

business4school

Wirtschaft für die Schule



BusinessCollege

Wirtschaft in
Staat und Gesellschaft

13. Dezember 2021



„Das Energieproblem“

Univ. Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck, Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme, TU Clausthal

13. Dezember 2021



Energieverbrauch

Inneres Leben

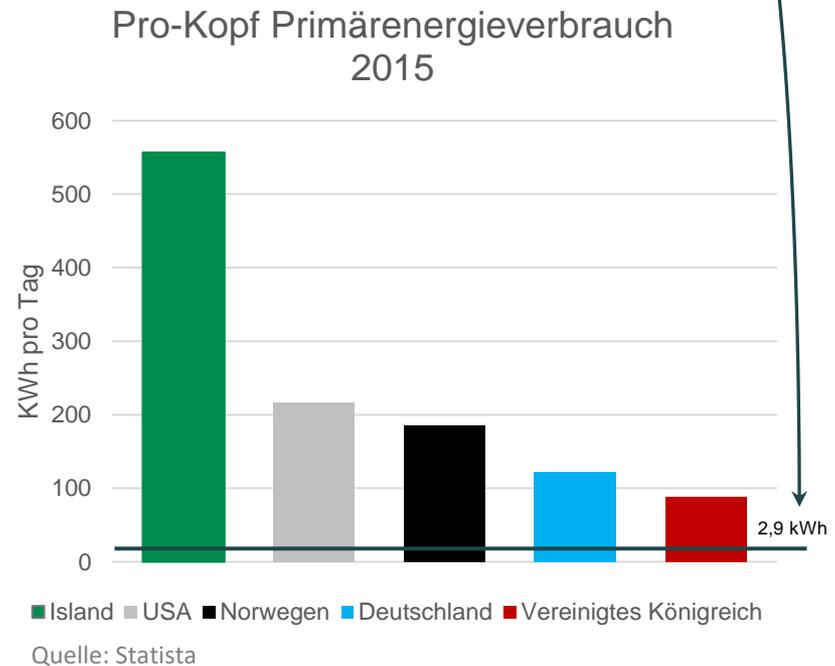


Energie-
Verbraucher

2500 kcal pro Tag $\hat{=}$ 2,91 kWh



Äußeres Leben



Rangfolge der Pro-Kopf-Emissionen 2020

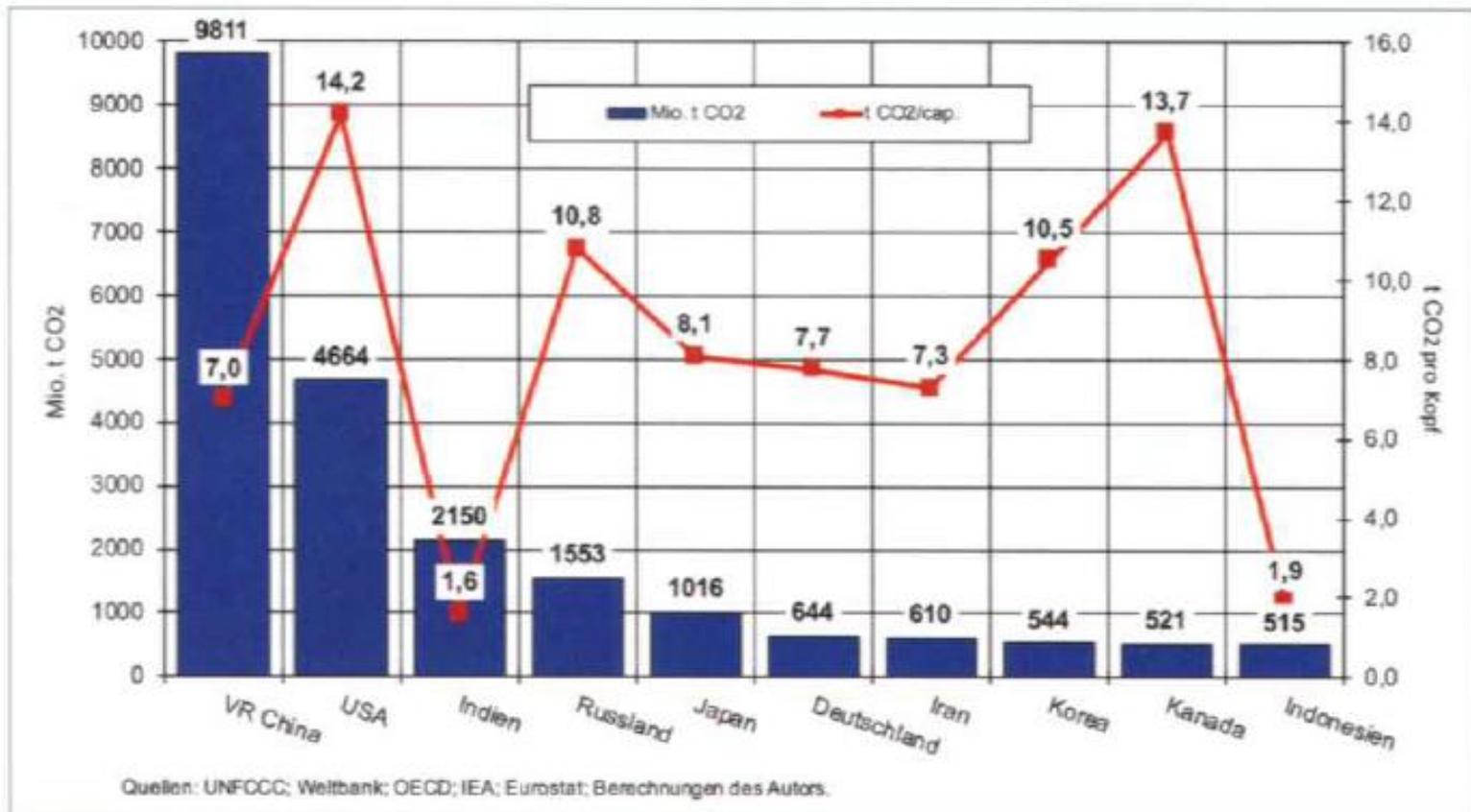


Abb. 2 Rangfolge der zehn größten CO₂-Emittierendenländer und deren Pro-Kopf-Emissionen 2020

Was ist Energie?

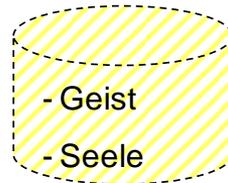
Metaphysik

Grenze von Prozessen mit physikalischer Bedeutung

Physik

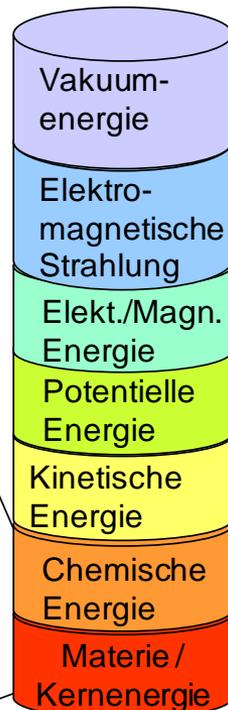
Energie:

Fähigkeit, Arbeit zu leisten



Abnahme der Stoffdichte

$W_0 = 1/2 \hbar \omega$ Nullpunktenergie (n=0)



$W_n = (n+1/2) \hbar \omega$

Energie des „leeren“ Raumes (harmonischer Oszillator)

$W_{Ph} = hf$

Photonen- / Solarenergie
h: Drehimpuls eines Photons

$W_{El} = 1/2 CU^2$

Elektrische Energie

$W_{Mag} = 1/2 LI^2$

Magnetische Energie

$W_{Pot} = mgh$

Lageenergie / Gravitation (schwere Masse)

$W_{Kin} = 1/2 mv^2$

Kinetische Energie / Wärme (träge Masse)

$W_{trans} = 3/2 kT$

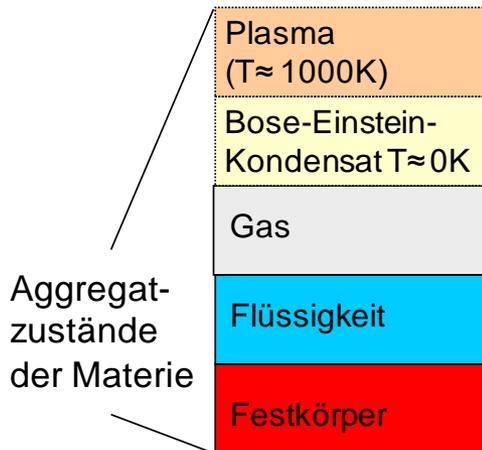
$A + B \rightleftharpoons D + W_{Ch}$

Reaktionsenergie

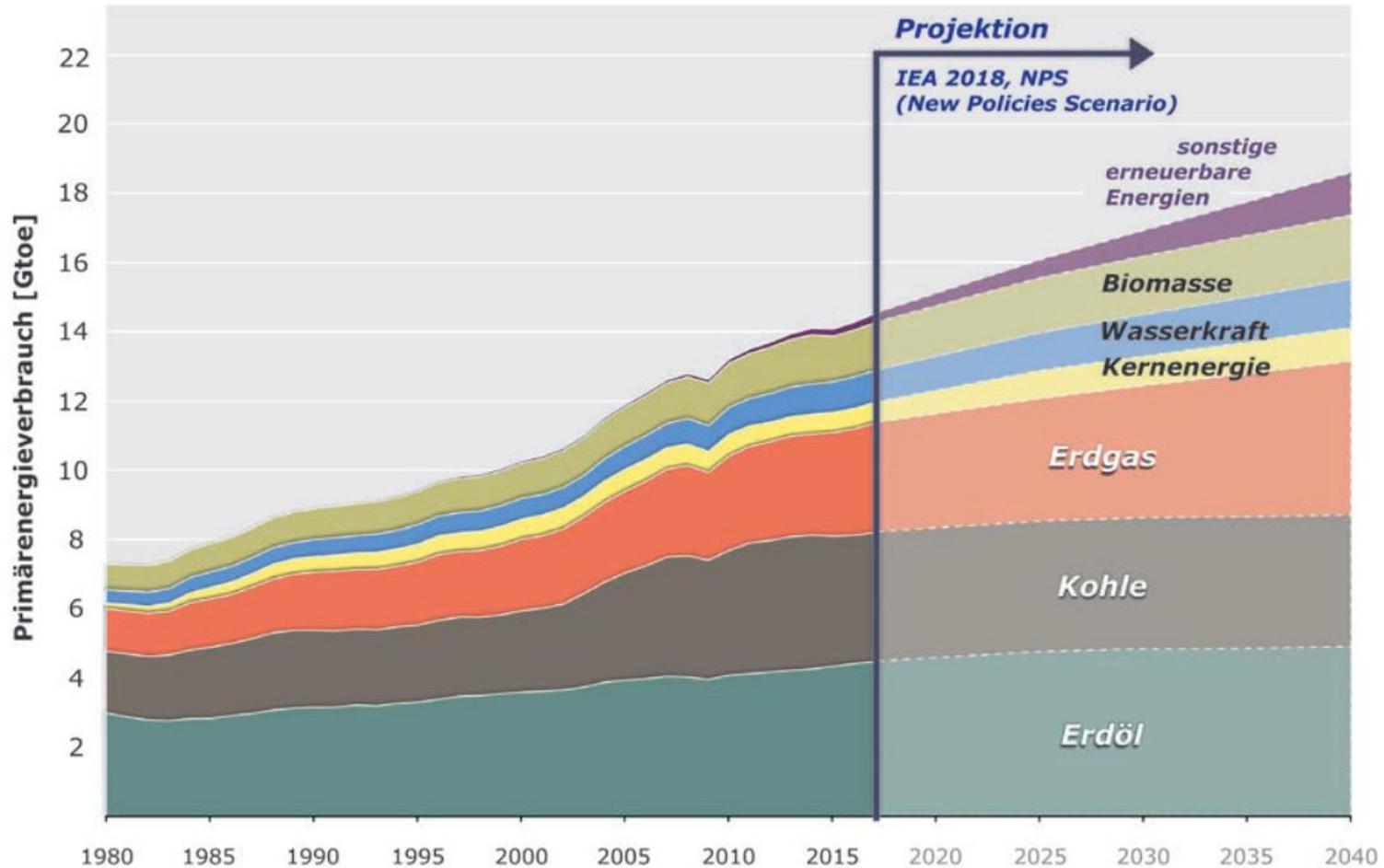
$W_{Ruhe} = mc^2$

Masse: Eine Form der Energie

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

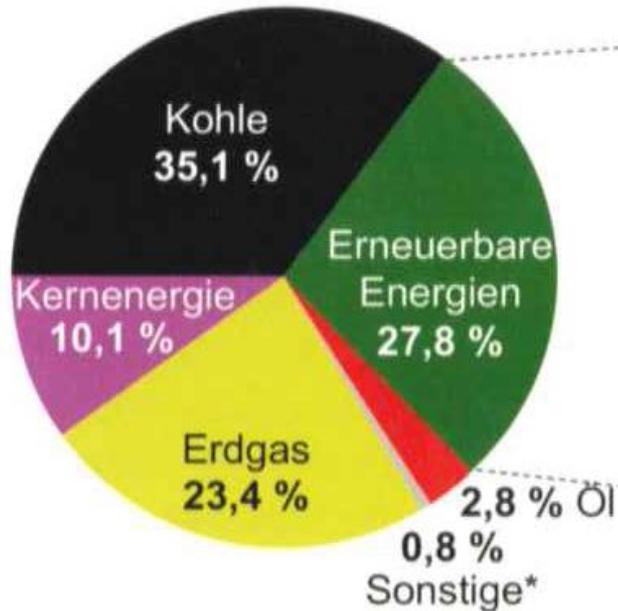


Grundlagen: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

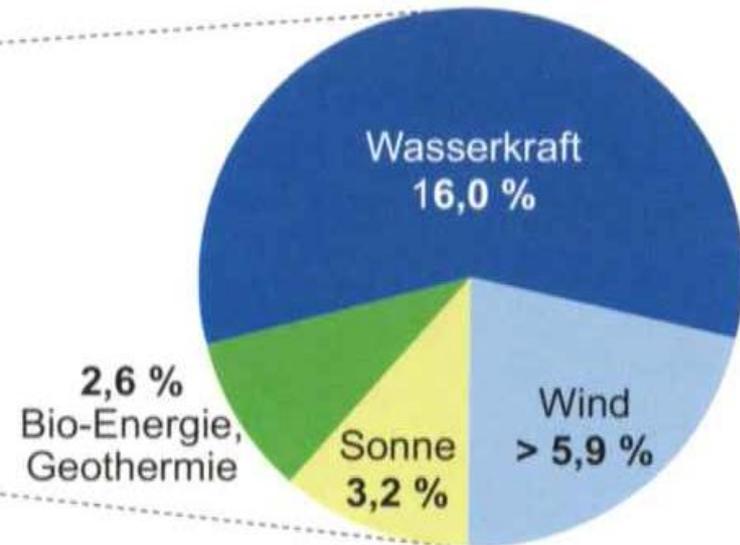


Weltweite Stromerzeugung 2020

26.823 Milliarden Kilowattstunden



davon:
erneuerbare Energien

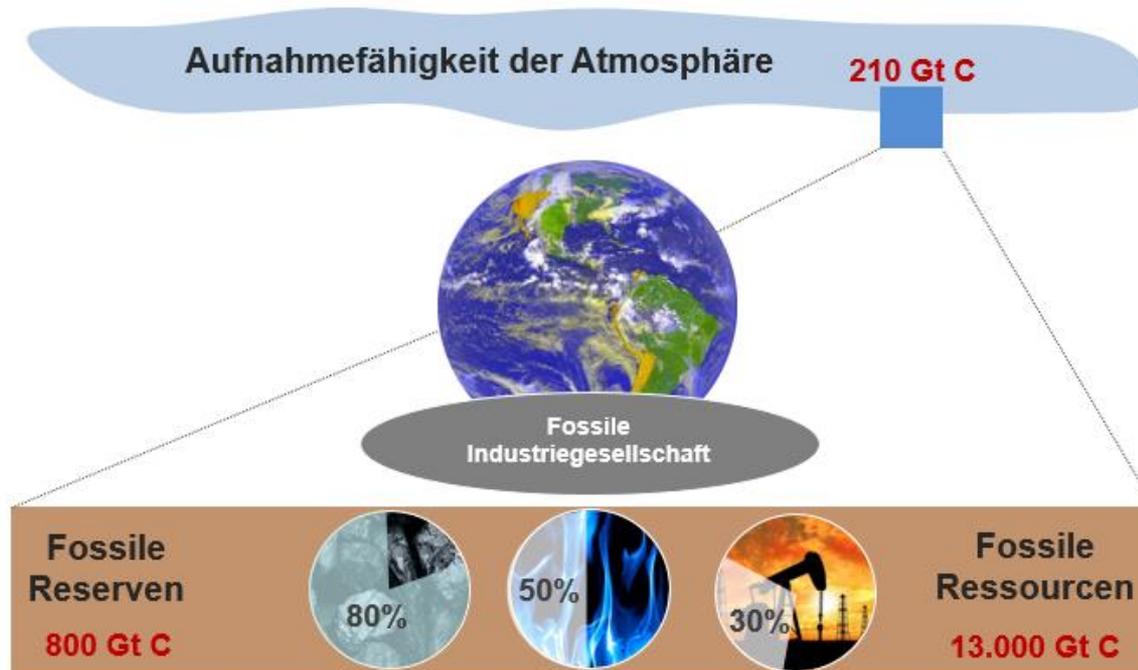


* Pumpspeicher und sonstige fossil basierte Erzeugung

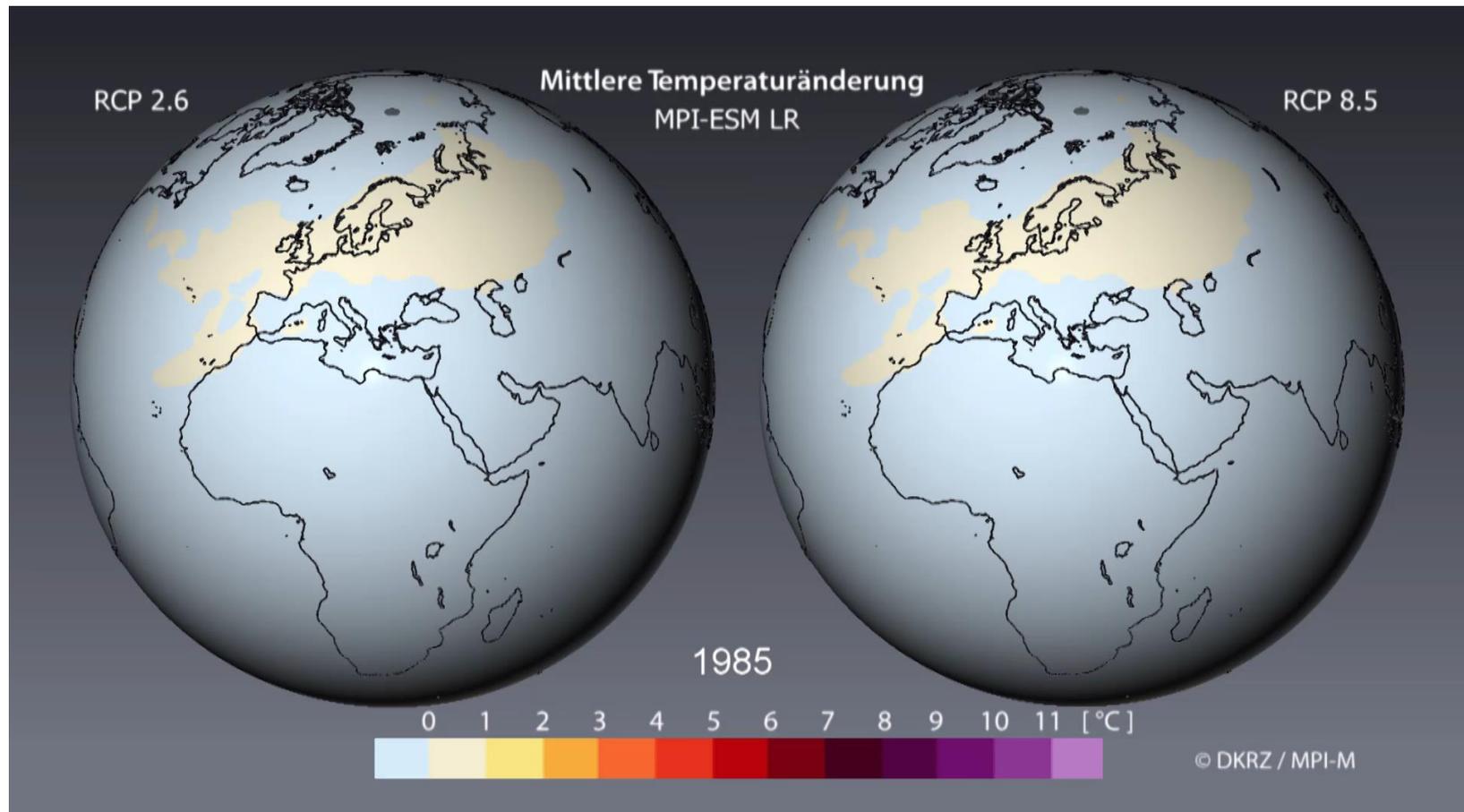
Quelle: BP Statistical Review of World Energy July 2021

Herausforderungen

Dekarbonisierung „2-Grad Ziel“



Klimawandel Ja oder Nein? Temperaturänderung?!



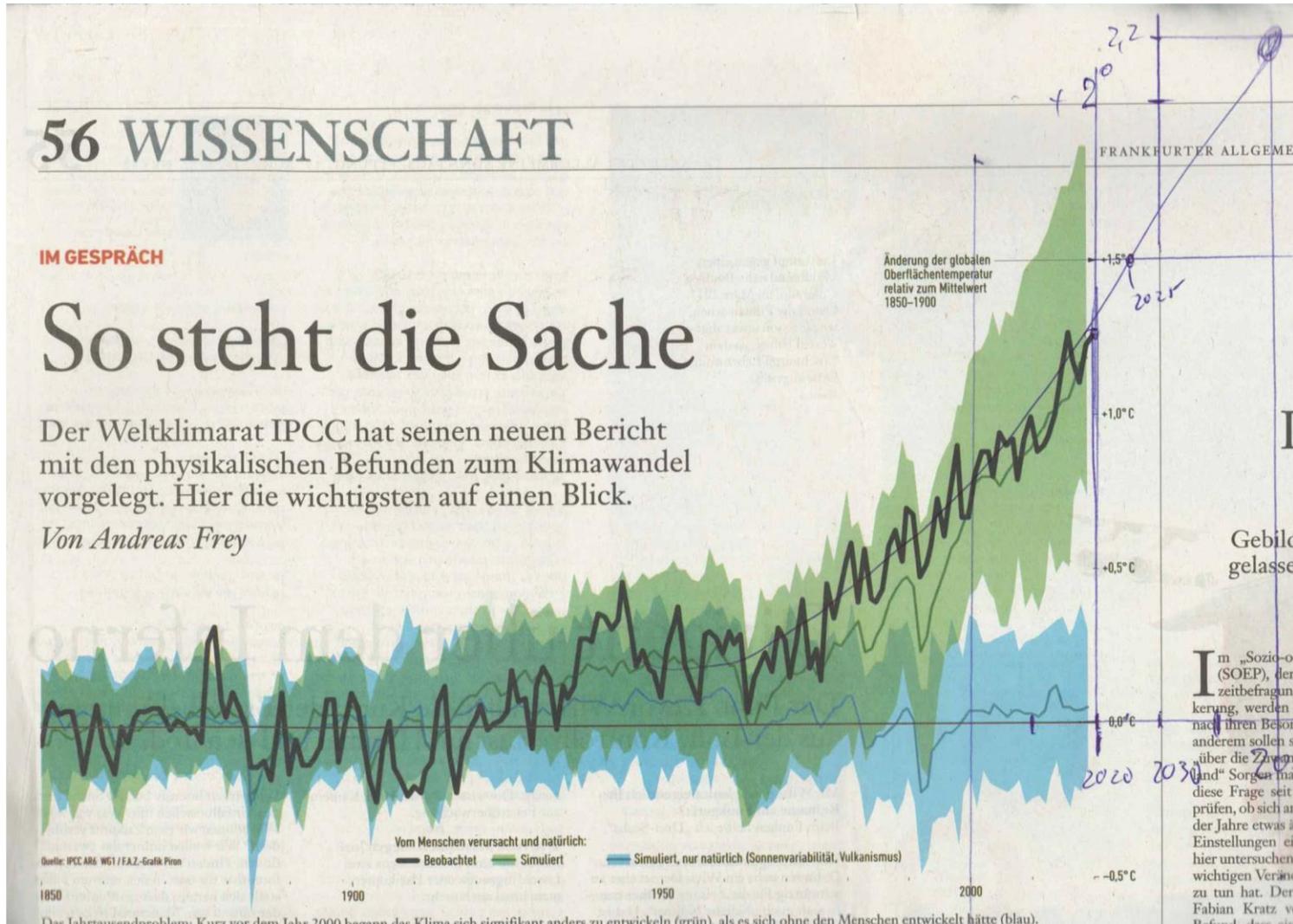
Das CO₂ in der Atmosphäre steigt ungebremst

Das CO₂ in der Atmosphäre steigt ungebremst

Anteile pro Million (gemessen am Mauna-Loa-Observatorium auf Hawaii)

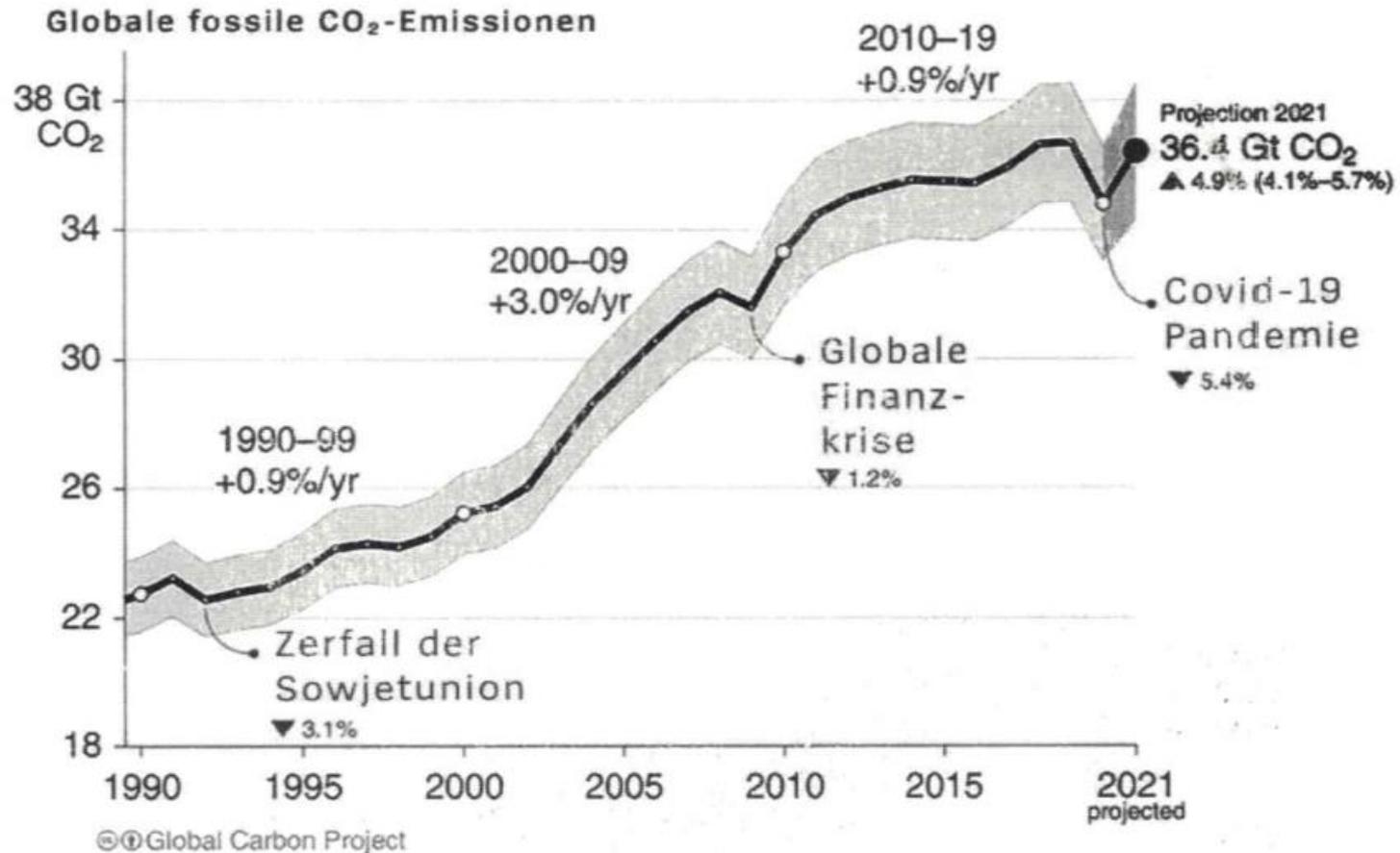


Quelle: NOAA, Global Monitoring Laboratory/F.A.Z.-Grafik Brocker



Das Jahrtausendproblem: Kurz vor dem Jahr 2000 begann das Klima sich signifikant anders zu entwickeln (grün), als es sich ohne den Menschen entwickelt hätte (blau).

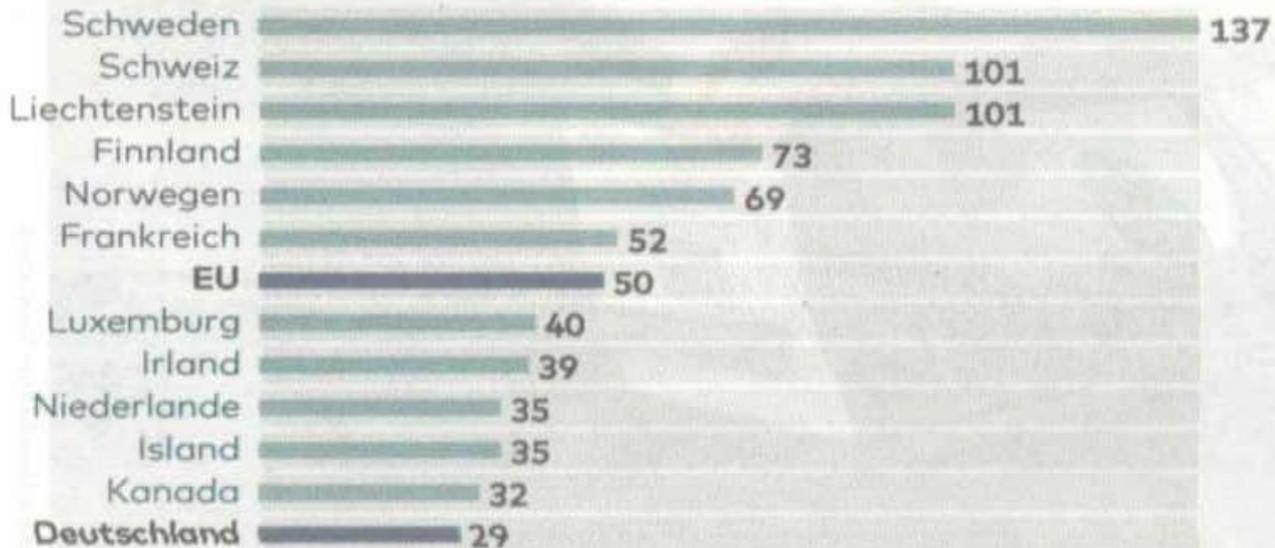
Globale fossile CO₂-Emissionen



In Deutschland ist der CO2-Preis niedriger als in anderen Ländern. Dabei gilt er als das wichtigste Werkzeug zur Emissionssenkung

Billige Emissionen in Deutschland

CO₂-Preise pro Tonne in Dollar (Stand 1. April 2021)

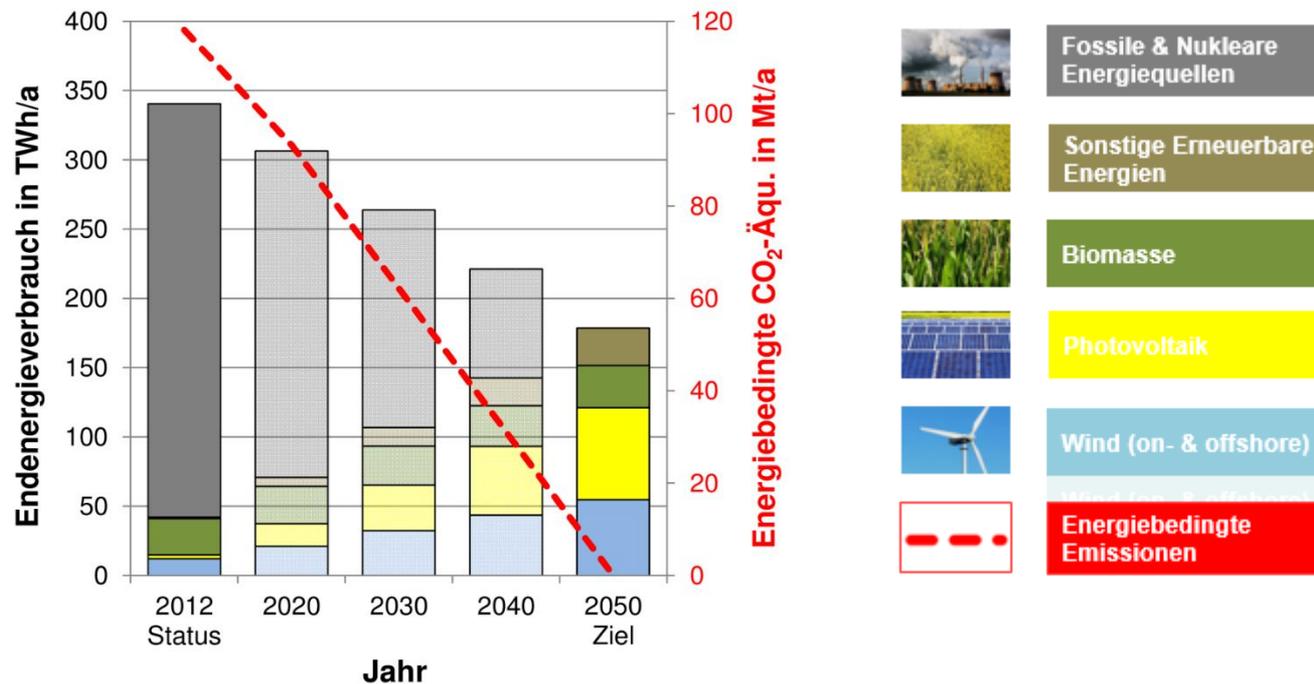


welt

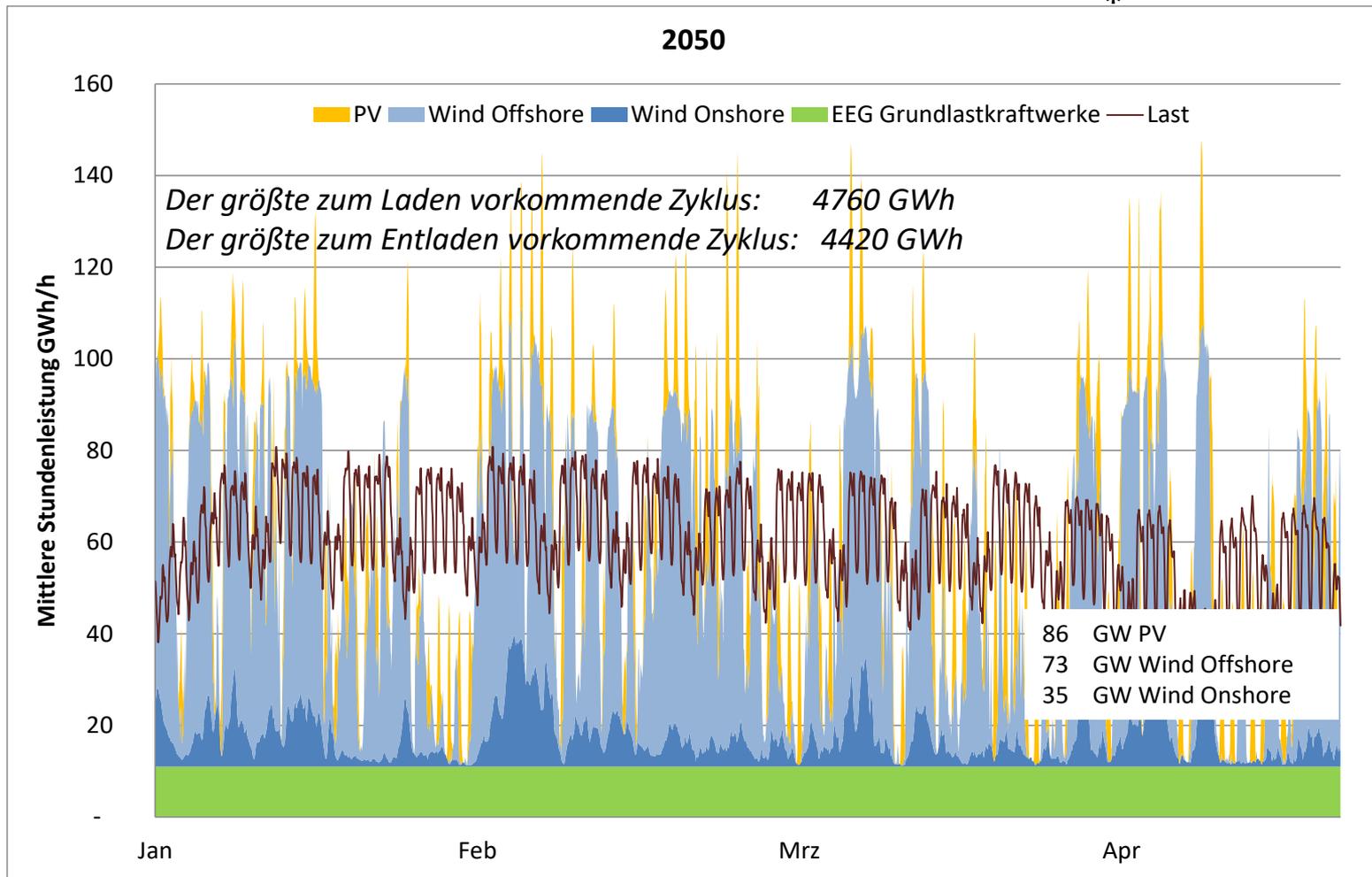
Quelle: Weltbank/Bertelsmann-Stiftung

Bisheriges Fazit für Niedersachsen

Deckung des Endenergieverbrauchs mit 100 % EE

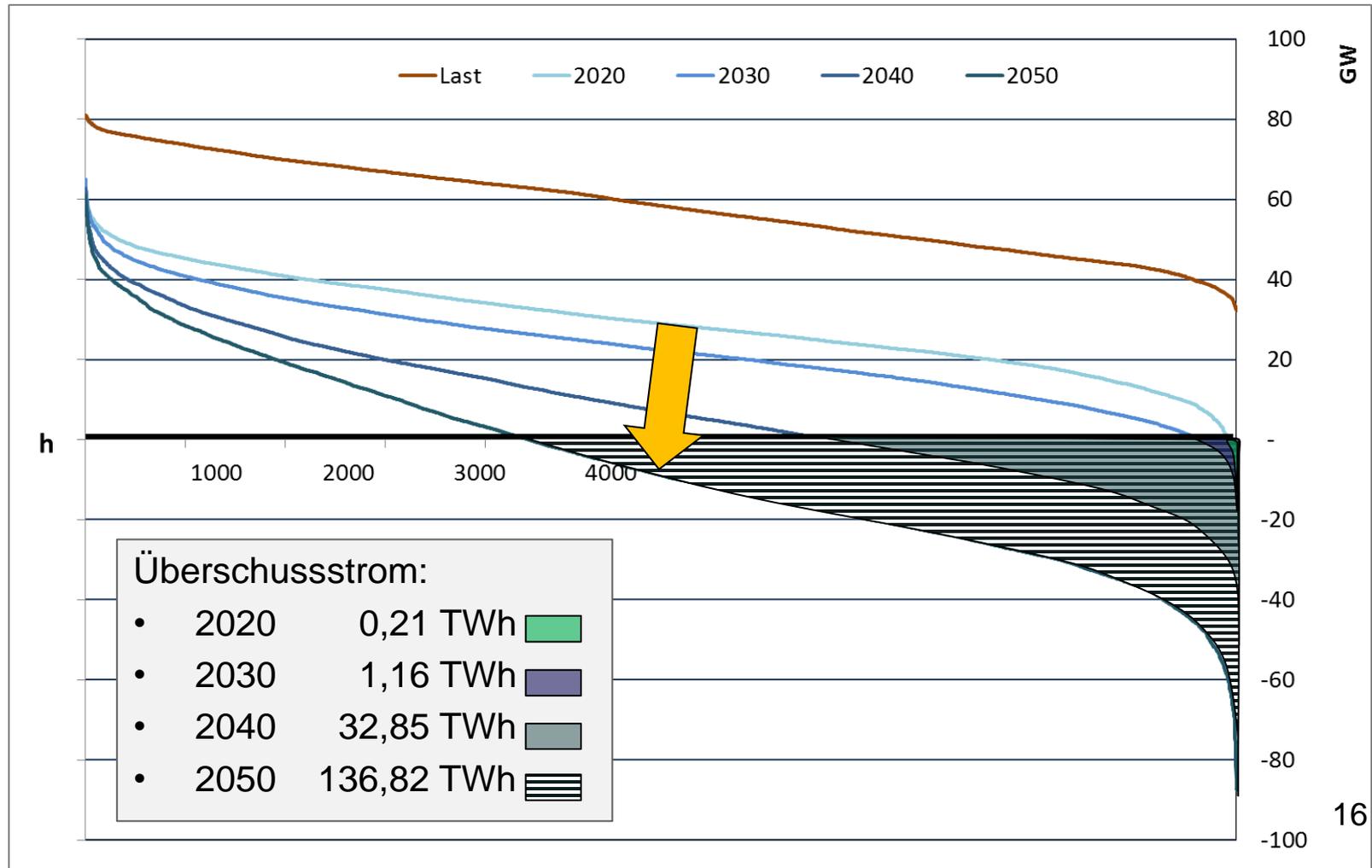


Zeitverlauf der Last und Erneuerbaren Energien 2050*



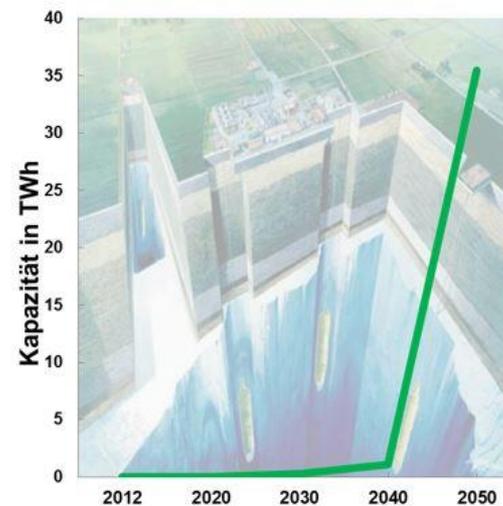
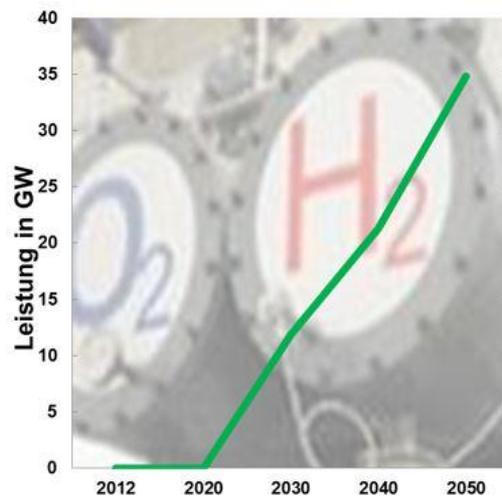
* Zur EEG-Grundlast gehören Biomasse, Biogas, Laufwasser und Geothermie. Diese wurde Einfachheit halber konstant mit ca. 11 GW angenommen

Überschussstrommengen aus erneuerbaren Energien



Speicherszenarien Niedersachsen 2050

Speicherausbaupfad

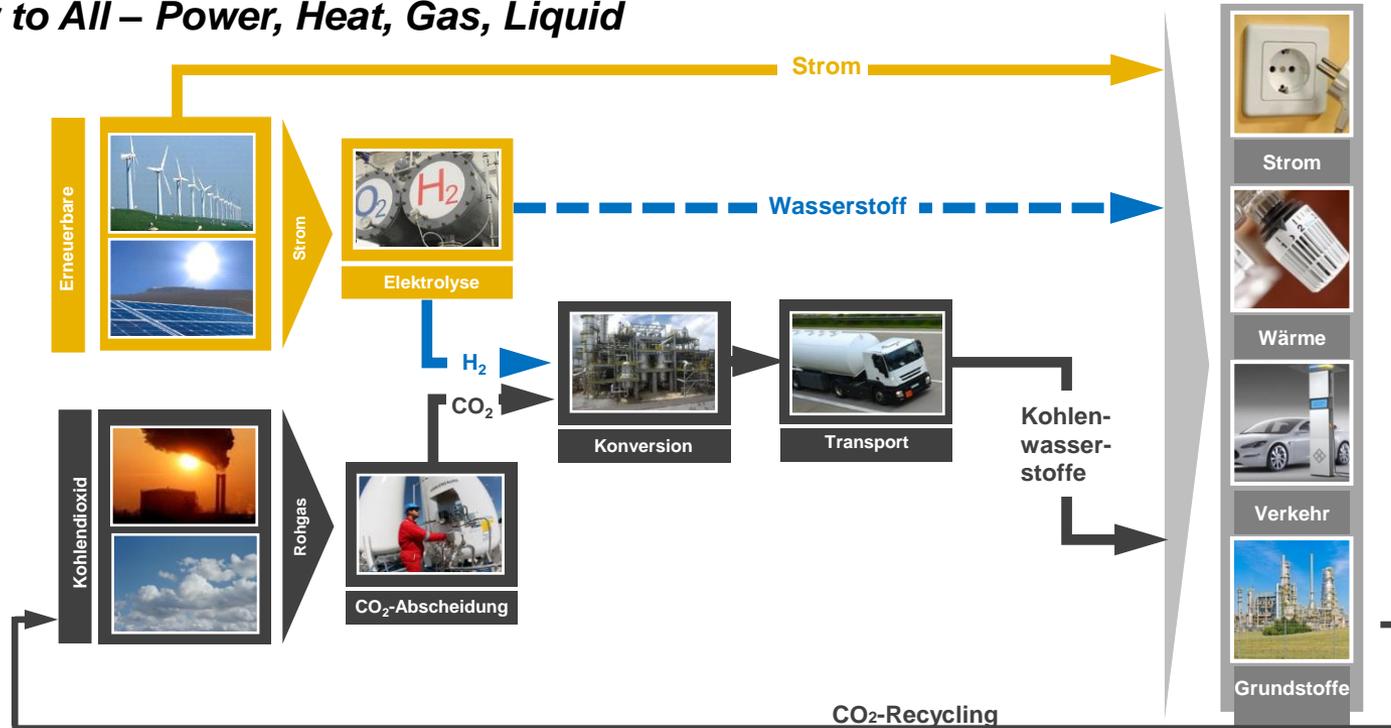


- ▶ **Aufbau Elektrolyseleistung ab 2020 erforderlich**
- ▶ **Aufbau großer Wasserstoff-Speicherkapazitäten erst ab 2040 erforderlich**

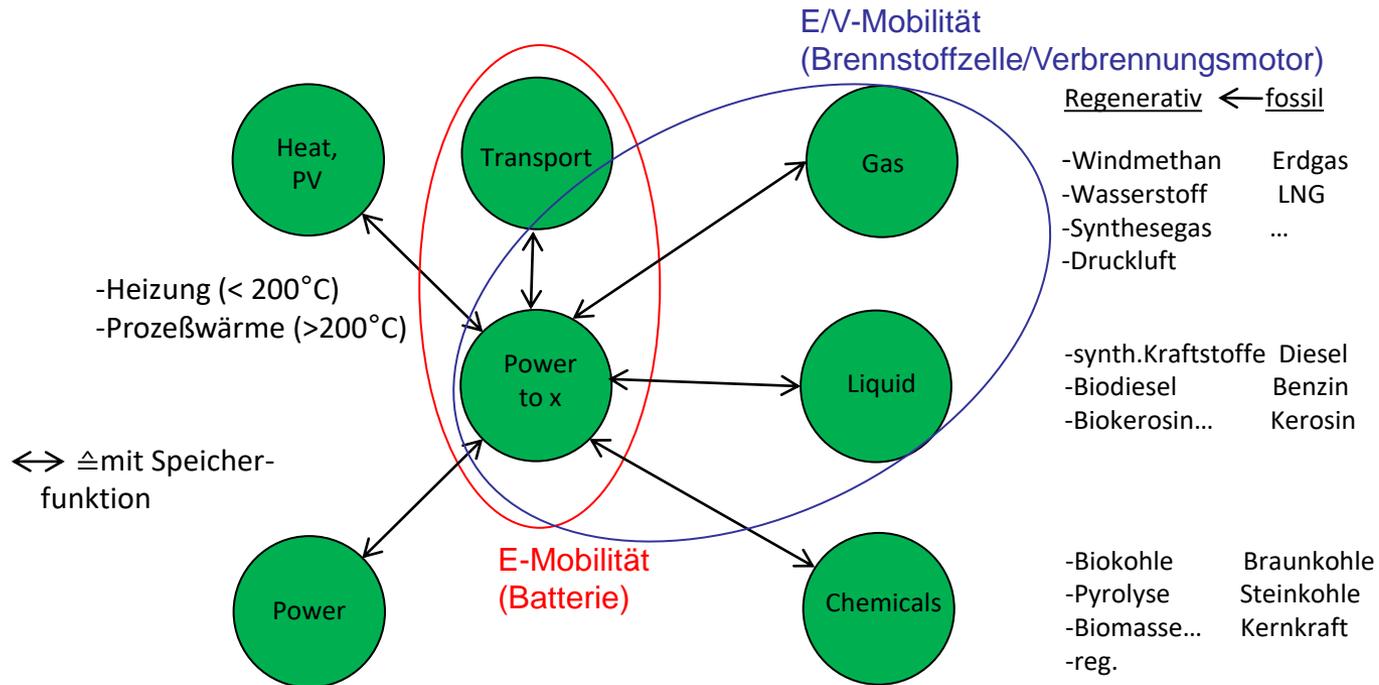
Quelle: Nds. Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Szenarien 2050, 2016

Herausforderungen

Power to All – Power, Heat, Gas, Liquid



Forschungsschwerpunkt: „Nachhaltige Energiesysteme“, Sektorkopplung (1) hier: Forschungsthema „Mobilität“



-neue Kraftwerksgeneration: regenerative Speicherkraftwerke -> Strom wird zur „Primärenergie“ der Zukunft

Energieszenario 2050 und Sektorkopplung (2)

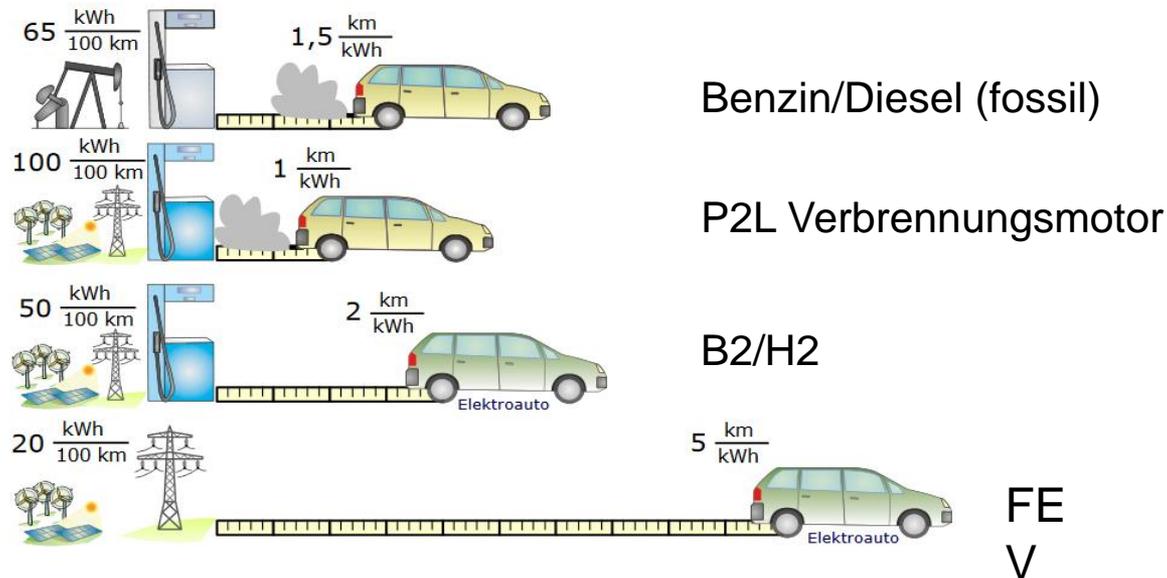


Bild 11 Effizienz strombasierter Verkehrskonzepte im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen im Individualverkehr mit Verbrennungsmotor (1.v.o: konventionell, 2 v.o.: P2L/P2G mit Verbrennungsmotor, 3.v.o: P2L/P2G mit Brennstoffzelle und Elektroantrieb, 4.v.o: Batteriefahrzeug mit EE-Strom)

[Quaschnig: Sektorkopplung durch die Energiewende]

Vergleich der Effizienz alternativer PKW-Antriebe mit 100% regenerativer Elektroenergie-Einspeisung

	Input	Elektrolyse	Speicher	Wandlung	Motor (Rad)	Effizienz
E-Auto (BEV)	1	--	Batterie 0,9	--	E-Motorregelung 0,9	0,81
E-Auto (H2-BZ)	1	PEM-EL 0,65	Kompressor 700bar H2-T 0,9	BZ-E 0,6	E-Motorregelung 0,9	0,32 (1:2,5)
V-Auto (Green-E-Gas)	1	0,65	(Ptg) + 0,8	2H ₂ O+Wel+CO ₂ CH ₄ +2O ₂	Verbrennungsmotor 0,3	0,16 (1:5,1)
V-Auto (Green-E-Diesel)	1	0,65	(PtL) + 0,6	nH ₂ O+Wel+mCO ₂ j CxHy + kO ₂	0,32	0,13 (1:6,2)

Vergleich der Reichweite und Kosten alternativer Antriebe mit 100%-regenerativer Elektroenergieeinspeisung

	Tankinhalt	Verbrauch	Reichweite
E-Auto (Audi e-tron / Tesla Model S)	100 kWh	24 kWh/100 km (0,15€/kWh)*	417 km (3,60€/100km)
E-Auto (Audi h-tron, 110KW BZ/100KW Batt./SUV)	6 Kg H2/700bar (240 kWh) (7€/kg Annahme)	1 Kg H2/100 km (40 kWh/100 km) 24/40 = 0,6	600 km (7,00€/100km)
V-Auto (green-Gas) (Audi g-tron/A3) - PtG -	16,3 kg (158 kWh)	3,25 kg/100 km (32 kWh/100 km)	500 km (13,60€/100 km)
V-Auto (PtL) (green-e-diesel) A3-Audi	50l (500 kWh) 4€/l – MBB Angabe	4,2l/100 km (42 kWh/100 km) *ohne Abgaben,	1.190 km (16,80€/100km) Stand 4/19

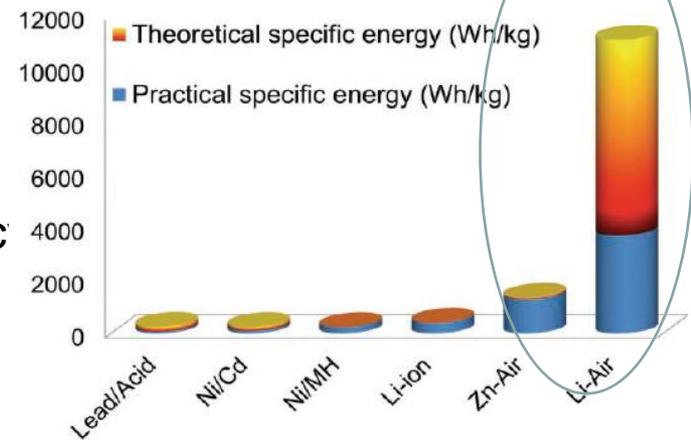
Vergleich PKW-E- und PKW-V-Mobilität (Stand (6/19))

Entwicklungs- potential		Effizienz	Reichweite	Sicherheit	Abgas	Tanken	Kosten (Betrieb)	Summe
+++	BEV	+++	+	+	+++	+	++	14
++	BZ/H2	++	++	+	+++	++	+	13
+	H2/V	+	++	++	+	++	++	11
++	V/Green Diesel	-	+++	+++	+	+++	-	12
-	V/Fossil Diesel	-	+++	+++	-	+++	++	11

1. How far can we drive?

Motivation

- Commercial li-air-batteries have on system level a specific energy density of more than 400 Wh/kg, about. 4 – 5 times more than lithium-ionen-batteriesystems today (Zinc-air: 200
- A problem is still the cycle stability
- Potential low cost, non toxic, secure batteriesystems
- At this juncture only approaches for high c stability and high power were developed



Forschung

Elektromobilität und Ladeinfrastruktur (Stand 6/19)



Tesla Supercharger
[insideev.com]

400V
170kW

Ladezeit: 30min. (85kWh)

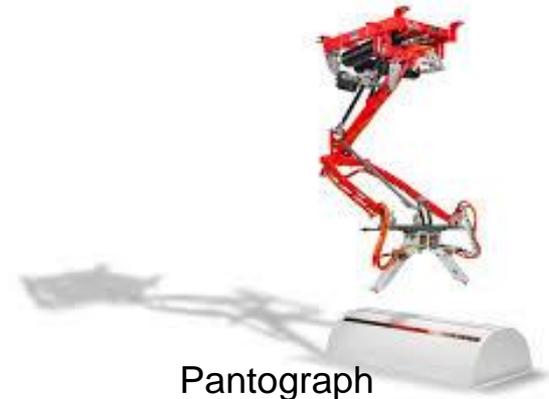
$$t' / 100km = 7min$$



Porsche High Power Charger
800V, 350kW
[electrive.net, porsche.de]

Ladezeit: 20min. (100kWh)

$$t' / 100km = 4min$$



Pantograph
350 - 500kW
[schunk-group.com]

Ladezeit: 12min. (100kWh)
(Zukunft)

$$t' / 100km = 2,4min$$

Forschung

What happens when lithium ion batteries catch fire?

- Burning Tesla during a fast charge on 01.01.2016 in Norway



<https://www.youtube.com/watch?v=CWXN7ni4FTc&feature=youtu.be>



<http://www.zerohedge.com/news/2016-01-01/>



<http://www.zerohedge.com/news/2016-01-01/>



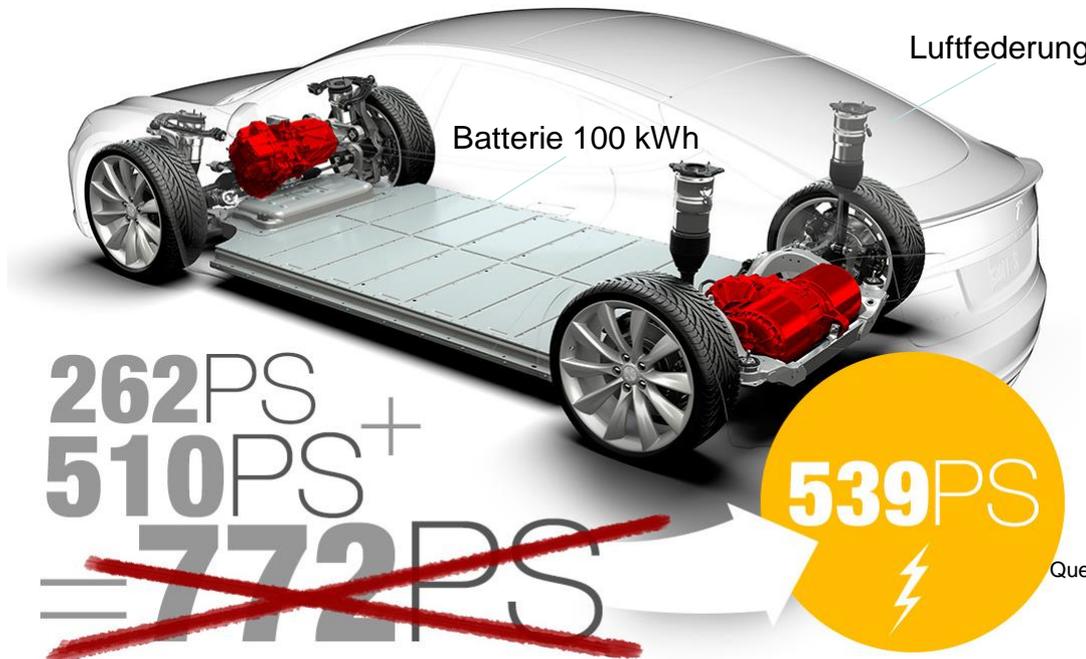
www.democraticunderground.com

What are the available fire extinguishing methods for lithium ion batteries?

Successful fire extinction with F-500



Querschnittszeichnung Tesla Modell S, mit Li-ion-Batterie

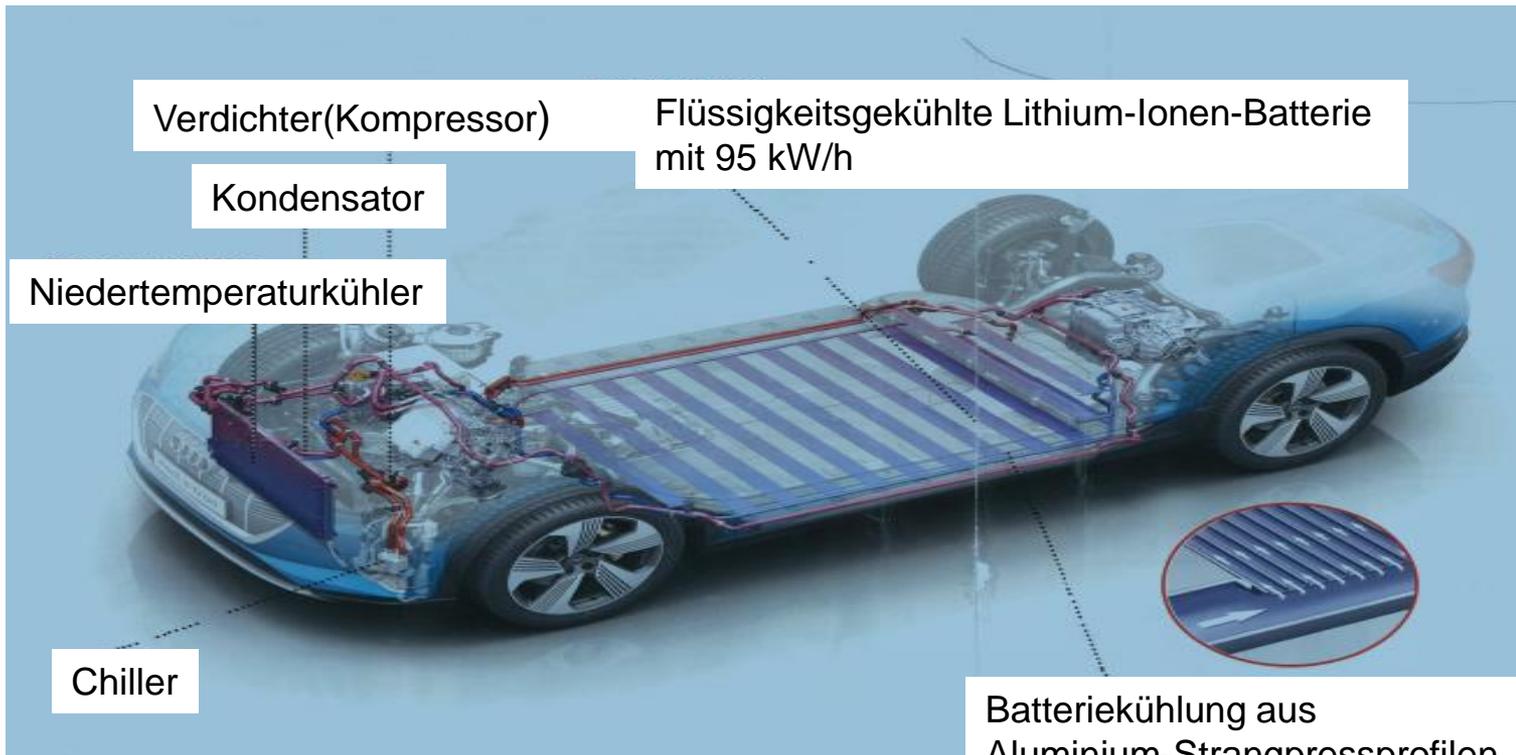


Mittlerer Verbrauch
5 km/ kWh
Reichweite: 500 km (100wh/Kg)
(real 250 km)
Zukunft (2-4fach)
(400 kw/kg)
» 600-800 km
realistisch

Quelle: Tesla

Summe Motorleistung 567kW, Leistungsbegrenzung Batterie (400kW)

Wohlfühl-Temperatur beim Audi -etron



Ökobilanz im Vergleich

Fahrzeug	THG-Emissionen [g/Fzk]	NO _x -Emissionen [g/Fzk]	PM-Emissionen [g/Fzk]	Kumulierter Energieaufwand [kWh/Fzk]	Batteriegewicht [kg]
Benzin-Fahrzeug	202,2	0,162	0,026	0,770	-
Diesel-Fahrzeug	192,5	0,385	0,023	0,741	-
Hybrid-Elektrofahrzeug (Benzin)	185,8	0,146	0,025	0,707	25
Hybrid-Elektrofahrzeug (Diesel)	178,8	0,37	0,023	0,695	25
Plug-In Hybrid-Elektrofahrzeug (Benzin)	139,1	0,13	0,023	0,695	25
Plug-In Hybrid-Elektrofahrzeug (Diesel)	136,2	0,301	0,023	0,695	25
schweres Elektrofahrzeug (Ö-Strom)	49,6	0,104	0,025	0,339	200
schweres Elektrofahrzeug (UZ 46 Strom)	23,8	0,105	0,024	0,291	200
leichtes Elektrofahrzeug (Ö-Strom)	37,3	0,073	0,023	0,251	175
leichtes Elektrofahrzeug (UZ 46 Strom)	19,2	0,074	0,022	0,217	175

durch Ökostrom weniger als 10 % der Emissionen

Warum nachhaltige Energiesysteme?

- Die Energiebranche steht vor großen Herausforderungen:
 - Viele Rohstoffe, allen voran Erdöl, werden knapper und damit auch teurer, produzieren CO₂ und Kriege, Wertschöpfung nicht in Deutschland (Arbeitsplätze)
 - Der Atomausstieg ist nach Fukushima beschlossen (keine Lösung des Entsorgungsproblems), bis 2050 soll die Stromversorgung zu 80% aus regenerativen Quellen erfolgen.
 - In veralteten Kraftwerken sind neue Investitionen und Technologien erforderlich, um dem Wandel in der Energieversorgungsinfrastruktur folgen zu können (Flexibilität und Speicherfunktionen fehlen).
 - Neue „Energietrassen“ sind zu konzipieren, um beispielsweise den Off-Shore-Wind zu den großen Verbrauchern zu bringen.
 - Vor diesem Hintergrund werden Experten benötigt, die in der Lage sind, sich mit dem komplexen Systemen auszukennen und aufzuzeigen, wie die Versorgung nachhaltig gewährleistet werden kann.

Impressum | Braunschweig

business4school ist aus einem Projekt der Lions Clubs in Göttingen entstanden und wird in Kooperation mit der SüdniedersachsenStiftung, dem Verband DIE FAMILIENUNTERNEHMER, der IHK, Unternehmen und den Hochschulen, sowie der Allianz für die Region durchgeführt.

Das Konzept von business4school richtet sich auf die Unterstützung des Unterrichts an den Schulen und will zusätzliche Wissensangebote schaffen. Der Themenkatalog soll das Verständnis von Wirtschaft als Verbraucher, als Bürger und aus betrieblicher Sicht vermitteln.

Web www.business4school.de
Mail college@business4school.de