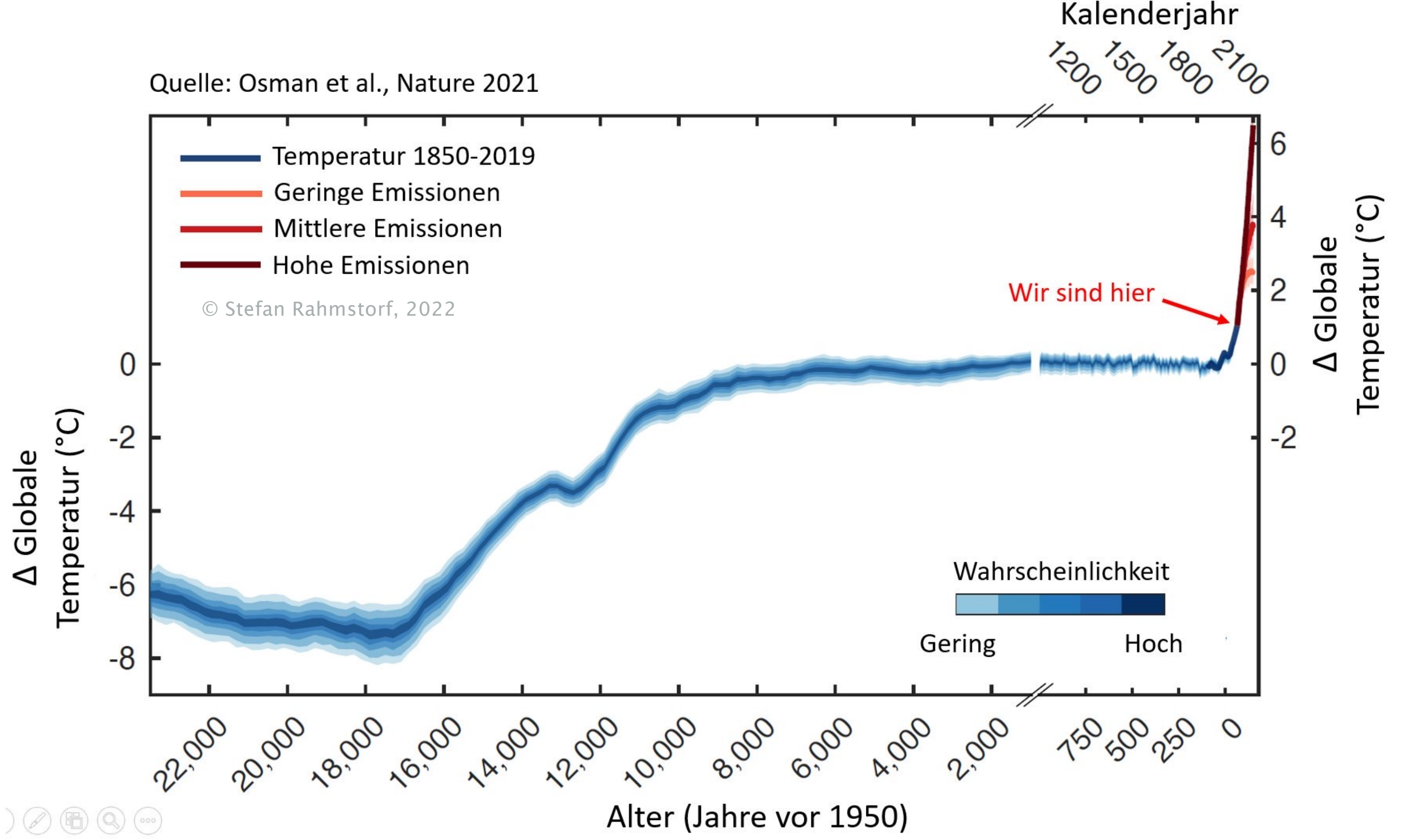
Abbildungen

PROF. DR. MICHAEL STERNER
SO RETTEN WIR DAS KLIMA
Wie wir unabhängig von Kohle, Öl und Gas machen
KOMPLETTMEDIA

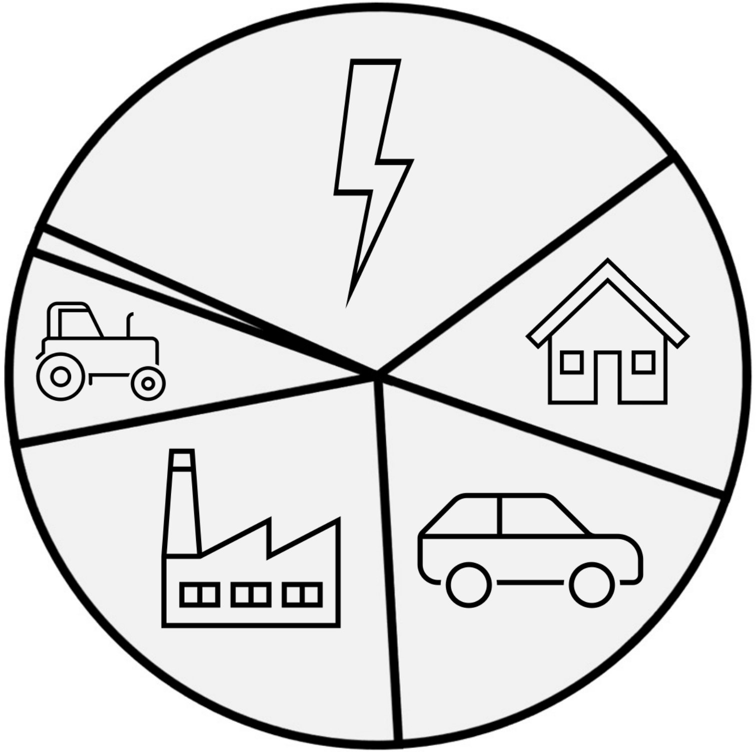
Klima

Globale Temperatur

Quelle: Osman et al., Nature 2021



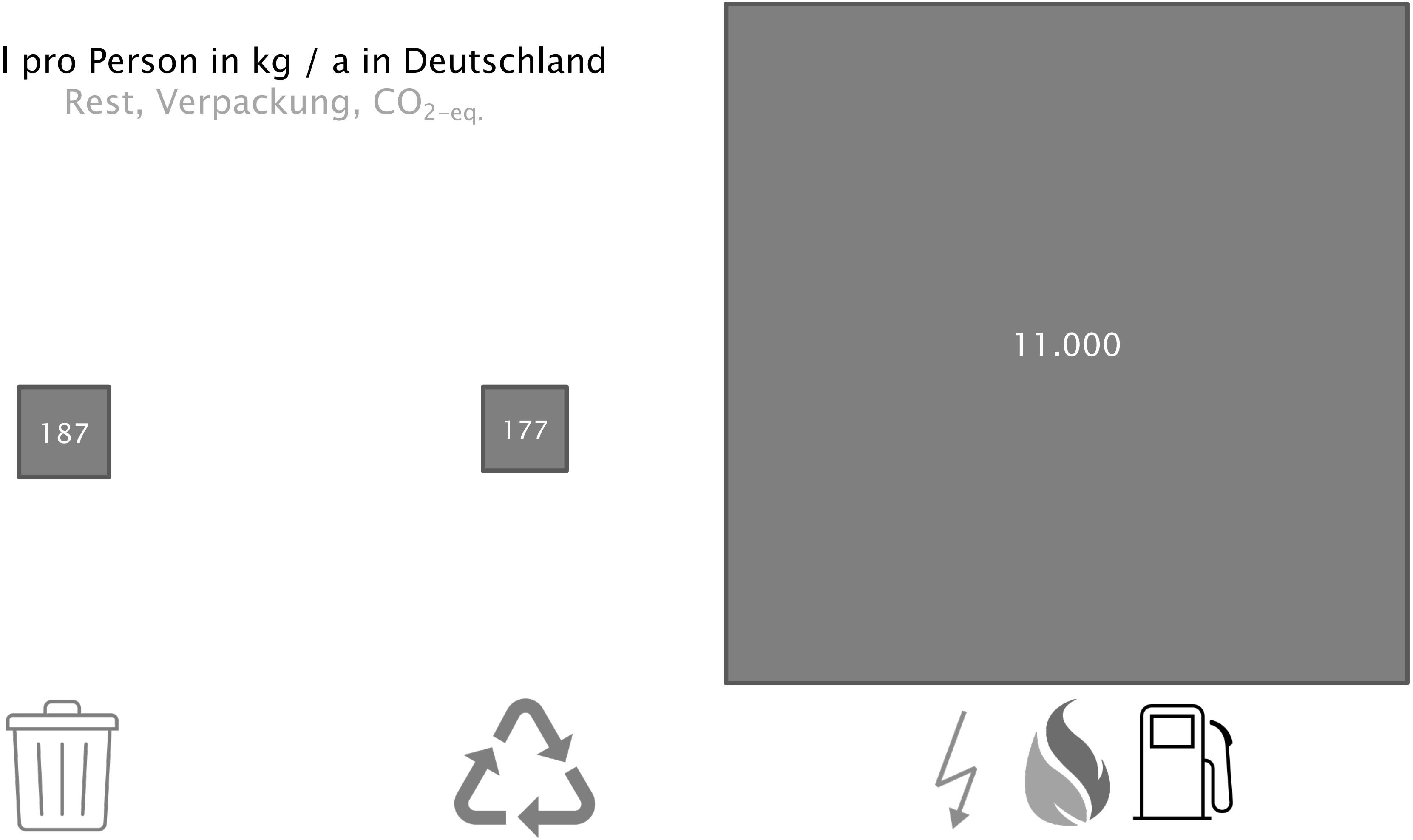
$CO_{2\text{-äq.}}$Emissionen in Deutschland nach Sektoren:
90 % aus Kohle, Öl und Gas!



UBA, 2021

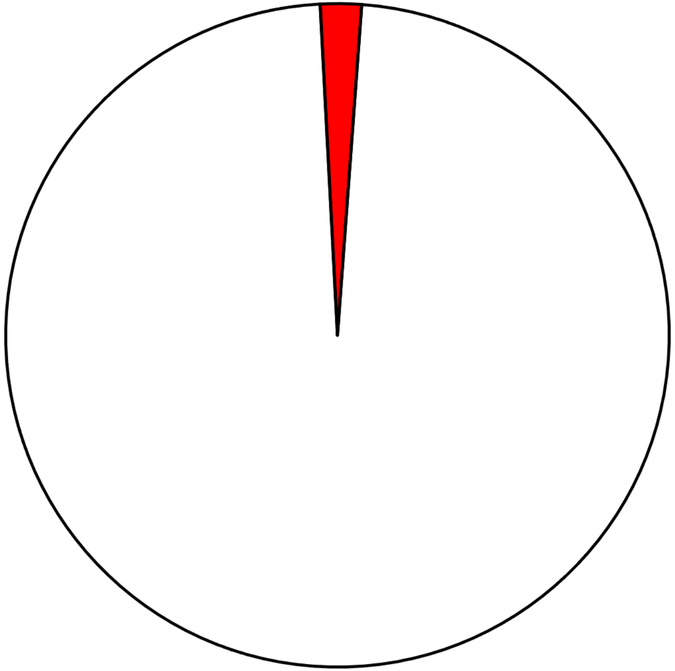
Müll pro Person in kg / a in Deutschland

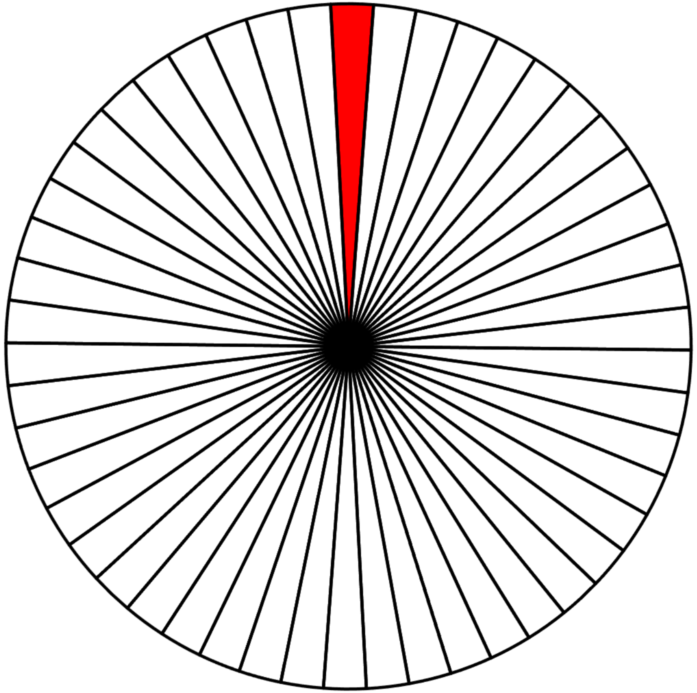
Rest, Verpackung, $CO_{2-eq.}$



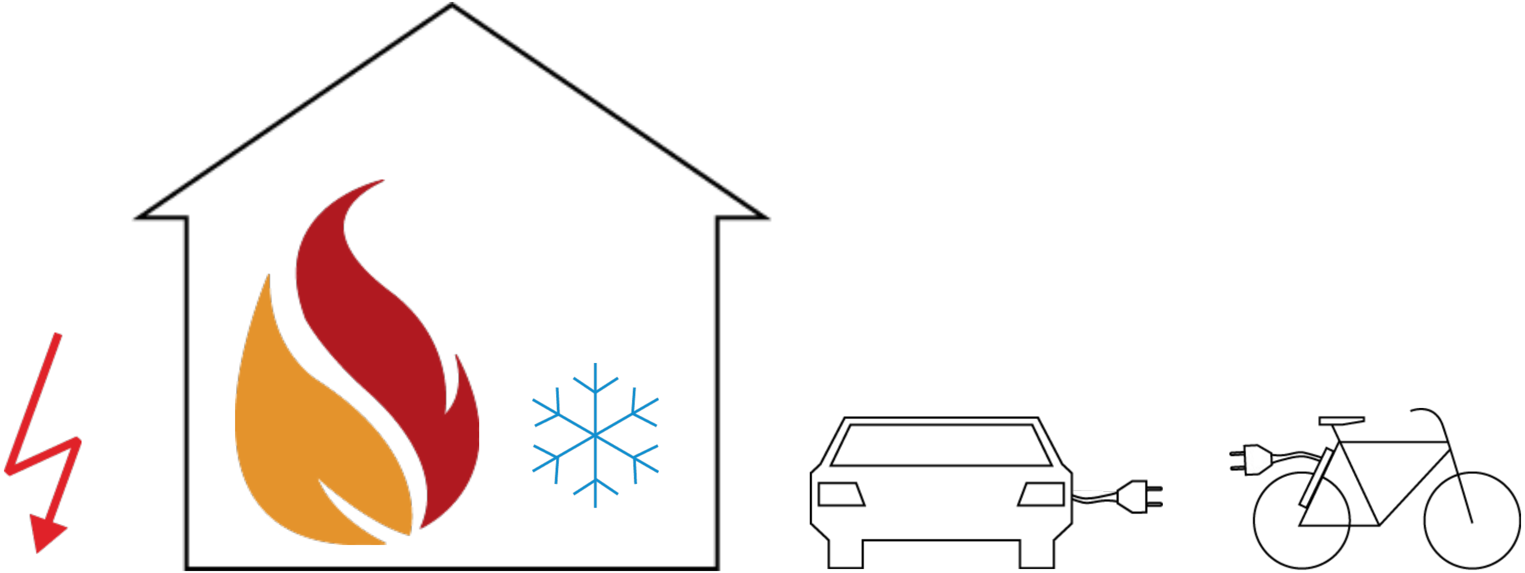
UBA, 2022 bzw. Quellen im Buch

2 % der globalen Emissionen → 50 Länder – jedes in Verantwortung



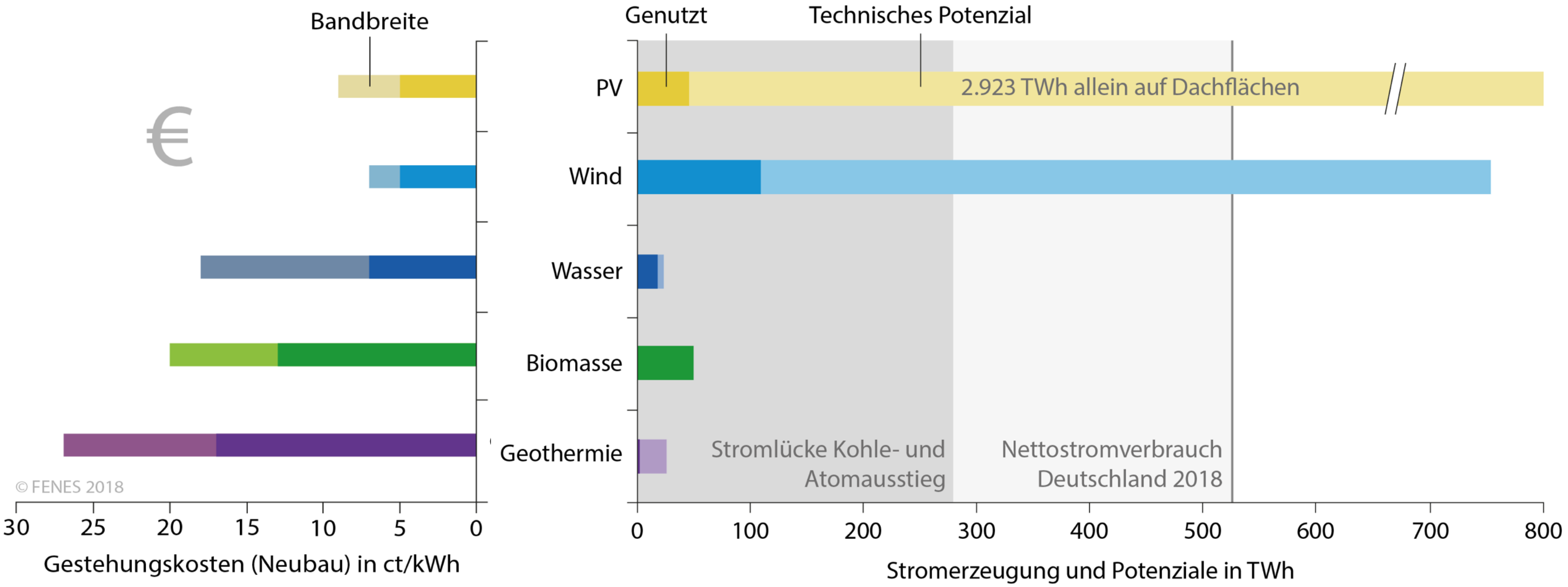


Energie

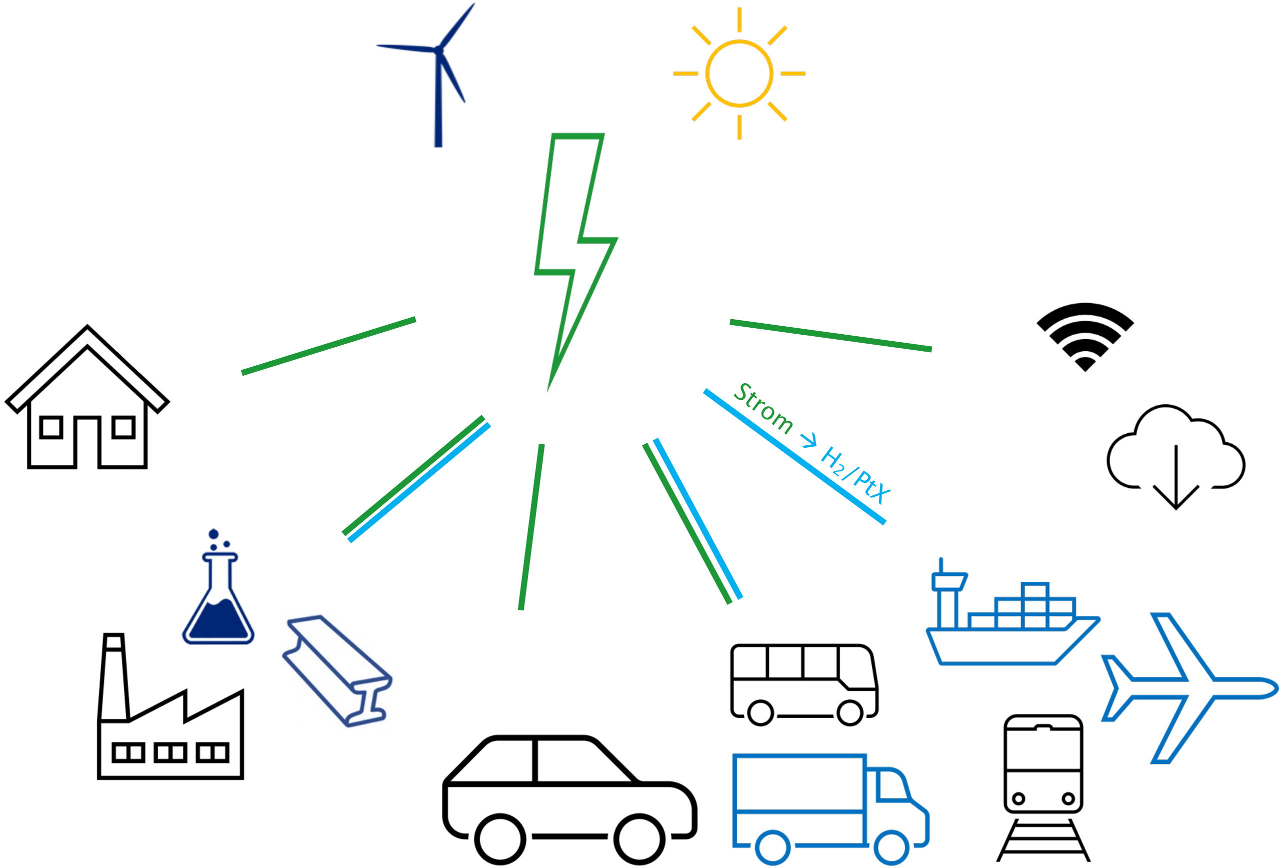


Erneuerbare Energien

Kosten vs. Potenzial

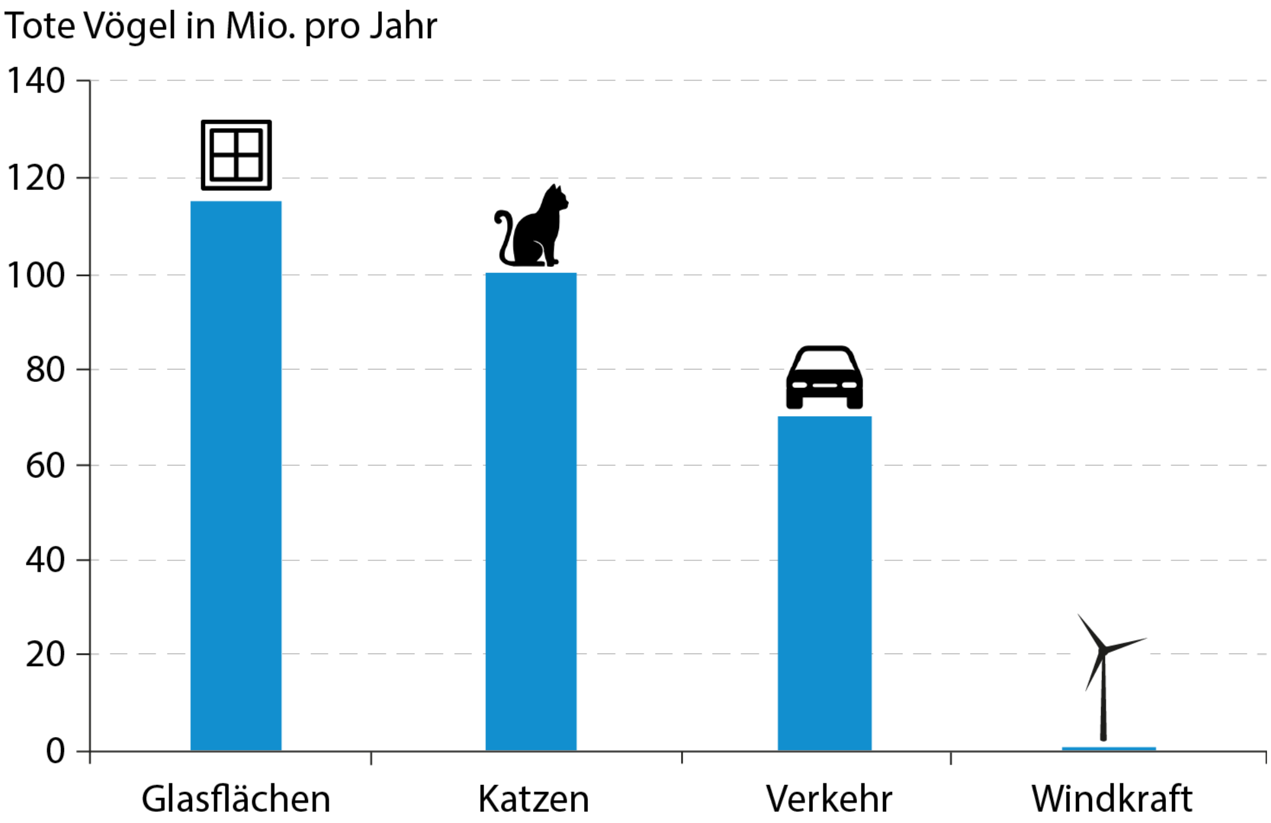


Quelle: Sterner et al. zum Energiegipfel 2018, Fraunhofer, BMWi, etc.


Strom → H_2/PtX

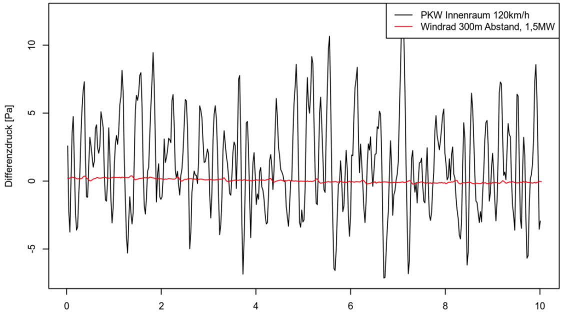
Mythen

Vogelsterben durch menschengemachte Faktoren in BRD



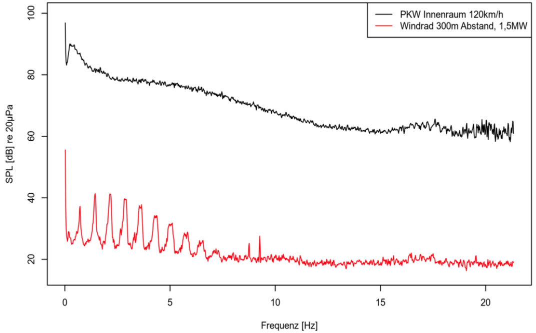
Quelle: BMWi, 2020

Windkraft-Infraschall Messungen: PKW Innenraum vs. Windkraft, 300 m Abstand



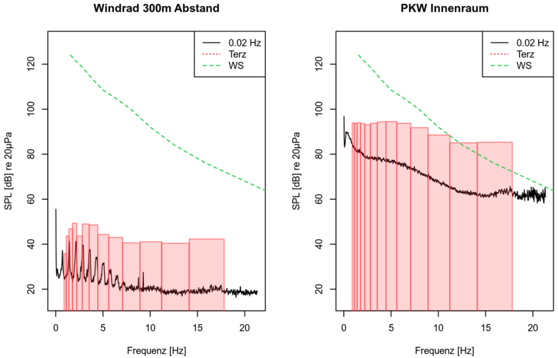
Messung über die Zeit

→



aufgetragen nach Frequenz

→



Selbst bei nur 300 m Abstand liegt die Windkraft deutlich unter dem PKW
bzw. der Wahrnehmungsschwelle

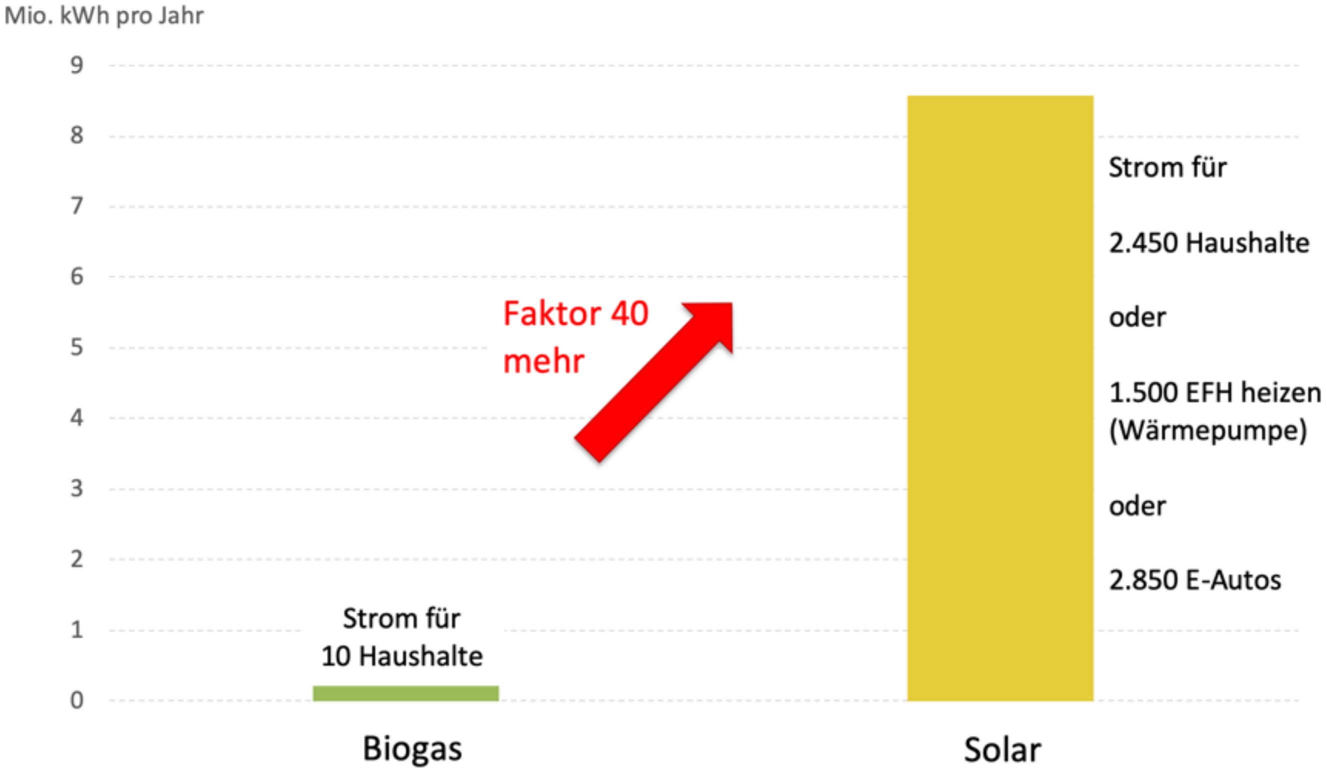
Der Windkraft-Infraschall ist viel zu schwach, um physikalische Zellschädigungen zu verursachen.

Rechenfehler	36 dB, entspricht	
Schallleistung	Faktor 4096	
Schalldruck	Faktor 64	zu hoch!

16 Jahre lang Verbreitung von
Falschinformationen durch BGR

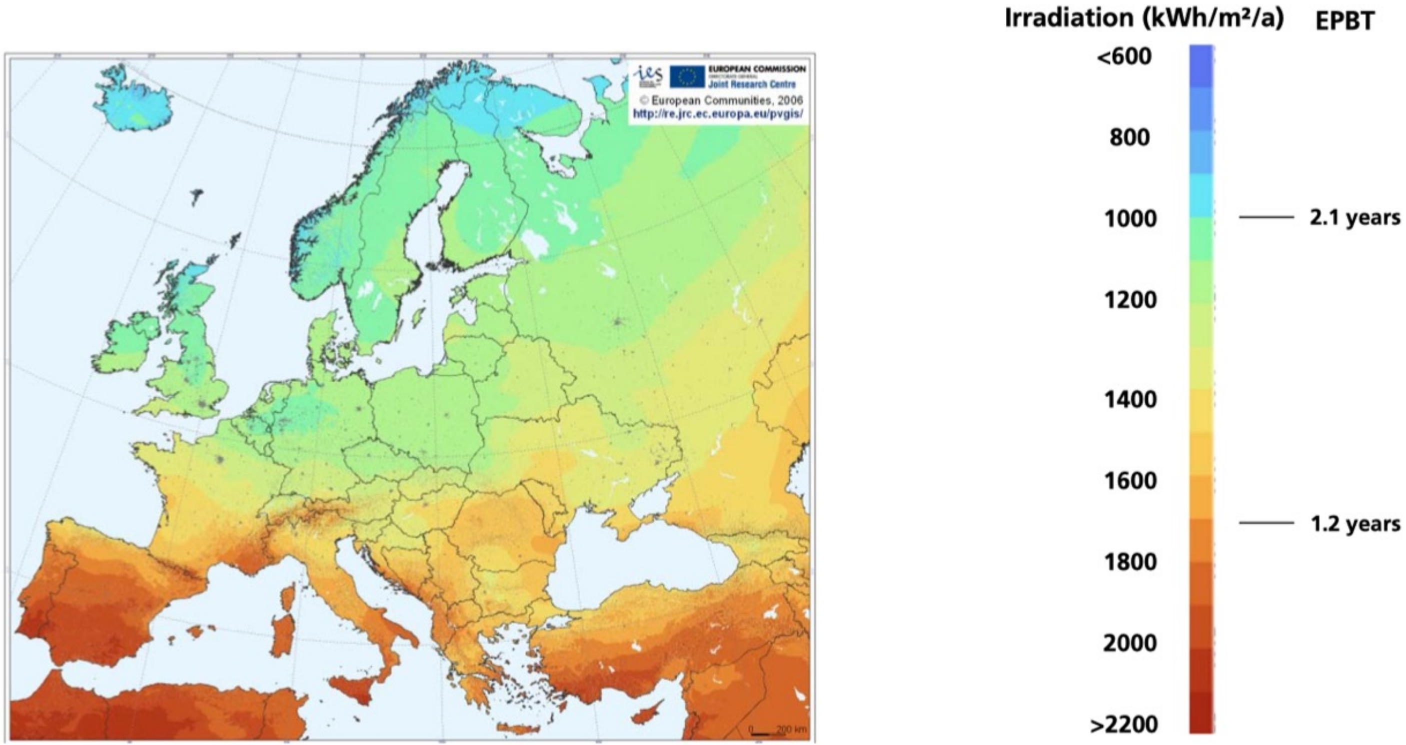
Quelle: Dr. Stefan Holzheu, Uni Bayreuth, 2021

1 ha Solarpark liefert soviel Strom wie 40 ha Biogasmais!



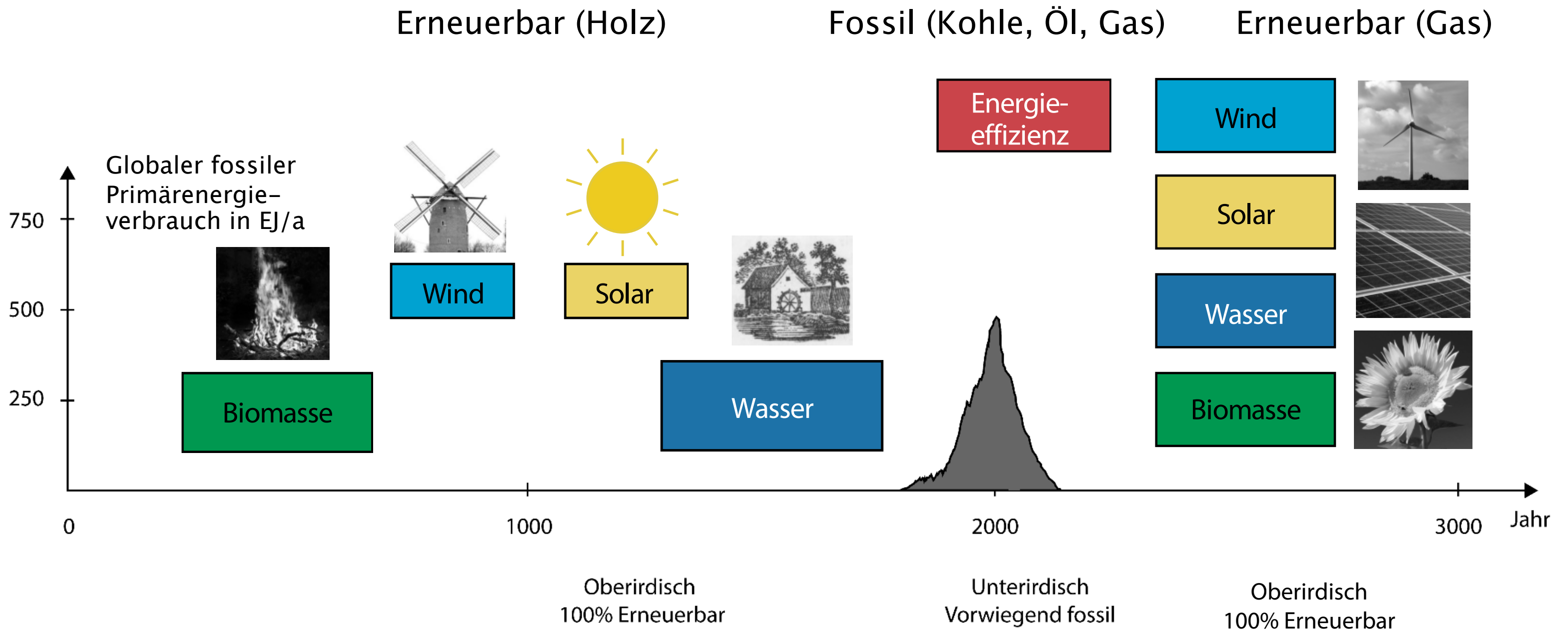
Solarpark-Biotop bei Landshut: kein Spritzen, kein Düngen → besser für Artenvielfalt, Wasser

Energetische Amortisationszeit für Solarmodule: in Deutschland 1-2 Jahre


EUROPEAN COMMISSION
Joint Research Centre
© European Communities, 2006
http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/
200 km
Irradiation (kWh/m²/a)
EPBT
<600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
>2200
2.1 years
1.2 years

Data: M.J. de Wild-Scholten 2013. Image: JRC European Commision. Graph: PSE 2014 (Modified scale with updated data from PSE and FraunhoferISE)

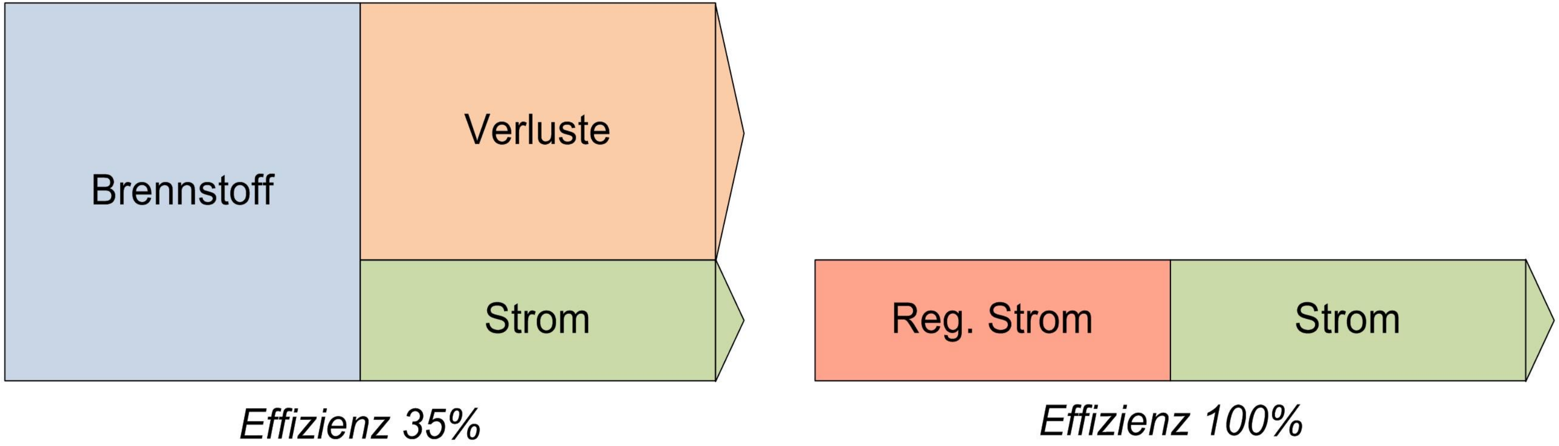
Die Energieversorgung wird wieder 100 % erneuerbar und oberirdisch, wie früher



Quelle: Sterner, 2017

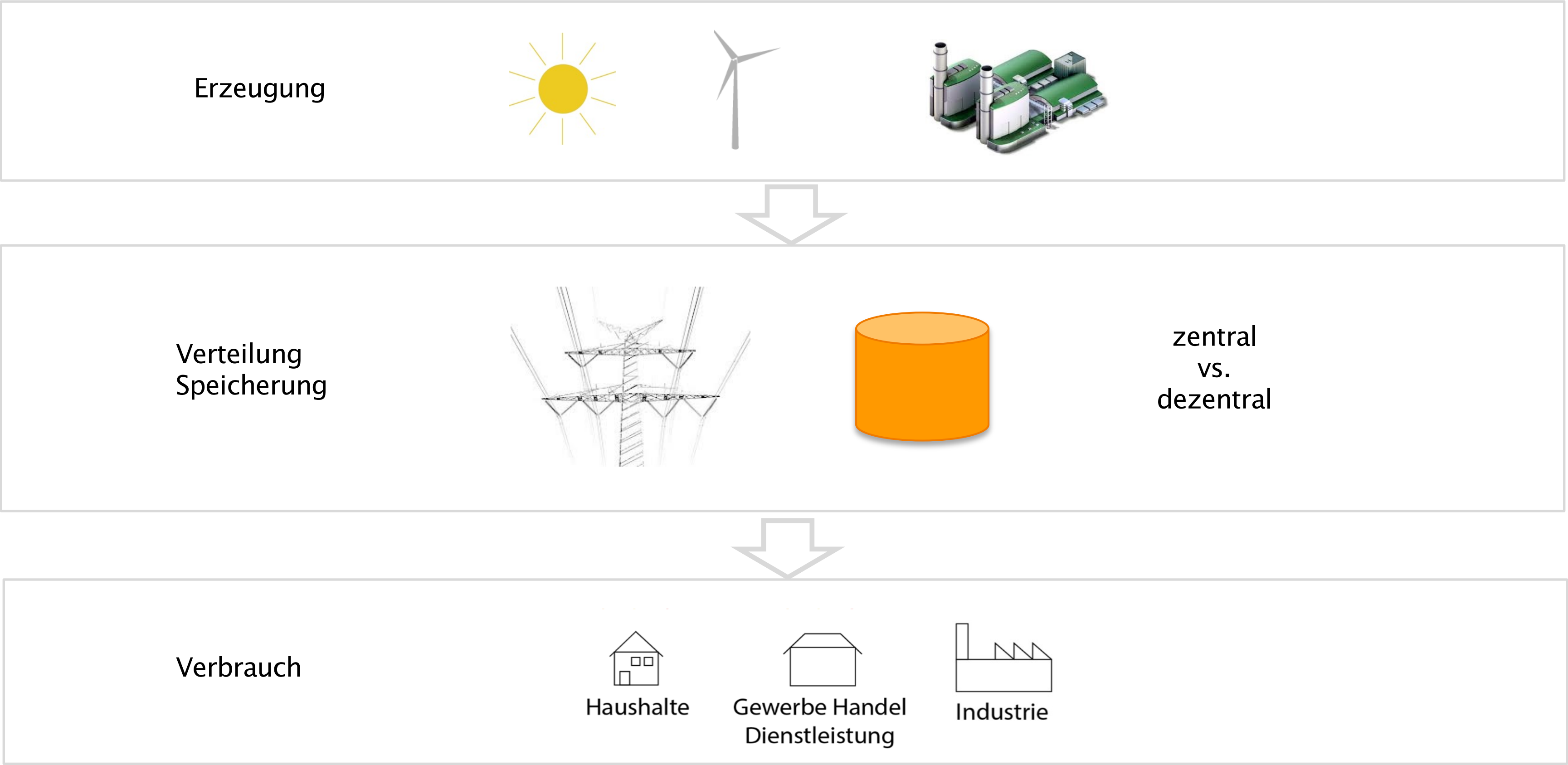
Strom

Effizienzsprung durch Wind, Solar, Wasserkraft


Brennstoff
Verluste
Strom
Effizienz 35%
Reg. Strom
Strom
Effizienz 100%

Quelle: Sterner, Schmid, Wickert, BWK 06/08, 2008; WBGU, 2008

Wir brauchen Netze und Speicher



Erzeugung

Verteilung
Speicherung

zentral
vs.
dezentral

Verbrauch

Haushalte

Gewerbe Handel
Dienstleistung

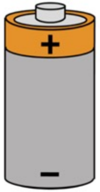
Industrie

Quelle: Sterner, Stadler, 2014

Kurzzeitspeicher

Stunden, Tage

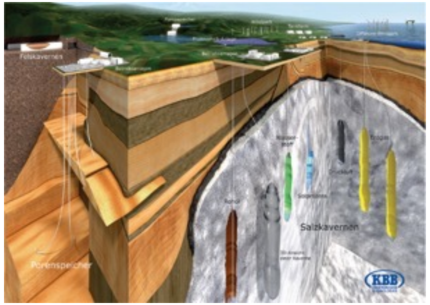
Pumpspeicher, Batterien



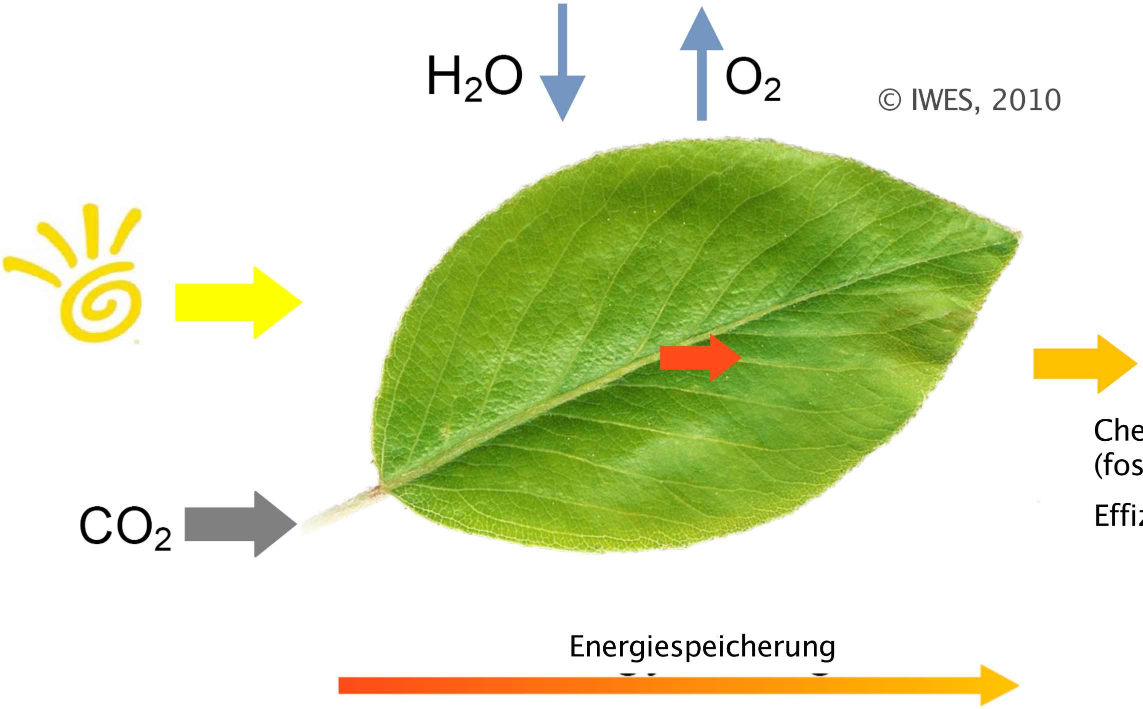
Langzeitspeicher

Wochen, Monate

Power-to-Gas, Wasserstoff


Felskavernen
Salzkavernen
Porenspeicher
KBB

Quelle: Sterner et al, FENES OTH Regensburg, 2021


H_2O
O_2
CO_2
Energiespeicherung

© IWES, 2010

Chem. Energie
(fossil, bio)

Effizienz: ca. 1%

Kernprozess: 1) Spalten von Wasser
2) H_2 reagiert mit CO_2

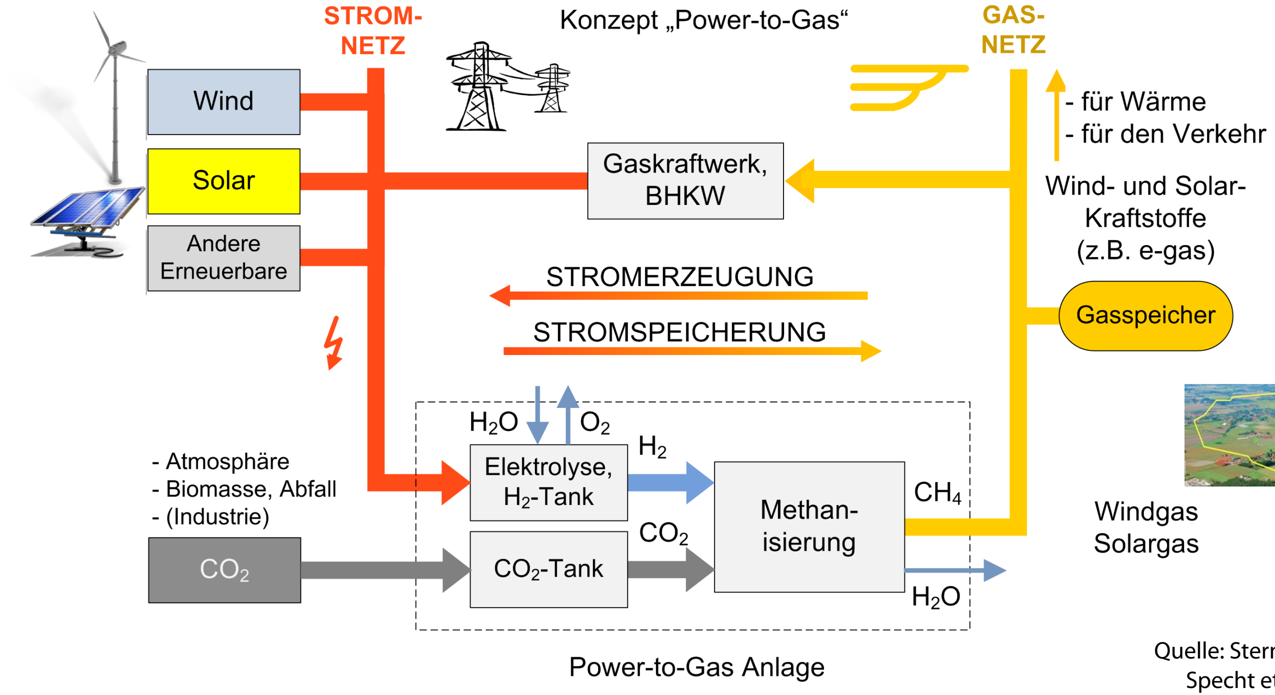
$$12\ H_2O \xrightarrow{h\nu} 24\ (H) + 6\ O_2$$

$$6\ CO_2 + 24\ (H) \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ H_2O$$

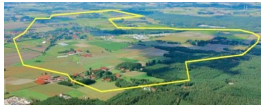
Quelle: Sterner, 2009

Power-to-Gas Das Original

Energiespeicherung durch Kopplung von Strom- und Gasnetz


STROM-
NETZ
Konzept „Power-to-Gas“
GAS-
NETZ
Wind
Solar
Andere Erneuerbare
Gaskraftwerk, BHKW
- für Wärme
- für den Verkehr
Wind- und Solar-Kraftstoffe (z.B. e-gas)
STROMERZEUGUNG
STROMSPEICHERUNG
Gasspeicher
H_2O
O_2
H_2
Elektrolyse, H_2-Tank
Methan-isierung
CH_4
- Atmosphäre
- Biomasse, Abfall
- (Industrie)
CO_2
CO_2-Tank
CO_2
H_2O
Power-to-Gas Anlage

→ Technische Nachbildung der Photosynthese



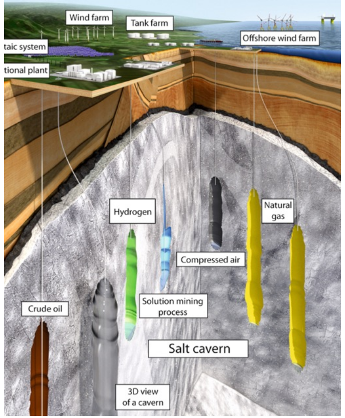
Windgas
Solargas

Quelle: Sterner, 2009
Specht et al, 2010

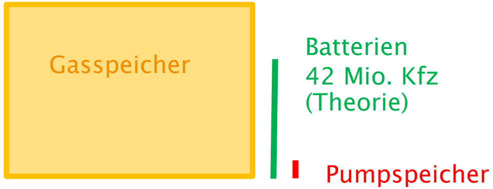
Sterner, M. (2009): Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems. Limiting global warming by transforming energy systems. Kassel University, Dissertation. http://www.upress.uni-kassel.de/publi/abstract.php?978-3-89958-798-2

Das Speicherproblem ist technisch gelöst
Einzige nationale Option für Versorgungssicherheit: Gasspeicher

Kohle/Atomausstieg


Wind farm
Tank farm
Offshore wind farm
taic system
tional plant
Hydrogen
Natural gas
Compressed air
Crude oil
Solution mining process
Salt cavern
3D view of a cavern

Speichereinstieg



Gasspeicher

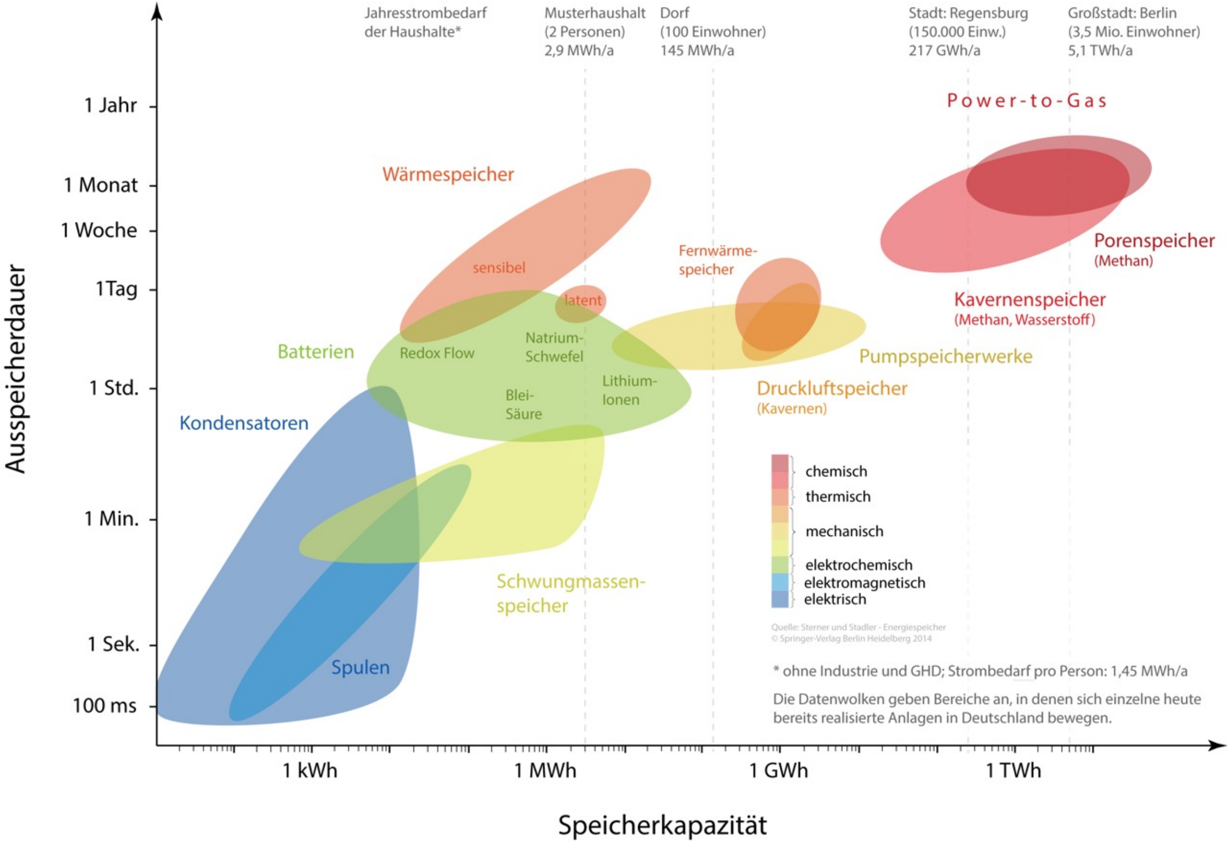
Batterien
42 Mio. Kfz
(Theorie)

Pumpspeicher

Gas-Speicherkapazität: 8000 x soviel wie Strom
Gas-Transportkapazität: ca. 4 x soviel wie Strom

→ **Absicherung** nicht nur für **Strom**, sondern **für alles** was am Strom hängt:
Digitalisierung, Wärmepumpen, E-Mobilität, Industrie, kritische Infrastruktur

Alle nötigen Speichertechnologien in Marktreife vorhanden



Quelle: Sterner und Stadler - Energiespeicher
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

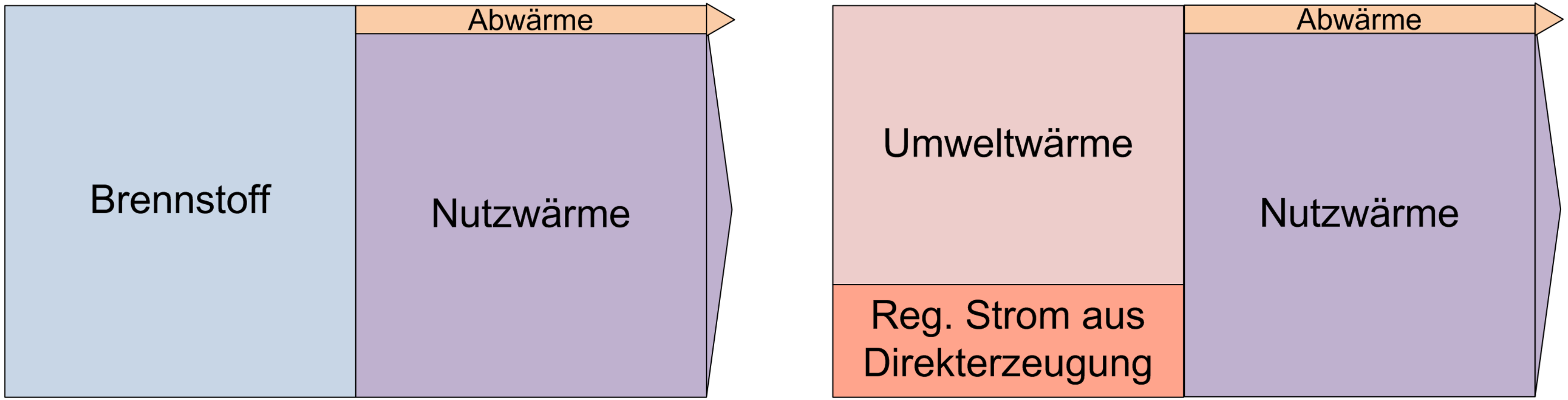
* ohne Industrie und GHD; Strombedarf pro Person: 1,45 MWh/a

Die Datenwolken geben Bereiche an, in denen sich einzelne heute bereits realisierte Anlagen in Deutschland bewegen.

Quelle: Sterner, Stadler, 2014

Wärme

Effizienzsprung durch Wärmepumpen



Brennstoff

Abwärme

Nutzwärme

Direkte Verbrennung

Umweltwärme

Reg. Strom aus Direkterzeugung

Abwärme

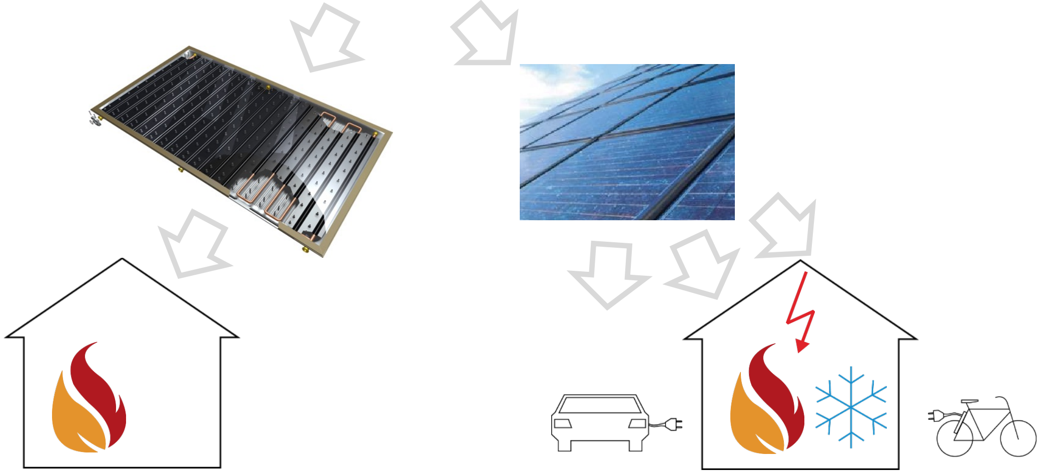
Nutzwärme

Elektr. Wärmepumpe

Quelle: Sterner, Schmid, Wickert, BWK 06/08, 2008; WBGU, 2008

Wärmeoptionen

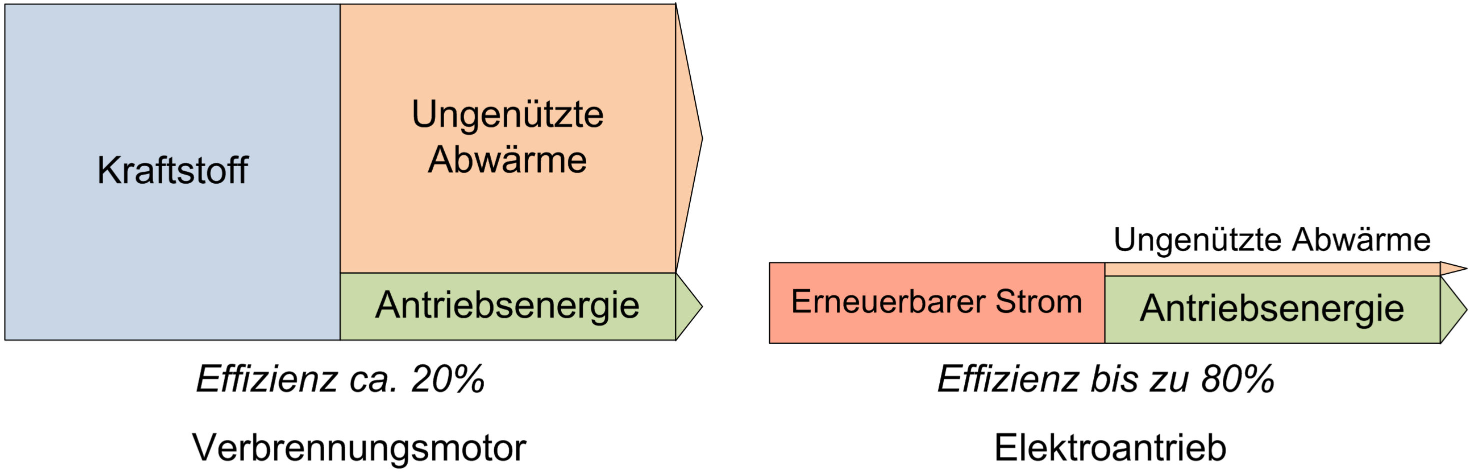
	Gastherme+ Solarthermie	Biogas + Solarthermie	Luft-Wärme-pumpe	Erd-WP mit Ökostrom	Pellets
Heizsystem	🔥	🔥	WP	WP	🔥
Solaranlage	☀	☀			



Quelle: Sterner et al, FENES OTH Regensburg, 2016

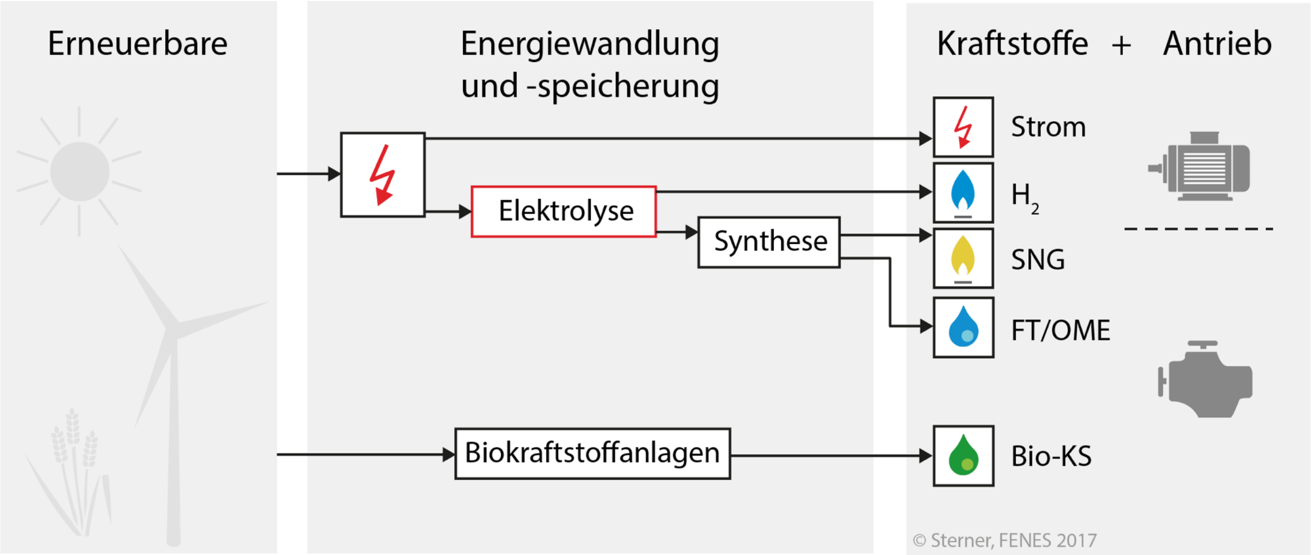
Verkehr

Effizienzsprung durch E-Mobilität


Kraftstoff
Ungenützte Abwärme
Antriebsenergie
Effizienz ca. 20%
Verbrennungsmotor
Ungenützte Abwärme
Erneuerbarer Strom
Antriebsenergie
Effizienz bis zu 80%
Elektroantrieb

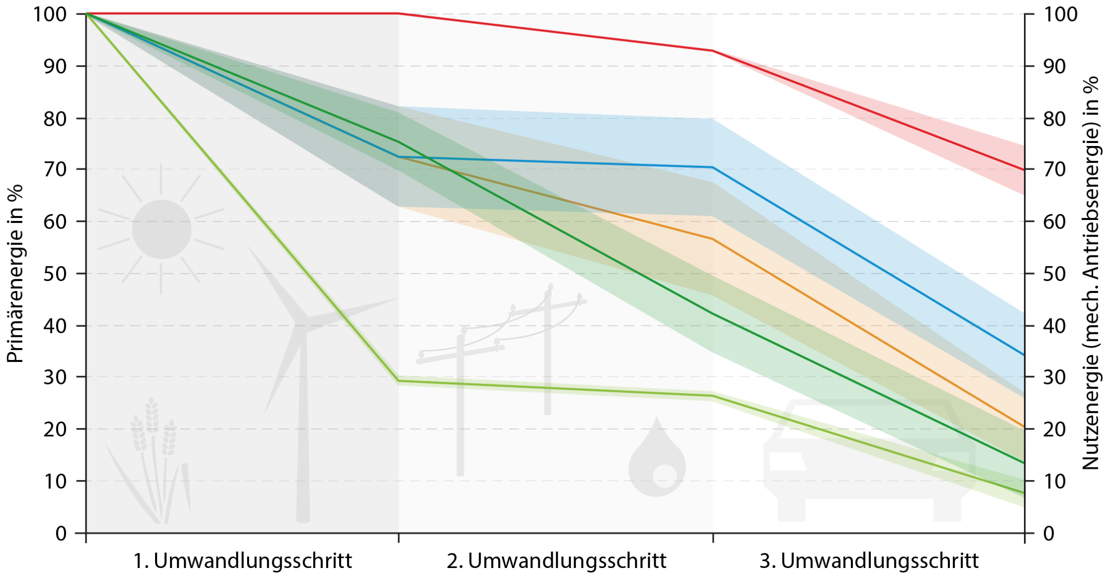
Quelle: Sterner, Schmid, Wickert, BWK 06/08, 2008; WBGU, 2008

Optionen für klimaneutrale Kraftstoffe und Antriebe


Erneuerbare
Energiewandlung und -speicherung
Kraftstoffe + Antrieb
Elektrolyse
Synthese
Biokraftstoffanlagen
Strom
H_2
SNG
FT/OME
Bio-KS

© Sterner, FENES 2017

Wirkungsgrade verschiedener Antriebs–Kraftstoff–Kombinationen



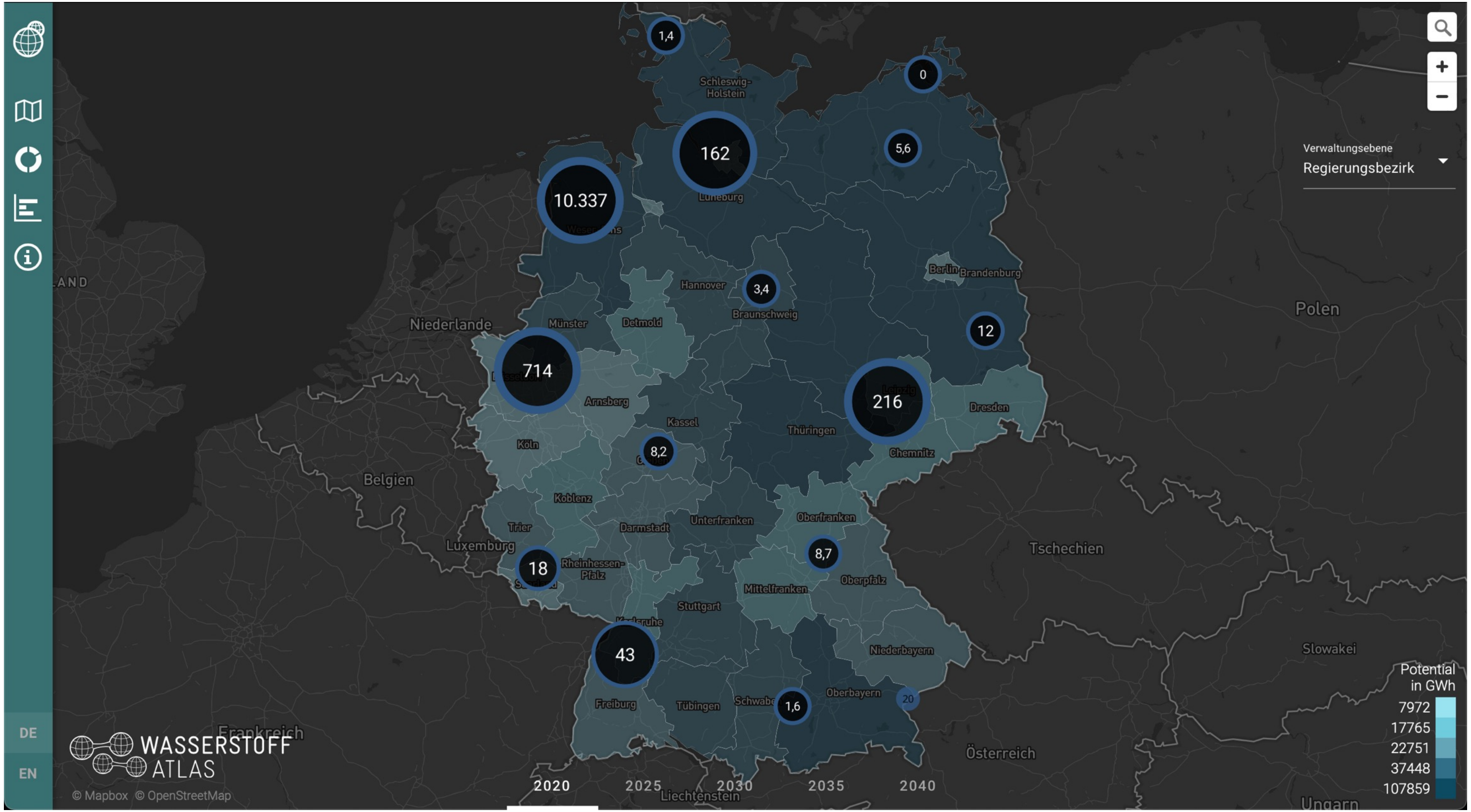
© Sterner, FENES 2017

	1. Umwandlungsschritt	2. Umwandlungsschritt	3. Umwandlungsschritt
Elektrofahrzeug	Stromerzeugung	Transport	Elektromotor
Brennstoffzellenfahrzeug	H_2-Elektrolyse	Aufbereitung und Transport	Brennstoffzelle
Gasfahrzeug	H_2-Elektrolyse	Methanisierung, Aufbereitung und Transport	Gasmotor
Biodieselfahrzeug (1. Gen.)	Rapsölerzeugung	Umesterung	Dieselmotor
Biodieselfahrzeug (2. Gen.)	Biomassevergasung	Fischer-Tropsch	Dieselmotor

Quelle: eigene Darstellung

Industrie

www.wasserstoffatlas.de



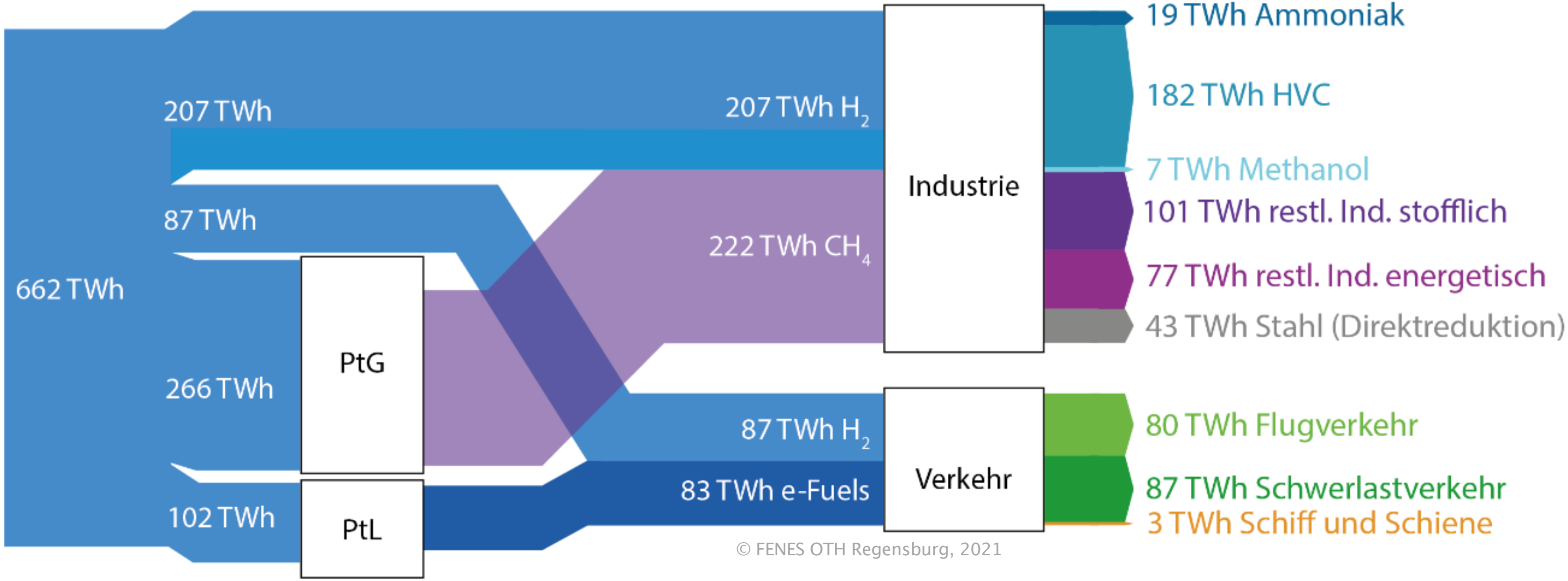
Verwaltungsebene
Regierungsbezirk

1,4
0
Schleswig-Holstein
162
10.337
Lüneburg
5,6
Berlin
Brandenburg
Hannover
3,4
Braunschweig
Münster
Detmold
Niederlande
714
12
216
Dresden
Arnsberg
Kassel
Thüringen
Köln
8,2
Chemnitz
Belgien
Koblenz
Trier
Darmstadt
Unterfranken
Oberfranken
Luxemburg
18
Rheinhessen-Pfalz
8,7
Oberpfalz
Mittelfranken
Stuttgart
Karlsruhe
43
Niederbayern
Freiburg
Tübingen
Schwaben
1,6
Oberbayern
20
Frankreich
Österreich
Polen
Tschechien
Slowakei
Ungarn
Liechtenstein
LAND
WASSERSTOFF ATLAS
© Mapbox © OpenStreetMap
DE
EN
2020
2025
2030
2035
2040
Potential in GWh
7972
17765
22751
37448
107859

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Quelle: Sterner et al, 2021

Nutzungspfade für Wasserstoff in 2050

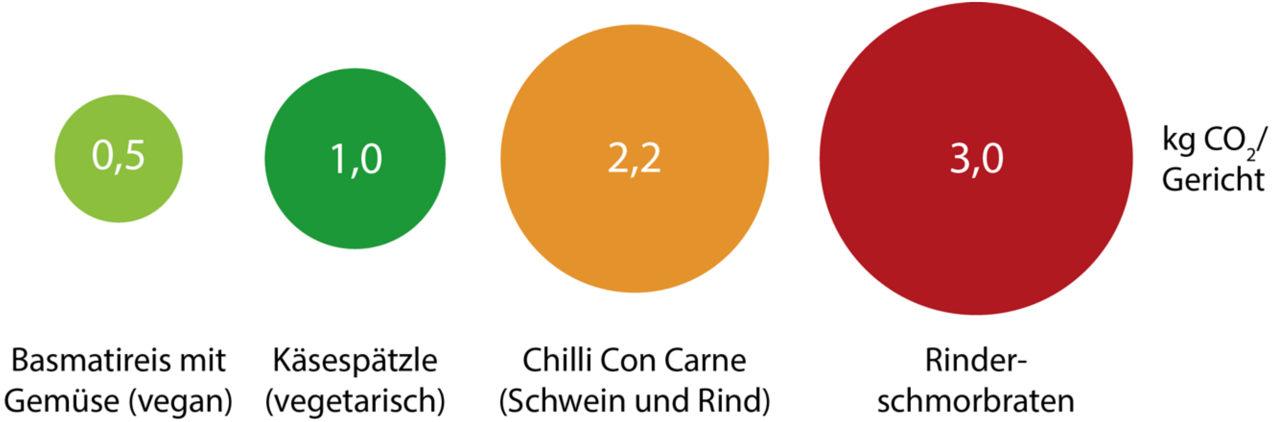

662 TWh
207 TWh
87 TWh
266 TWh
102 TWh
PtG
PtL
207 TWh H_2
222 TWh CH_4
87 TWh H_2
83 TWh e-Fuels
Industrie
Verkehr
19 TWh Ammoniak
182 TWh HVC
7 TWh Methanol
101 TWh restl. Ind. stofflich
77 TWh restl. Ind. energetisch
43 TWh Stahl (Direktreduktion)
80 TWh Flugverkehr
87 TWh Schwerlastverkehr
3 TWh Schiff und Schiene

© FENES OTH Regensburg, 2021

Quelle: Bauer, Sterner, 2021

Agrar + Forst

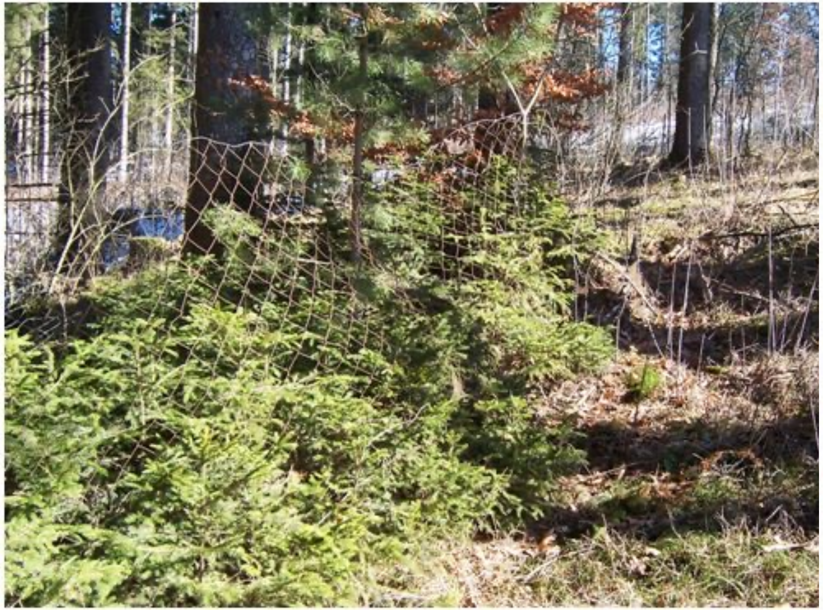
CO$_{2\text{-äqu.}}$-Fußabdruck von verschiedenen Gerichten

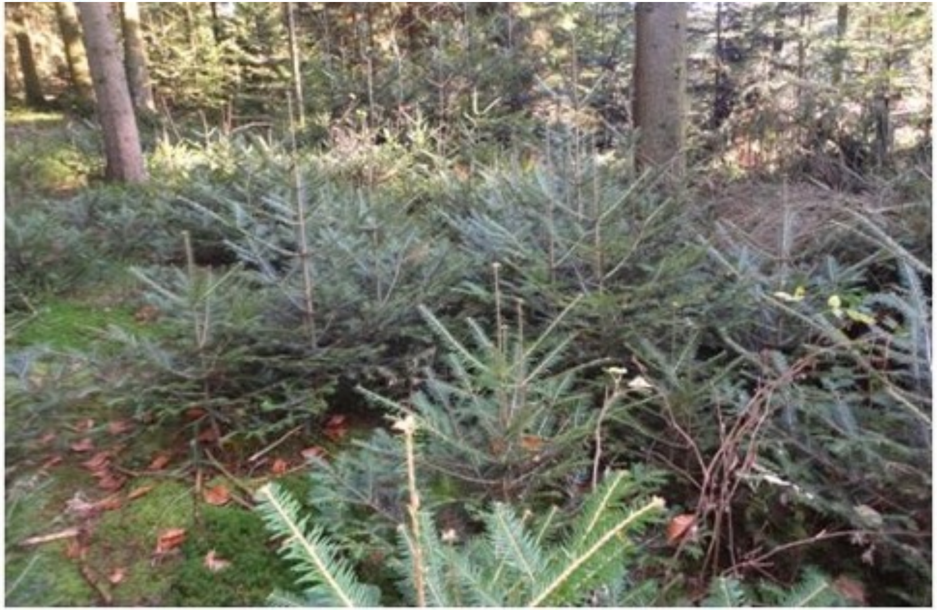


Michael Heberl, FENES OTH Regensburg, 2020

Nachwuchs im Wald

„Eingezäunt“ vs. Natürlich

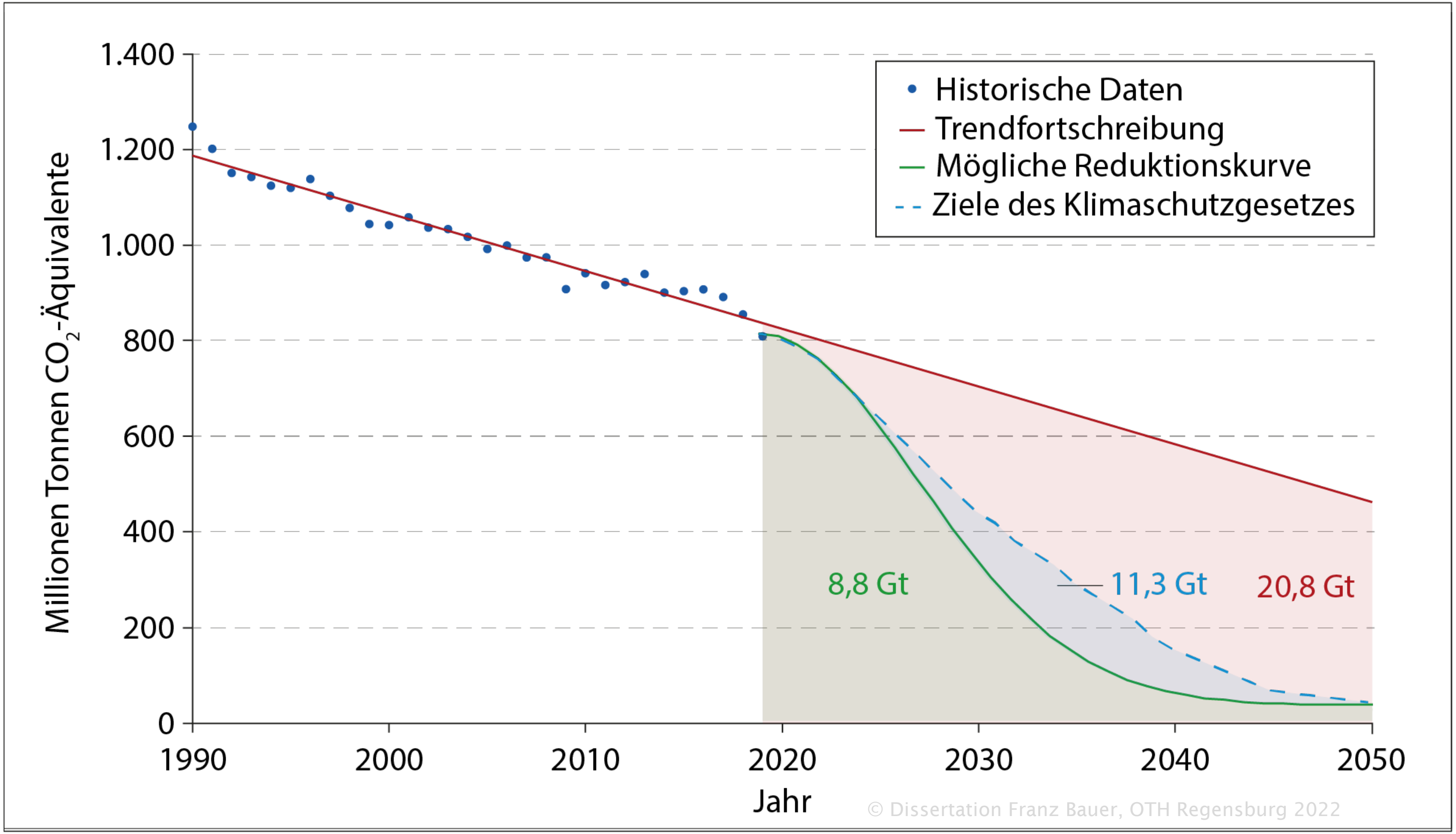




Bildquellen: Privat

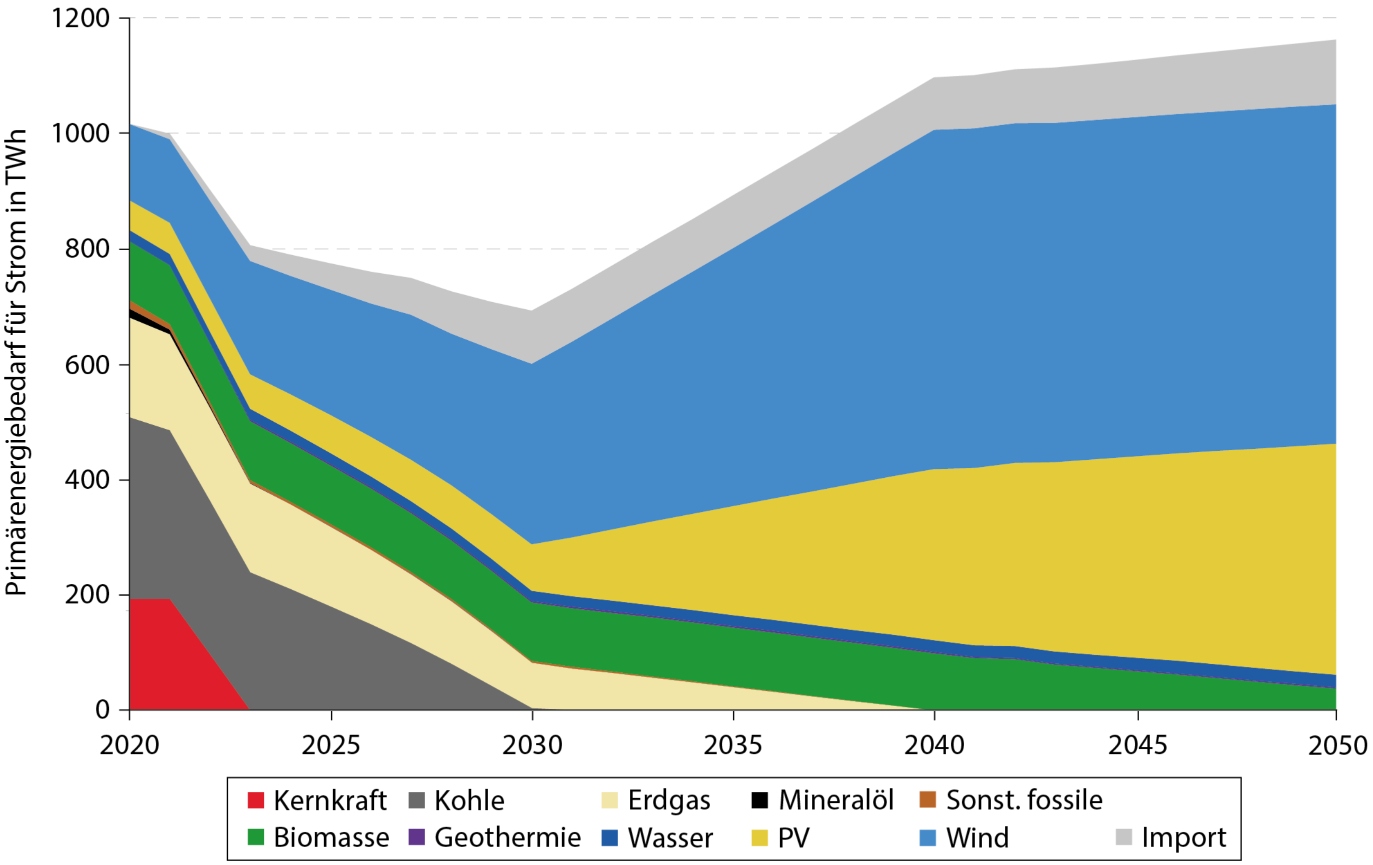
Gesamtbild

$CO_{2\text{-äq.}}$Emissionen in Deutschland



© Dissertation Franz Bauer, OTH Regensburg 2022

Verdoppelung Strombedarf durch Elektrifizierung und H_2

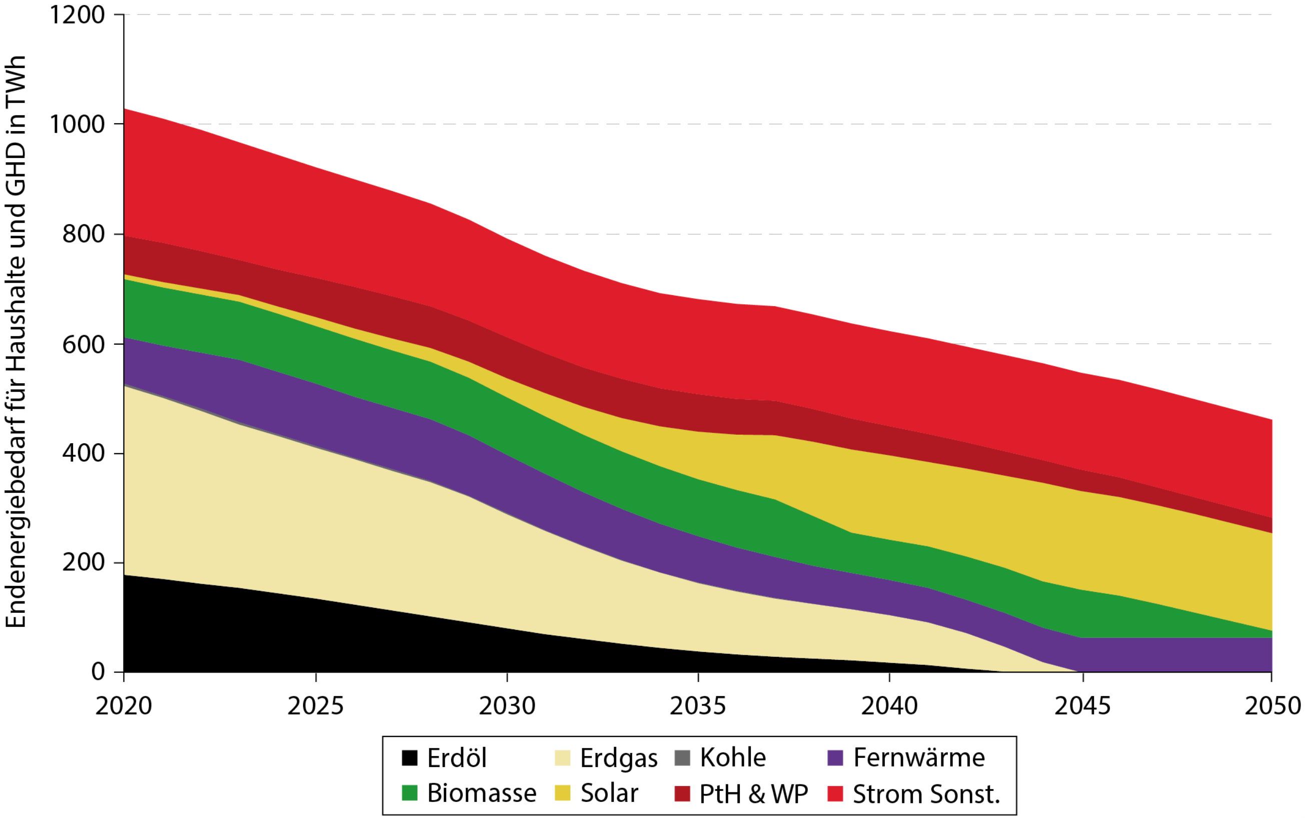


KOPERNIKUS P2X PROJEKTE
Die Zukunft unserer Energie

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Quelle: Bauer, Sterner, 2022

Effiziente Wärme durch Einsparung und viele Alternativen

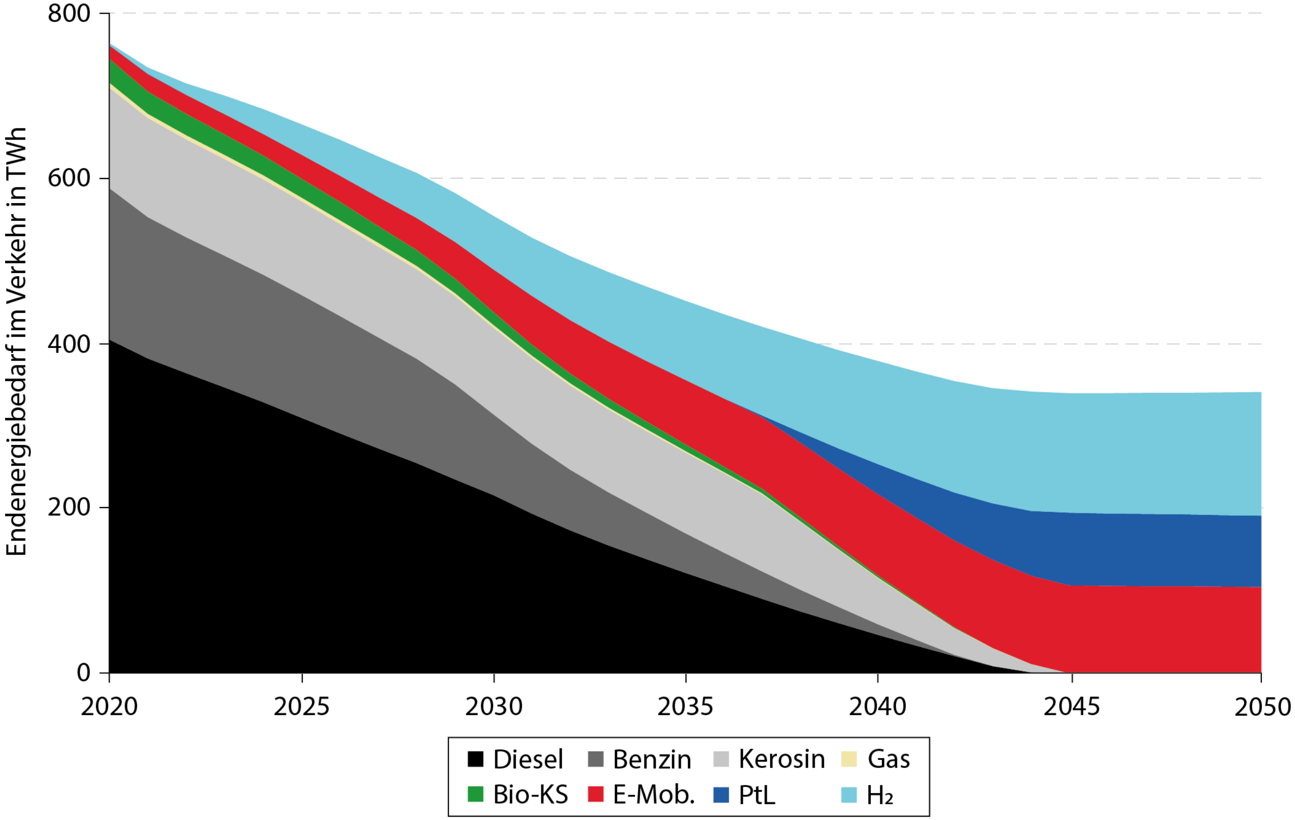


KOPERNIKUS PROJEKTE
P2X
Die Zukunft unserer Energie

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Quelle: Bauer, Sterner, 2022

Verkehr: Klarer Wandel zur E-Mobilität & E-Fuels



H_2 für LKW

PtL für Flugzeuge & Schiffe

Strom für PKW, LKW, Bahn

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

KOPERNIKUS PROJEKTE

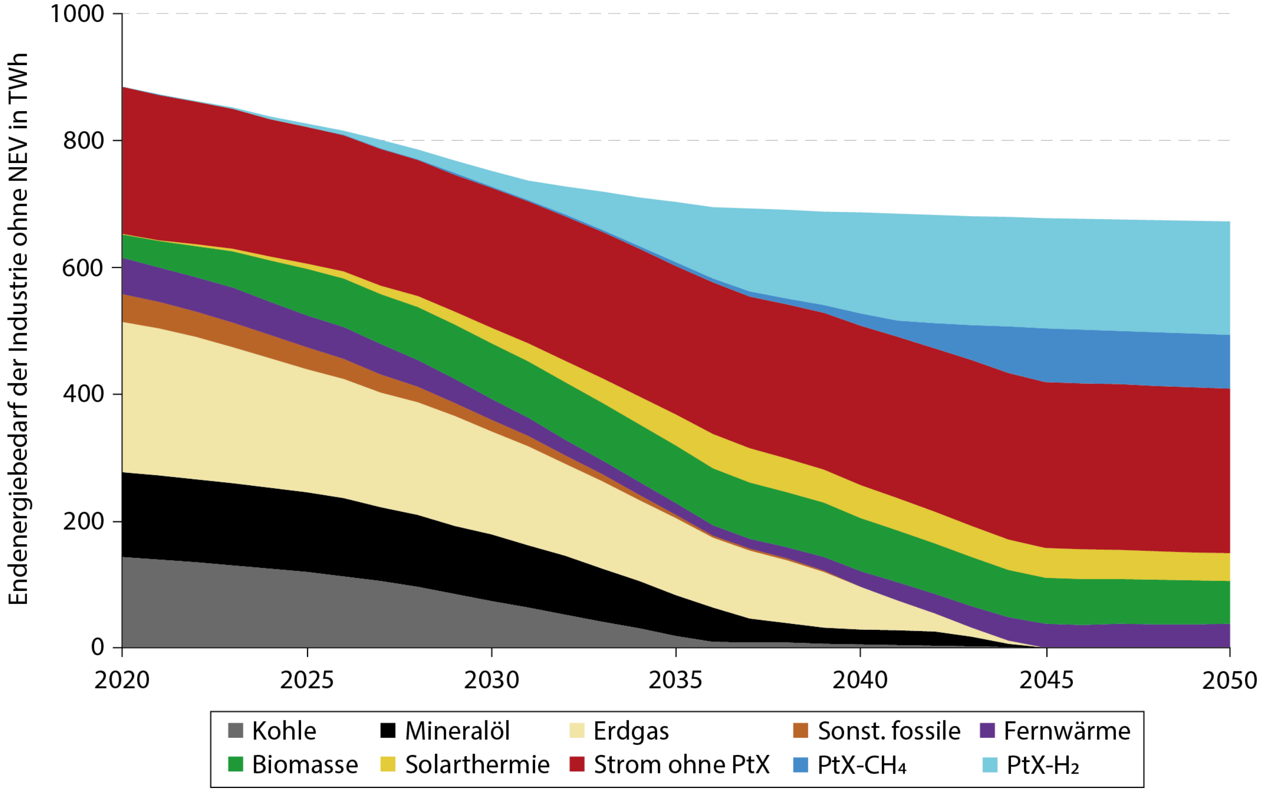
P2X

Die Zukunft unserer Energie

Quelle: Bauer, Sterner, 2022

Zukunftsfähige Industrie auf erneuerbarer Basis

→ CO_2-neutrale Produkte durch grünen Strom + PtX



PtX/H_2 für Chemie/Stahl etc.

PtG für Prozesswärme

Strom für Stahl/Glas/Rest

Biomasse: Papier/Zement

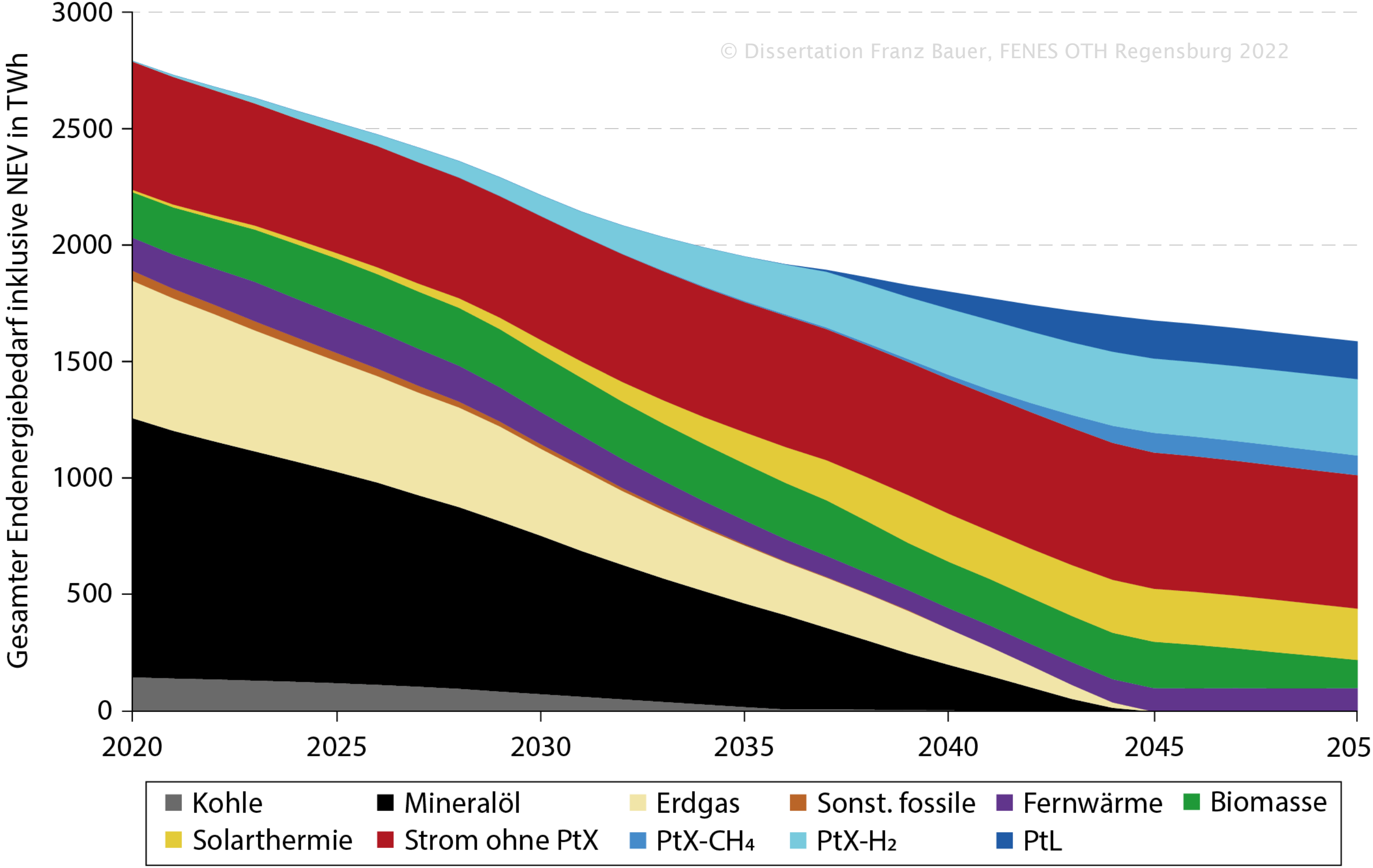
GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

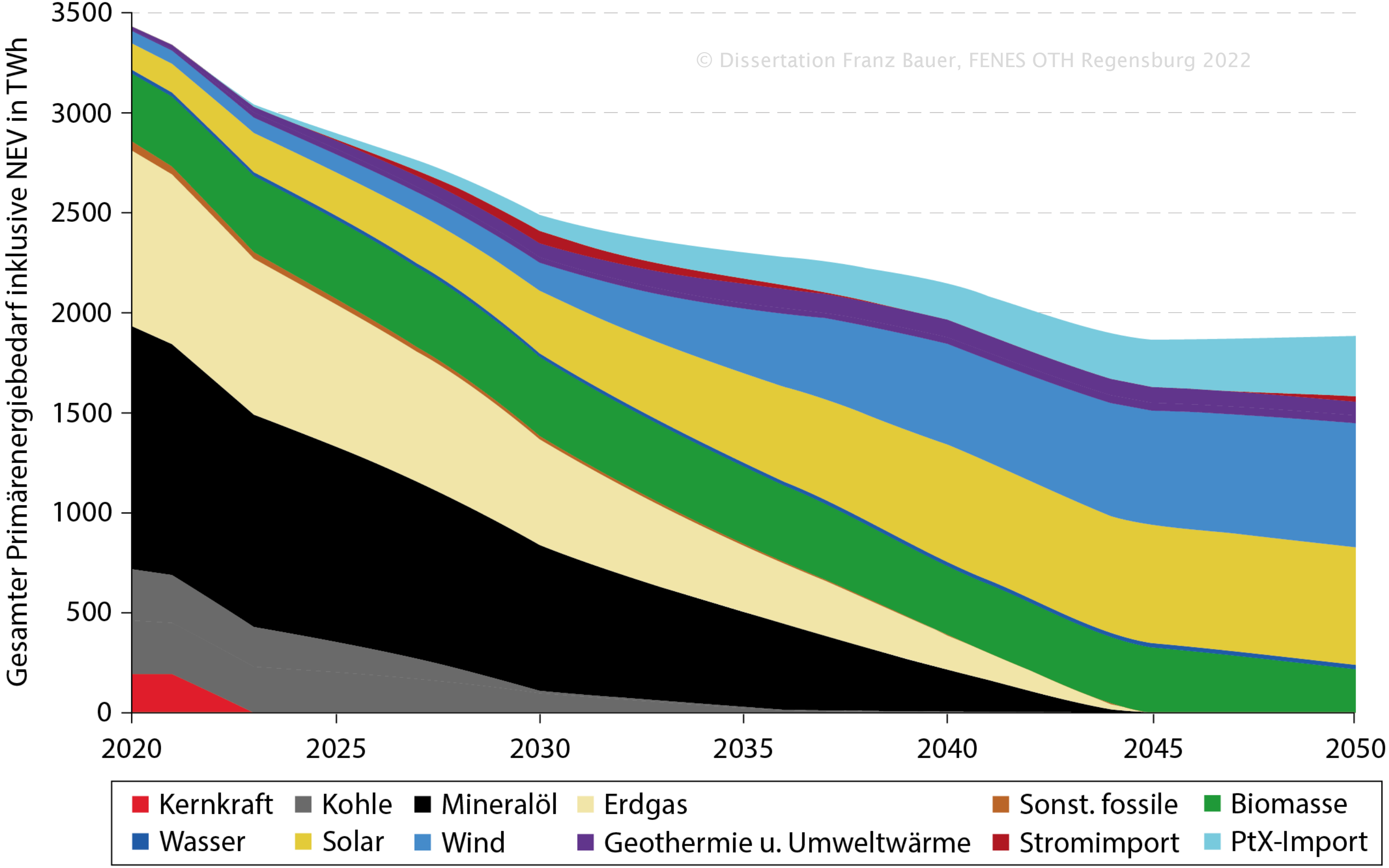
KOPERNIKUS P2X PROJEKTE
Die Zukunft unserer Energie

Quelle: Bauer, Sterner, 2022

Endenergie aller Sektoren



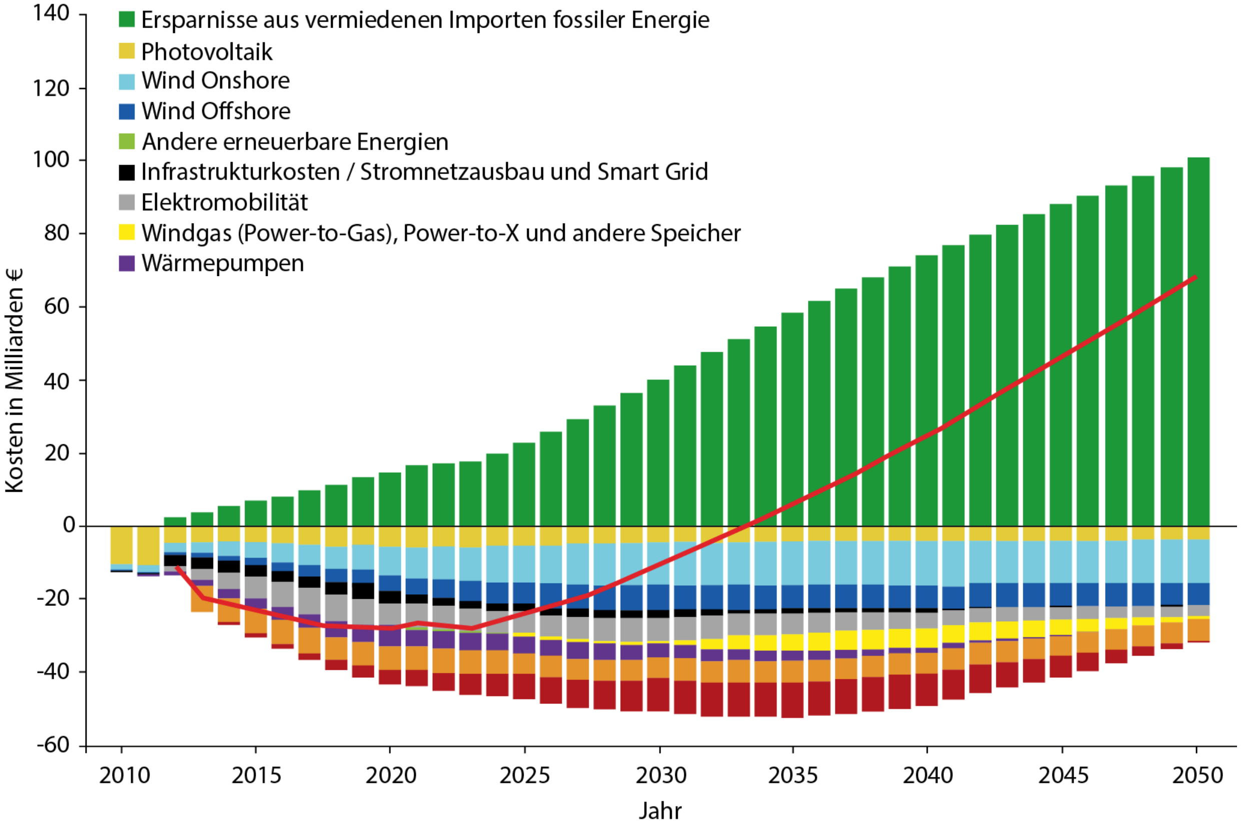
Primärenergie aller Sektoren



© Dissertation Franz Bauer, FENES OTH Regensburg 2022

Energiewende lohnt sich – Rendite 4 – 7 % bis 2050 (alte Energiepreise!)

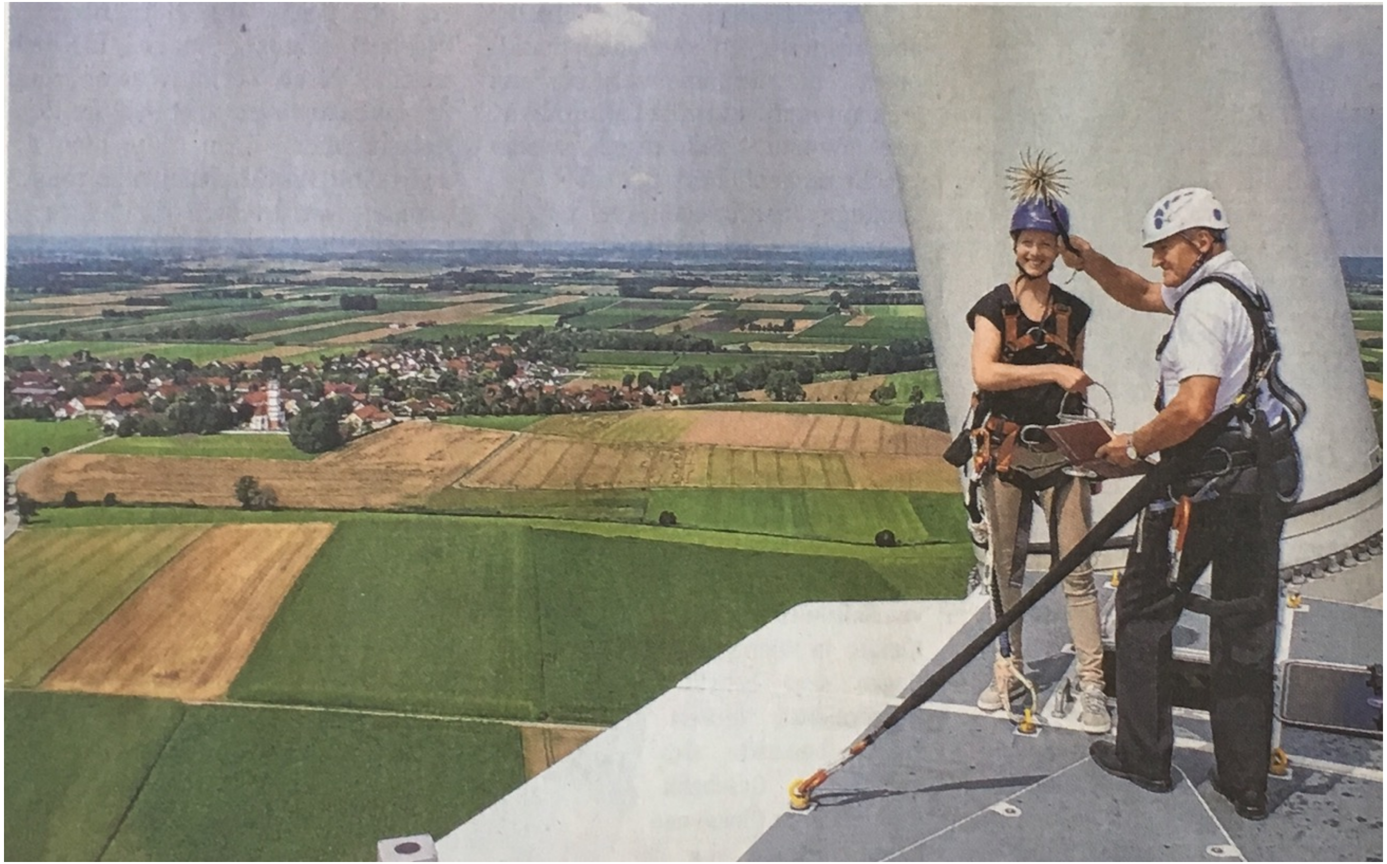
Kosten aller Sektoren inkl. Speicher enthalten



Quelle: Geschäftsmodell Energiewende –Gerhardt et al., 2013 (www.herkulesprojekt.de)

Politik & Gesellschaft

Winderntedank



Karola Schenk: 20 Prozent mehr Ertrag – Windenergie – Lamerdinger feiern »Erntedank« mit Segnung und Fest. Allgäuer Zeitung.

Bildung, Bildung, Bildung → Energietechnik-Studierende

Intersolar 2022