

# Wie geht 100% Erneuerbare Energien über alle Sektoren in Deutschland

Ulrich Böke  
18. Februar 2022

Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V.

# Inhalte

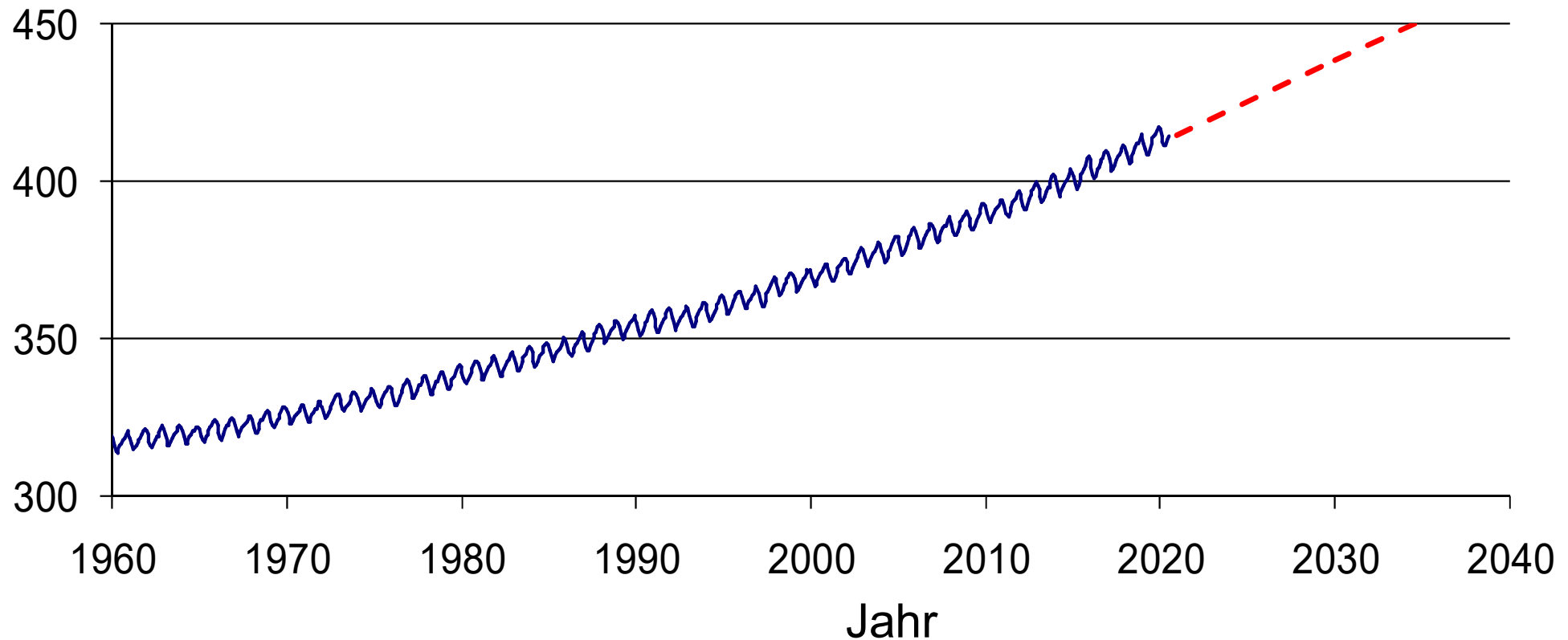
---

- Der Zwang zum Handeln
- Unser Energienutzung 2019
- Einsparpotentiale
- Kombikraftwerke
- Zusammenfassung

# Der Zwang zum Handeln

- Zu viele Treibhausgase in der Erdatmosphäre
  - Klimakippunkte nicht überschreiten !

## CO<sub>2</sub> Konzentration (ppm)

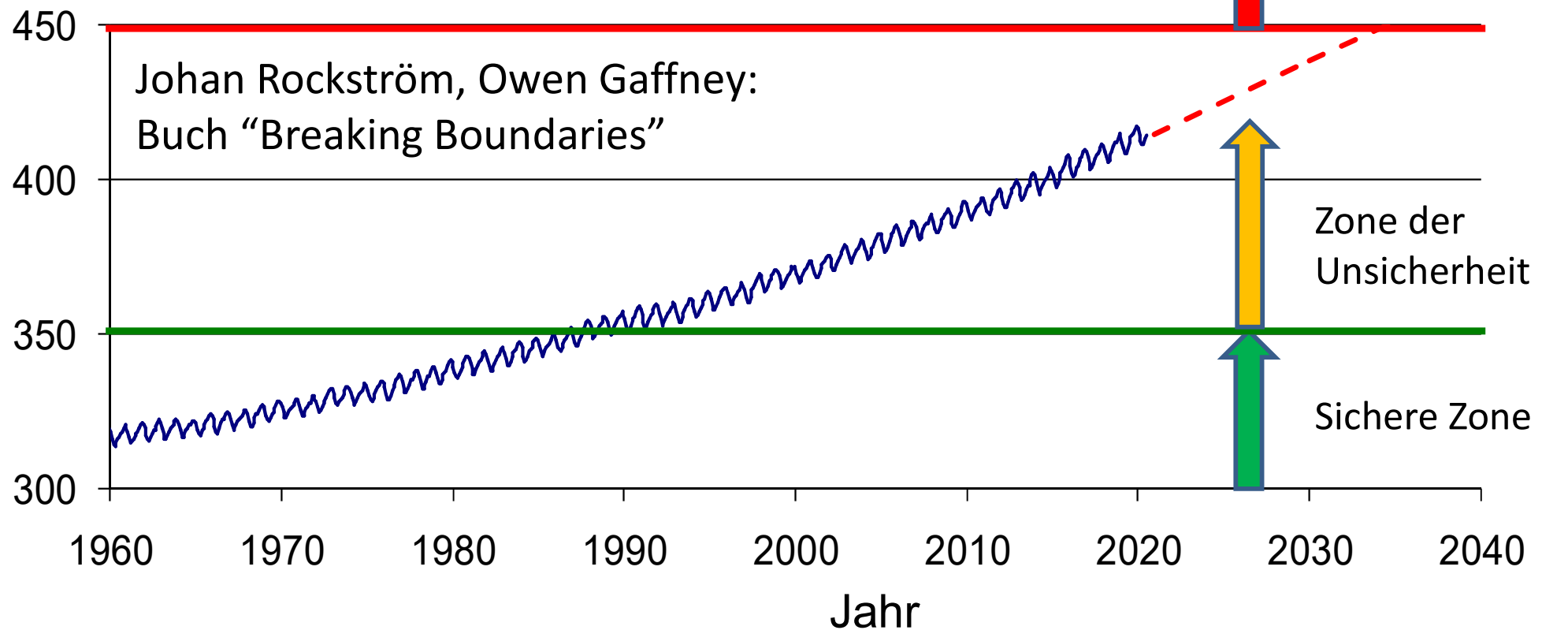


Quelle: Dr. Pieter Tans , [www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends)

# Der Zwang zum Handeln

- Zu viele Treibhausgase in der Erdatmosphäre
  - Klimakippunkte nicht überschreiten !

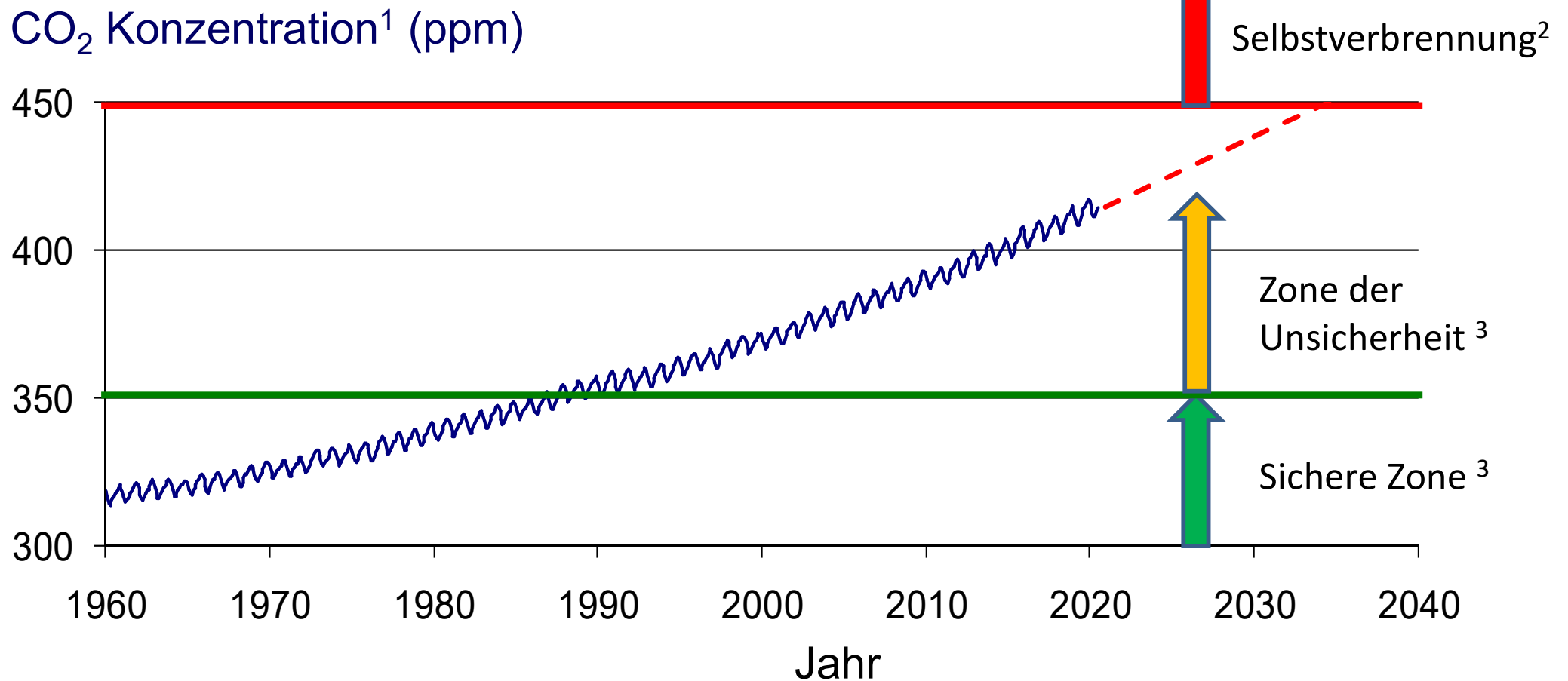
## CO<sub>2</sub> Konzentration (ppm)



Quelle: Dr. Pieter Tans , [www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends)

# Der Zwang zum Handeln

- Zu viele Treibhausgase in der Erdatmosphäre
  - Klimakippunkte nicht überschreiten !

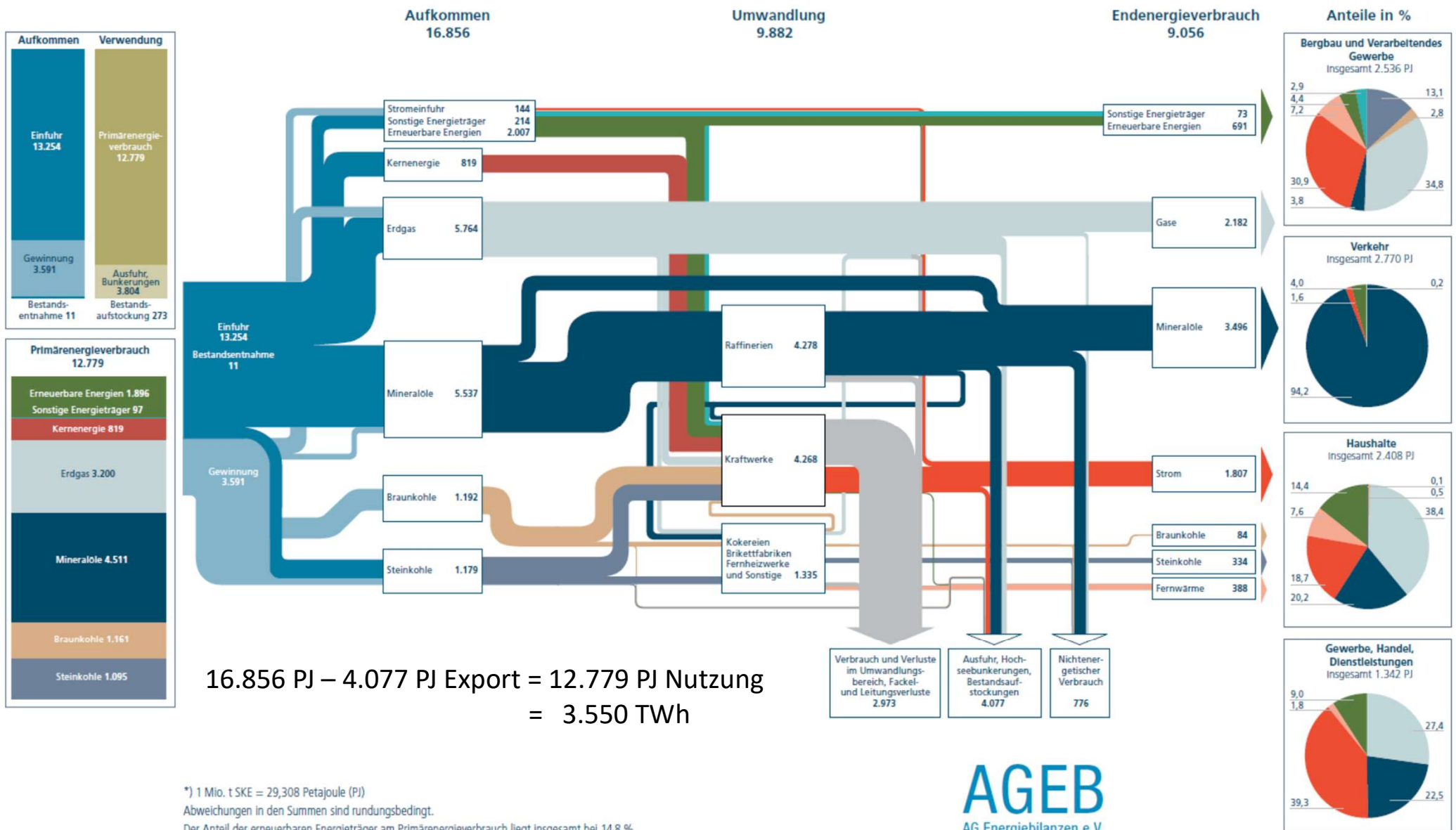


Quellen: <sup>1</sup> Dr. Pieter Tans , [www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends)

<sup>2</sup> <https://www.penguinrandomhouse.de/Buch/Selbstverbrennung/Hans-Joachim-Schellnhuber/C-Bertelsmann/e481489.rhd>

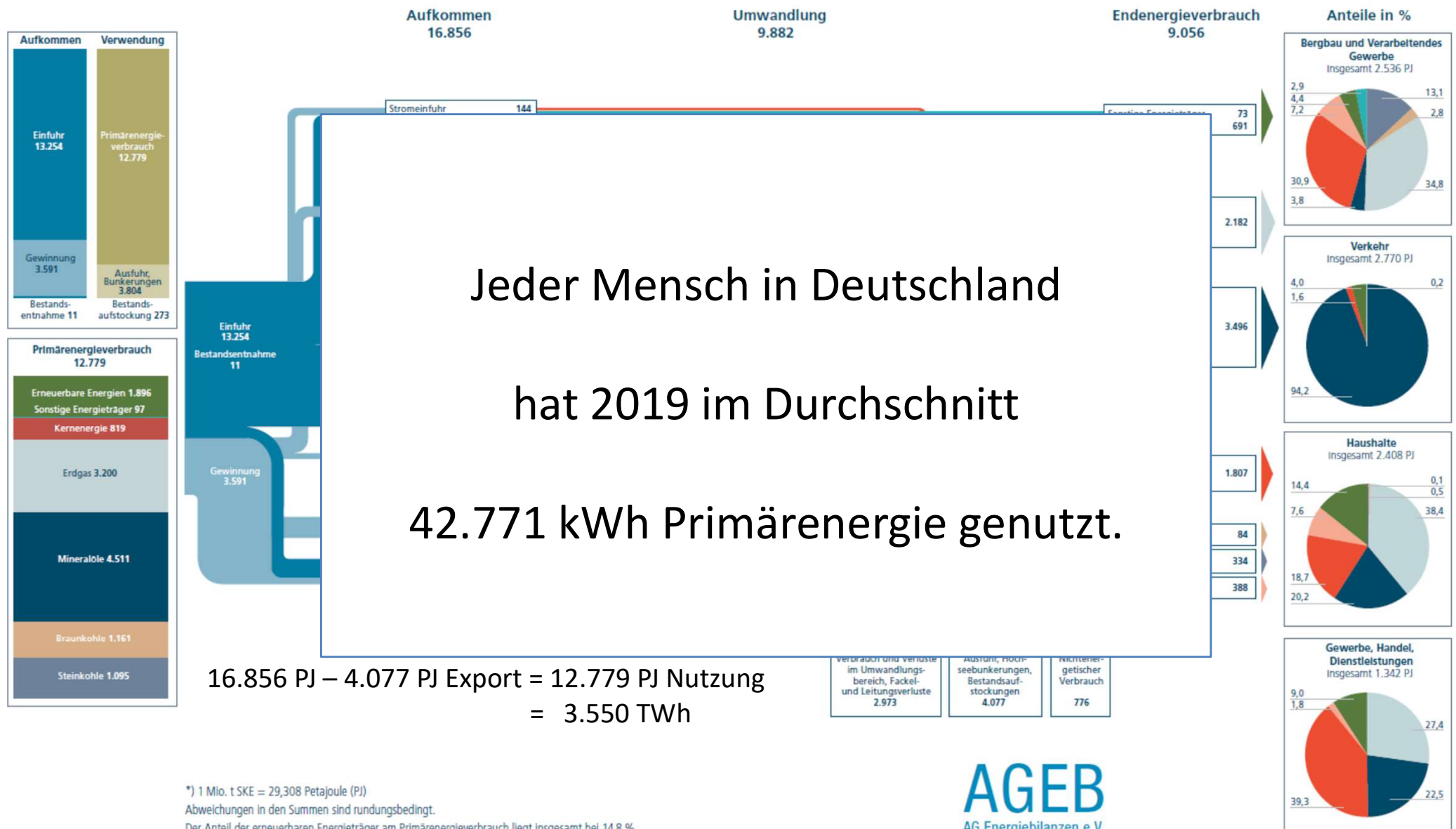
<sup>3</sup> Johan Rockström, Owen Gaffney: "Breaking Boundaries", Buch

# Unser Energienutzung 2019



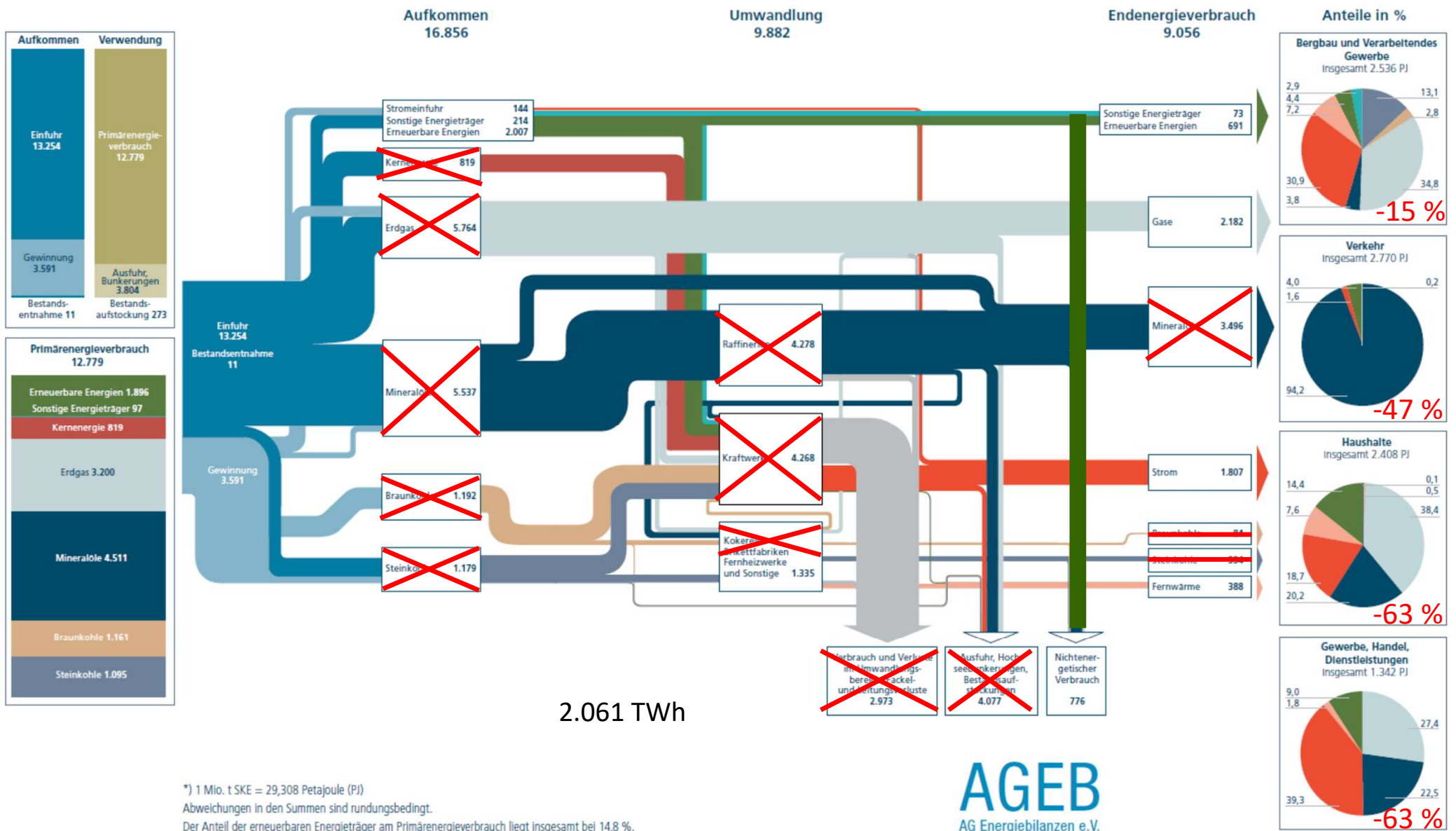
\*) 1 Mio. t SKE = 29,308 Petajoule (PJ)  
Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.  
Der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch liegt insgesamt bei 14,8 %.

# Unser Energienutzung 2019



\*) 1 Mio. t SKE = 29,308 Petajoule (PJ)  
Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.  
Der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch liegt insgesamt bei 14,8 %.

# Einsparpotentiale der Energiewende





# Einsparpotentiale ~42 % von der Primärenergienutzung

---

- Erhebliche Verluste in konventionellen Kraftwerken entfallen
- Energienutzung der Braunkohletagebaue entfällt
- Erdölförderung, Transport, Raffinerien und Tankstellen entfallen
- PKW, LKW, Binnenschifffahrt mit elektrischen Antrieben nutzen Faktor 2 weniger Energie als Benzin und Diesel betriebene Fahrzeuge
- Gebäuderenovierung und die Umstellung der Gebäudebeheizung auf Wärmepumpen und Nahwärme in Städten reduziert die Primärenergienutzung um den Faktor 2.

Alles ohne eine Veränderung des Konsumverhaltens!

- Hier schlummern weitere Einsparpotentiale.

# Einsparpotentiale & Energiewende

---

## Sehr starke Beschleunigung der Energiewende in Deutschland

- Windkraftanlagen
  - 64 GW (2021) -> 500 GW (2030)
- Solarstromanlagen
  - 59 GW (2021) -> 500 GW (2030)
- Wasserkraftanlagen
  - 3.8 GW (2021) -> 3.8 GW (2030)
- Langzeit-Energiespeicher
  - Das vorhandene Erdgasnetz für grünes Methan und Wasserstoff nutzen
  - Aufladen 290 GW Elektrolyse
  - Entladen 140 GW<sub>el</sub> Kraftwärmekopplungsanlagen (KWK)

100 % Erneuerbare Energie 2030 in nur acht Jahren!

- Weil Treibhausgas Emissionen schnell reduziert werden müssen.
- Effiziente Prozesse und wiederholbare Planungen
- Strom dort erzeugen wo Strom verbraucht wird
- Je ~1000 Menschen ein Kombikraftwerk
  - 1 Windkraftanlage, ~Ø 160 m, ~6 MW
  - Biotop-Solarstromanlage, ~4 MW
  - Finanziert von den Bürger:innen vor Ort
    - Bürgerenergie Genossenschaften, Stadtwerken
    - Lokale Wertschöpfung, die für Bürger:innen erlebbar ist

Gibt es

- Auf Pellworm als Hybridkraftwerk seit 1992 !
- Forschungsprojekt „Kombikraftwerk“, 10 Partnern unter der Leitung des Fraunhofer ISE, 2010 -2013
- Vattenfall:  
Energiepark Haringvliet Zuid ,  
Niederlande



Photos: Bürgerenergie Kreis Düren eG, Naturstrom AG

# Kombikraftwerke

## Flächenbedarf für ein Kombikraftwerk

- 4,5 Hektar, ~280 m x 160 m
- 20% PV Modulwirkungsgrad

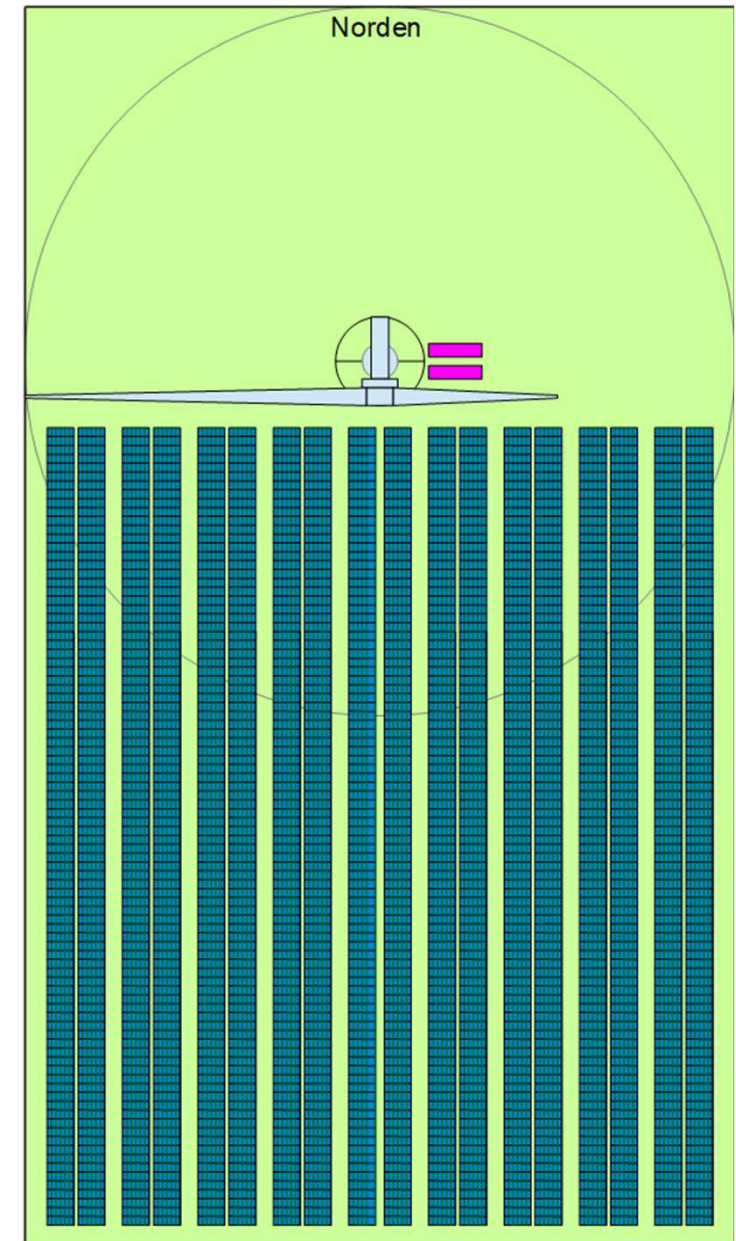
## Flächenbedarf für 80.000 Kombikraftwerke

- 3600 km<sup>2</sup>
- 2,0 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland
- Stadtnah, da wo Energie genutzt wird

## Landwirte werden Energiewirte

- Ersatz für die wegbrechende Einnahmen aus der Tierzucht

## Vogelperspektive



Warum ein Verhältnis von 6 MW Windkraftanlage zu 4 MW PV-Anlage?  
Warum ein Kombikraftwerk statt zwei getrennten Anlagen?

Die Stromerzeugung von Windkraft- und PV-Anlagen erreicht nie gleichzeitig ihr Maximum.

Das vorgeschlagene Kombikraftwerk benötigt nur eine Netzanschlussleistung, entsprechend der Nennleistung der Windkraftanlage.

- Es entfallen die Kosten für den Netzanschluss der PV-Anlage!
- Dadurch wird der Solarstrom günstiger und ebenso das gesamte Kombikraftwerk.

# Kombikraftwerke

Beispiel: 12. März 2021

Der Tag mit der bislang größten Stromerzeugung mit PV und Windkraft-Anlagen 1,17 TWh

Die maximale Einspeiseleistung ist um 12:00 Uhr aufgetreten.

## Windkraftanlagen

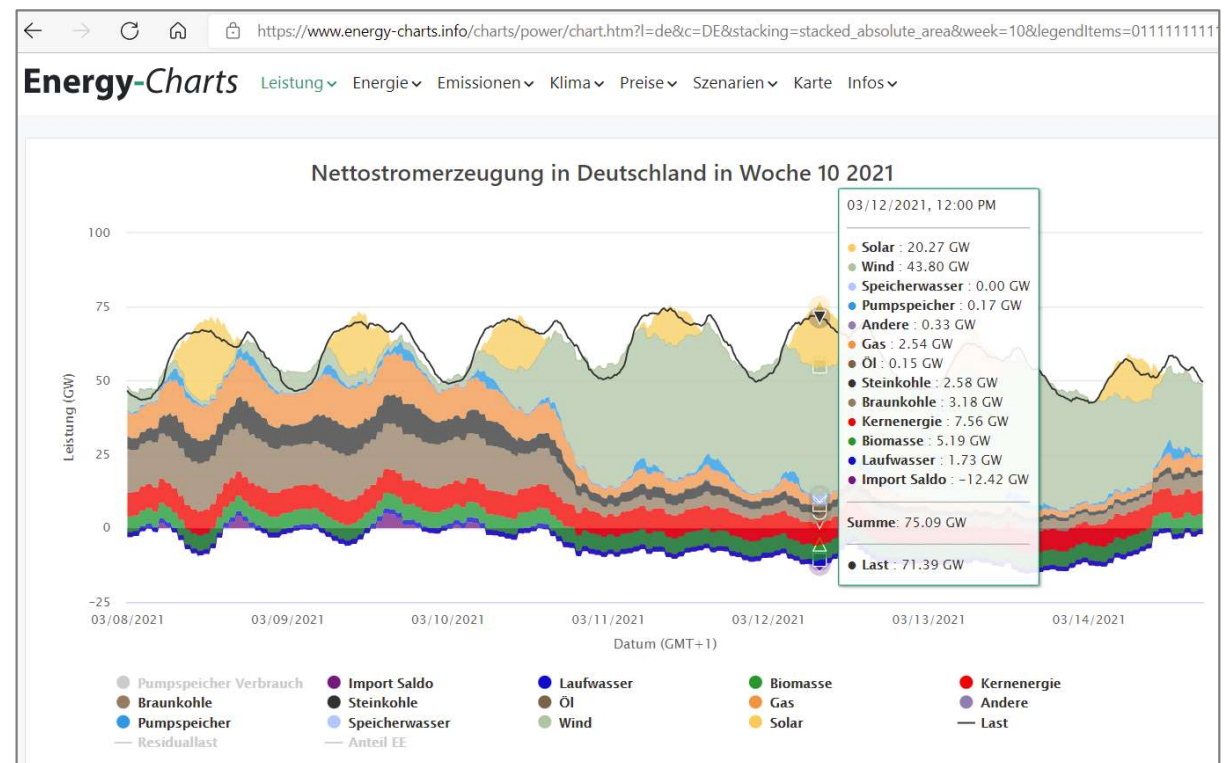
- 63,0 GW installiert in D
- 43,8 GW Leistung um 12 Uhr
- 70,0 % der Nennleistung

## PV-Anlagen

- 55,3 GW installiert in D
- 20,3 GW Leistung um 12 Uhr
- 36,7 % der Nennleistung

## WKA & PV-Anlagen in D

- 64,1 GW Leistung um 12 Uhr
- 102 % der WKA Nennleistung



# Kombikraftwerke

Beispiel: 12. März 2021

Achtung: Im vorgeschlagenen Kombikraftwerk ist die Nennleistung der PV-Anlagen geringer. Dies übertragen wir - als Beispiel - auf die installierte PV Anlagen Leistung in Deutschland.

Die maximale Einspeiseleistung ist um 12:00 Uhr aufgetreten.

## Windkraftanlagen

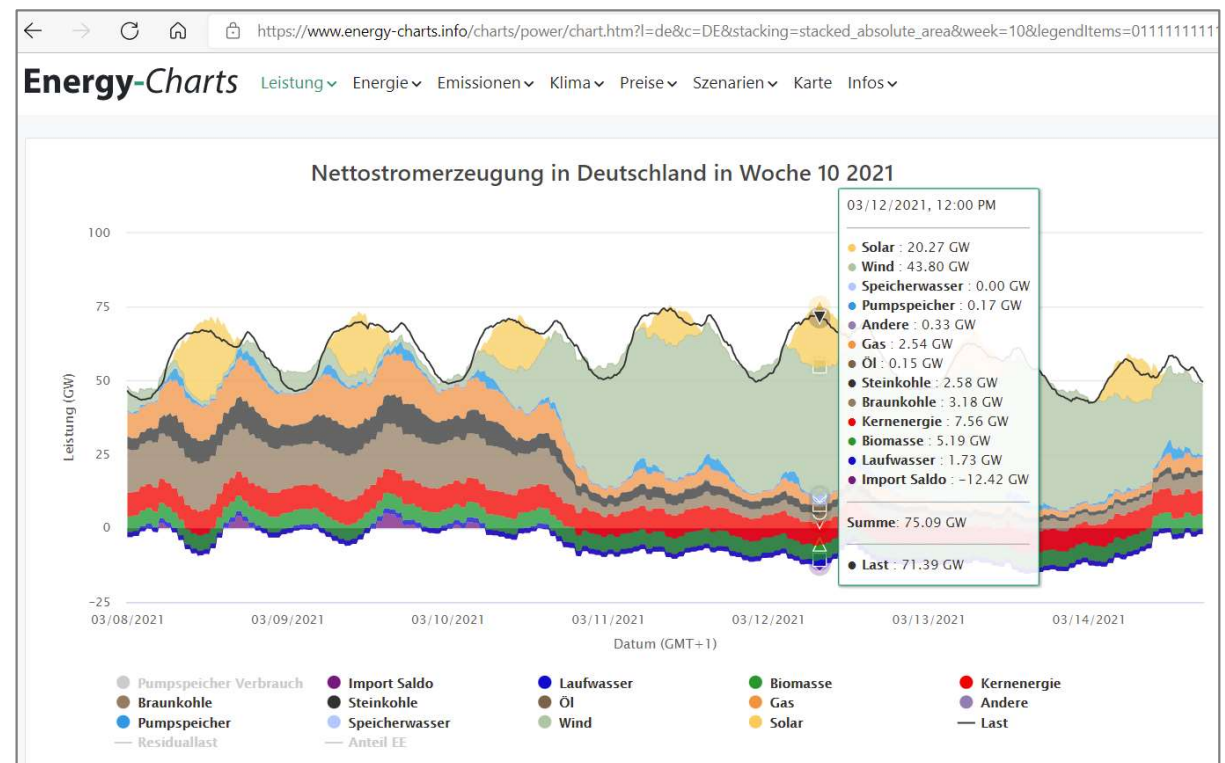
- 63,0 GW installiert in D
- 43,8 GW Leistung um 12 Uhr
- 70,0 % der Nennleistung

## PV-Anlagen

- 42,0 GW installiert im KKW
- 15,4 GW Leistung um 12 Uhr
- 36,7 % der Nennleistung

## WKA & PV-Anlagen im KKW

- 59,2 GW Leistung um 12 Uhr
- 94 % der WKA Nennleistung





Gebaut und betrieben von Bürgerenergie Genossenschaften und Stadtwerken

- Können wir 40 Millionen Menschen begeistern, aktiv mit zu machen?



Grafik: Deutscher Genossenschafts- und Raiffeisenverband e.V.

# Langzeitspeicher

---

Kombikraftwerke kombiniert mit einem Langzeitspeicher

- Vorhanden: Das Erdgasnetz in Deutschland
  - ~240 TWh Speicherkapazität

## Aufladen

1. Elektrolyse: Wasser & Strom -> Wasserstoff & Sauerstoff
2. Methanisierung: Wasserstoff & CO<sub>2</sub> -> Methan
  - CO<sub>2</sub> z. B. aus Müllverbrennungsanlagen
  - Wirkungsgrad etwa 50 %

Entladen: Mit Blockheizkraftwerken

- Beispiel: Küstenkraftwerk Kiel
  - 90 % Wirkungsgrad
  - 45 % der Eingangsleistung wird als Nahwärme angeboten
  - 45 % der Eingangsleistung wird als Strom angeboten

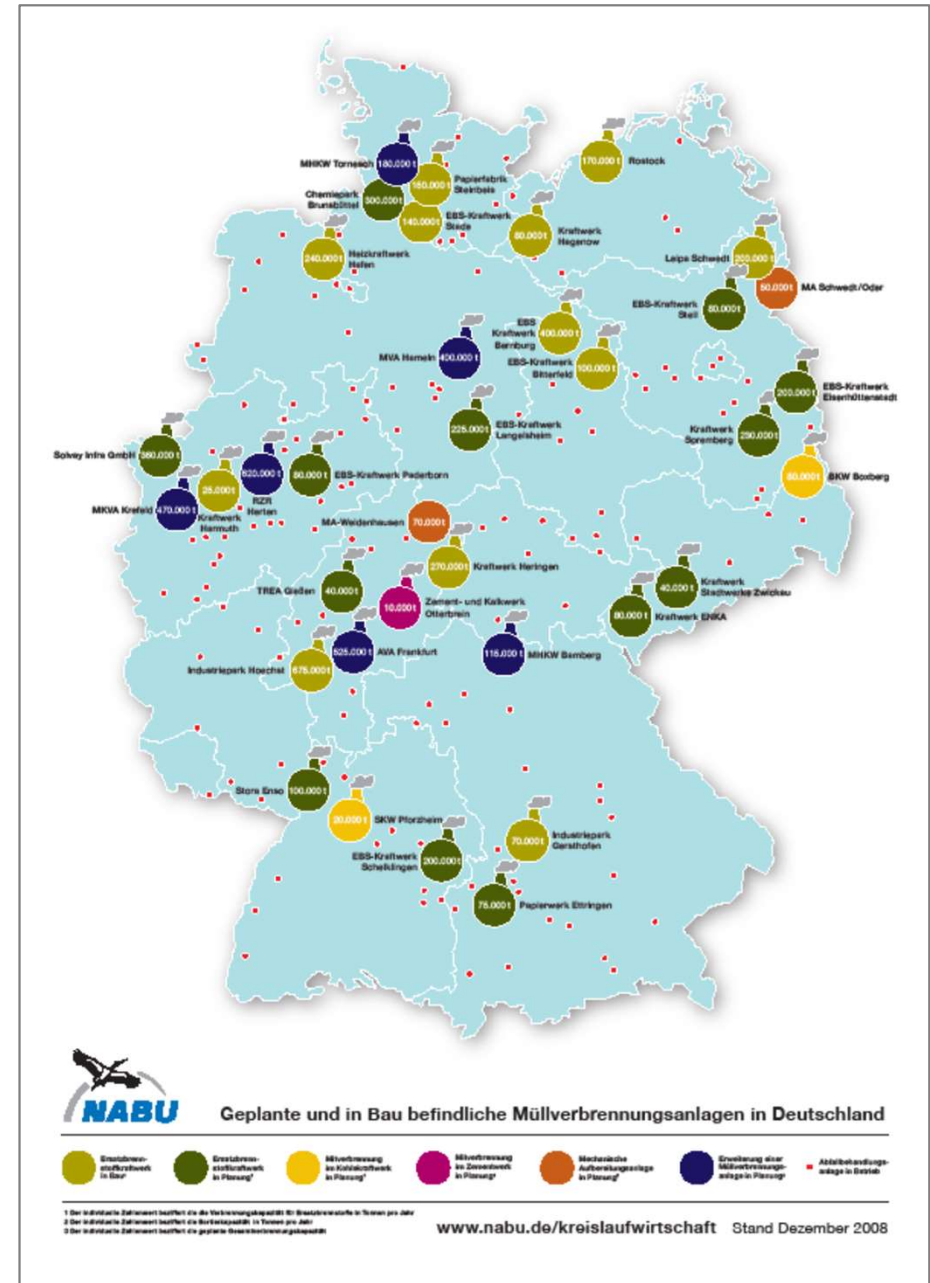
# Langzeitspeicher Aufladen

## Ideen für potentielle Standorte

- In der Nähe von Müllverbrennungsanlagen, die CO<sub>2</sub> Quelle und potentielle Standorte für die Herstellung von grünem Methan zur Energie-Langzeitspeicherung sind.

Siehe NABU Karte rechts

- Wenn sich viele Kombikraftwerke in der Nähe dieser Anlagen befinden, minimiert das die Kosten für neue Stromleitungen zu diesen potentiellen Einrichtungen zum Aufladen des Langzeitspeichers.



1. Zu viele Treibhausgase in der Erdatmosphäre machen die schnelle Energiewende zwingend erforderlich.
2. Energie muss effizienter genutzt werden.  
Genau das ermöglicht die Energiewende.
3. Deutschland braucht eine neue lokale Energieversorgung aus Solarstrom- und Windkraftanlagen vor Ort.
  - Von der Menschen finanziert
  - Mit erlebbaren Vorteilen für die Menschen
  - Akzeptiert von den Menschen
4. Erforderlich sind 2 % der landwirtschaftlichen Flächen.  
Diese gilt es zu definieren, möglichst stadtnah.
5. Sehr viel mehr Solarstromanlagen auf allen Dachflächen

# 100% Erneuerbare Energien in Deutschland über alle Sektoren sind möglich!



Langerweher Solar-Dächer GBR



Bürgerenergie Kreis Düren eG

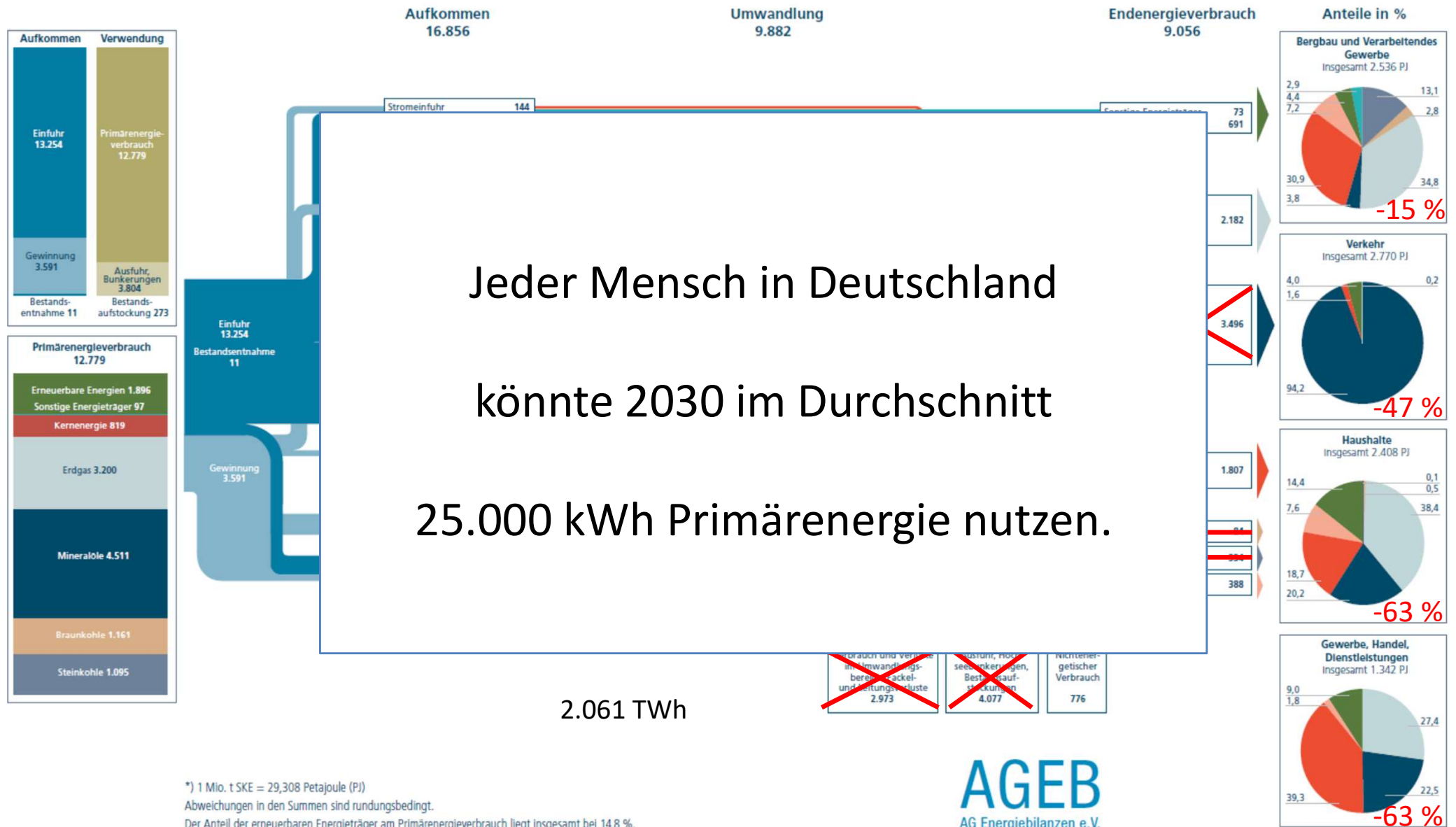
Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V.

## Ulrich Böke

- Vorstandsmitglied beim Solarenergie Förderverein Deutschland e.V.
  - [www.sfv.de](http://www.sfv.de)
- Vorsitzender der Langerweher Umwelt- und Naturschutz Aktion e.V.
  - [www.bund.net/luna](http://www.bund.net/luna)
  - VHS Seminar: Prima Klima – Strom von der Sonne
  - Vortrag: Energie sparen mit LED Beleuchtung
- Kontakt: [ulrich.barbara.boeke\(at\)t-online.de](mailto:ulrich.barbara.boeke(at)t-online.de)

Dieser Vortrag dokumentiert einen Vorschlag des Autors.  
Dieser Vortrag gibt nicht die Meinung des SFV wieder.

# Unser Energienutzung 2030 – Einsparpotentiale



## **Verkehr** - mit Strom aus erneuerbaren Energien bis auf das Fliegen

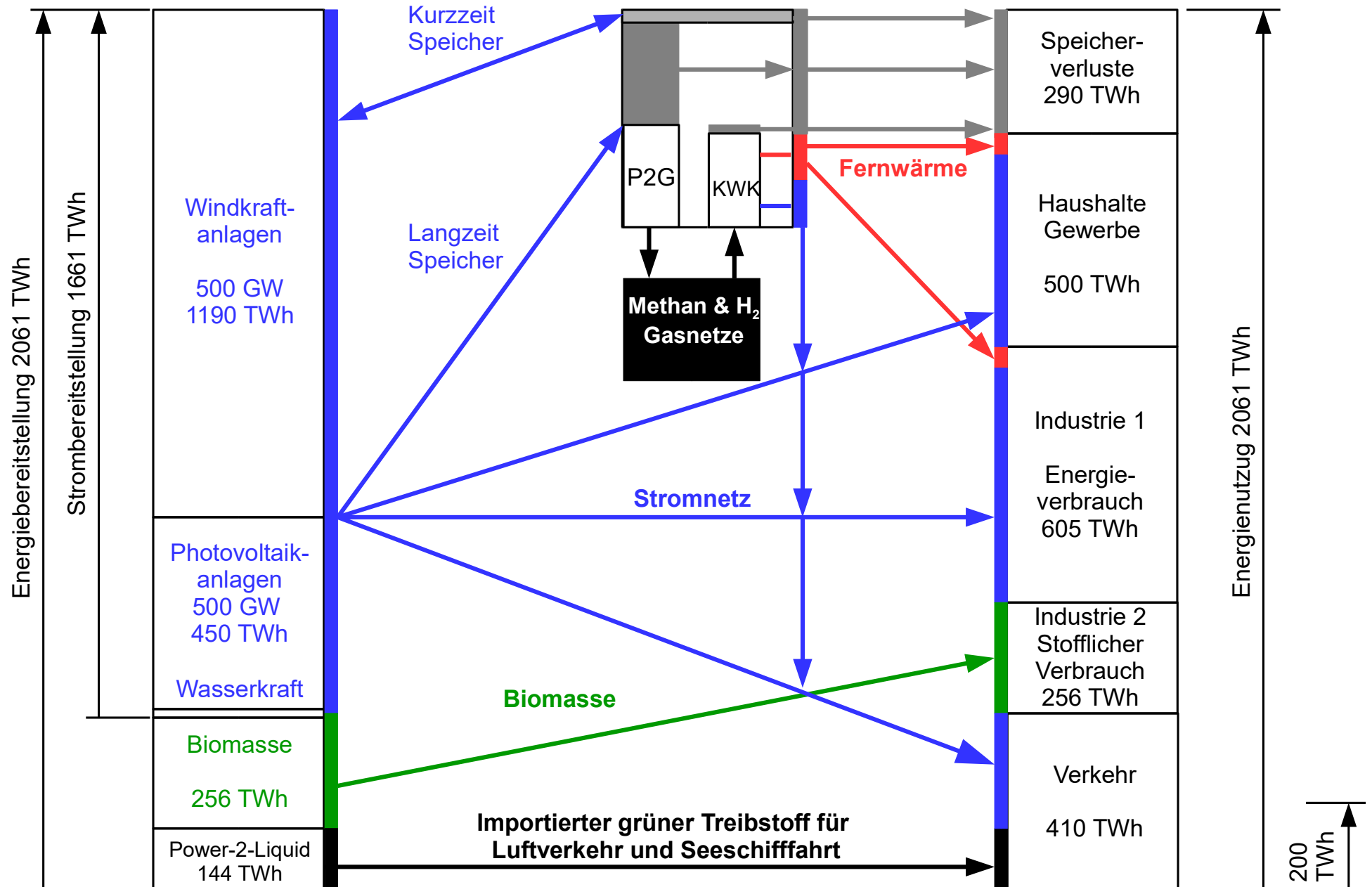
- Autos
  - Statt Ø 6,6 L. Diesel/100km = 65 kWh/100 km
  - Elektroautos mit Ø 16 kWh/100 km **75 % Einsparung**
- LKW
  - Statt Ø 16 L. Diesel/100km = 160 kWh/100 km
  - Elektro LKW mit Ø 120 kWh/100 km **25 % Einsparung**
- Gesamtverkehr
  - 2016: 780 TWh überwiegend Mineralöl
  - 2030: 410 TWh = 266 TWh Strom + 144 TWh Flugzeugtreibstoff  
**Ø 47 % Einsparpotential**



## Haushalte & Gewerbe - mit Strom aus erneuerbaren Energien

- Gebäude schneller energetisch sanieren
    - Sanierungsrate von 1 % [DENA] auf 3 % pro Jahr steigern !
    - Sanieren bei jedem Eigentümerwechsel oder nach 33 Jahren
    - In 8 Jahren bis 2030: 20 % weniger Energieverbrauch
  - Heizen und Warmwasser nur noch CO<sub>2</sub>-frei mit
    - Wärmepumpen (Wp), Solarkollektoren
    - Nah- und Fernwärme aus dem Langzeitspeicher
  - Haushalte & Gewerbe – ohne Stromverbrauch
    - 2016: ~760 TWh, davon 71 % mit Erdgas, Mineralöl, Kohle
    - 2030: ~280 TWh = 170 TWh Wp. Strom + 110 TWh Fernwärme
- Ø 63 % Einsparpotential

# Unser Energienutzung 2030 – Könnte so aussehen



# Kombikraftwerke

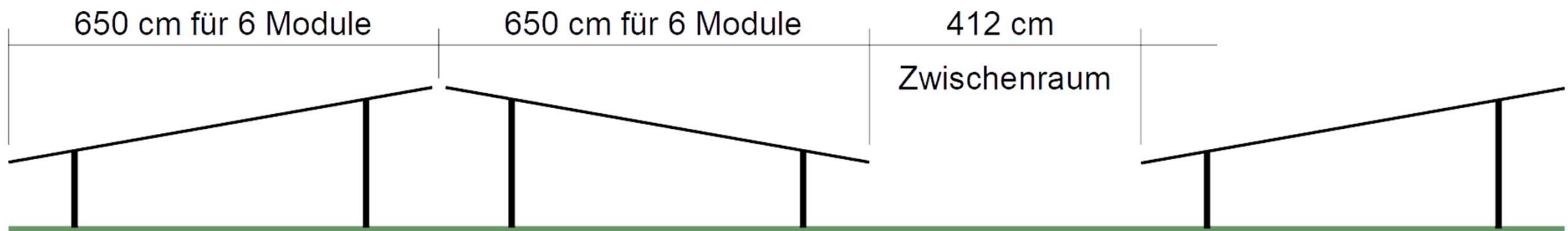
## Berücksichtige PV Modul Daten

- PV Module mit 144 Halbzellen
- 2,1 m x 1,05 m, 2,2 m<sup>2</sup>
- 440 Wp, 20 % Wirkungsgrad

## Anzahl der PV Module

- Von Ost nach West: 9 Reihen je 6+6 Module = 108 Module = 47,52 kWp
- 4 MW / 47,52 kW = 84,2 Module in Nord-Süd Richtung
- Praktisch 85 Module in Nord-Süd Richtung
- 108 \* 85 Module = 9180 Module in Summe = 4039 kWp

## Idee zu Abmessung von PV Modultischen sowie Blühstreifen und Mähflächen



- Nur noch als Lebensmittel sowie Stofflieferant zur Herstellung von Produkten
  - Biogas, Pflanzenöl, Alkohol, Zellulose, Konstruktionsholz
  - Ersatz für Erdöl, Erdgas sowie Beton
- Auch Holzheizungen müssen durch Wärmepumpen und Nahwärme ersetzt werden, um CO<sub>2</sub> Emissionen aus Holzheizungen zu vermeiden.
  - Ziel: Klimakipppunkte vermeiden

1661 TWh Bruttostromerzeugung im Jahr

- Hierfür müssen die Stromnetze dimensioniert werden
  - Heute werden Stromlasten bis zu 85 GW versorgt.

2030:

- Stromlasten bis ca. 230 GW müssen versorgen werden.
  - Faktor 2,7 mehr
- Stromerzeugung bis ca. 540 GW aufzunehmen
  - Faktor 6,4 mehr, räumlich begrenzt
  - Bis zu 290 GW Aufladeleistung des Langzeitspeichers
  - Referenz Tag war der 12. März 2021: 64 GW PV & Wind

- Vorhanden Anlagen weiter betreiben
- Keine Anlagen zubauen – zu hohe Naturbelastungen

## An und Auf Gebäuden

- 35 GW vorhanden
- 180 GW als Gesamtziel bis Ende 2029
- Ø 18 GW Zubau pro Jahr bis Ende 2029

## Kombikraftwerke

- 20 GW Freiflächen PV vorhanden
- 320 GW Biotop-Solaranlagen als Gesamtziel 2029
- Ø 37 GW Zubau pro Jahr bis Ende 2029

## Zusammen

- 500 GW als Gesamtziel bis Ende 2029

## Windkraftanlagen auf See bis 2029

---

- 7,7 GW vorhanden
- 20 GW als Ziel bis Ende 2029
- 1,5 GW Zubau pro Jahr bis Ende 2029
- ~120 Anlagen pro Jahr

Windkraftanlagen auf See haben negative Folgen für den Naturraum Küste und See.

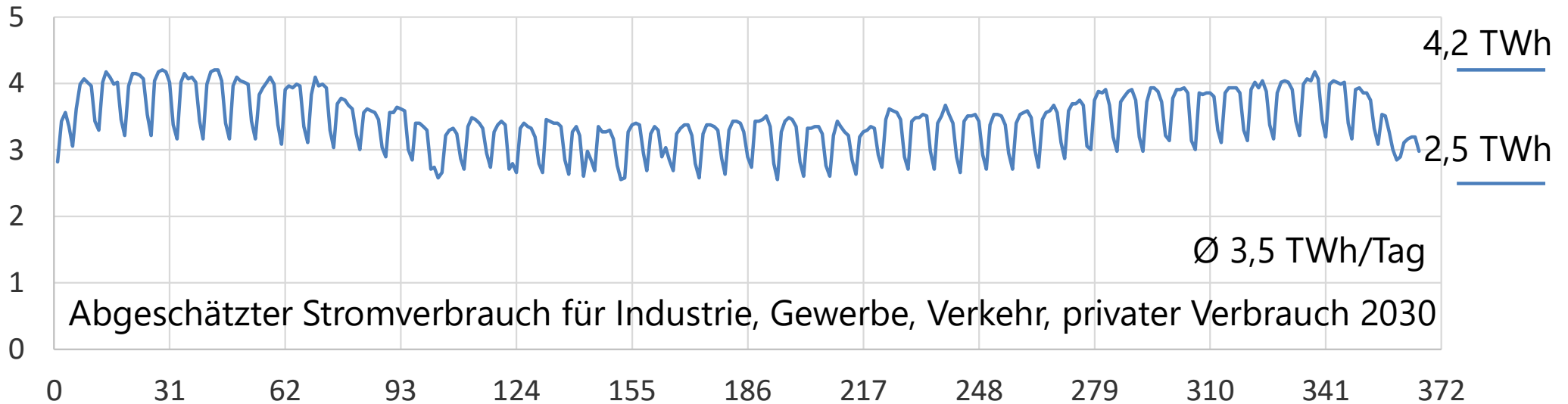


## Deutschland weit

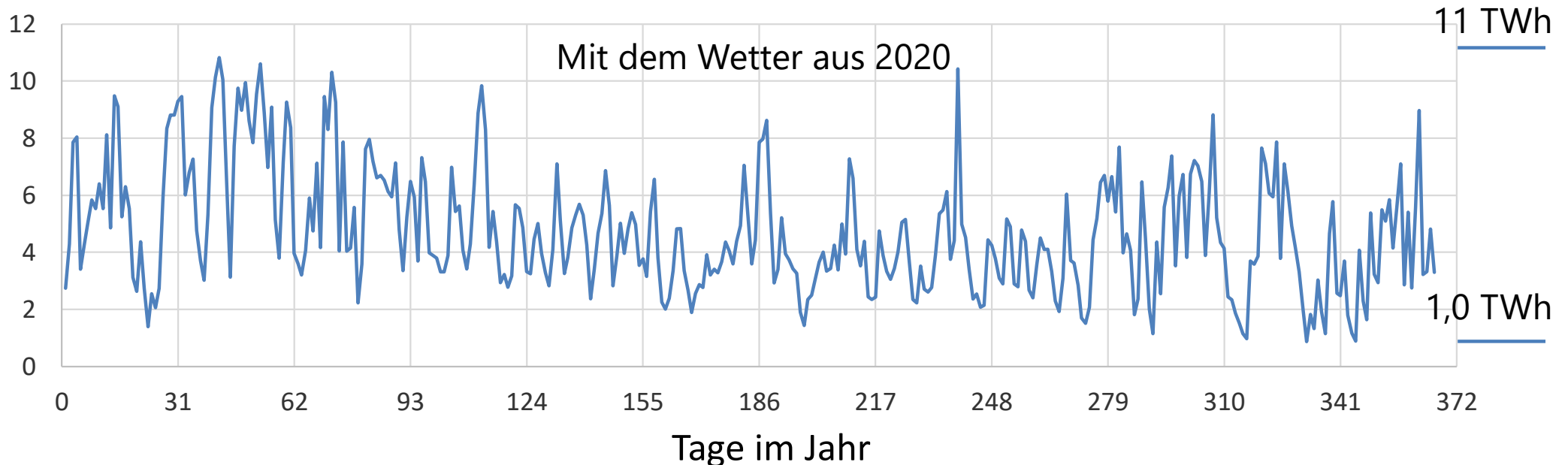
- 333 TWh kurzfristiges Stromerzeugungspotential aus Wasserkraft, Windkraft auf See, PV auf Gebäuden
- 1661 TWh Gesamtstrombedarf in dieser Studie
- 1328 TWh bislang nicht gedeckt -> Kombikraftwerke
- 80.000 lokale Kombikraftwerke
- 3.600 km<sup>2</sup> Flächenbedarf
  - 2 % der landwirtschaftlich genutzten Flächen abzüglich der Nutzung von Industriebrachen z.B. Erdö raffinerien und weniger als 2 % wenn PV Module effizienter werden als 20 %
  - 1 % der Gesamtfläche in Deutschland

# Unser Energienutzung 2030 – Könnte so aussehen

Täglicher Stromverbrauch 2030 (TWh/Tag)



Tägliche Stromerzeugung aus Sonne, Wind und Wasser 2030 (TWh/Tag)

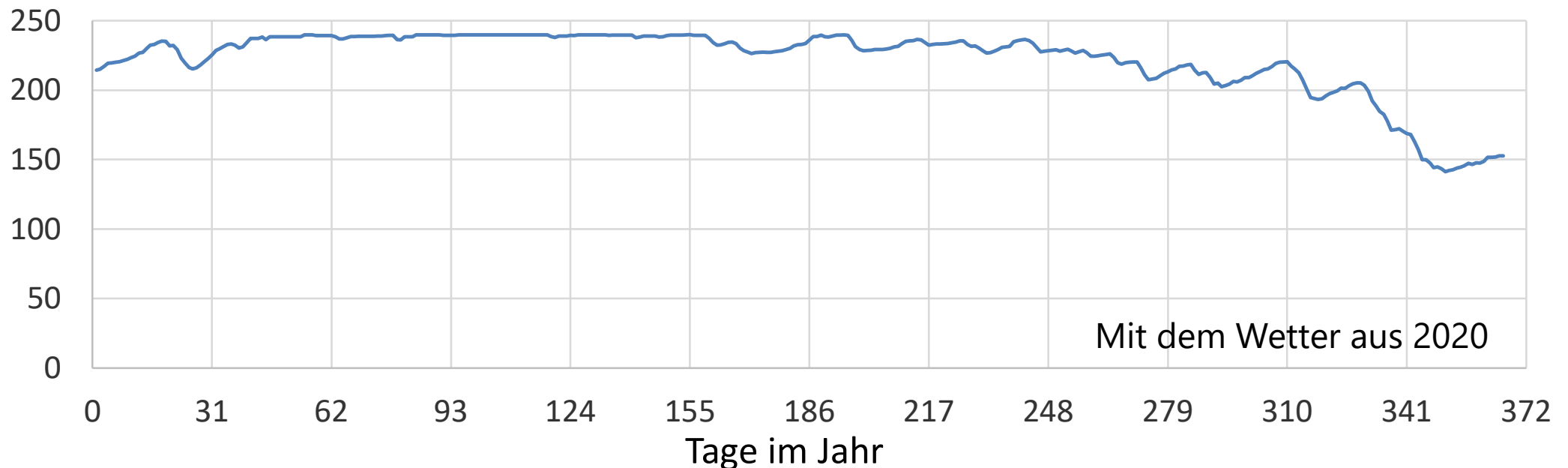


# Langzeitspeicher & das Wetter aus 2020

## Langzeitspeicher: Das vorhandene Erdgasnetz

- 240 TWh Methan Speicherinhalt
- Aufladung: Elektrolyse & Methan Herstellung, 50 % Wirkungsgrad
- Entladung über KWK Anlagen, Beispiel Küstenkraftwerk Kiel

Langzeit Speicherinhalt (TWh Methan)

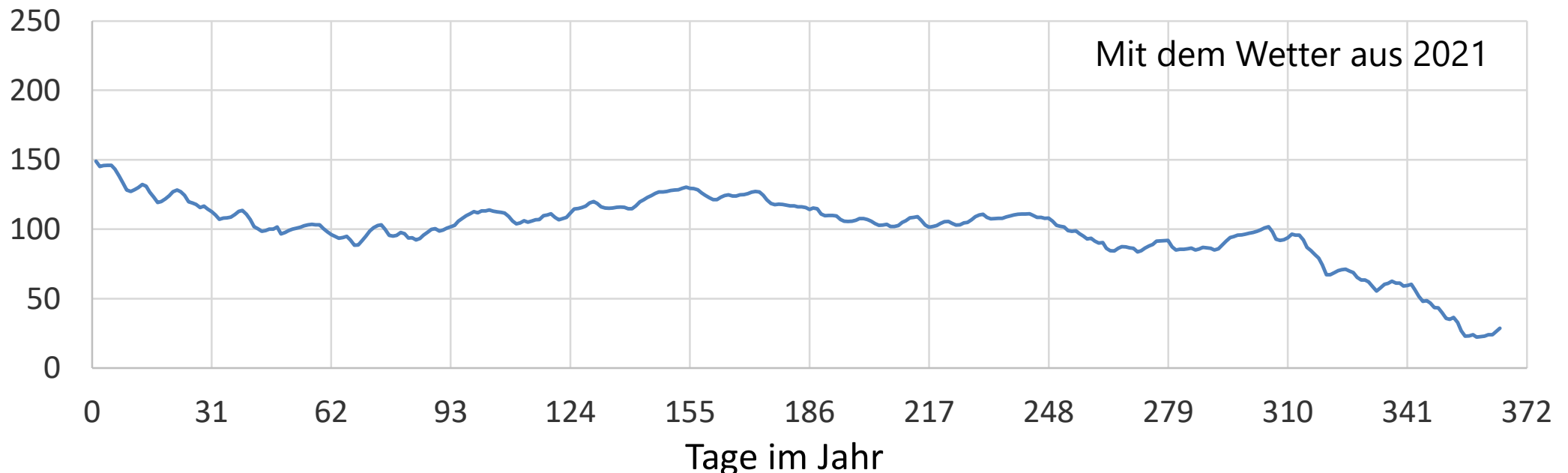


# Langzeitspeicher & das Wetter aus 2021

## Langzeitspeicher: Das vorhandene Erdgasnetz

- 240 TWh Methan Speicherinhalt
- Aufladung: Elektrolyse & Methan Herstellung, 50 % Wirkungsgrad
- Entladung über KWK Anlagen, Beispiel Küstenkraftwerk Kiel

Langzeit Speicherinhalt (TWh Methan)



# Langzeitspeicher mit Methan

---

## Aufladen mit

1. Elektrolyse von Wasser zur Herstellung von Wasserstoff-Gas
2. dem Sabatier-Prozess zur Methangas Herstellung  
1902 entdeckt von Paul Sabatier und Jean Baptiste Senderens

<https://de.wikipedia.org/wiki/Methanisierung>

Die folgende Internetseite informiert über Methanisierungs Anlagen in Deutschland. Die drei größten Anlagen verfügen über Elektrolysen mit Nennleistungen von:

- 8,8 MW, WUN H2 GmbH, Energie-Park Wunsiedel
- 6 MW, ETOGAS GmbH und Audi AG, in Werlte, Wirkungsgrad ~54%
- 3,9 MW, Mainzer Stadtwerke, im Energiepark Mainz

<https://de.wikipedia.org/wiki/Power-to-Gas#Methanisierung>

# Kurzzeit-Energiespeicher

---

Wenn 30 Mio. Elektroautos 25 % ihrer Batteriekapazität als Kurzzeitspeicher für das Stromnetz zur Verfügung stellen:

- Ø Batteriekapazität: 60 kWh
- davon 25 %: 15 kWh
- In Summe: 0,45 TWh
- Könnten 100 GW etwa 4 Stunden lang liefern

Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland

- Speicherkapazität 0,04 TWh
- Leistung 7 GW
- Ø Wirkungsgrad 70 %
- Sind in erster Linie Ersatz, falls andere Anlagen zur Stromerzeugung ausfallen

# Kombikraftwerke Beispiel Pellworm

---

## Insel Pellworm

- 1200 Einwohner
- 37 km<sup>2</sup>
- Inselleitbild: Nachhaltiges Pellworm 2027
- Masterplan Energie und Klimaschutz Pellworm 2030
  - Ziel 3. Positionierung der Insel als „Mekka“ der Erneuerbaren Energien.

<https://www.gemeinde-pellworm.de/projekte/energie-klima-natur/>

Seiten 3, 4, 5: Diagramm von Ulrich Böke mit Daten von Dr. Pieter Tans , [www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends)

Seiten 6, 7, 8: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V., ergänzt durch Ulrich Böke, [https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=energieflussbild-2019\\_pj\\_lang\\_de\\_20200923.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=energieflussbild-2019_pj_lang_de_20200923.pdf)

Seite 12: Fotos der Bürgerenergie Kreis Düren eG (oben), Naturstrom AG (unten)

Seite 13: Skizze eines Kombikraftwerks von Ulrich Böke

Seiten 15, 16: Diagramme aus [www.energy-charts.info](http://www.energy-charts.info) des Fraunhofer Instituts ISE

Seite 17: Grafik: Deutscher Genossenschafts- und Raiffeisenverband e.V., <https://www.dgrv.de/news/dgrv-jahresumfrage-energiegenossenschaften/>

Seite 18: Karte des NABU e.V., [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/abfallpolitik/nabu-karte\\_geplanter\\_muellverbrennungsanlagen\\_deutschland.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/abfallpolitik/nabu-karte_geplanter_muellverbrennungsanlagen_deutschland.pdf)

Seite 21: Fotos der Langerweher Solardächer GbR (links) und der Bürgerenergie Kreis Düren eG (rechts)

Seite 23: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V., ergänzt durch Ulrich Böke, [https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=energieflussbild-2019\\_pj\\_lang\\_de\\_20200923.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=energieflussbild-2019_pj_lang_de_20200923.pdf)

Seite 26: Diagramm von Ulrich Böke

Seite 27: Skizze von Ulrich Böke

Seite 34, 35, 36: Diagramme von Ulrich Böke