

An aerial photograph of a vast wind farm. Numerous white wind turbines are scattered across a rolling, forested landscape. In the foreground, a small town with yellow-roofed buildings is visible. The sky is overcast and grey.

Windstille am Bodensee

Warum die Energiewende an ihre Grenzen stößt

Prof. Dr. Eduard Heindl
Hochschule Furtwangen

Hintergrundbild: Taunus



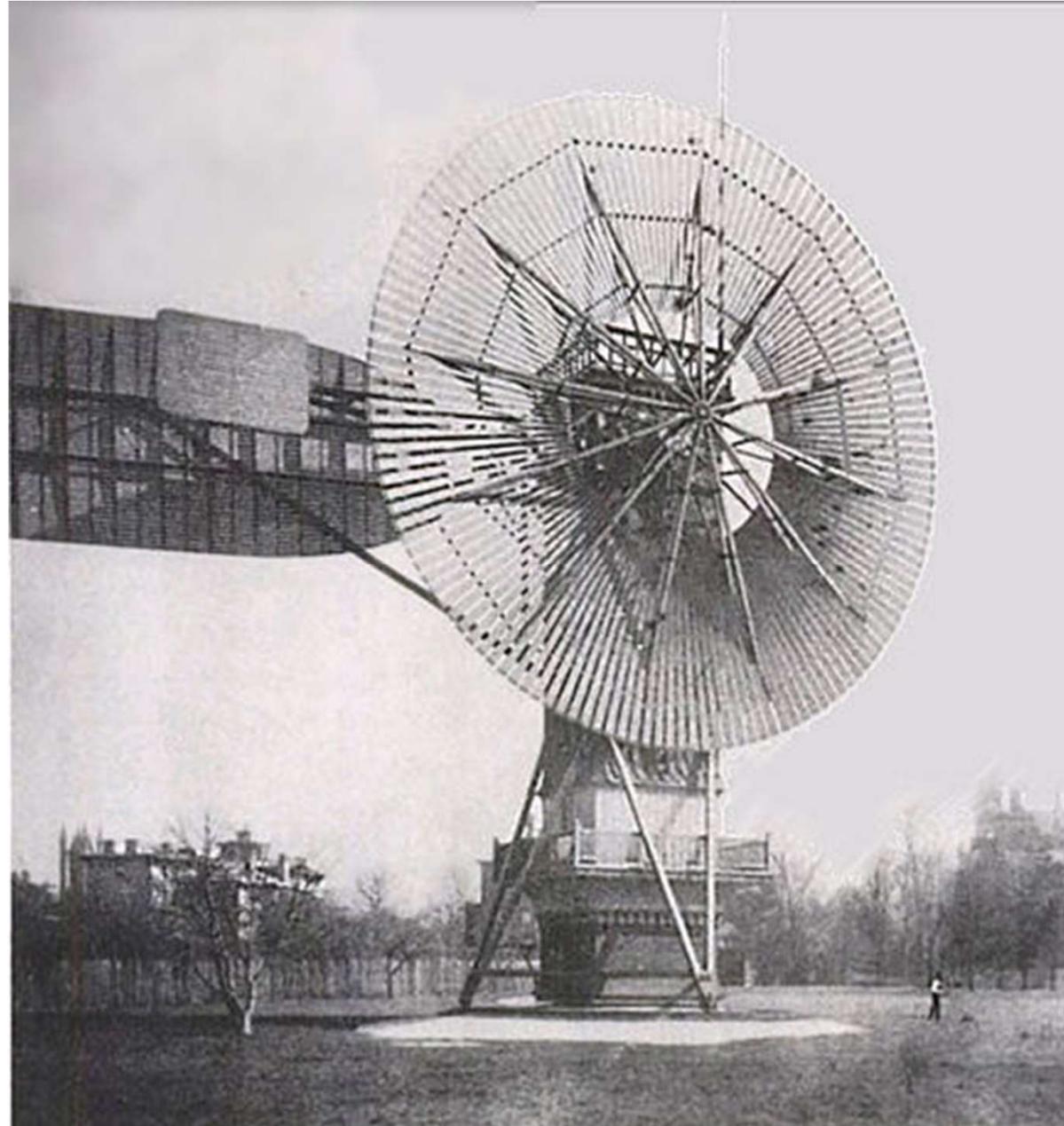
Ägyptisches Segelschiff 1420 vor Chr.

Windmühlen in Persien Nashtifan vor 1000 Jahren



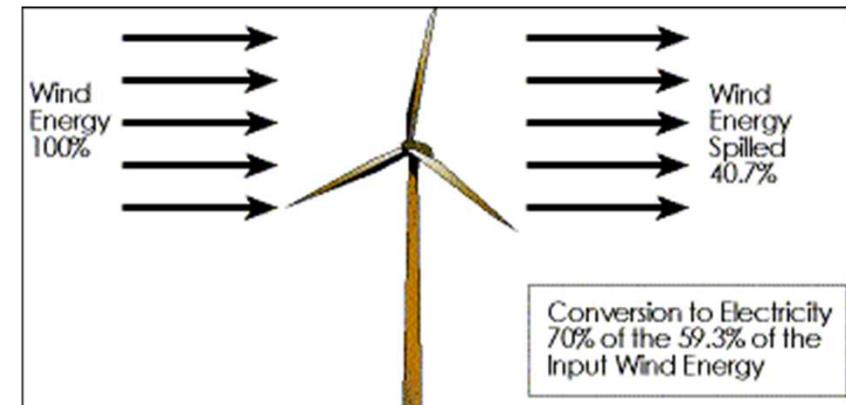
Source: <https://en.iranmarcopolo.com/thousand-year-old-nashtifan-windmills/>

1888
Erste Windmühle für die
Stromerzeugung
in den USA



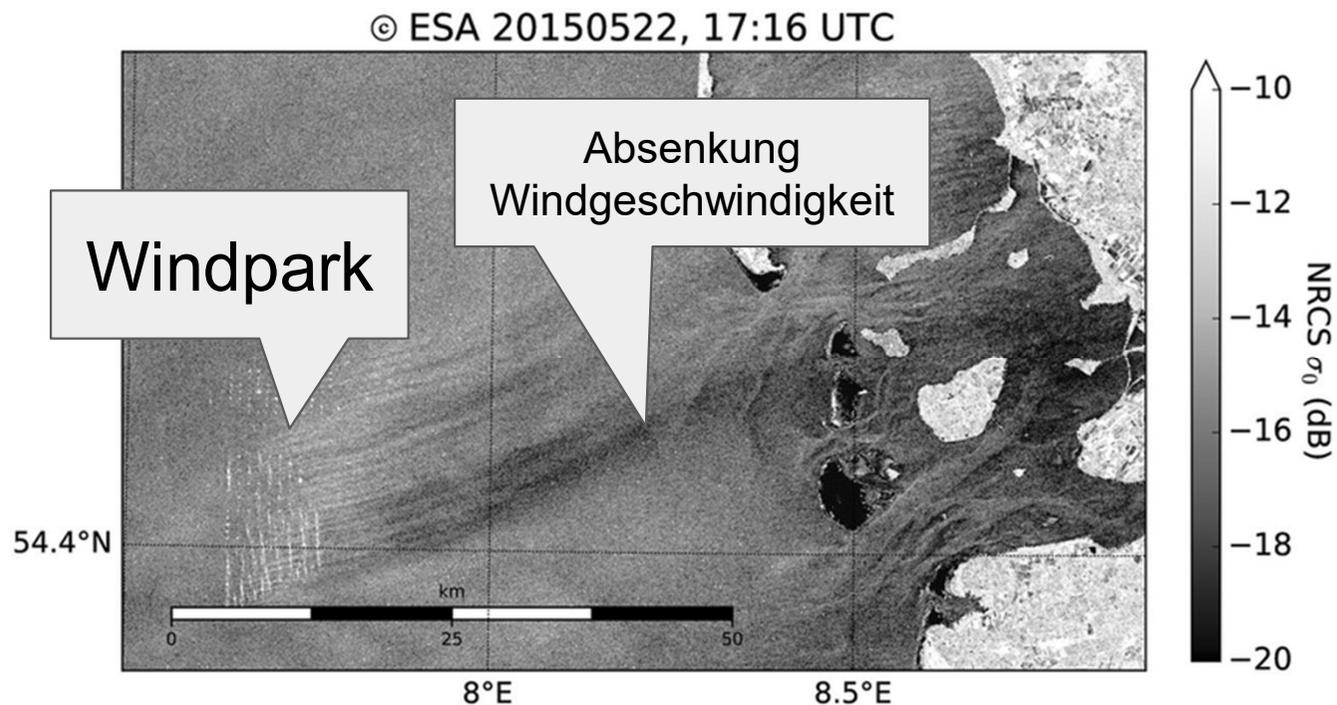
Wirkungsgrad von Windkraftwerken

- Ein Windkraftwerk entnimmt Energie durch Reduktion der Windgeschwindigkeit
- Die Energie hängt stark von der Windgeschwindigkeit ab
 - $P = \frac{1}{2} A \rho v^3$
 - A: Rotorfläche
 - ρ : Luftdichte
 - v: Windgeschwindigkeit
- Theoretisch 59 % Wirkungsgrad (Betz-Limit)
- Praktisch 40 % Wirkungsgrad



Wenn der Wind um **25 % schneller** weht,
erzeugt ein Windkraftwerk bereits die
doppelte Energiemenge (in gleicher Zeit)

Ein Windkraftwerk entnimmt Energie durch Reduktion der Windgeschwindigkeit



Mit Satelliten kann man die großräumige Abschwächung der Windgeschwindigkeit messen.

Hier: Windpark in der Nordsee (FIN O1) senkt die Windgeschwindigkeit über mindestens 50 km

Warum sinkt die Windgeschwindigkeit?

Es gilt: Energie bleibt erhalten

Entnimmt man der Luft Energie durch Windkraftwerke, hat die Luft (der Wind) danach weniger Bewegungsenergie

Wo verbleibt die Energie?

Sie wurde in Strom umgewandelt.

Ist das ein Problem?

Ja, denn wir benötigen Wind, damit feuchte Luft an Land kommt, um dort abzuregnen!

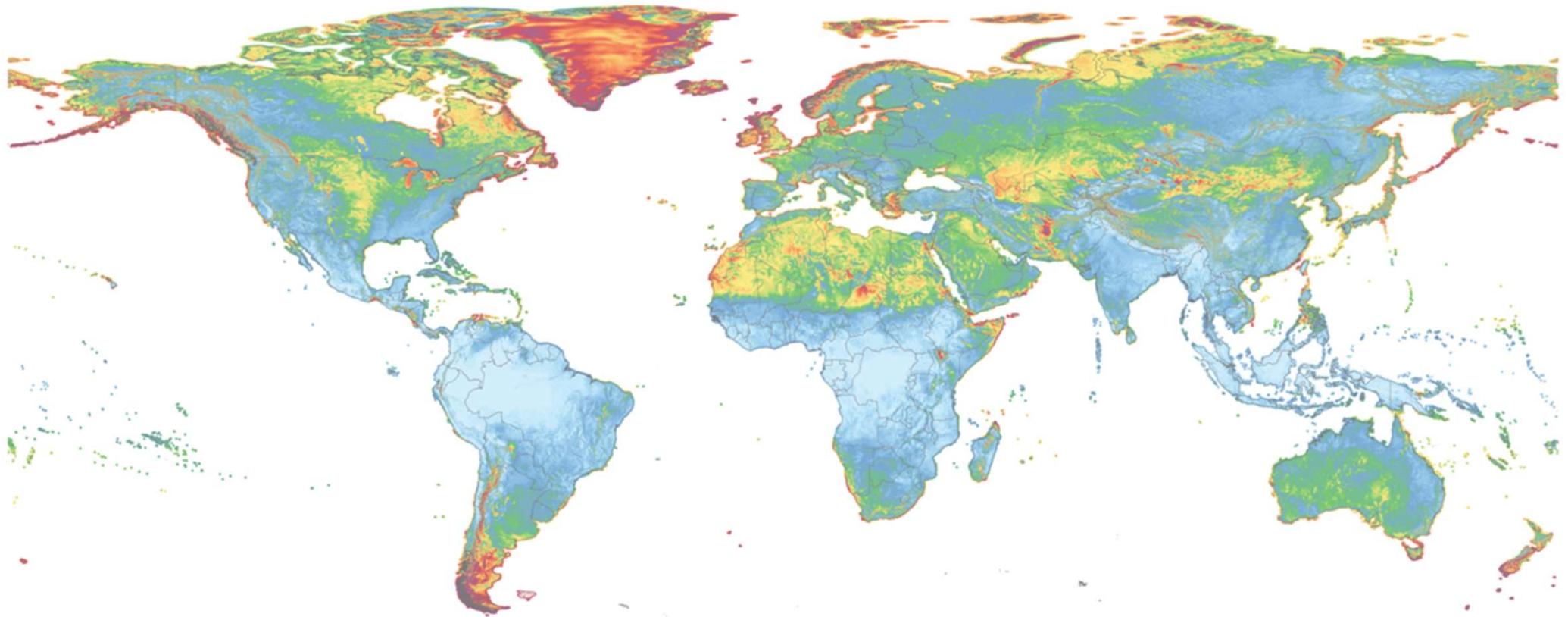


ONSHORE & OFFSHORE WIND RESOURCE MAP

WIND SPEED



DTU Wind Energy
Department of Wind Energy



<https://globalwindatlas.info/>



This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by DTU and Vortex. For more information and terms of use, please visit <http://globalwindatlas.info>

Wind Weltweit

Energieskala

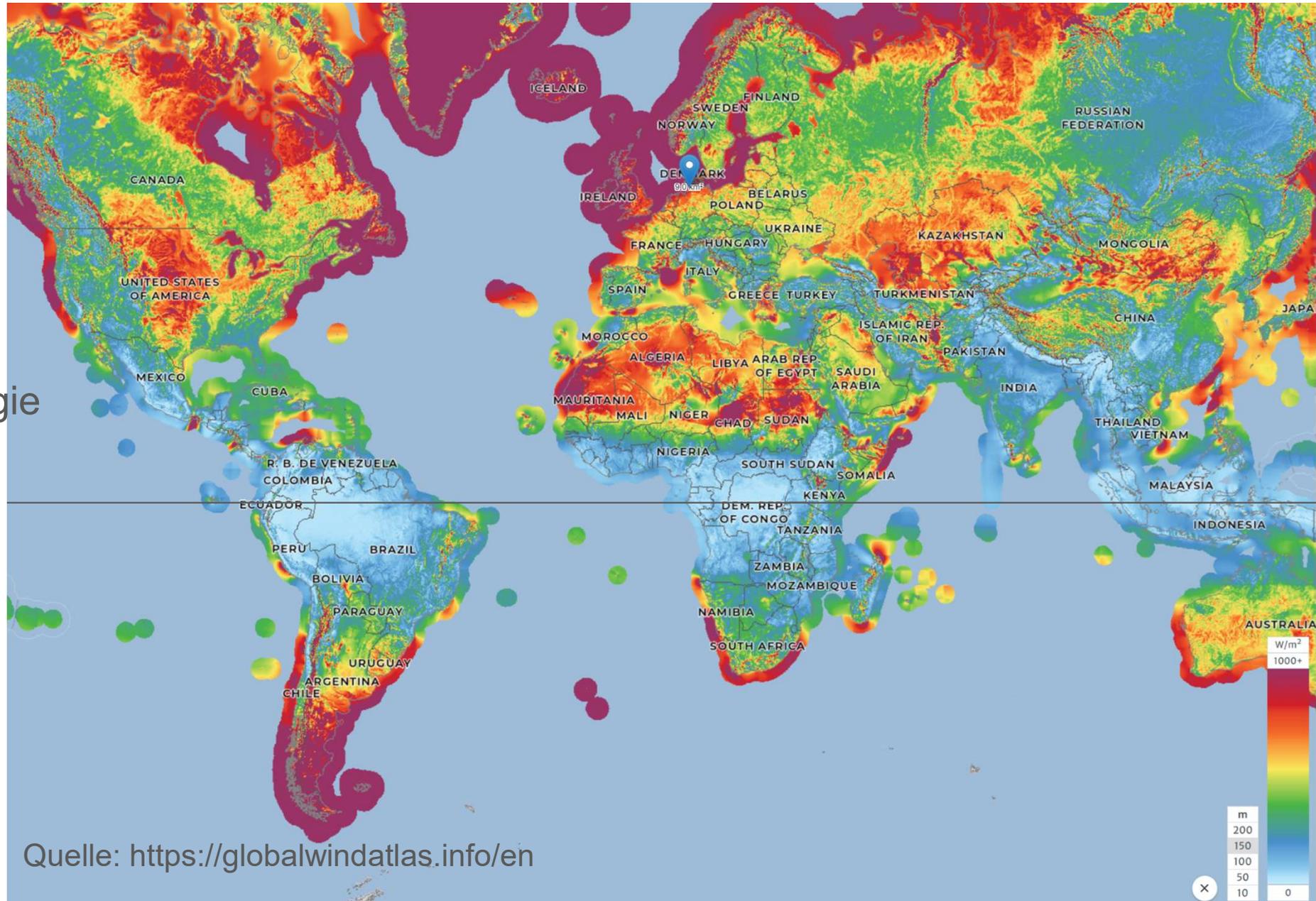
Viel Windenergie

im Meer

an der Küste

große Ebenen

Süden von
Südamerika



Onshore

Windgeneratoren in der Mongolei

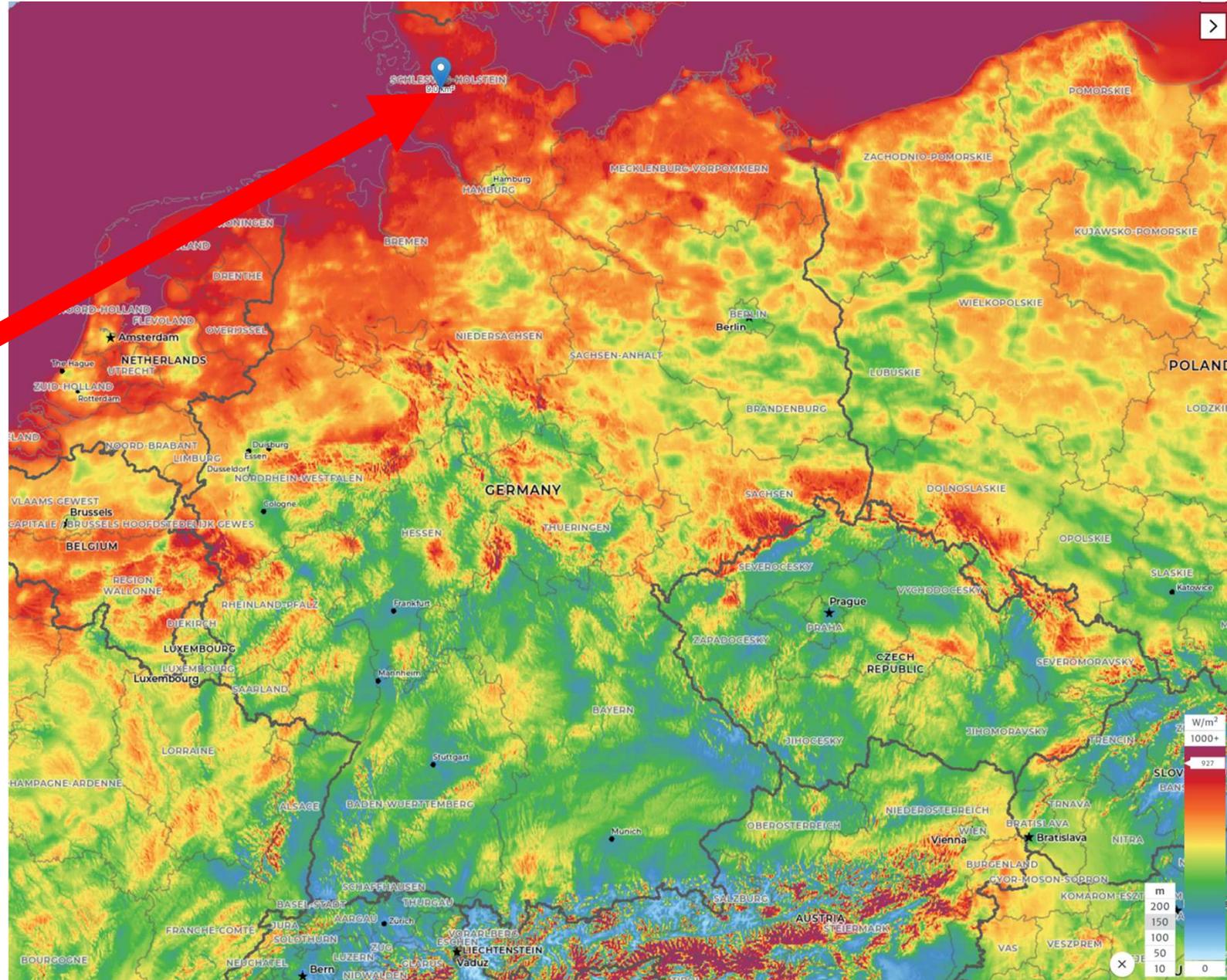
- Keine Anwohner (2/km²)
- Kein Wald
- Sehr viel Wind

Windenergie

Energie in

150 m Höhe

Mittelwert **927** W/m²



Quelle: <https://globalwindatlas.info/en>

Leben im Robert Habeckland (Schleswig-Holstein)



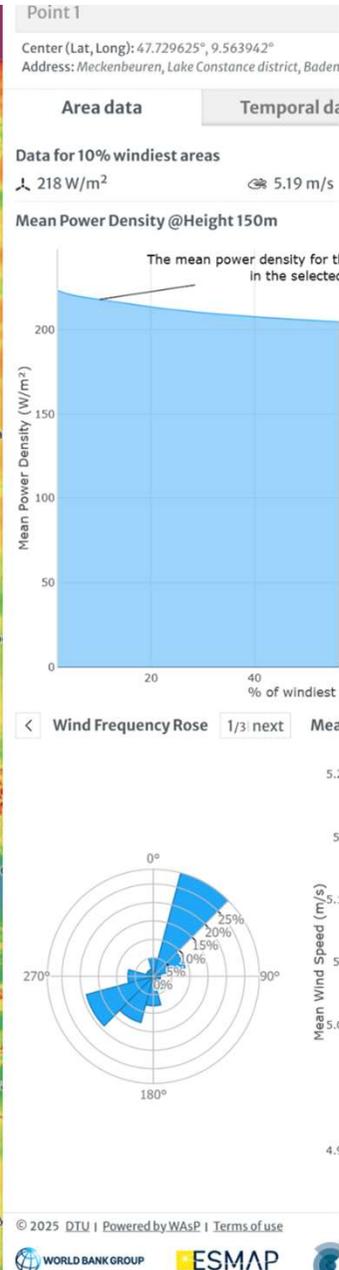
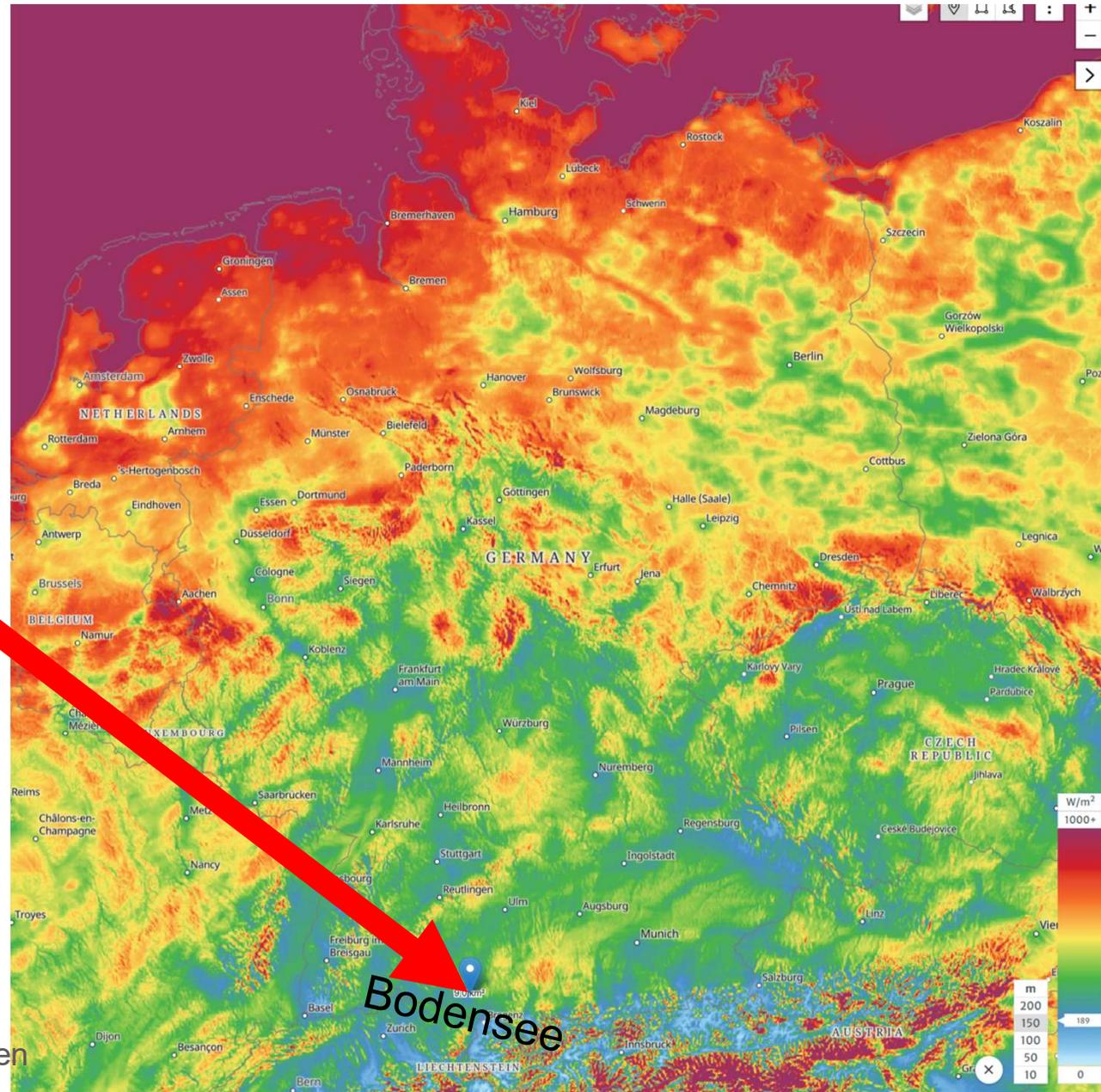
Windenergie

Energie in

150 m Höhe

Mittelwert **218** W/m²

Nahezu die niedrigste
Windgeschwindigkeit
in Deutschland



Quelle: <https://globalwindatlas.info/en>

Aufstellen einer Windkraftanlage im Schwarzwald

Riesige Kräne

Große Fläche im Wald gerodet

Dauerhaft geschottert für Wartungsarbeiten

Breite Zufahrtsstraße



Auto könnte bequem in der Raupe parken!

Erkenntnis

- Die gleiche Anlage (Höhe 150 m) gewinnt in Schleswig-Holstein dreimal so viel Energie
- Folge, es müssen in Baden-Württemberg am vorgesehenen Standort **dreimal so viele Rohstoffe, Stahl, Beton, Kunststoffe, Kupfer** usw. verbraucht werden, um die gleiche Energiemenge im Jahr zu gewinnen
- Es wird damit dreimal so viel CO₂ emittiert, wie wenn ein guter Standort gewählt würde
- Wer will das?

Tourismus am Bodensee

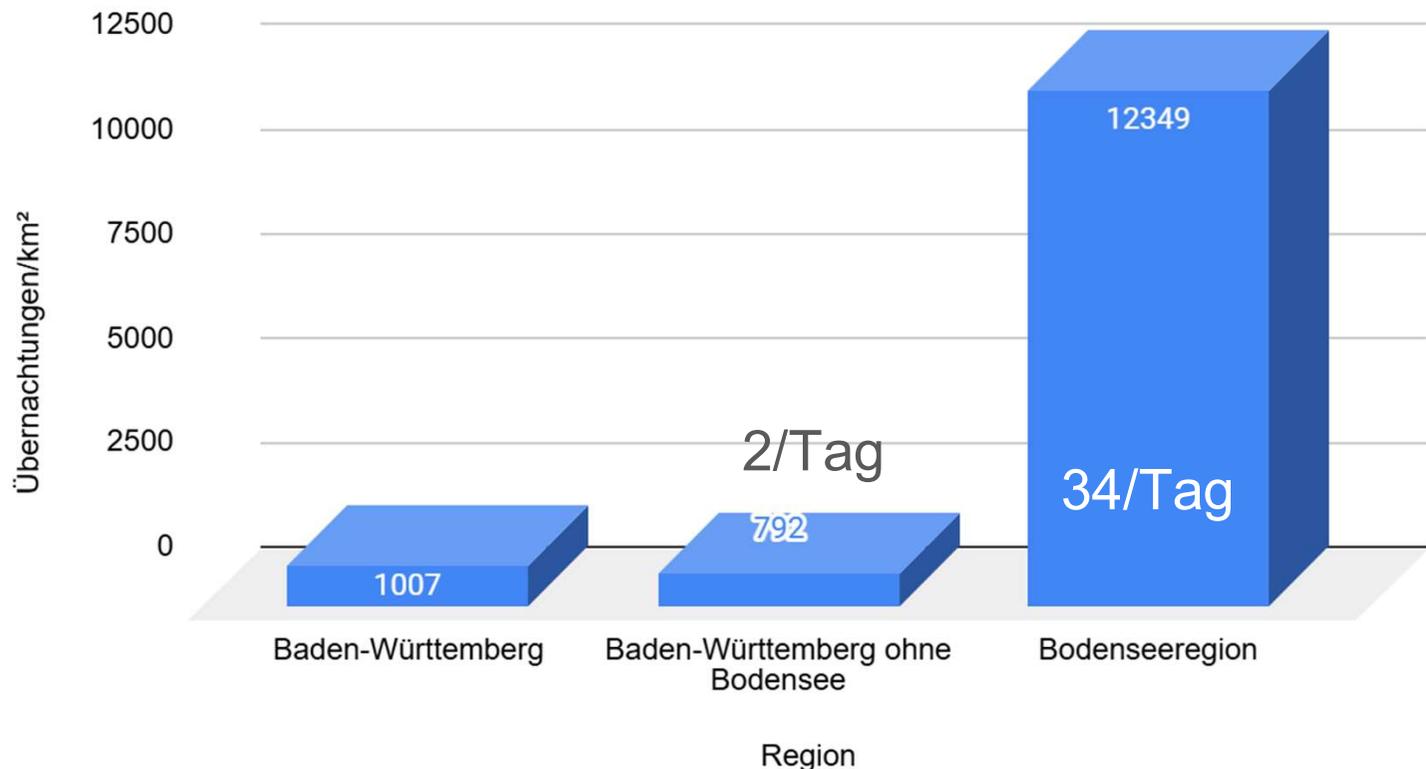


Bodenseetourismus:

Die **Bodenseeregion** hat **16-mal** so viele Übernachtungen pro km² wie Baden-Württemberg ohne Bodenseeregion

- Der Tourismus hat eine überragende Bedeutung!

Übernachtungen/km² Bodenseeregion



Neckarwestheim 2023 stillgelegt



Neckarwestheim

Energielieferung des Kernkraftwerks Neckarwestheim

Eingespeiste Energie im Jahr 2012: 10.426,52 GWh

Ersatz durch Windenergie bedeutet:

Ein Windkraftwerk 5 MW maximaler Leistung

Realistisch 20 %, das bedeutet 1 MW mittlere Leistung: pro Jahr 8,8 GWh

Daher werden $10.426/8,8 = \mathbf{1200 \text{ Windkrafttürme}}$ als Ersatz von Neckarwestheim benötigt!

Allerdings nur, wenn man einen **perfekten Speicher hätte**

Die Wahrheit über Kernenergie

Radioaktivität:

Natürliche Radioaktivität = Künstliche Radioaktivität
(bezüglich der Auswirkungen)

“Die Konzentrationen der gefundenen künstlichen radioaktiven Stoffe waren in den letzten Jahren so gering, dass die durch sie hervorgerufene Strahlenexposition für den Menschen gegenüber der natürlichen Exposition unbedeutend ist.“

Quelle: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

Wie schlimm war Tschernobyl?

Wir müssen unsere Grossstädte evakuieren

Ein brisanter Vergleich: Eine Langzeitbelastung mit einer mittleren Feinstaubkonzentration von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -PM_{2,5} verursacht ebenso viele Todesfälle wie eine Strahlendosis von 1 Sv. In Tschernobyl und Fukushima wurde die Bevölkerung bereits bei weniger als einem Zehntel der Dosis evakuiert. Konsequenterweise müssten wir auch unsere grösseren Städte evakuieren, sofort. Eine böse kognitive Dis-

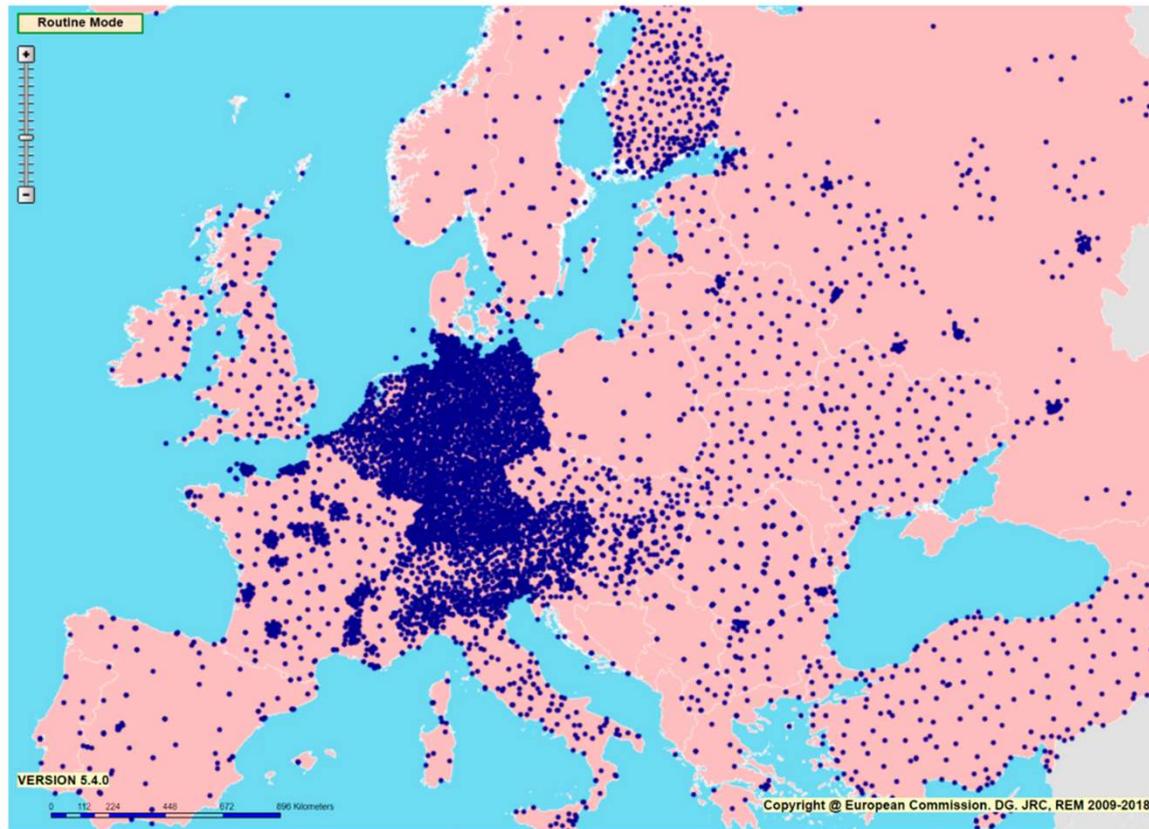
Quelle: Walter Rüegg, Zeitalter der Ängste, 2024, ISBN 3907339665

Leben ist gefährlich:

• Sozioökonomischer Status (max->min)	- 10 Jahre	> 10 Sv	
• Rauchen	- 7 Jahre	> 10 Sv	
• Schwere Wirtschaftskrise	- 0,5 bis - 4 Jahre	0,75–6 Sv	
• Unglücksfälle, Gewalt (ohne Kriege)	- 1 Jahr	1,5 Sv	
• Feinstaub, 10 µg/m ³ PM2,5, dauernd	- 6 Monate	0,75 Sv	Leben in Stuttgart
• Fukushima, no-entry zone, Lebensdosis	- 3 Monate	0,4 Sv	Leben in der Sperrzone Fukushima
• Eine Zigarette rauchen	- 10 min	30 µSv	
• Ein Apfel essen	+30 min	- 0.1mSv	
• Eine Stunde Sport	+ 5 Stunden	- 1 mSv	

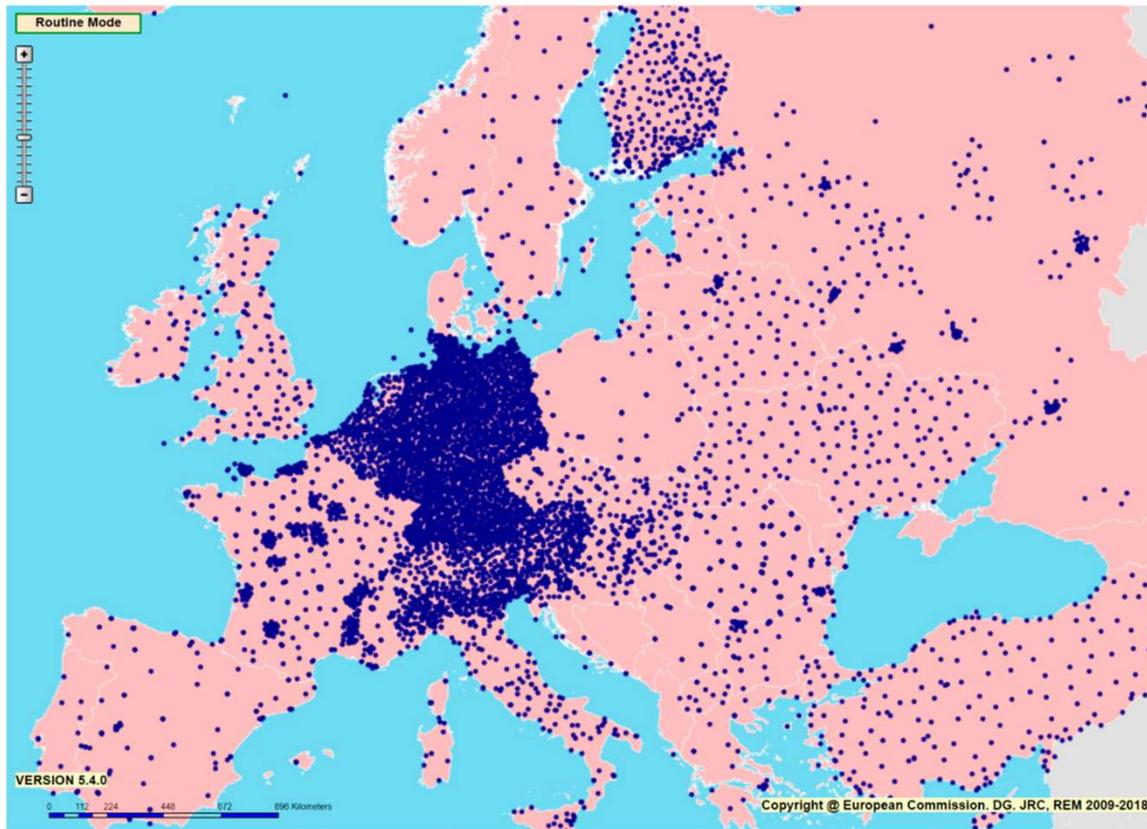
Quelle: Walter Rüegg, Zeitalter der Ängste, 2024, ISBN 3907339665

German Angst



Supercharger, Bioläden, Psychotherapeuten?

German Angst



EURDEP map of European radioactivity monitoring stations.
Source: <http://eurdepweb.jrc.ec.europa.eu/EurdepMap/Default.aspx>

Der Müll

Die jährliche, weltweite „Uranabfall“ würde in einen Würfel mit der Kantenlänge von 8 m passen. Der „Abfall“ ist Brennstoff der Reaktor-Generation 4.0



ist

Kohleasche – „Who's Who“ der Gifte

„Arsen, Selen, Antimon, Cadmium, Thallium – die Liste der gefundenen

Elemente liest sich wie ein „Who's who“



“normaler” Müll verschwindet nie

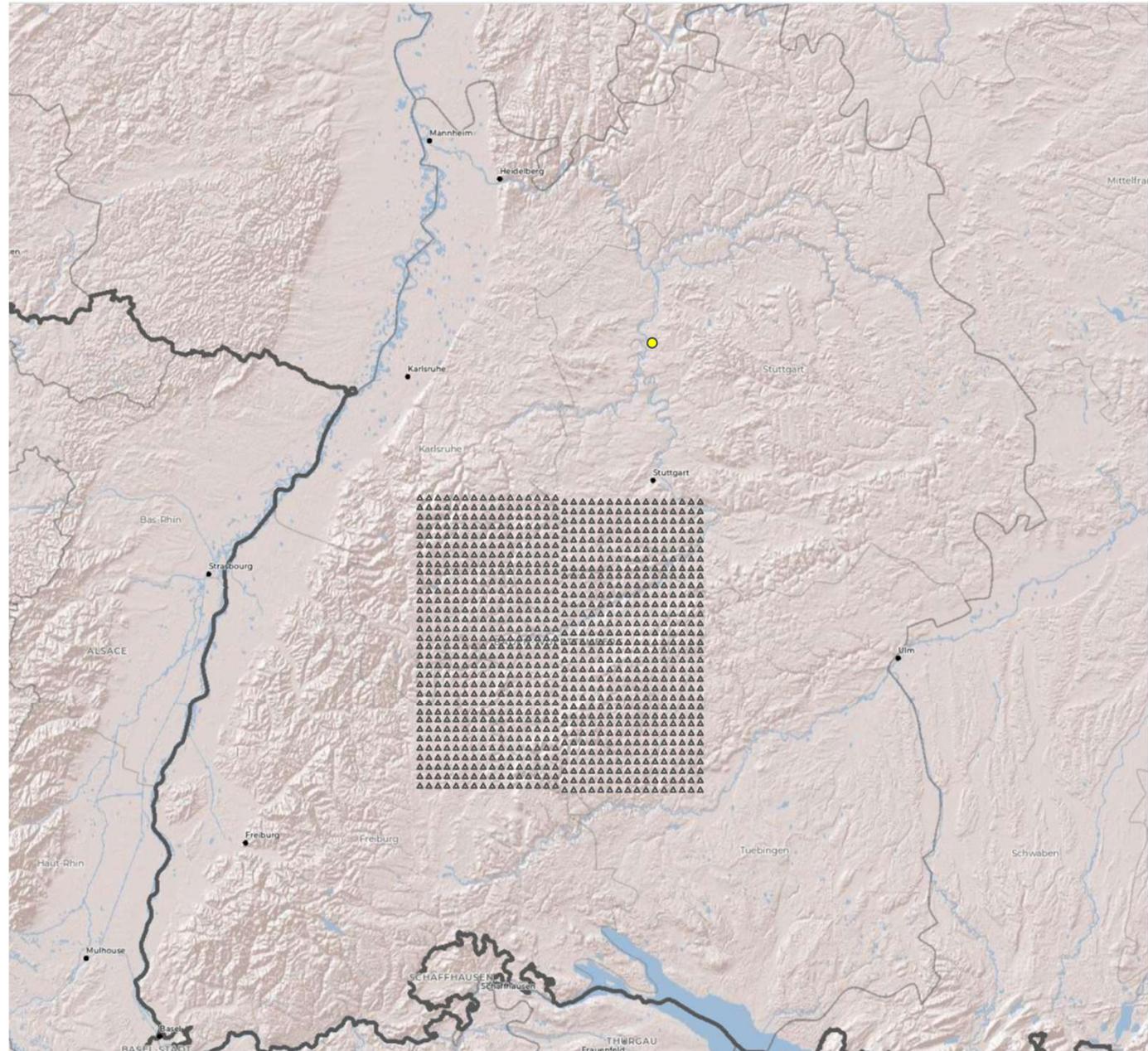
Visualisierung

Etwa 1.200 Windkraftanlagen
alle 2 km aufgestellt, um das
Kernkraftwerk Neckarwestheim
zu ersetzen

Nicht berücksichtigt:
Speicherverluste.

Fläche: $60 \times 80 \text{ km}^2$

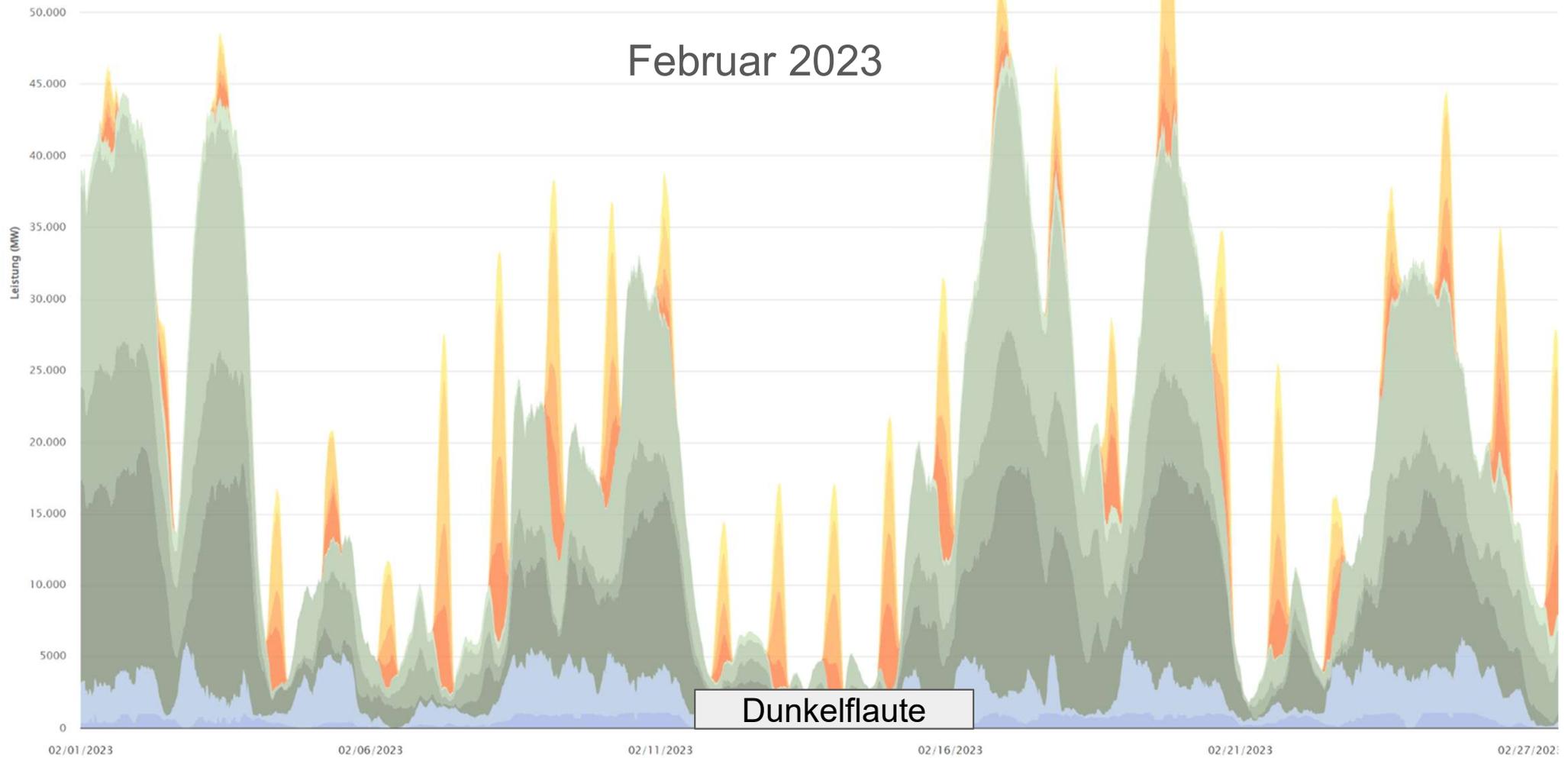
Hat Ihnen das keiner gesagt?



60 GW

durchschnittlicher Strombedarf

Die Dunkelflaute



Die Zukunft: sechsmal so viel Erneuerbare (Plan!)

Februar 2040??

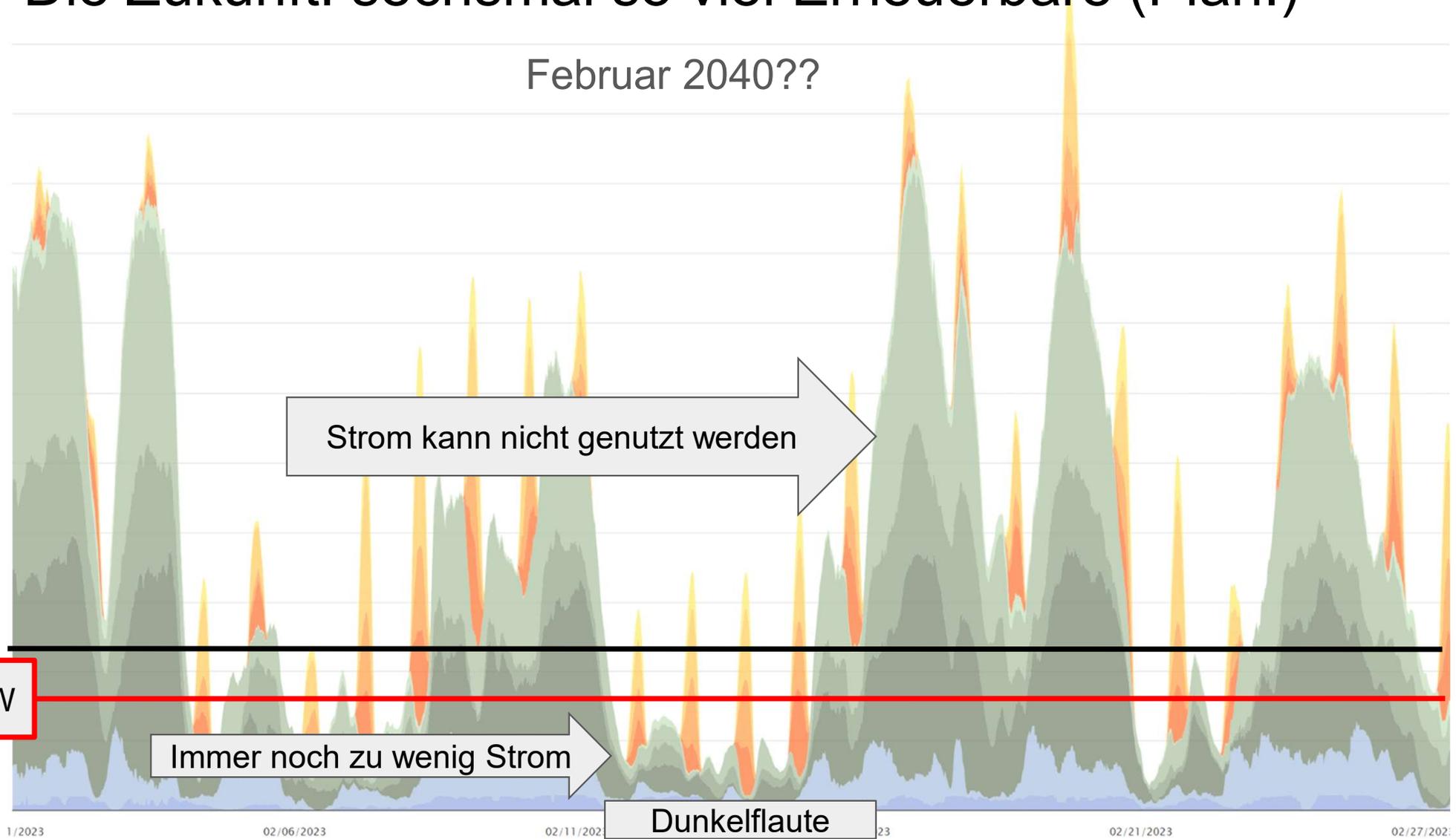
Skala um Faktor 6 komprimiert

60 GW

Strom kann nicht genutzt werden

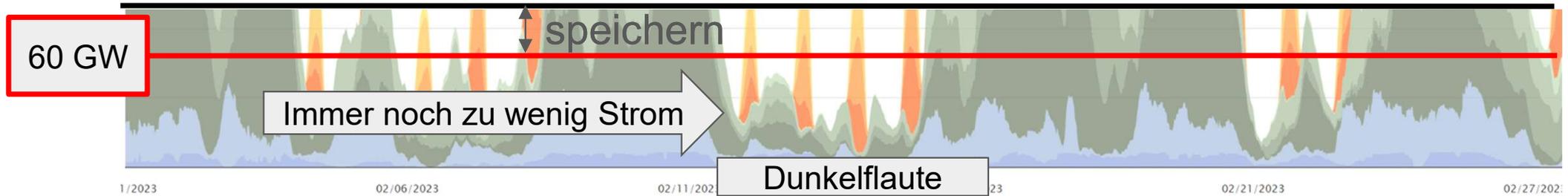
Immer noch zu wenig Strom

Dunkelflaute



Die Zukunft: sechsmal so viel Erneuerbare (Plan!)

Skala um Faktor 6 komprimiert



Und mit Zubau?

Habeck sagte, da müssen wir einfach mehr Windenergie zubauen.

Fakt ist mit

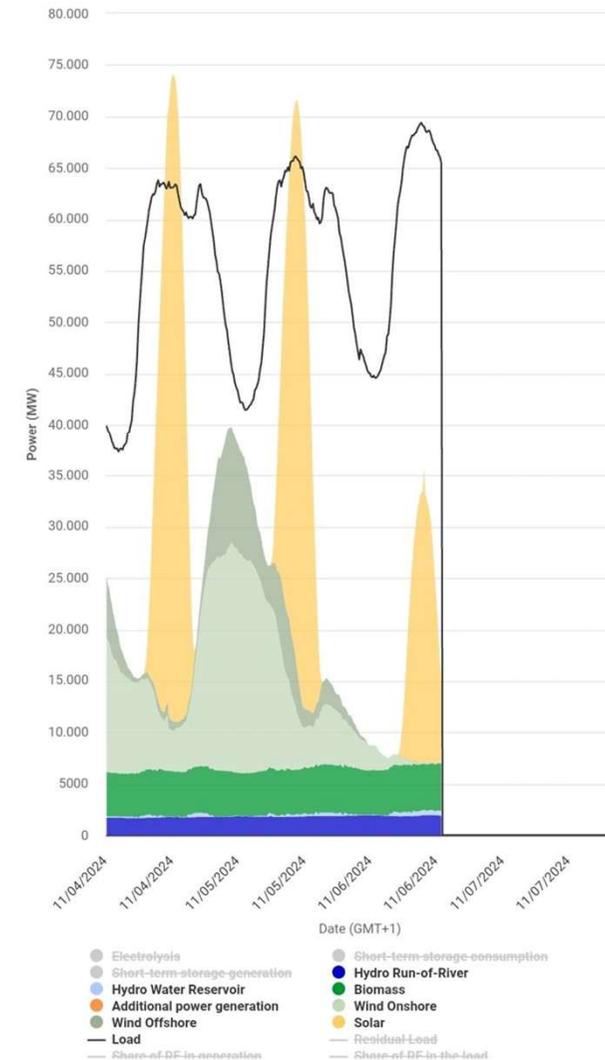
- 350 GW Solar (heute * 4)
- 170 GW Wind onshore (heute * 3)
- 60 GW Wind offshore (heute * 6)

Reicht auch 2045 die Energie nicht, um in der Dunkelflaute mit Solar/Wind genügend Strom zu erzeugen.

Quelle Simulation: <https://www.energy-charts.info/>

Simulation: Public net electricity generation in Germany in week 45 2024

Simulation Parameters: Solar = 350 GW, Wind Onshore = 170 GW, Wind Offshore = 60 GW, Run of the River = 8,0 GW, Load = 460 TWh/a



Country Language

Date Selection

Interval Week

Year 2024

Week in 2024 Week 45

Simulation Parameters

Solar: 350 GW

Wind Onshore: 170 GW

Wind Offshore: 60 GW

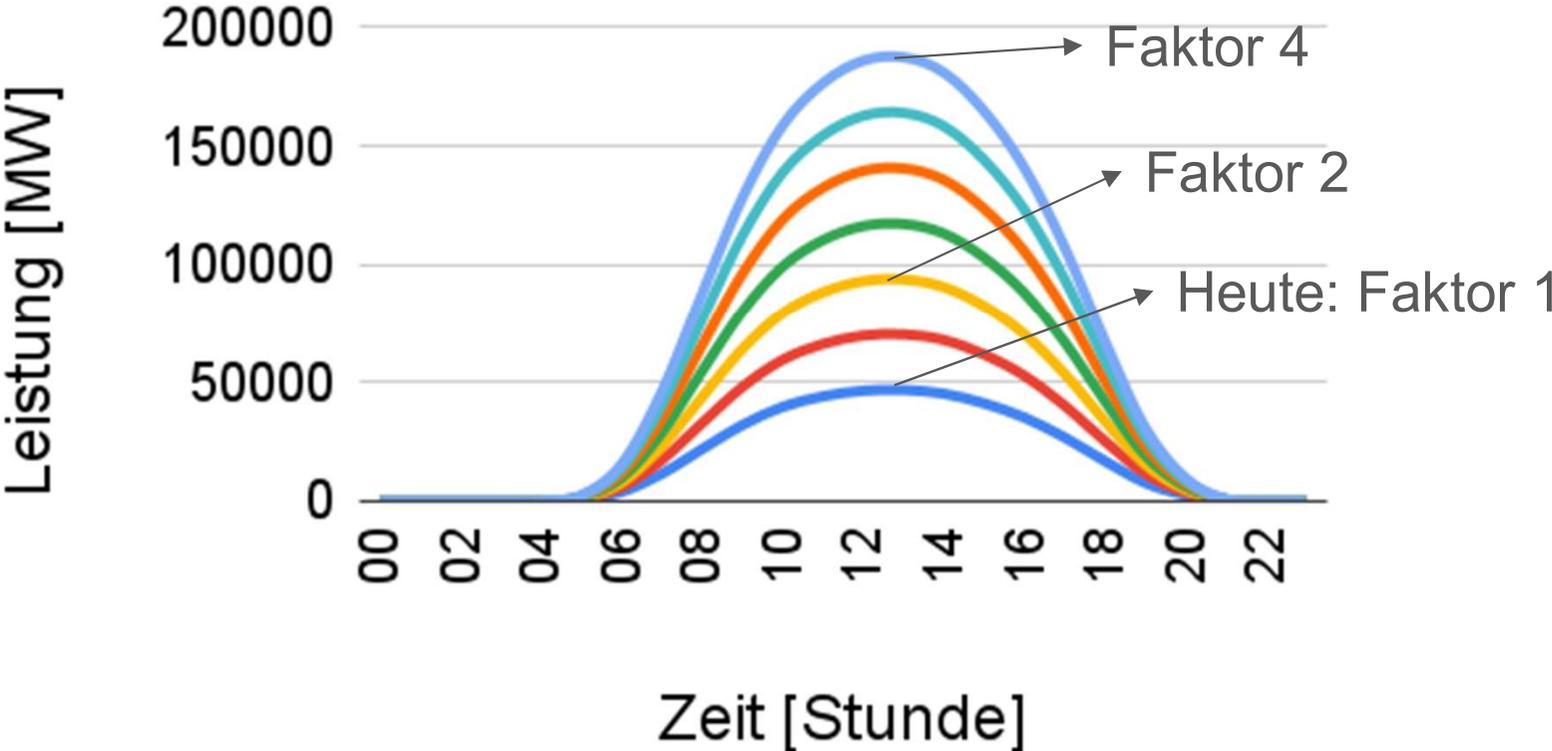
Run of the River: 8,0 GW

Load: 460 TWh/a

Explanation of the simulation

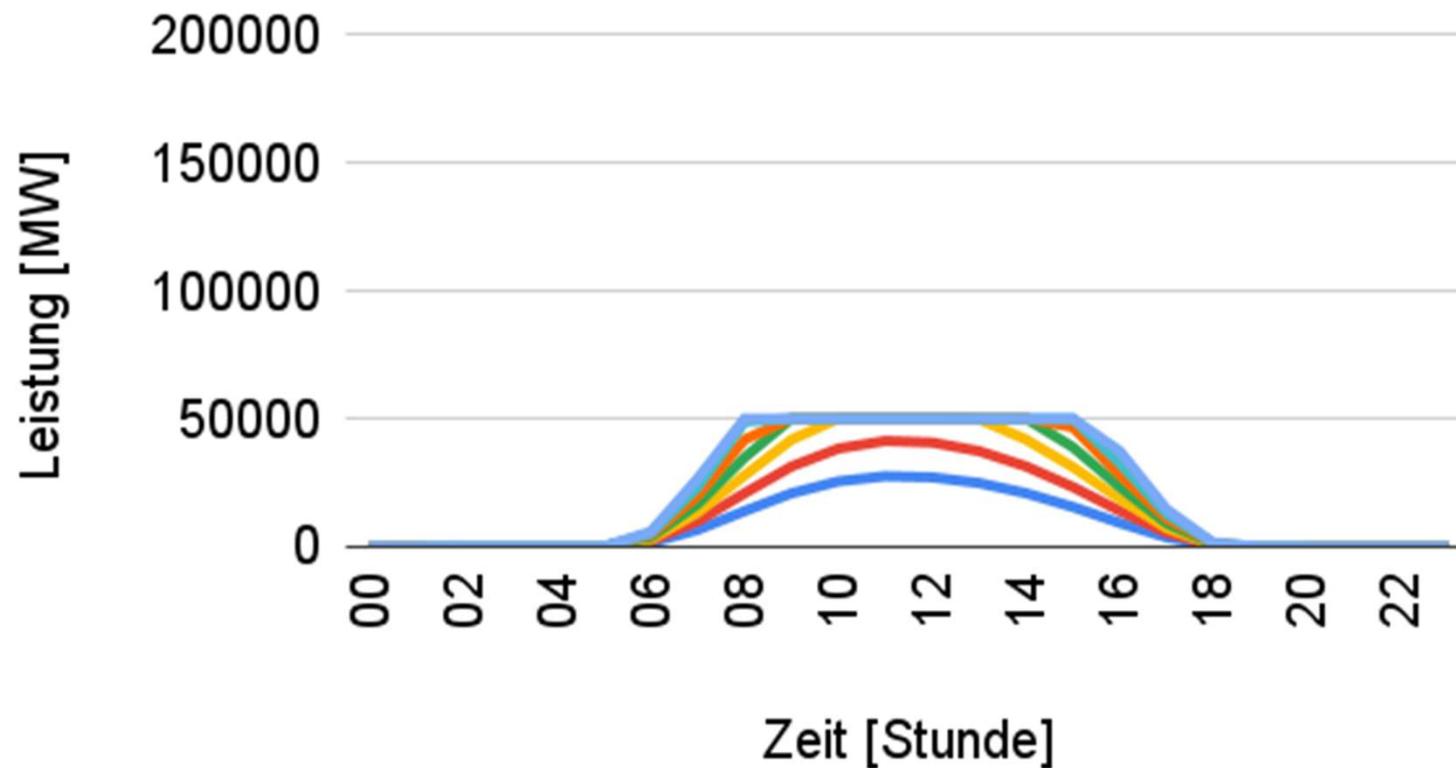
Ein schöner Sommertag

PV-Stromproduktion (26. Juni 2024)



Aber wie viel Energie können wir nutzen?

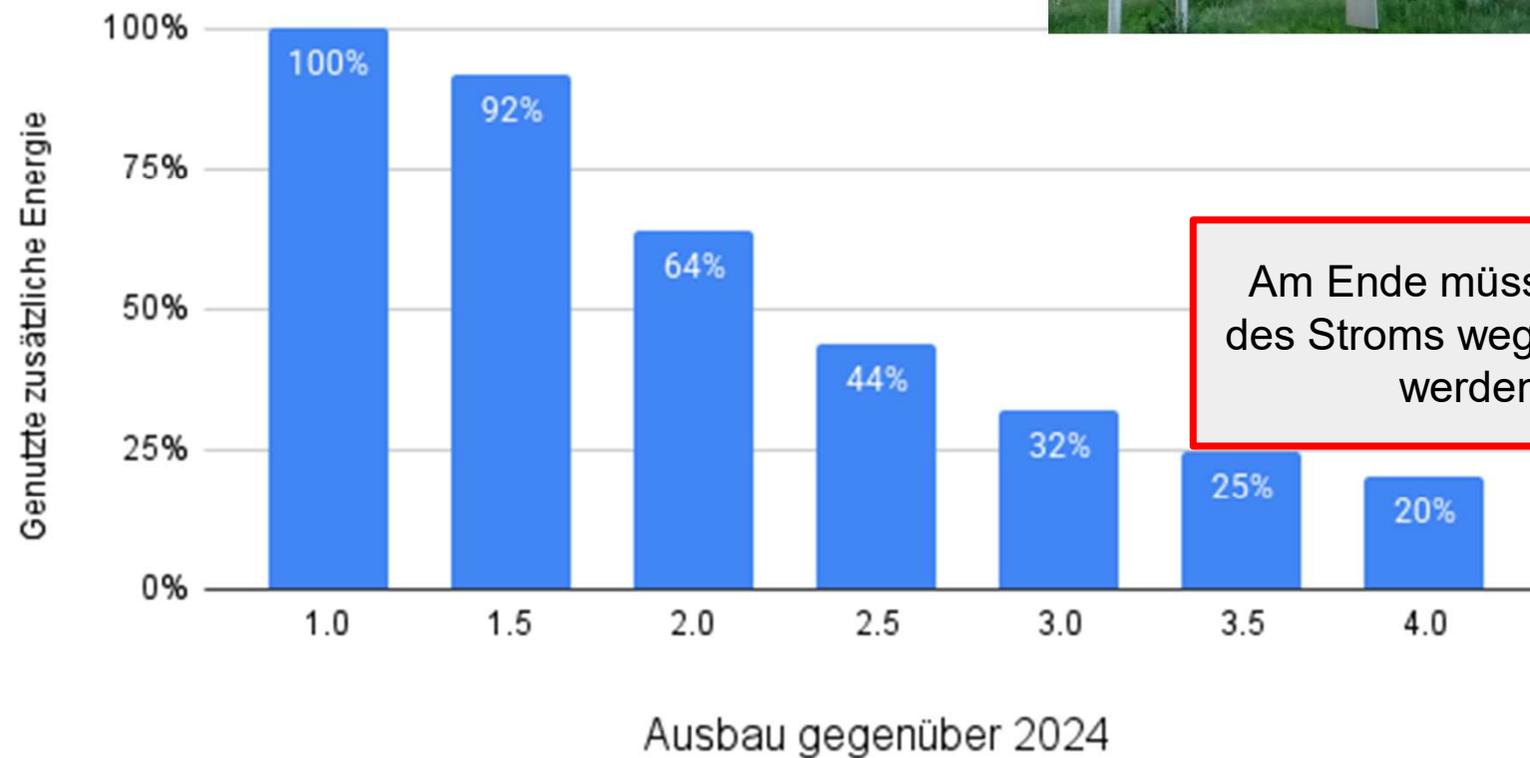
Reale nutzbare Stromlieferung ohne Speicher



Was bringt der Zubau bei PV?

Zubau PV-Anlagen

Nutzbare zusätzliche Energie (max. 50 GW)



Märchen: Dezentrale Stromversorgung



Norden



Süden

Produktion

So wird es erklärt: Windkraft nahe bei der Produktion aufbauen,
Arbeitsplätze erhalten

Märchen: Dezentrale Stromversorgung



Norden



Süden

Produktion

Tatsachen: Da im Süden weniger Wind weht, mehr Windkraftwerke (Faktor 3)

sind Stromleitungen

Märchen: Dezentrale Stromversorgung



Norden



Süden



Produktion

Da nur zu 20 % im Süden Wind weht, sind Stromleitungen erforderlich!

Märchen: Dezentrale Stromversorgung



Norden

Süden

Produktion

Da oft überhaupt kein Windstrom: Neue Kraftwerke zwingend notwendig

Dezentrale Stromversorgung ist mit Wind nicht möglich!



Norden

Süden

Produktion

Etwas klüger: Nur ein zusätzliches Windkraftwerk am windreichen Standort

Was bedeutet das für Windkraft?

Wenn kein Wind weht:

Strom ist teuer, da er aus Speichern kommt.

Kaum Einnahmen für Windkraftwerke

Wenn Wind weht:

Nur ein kleiner Teil kann genutzt werden und der Strompreis liegt nahe bei Null

Keine Einnahmen für Windkraftwerke

Folgerung: Enorme Subventionen ohne sinnvolle Wirkung für das Stromnetz

Speicher

Es gibt **keine kostengünstige Speichermöglichkeit!**

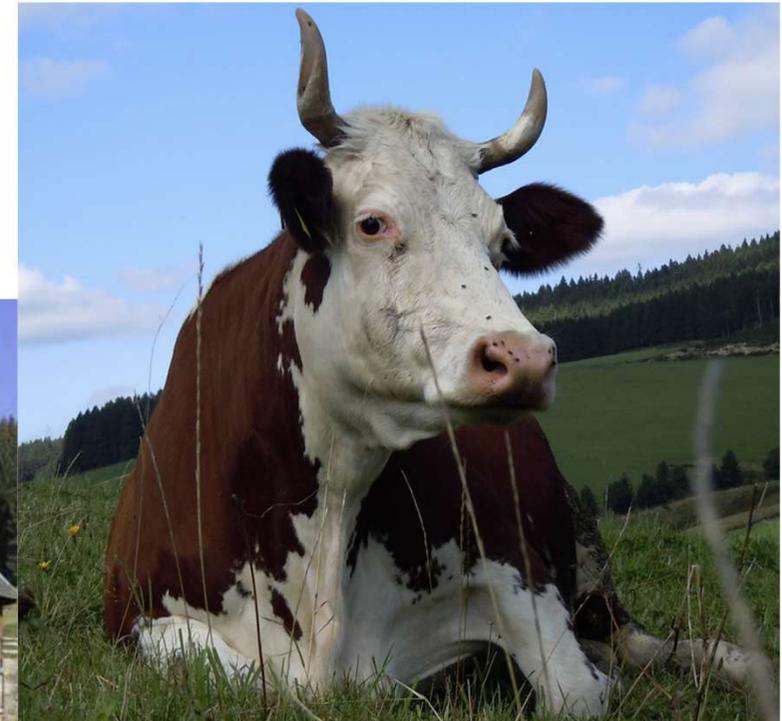
Batterie: Kosten pro kWh Batteriekapazität ca. 300 €. Aufpreis pro kWh über 10 ct

Wasserstoff: Nicht großtechnisch verfügbar, Wirkungsgrad ca. 30 %

Pumpspeicher: Keine verfügbaren Flächen auf Bergen

Stromtransport hat über 90 % Wirkungsgrad, daher zu bevorzugen.

Erst den Speicher, dann die Kuh



Ohne die Erfindung "Heu" gäbe es keine Milchwirtschaft im klassischen Sinn.

Die wahren Kosten der Energiewende

1. Aufbau von Wind- und Solarkraftwerken (300 Mrd. € bisher*)
2. Umfangreiche Hochspannungsleitungen "Netzausbau" (500 Mrd. €**)
3. Kurzfristspeicher: Batterien für einen Tag (1600 GWh \Rightarrow 320 Mrd. €***)
4. Backup Gaskraftwerke für die Dunkelflaute (80 GW \Rightarrow 80 Mrd. €)

Das erhöht die Kosten der Stromerzeugung um den **Faktor 4**

Wir sind erst am Anfang der Kostensteigerung

Anmerkung: Bis 2045 müssen alle Windkraftwerke erneuert werden, da nur 20 Jahre Lebensdauer.

Mit einfachen Worten:

Wenn bei uns Strom teuer ist, wird billiger Strom aus französischen Kernkraftwerken gekauft!

Aktuell laufen ca. 2 KKW kontinuierlich für Deutschland.

Persönliche Erfahrung

Ich hatte mich 1992 mit 30.000 DM an einem Windkraftwerk in optimaler Lage in der Eifel beteiligt.

“Rendite” über alle Jahre: 1700 DM

Grund:

- Die Windgeschwindigkeiten wurden zu optimistisch gerechnet
- Die Einnahmen für Windenergie sind pro kWh sind nie gewachsen

Lehrgeld: 28.300 DM

Die Anlage ist inzwischen abgerissen und wurde nicht “repowered”

Problem staatliche Investitionen

Investitionen in einer Marktwirtschaft soll privat erfolgen.

Staatliche gelenkte Investitionen führen zur Fehlallokation von Ressourcen.

- Wer ist Investor?
- Wer steuert den Investor?
- Wer trägt das Risiko?

“**Erfolge**” von staatlich gelenkter Wirtschaft können in entsprechenden Systemen besichtigt werden



Reicht der Wind?

Wind ist nicht unendlich!

Baden-Württemberg hat eine Fläche von 35.751 Quadratkilometern

Annahme: eine Luftschicht von 1 km Dicke wird genutzt. Die Schicht bewegt sich mit 6 m/s
1 m³ Luft wiegt 1,2 kg (10 °C).

Die Energie der Luft = $\frac{1}{2} m \times v^2 = \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 35.751.000.000 \text{ m}^2 \times 1.000 \text{ m} \times (6 \text{ m/s})$

Energie = 215 GWh

Länge 190 km, wird bei der Windgeschwindigkeit in 9 Stunden zurückgelegt.

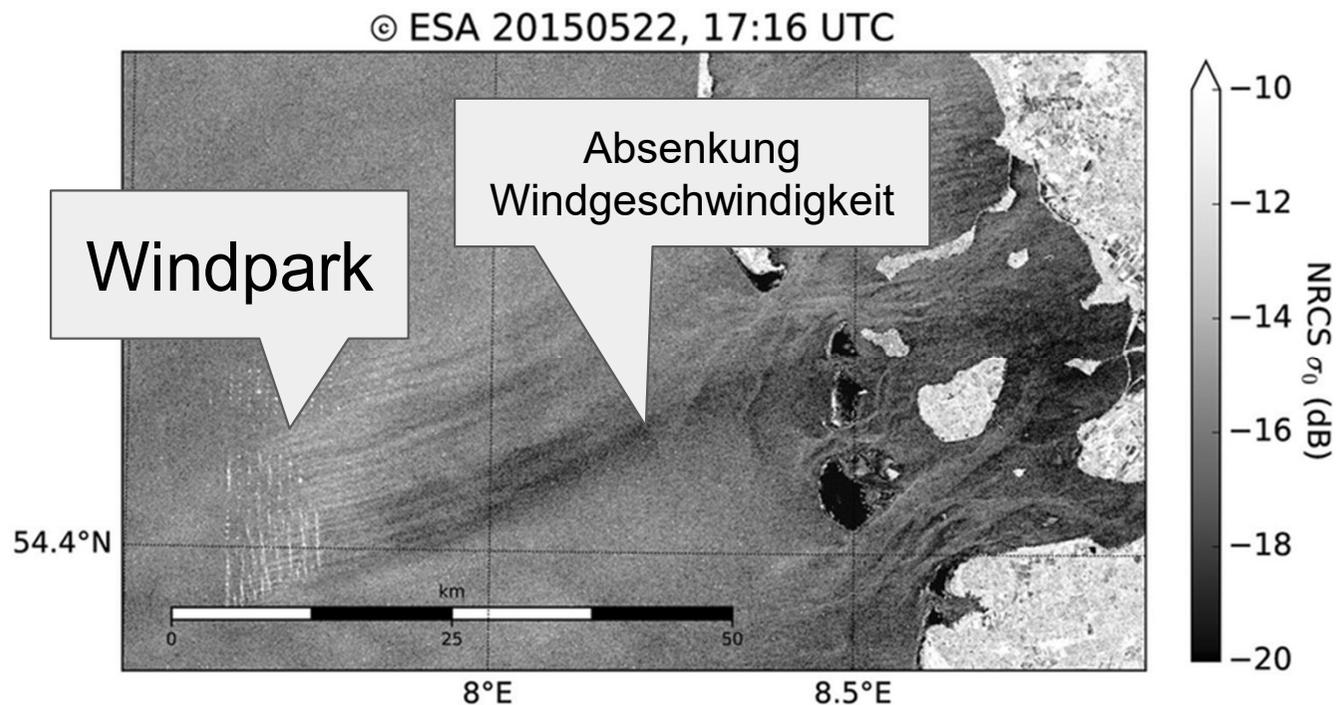
Damit hat die Energie über BW nur ein Leistungspotenzial von 24 GW. Wirkungsgrad der Windkraft 40 %:

theoretisches Limit: 10 GW Windenergie in BW

Aktuell verbraucht Baden-Württemberg

praktischer Bedarf: 42 GW Primärenergie (Industrie, Heizen, Auto etc.)

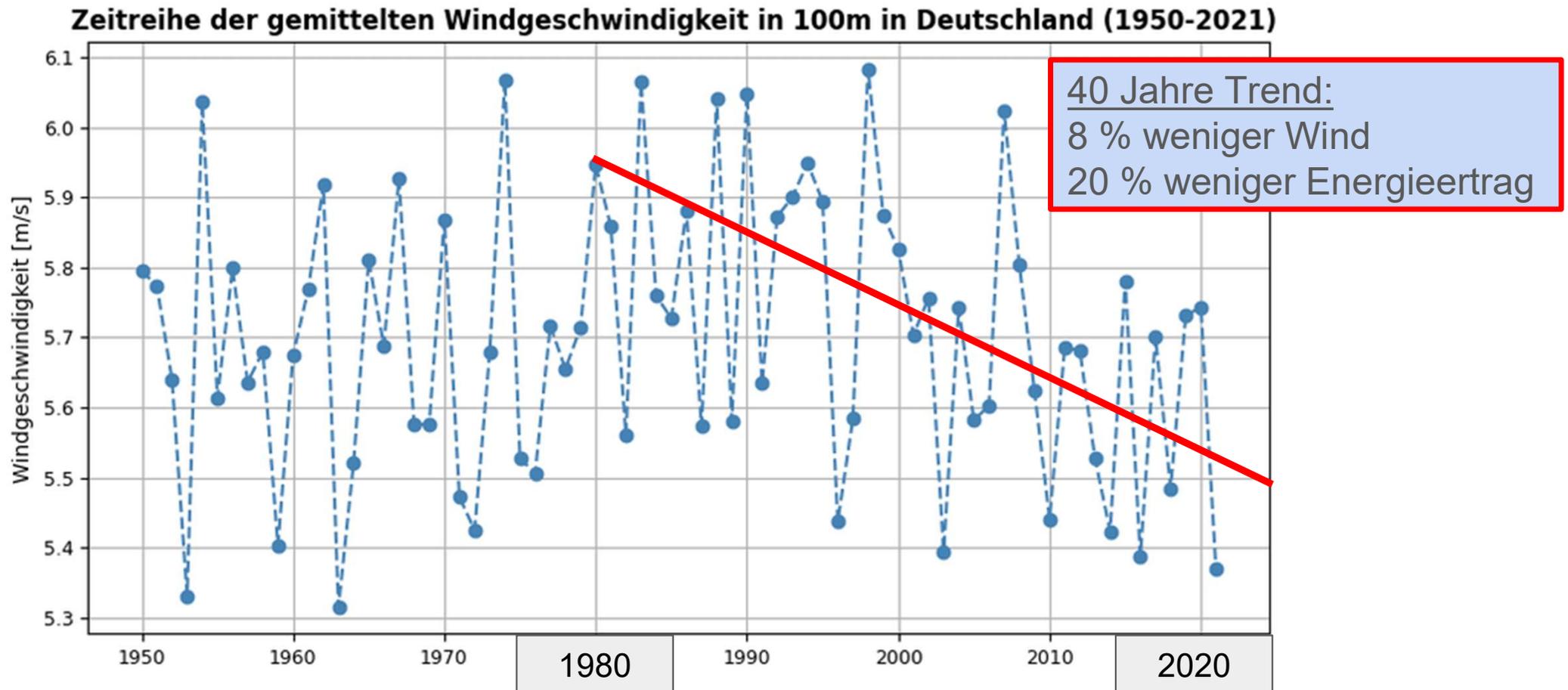
Ein Windkraftwerk entnimmt Energie durch Reduktion der Windgeschwindigkeit



Mit Satelliten kann man die großräumige Abschwächung der Windgeschwindigkeit messen.

Hier: Windpark in der Nordsee (FIN O1) senkt die Windgeschwindigkeit über mindestens 50 km

Wind in der Zukunft



Zeitreihe der gemittelten Windgeschwindigkeit in 100 Meter Höhe in Deutschland in m/s im Zeitraum von 1950 bis 2021. (Auswertung des Deutschen Wetterdienstes auf Basis der globalen Reanalysen ERA5 und ERA5-BE des Copernicus Klimawandeldienstes (C3S), Hersbach et al., 2020; Ball et al., 2021).

Warum sinkt die Windgeschwindigkeit?

Es gilt: Energie bleibt erhalten

Entnimmt man der Luft Energie durch Windkraftwerke, hat die Luft (der Wind) danach weniger Bewegungsenergie

Wo verbleibt die Energie?

Sie wurde in Strom umgewandelt.

Ist das ein Problem?

Wir benötigen Wind, damit feuchte Luft an Land kommt, um dort abzuregnen!



Lösungsvorschlag



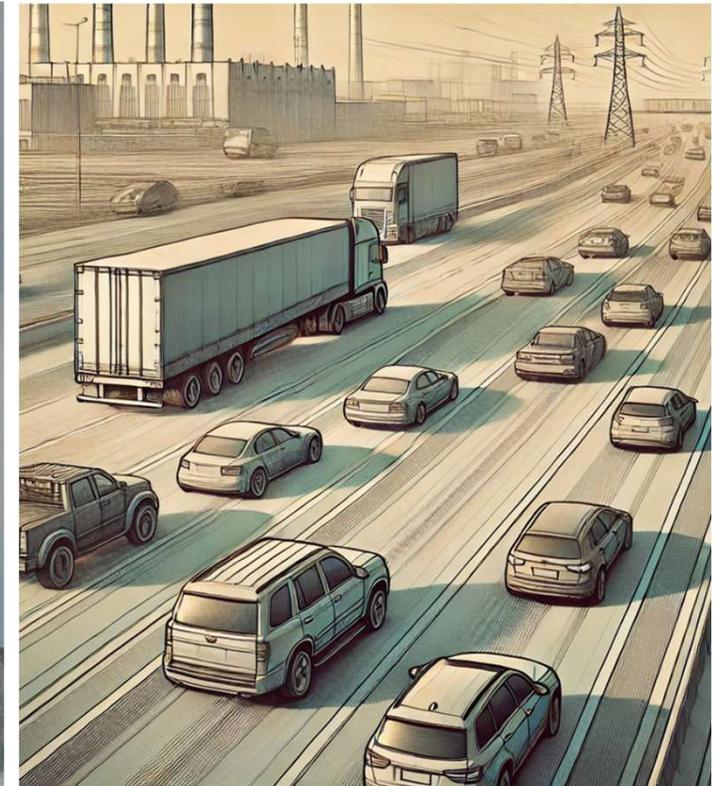
Die Welt 2019 basiert auf fossile Rohstoffe



Kohlekraftwerk

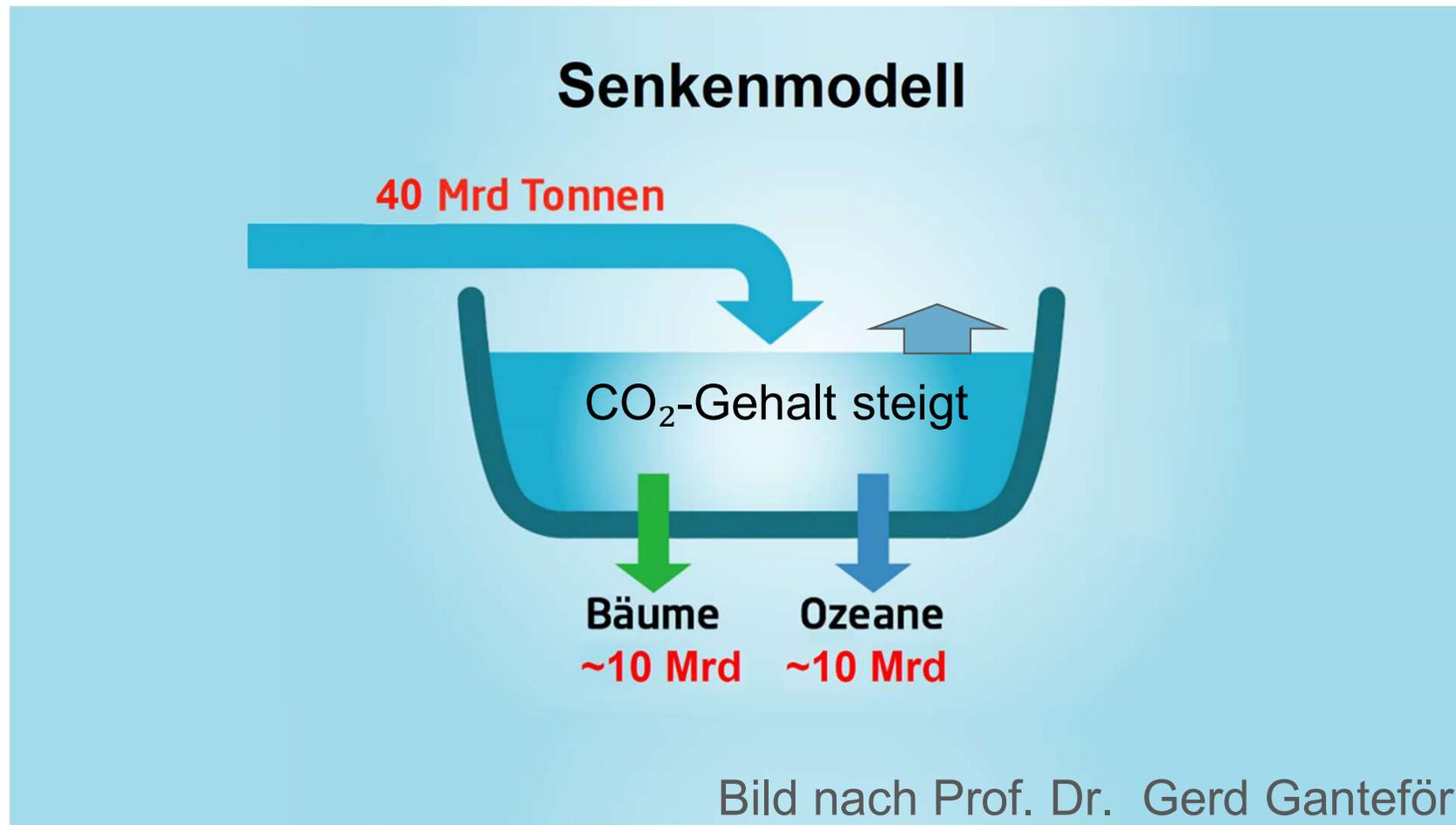


Gaskraftwerk

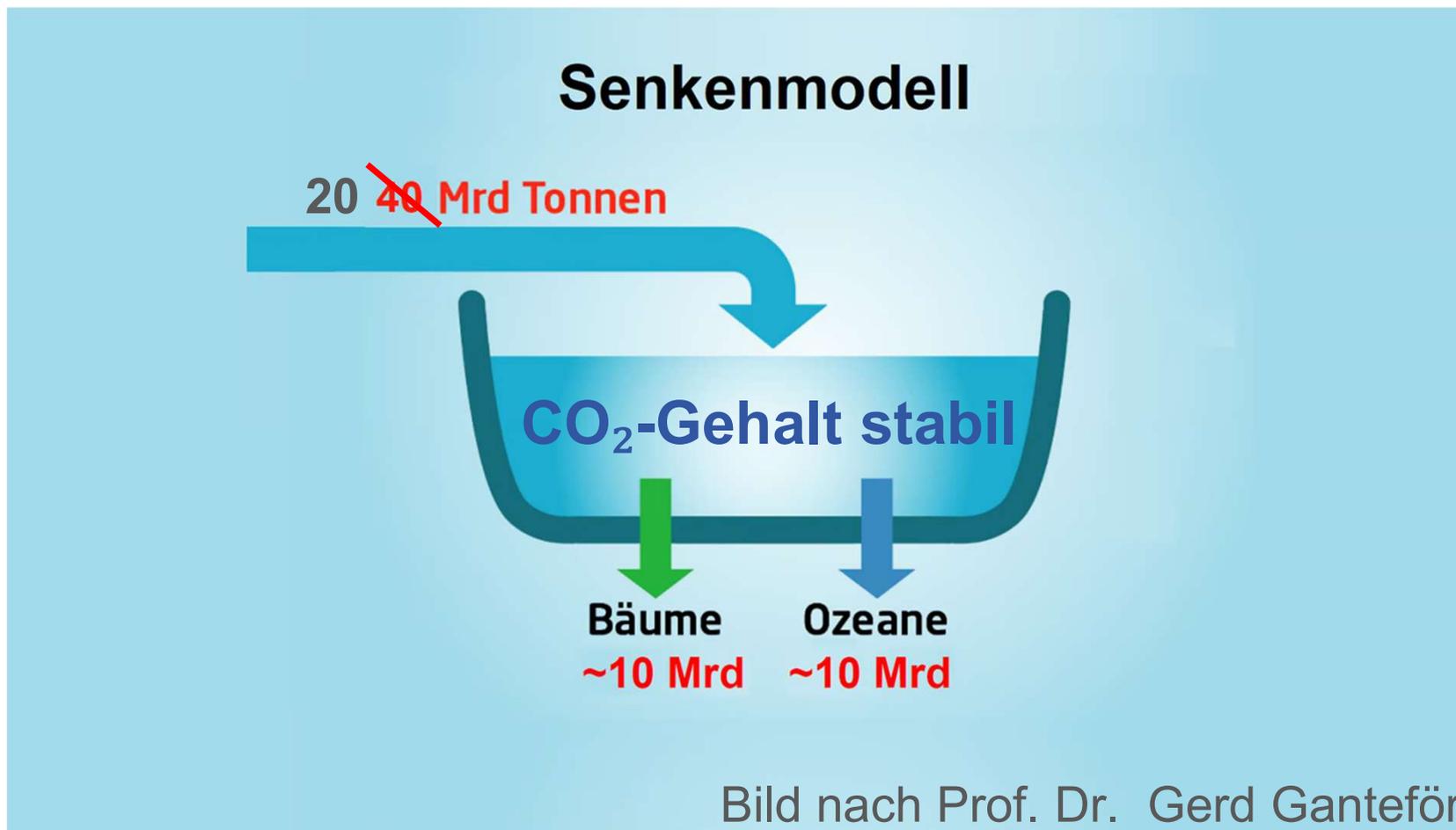


Öl für Transport

Wo landet das CO₂?



CO₂-Emissionen halbieren!



Die Energiewelt im Jahr 2019

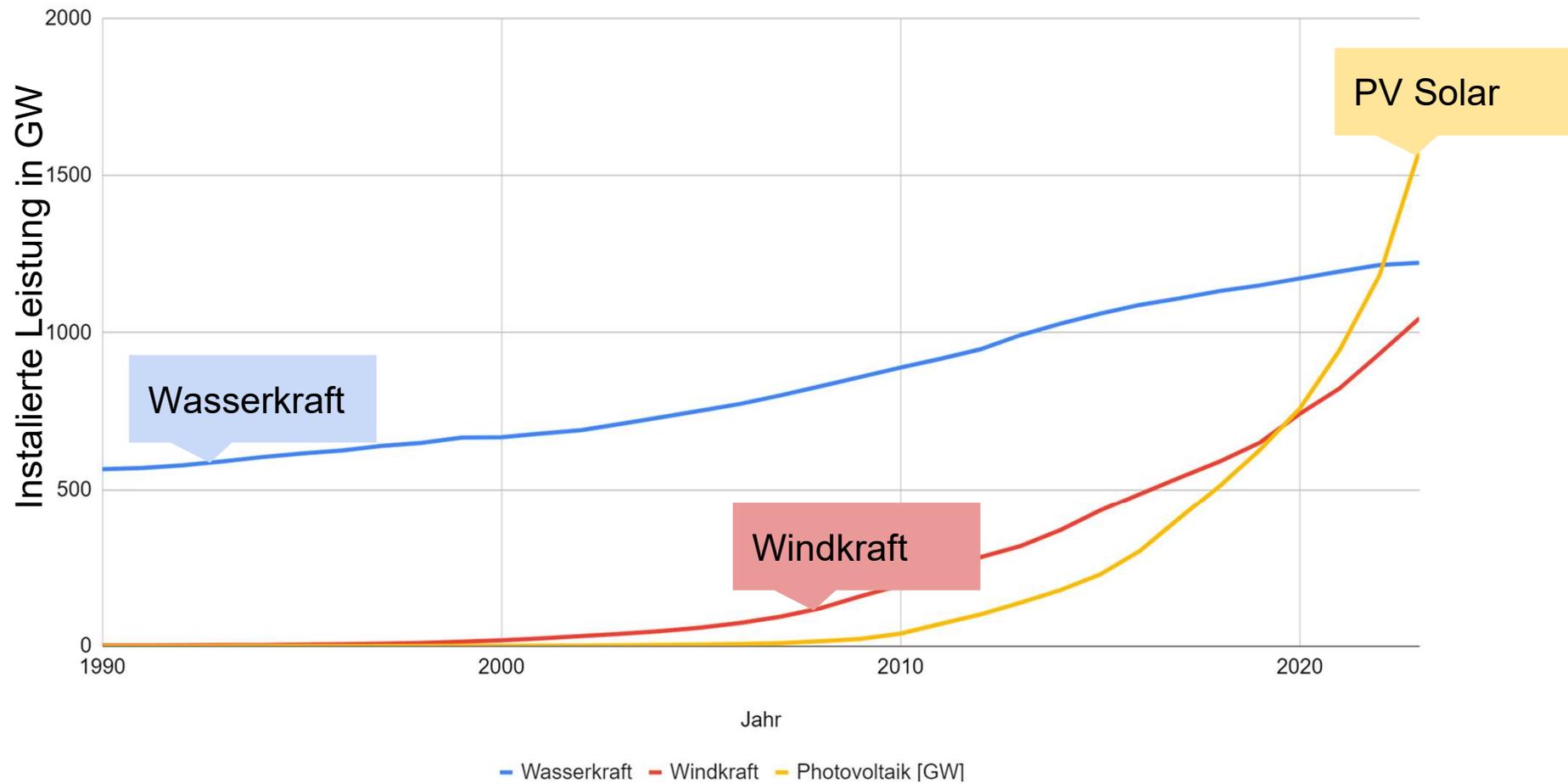
Energiequelle	Energiemenge [TWh/a]	CO₂ - Emission [Gt/a]
Kohle (th)	48.384	16
Öl (th)	55.008	15
Gas (th)	41.184	8,3
Solar (el)	699	0
Summe (el)	~50.000	39,3

Ziel 2050

Energiequelle	Energiemenge [TWh/a]	CO ₂ Emission [Gt/a]
Kohle (th)	24.000	8
Öl (th)	22.500	8
Gas (th)	20.000	4
Solar (el)	24.000	0
Zielwerte (el):	50.000	39,3 20

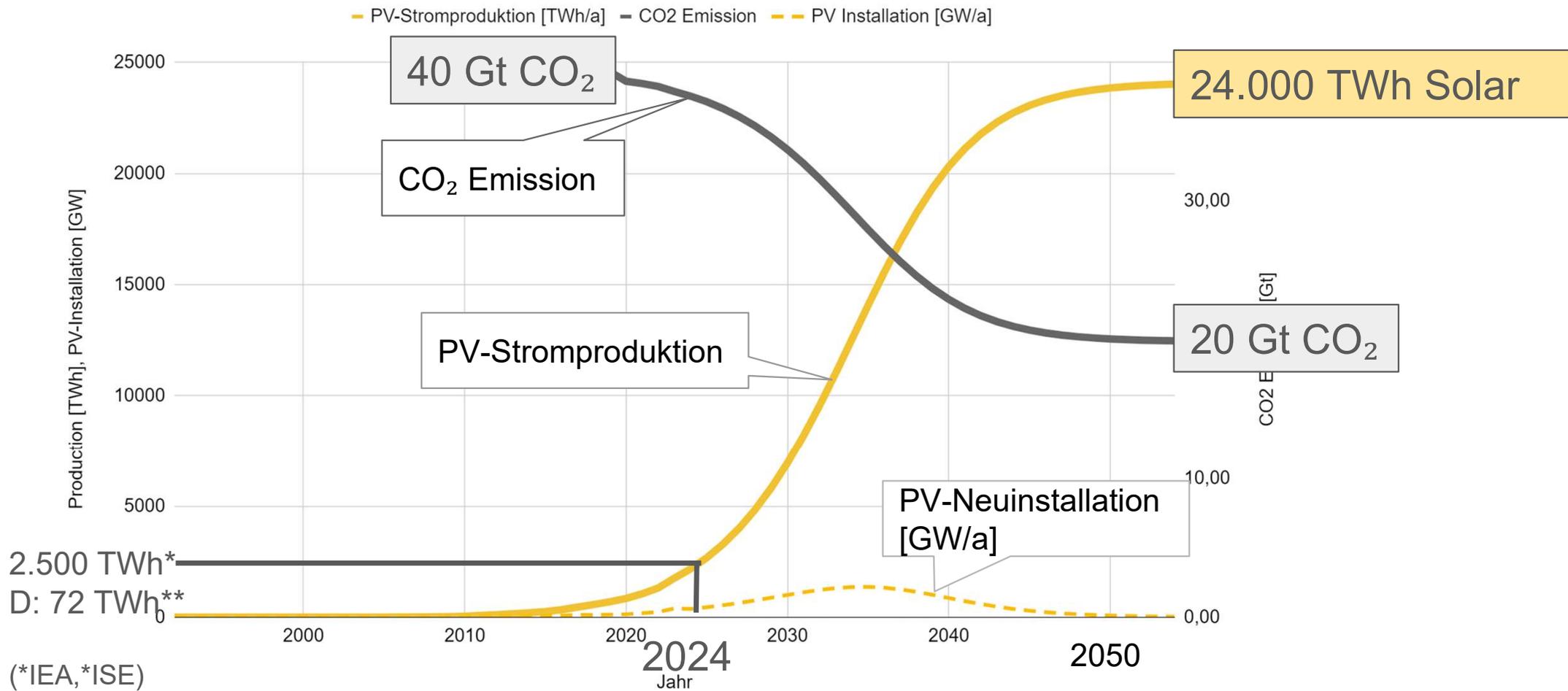
Ausgangslage: Wachstum der Erneuerbaren

Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik



Wachstum der Solarenergie, Rückgang von CO₂, Welt

PV-Produktion [TWh] und Emission CO₂ [Gt] und Jahr



Resultat

Ausbau der Solarenergie durch Preisvorteil

Nutzung als Fuelsaver = Brennstoffeinsparung

50 % Reduktion bei den CO₂-Emissionen bis ~ 2050

Stabilisierung des CO₂-Gehalts der Atmosphäre bei ~ 500 ppm

Temperaturanstieg ca. 2 °C

Pfad verursacht keine Kosten, da ökonomisch optimal

Deutschland spielt dabei keine (große) Rolle

Besuchen Sie meine Energiegespräche mit Top-Wissenschaftlern auf YouTube

[YouTube.com/EduardHeindl](https://www.youtube.com/EduardHeindl)

Lassen Sie sich nicht von der Energiewende entmutigen!

Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit
Fragen?

 <p>Hans-Werner Sinn #019 Eduard Heindl 1:12:42</p>	<p>Prof. Hans-Werner Sinn: Energiepreis, ... Prof. em. Dr. Dr. mult h.c. Hans-Werner Sinn ist ein führender Volkswirtschaftler...</p>
 <p>Fritz Vahrenholt #030 Eduard Heindl 54:06</p>	<p>Prof. Dr. Fritz Vahrenholt: Umweltschu... Prof. Dr. Fritz Vahrenholt hat in Chemie promoviert, er war Mitglied bei den Juso...</p>
 <p>Heinz-Otto Peitgen #034 Eduard Heindl 1:43:14</p>	<p>Prof. Dr. Heinz-Otto Peitgen: Klima, Ko... Prof. Dr. Heinz-Otto Peitgen ist ein deutscher Mathematiker. Seine...</p>
 <p>Christian Rieck #035 Eduard Heindl 1:40:39</p>	<p>Prof. Dr. Christian Rieck: Spieltheorie, ... Prof. Dr. Christian Rieck ist Wirtschaftswissenschaftler. Er ist...</p>
 <p>1:12:33</p>	<p>Professor Gerd Ganteför: Demokratie, ... Das Gespräch mit Prof. Dr. Gerd Ganteför führte Prof. Dr. Eduard Heindl am 4...</p>
 <p>Frank Atzler #021 Eduard Heindl 1:21:09</p>	<p>Prof. Dr. Frank Atzler: Diesel, Benzin, V... Prof. Dr. Frank Atzler ist Professor für Verbrennungsmotoren und...</p>
 <p>Th. Walter Tromm #032 Eduard Heindl 1:34:22</p>	<p>Dr. Th. Walter Tromm: Kernenergie, Re... Dr. Th. Walter Tromm war in der Sicherheitsforschung zur Kernenergie, b...</p>