Einstieg

1. **Wie sehen Sie die Zukunft der Kälte-, Klima- und Wärmepumpenbranche?**
2. Welche Kältemittel werden zukünftig eingesetzt?
3. Ist der Klimawandel in Deutschland angekommen?
4. Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt?
5. Fühlen Sie sich von Politik und Medien gut informiert?

# Kältemittel



## GWP-Wert → Global Warming Potential

Dabei wird die kumulative Strahlungsantriebskraft des Gases über einen bestimmten Zeitraum mit der von CO<sub>2</sub> verglichen

Strahlungsantriebskraft = Maß für die Änderung der Energiebilanz der Erde durch Änderung der Wirkung der Strahlung aus dem Weltraum  
Wird in W/m<sup>2</sup> gemessen.

## Strahlungsantrieb

$$\Delta F = \frac{\Delta T_s}{\lambda} \rightarrow \quad \begin{array}{l} \Delta T_s = \text{Globale Gleichgewichtstemperatur der Erdoberfläche} \\ \lambda = \text{Parameter der Klimasensitivität} \end{array}$$

Berechnung des Strahlungsantriebes durch CO<sub>2</sub>:

$$\Delta F = 5,35 \frac{W}{m^2} \times \ln \frac{C}{C_0} \rightarrow \quad \begin{array}{l} C = \text{CO}_2\text{-Konzentration in der Atmosphäre [ppm]} \\ C_0 = \text{Ausgangs-CO}_2\text{-Konzentration [ppm]} \end{array}$$

## Strahlungsantrieb

Welchen GWP-Wert hat das Kältemittel R134a?

- a) 3710
- b) 1430
- c) 1000

## Strahlungsantrieb

Welchen GWP-Wert hat das Kältemittel R134a?

- a) 3710 → GWP20
- b) 1430 → GWP100
- c) 1000 → GWP100 nach Kyotoprotokoll

Was heißt das für R134a?

## Strahlungsantrieb

Das heißt:

Ein Kilogramm R134a trägt in den ersten 100 Jahren in der Atmosphäre 1430 mal so stark zum Treibhauseffekt bei, wie ein Kilogramm CO<sub>2</sub>.

FAZIT:

Je geringer die Zerfallszeit eines Gases ist, desto weniger Schaden kann es in dem Zeitraum anrichten und dadurch sinkt der GWP-Wert

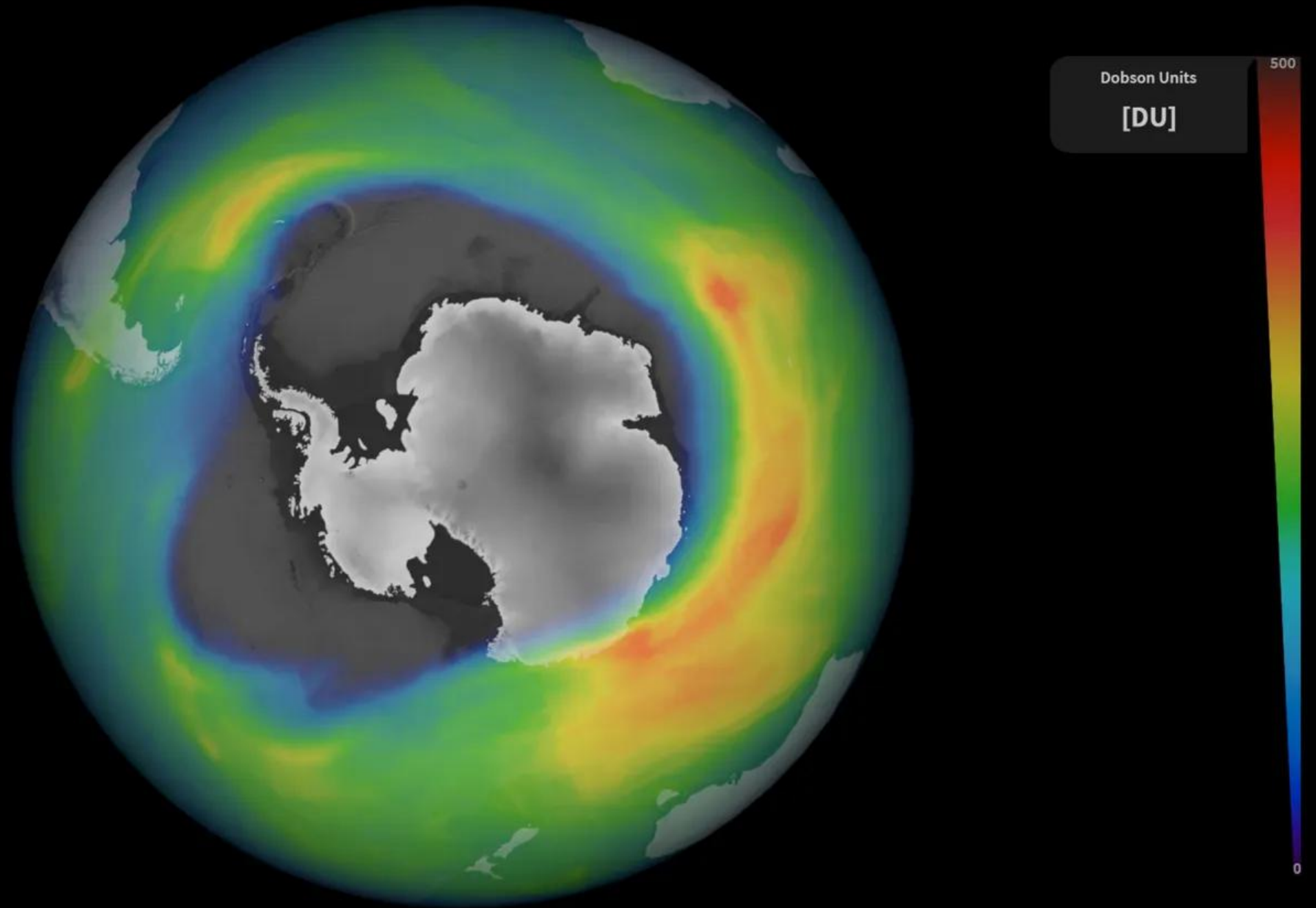
Bsp: R134a zerfällt in 13,4 Jahren, R1234yf zerfällt in ca. 15 Tagen

## ODP → Ozon Depletion Potential

Maßzahl zum Abbau der Ozonschicht im Vergleich zu R11

Montrealer Protokoll (1989):  
Verbot von Ozonabbauenden Substanzen

# Kältemittel





## Was ist die Ozonschicht?

Besteht aus Ozon

Befindet sich in der Stratosphäre

„Filtert“ die UV-C Strahlung der Sonne

Wird in Dobson-Units angegeben

Im Mittel 310 DB dick → Ozonloch ab <200 DB

## Was machen ODS ?

Werden ebenfalls durch UV-C Strahlung in Radikale gespalten

Spalten dann selbst Ozonmoleküle ohne sich dabei zu verbrauchen

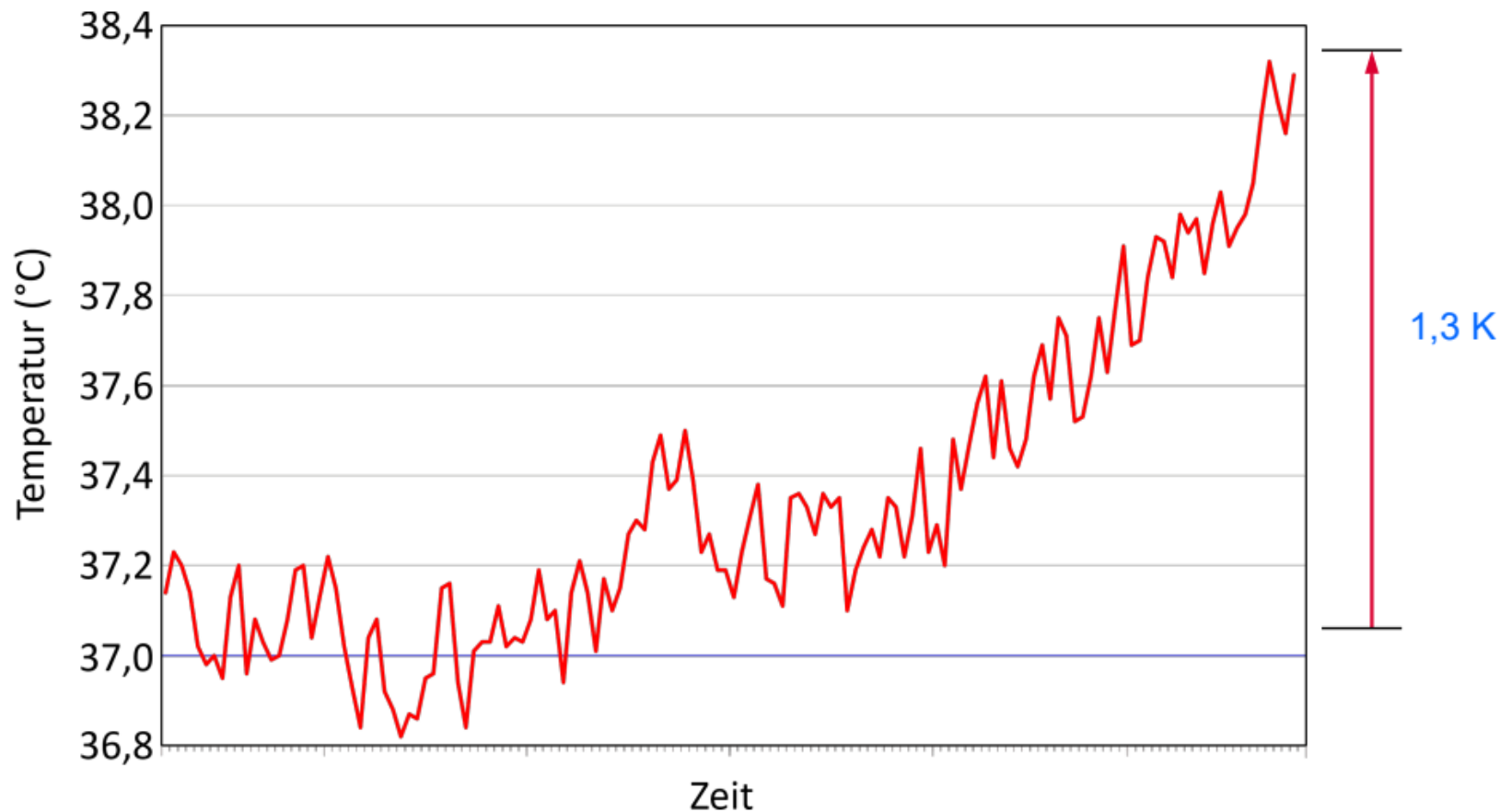
→ Das Gleichgewicht in der Ozonschicht gerät außer Kontrolle

> 80% der ODS sind durch den Mensch in die Atmosphäre gekommen

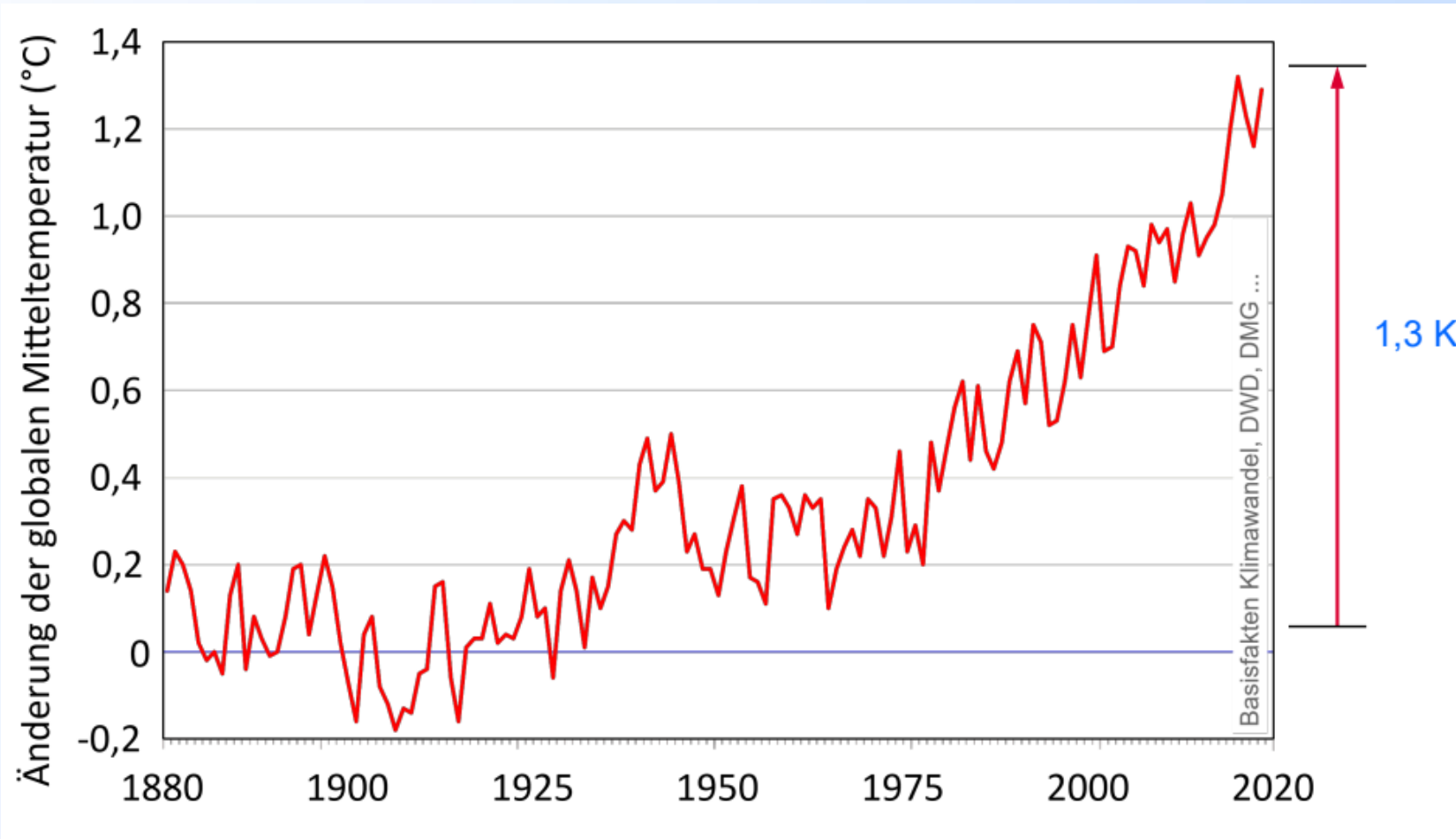
## 5 Fragen zum Einstieg

1. Wie sehen Sie die Zukunft der Kälte-, Klima- und Wärmepumpenbranche?
- 2. Welche Kältemittel werden zukünftig eingesetzt?**
3. Ist der Klimawandel in Deutschland angekommen?
4. Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt?
5. Fühlen Sie sich von Politik und Medien gut informiert?

# Ein Temperaturanstieg



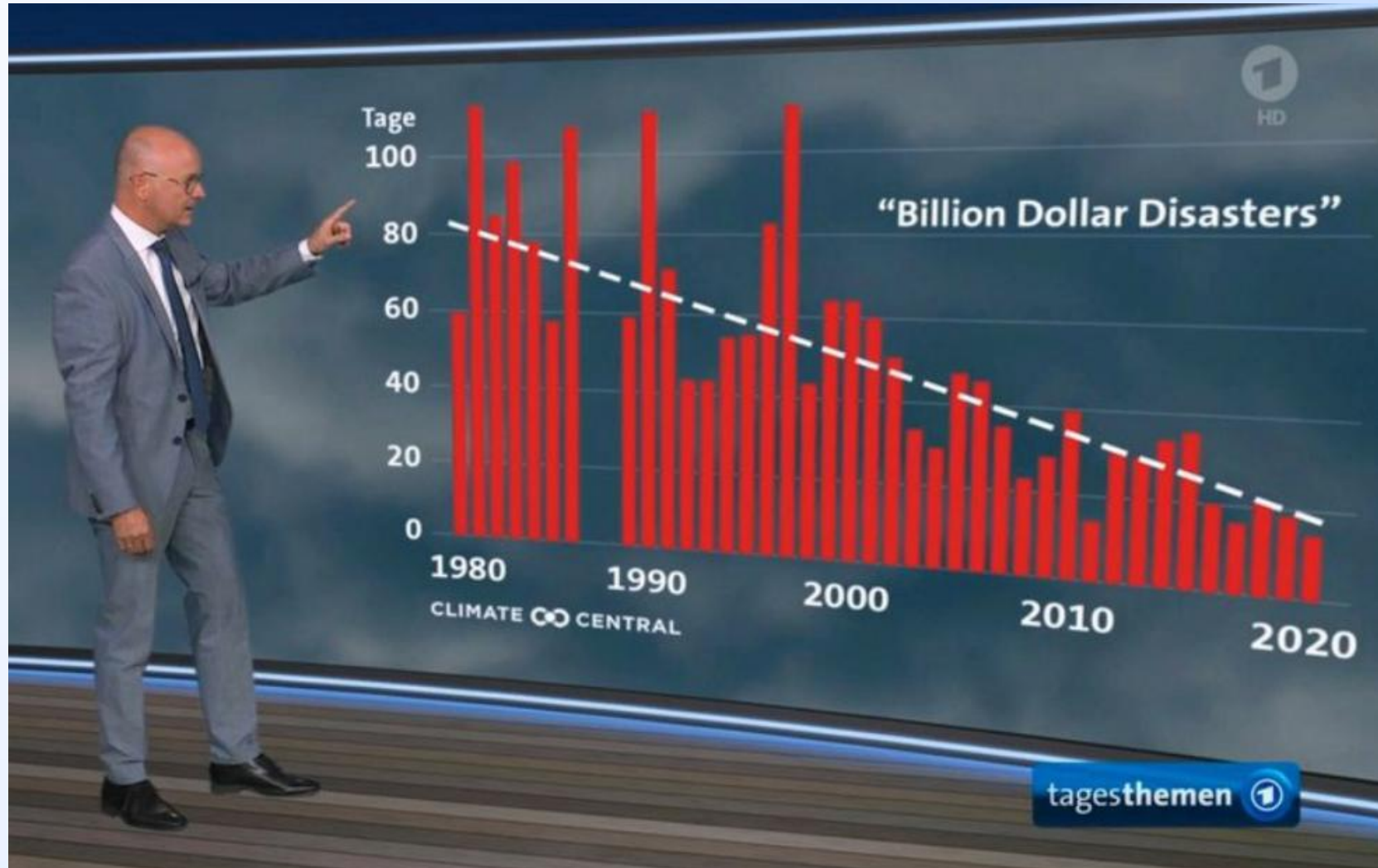
# Ein Temperaturanstieg



# Physikalische Effekte und Folgen

| Physikalischer Effekt                                               | Folgen                                                                |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Territoriale Hitzeperiode                                           | Austrocknung, Entwaldung, Wüstenbildung                               |
| Territoriale Niederschlagsveränderung                               | Überschwemmungen, Austrocknungen                                      |
| Polkappenabtauung, Gletscherschmelze                                | Meeresspiegel-Anstieg, Trinkwasserverlust                             |
| Zunahme von (Wirbel-)Stürmen                                        | Schäden: Landwirtschaft, Siedlungen                                   |
| Verschiebung der Jahreszeiten, Klimazonen                           | Veränderung Biomasseproduktion                                        |
| Auftauen von Permafrostböden sowie von Methanhydraten in Weltmeeren | Emission des Treibhausgases Methan -> Beschleunigung des Klimawandels |
| Anstieg des Meeresspiegels, Versauerung der Ozeane                  | Überschwemmungen                                                      |
| ...                                                                 | ...                                                                   |

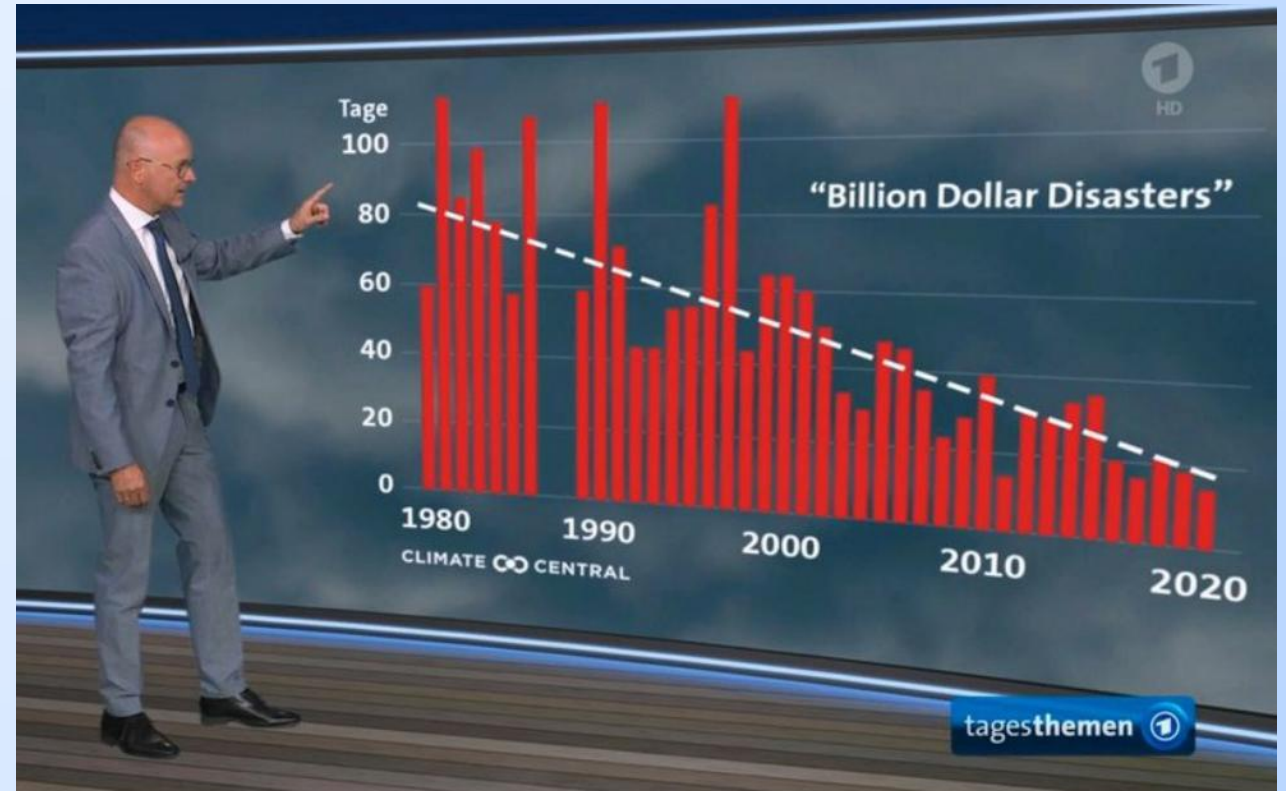
# „Billion Dollar Disasters“



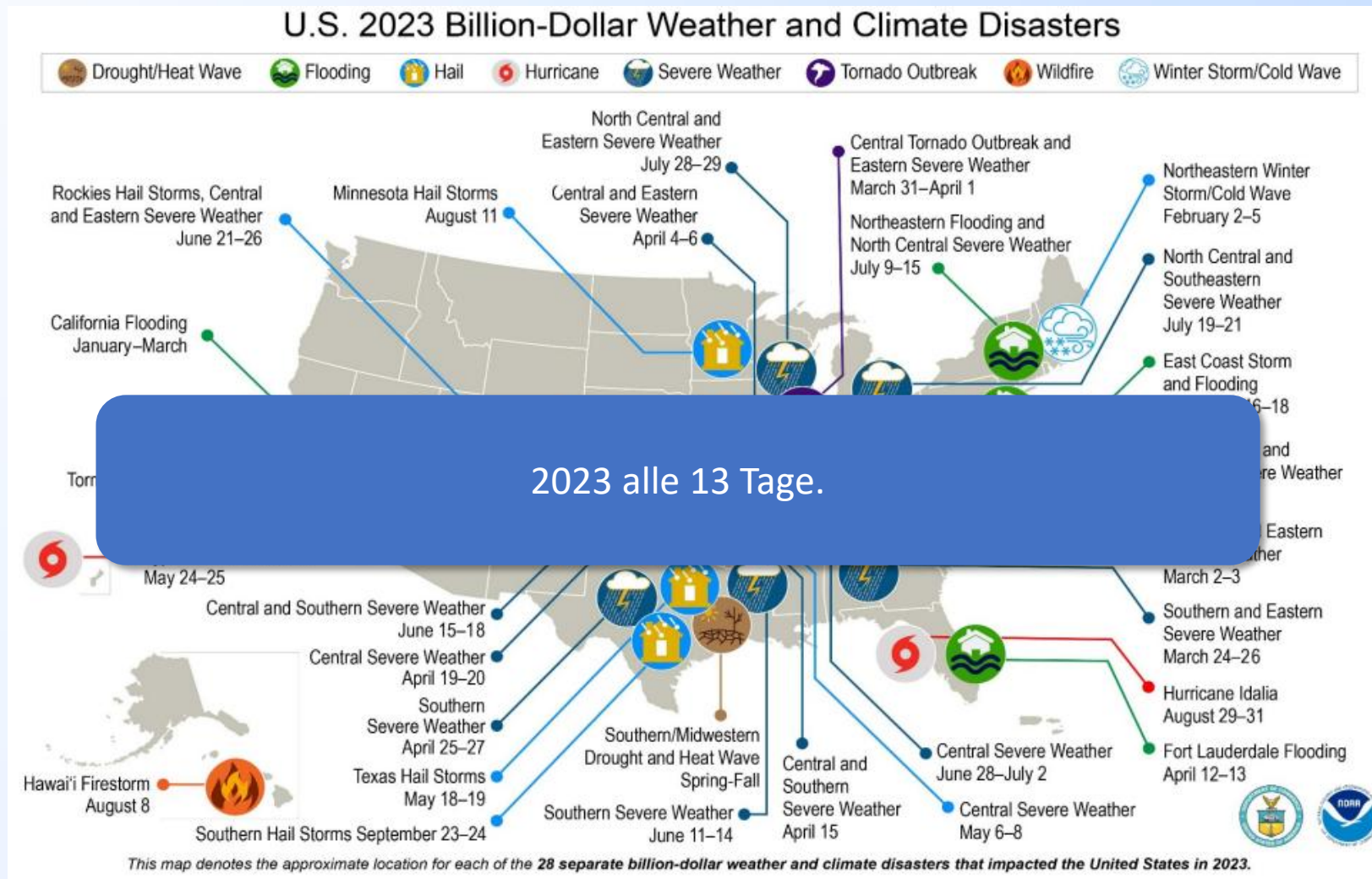
# „Billion Dollar Disasters“

1980 fanden alle 80 Tage derartige Katastrophen statt

2020 alle 20 Tage



# „Billion Dollar Disasters“



# Ist der Klimawandel bei uns angekommen?



Das ist Luxemburg

# Ist der Klimawandel bei uns angekommen?



Das ist die Waldfläche die 2023  
allein in der EU Waldbränden  
zum Opfer gefallen ist.

Mehr als eine halbe Millionen  
Hektar.

# Ist der Klimawandel bei uns angekommen?

Ahrtal 2021

40 Milliarden Euro Schaden

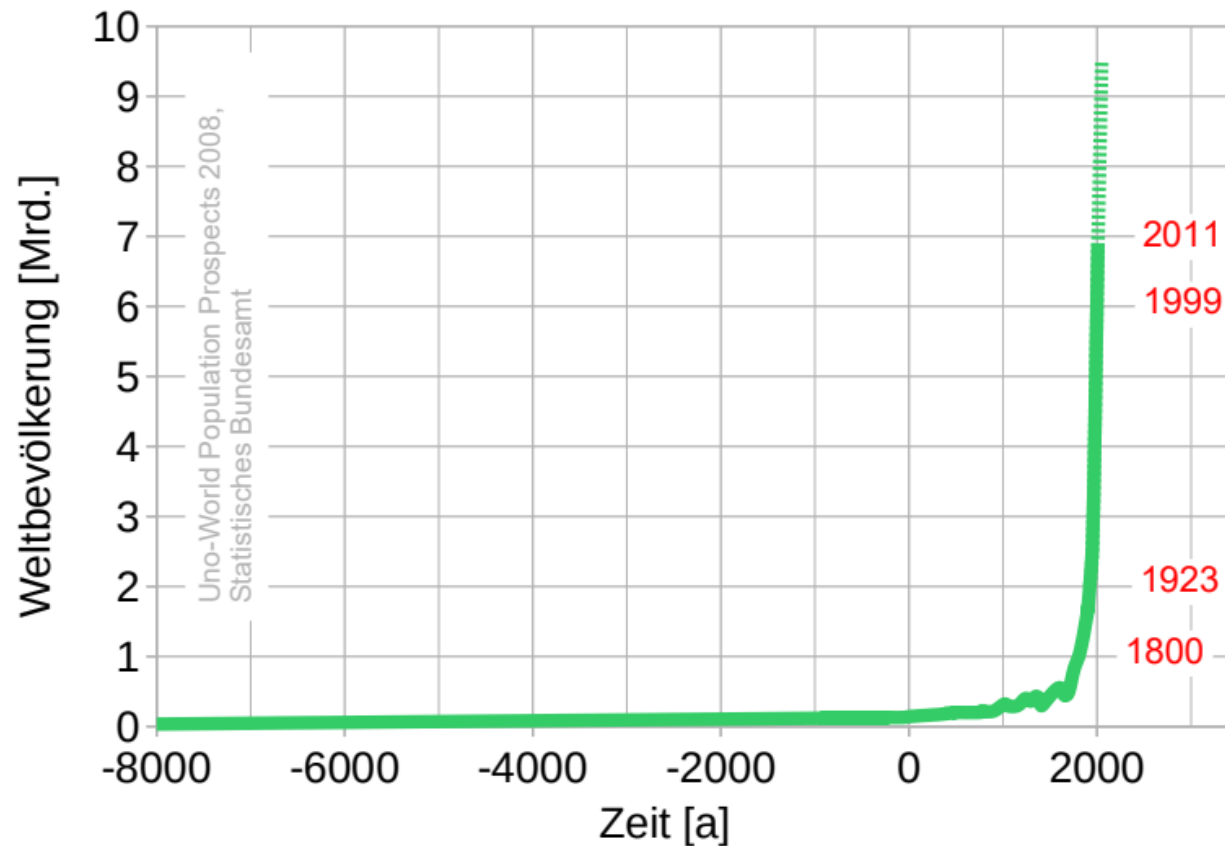
135 Tote



## 5 Fragen zum Einstieg

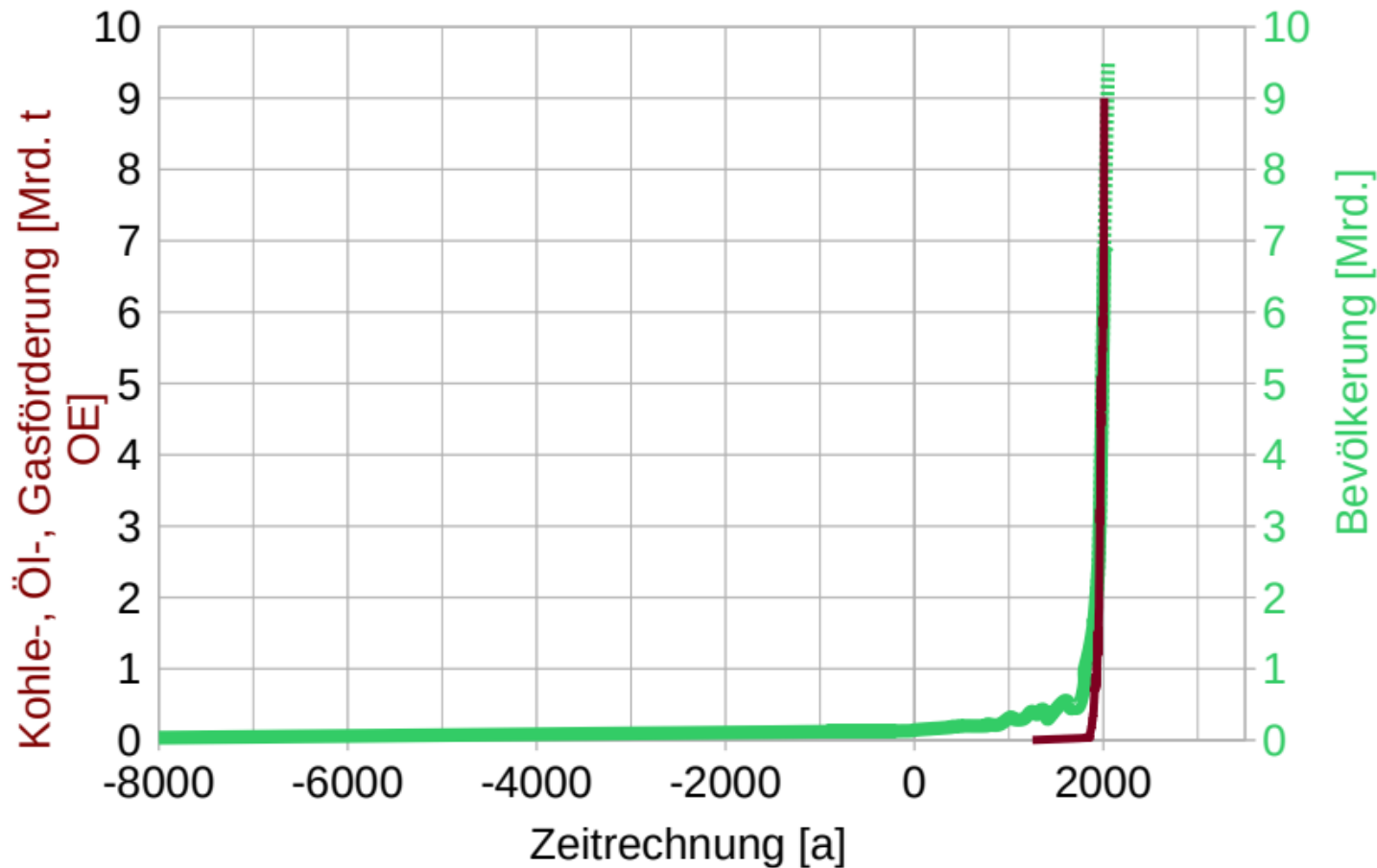
1. Wie sehen Sie die Zukunft der Kälte-, Klima- und Wärmepumpenbranche?
2. Welche Kältemittel werden zukünftig eingesetzt?
3. **Ist der Klimawandel in Deutschland angekommen?**
4. Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt?
5. Fühlen Sie sich von Politik und Medien gut informiert?

# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?



Über-Exponentielles Wachstum:  
Bisherige Dauer: 10 Generationen

# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?



Der Energiebedarf steigt parallel zu der Bevölkerungsdichte.

# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?

## Globale Abhängigkeit vom Erdöl

|           |                                                             |
|-----------|-------------------------------------------------------------|
| 80 – 95 % | aller Energie für Transport                                 |
| 100 %     | aller petrochemischen Produkte                              |
| 99 %      | aller Schmierstoffe                                         |
| 95 %      | des Warenverkehrs                                           |
| 99 %      | aller Nahrungsmittel<br>(Transport, Dünger, Bearbeitung...) |



# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?

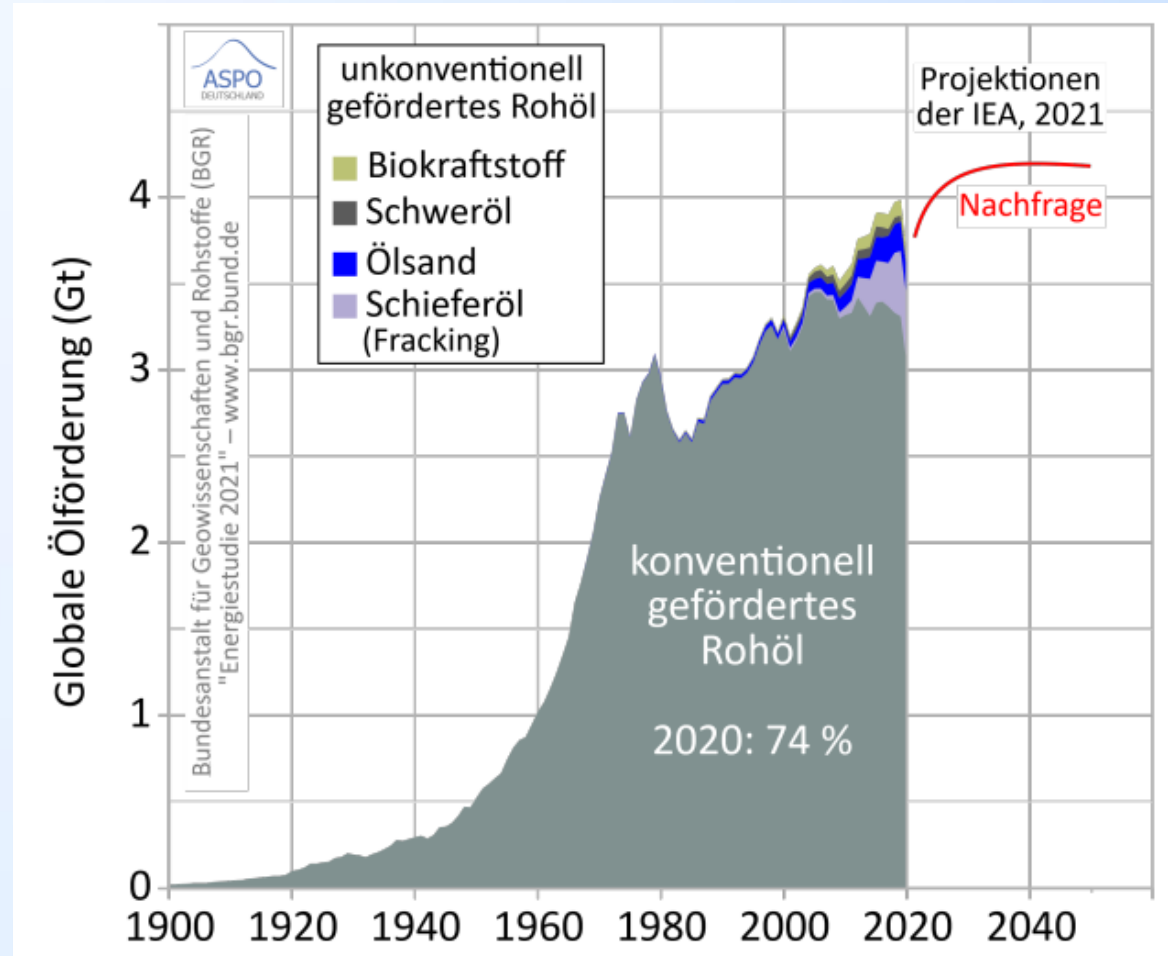
**1 Barrel Öl (159 dm<sup>3</sup>)**

≙ 17.000 h ≈ 10 Jahre menschlicher Arbeit (100 W)

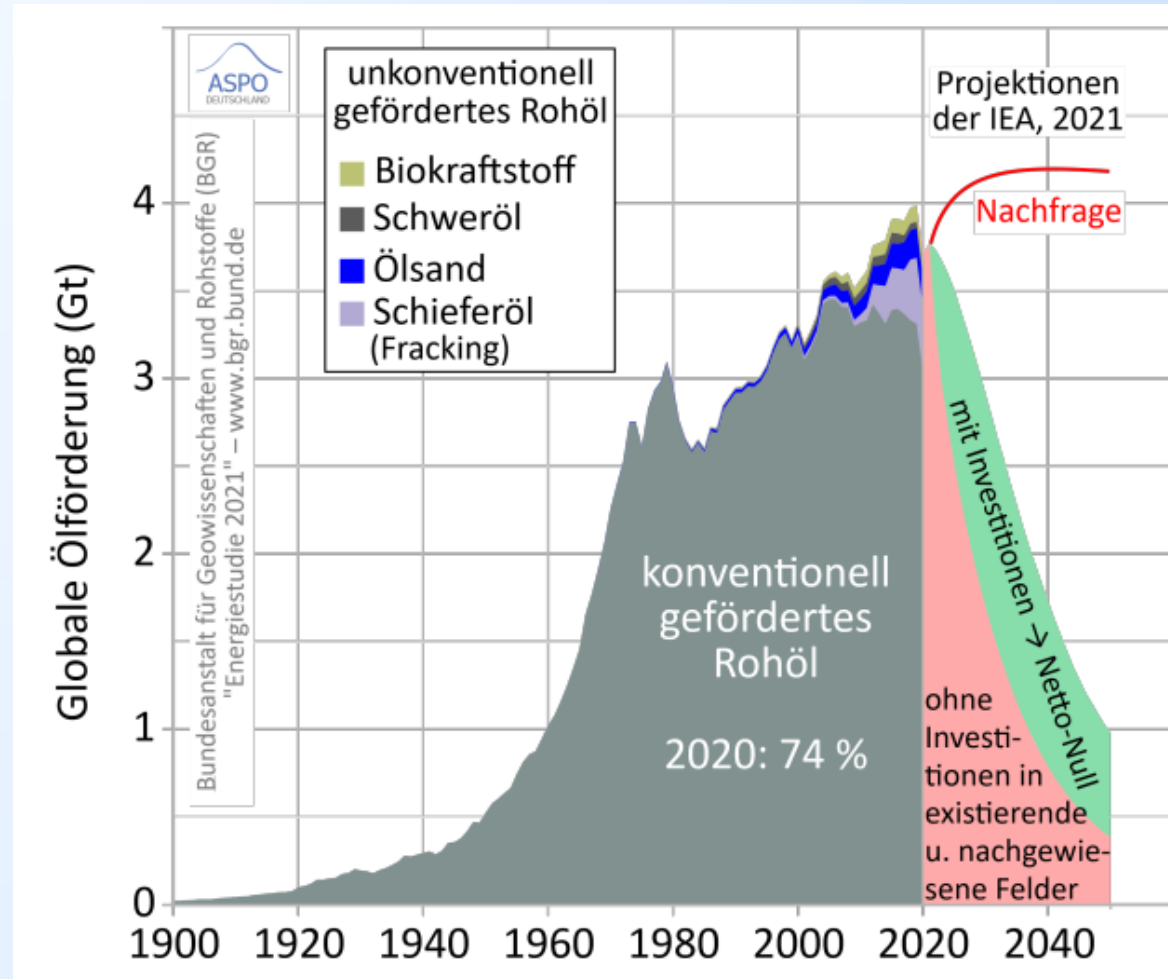
≙ 170.000 € bei 10 €/h

Förderkosten im Irak: 1 \$

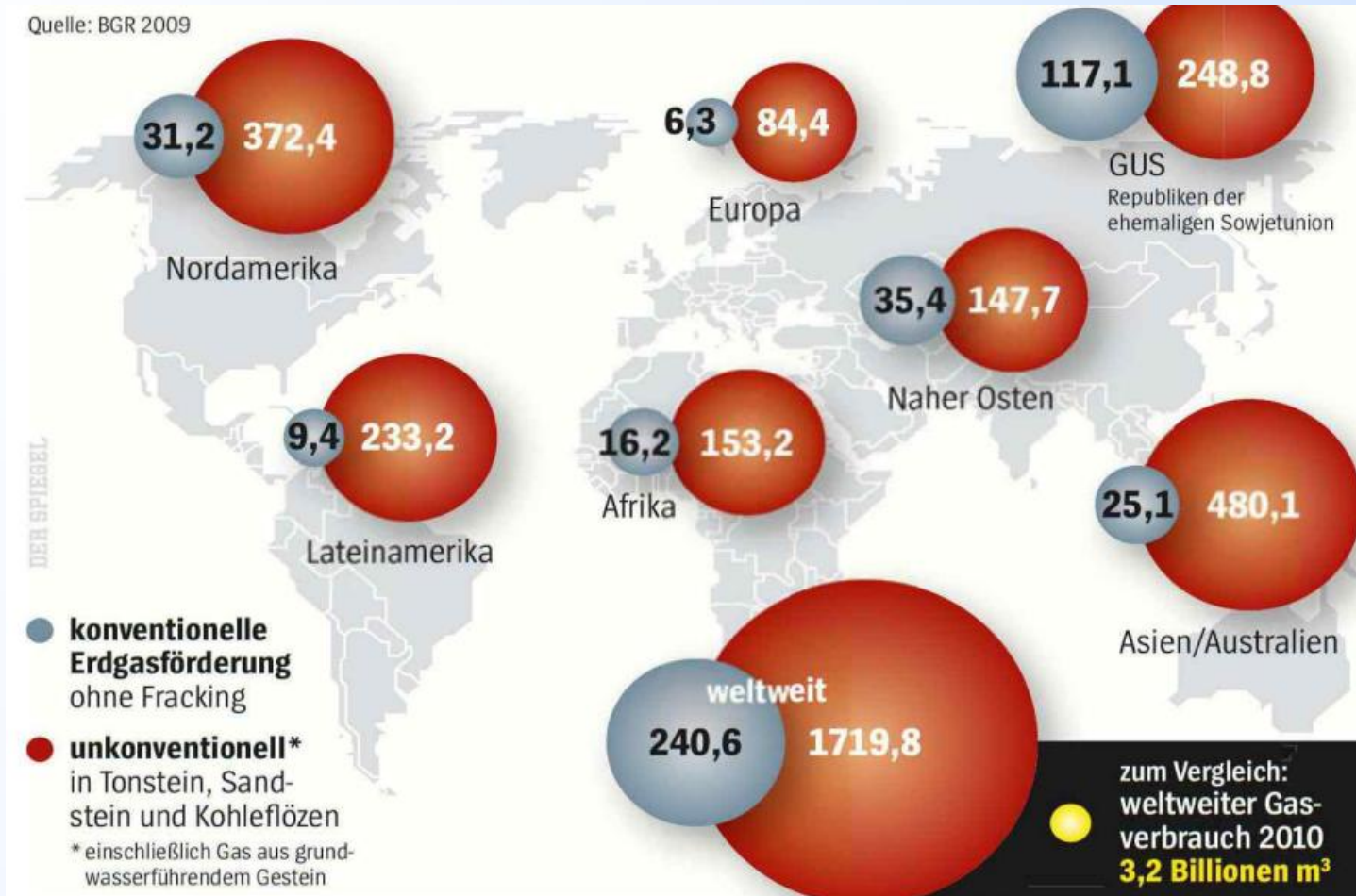
# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?



# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?



# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?



Faktor > 500 zwischen  
Reserven und Verbrauch

# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?

Quelle: SGEIS – Report, 30. September 2009. <http://www.dec.ny.gov/energy/>

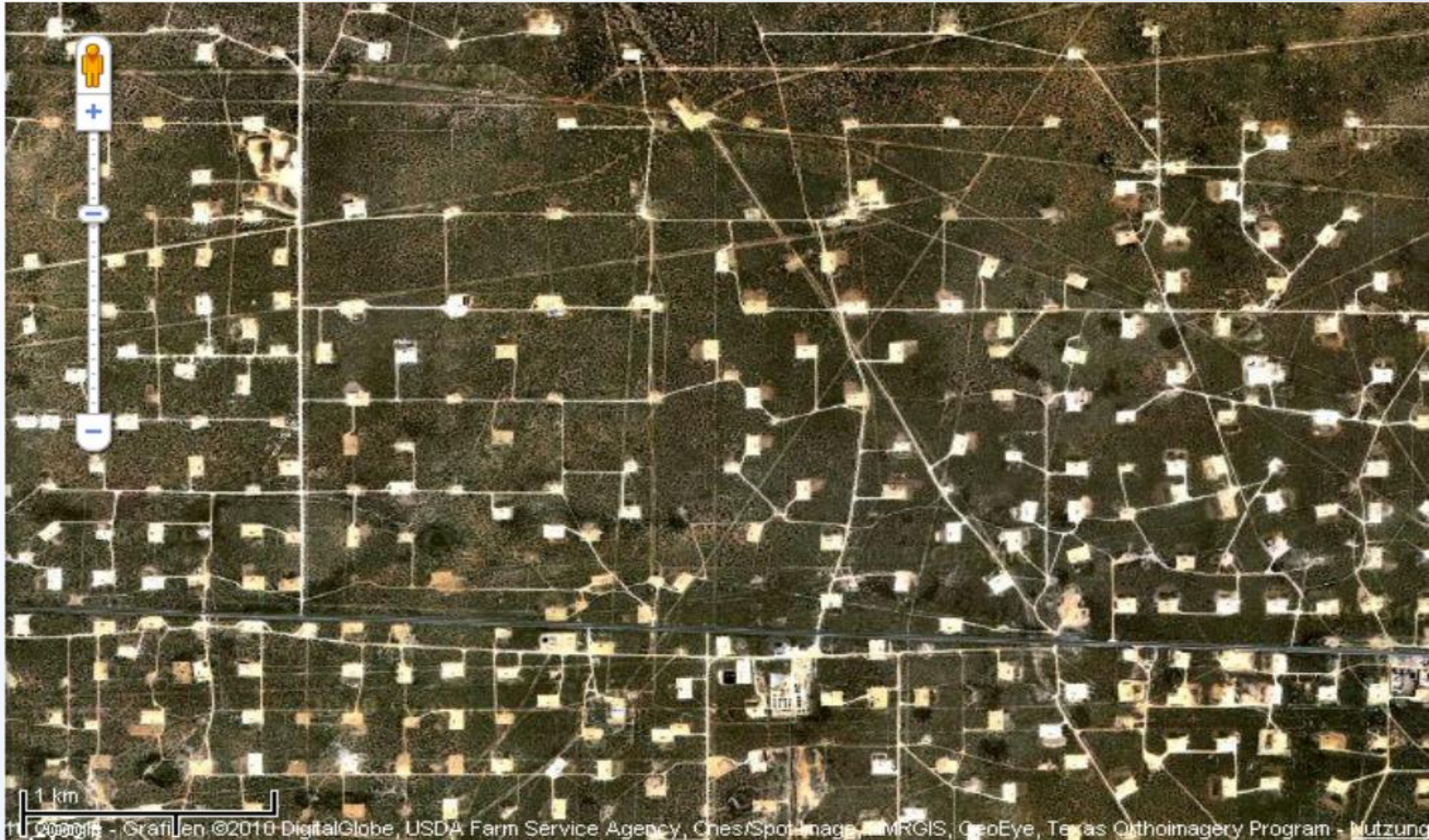


Mehrere Millionen Liter Wasser werden pro Bohrung benötigt, dazu kommen viele Chemikalien

# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?



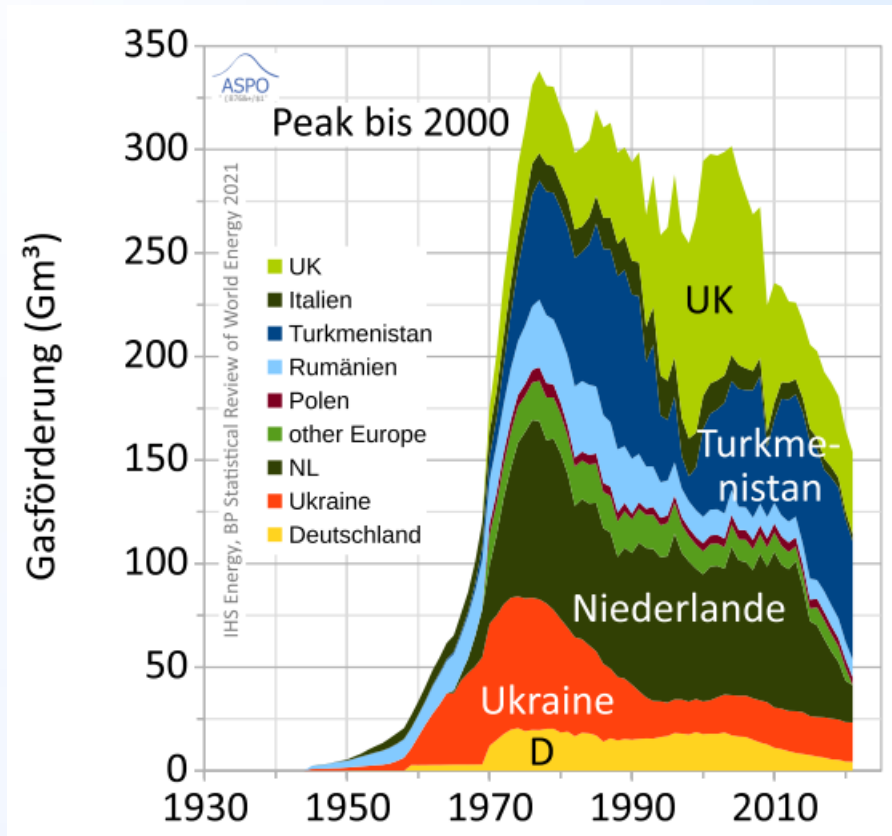
# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?



# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?



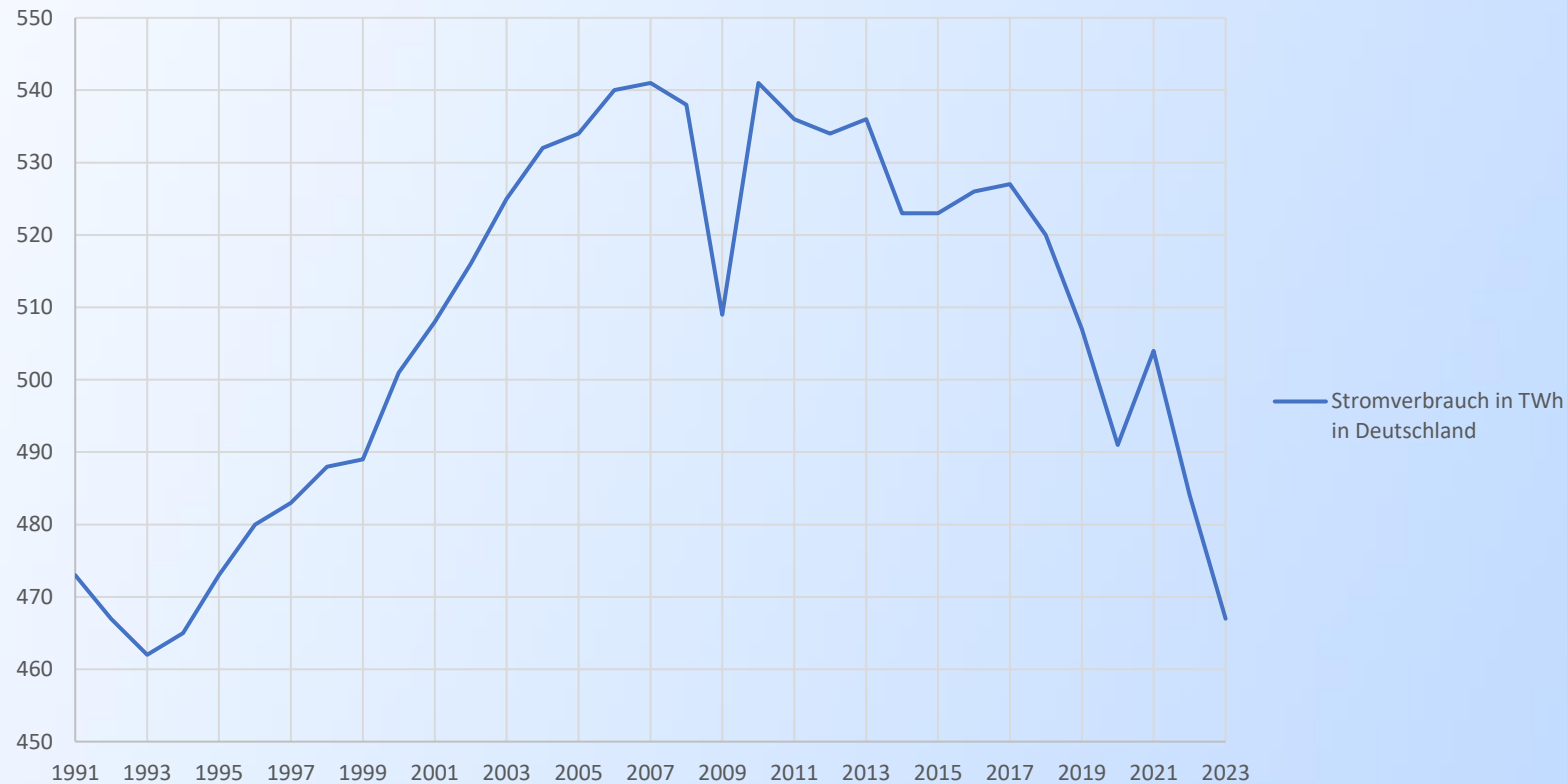
# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?



**8 Staaten + „Rest Europa“**  
Peak vor 2000  
Rückgang um -55%

**Banale Erkenntnisse**  
Gasvorräte sind endlich  
Ersatz aus anderen Quellen  
erforderlich

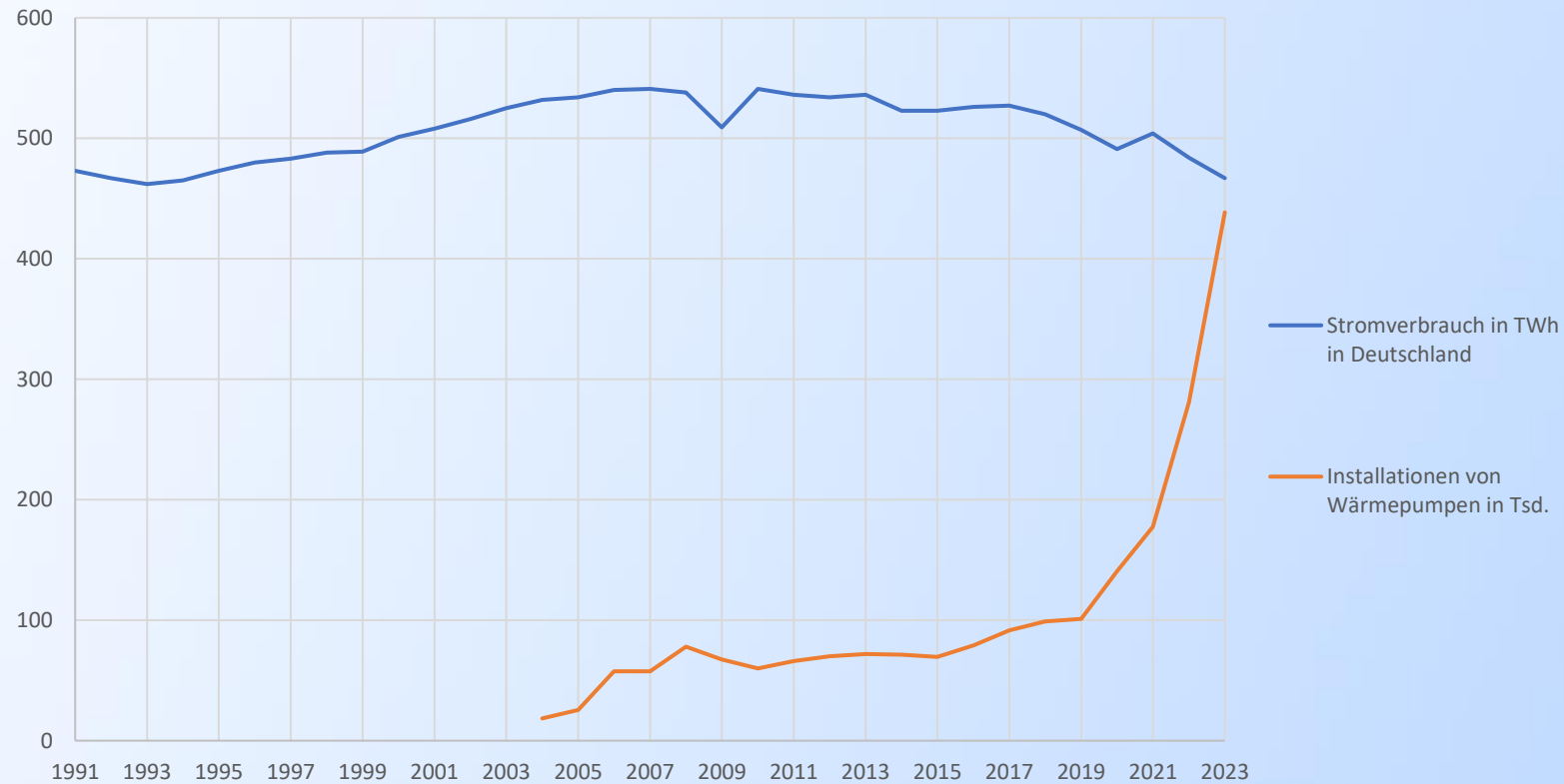
# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?



Quelle: Statista 2024

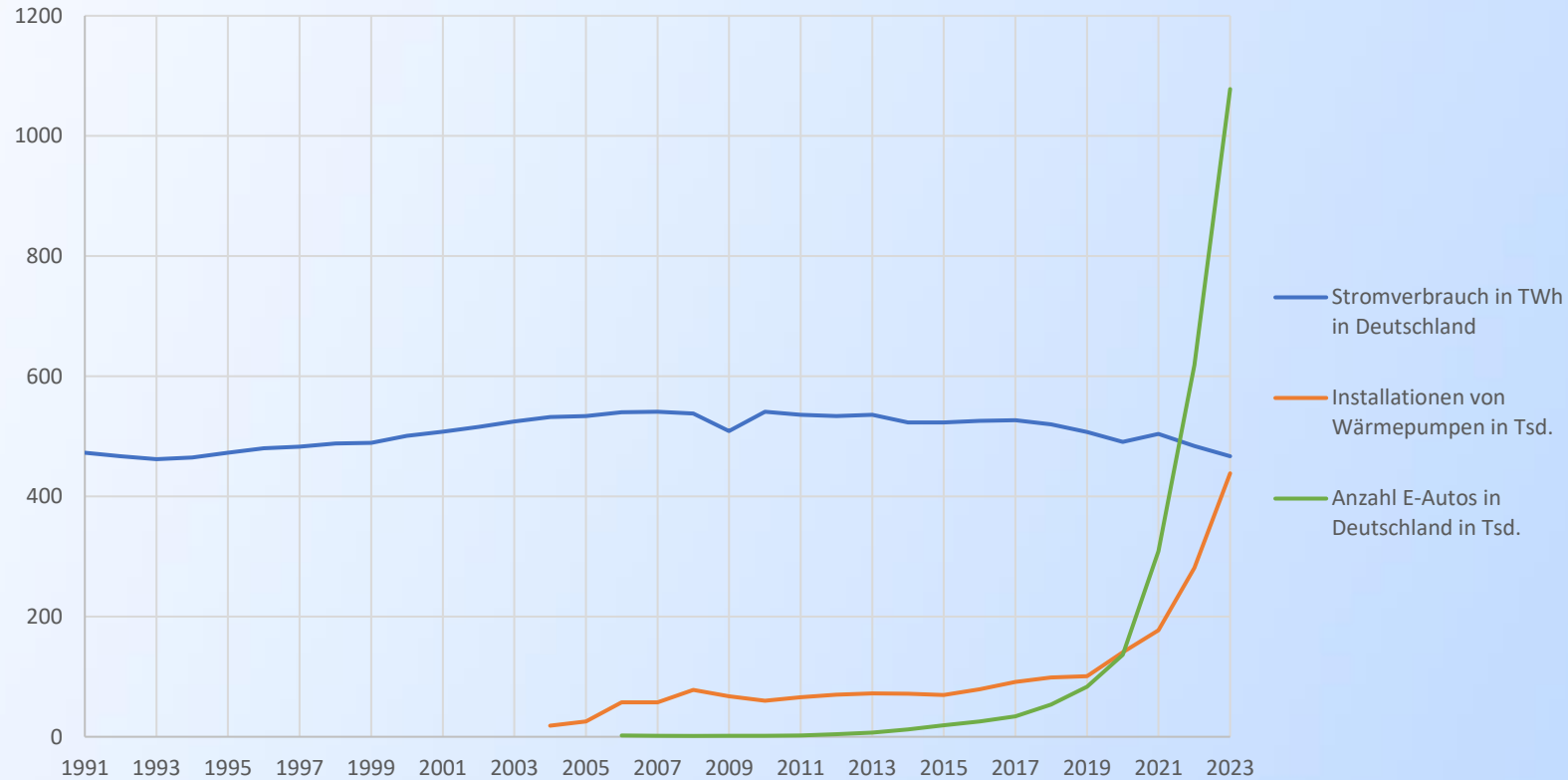
<https://app.electricitymaps.com/map?lang=de>

# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?



Quelle: Statista 2024

# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?



Quelle: Statista 2024

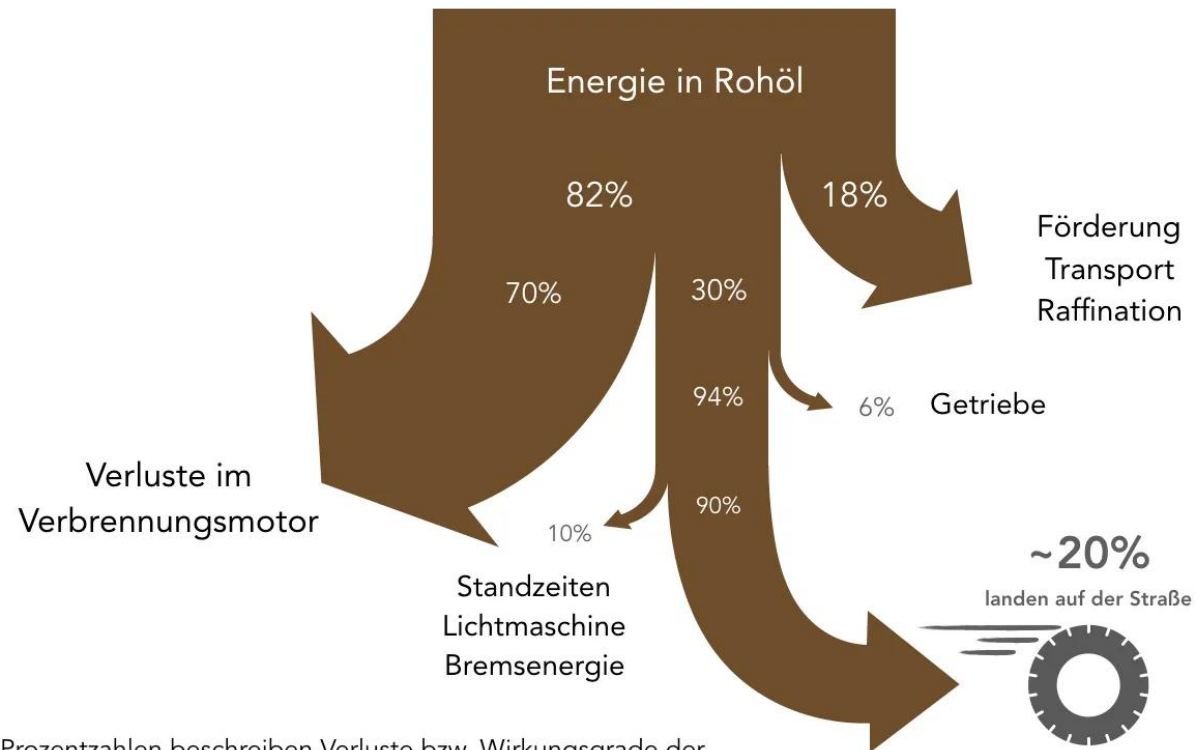
# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?



Quelle: Statista 2024

# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?

## Energiebilanz des Verbrennungsmotors mit fossilen Brennstoffen

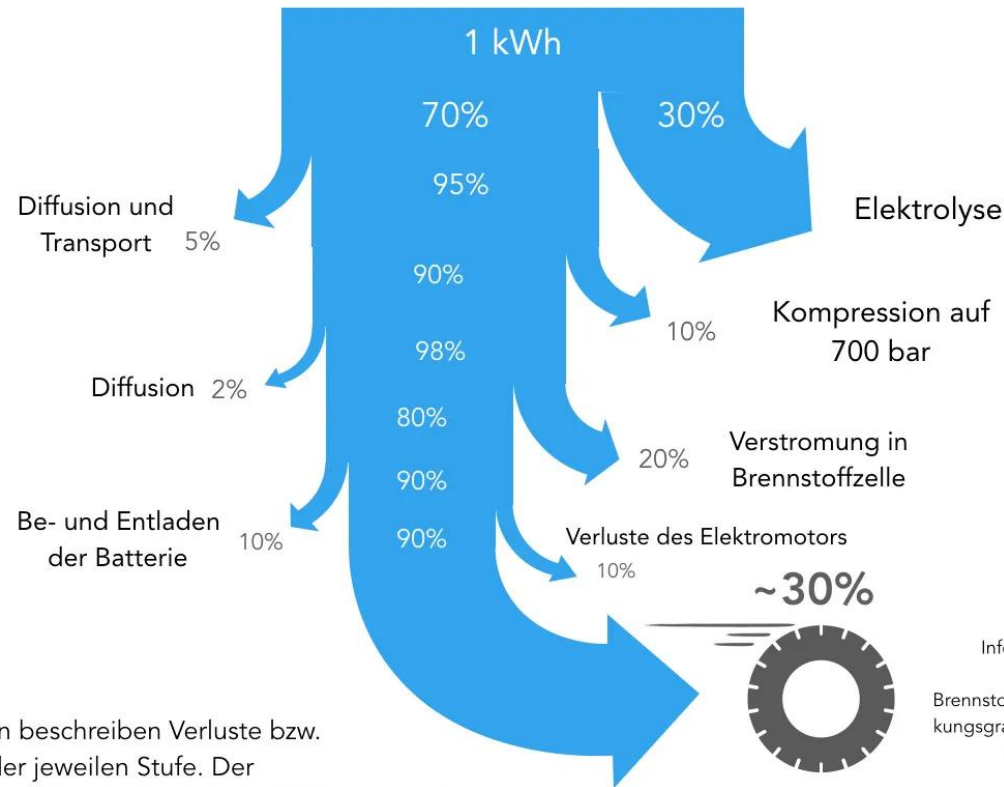


Die Prozentzahlen beschreiben Verluste bzw. Wirkungsgrade der jeweiligen Stufe. Der Gesamtwirkungsgrad ist das Produkt der Wirkungsgrade des gesamten Pfades.

Eigene Darstellung mit Informationen von <https://de.wikipedia.org/wiki/Verbrennungsmotor> und <https://www.energie-lexikon.info>

# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?

## Energiebilanz des Wasserstoff- Brennstoffzellenfahrzeugs mit Strom aus erneuerbaren Quellen

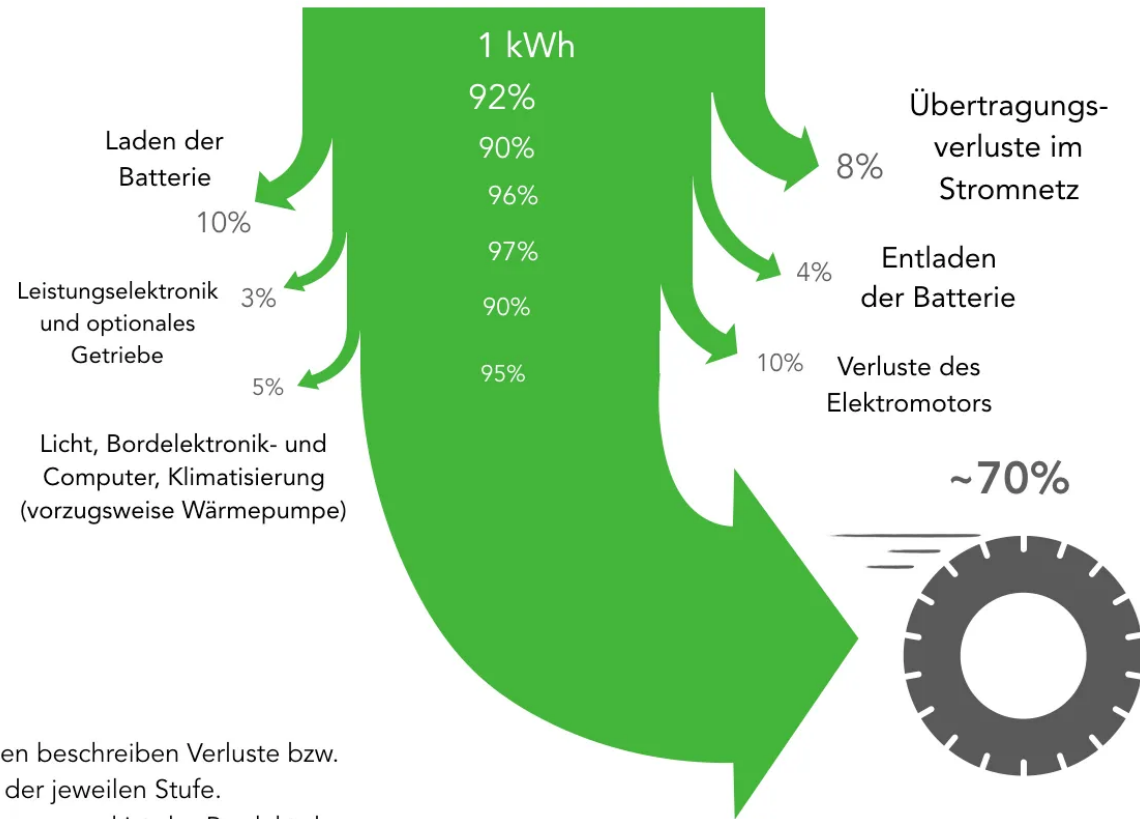


Die Prozentzahlen beschreiben Verluste bzw. Wirkungsgrade der jeweiligen Stufe. Der Gesamtwirkungsgrad ist das Produkt der Wirkungsgrade des gesamten Pfades.

Eigene Darstellung mit Informationen von [https://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle#Elektrischer\\_Wirkungsgrad,\\_Kosten,\\_Lebensdauer\\_und\\_H.\\_Tschüke,\\_Die\\_Elektrifizierung\\_des\\_Antriebsstrangs](https://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle#Elektrischer_Wirkungsgrad,_Kosten,_Lebensdauer_und_H._Tschüke,_Die_Elektrifizierung_des_Antriebsstrangs). Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.

# Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt ?

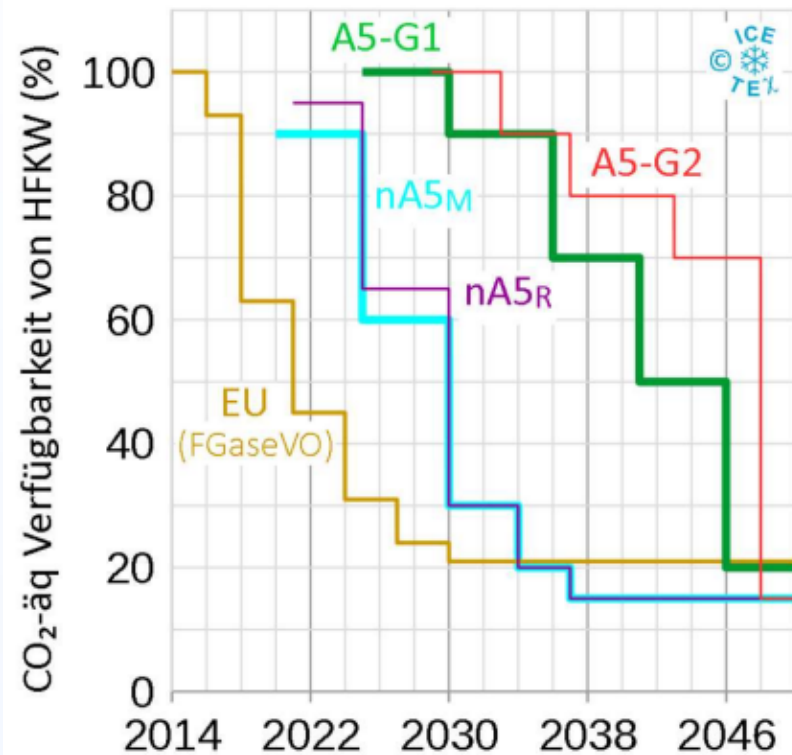
## Energiebilanz des Elektroautos mit Strom aus erneuerbaren Quellen



Die Prozentzahlen beschreiben Verluste bzw. Wirkungsgrade der jeweiligen Stufe.  
Der Gesamtwirkungsgrad ist das Produkt der Wirkungsgrade des gesamten Pfades.

Eigene Darstellung mit Informationen von <https://de.wikipedia.org/wiki/Elektroauto> und H. Tschüke, Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.

# Wieso immer nur wir?



**EU:**

**28 Staaten**

**Non-Artikel-5<sub>Main</sub>:**  
NA5<sub>M</sub>

**alle anderen UN-Staaten (ohne EU)**

**Non-Artikel-5<sub>Rest</sub>:**  
nA5<sub>R</sub>

Weißrussland, Russland, Kasachstan,  
Tadschikistan, Usbekistan

**Artikel-5-Gruppe 1:**  
A5-G1

**alle anderen Entwicklungsländer**

**Artikel-5-Gruppe 2:**  
A5-G2

Bahrain, Indien, Iran, Kuwait, Oman,  
Pakistan, Katar, Saudi Arabien,  
Vereinigte Arabische Emirate

## 5 Fragen zum Einstieg

1. Wie sehen Sie die Zukunft der Kälte-, Klima- und Wärmepumpenbranche?
2. Welche Kältemittel werden zukünftig eingesetzt?
3. Ist der Klimawandel in Deutschland angekommen?
4. **Ist die Energieversorgung in Deutschland sichergestellt?**
5. Fühlen Sie sich von Politik und Medien gut informiert?

# Energieeffiziente Kälteanlagen

2008

2022

# Energieeffiziente Kälteanlagen

## 2008

Förderung von Kälte- & Klimaanlage im Rahmen der NKI (nationalen Klimaschutz Initiative)

Ziele:

- Gesteigerte Energieeffizienz
- Minderung des Kältebedarfs
- Reduktion der Emissionen durch fluorierte Treibhausgase

Bearbeitung der Förderanträge durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)

## 2022

# Energieeffiziente Kälteanlagen

## 2008

Förderung von Kälte- & Klimaanlage im Rahmen der NKI (nationalen Klimaschutz Initiative)

Ziele:

- Gesteigerte Energieeffizienz
- Minderung des Kältebedarfs
- Reduktion der Emissionen durch fluorierte Treibhausgase

Bearbeitung der Förderanträge durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)

## 2022

Zur Evaluierung der Wirksamkeit der Fördermaßnahmen Beginn einer Feldstudie

Umfang:

- Messung von geförderten Anlagen
- Vergleichen im Benchmark Verfahren mit nicht geförderten Anlagen
- Vergleichen im Benchmark Verfahren mit, nach Förderrichtlinie, technisch optimalen Anlagen

Beginn der Feldstudie im Mai 2022, Abschluss der Messungen Juni 2023

# Energieeffiziente Kälteanlagen

## AC

Nutztemperatur: 7°C .. 22°C

### 17

Messungen

Verwendete Kältemittel:

R134a

R290

R449A

R513A

R717

R744

# Energieeffiziente Kälteanlagen

## AC

Nutztemperatur: 7°C .. 22°C

17

Messungen

Verwendete Kältemittel:

R134a

R290

R449A

R513A

R717

R744

## NK

Nutztemperatur: 0°C .. 4°C

22

Messungen

Verwendete Kältemittel:

R134a

R290

R449A

R717

R744

R1270

# Energieeffiziente Kälteanlagen

## AC

Nutztemperatur: 7°C .. 22°C

17

Messungen

Verwendete Kältemittel:

R134a  
R290  
R449A  
R513A  
R717  
R744

## NK

Nutztemperatur: 0°C .. 4°C

22

Messungen

Verwendete Kältemittel:

R134a  
R290  
R449A  
R717  
R744  
R1270

## TK

Nutztemperatur: -20°C .. -23°C

16

Messungen

Verwendete Kältemittel:

R449A  
R744

# Simulation der Energieströme

$$SEPR := \frac{\text{jährlicher Kältebedarf}}{\text{jährlicher Elektroenergiebedarf}} = \frac{Q_o}{W}$$

$$SEPR := \frac{\sum_j^n \Delta t_j \cdot \dot{Q}_o(T_j)}{\sum_j^n \Delta t_j \underbrace{\left( \frac{\dot{Q}_o(T_j)}{EER_{\text{bin}}(T_j)} \right)}_{P_j(T_j)}}$$

$$W = W_{\text{el}} = P \cdot \Delta t$$

$Q_o$ : Kälteenergie (W)

$\dot{Q}_o$ : Kälteleistung (W)

$\Delta t$ : Zeitintervall (s)

$T$ : Temperatur

$W$ : Arbeit (J)

bin: gleich breite Temperaturintervalle (Klassen, Stufen)

$EER$ : Energy Efficiency Ratio (W/W) : Kälte-Leistungszahl

$SEER$ : Seasonal Energy Efficiency Ratio (J/J) : Jahresarbeitszahl

$SEPR$ : Seasonal Energy Performance Factor (J/J):

Jahresarbeitszahl, Nutzungsgrad

# Simulation der Energieströme

## Ökodesign-Richtlinie (2009/125/EG)

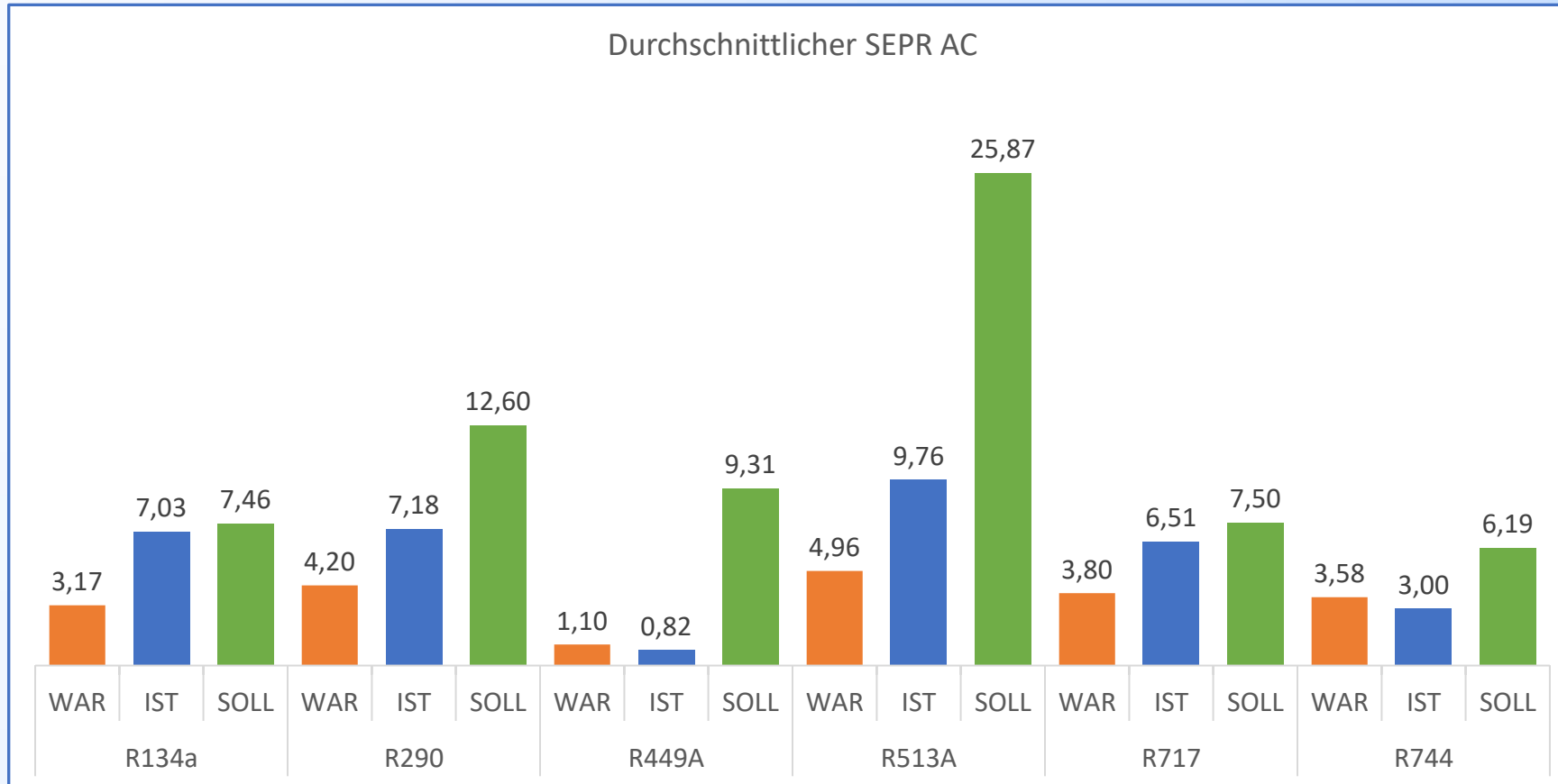
Berechnung SEER / SEPR  
an vier Betriebspunkten

## CoolTool

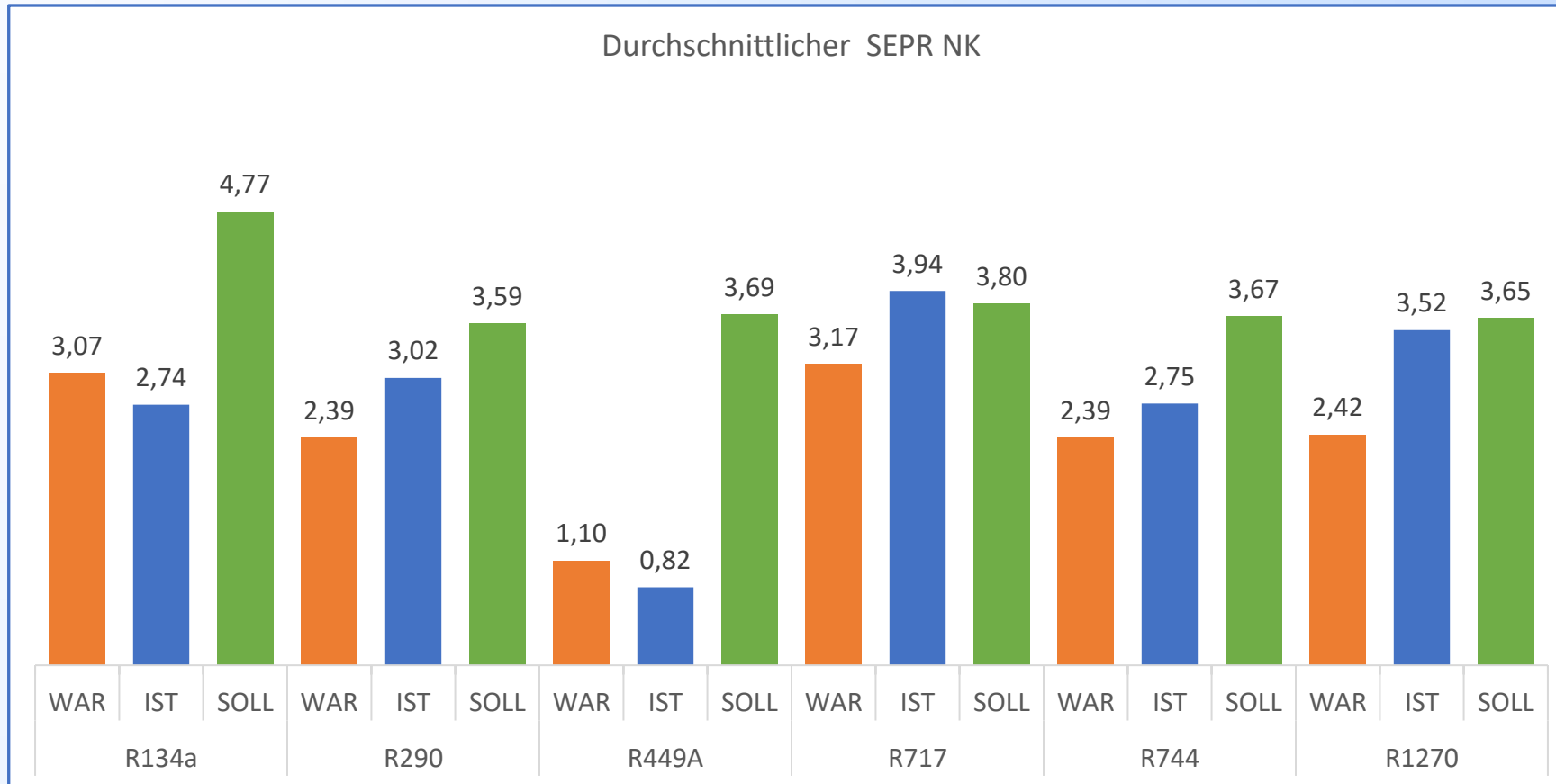
Berechnung SEPR  
für 288 Betriebspunkte

12 Monate x 24 Stunden

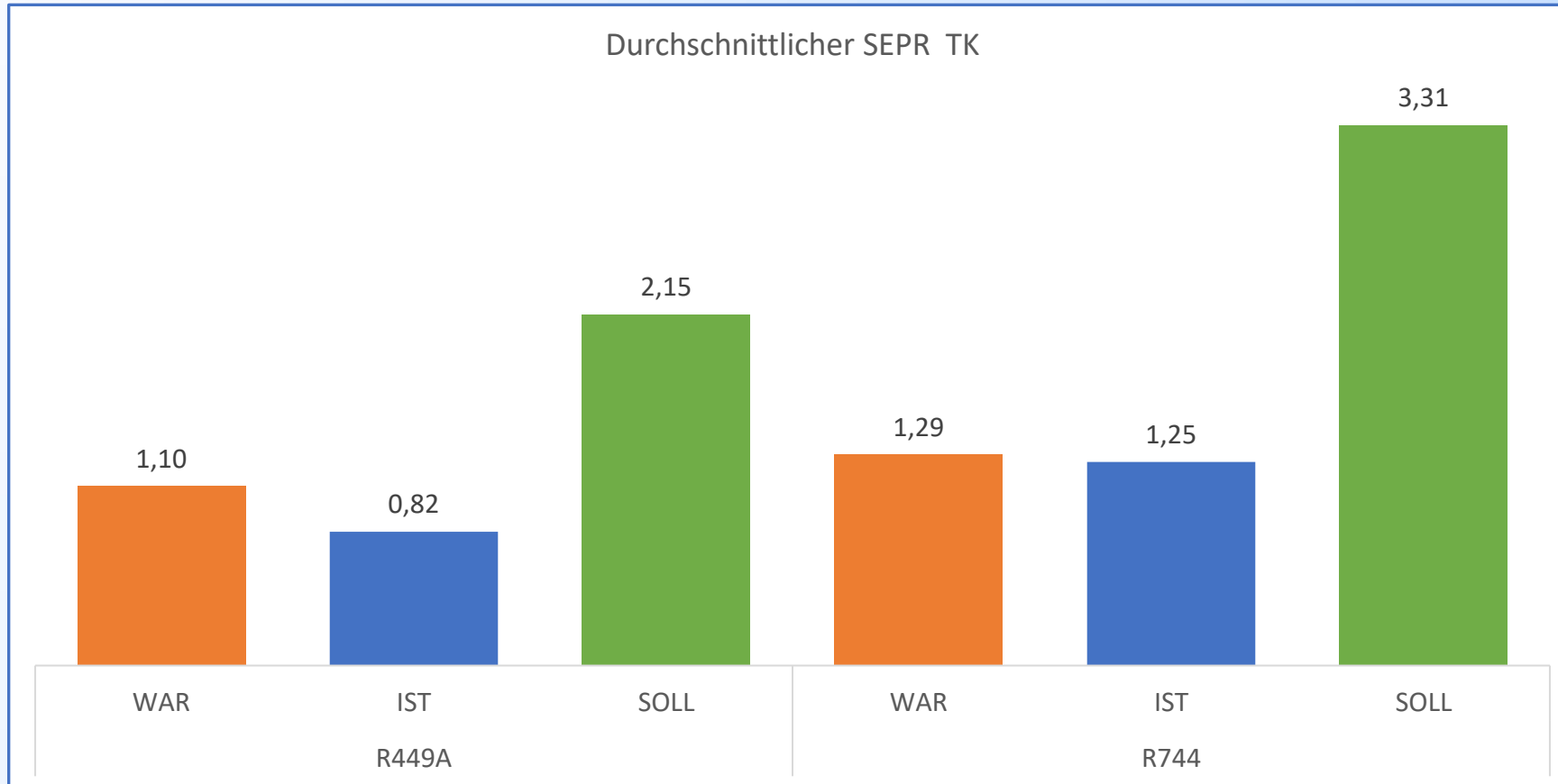
# Ergebnisse



# Ergebnisse



# Ergebnisse



# Ergebnisse

Gesamtemissionen :

Vergleichsanlagen: 13.323t CO<sub>2</sub>-Äq/a

CO<sub>2</sub>-Emission Energiebedarf:  
420 g/ kWh (Strommix Deutschland 2021)

# Ergebnisse

Gesamtemissionen :

Vergleichsanlagen: 13.323t CO<sub>2</sub>-Äq/a

„Optimale“ Anlagen: 6.489t CO<sub>2</sub>-Äq/a 51,29%

CO<sub>2</sub>-Emission Energiebedarf:  
420 g/ kWh (Strommix Deutschland 2021)

# Ergebnisse

## Gesamtemissionen :

Vergleichsanlagen: 13.323t CO<sub>2</sub>-Äq/a

„Optimale“ Anlagen: 6.489t CO<sub>2</sub>-Äq/a 51,29%

**Gemessene Anlagen: 8.604t CO<sub>2</sub>-Äq/a 35,42%**

CO<sub>2</sub>-Emission Energiebedarf:  
420 g/ kWh (Strommix Deutschland 2021)

# Fehlerquellen

| Gründe für geringere Energieeffizienz untersuchter Anlagen                                                                   | IK | GK | SM | AC |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|
| Anlage / Kältemittel ungeeignet für Temperaturbereich                                                                        | -  | 4  | -  | 3  |
| Läuft mehr als 10% außerhalb des optimalen Bereichs durch unzureichende Regelung /falsche Einstellung durch Service-Personal | 13 | 8  | 15 | 9  |
| Falsch dimensionierte Komponenten z.B. Wärmeübertrager                                                                       | 5  | 4  | 5  | 3  |
| Keine getrennten Kreisläufe für unterschiedliche Temperaturen                                                                | -  | 3  | 4  | 2  |
| Anlage oder Komponenten defekt oder ohne Funktion                                                                            | -  | 1  | 2  | 2  |

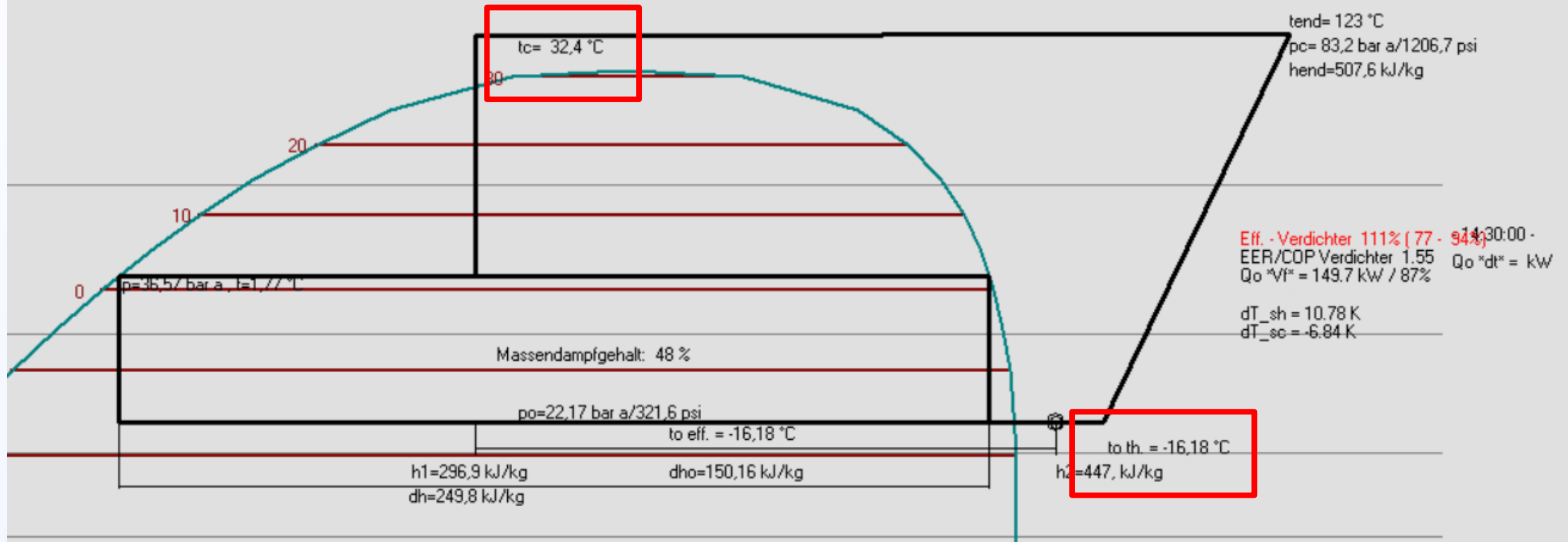
# Ungeeignete Kältemittel

| Temperaturbereich [T nutz]        | R717<br>[NH3] | R744<br>[CO2] | R290<br>[Propan] | R1270<br>[Propen] | R600a<br>[Isobutan] |
|-----------------------------------|---------------|---------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Prozesskühlung<br>[+15°C – +25°C] | ✓             | ✗             | ✗                | ✗                 | ✓                   |
| Pluskühlung<br>[+8°C – +15°C]     | ✓             | ✗             | ✓                | ✗                 | ✓                   |
| Normalkühlung<br>[-2°C – +8°C]    | ✓             | ✓             | ✓                | ✓                 | ✓                   |
| Tiefkühlung<br>[-22°C - -30°C]    | ✓             | ✓             | ✓                | ✓                 | ✗                   |
| Standart-WP<br>[<+80°C]           | ✓             | ✗             | ✓                | ✗                 | ✗                   |
| Hochtemp.-WP<br>[>+80°C]          | ✓             | ✗             | ✗                | ✗                 | ✓                   |

# Läuft mehr als 10% außerhalb des optimalen Bereiches

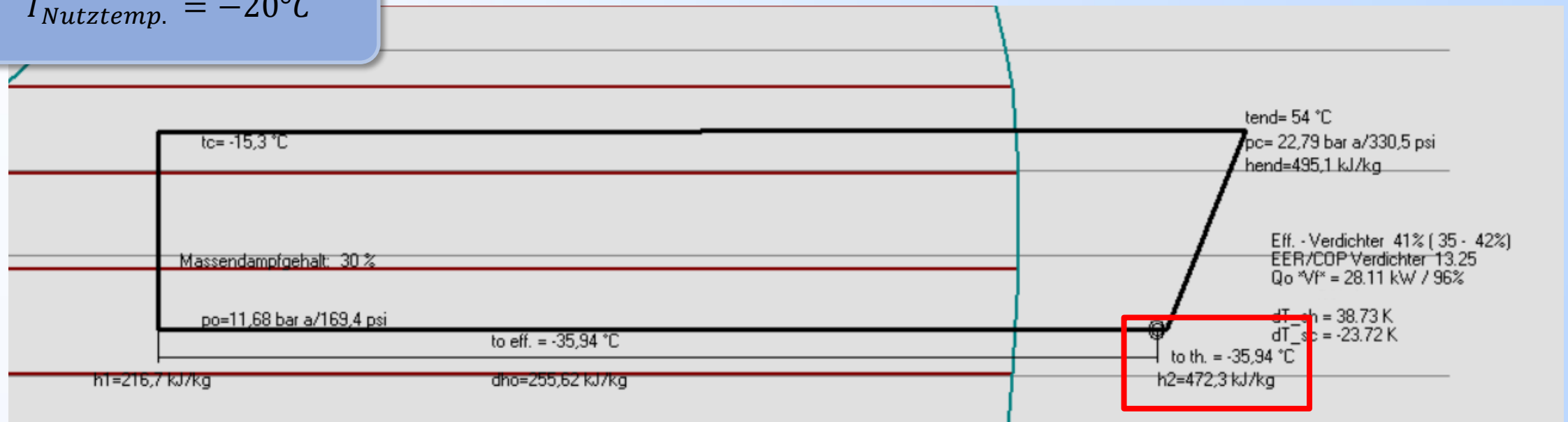
$$T_{\text{ambiente}} = +11^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Nutztemp.}} = +2^{\circ}\text{C}$$



# Läuft mehr als 10% außerhalb des optimalen Bereiches

$$T_{Nutztemp.} = -20^{\circ}\text{C}$$



# Läuft mehr als 10% außerhalb des optimalen Bereiches

## Gemessen

|                          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| Kältemittel:             | R744                        |
| MEPS = 2.58, SEPR = 1,28 | EER Min / Max [ 1.2 / 1.48] |
| Energiekosten:           | .1 €/kWh                    |
| Spez. Emission CO2:      | .55 kg CO2/kWh              |
| Betriebskosten:          | 69095 €/a -- 690955 kWh/a   |
| Emission CO2:            | 380,025 t/a                 |

|                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| Kältemittel:             | R744                         |
| MEPS = 2.09, SEPR = 5,75 | EER Min / Max [ 9.19 / 10.3] |
| Energiekosten:           | .1 €/kWh                     |
| Spez. Emission CO2:      | .55 kg CO2/kWh               |
| Betriebskosten:          | 2263 €/a -- 22632 kWh/a      |
| Emission CO2:            | 12,448 t/a                   |

Σ 713.587 kWh/a

## Optimal

|                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| Kältemittel:             | R744                         |
| MEPS = 2.58, SEPR = 2,54 | EER Min / Max [ 1.14 / 3.69] |
| Energiekosten:           | .1 €/kWh                     |
| Spez. Emission CO2:      | .55 kg CO2/kWh               |
| Betriebskosten:          | 37538 €/a -- 375387 kWh/a    |
| Emission CO2:            | 206,463 t/a                  |

|                         |                              |
|-------------------------|------------------------------|
| Kältemittel:            | R744                         |
| MEPS = 2.09, SEPR = 5,2 | EER Min / Max [ 7.43 / 8.42] |
| Energiekosten:          | .1 €/kWh                     |
| Spez. Emission CO2:     | .55 kg CO2/kWh               |
| Betriebskosten:         | 2502 €/a -- 25029 kWh/a      |
| Emission CO2:           | 13,765 t/a                   |

Σ 400.416 kWh/a

Ersparnis: ca. 43%  
313.171 kWh/a

# Falsch dimensionierte Komponenten

Verflüssiger 10K

Betriebskosten: 583 €/a -- 5832 kWh/a  
Emission CO2: 3,207 t/a

$5832 \text{ kWh/a} \times 0,35\text{€/kWh}$   
 $= 2040,85\text{€/a}$

Listenpreis 1 667,00 EUR  
Zubehör 0,00 EUR  
Lieferzeit 4 Wochen

Verflüssiger 7K

Betriebskosten: 552 €/a -- 5528 kWh/a  
Emission CO2: 3,04 t/a

$5528 \text{ kWh/a} \times 0,35\text{€/kWh}$   
 $= 1934,80\text{€/a}$

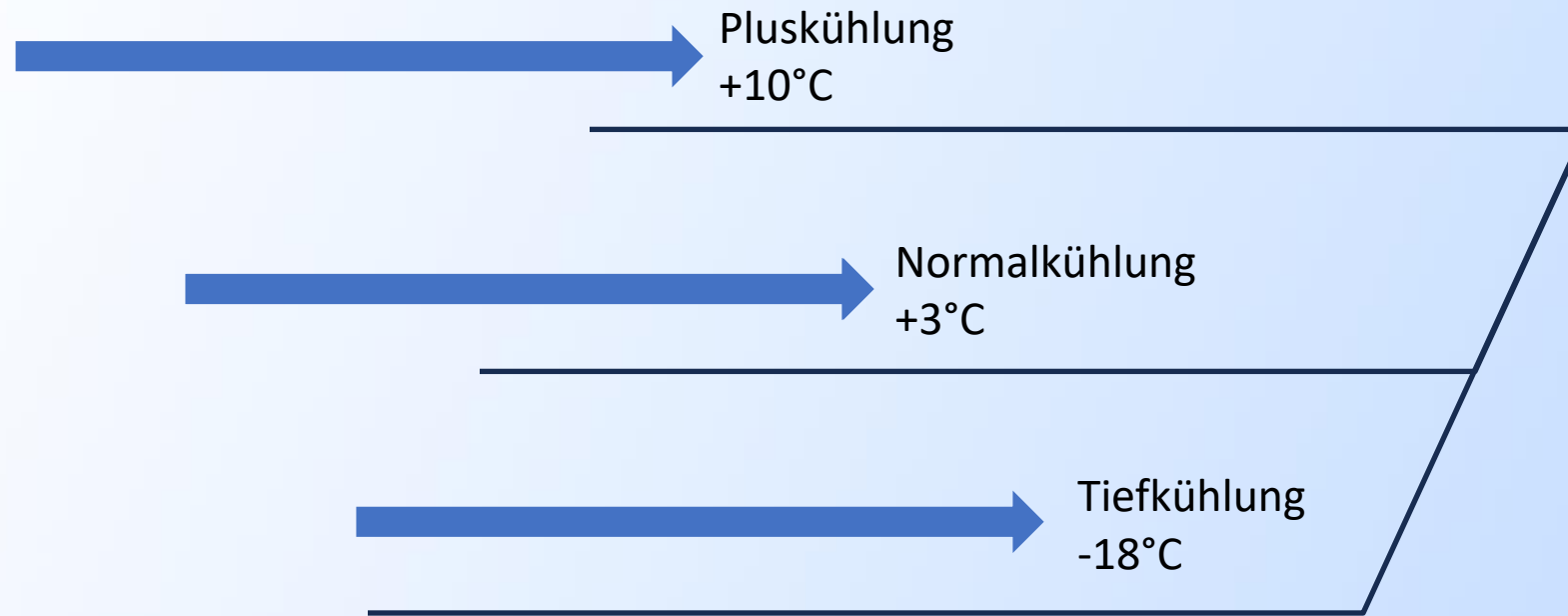
Listenpreis 1 840,00 EUR  
Zubehör 0,00 EUR  
Lieferzeit 4 Wochen

Differenz:  
106,05€

Preisunterschied 173€

Amortisation:  
<2 Jahre

# Keine getrennten Kreisläufe



Je tiefer die Verdampfung  
desto höher der  
Energiebedarf.

# Wie plane ich eine effiziente Anlage

