



# Versorgungssicherheit der Stromnetze

# SYSTEMKOSTEN

**Referent**  
**Dipl. Ing. Jürgen Schöttle**

# Gaskraftwerke verteuern Verbraucher-Strompreise | Windkraft- Journal



# Versorgungssicherheit

bei 14 Tage Dunkelflaute

	GWh	%
Notwendige Speichergröße	<b>20.000</b>	100
<b>PSW</b> 31 Anlagen 9 GW	37	0,18
<b>Batteriespeicher</b> M. 2025, 2 Mio.	19	0,09
<b>Summe</b>	<b>56</b>	<b>0,27</b>

10 Mio **Haushalts - Batterien** 5 KWh

**50**

20 Mrd. €

**0,25**

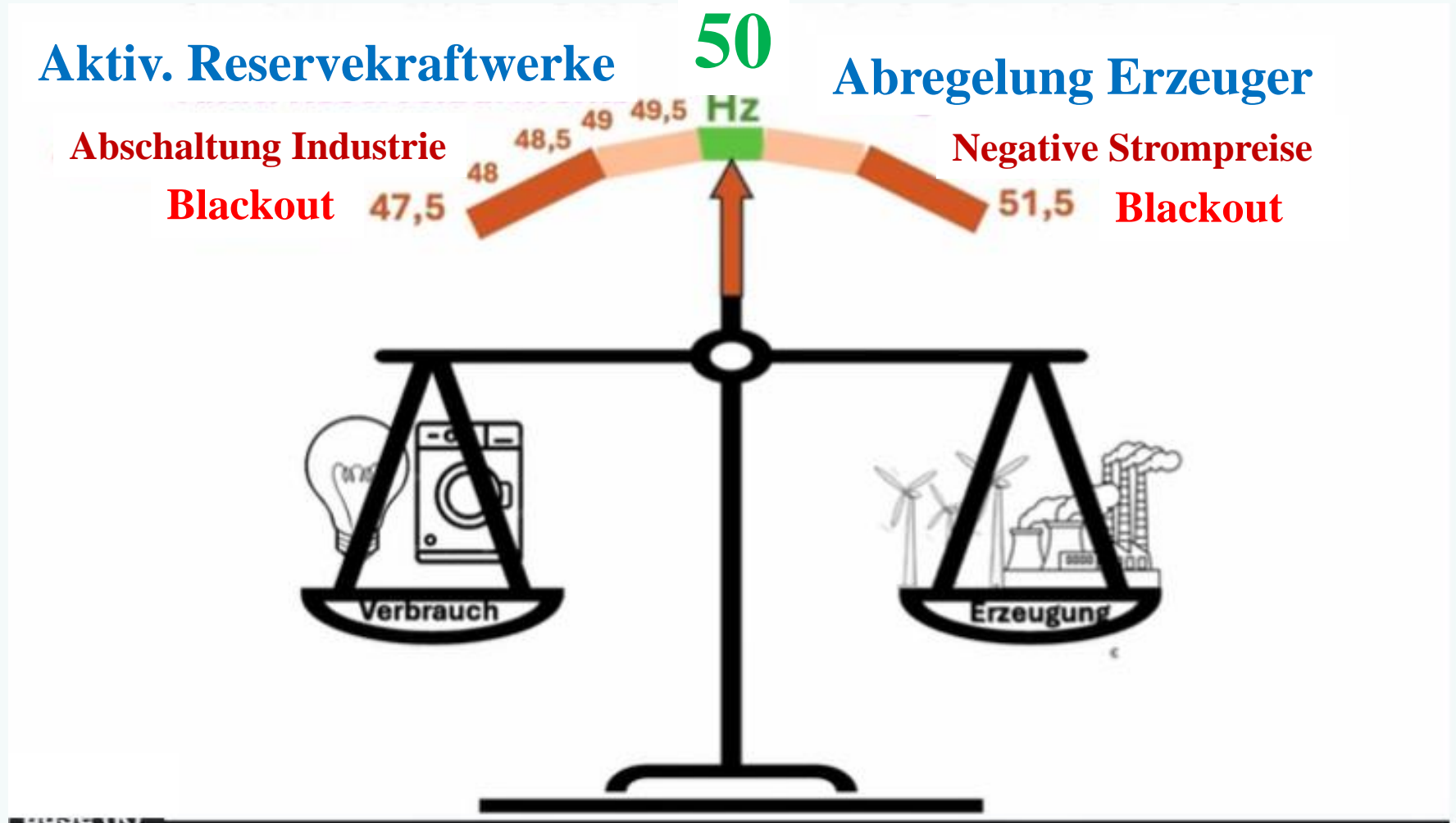
10 Mio. **Elektro - Autos** 25 KWh

**250**

**1,25**

# Gleichgewicht von Erzeugung und Verbrauch

## Strom – das verderblichste Gut der Welt



# Versorgungssicherheit



**0 %**



**6 %**



**85 %**

**über Wochen / Monate**

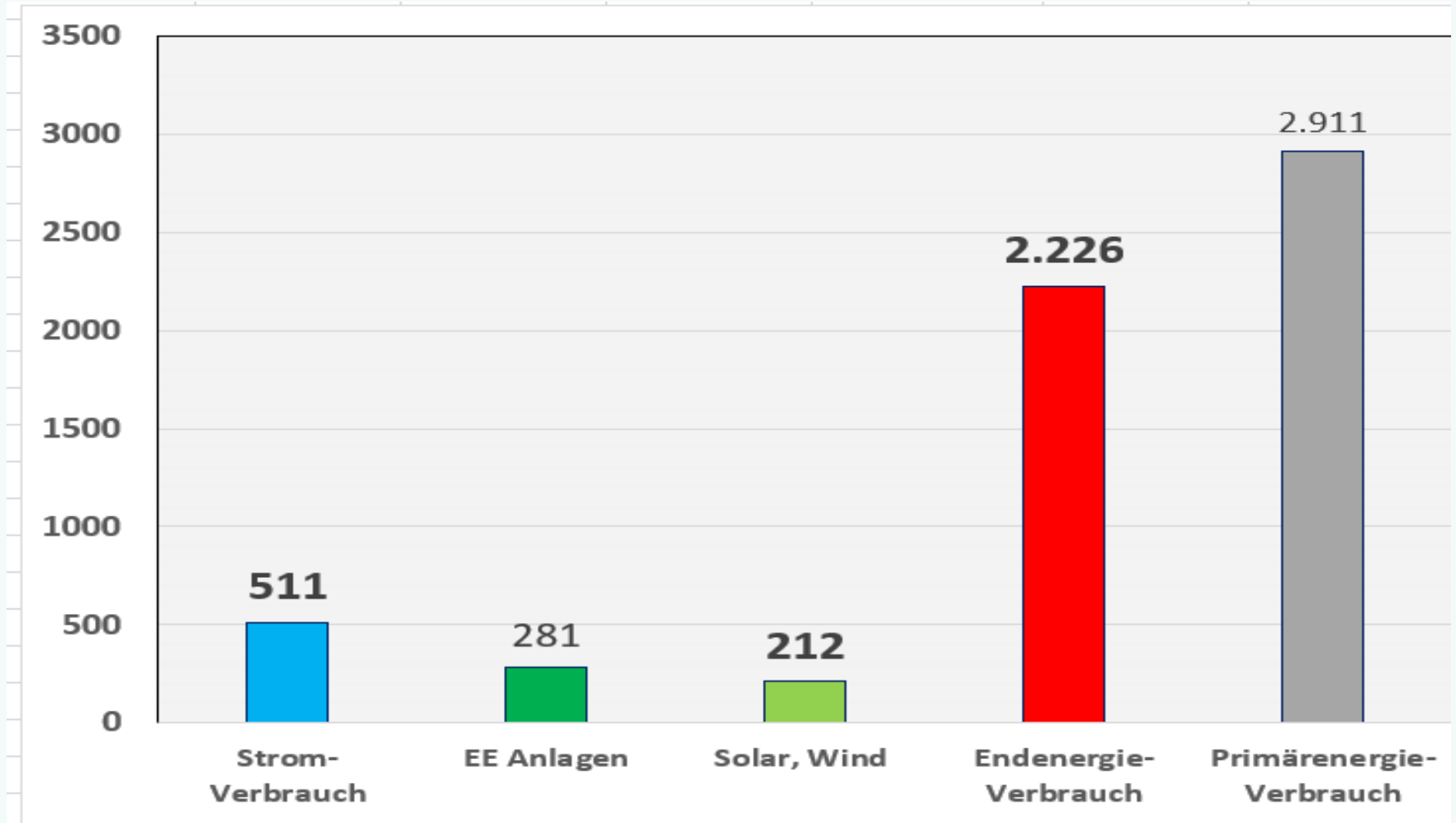


**90 %**

**über Jahre**

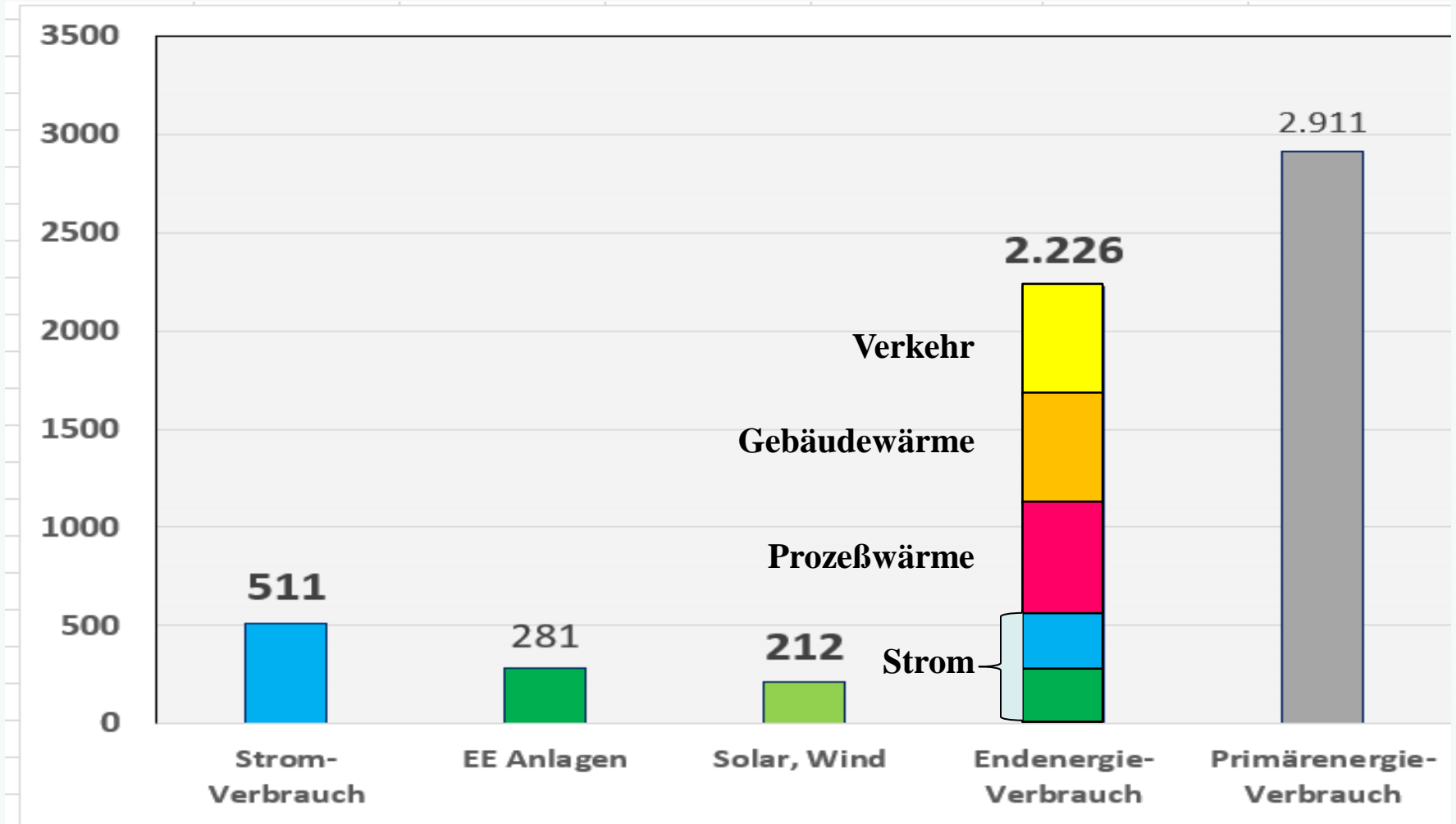
# Energieerzeugung Deutschland (Brutto 2024)

TWh



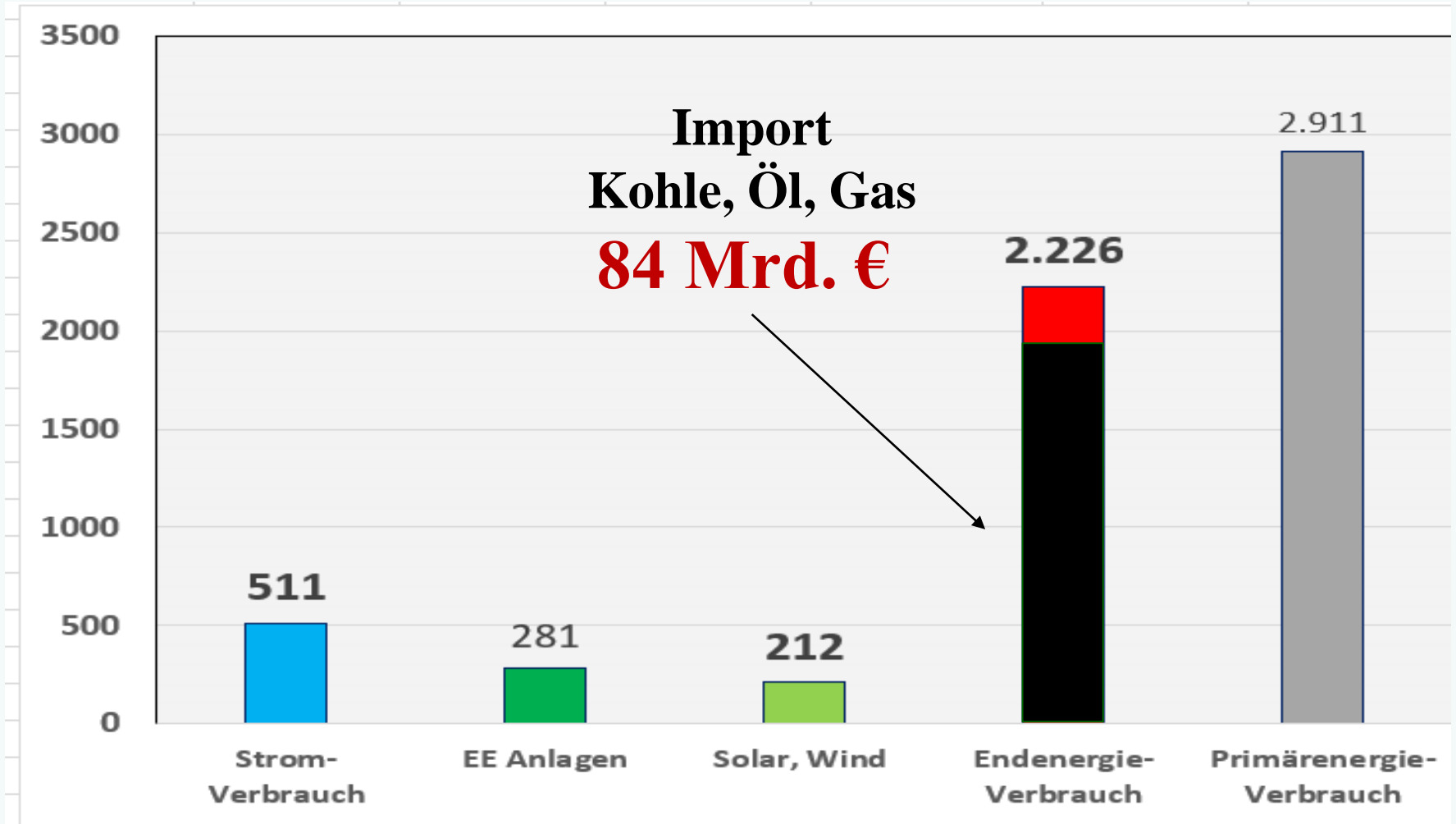
# Energieerzeugung Deutschland (Brutto 2024)

TWh



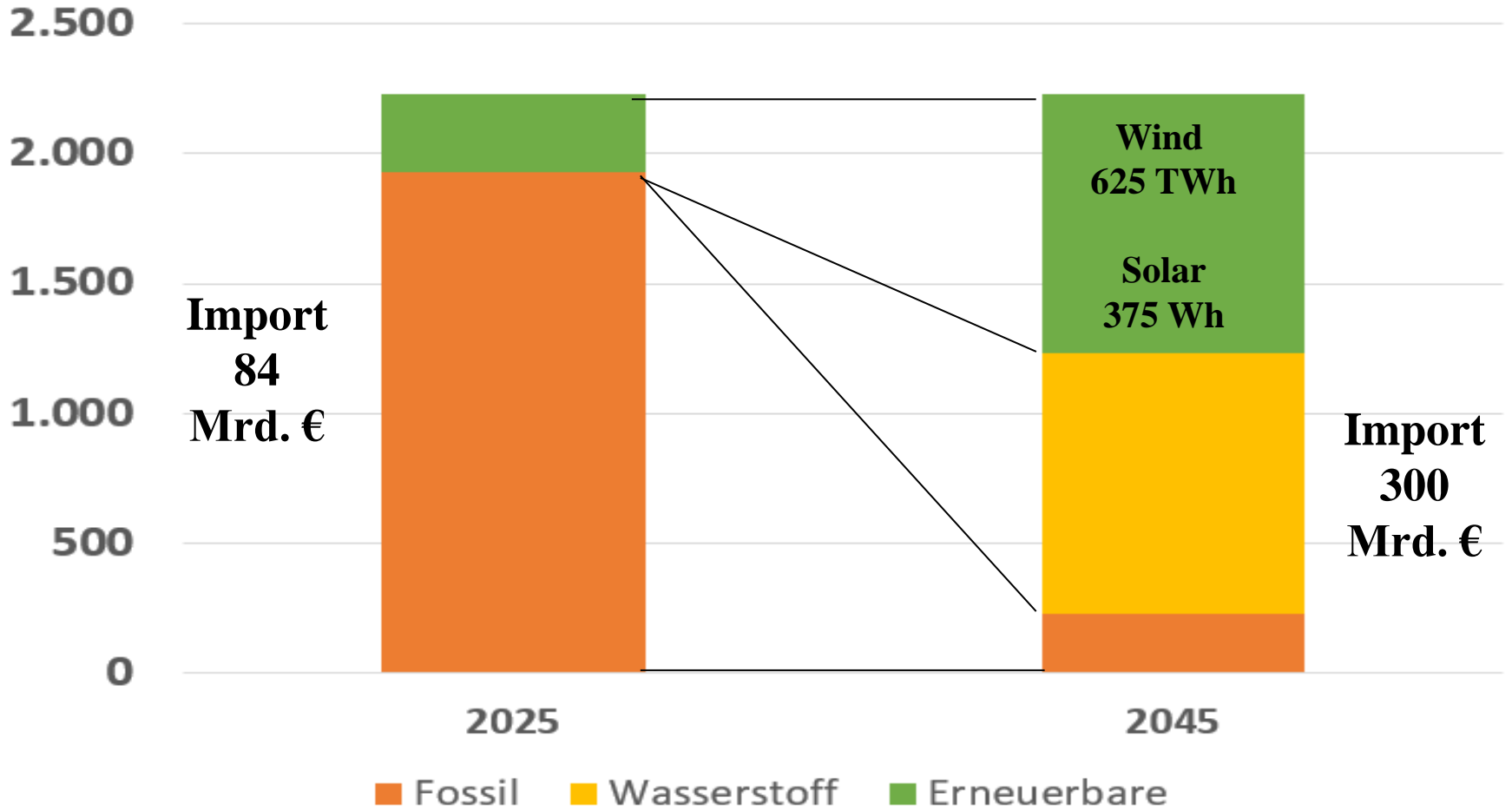
# Energieerzeugung Deutschland (Brutto 2024)

TWh

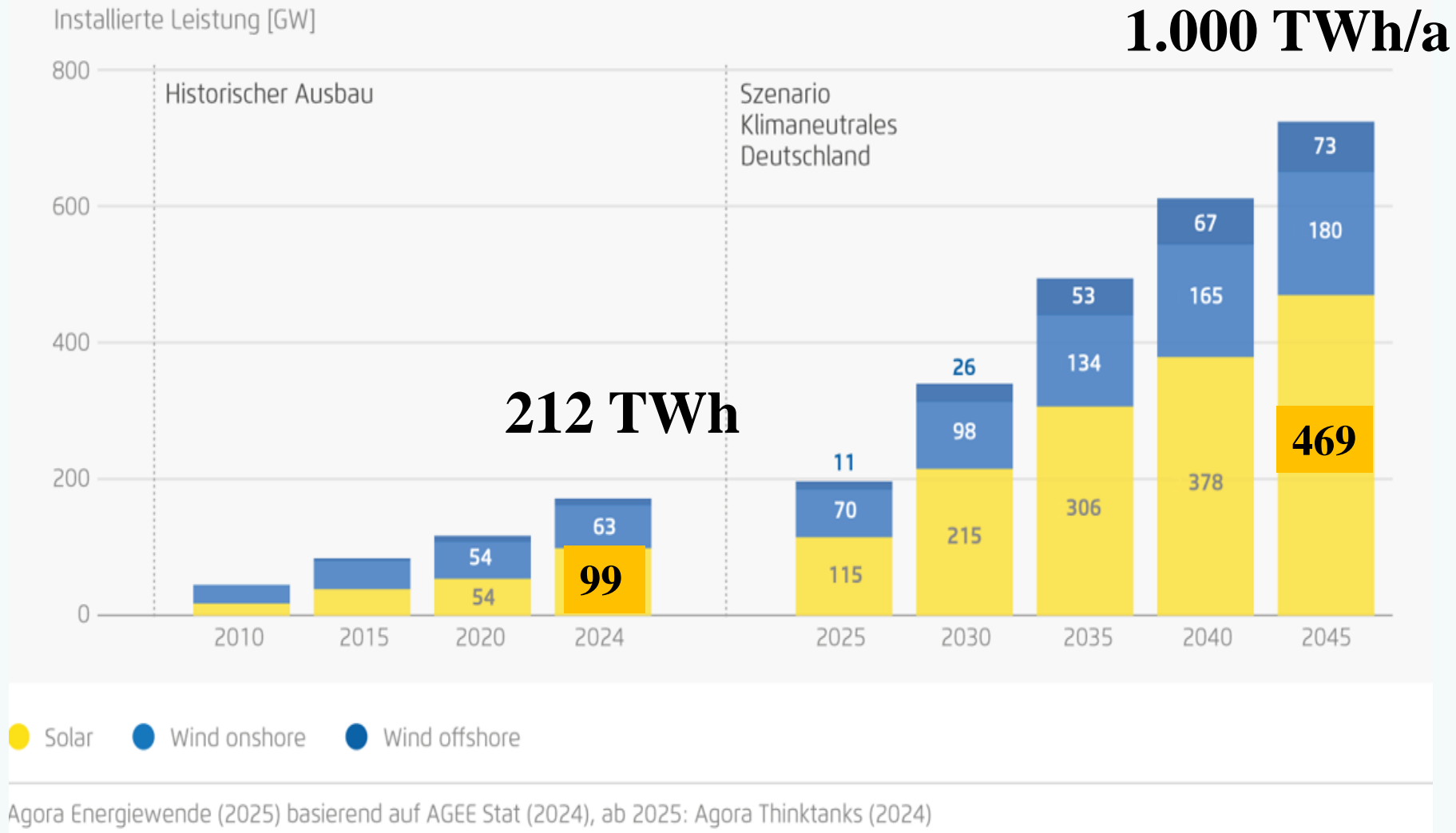


# Energiekosten

## Endenergie in TWh

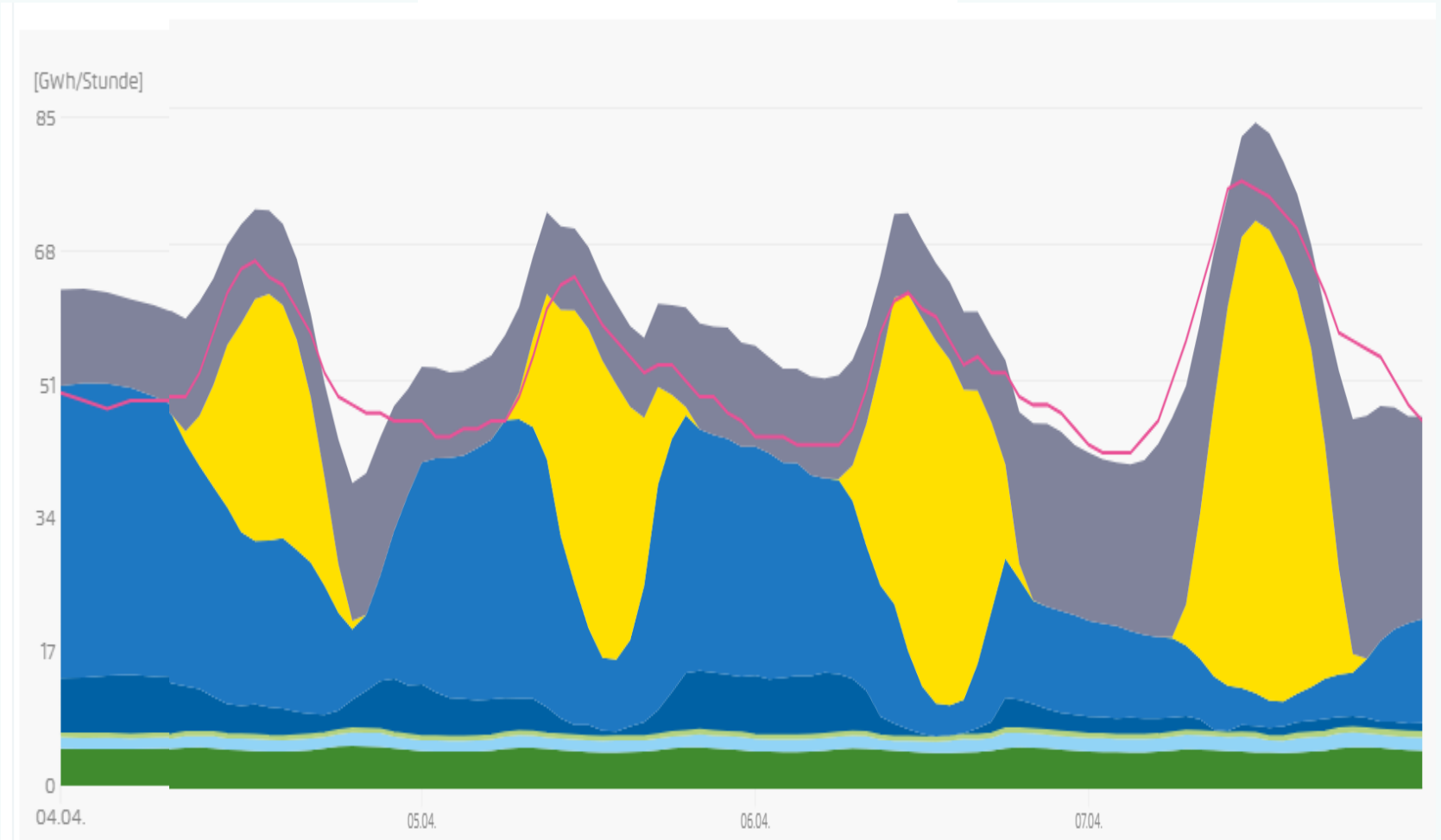


# Zubau von Solar und Windanlagen



# Energiedaten 04.04. - 08.04.2026

Stromerzeugung und -verbrauch

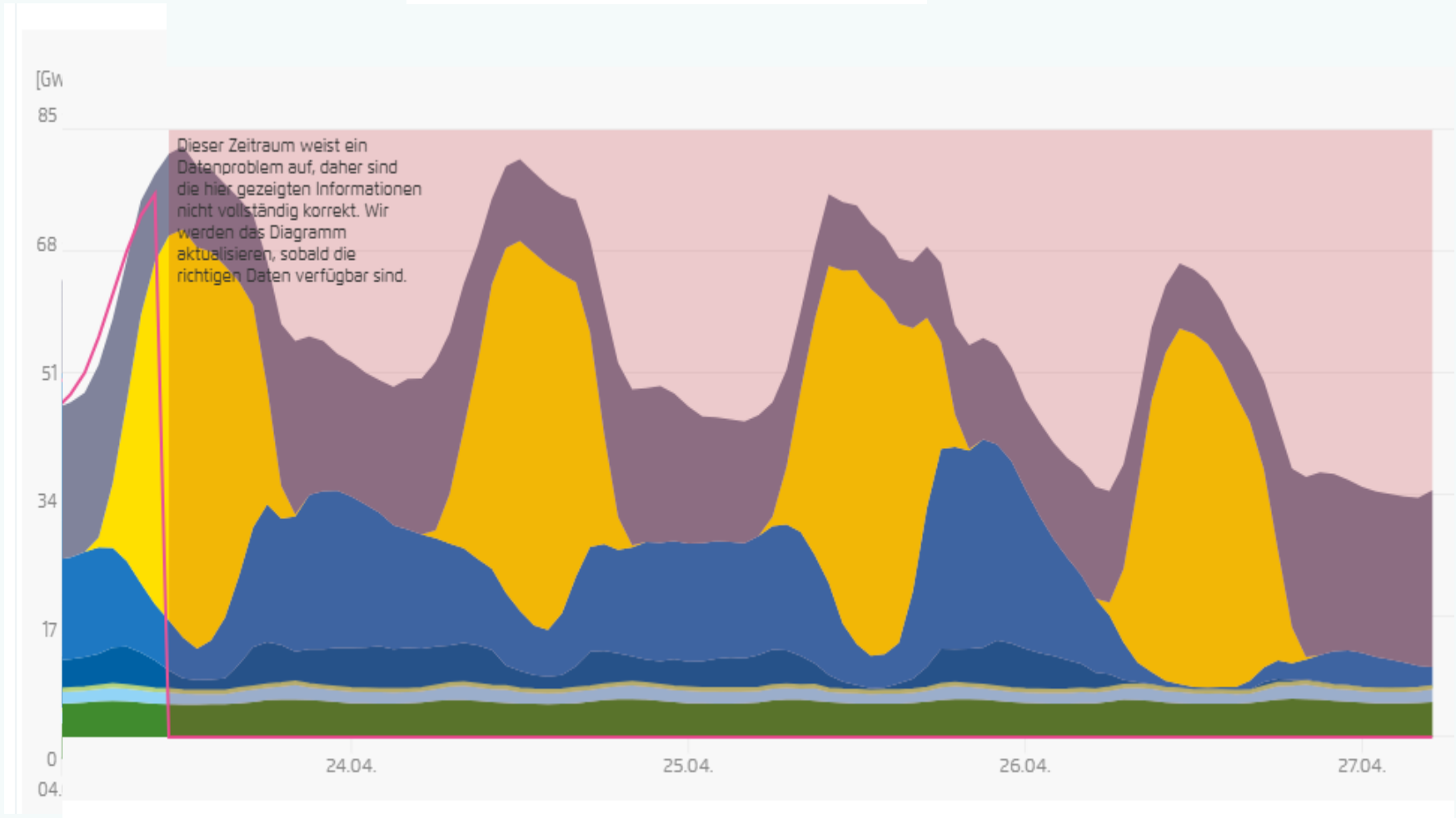


**Ostern 2026**

Jahreshauptversammlung Radlos 27.04.2026

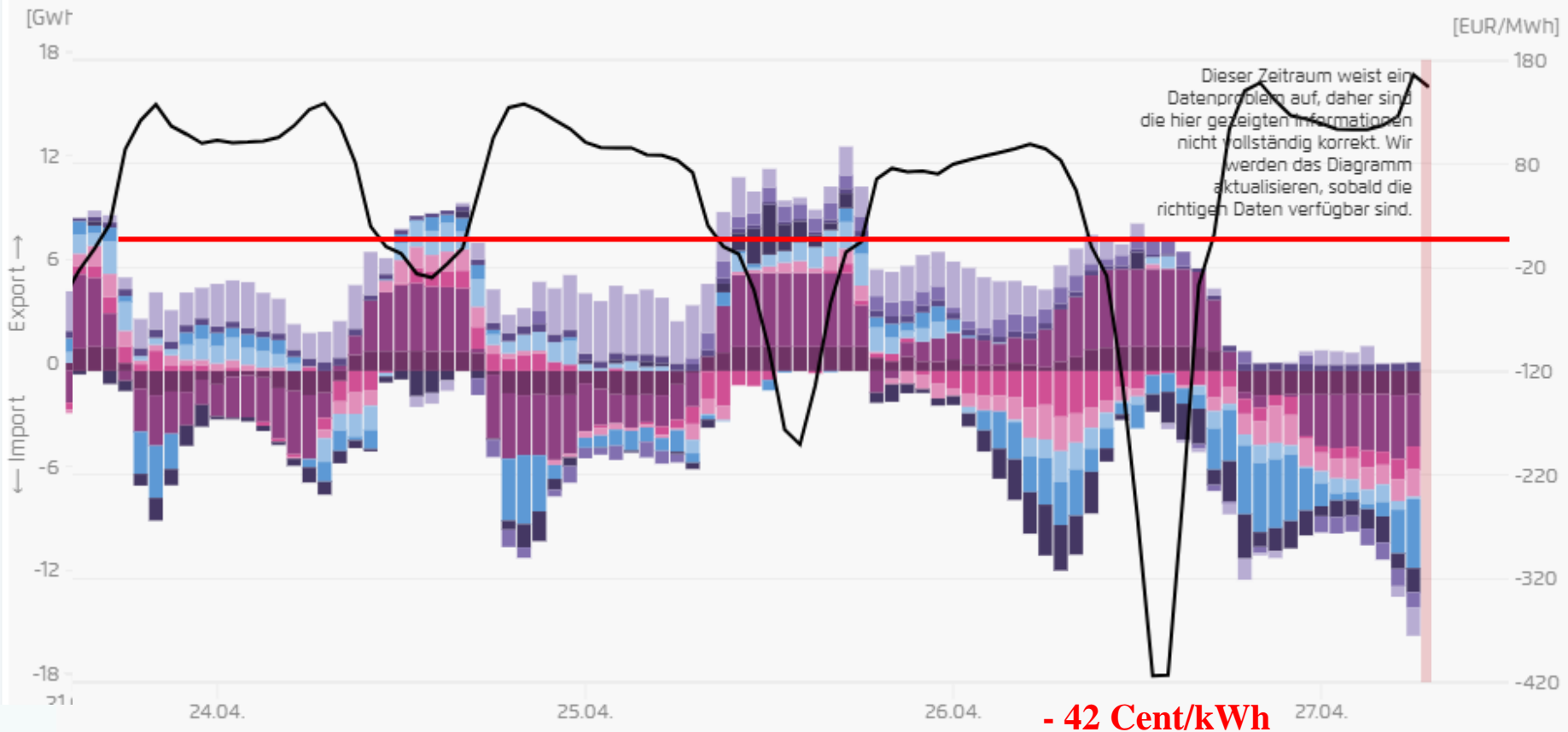
# Energiedaten 23.04. - 27.04.2026

## Stromerzeugung und -verbrauch



# Energiedaten 23.04. - 27.04.2026

## Strompreis und Stromexport/-import



**max. Stromexport / - import 18 GW**

# Haushaltstrompreise

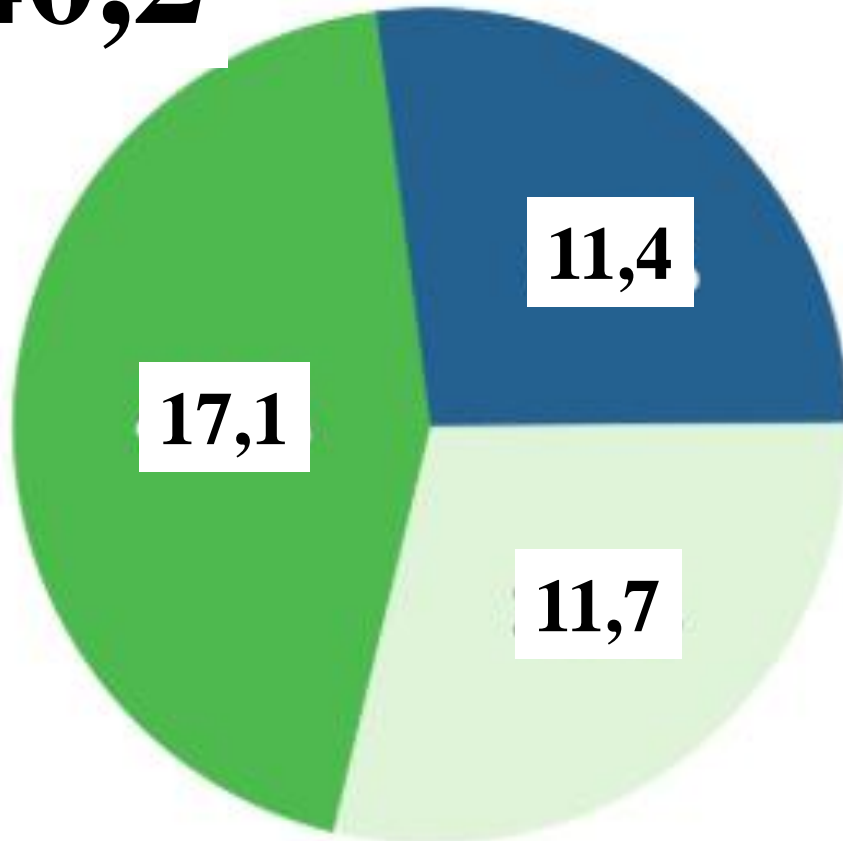
- **Stromerzeugungskosten**
- **Systemkosten**
- **Umlagen**
- **Steuer**

# Strompreiszusammensetzung 2024

Cent/kWh

real

40,2

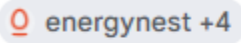


Steuerfinanzierte  
EEG Umlage  
7,4 Cent/kWh

47,6

- Regulierte Netzentgelte inkl. Messung & Messstellenbetrieb
- Strombeschaffung & Vertrieb
- Steuern, Abgaben & Umlagen

# Stromerzeugungungskosten

Stromerzeugungungskosten (häufig als **Stromgestehungskosten** bezeichnet) sind die durchschnittlichen Kosten pro erzeugter Kilowattstunde (*kWh*), die über die gesamte Lebensdauer einer Energieerzeugungsanlage anfallen. Im internationalen Fachjargon werden sie als **Levelized Cost of Electricity (LCOE)** bezeichnet. 

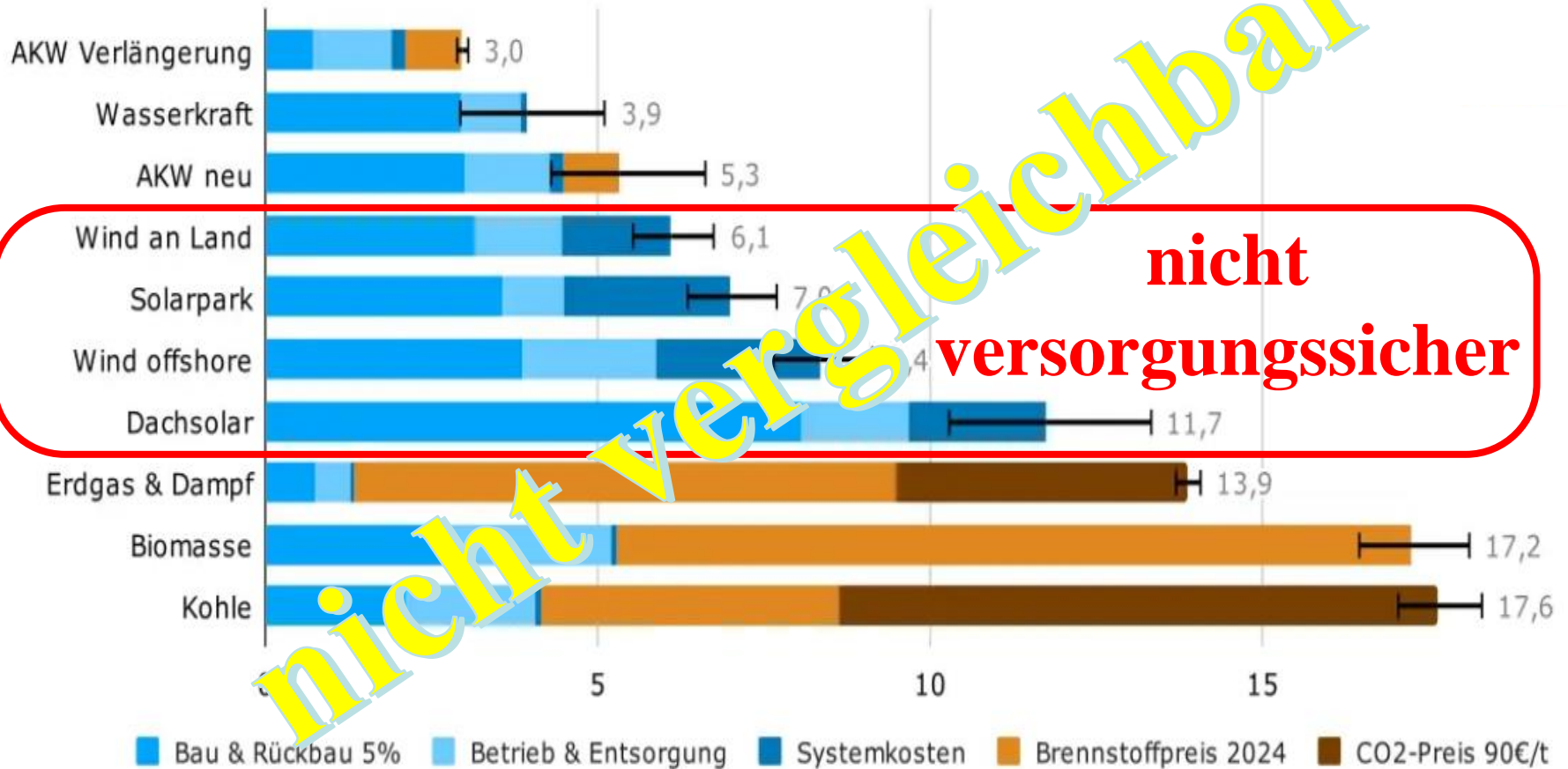
## Kernfaktoren der Berechnung

Die Kosten setzen sich aus verschiedenen Komponenten zusammen, um die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Technologien (z. B. Wind, Solar, Kohle) vergleichbar zu machen: 

- **Investitionskosten (CAPEX):** Kosten für Planung, Bau und Installation der Anlage sowie Finanzierungskosten (Zinsen).
- **Betriebs- und Wartungskosten (OPEX):** Laufende Ausgaben für Instandhaltung, Personal, Versicherung und Pacht.
- **Brennstoffkosten:** Bei fossilen Kraftwerken die Ausgaben für Kohle oder Gas; bei erneuerbaren Energien entfallen diese meist.
- **CO<sub>2</sub>-Zertifikate:** Kosten für Emissionsrechte bei konventionellen Kraftwerken.

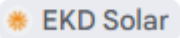
# Vollkosten von Stromerzeugern

in €Cent pro kWh<sub>el</sub> für mitteleuropäische Erzeuger, 3-7% Abzinsfaktor




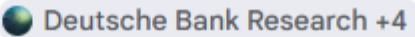
Quellen: Gestehungskosten: IEA (2020), Systemkosten: OECD (2018), Brennstoffkosten Kohle/Erdgas x2 gegenüber IEA Referenzwert von 2020

# Systemkosten

In der Energiewirtschaft bezeichnen **Systemkosten** die **Gesamtheit aller Ausgaben, die notwendig sind, um eine zuverlässige Versorgung mit elektrischer Energie innerhalb eines Stromsystems (z. B. auf nationaler Ebene) zu gewährleisten.** 

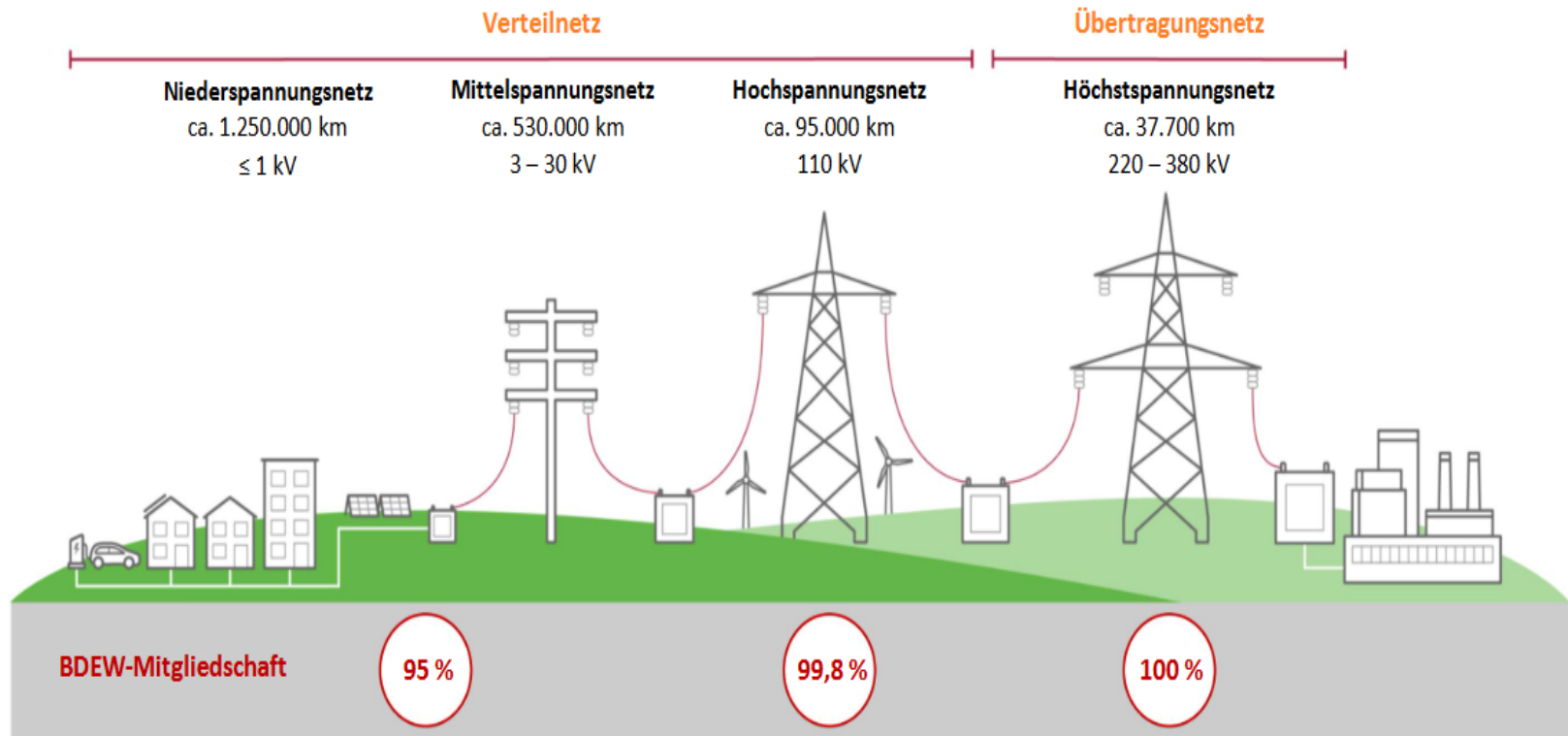
## Bestandteile der Systemkosten

Die Systemkosten der Stromerzeugung setzen sich im Wesentlichen aus drei Kategorien zusammen: 

- **Netzkosten:** Ausgaben für den Ausbau, die Instandhaltung und den Betrieb des Stromnetzes, um Strom von den Erzeugungsstätten zu den Verbrauchern zu transportieren.
- **Ausgleichskosten (Balancing Costs):** Kosten für kurzfristige Maßnahmen zur Stabilisierung des Netzes (z. B. Redispatch oder Regelleistung), wenn Erzeugung und Verbrauch nicht übereinstimmen.
- **Profil- oder Integrationskosten:** Kosten für Backup-Kapazitäten (z. B. Gaskraftwerke oder Speicher), die einspringen müssen, wenn wetterabhängige Erzeuger wie Wind oder Sonne keinen Strom liefern. 

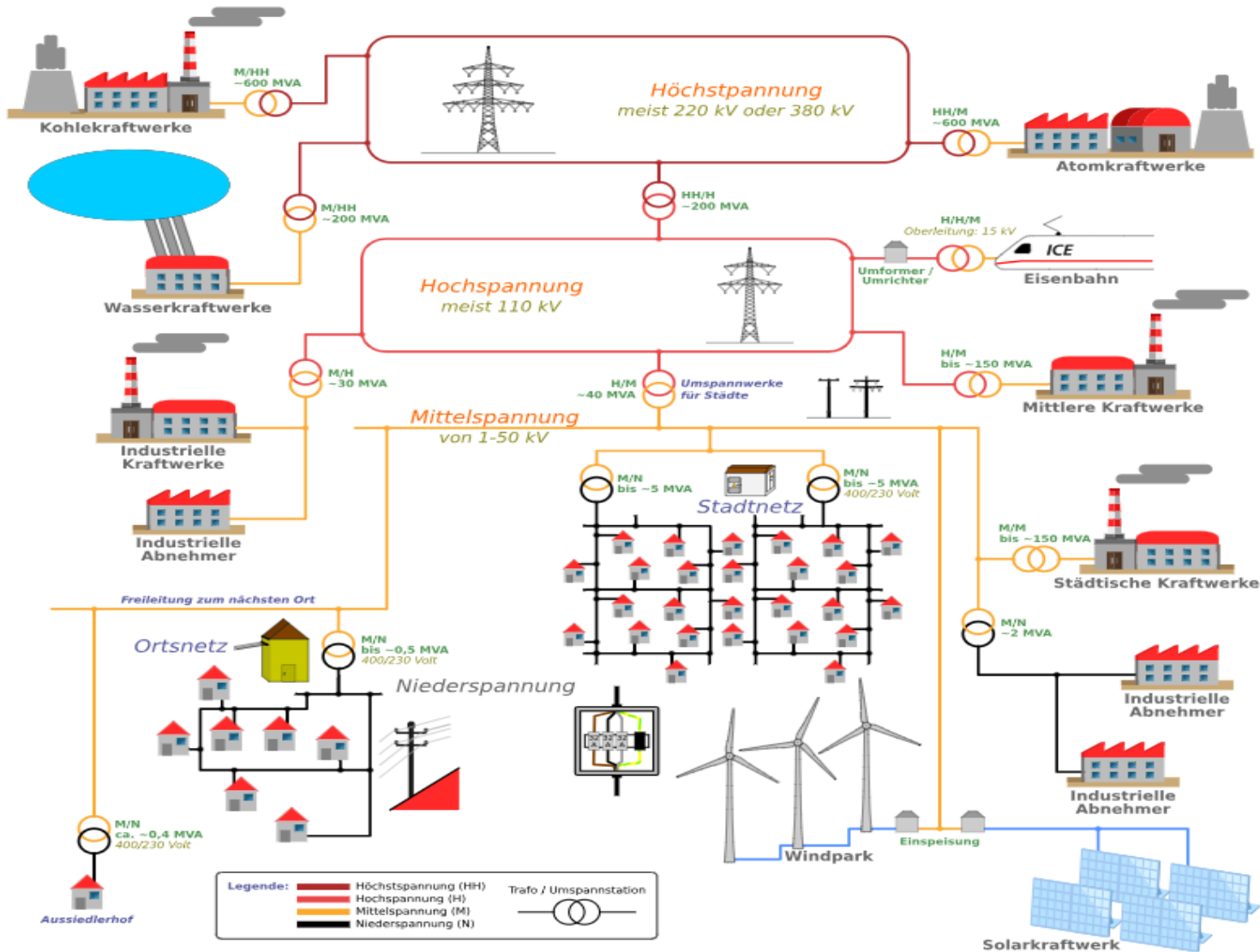
# Das deutsche Stromnetz

Gesamtlänge: über 1,9 Mio. Kilometer



Quelle: BDEW, BNetzA-Monitoringbericht 2022

# Stromnetze



# Generatorspannung Kraftwerke

- **Standardbereich:** Die meisten Großgeneratoren arbeiten mit Spannungen zwischen **10 kV und 30 kV**.

- **Häufige Werte:** Ein sehr verbreiteter Standardwert für die Erzeugung in Kraftwerken ist **11 kV**. In Regionen mit 60-Hz-Netzen sind auch **13,8 kV** üblich.

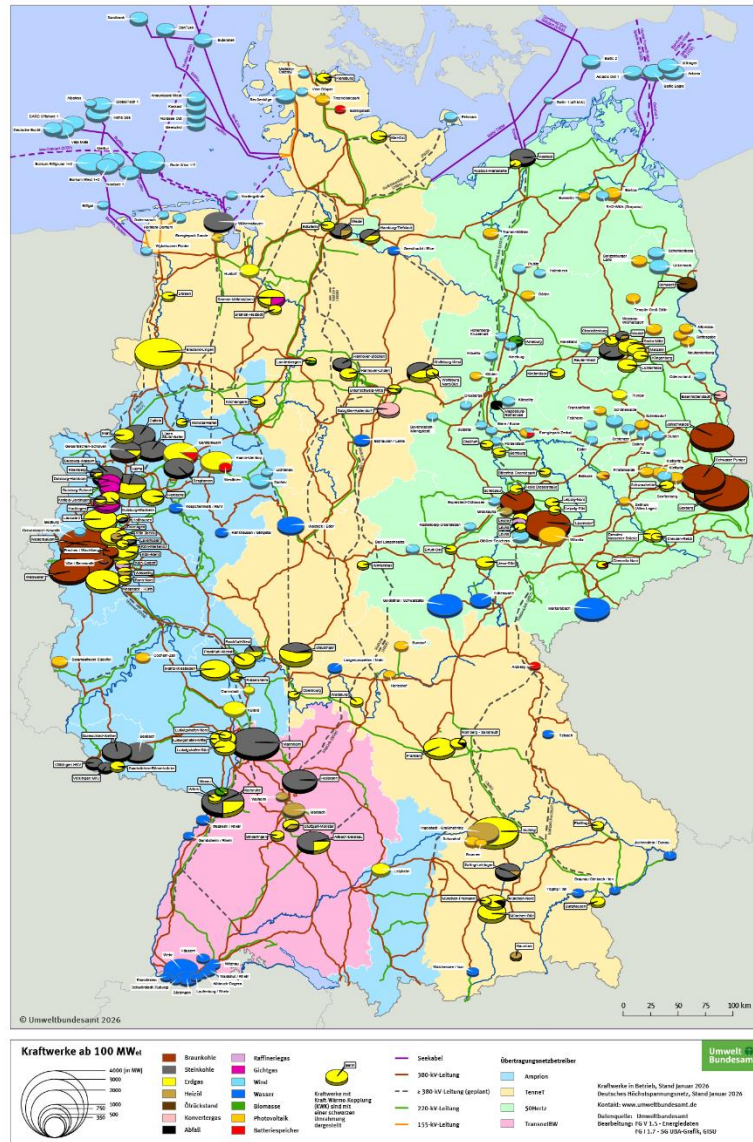
# Generatorspannung Solaranlagen

- **Einzelnes Solarmodul (Standard):** Liegt typischerweise zwischen 30 und 50 Volt (DC).
- **Solar-String (Reihenschaltung):** Bei größeren Anlagen werden Module in Reihe geschaltet, wodurch sich die Spannungen addieren, oft 300V bis 800V DC.  
**Inselanlagen/**
- **Balkonkraftwerke:** 12V-, 24V- oder 48V-Systeme, wobei die Modulspannung oft über Laderegler angepasst wird

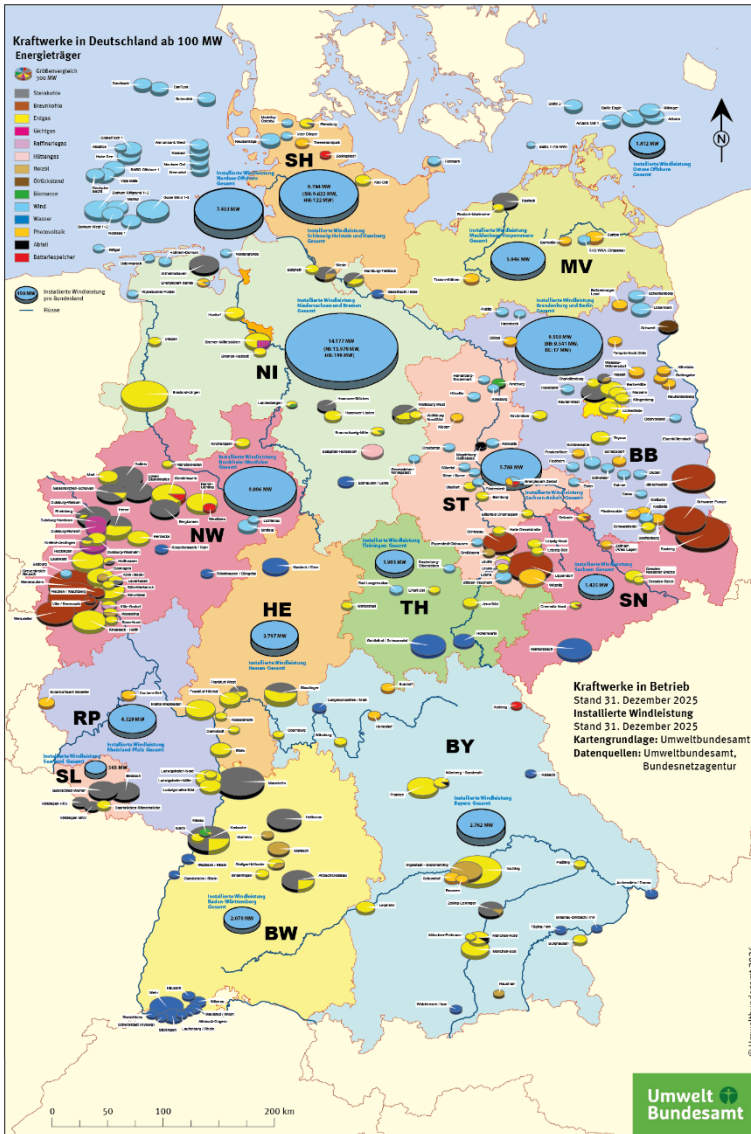
# Generatorspannung Windanlagen

- **Großanlagen (Onshore/Offshore):** Der Generator erzeugt in der Regel eine **Niederspannung** im Bereich von **600 bis 1.000 Volt** (häufig **690 V**).
- **Weiterverarbeitung:** Aufgrund der niedrigen Erzeugerspannung wird der Strom mittels eines Transformators in der Gondel oder am Turmfuß auf Mittelspannungsebene (meist **20.000 bis 30.000 Volt**) erhöht, um ihn verlustarm ins Netz einzuspeisen.

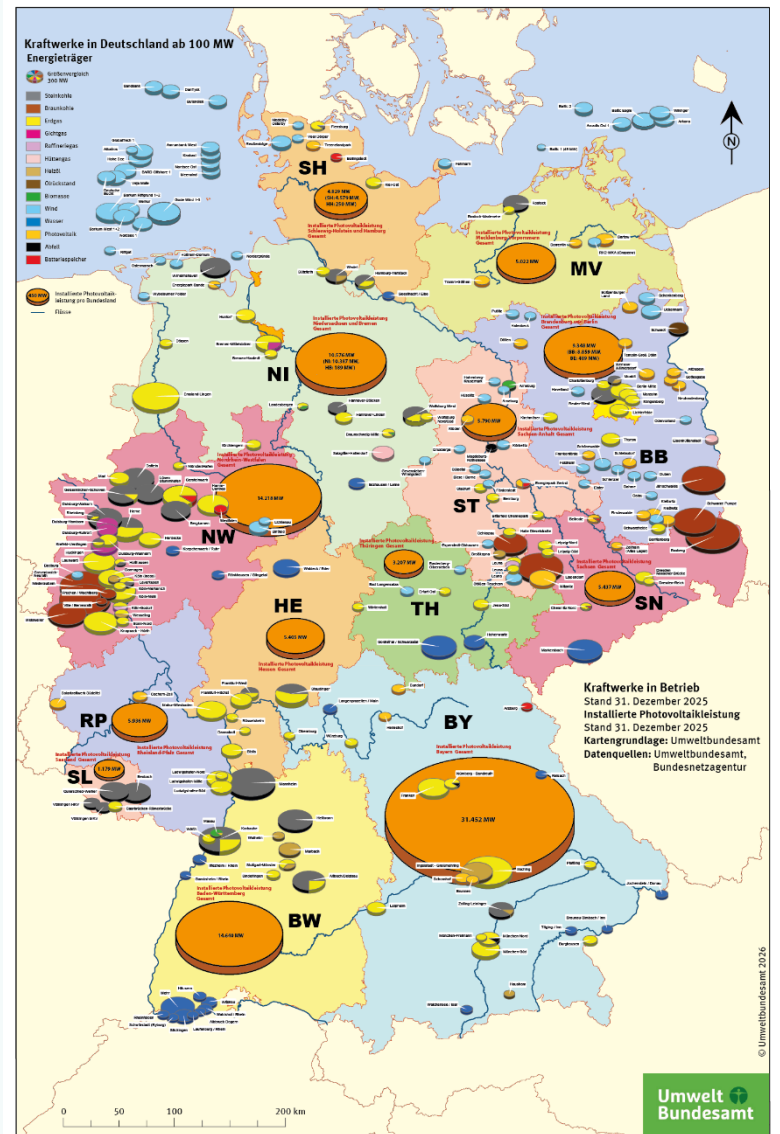
# Kraftwerke und Verbundnetze in Deutschland



# Kraftwerke und Windleistung in Deutschland



# Kraftwerke und Photovoltaikleistung in Deutschland



# Vergleich der Spannungsebenen

Die Verluste sinken quadratisch mit steigender Spannung. Zum Vergleich die typischen Verluste bei Fernübertragung.


- **380 kV (Höchstspannung):** ca. 0,5 % bis 1 % pro 100 km.
- **110 kV (Hochspannung):** ca. 1 % bis 3 % pro 100 km.
- **10 kV [Mittelspannung]:** ca. 3 % bis 5% pro 100 km.
- **400 V (Niederspannung):**

Würde man versuchen, Strom über 100 km bei 400 V zu transportieren, läge der theoretische Verlust (je nach Kabelquerschnitt und Last) nahe **100 %**, da die Energie fast vollständig als Wärme in der Leitung verloren ginge.

# Systemaufwendungen Netze / Trafos

bei 1.000 TWh/a

## Notwendige Leistungen

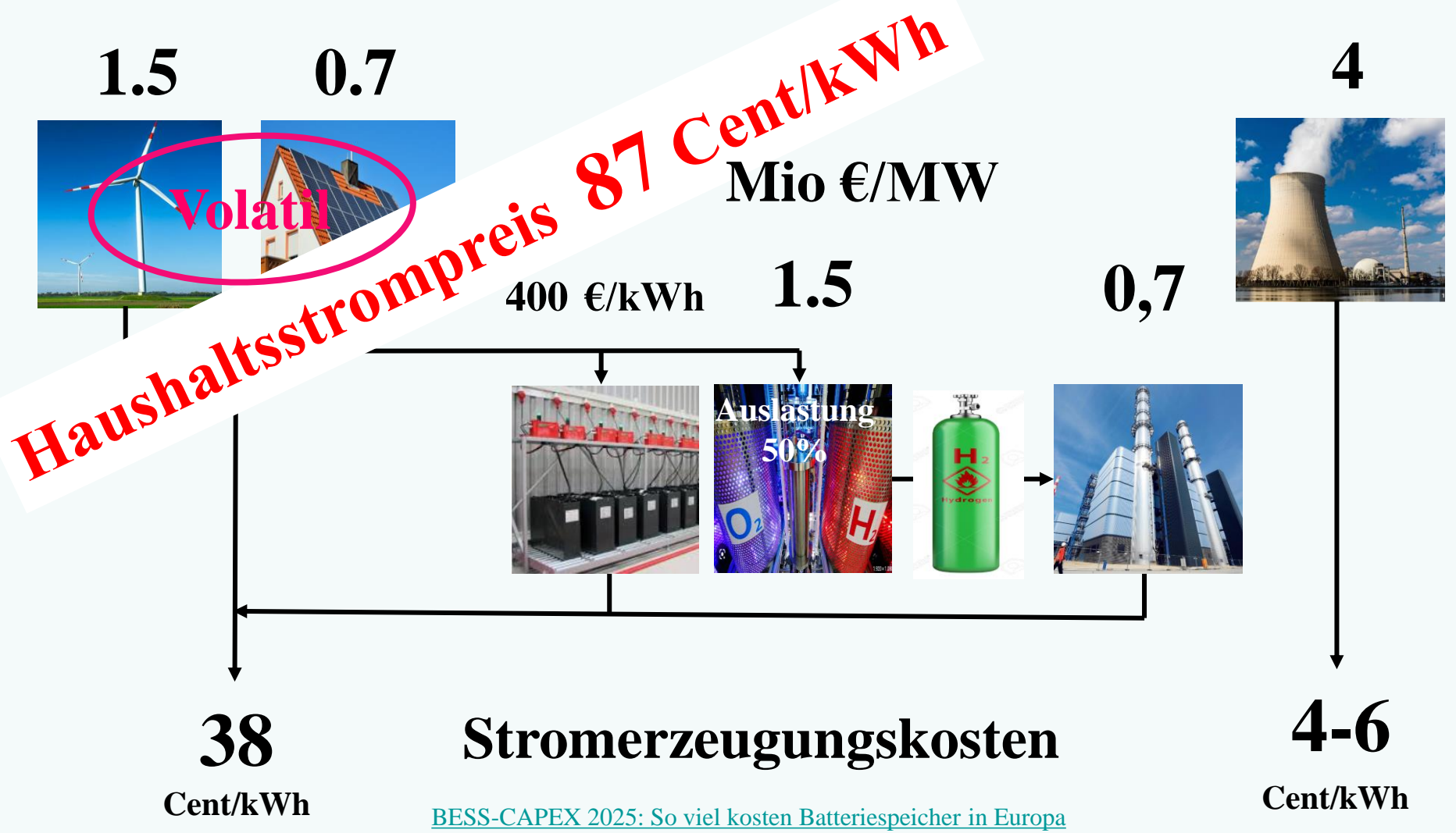
		Anlagen	Trafos / Netze (Faktor)
	Thermische Kraftwerke	<b>125 GW</b>	<b>1</b>
	Wind	<b>500 GW</b>	<b>4</b>
	Solar	<b>1.250 GW</b>	<b>10</b>

# Notwendige Netztrafos

			VLS	Bün- delung	Anzahl Trafos	Trafo- Leistun- g GW	mögliche Strom- erzeugung TWh/a
max Leistung	GW	<b>167</b>					
Stromerzeugung pro Jahr (Rest 1.000 TWh H2 Inport)	TWh/a	<b>1.000</b>					
		Leistung Einzelanl.					
Leistung Grundlastkraftwerke	MW	600	6.000	2	139	<b>167</b>	1000
Leistung Batterienpark Kurzzeitreserve auf 80% Leistung	MW	400	0	1	333	133	0
Leistung Windanlage 253 GW	MW	6	2.400	5	<b>8.433</b>	253	607
Leistung Solarpark 1 ha = 1,3 MW (50%, Rest Dachanl.) 469 GW	MW	10	900	2	<b>5.863</b>	235	211
20 Mio Dachanlagen (D hat 13 Mio Einfamilienhäuser)	kW	7,5	800			0	188
Summe Trafos					14.768	788	
Summe Trafos Batterie Solar- und Windanlagen					14.629	621	<b>1.006</b>
Trafoleistung Bat.-Solar- und Windanlagen zu Summe Trafos	Faktor					<b>4,7</b>	
Anz Trafos Bat.-Solar- und Windanlagen zu Summe Trafos	Faktor				<b>106</b>		

# Stromerzeugungungskosten

mit Batterien Wasserstoff und Backupkraftwerken



# Das ist der Fortschritt bis zum Jahr 2045

Endenergieverbrauch 2200 TWh



**Kosten 1.360 Mrd. €**

**Thermische  
Stromerzeugung**

**340 GW**

## Energiewende



**Volatile  
Stromerzeugung**

**1.500 GW**

**Kosten 5.000 Mrd. €**



**Versorgungssicherheit**

**300 GW**



**Kritische Infrastruktur  
Versorgungssicherheit**

**30 GW**

# Maßnahmen

## Kurzfristig

- **Sofortiger Baustopp Solar- und Windanlagen**
- **Beibehaltung der Kohlekraftwerke**
- **Wiederinbetriebnahme der letzten 6 KKW's**
- **Gasförderung in Deutschland**
- **Bau von 50 GW Gasturbinen (170 Anlagen)**
- **Bau von Reaktoren der Gen 3 +**

## Langfristig

**Wir müssen uns neuen Technologien zuwenden**

- **Reaktoren der Gen 4**
- **Fusionsanlagen**

# Radioaktive Belastung Mitteleuropa

