

Weg vom Kohlenstoff

Wie kann die Energiewende gelingen?

Dr. Detlef Wilkens, ENUSYS UG

Begriffsklärung

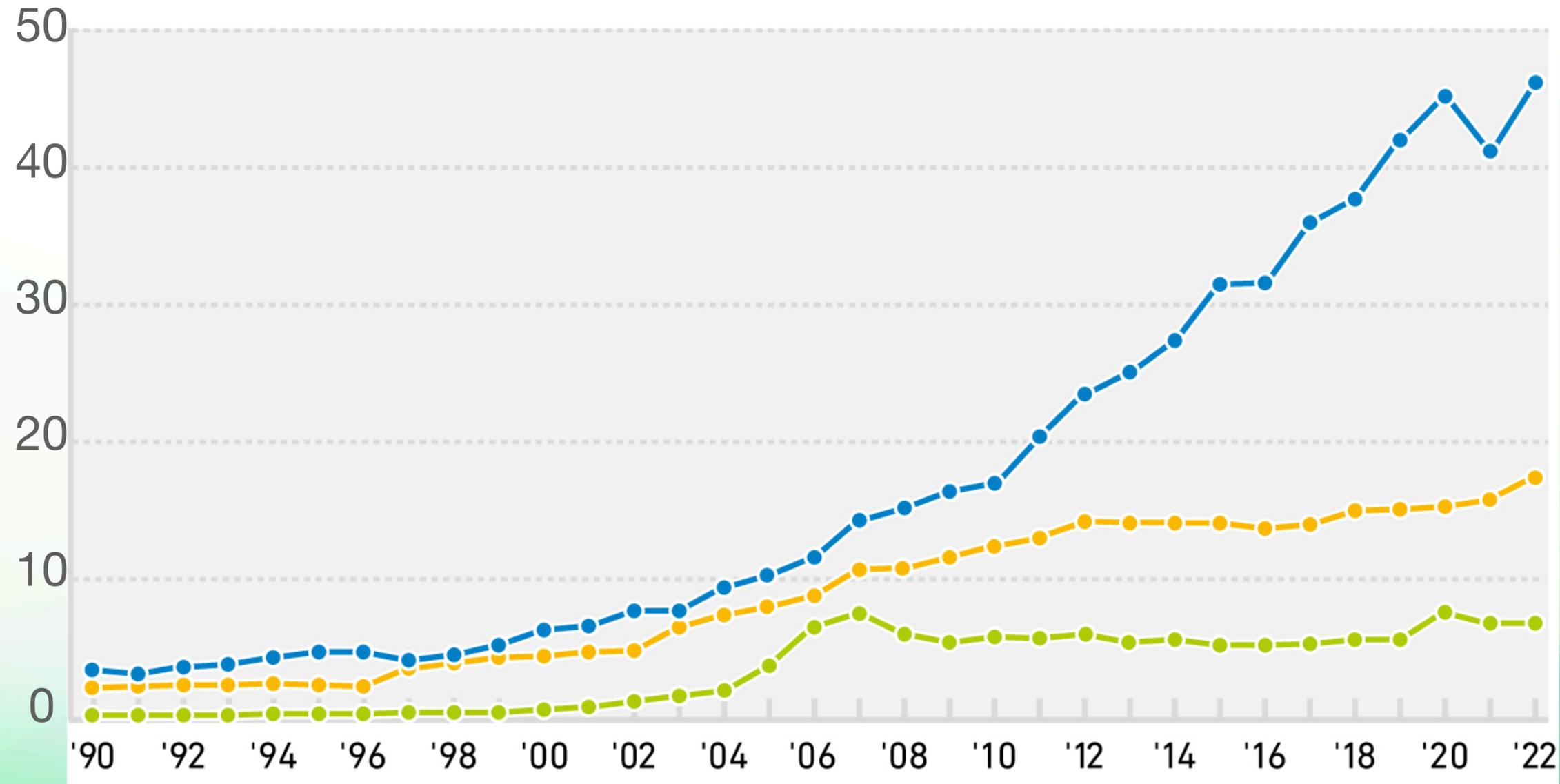
Primär-, End-, und Nutzenergie

- Primärenergie: Energiegehalt der benutzten Energieträger (Kohle, Gas, Öl...)
- Endenergie: Energie, die aus den Energieträgern gewonnen wird, z. B. Strom, Wärme, Benzin...
- Nutzenergie: Energie, die letztendlich aus der Endenergie genutzt werden kann, z. B. Bewegung beim Auto, Licht, Heizung...

Anteil erneuerbare Energien

Situation heute

Prozent



45,4 % Strom, steigend

1/3 des Primärenergiebedarfs

15,2 % Wärme, stagn.

7,3 % Verkehr, stagn.

Einzelne Sektoren

Verkehr

Verbrennerfahrzeuge (25 % Wirkungsgrad):
718 TWh Endenergie → 180 TWh Nutzenergie

Elektrofahrzeuge (80 % Wirkungsgrad):
224 TWh Endenergie → 180 TWh Nutzenergie

→ rd. 69 % weniger Endenergie

Einzelne Sektoren

Heizung Privathaushalte

Verbrennerheizung (100 % Wirkungsgrad):
504 TWh Endenergie → 504 TWh Nutzenergie

Wärmepumpenheizung (Jahresarbeitszahl 3):
168 TWh Endenergie → 504 TWh Nutzenergie

→ rd. 66,7 % weniger Endenergie

Energiebedarf

Situation in Deutschland

Energiebedarf 2019

Primärenergie: 3557 TWh (30 % Umwandlungsverluste)

Endenergie: 2492 TWh (45 % Umwandlungsverluste)

Nutzenergie: 1370 TWh

Energiebedarf 2045

Primärenergie: **1793** TWh (50 % weniger als 2019, 22 % Umwandlungsverluste)

Endenergie: 1403 TWh (44 % weniger als 2019, 27 % Umwandlungsverluste)

Nutzenergie: 1024 TWh (25 % weniger als 2019)

Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

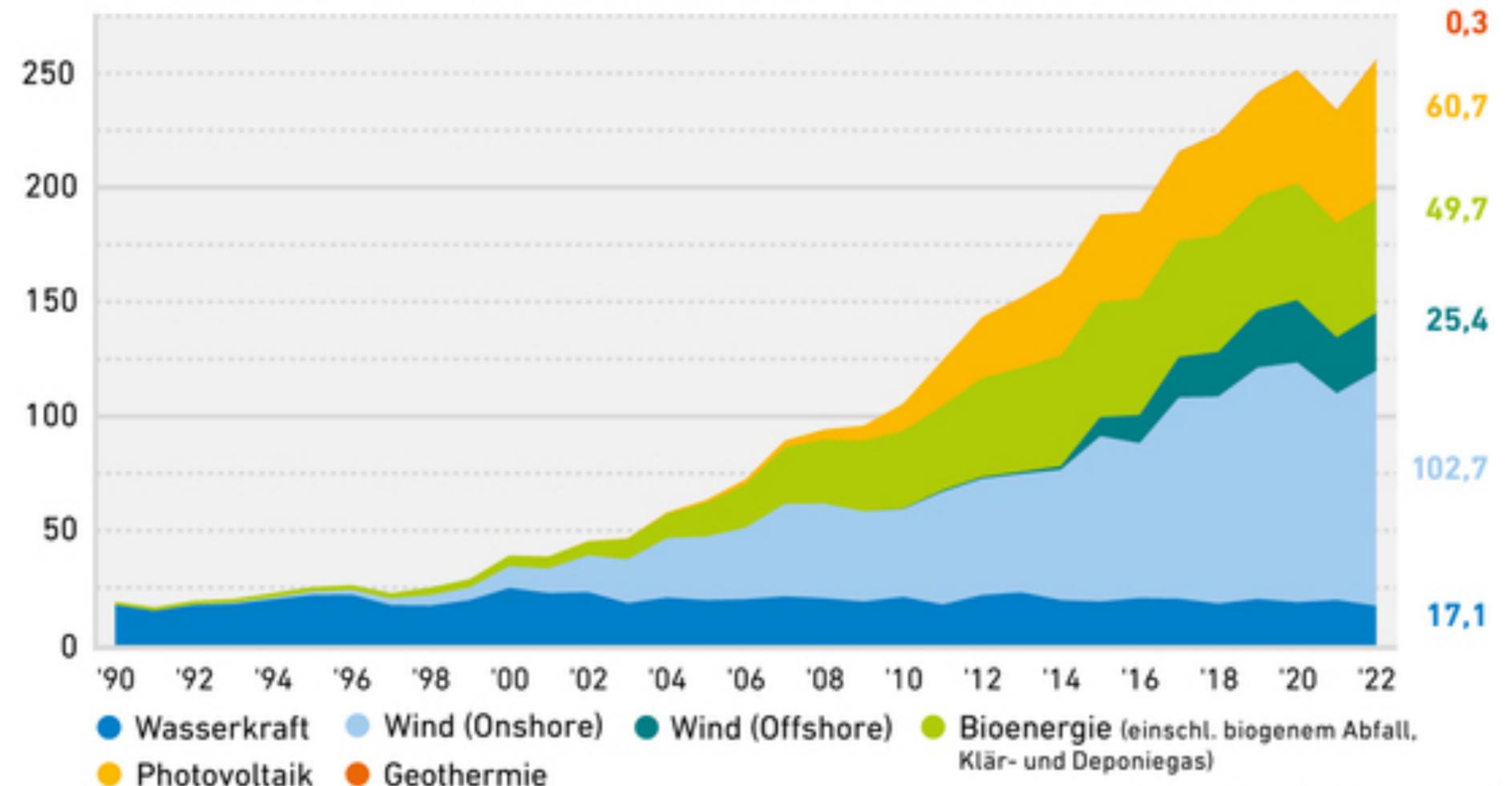
Entwicklung zwischen 1990 und 2022

Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland 1990–2022

Im Jahr 2022 wurden insgesamt rund 256 Milliarden Kilowattstunden Strom aus Erneuerbaren Energien erzeugt. Das entspricht einem Anteil von 46 Prozent am gesamten Stromverbrauch.

Milliarden Kilowattstunden

2022: 255,9 TWh



Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

Welche erneuerbare Energie kann ausgebaut werden?

Signifikante Steigerungen sind möglich bei

- Photovoltaik
- Windenergie

Biomasse: keine Nutzfläche mehr (heute rd. 20 % der Äcker)

Wasserkraft: kaum erweiterbar (Naturschutz)

Stromerzeugung bis 2045

Ausbau Photovoltaik und Wind

Wie viel fehlt?

Heute: 255 TWh erneuerbare Energie

2045: 1800 TWh erneuerbare Energie

Differenz: **1545 TWh**

Was ist möglich?

Bei Windenergie ist eine **Verdreifachung** in Deutschland noch möglich: 390 TWh.

Daraus folgt: Photovoltaik muss um den Faktor **23** ausgebaut werden: 1155 TWh.

Stromerzeugung bis 2045

Flächenbedarf Photovoltaik in Deutschland

Pro qkm Fläche und Jahr kann Photovoltaik 0,1 TWh Strom erzeugen.

Wir benötigen 1150 TWh pro Jahr

→ 11.500 qkm Fläche

→ 3,2 % der Fläche Deutschlands

→ ein Quadrat mit der Seitenlänge 107,2 km

Potenzial

- Dächer min. 1000 TWh/Jahr
- Parkplätze rd. 60 TWh/Jahr
- Agri-PV: 2900 TWh/Jahr

Stromerzeugung bis 2045

Agri-Photovoltaik

- großes Potenzial
- relativ teuer: 7–12 ct/kWh (Freiflächen-PV: 1–5 ct/kWh)
- aber: doppelter Ertrag: Strom und Ernte
- nicht für alle Feldfrüchte geeignet (gut für Obst, Beeren, Gemüse)
- zzt. viele rechtlichen Hürden

Stromerzeugung bis 2045

Agri-Photovoltaik



Wasserstoff

Lösung für alle Probleme oder phantastisches Hirngespinnst?

Was kann man mit Wasserstoff machen?

*Wasserstoff + Sauerstoff \longleftrightarrow Wasser + **Strom** (Brennstoffzelle/Elektrolyse)*

*Wasserstoff + Sauerstoff \longrightarrow Wasserdampf + **Strom** (Gaskraftwerk)*

Wasserstoff + Eisenoxid \longrightarrow Eisen + Wasser

Wasserstoff + Stickstoff \longrightarrow Ammoniak

Wasserstoff + Kohlenstoffverbdg. \longrightarrow Kohlenwasserstoffverbdg.

Wasserstoff

Bedarf heute und in Zukunft

Stoffliche Verwertung heute: 57 TWh in der chemischen Industrie und Ammoniakproduktion; heute Gewinnung aus **Erdgas!**

▶ **80 TWh** Strom.

Stahlproduktion muss umgestellt werden:

▶ **110 TWh** Strom.

Abgeregelte Energie 2021: rd. **6 TWh**

Fazit:

Der heutige Wasserstoffverbrauch muss umgestellt sein, bevor wir uns Gedanken über neue Wasserstoffverbraucher machen!

Wasserstoff

Bedarf heute und in Zukunft

Zukunft:

saisonalen Energiespeicher: Produktion bei Überschüssen, Verbrauch bei „Dunkelflaute“ (Brennstoffzelle/Gaskraftwerk)

E-Fuels für Flugzeuge und Schiffe

Range-Extender für Busse/Lkw (Backup-System), evtl. besser mit Biokraftstoffen oder *E-Fuels*

Stromerzeugung bis 2045

Flächenbedarf Photovoltaik in Deutschland

Pro qkm Fläche und Jahr kann Photovoltaik 0,1 TWh Strom erzeugen.

Wir benötigen 1150 TWh pro Jahr + rd **170 TWh für Wasserstoff = 1320 TWh**

→ **13.200 qkm Fläche: 3,7 %** der Fläche Deutschlands

Potenzial

- Dächer min. 1000 TWh/Jahr
- Parkplätze 60 TWh/Jahr
- Agri-PV: 2900 TWh/Jahr

Fazit: Energiewende ist zu schaffen

Aber: Wenn wir im heutigen Tempo weiter machen, dauert es rd. 100 Jahre!

Dr. Detlef Wilkens, ENUSYS UG

Das Jahr 2045

Was muss bis dahin passieren?

Die Nutzung von fossilen Energieträgern (Kohle, Erdöl, Erdgas) muss eingestellt werden

- ▶ 100 % erneuerbare Energie: Sonne (PV, Solarthermie, Wind, Wasser, pflanzliche Energieträger) und Geothermie
- ▶ Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft
- ▶ Aufbau von Speicherkraftwerken
- ▶ besseres Energiemanagement (Smartmeter, automatische Steuerung elektrischer Verbraucher)