



# Die mögliche Rolle der Kernenergie in der deutschen Energiewende

**Norbert Aust**

**Skepkon 2025, Regensburg**

## **Gliederung**

**Vorstellung**

**Ausgangslage, Ziel**

**Methodik und Annahmen**

**Ergebnisse**

**Schlussfolgerungen**



## **WePlanet DACH ist**

- der deutschsprachige Zweig des internationalen Umwelt- und Klimanetzwerks WePlanet
- verwurzelt in der ökomodernen Bewegung
- 2018 von Amardeo Sarma und anderen gegründet worden

## **Zielvorstellung:**

Technik nutzen, damit alle Menschen auf der Erde in Wohlstand leben können und dabei der ökologische Fußabdruck der Menschen verkleinert werden kann.

## Offshore-Netz Anbindungssysteme (ONAS) Nordsee

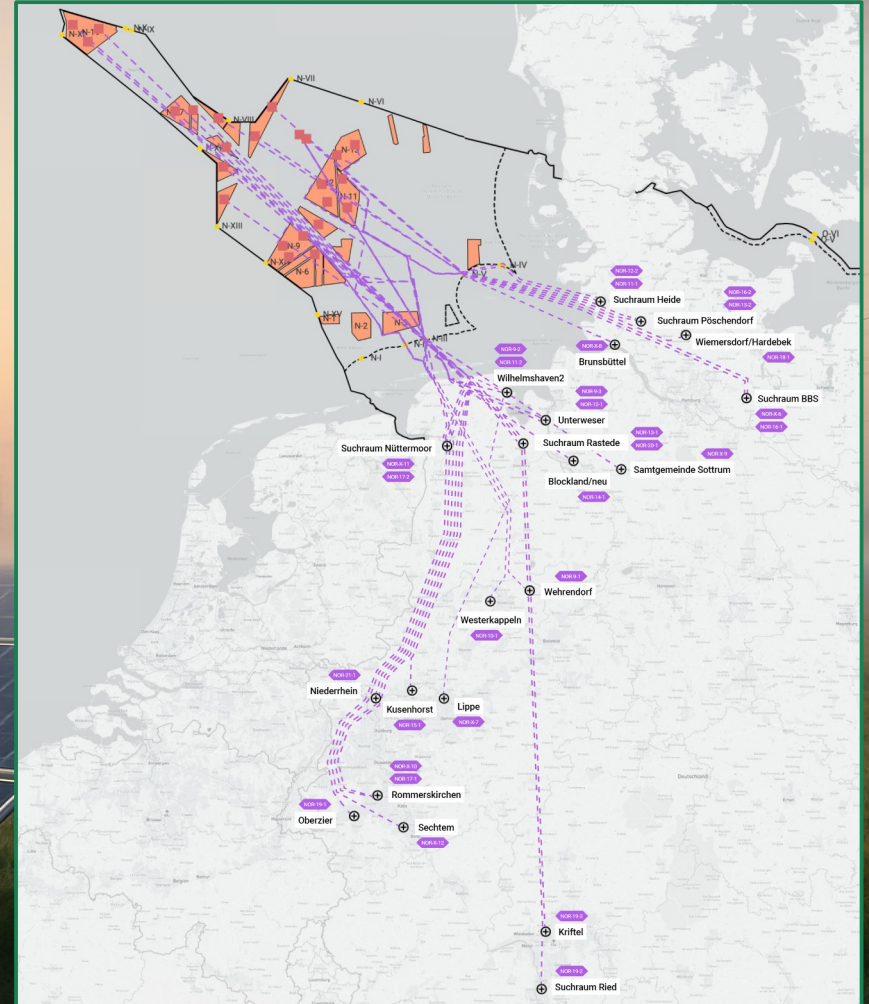
Installierte Leistung Nordsee: 65 GW

Zum Vergleich:

Max. Bedarf 2010: 87 GW

Gesamtlänge ONAS Nordsee: 12.950 km

Quelle: Bundesnetzagentur,  
Netzentwicklungsplan 2037 / 2045 (2023), 2. Entwurf, Teil 1, Abb. 54



### Offshore Wind

Gesamt-Kapazität 70 GW<sup>1</sup>

Investition: 2.600 € / kW<sup>2</sup>: 182 Mrd €

ONAS<sup>1</sup> 158 Mrd €

**Summe 340 Mrd €**

**Erzeugung<sup>3</sup>: 245 TWh**  
(ca. 20 % des Strombedarfs 2045)

### Kernkraftwerke wie Olkiluoto 3:

Gesamt-Kapazität 30,4 GW

Investition: 11 Mrd € / 1.6 GW<sup>3</sup>: 209 Mrd €

zus. Leitungen 0 Mrd €

**Summe 209 Mrd €**

**Erzeugung: 247 TWh**

Hier nicht enthalten:

- Kürzere Lebensdauer
- Elektrolyseure
- Pipelines
- Kavernen
- Kraftwerke

Hier nicht enthalten:

- Rückbau
- Endlagerung

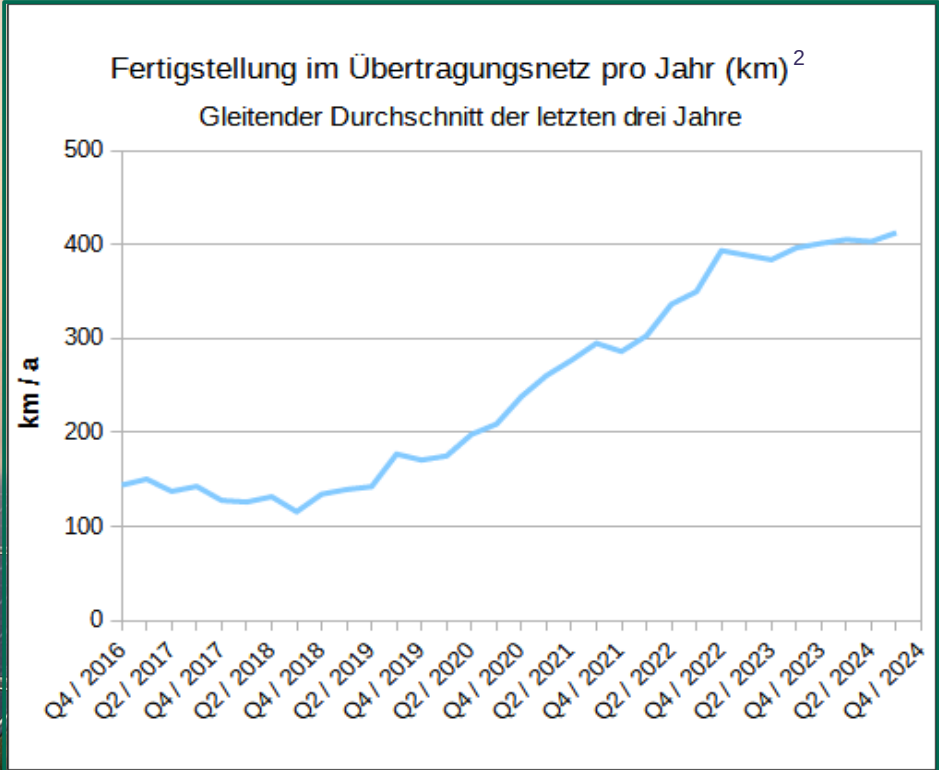
**Ist die Kernkraft wirklich zu teuer?**



# Verstärkung der Übertragungsnetze (Höchstspannung)

Leitungslänge in	gesamt (km) <sup>1</sup>
- Offshore-Anbindung	13.310
- Laufende Arbeiten ('Startnetz')	6.945
- Zubau	12.700
<b>Summe:</b>	<b>32.955</b>

**Zeithorizont: Gut 80 Jahre!**



**Dauert der Bau neuer Kernkraftwerke wirklich zu lange?**

Datenquellen:  
 (1) Bundesnetzagentur: Bestätigung des NEP 2037 / 2045 (2023)  
 (2) Bundesnetzagentur: Monitoringbericht des Stromnetzausbaus  
 Drittes Quartal 2024 sowie frühere Ausgaben aus dem Archiv

**2050:  
100%**  
Energy target 2050:  
100% renewable electricity supply

Umwelt Bundesamt

**Fraunhofer ISE**  
FRAUNHOFER INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

**WAS KOSTET DIE ENERGIEWENDE?**  
Weg zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050

**Fraunhofer ISE**  
FRAUNHOFER INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

**Klimaneutrales Deutschland 2045**  
Wie Deutschland seine Klimaziele bis 2045 erreichen kann

**Fraunhofer ISE**  
FRAUNHOFER INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

**WEGE ZU EINEM KLIMANEUTRALEM ENERGIESYSTEM**  
Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen

**SCHRIFTENREIHE  
ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT**

Analysen

Skizzen für ein klimaneutrales Deutschland

**DE 2015 Report**

Wege zu einer  
**weitgehenden Dekarbonisierung  
Deutschlands**  
Kurzfassung

IDD | Fraunhofer ISE | Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie | HERTZOG & PARTNER

**Arbeits-Report**

**Deutschland auf dem Weg  
zur Klimaneutralität 2045**  
Szenarien und Pläne im  
Modellvergleich

KOPERNIUS

CLIMATE CHANGE  
07/2014

**Treibhausgasneutrale  
Deutschland**  
im Jahr 2050

Umwelt Bundesamt

APRIL 2019

**GLOBAL ENERGY SYSTEM  
BASED ON 100% RENEWABLES**  
Power, Heat, Transport and Desalination

Study by  
LUT  
ENERGY WATCH GROUP

**LANGFRISTSZENARIOEN FÜR DIE TRANSFORMATION  
DES ENERGIESYSTEMS IN DEUTSCHLAND**

Treibhausgasneutrale Szenarien T45  
Überblickswebinar 15.11.2022, Dr. Frank Senfuß (Fraunhofer ISI)

**T45 Hauptszenarien**

**Autoren:**  
Santilli, Frank, Lisa, Benjamin, Bernath, Christiane, Kiefer, Christoph, Pfleger, Sebastian, Oberwiesing, Christoph, Franke, Katja, Ingrida Garcia, Ingrida, Daniela, Gertel, Malzer, Wolfgang, Brügge, Mike, Peter, Tobias, Barbara, Matthias, Ingrid, Andrea, Ingrid, Pia, Neuwirth, Miriam, Veronika, Martin, Corina, Tilo, Gerd, David, Axel, Malte, Miriam, Peter, Birner, Sebastian, Klippner, Susanne, Christian, Bernd, Miriam, Christoph, Ludemann, Alexander, Christian, Tim, Wilfried, Sebastian, Malte, Kristian, Joachim, Eren, Maximilian, Alina, Zhen, Yang, Giorgio, Valerio, Antonio, Sofia, Immanuel, Marco, Tom

Fraunhofer | consentec | ifeu | TU | IZL



## Role of Nuclear in Germany's Decarbonisation

A STUDY BY QUANTIFIED CARBON  
FOR WEPLANET

DECEMBER 20...

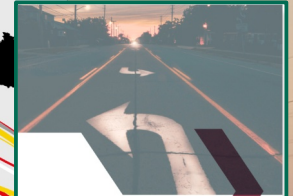
## Deutschlands Energiezukunft: Die Rolle der Kernenergie bei der Dekarbonisierung

Übertragung und inhaltliche Ergänzung der Studie  
"The Role of Nuclear in Germany's Decarbonisation"  
von Quantified Carbon für WePlanet DACH

WePlanet DACH

DEUTSCHLANDS ENERGIEZUKUNFT

Bege zu einer  
tgehenden Dekarbonisierung  
Deutschlands  
kurzfassung



Arbeits-Report

Deutschland auf dem Weg  
zur Klimaneutralität 2045  
Szenarien und Pläne im  
Modellvergleich

KOPERNIUS

berichtet von  
44 Bundesministerium

## STZENSARIEN FÜR DIE TRANSFORMATION ERGIESYSTEMS IN DEUTSCHLAND

utrale Szenarien T45  
mar 15.11.2022, Dr. Frank Sensfuß (Fraunhofer ISI)



T45 Hauptszenarien

Autoren:  
Sensfuß, Frank, Lutz, Benjamin, Bernath, Christiane, Keller, Christoph, Pfleger,  
Scheffner, Christof, Schmitt, Patrick, Soria, Rodrigo Garcia, Iñigo, David,  
García, Mónica, Volpert, Brigitta, Felix, Peter, Tobias, Barthels, Matthias,  
Wendt, Andrea, Hant, Dirk, Neumann, Malin, Wenzel, Martin, Grottel, Till, Grottel,  
David, Axel, Mahler, Miriam, Peter, Birner, Sebastian, Klappert, Susanne,  
Strohschneider, David, Müller, Christoph, Lebermann, Alexander, Gröschel, Tim,  
Willemsen, Sebastian, Malin, Kerstin, Kuchler, Kerstin, Eder, Maximilian, Alca,  
Chen, Yang, Giorgio, Hübner, Johannes, Grottel, Johannes, Malin, Tim

CLIMATE CHANGE  
07/2014

### Treibhausgasen Deutschland im Jahr 2050

Study by  
LUT  
ENERGYWATCHGROUP

Umwelt  
Bundesamt

APRIL 2019

### GLOBAL ENERGY SYSTEM BASED ON 100% RENEWABLES

Power, Heat, Transport and Desalination

Study by  
LUT  
ENERGYWATCHGROUP

Ziel: Nachweis des prinzipiellen Nutzens der Kernenergie für die Energiewende



## Vorgehensweise

### Aufbau optimierter Stromsysteme

- Hochrechnung des Strombedarfs von 2024 auf 2045
- Eigenschaften der Stromerzeuger (Kosten, Kapazitätsfaktor ... )
- Optimierung des Anlagenparks für zwei Szenarien:

Nuklear: Technologieoffen, auch Kernkraft möglich

EE100: Nur erneuerbare Energien

GenX

### Systemvergleich

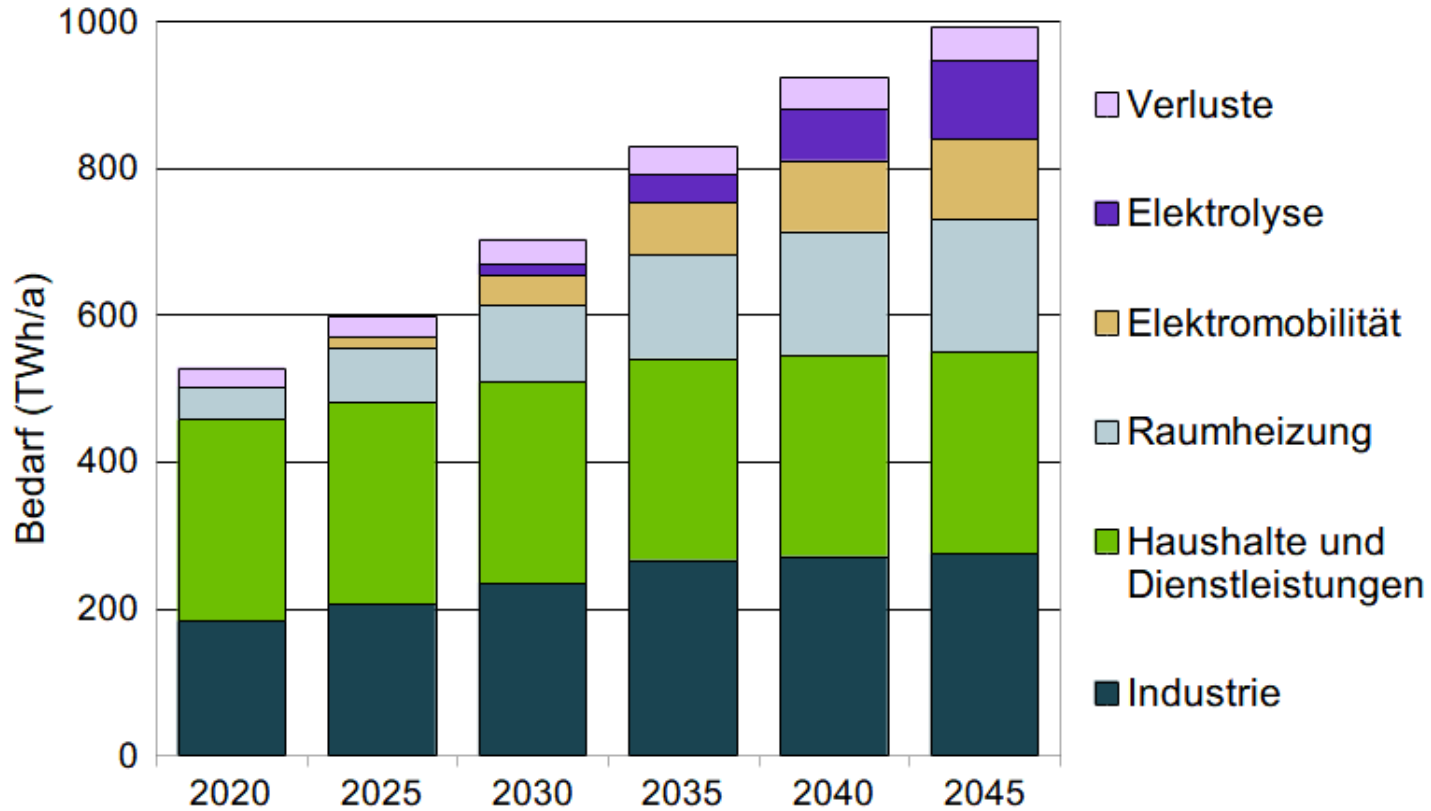
Struktur, Kosten, Emissionen

### Wetterabhängigkeit

cGrid

- Simulation von 33 Wetterjahren
- Versorgungssicherheit, Preisdurchschnitt und -streuung

## Strombedarf



Zum Vergleich:  
Fraunhofer ISI:  
O-Szenarien 1191 - 1276

Bundesnetzagentur:  
Netzentwicklungsplan:  
1134 - 1294

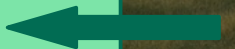
Fraunhofer ISE:  
1068 - 1447

Abhängig davon, was zu  
'Bedarf' gezählt wird. (s.  
später 'Erzeugung')

Keine Prognose, sondern plausible Annahme für Untersuchung



- Hoher CO<sub>2</sub>-Preis als Treiber der Dekarbonisierung (250 €/to CO<sub>2</sub>)
- Kein Carbon Capture and Storage (CCS)
- Stromhandel mit den Nachbarländern, Erzeugerkapazitäten nach Ausbauzielen
- Elektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff für Industrie
- Wasserstoffwirtschaft wird nicht modelliert
- Verschiedene Lastprofile der Verbraucher
- Neubau aller EE-Erzeuger (Ende der Lebensdauer bis 2045)
- 2 % der Landfläche für Windenergie bei 20 MW/km<sup>2</sup>
- Biomasse, Geothermie, Hydro nicht in Optimierung einbezogen
- Wiederaufbau stillgelegter KKW bis 2032
- Deckung der Spitzenlast als Erdgas gefeuerte Gasturbinen
- Verzinsung 6 % pro Jahr für alle Technologien ab Inbetriebnahme
- Keine Sensitivitätsanalysen, keine Varianten



Taishan: 2 EPR zus. 3320 MW,  
Komm. Betrieb seit 2019  
Bauzeit 9 Jahre,  
Kosten 2.700 - 2.900 € / kW

Quelle: World Nuclear Association  
<https://world-nuclear.org/nuclear-reactor-database>

## Kernkraftwerk Olkiluoto 3

Kommerzieller Betrieb seit April 2023

Bauzeit: 17 Jahre

Netto-Leistung: 1.600 MW

Baukosten: 11 Mrd Euro

**pro kW: 6.875 €**

Verzögerungen und Verteuerungen durch Fehler, aus denen man gelernt hat.

## Kernkraftwerk Olkiluoto 3

Bildquelle: Pressebild Teollisuuden Voima (TVO), <https://www.tv.fi/en/index/media/material.html>  
Daten: <https://www.powermag.com/olkiluoto-3-finally-online-in-finland-germany-closes-last-three-nuclear-plants/>

**Studienannahmen:**

**Baukosten pro kW:**

**7.000 €**

Keine Lernkurve





Kernkraftwerk Olkiluoto 3

Bildquelle: Pressebild Teollisuuden Voima (TVO), <https://www.tv.fi/en/index/media/material.html>  
Daten: <https://www.powermag.com/olkiluoto-3-finally-online-in-finland-germany-closes-last-three-nuclear-plants/>

## Kernkraftwerk Olkiluoto 3

Kommerzieller Betrieb seit April 2023

Bauzeit: 17 Jahre

Netto-Leistung: 1.600 MW

Baukosten: 11 Mrd Euro

**pro kW: 6.875 €**

Verzögerungen und Verteuerungen durch Fehler, aus denen man gelernt hat.

**Studienannahmen:**

**Baukosten pro kW:**

**7.000 €**

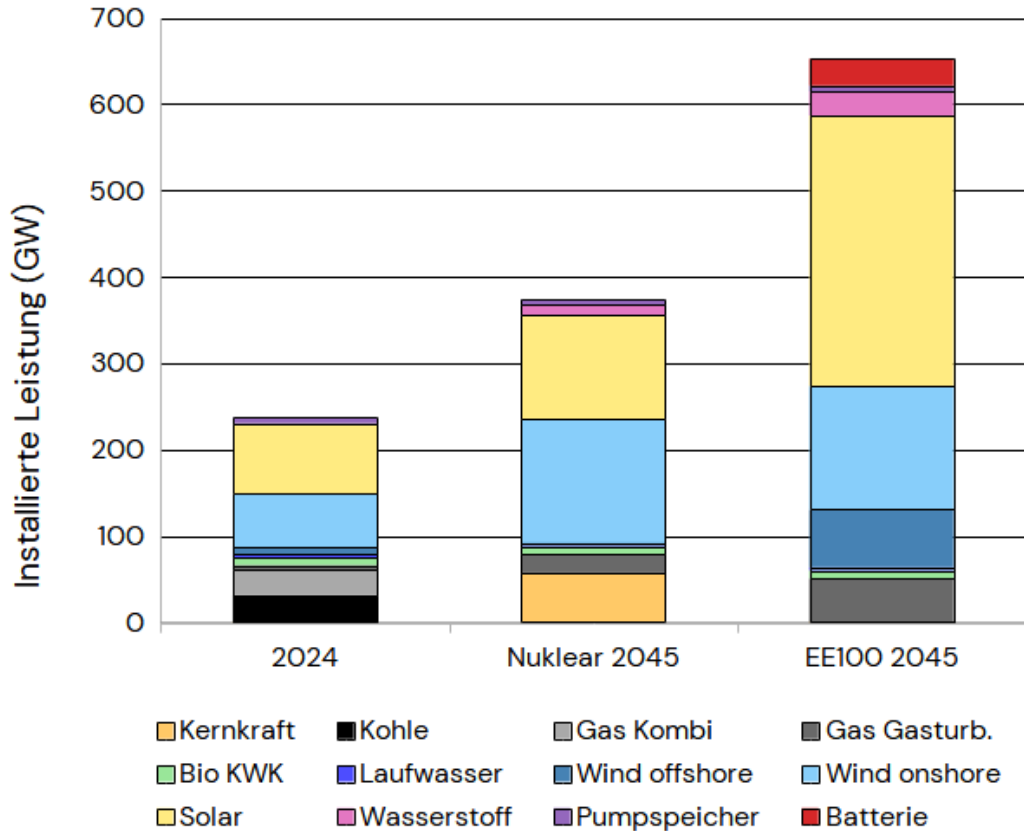
Keine Lernkurve

<b>Bauzeit:</b>	Keine Beschränkungen in Baukapazitäten angenommen Annahme der Bauzeit zur Erfassung der Finanzkosten vor Inbetriebnahme										
<b>Nutzungsdauer:</b>	Angenommene Lebensdauer von 60 Jahren, ggf. mit Retrofit. Entspricht den Planungen für einzelne in Betrieb befindliche Kraftwerke in Belgien, Schweiz, USA.										
<b>Kapazitätsfaktor:</b>	90% entsprechend 7884 Volllaststunden ist für Grundlastbetrieb realistisch										
<b>Fixe Betriebskosten:</b>	65 €/kW/a sind Daten der Internationalen Energieagentur (IEA) <sup>1</sup> . für ein KKW mit 1600 MW sind dies 104 Mio €/a										
<b>Variable Betriebskosten:</b>	<table> <tr> <td>Brennstoff:</td> <td>4,9 €/MWh = 61,8 Mio €/a, Daten der IEA<sup>1</sup></td> </tr> <tr> <td>Entsorgung, Rückbau, Endlagerung:</td> <td>4,5 €/MWh</td> </tr> <tr> <td>ergibt nominell</td> <td>3,4 Mrd € über die Laufzeit</td> </tr> <tr> <td>bei 3 % Verzinsung:</td> <td>9,5 Mrd € über die Laufzeit</td> </tr> <tr> <td>Kosten Rückbau<sup>2</sup></td> <td>1,9 Mrd € (1,6 GW)</td> </tr> </table>	Brennstoff:	4,9 €/MWh = 61,8 Mio €/a, Daten der IEA <sup>1</sup>	Entsorgung, Rückbau, Endlagerung:	4,5 €/MWh	ergibt nominell	3,4 Mrd € über die Laufzeit	bei 3 % Verzinsung:	9,5 Mrd € über die Laufzeit	Kosten Rückbau <sup>2</sup>	1,9 Mrd € (1,6 GW)
Brennstoff:	4,9 €/MWh = 61,8 Mio €/a, Daten der IEA <sup>1</sup>										
Entsorgung, Rückbau, Endlagerung:	4,5 €/MWh										
ergibt nominell	3,4 Mrd € über die Laufzeit										
bei 3 % Verzinsung:	9,5 Mrd € über die Laufzeit										
Kosten Rückbau <sup>2</sup>	1,9 Mrd € (1,6 GW)										

1: <https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020>

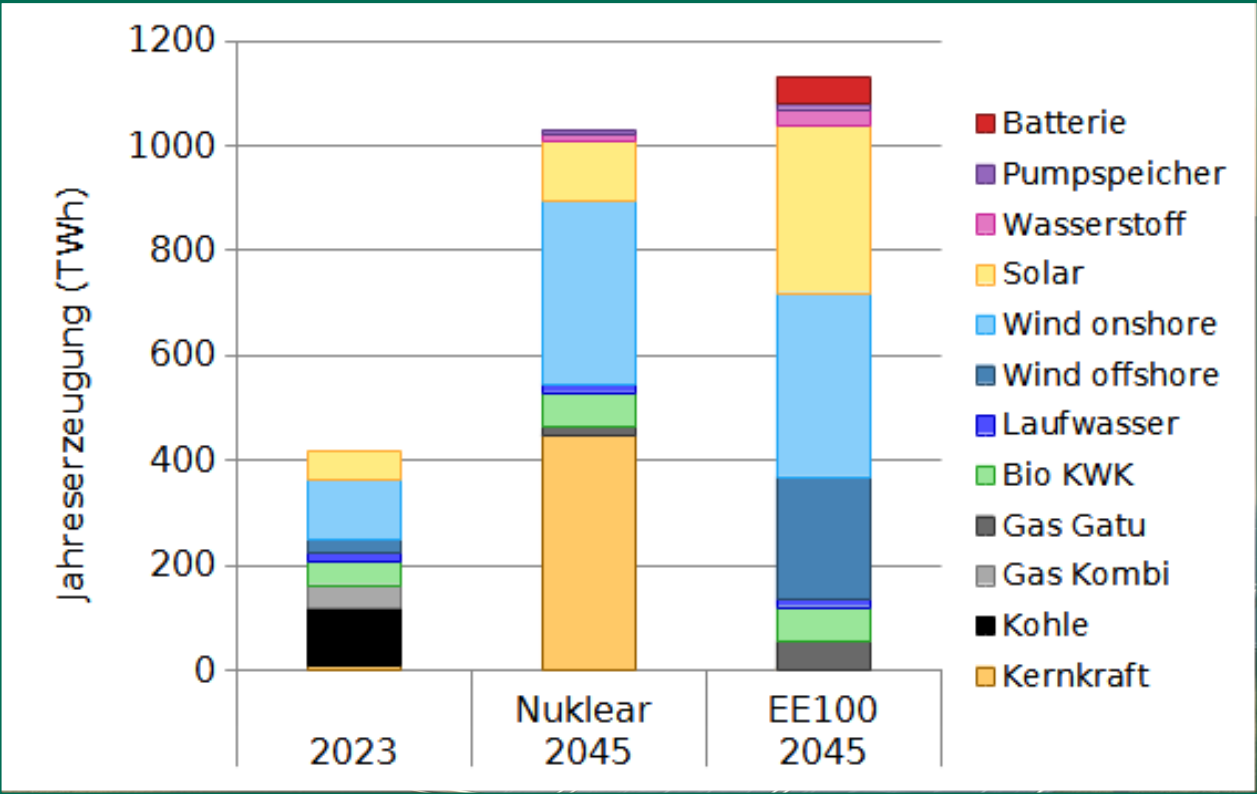
2: <https://www.vgbe.energy/wp-content/uploads/2024/05/vgbe-ej-2024-05-039-043-HIPPAUF-RGB-Specimen-Copy.pdf>





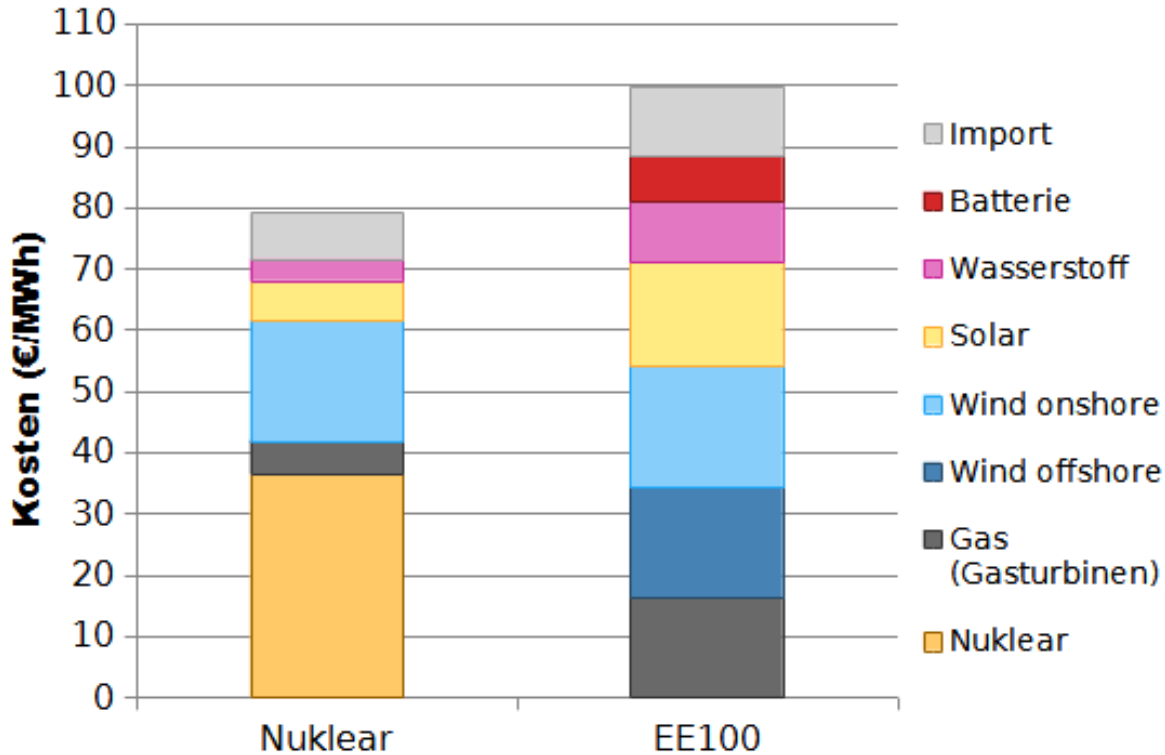
- Kohleausstieg vollzogen
- Ausbau Kernkraft auf 57,6 GW
- Starker Ausbau der erneuerbaren Energien in beiden Szenarien
- Kein offshore Wind in Nuklear
- Ausbau Wind an Land bis an die Grenzen in beiden Szenarien
- Solar in EE100 nicht voll ausgebaut
- Trotz eines hohen CO2-Preises sind Gasturbinen die wirtschaftlichste Lösung für Spitzenlast

# Struktur der Stromerzeugung 2045



- Erzeugung enthält Speicherverluste
- Hohe Stromerzeugung aus Kernkraft in Nuklear (7.825 Vollaststunden)
- Gleiche Erzeugung aus Wind an Land in beiden Szenarien
- Hohe Erzeugung aus Solar und Wind auf See in EE100.
- Höherer Bedarf an Flexibilität in EE100 (Gasturbine, Wasserstoff, Batterie)
- Biomasse und Wasserkraft wurden 'wie heute' übernommen

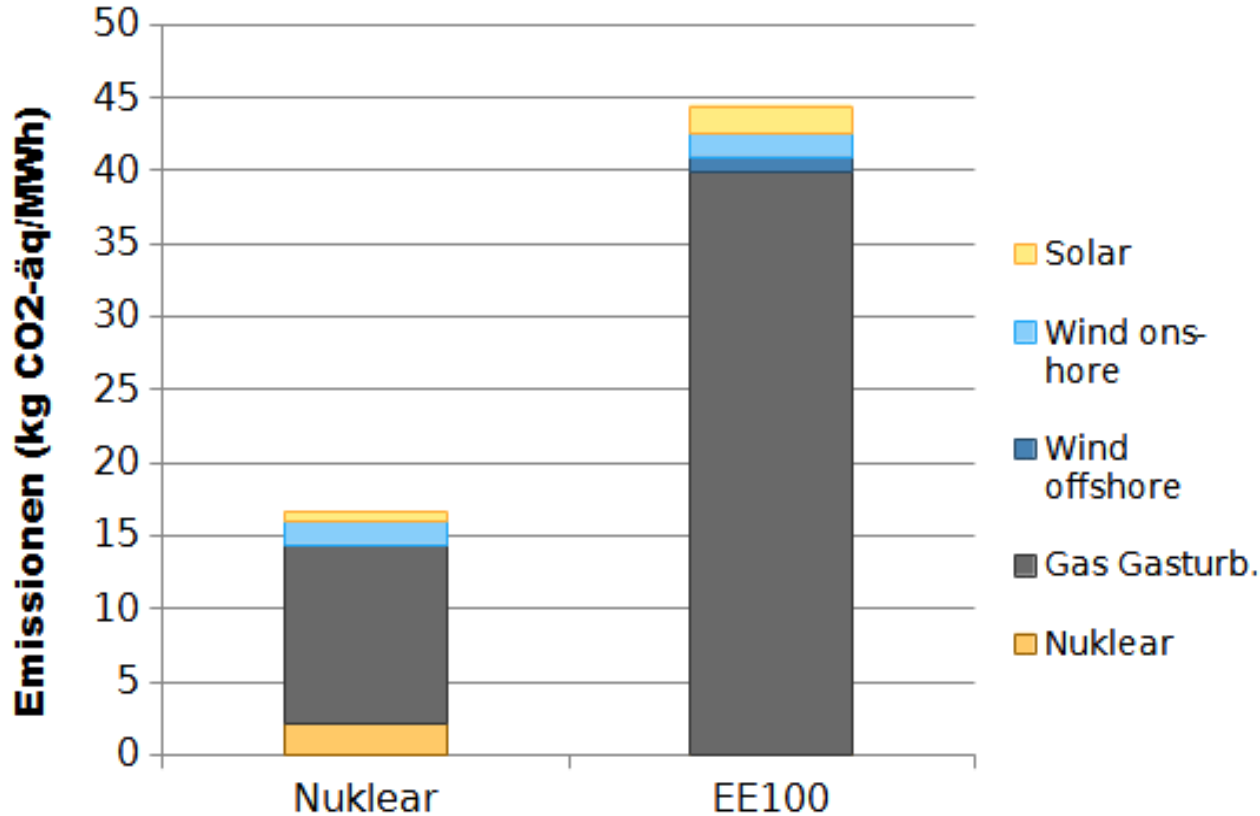
**Nuklear: Kernkraft deckt Grundlast, Ausgleich durch Flexibilitäten**



- In beiden Szenarien Deckung der Spitzenlast aus Erdgas
- In beiden Szenarien positiver Importsald
- Nuklear deutlich günstiger als EE100

Systemkosten:  
Auf die Stromerzeugung umgelegte Gesamtkosten des Systems





Emissionsintensität im EE100-Szenario wesentlich höher.

Zum Vergleich:

1990: 764 kg CO<sub>2</sub>äq/MWh  
2023: 361 kg CO<sub>2</sub>äq/MWh

Senkung gegen 1990:

Nuklear: - 98 %  
EE100: - 94 %

... aber:

Stromverbrauch steigt bis 2045  
Emissionen nicht zulässig

Zusätzliche Investitionen für emissionsfreien Betrieb: Nuklear: ca. 50 Mrd €, EE100: ca. 150 Mrd. €

### Wesentliche Erkenntnisse der Studie:

- Kernkraft und erneuerbare Energien ergänzen sich gut
- Kernenergie beseitigt zwar nicht die Probleme der Energiewende, führt aber zu einer erheblichen Entlastung und damit Beschleunigung:
  - Kostensenkung um ca. 25 %
  - Leitungsneubau anstelle ca. 22.000 km nur ca. 4.500 km
  - Geringerer Speicherbedarf für Dunkelflaute
  - Geringere direkte Emissionen
  - Geringerer Aufwand für Emissionsfreiheit
  - Geringere Importabhängigkeit (Strom, Gas, Wasserstoff)
  - ...





- **Deutschland sollte die Nutzung der Kernenergie bei der Energiewende nicht a priori ausschließen.**
- **Deutschland sollte die möglichen Vorteile der Kernenergie für die Energiewende ebenso intensiv untersuchen, wie in den bisherigen Szenarien.**
- **Deutschland sollte die bestehenden Vorbehalte hinterfragen, inwieweit sie auf technisch-physikalischen Gegebenheiten beruhen.**
- **Deutschland sollte den Rückbau der Kernkraftwerke stoppen bis eine tragfähige Entscheidung getroffen ist.**



Link zur Studie



<https://weplanet-dach.org/die-rolle-der-kernkraft-bei-der-dekarbonisierung-deutschlands/>

Link zur Webseite



<https://weplanet-dach.org>