

Die globale Herausforderung – wie senken wir die CO₂-Emissionen?

Referent: Prof. Dr.-Ing. Martin Freitag
Vortrag in Fischbach, 15.7.2021

- 1 Globale Klimaerwärmung
- 2 Kurze Analyse des Istzustandes
- 3 CO₂-Reduktionspotenziale
 - 3.1 Energieträger und ihre CO₂-Emissionen
 - 3.2 Wirkungsgrade der Energiewandlungen
- 4 Fokus: Regenerative Energieträger
- 5 Vorschlag: Sanfter Übergang zu weniger CO₂-Emissionen

1 Globale Klimaerwärmung

Ein paar Fragen vorab

Istzustand

Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050

Ist die globale Erwärmung (Klimawandel) Tatsache?

Ja, das merkt jeder selbst, Nachweis ist zudem durch Messungen erfolgt

Ist die Klimaerwärmung durch Treibhausgase verursacht?

Ja. CO₂-Anteil wächst, kann man messen. Kausalzusammenhang erkenn- und erklärbar

Wenn es so weitergeht...

ist zu erwarten:

- Neue Wetter-Phänomene (Starkregen, Tornados,...)
 - Albedo geht zurück
 - Meeresspiegel steigen an
 - Luft- und Meeresströmungen ändern sich (El Nino, Golfstrom?)
 - Permafrostböden tauen
 - Polkappen und Gletscher schmelzen ab
 - CO₂ wird in warmen Ozeanen weniger gelöst
 - Methanhydroxid wird frei ...
- viele nichtlineare, selbstverstärkende Effekte

Treibhauseffekt

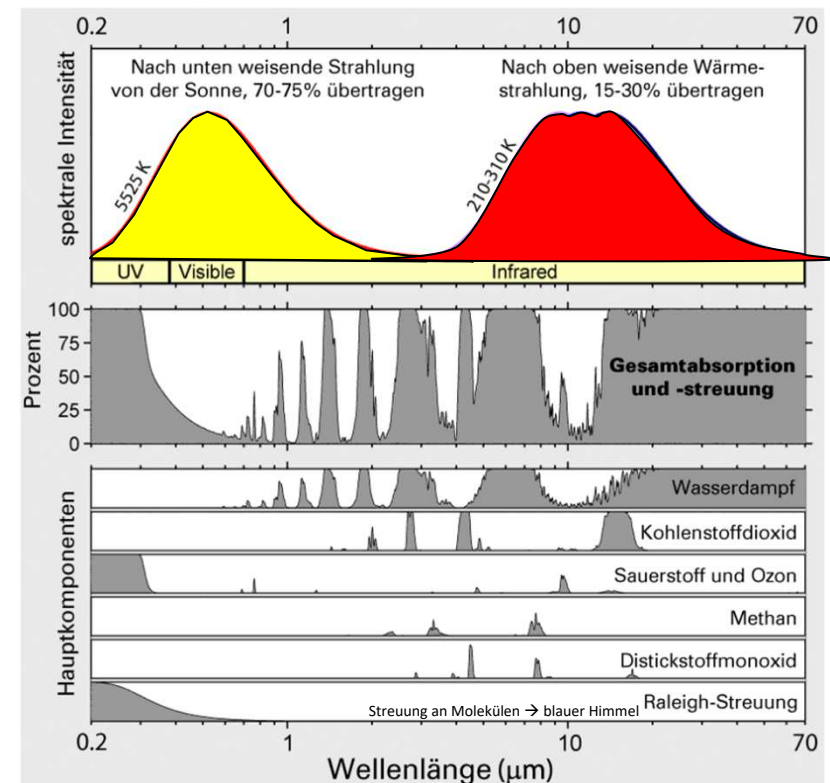
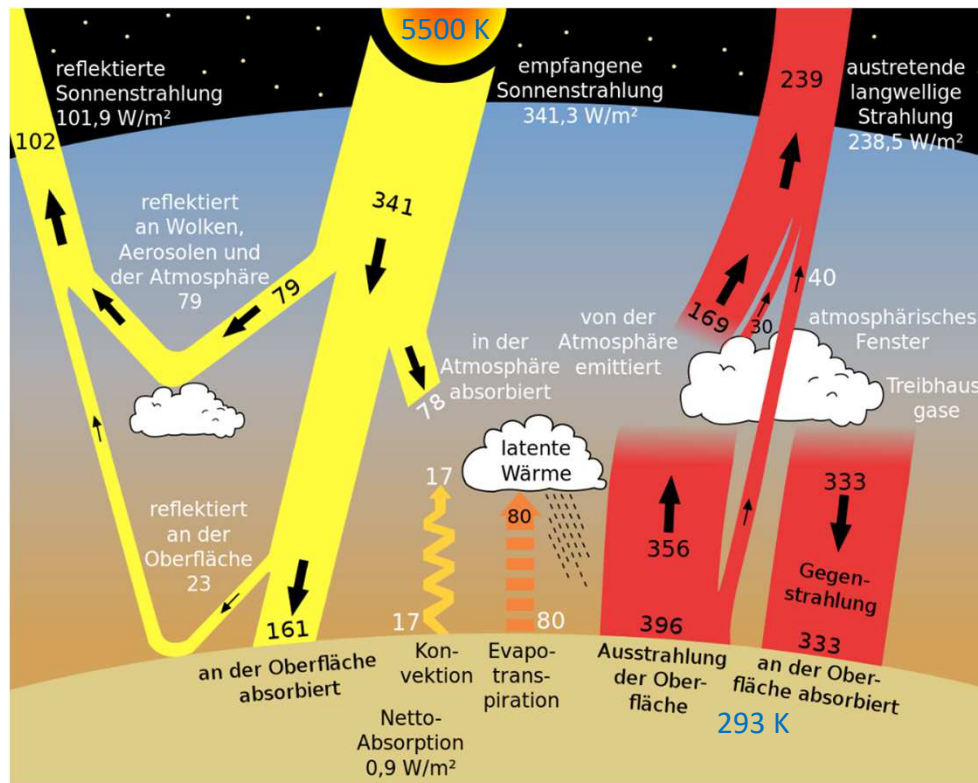
Istzustand

Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050

- Sonne sendet elektromagnetische Strahlung entspr. ihrer Oberflächentemperatur (gelb)
- Erdoberfläche strahlt mit ihrer Oberflächentemperatur im Infrarotbereich (rot) zurück
- diese Infrarotstrahlung regt große Moleküle (H₂O, CO₂, CH₄, N₂O) zum Schwingen an
- Absorption der Infrarotstrahlung bei best. Frequenzen
- Temperatur steigt



[https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt#/media/Datei:Sun_climate_system_alternative_\(German\)_2008.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt#/media/Datei:Sun_climate_system_alternative_(German)_2008.svg)

12.11.19

Erwärmung und CO₂-Konzentration in der Atmosphäre

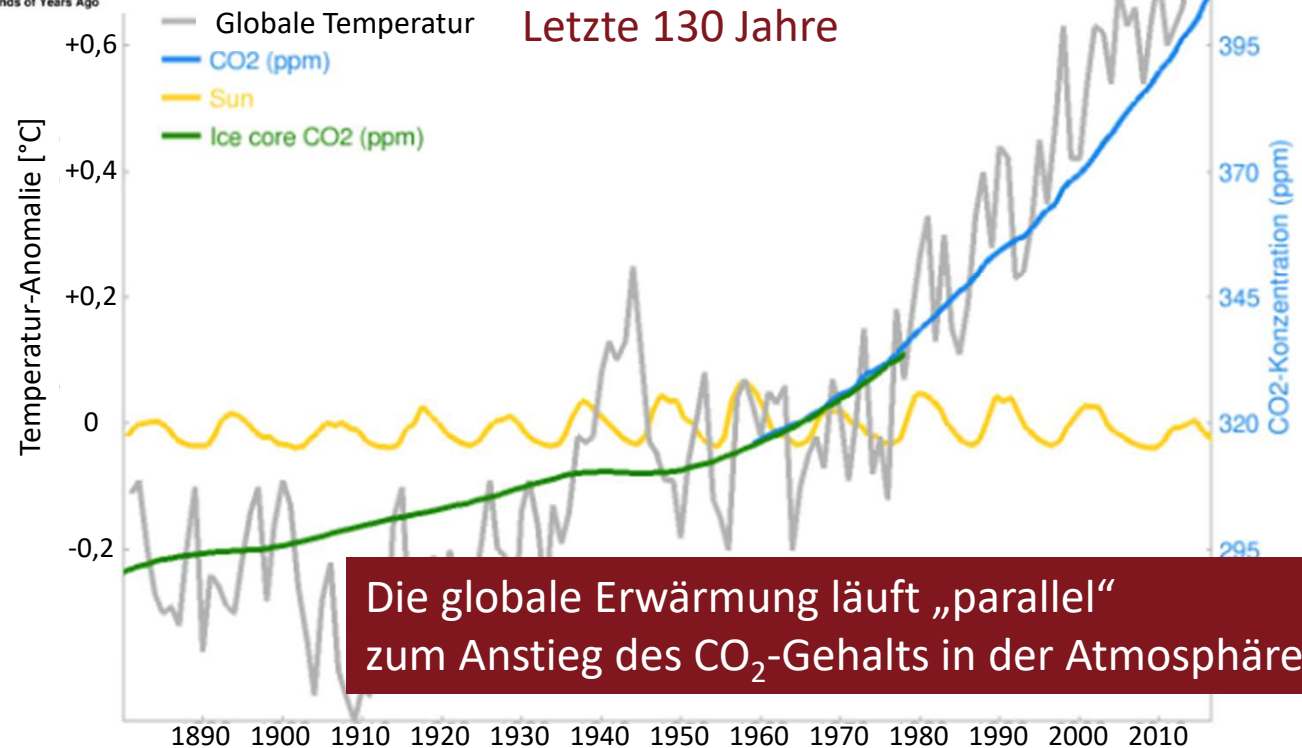
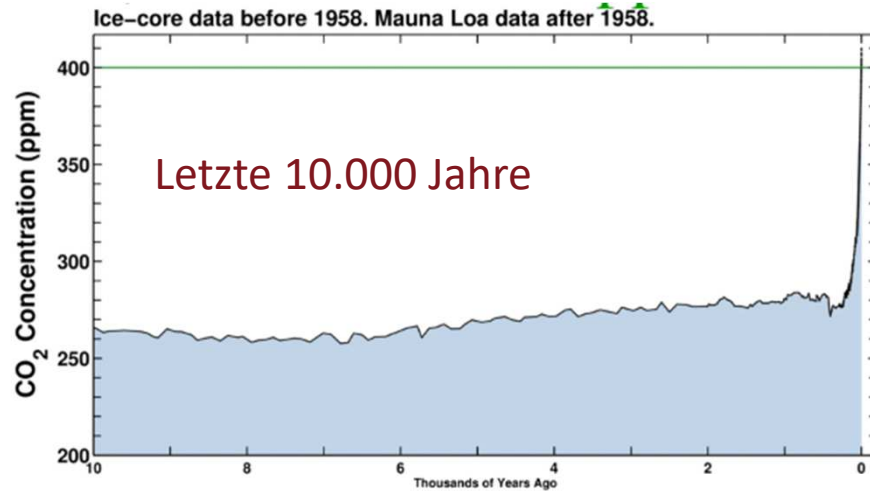
Istzustand

Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050

Was kann man glauben?



Die globale Erwärmung läuft „parallel“
zum Anstieg des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre

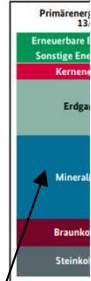
2 Analyse des Istzustandes

Energieflussbild Deutschland 2019, detailliert

Istzustand | Verursacher und Nutzer | Regenerative Energien | Speicherproblematik | Wie geht es weiter? | Was kann man glauben?

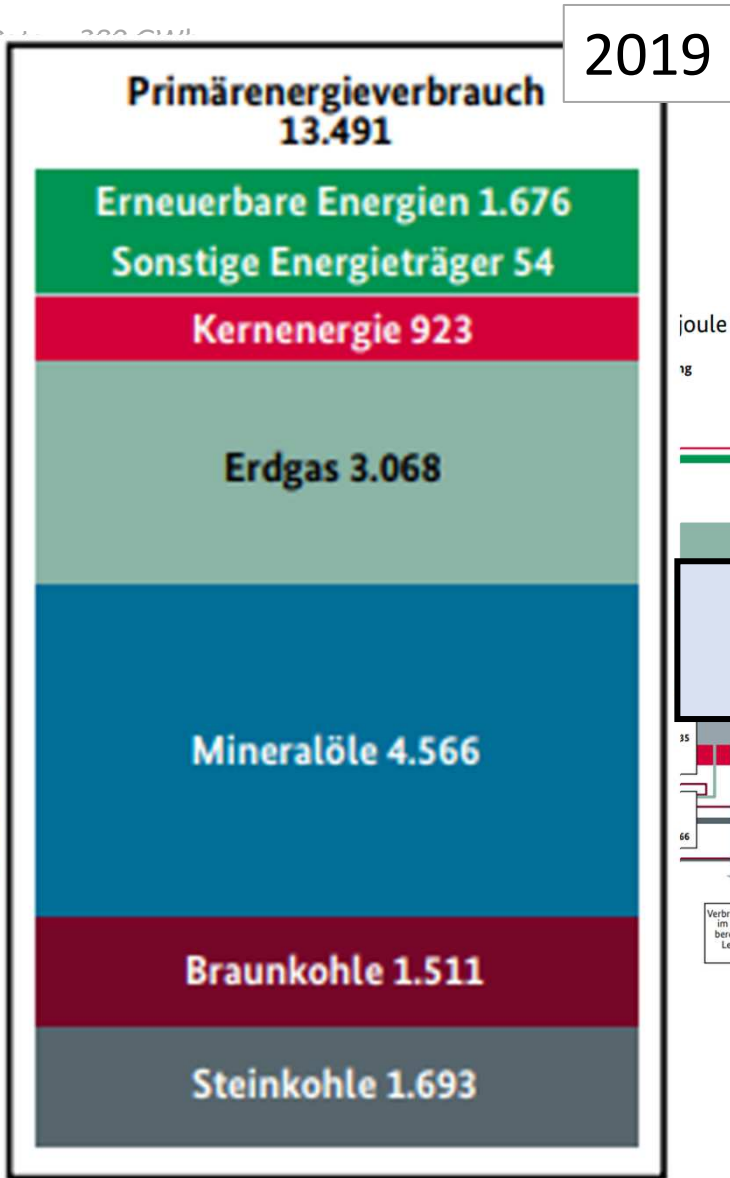
1 PJ 10¹⁵ J
 1TJ 10¹² J
 1 GJ 10⁹ J
 1 MJ 10⁶ J
 1 kJ 10³ J
 1 J 1 Nm

Energief



* 1 Mio. t SK
 Abweichung
 Der Anteil d
 Quelle: AG E

D: nur ca. 6% davo



Branchen) sionen!

CO₂-Emissionen in Deutschland 2018

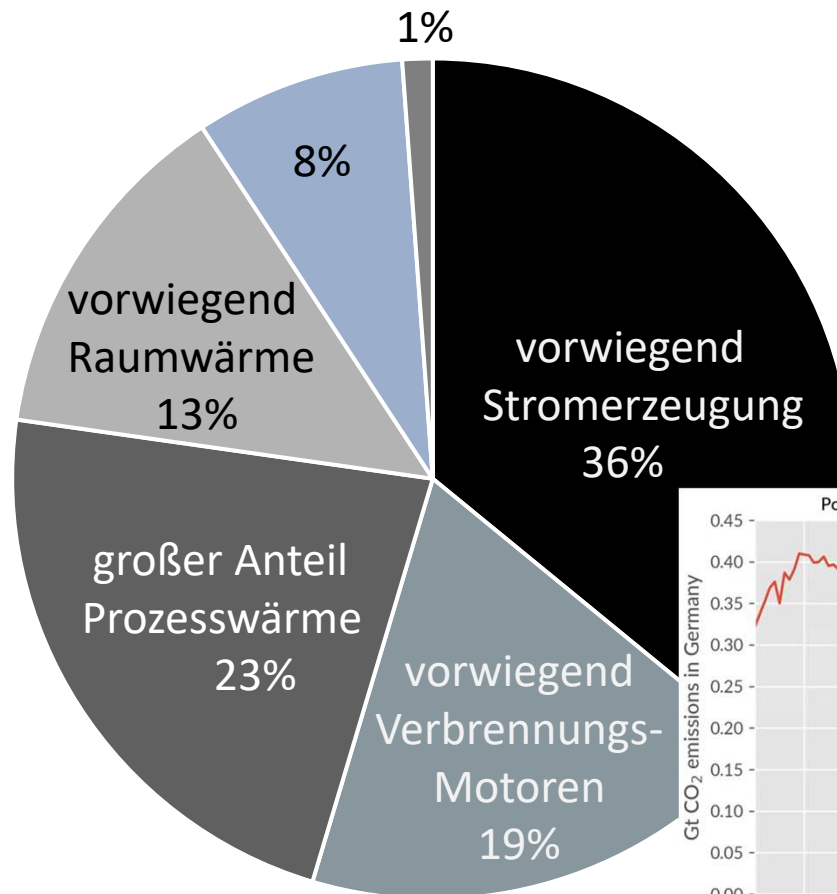
Istzustand

Reduktionspotenziale

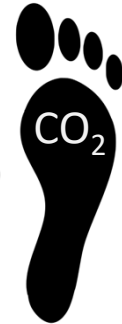
Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050

CO₂-Emissionen nach Verursacher (Summe: 753 Mio. t)

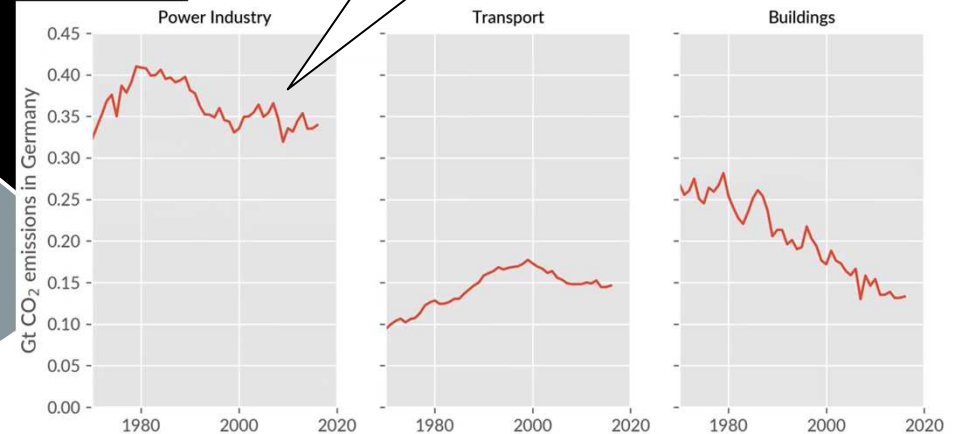


4-Personen-Haushalt in D,
Einfamilienhaus
Strom: 5,4 t/a (Braunkohle)
Wärme: 0,4...3 t/a
 (Passivhaus ... Baujahr 1975)
 Mobilität: 3 t/a
 (20000 km mit 150 g/km)
Summe: 8,8...14,4 t/a



CO₂-Footprint

CO₂-Reduktion:
 Priö 1 bei der
 Stromerzeugung



■ Energiewirtschaft ■ Verkehr ■ Industrie ■ Gebäude ■ Landwirtschaft ■ Sonstiges

Wieviel ist eine kWh?

Istzustand

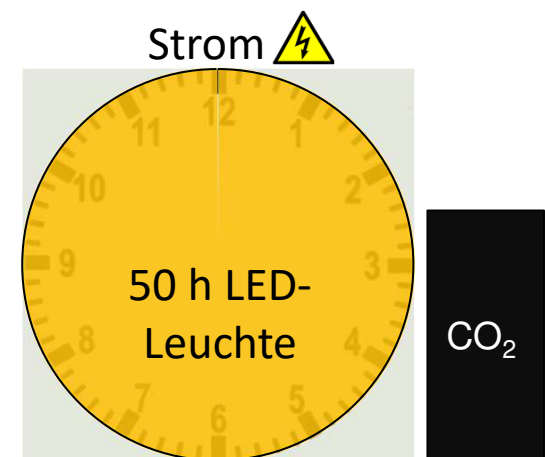
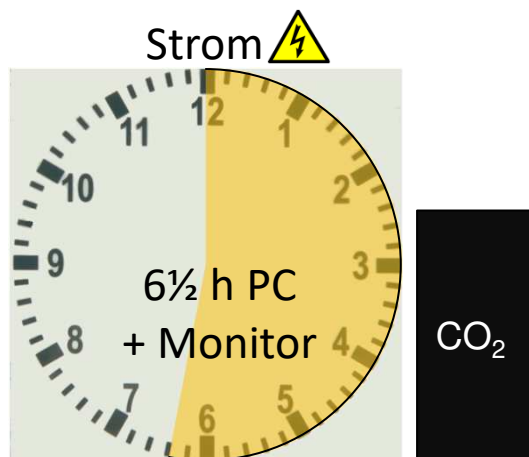
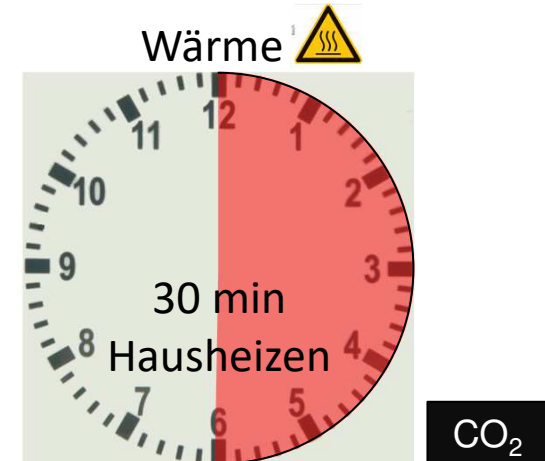
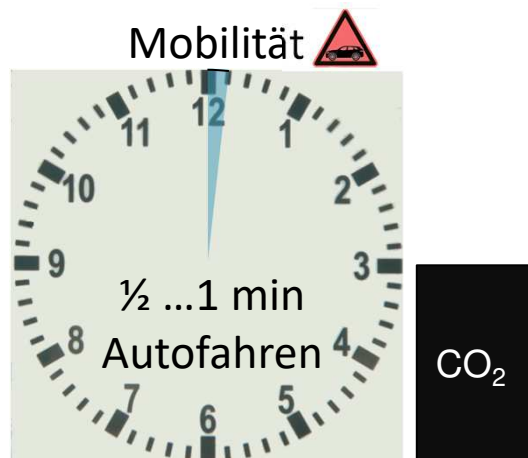
Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050

$$1kWh = \frac{1kJ \cdot h}{s} = \frac{1kJ \cdot h \cdot 3600s}{s \cdot h} = 3600kJ = 3,6MJ$$

knapp 6 Stunden Ergometer-Fahren bei 170 W



CO₂-Emissionen bei Stromerzeugung mit Kohle-Großkraftwerk

nach <http://www.stmwvt.bayern.de>

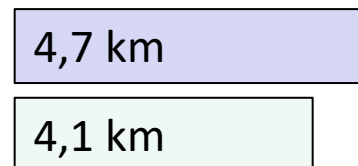
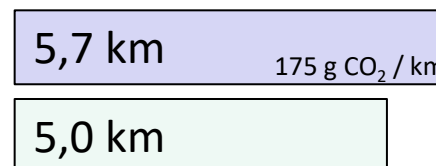
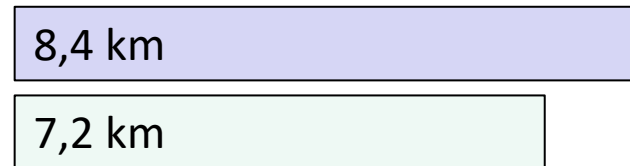
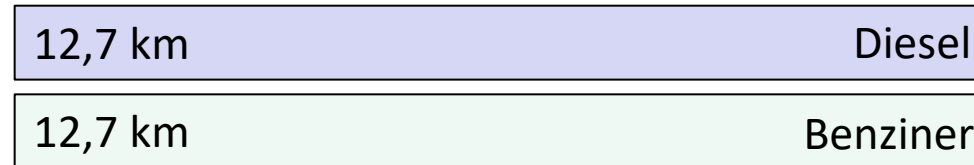
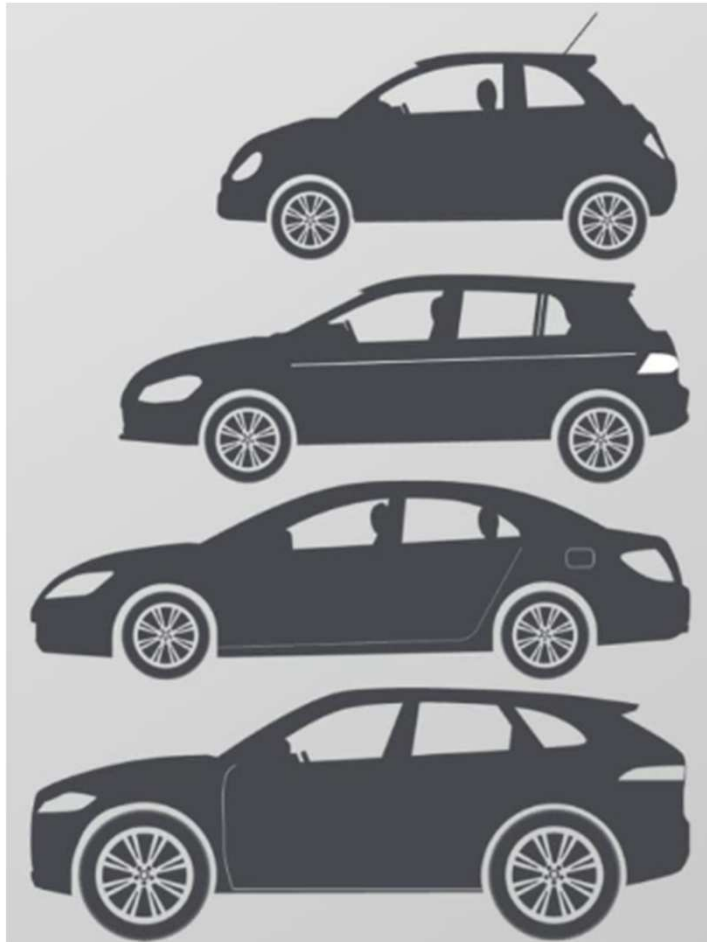
Wieviel ist 1kg CO₂?

Istzustand

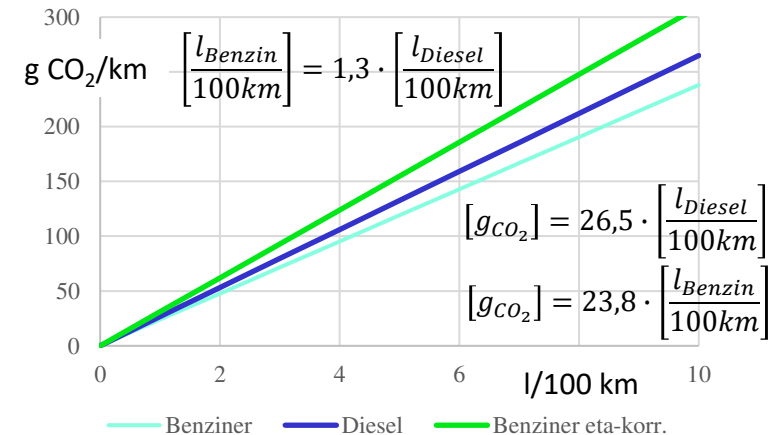
Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050



CO₂-Emissionen in g/km über Verbrauch



3 CO₂-Reduktionspotenziale

sparen!

Gesellschaft: immer mehr
spaß- und lustbetonte Ichlinge
Wirtschaft: ausschließlich profitorientiert
Kultur: Verschwörungstheorien
und Ignoranz verbunden mit
unsachlicher und falscher Argumentation

→ sparen - das wird ein schwerer Weg...

3.1 Energieträger und ihre CO₂-Emissionen

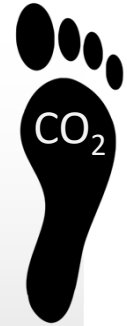
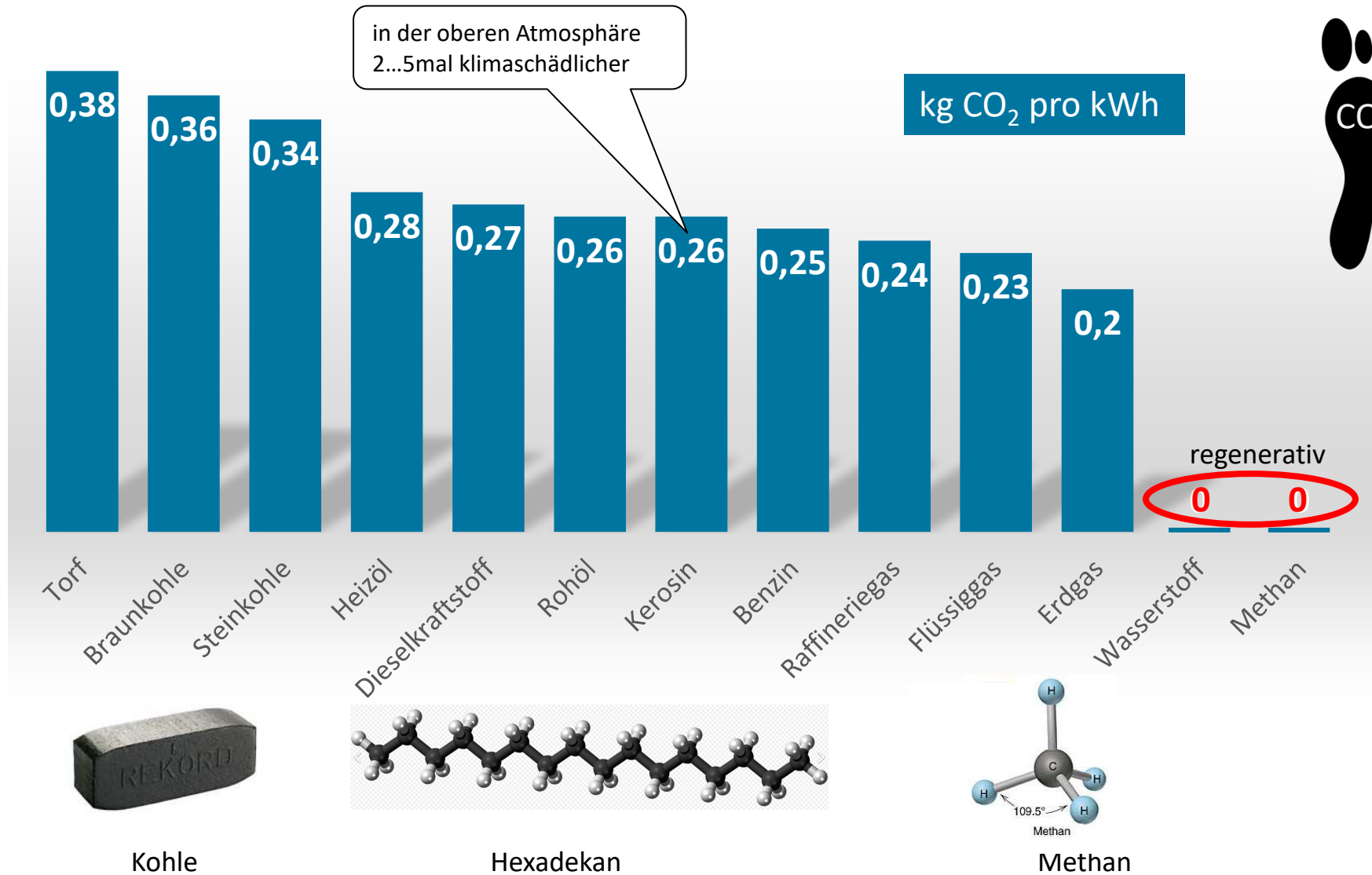
1 kWh → CO₂-Emissionen: Verschiedene Brennstoffe

Istzustand

Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050



Quelle: Fachbuch Regenerative Energiesysteme

3.2 Wirkungsgrade der Energiewandlungen

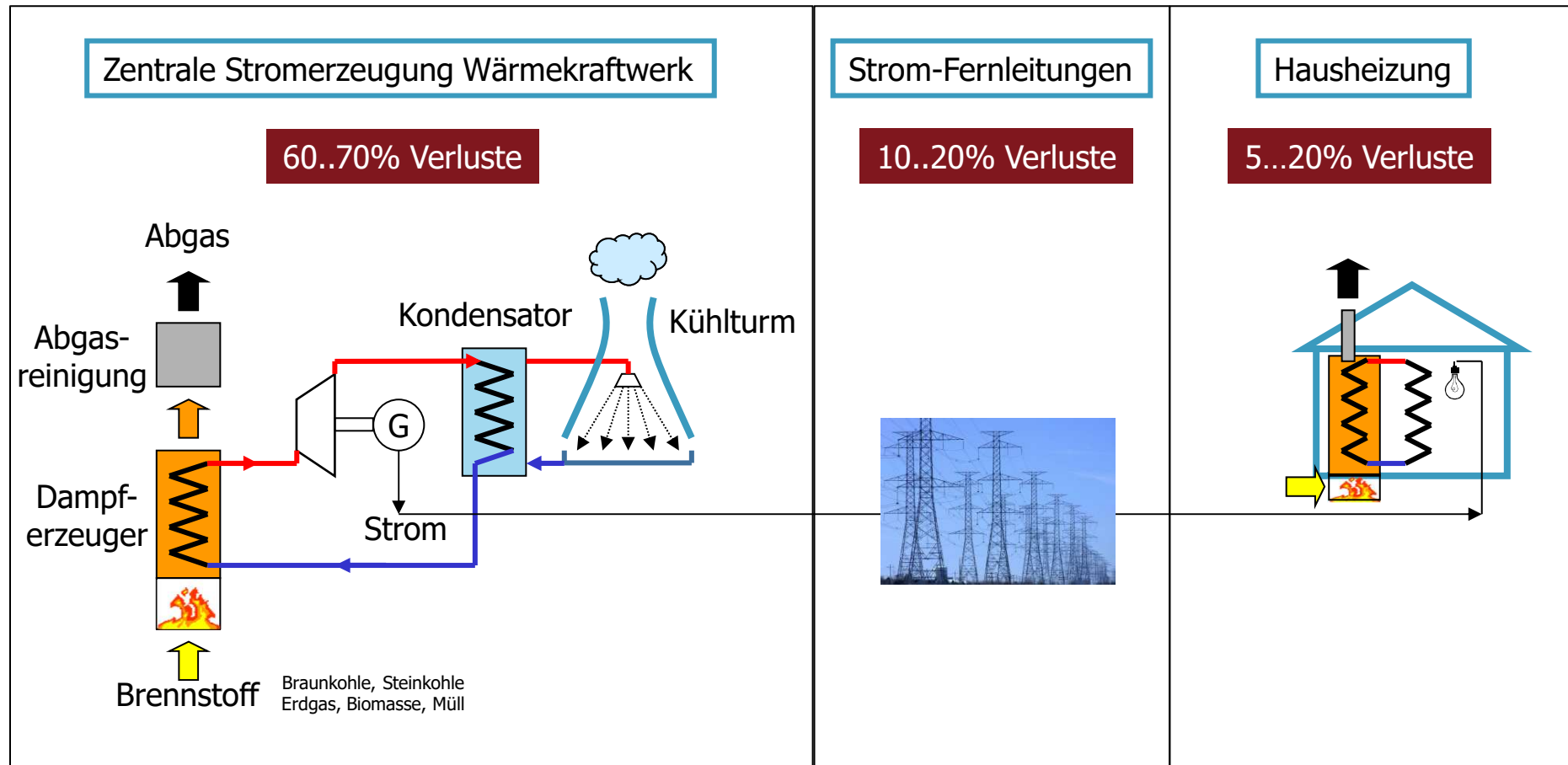
Zentrale Stromerzeugung mit Kohlekraftwerk, konventionell

Istzustand

Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050



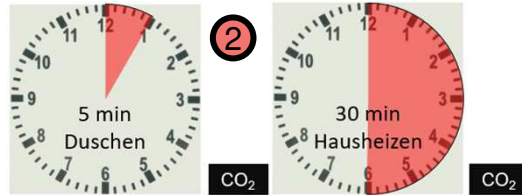
1 kWh → CO₂-Emissionen: Brennstoffe und Wirkungsgrade

Istzustand Reduktionspotenziale Regenerative Energien CO₂-Neutralität 2050

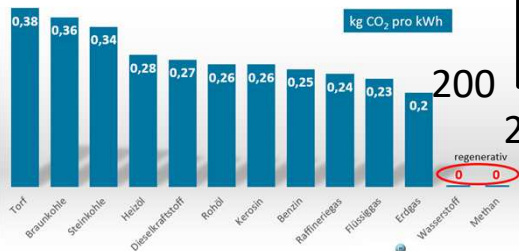
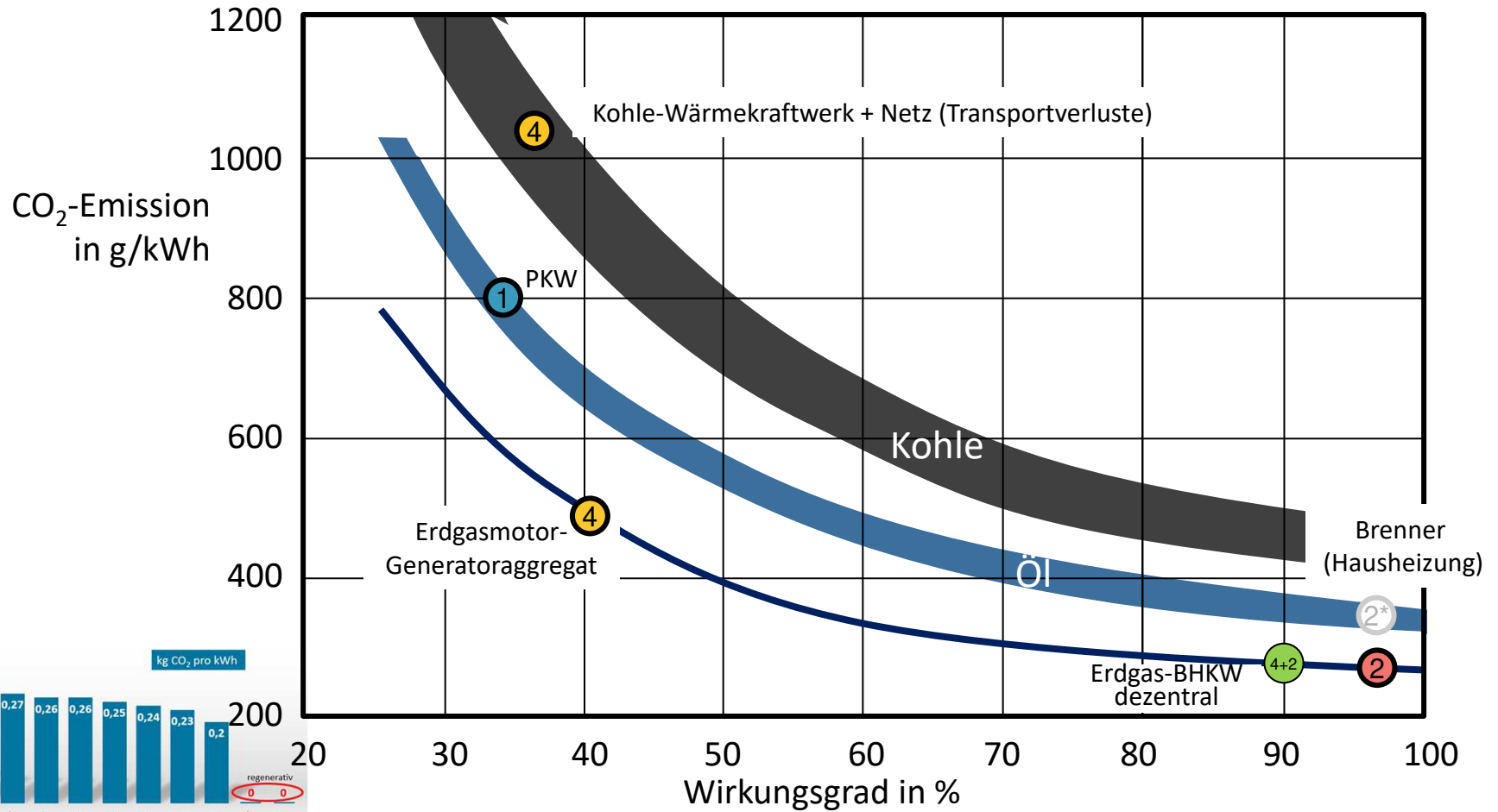
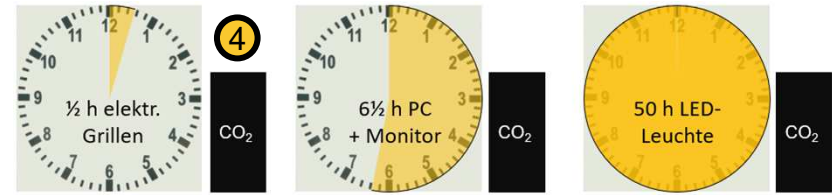
Mobilität



Wärme



Strom



nach: TUM, Lehrstuhl Energiesysteme, Prof. Spielhoff

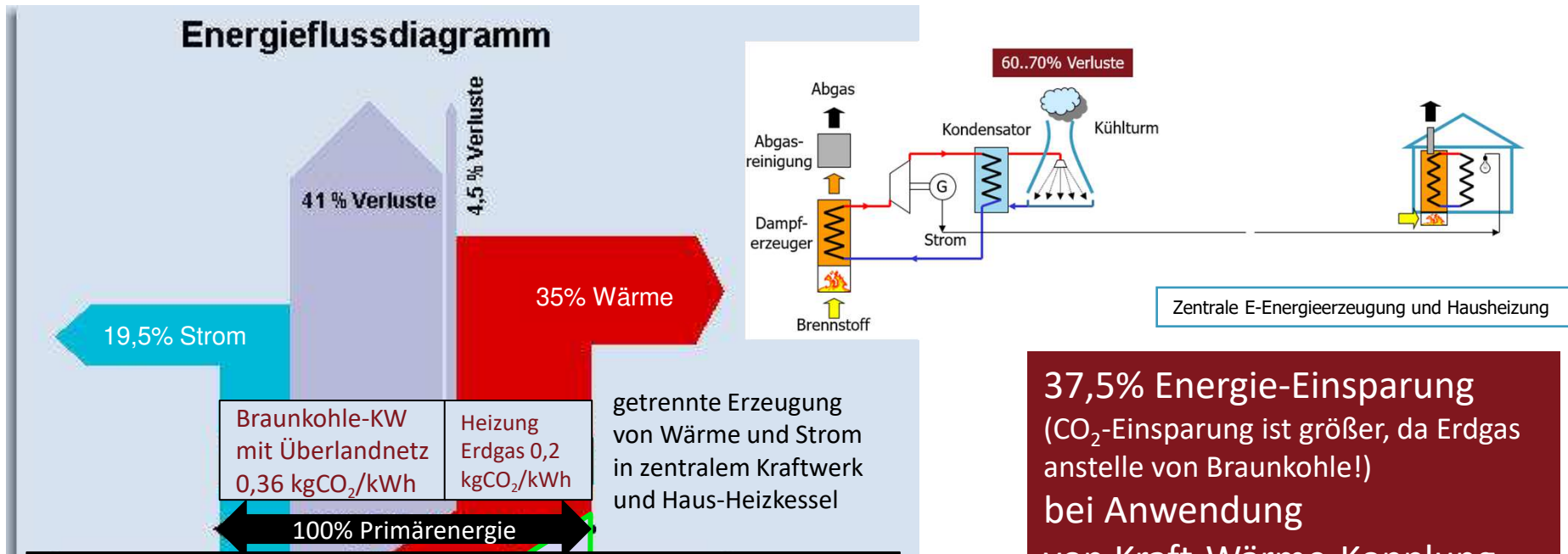
BHKW – CO₂-Reduzierung mit Kraft-Wärme-Kopplung

Istzustand

Reduktionspotenziale

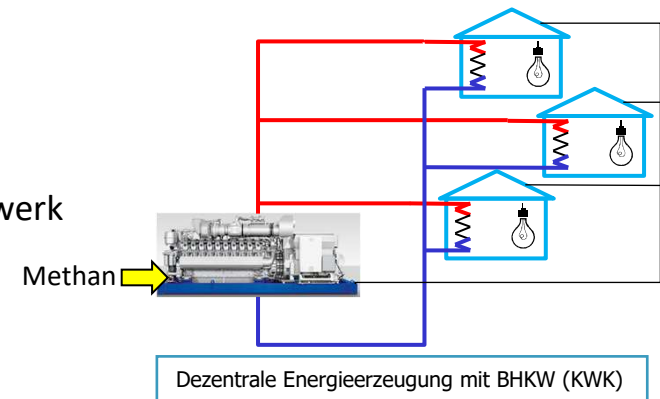
Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050



37,5% Energie-Einsparung
(CO₂-Einsparung ist größer, da Erdgas anstelle von Braunkohle!)
bei Anwendung von Kraft-Wärme-Kopplung (dezentrales Erdgas-BHKW)

Kein zentrales Kraftwerk



4 Fokus: Regenerative Energieträger

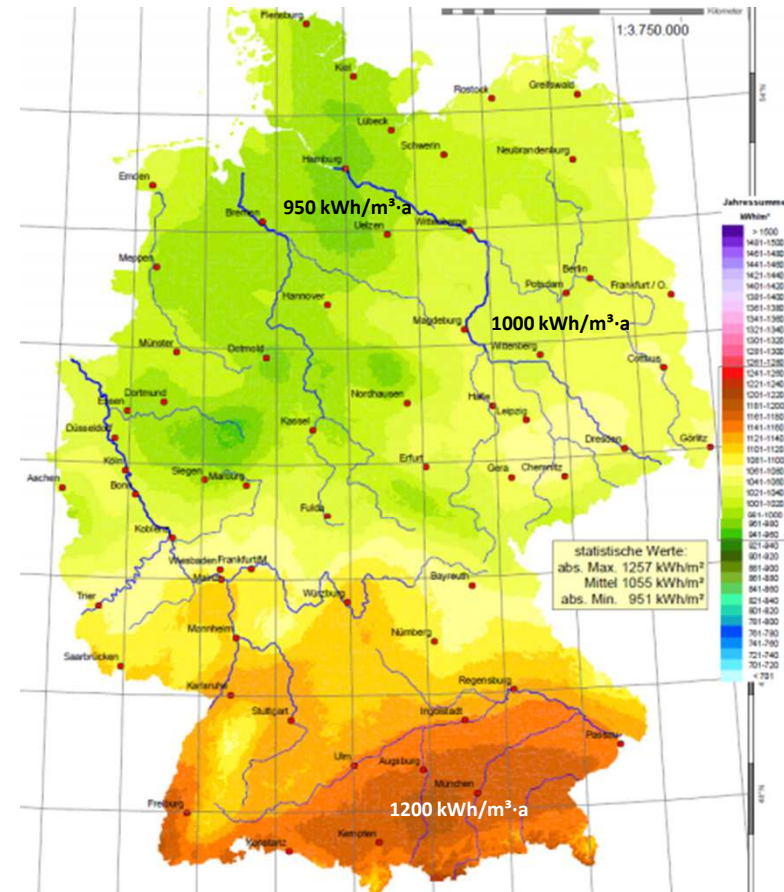
Verteilung Wind und Sonne in Deutschland

Istzustand

Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050



nur im Norden effektiv, da Wind: $P \sim w^3$

im Süden 1200 kWh/m²·a (Durchschnitt 1055 kWh/m²·a)

Wind- und Solarstromerzeugung in TWh (2016 - 2018)

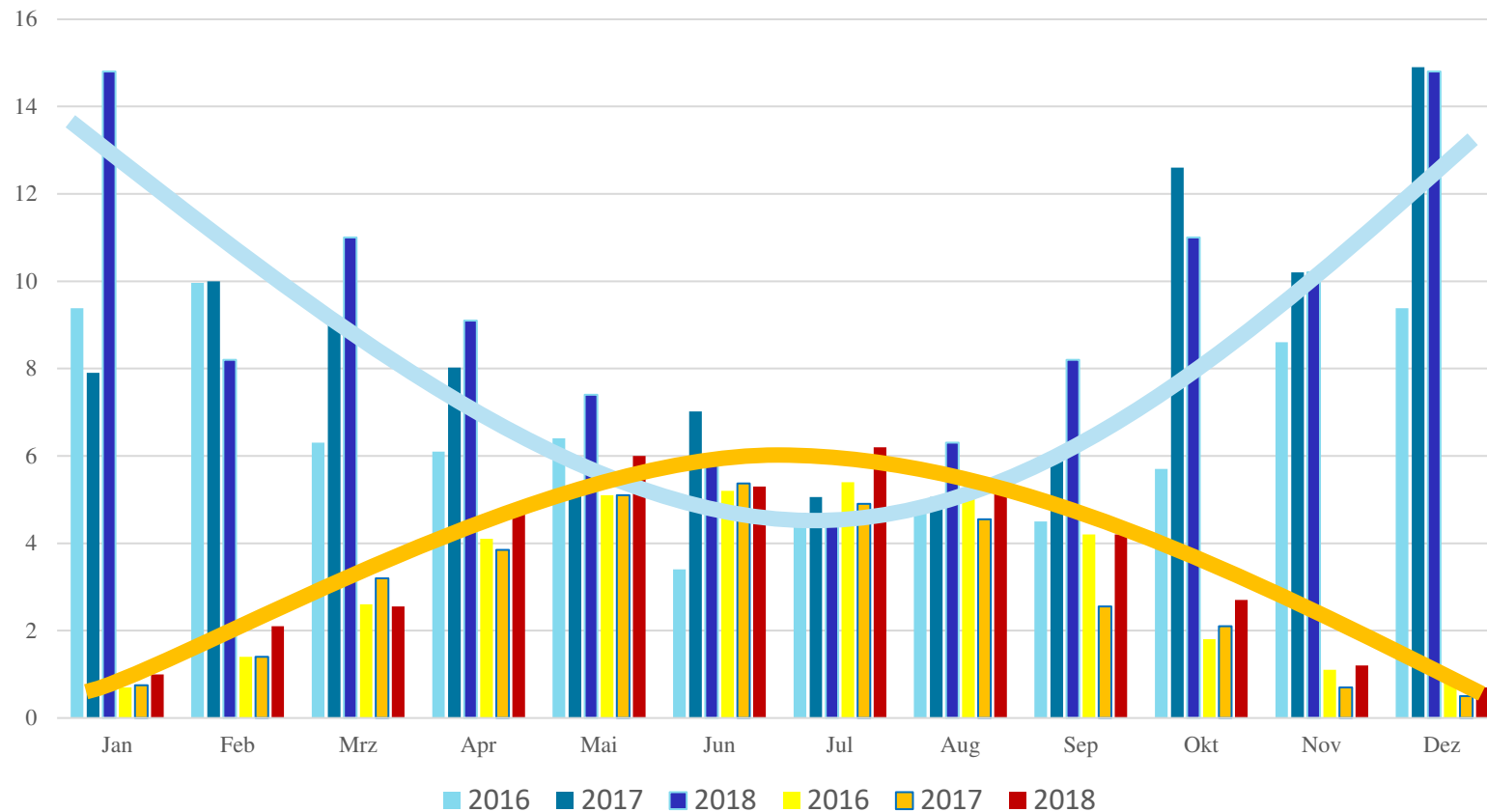
Istzustand

Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050

Wind- und Solarstromerzeugung (monatli.) Deutschland in TWh

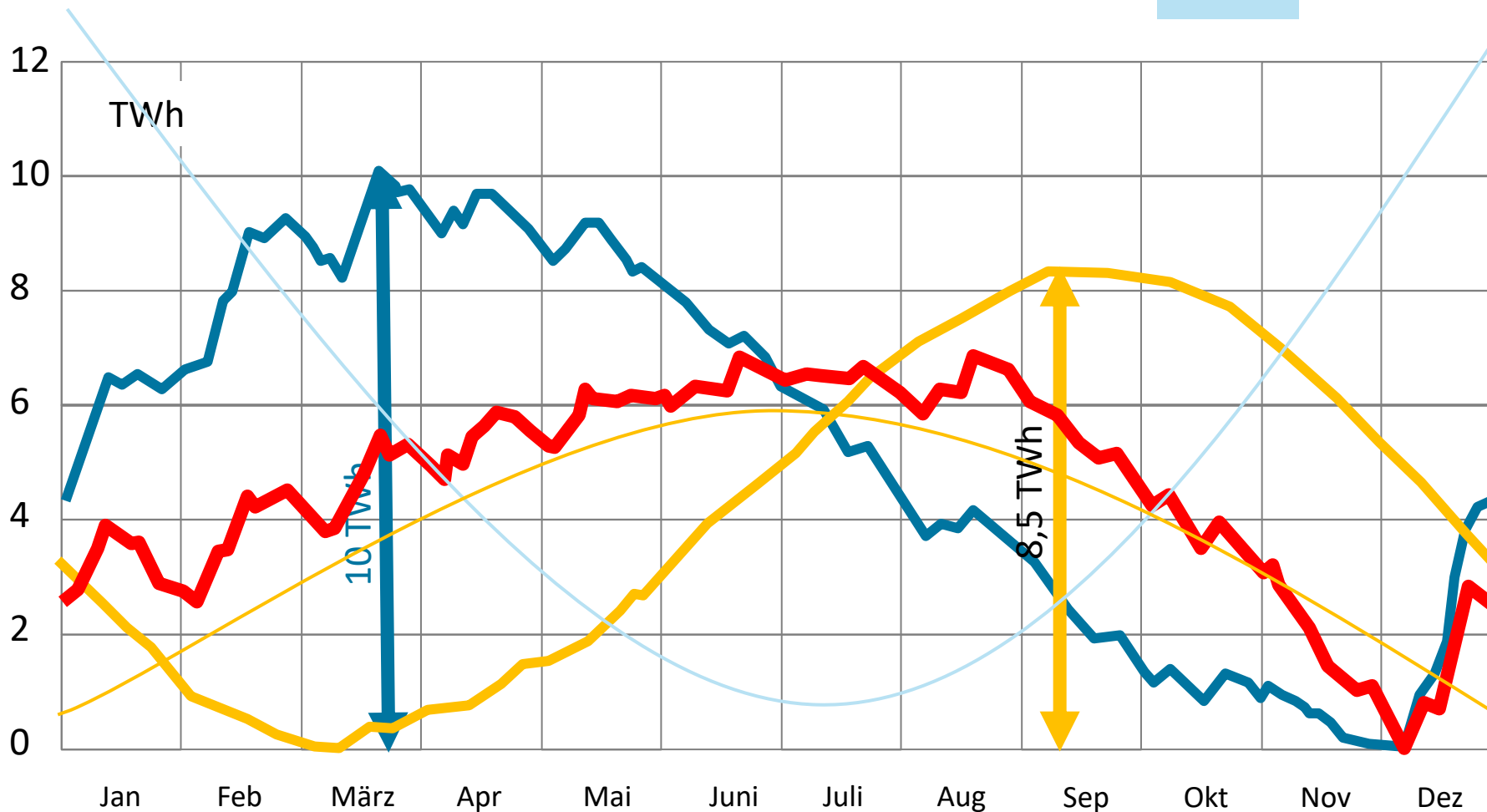


Blautöne: Wind
Rottöne: Sonne

Quantifizierung des Zwischenspeicherungsbedarfs (1)

Istzustand | Reduktionspotenziale | Regenerative Energien | CO₂-Neutralität 2050

2014



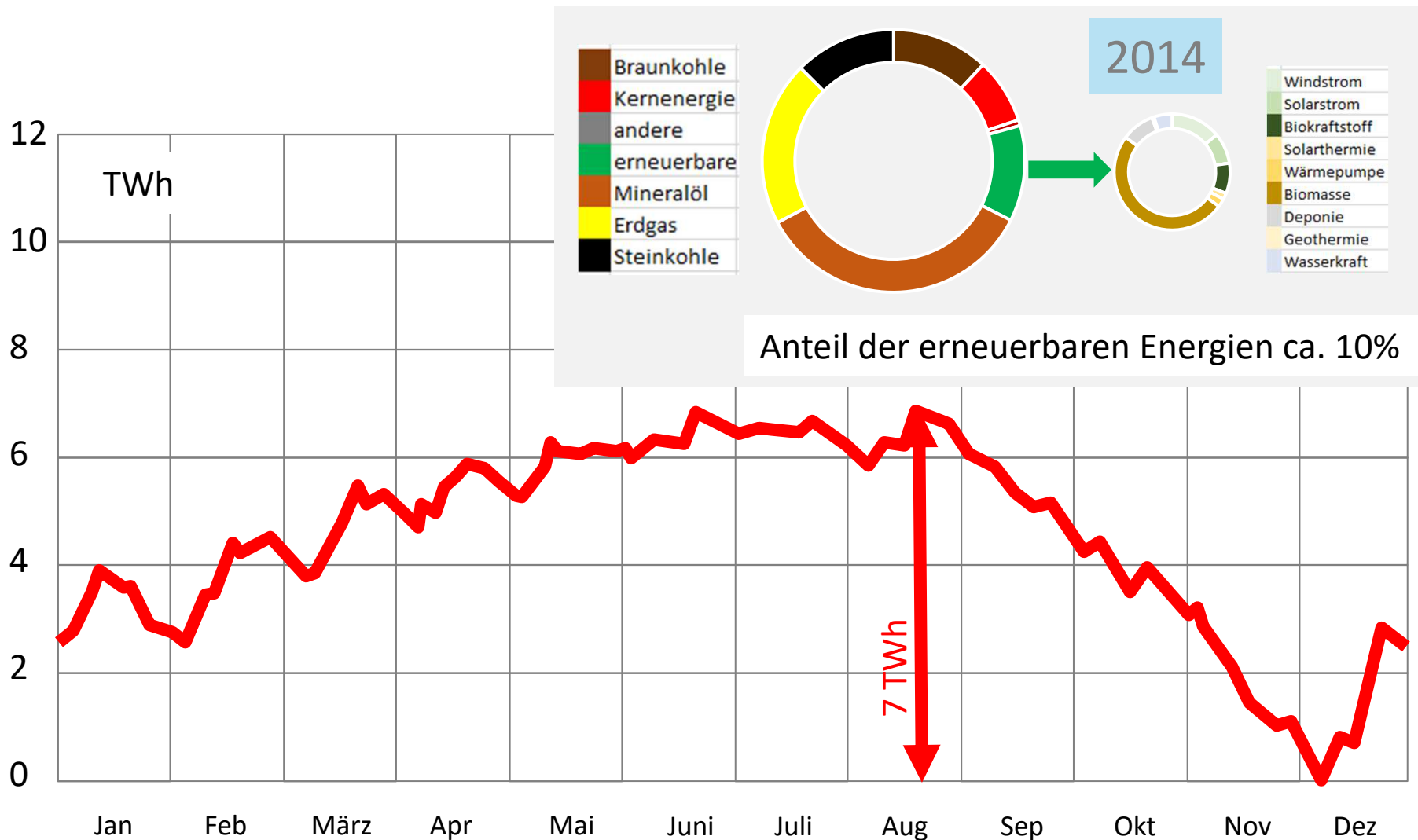
Quantifizierung des Zwischenspeicherungsbedarfs (2)

Istzustand

Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050



2014: Wir brauchen Speicherkapazität für ca. 7 TWh

Buffering volatility: A study on the limits of Germany's energy revolution, H. W. Sinn

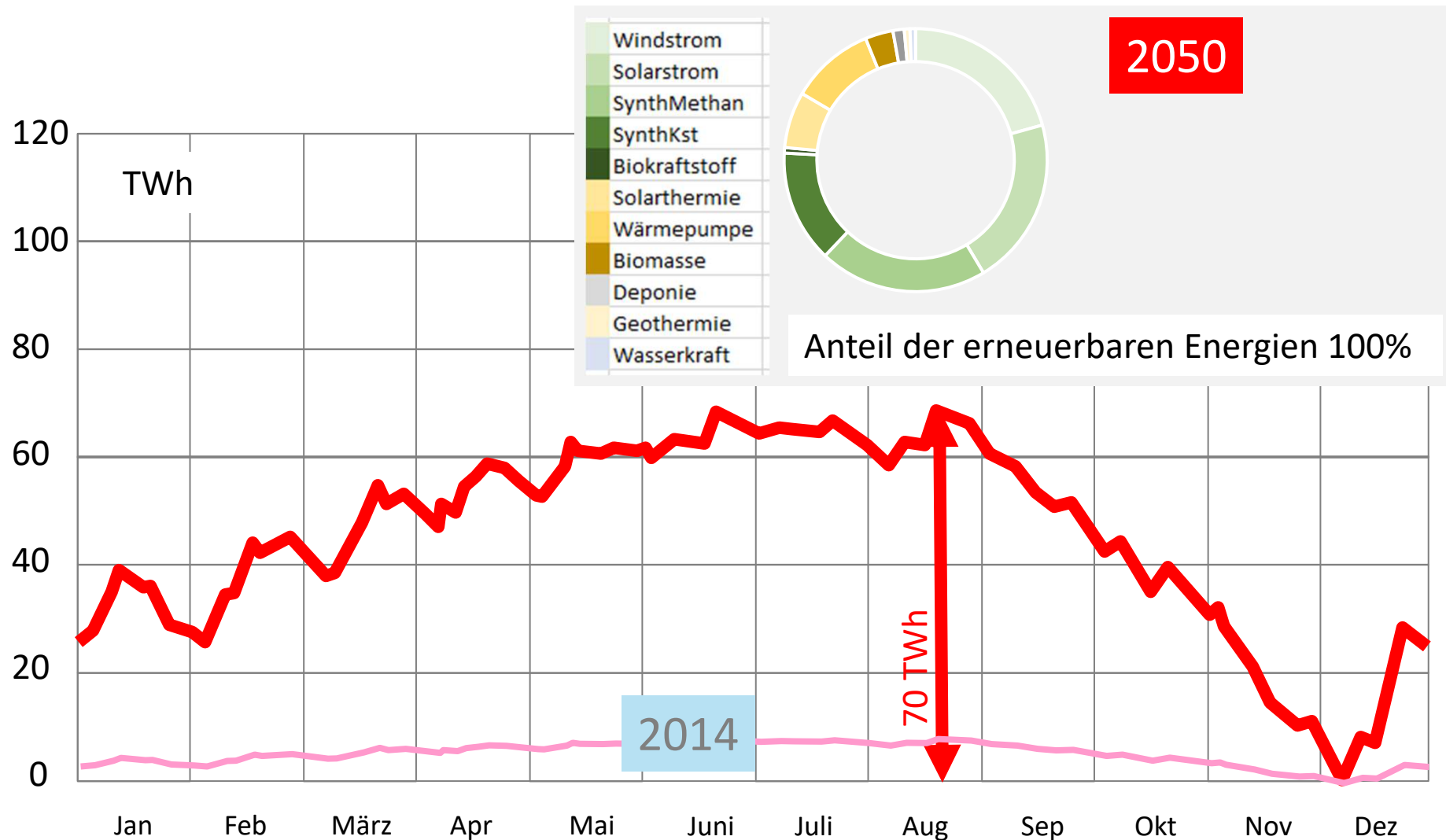
Quantifizierung des Zwischenspeicherungsbedarfs [Faktor 10] (3)

Istzustand

Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050



2045: Wir brauchen Speicherkapazität für ca. 70 TWh

5 Vorschlag: Sanfter Übergang zu weniger CO₂-Emissionen

Energiespeicherung – Check der technischen Lösungsmöglichkeiten

Istzustand

Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050



Speicherung von „grünem Strom“ 70 TWh → 70.000 GWh → 70.000.000 MWh:

Pumpspeicherkraftwerk	0,0014 kWh/kg _{H₂O}	durchschn. 1 GWh / Oberbecken (größtes in D mit 8,4 GWh)	70000 Kraftwerke	Strom→Oberbecken: 80..90% Oberbecken→Strom: 80..90%
E-Autos mit Li-Akkus	0,3 kWh/kg	150 kWh (500kg-Akku pro Auto)	460 Mio E-Autos	Strom→Akku: 95% (?) Akku→ Strom: 95% (?)
Zukunfts-Akku-Speicher	1 kWh/kg (very advanced)	Akkumulatoren in verschied. Größen (Haus, Großanlage)	ggf. 70 Mio t Lithium (90% d. Weltvork.)	Strom→Akku: 95% (?) Akku→ Strom: 95% (?)
Wasserstoffspeicher	3 kWh/m ³ 210 kWh/m ³ (70 bar)	H ₂ -Netz u. Speicher nicht vorh. 10% H ₂ im Erdgasnetz möglich	1 Netz + Speicher	Strom→H ₂ : 60...80% H ₂ →Strom: 50..70% (PEM)
Erdgasnetz + Speicher	13,9 kWh/kg 700 kWh/m ³ (70 bar)	47 Speicher (250 bar), 230 TWh + Leitungen 130 TWh	1 Netz + Speicher	Power to Gas: 50..75% *) Gas→Strom: 40% mit Wärme 95%
Biogas-Speicher	13,9 kWh/kg 9,97 kWh/m ³ (30 mbar)	5 MWh pro Tank mit 500 m ³	14 Mio Speicher	Power to Gas: 50..75% *) Gas→Strom: 40% mit Wärme 95%
Methanol-Tanks	5,6 kWh/kg (12 MJ/kg)	13,3 GWh pro Tank mit 3000 m ³	5260 Tanks	Power to Fuel: 40..60% (?) Fuel to Mobility: 25..35%

*) Die Angaben von „nur 20...30% Wirkungsgrad“ beziehen sich hier allein auf die „Rückgewinnung“ von E-Energie, die KWK wird meist vergessen

Sinnvolle Übergangstechniken

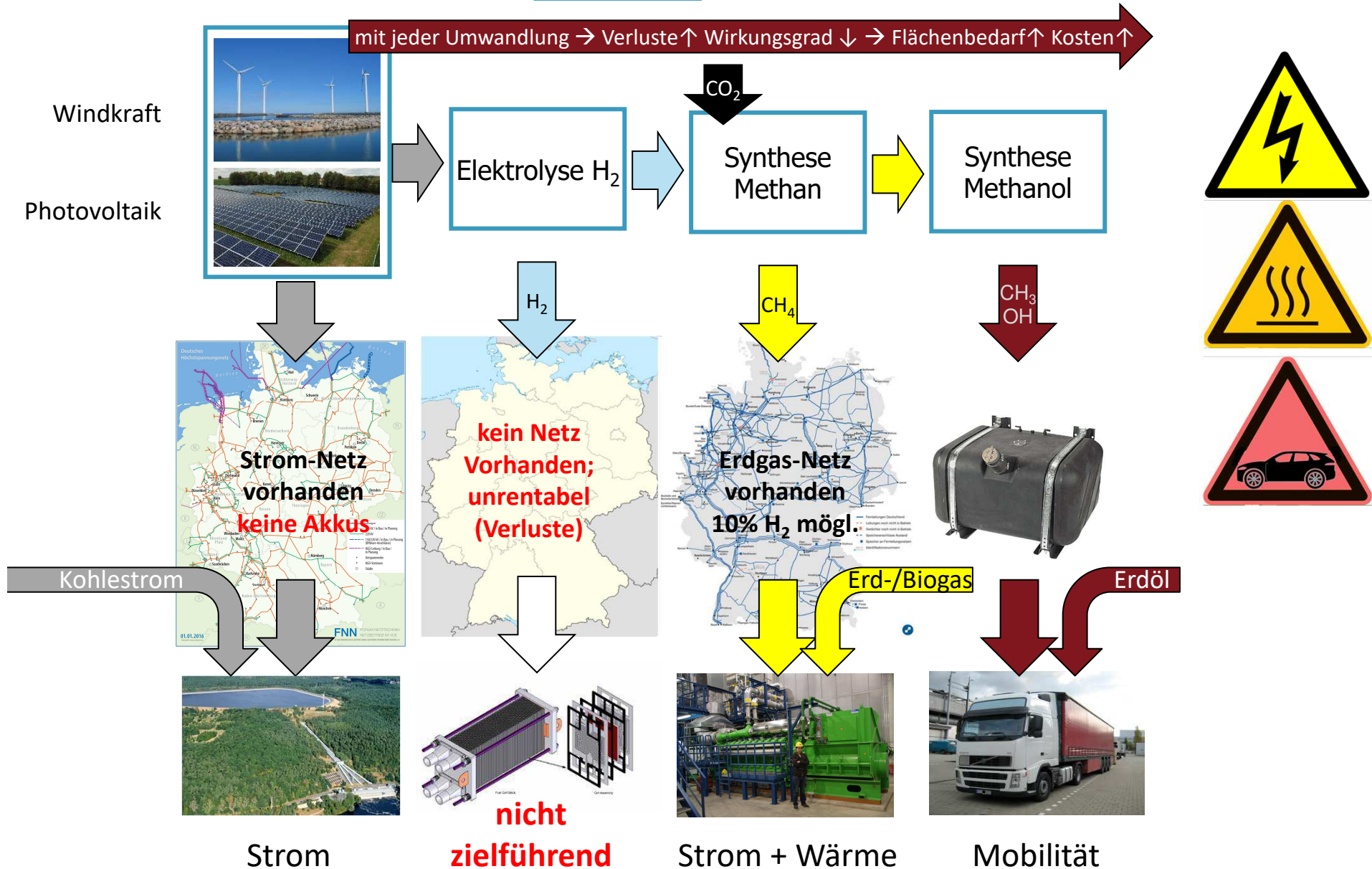
Istzustand

Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

Technischer Fortschritt

mit jeder Umwandlung → Verluste ↑ Wirkungsgrad ↓ → Flächenbedarf ↑ Kosten ↑



Dank

Istzustand

Reduktionspotenziale

Regenerative Energien

CO₂-Neutralität 2050

Danke für die Aufmerksamkeit