

# ***Digitaler Schulterblick*** **Szenariorahmenentwurf zum nächsten Netzentwicklungsplan**



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN STROM



# Agenda



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN **STROM**

**1.**

**Politischer Rahmen  
Szenariodesign**

**2.**

**Stromverbrauch  
Sektorenkopplung**

**3.**

**Erneuerbare Energien  
Konventioneller Kraftwerkspark**

# Agenda



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN **STROM**

**1.**

**Politischer Rahmen  
Szenariodesign**

**2.**

**Stromverbrauch  
Sektorenkopplung**

**3.**

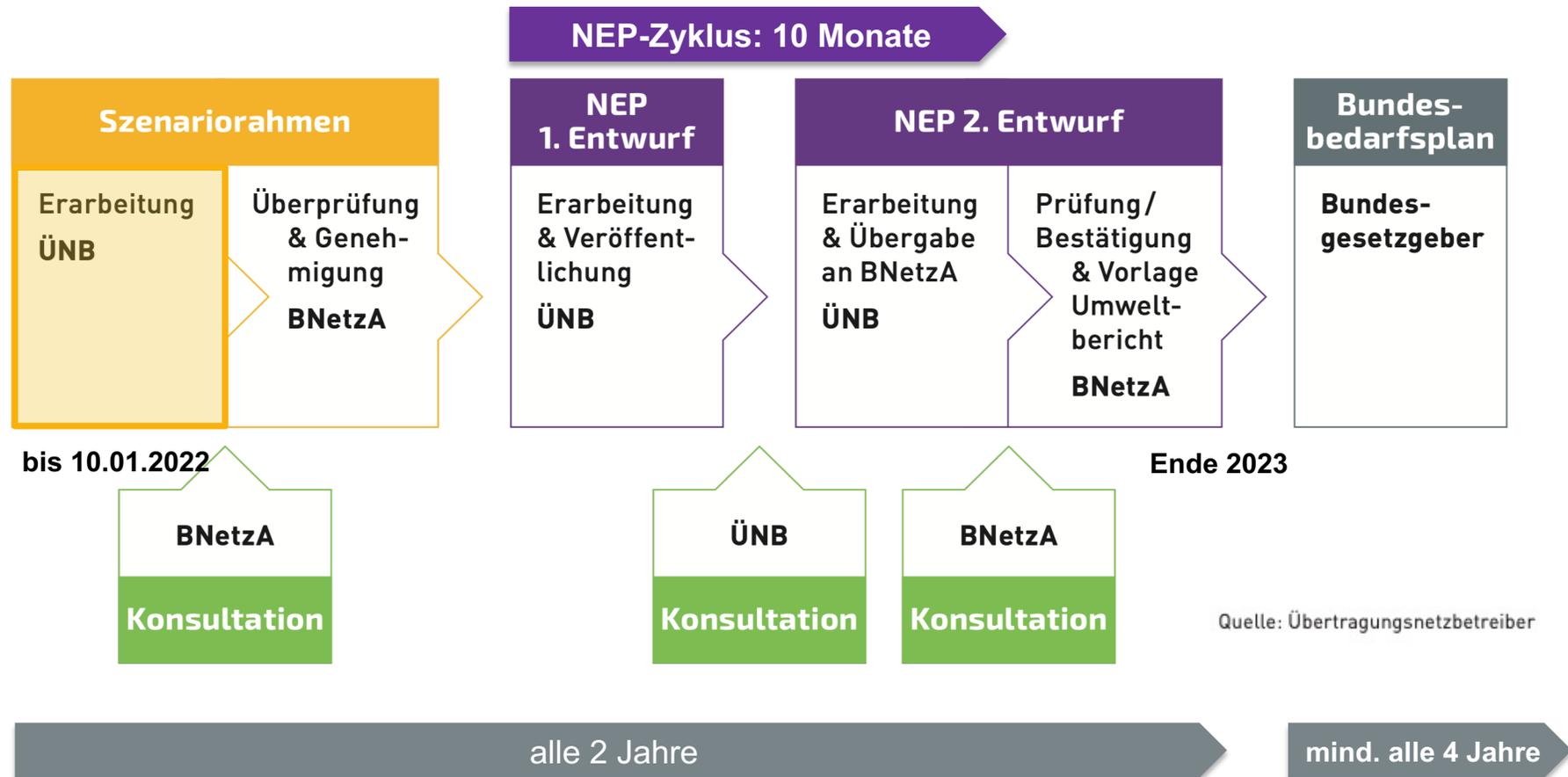
**Erneuerbare Energien  
Konventioneller Kraftwerkspark**

# NEP-Gesamtprozess gem. § § 12a/b EnWG

## Szenariorahmen als Auftakt des NEP-Zyklus



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN STROM



# § 12a EnWG: Szenariorahmen für die Netzentwicklungsplanung



- *Der Szenariorahmen ist die **Grundlage für die Erarbeitung des Netzentwicklungsplans.***
- *Er umfasst **drei Szenarien** für die **nächsten 10-15 Jahre** sowie **ein Szenario** für die nächsten **15-20 Jahre.***
- *Die Szenarien decken die **Bandbreite wahrscheinlicher Entwicklungen im Rahmen der mittel- und langfristigen energiepolitischen Ziele der Bundesregierung** ab.*
- *Den Szenarien sollen **angemessene Annahmen** zu Erzeugung, Versorgung, Verbrauch von Strom sowie dessen Austausch mit anderen Ländern sowie zur Spitzenkappung zu Grunde liegen.*

# Energiepolitische Rahmenbedingungen als Eckpfeiler für den Szenariorahmen



- Neue politische Zielvorgaben aus der Novelle des Klimaschutzgesetzes:
  - Mindestens 65% Treibhausgasminderung bis 2030,
  - Mindestens 88% THG-Minderung bis 2040,
  - Netto-Treibhausgasneutralität bis 2045.
- Umsetzung in konkrete politische Maßnahmen steht noch aus.
- Da die Zielvorgaben für den Energiesektor bis 2030 um fast 40% verschärft wurden (max. 108 Mio. t CO<sub>2</sub>-Ausstoß in 2030), ist eine Beschleunigung im Energiesektor unabdingbar:
  - Schnellerer EE-Ausbau (>65% EE am Bruttostromverbrauch 2030)
  - Schnellerer Ausstieg aus der Kohleverstromung (gesetzlich oder marktbedingt)
  - Schnellere Wasserstoff-Entwicklung (Elektrolyse plus Infrastruktur)

# Zieljahre des nächsten Netzentwicklungsplans



- Mit neuem Ziel Klimaneutralität in 2045 werden Forderungen nach einem Blick auf ein **klimaneutrales „Zielsystem“ 2045** und die damit verbundene Netzinfrastruktur lauter
- Herausforderung: Formale Anforderungen des EnWG mit dieser Forderung in Deckung bringen
- Derzeitiger Vorschlag der ÜNB nach Rücksprache mit BNetzA:
  - Drei Szenarien für **2037/38** (t+15; Schnittpunkt Mittel- und Langfristhorizont) als Pflicht
  - Zwei Szenarien für **2045** (klimaneutrales Gesamtsystem) freiwillig
- Juristische Prüfung läuft noch; Anpassung von Zieljahren und Szenarienumfang möglich
- Blick auf 2045 wegen fehlender politischer Rahmenbedingungen mit großen Unsicherheiten behaftet → Bitte um aktive Mitarbeit bei der Ausgestaltung realistischer Szenarien; heute gezeigte Zahlen „nicht in Stein gemeißelt“

# Der Szenariorahmenentwurf



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN STROM

## Der Szenariorahmenentwurf enthält Annahmen zu...

- Höhe und räumlicher Verteilung von Stromerzeugungsleistungen
- Höhe und räumlicher Verteilung von Stromnachfragern
- Austauschkapazitäten zwischen benachbarten Marktgebieten
- CO<sub>2</sub>- und Brennstoffpreisen

...im Rahmen der **Bandbreite wahrscheinlicher Entwicklungen.**

*Wo liegen die größten Unsicherheiten  
und welche Bandbreite soll durch die Szenarien abgedeckt werden?*

# Schwerpunkte der Szenariovariation

Wo liegen die größten Unsicherheiten und welche Bandbreite soll durch die Szenarien abgedeckt werden?



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN STROM

## Energienachfrage

- **Welche Energieträger kommen im Endenergieverbrauch zum Einsatz?**
  - Strom / biogene Energieträger / synthetische Energieträger (insb. Wasserstoff) / fossile Energieträger
- **Wie entwickelt sich die Energieeffizienz?**

# Schwerpunkte der Szenariovariation

Wo liegen die größten Unsicherheiten und welche Bandbreite soll durch die Szenarien abgedeckt werden?



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN STROM

## Energienachfrage

- Welche Energieträger kommen im Endenergieverbrauch zum Einsatz?
  - **Strom** / biogene Energieträger / synthetische Energieträger (insb. **Wasserstoff**) / fossile Energieträger
- Wie entwickelt sich die Energieeffizienz?

*Annahmen zur Transformation der Nachfrageseite basieren in weiten Teilen auf Gesamtenergiesystemstudien.*



### **Klimaneutrales Deutschland 2045**

*Prognos, Wuppertal Institut, Öko-Institut  
im Auftrag von Agora et al.*



### **Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3**

*Fraunhofer ISI, Consentec, TU Berlin, ifeu  
im Auftrag des BMWi*

# Schwerpunkte der Szenariovariation

Wo liegen die größten Unsicherheiten und welche Bandbreite soll durch die Szenarien abgedeckt werden?



## Energienachfrage

- **Welche Energieträger kommen im Endenergieverbrauch zum Einsatz?**
  - **Strom** / biogene Energieträger / synthetische Energieträger (insb. **Wasserstoff**) / fossile Energieträger
- **Wie entwickelt sich die Energieeffizienz?**

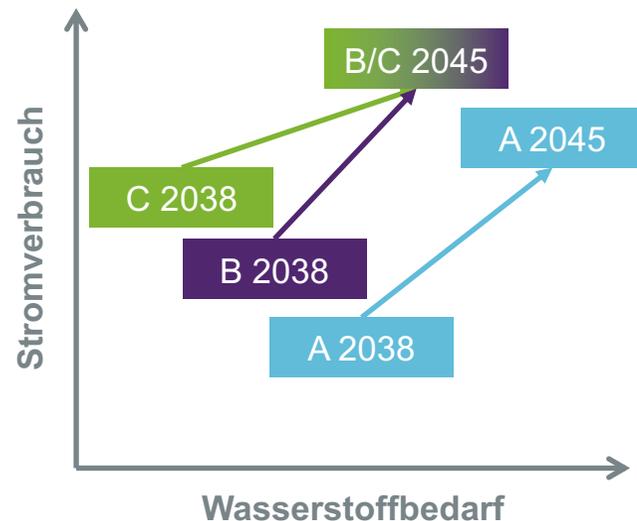
## Energieangebot

- **Wie und wo wird Strom erzeugt?**
  - Technologien: **EE-Anteil**, synthetische vs. fossile Energieträger, CCS/CCU
  - **EE-Technologien** (Onshore-Wind / Offshore-Wind / Photovoltaik) und Regionalisierung
  - Importanteil
- **Wie und wo wird Wasserstoff erzeugt?**
  - Technologien (Dampfreformierung / **Elektrolyse** / Pyrolyse) und Regionalisierung
  - Importanteil



## B-Szenariopfad:

- Entwicklung der Nachfrageseite angelehnt an Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“
- Wärme: Kein Wasserstoff zur Raumwärmebereitstellung (außer über Fernwärme), Fokus auf Wärmepumpen
- Verkehr: ca. 2/3 Elektrifizierung des Schwerlastverkehrs, nahezu 100% Elektrifizierung des PKW-Verkehrs



## A-Szenariopfad:

- Geringere Elektrifizierung / ausgeprägtere Wasserstoffinfrastruktur
- Höhere inländische H<sub>2</sub>-Erzeugung (v.a. in Küstennähe) und H<sub>2</sub>-Nachfrage (v. a. Schwerlastverkehr, Industrie)
- Geringerer Bruttostromverbrauch
- Höhere Offshore-Leistung, geringere Onshore- und PV-Leistung (geringere EE-Erzeugung, gleicher EE-Anteil)

## C-Szenariopfad (in 2045 identisch mit B 2045):

- Schnellere und umfangreichere Elektrifizierung (v. a. Schwerlastverkehr, Industrie)
- Zunächst höherer Bruttostromverbrauch
- Geringere Offshore-Leistung, höhere Onshore- und PV-Leistung (höhere EE-Erzeugung, gleicher EE-Anteil)

# Die Szenarien im europäischen Kontext

**Annahmen zu Stromverbrauch und installierten Leistungen im Ausland sowie zu CO<sub>2</sub>- und Brennstoffpreisen basieren v.a. auf den Szenarien des TYNDP2022**

## Szenarien mit Klimaneutralität in Europa bis 2050

- „**Distributed Energy**“ (stärkere Elektrifizierung und dezentralere Erzeugungsstruktur) für B- und C-Szenariopfad
- „**Global Ambition**“ (größere Rolle von Wasserstoff und mehr Offshore-Erzeugung) für A-Szenariopfad

## Interkonnektoren:

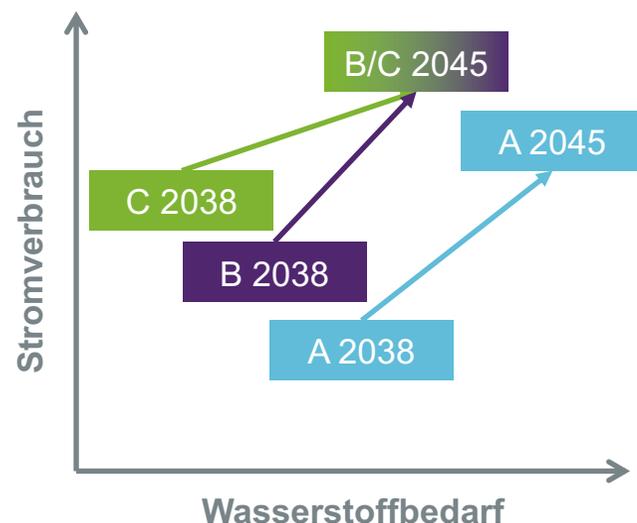
- Großer Nutzen von Interkonnektoren für EE-Integration (vgl. bspw. Langfristszenarien-Studie)
- 2038-Szenarien: Berücksichtigung von Interkonnektoren anhand TYNDP-Projektliste bereits im Basisszenario
- 2045-Szenarien: Annahme von zusätzlichen Austauschkapazitäten, z.B. auf Basis der „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3“





## B-Szenariopfad:

- Entwicklung der Nachfrageseite angelehnt an Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“
- Wärme: Kein Wasserstoff zur Raumwärmebereitstellung (außer über Fernwärme)
- Verkehr: ca. 2/3 Elektrifizierung des Schwerlastverkehrs, nahezu 100% Elektrifizierung des PKW-Verkehrs



## A-Szenariopfad:

- Geringere Elektrifizierung / ausgeprägtere Wasserstoffinfrastruktur
- Höhere inländische H<sub>2</sub>-Erzeugung (v.a. in Küstennähe) und H<sub>2</sub>-Nachfrage (v. a. Schwerlastverkehr, Industrie)
- Geringerer Bruttostromverbrauch
- Höhere Offshore-Leistung, geringere Onshore- und PV-Leistung (geringere EE-Erzeugung, gleicher EE-Anteil)

## C-Szenariopfad (in 2045 identisch mit B 2045):

- Schnellere und umfangreichere Elektrifizierung (v. a. Schwerlastverkehr, Industrie)
- Zunächst höherer Bruttostromverbrauch
- Geringere Offshore-Leistung, höhere Onshore- und PV-Leistung (höhere EE-Erzeugung, gleicher EE-Anteil)
- Regionalerer Ansatz bei EE, z.B. Onshore-Wind im Süden

# Agenda



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN **STROM**

**1.**

Politischer Rahmen  
Szenariodesign

**2.**

Stromverbrauch  
Sektorenkopplung

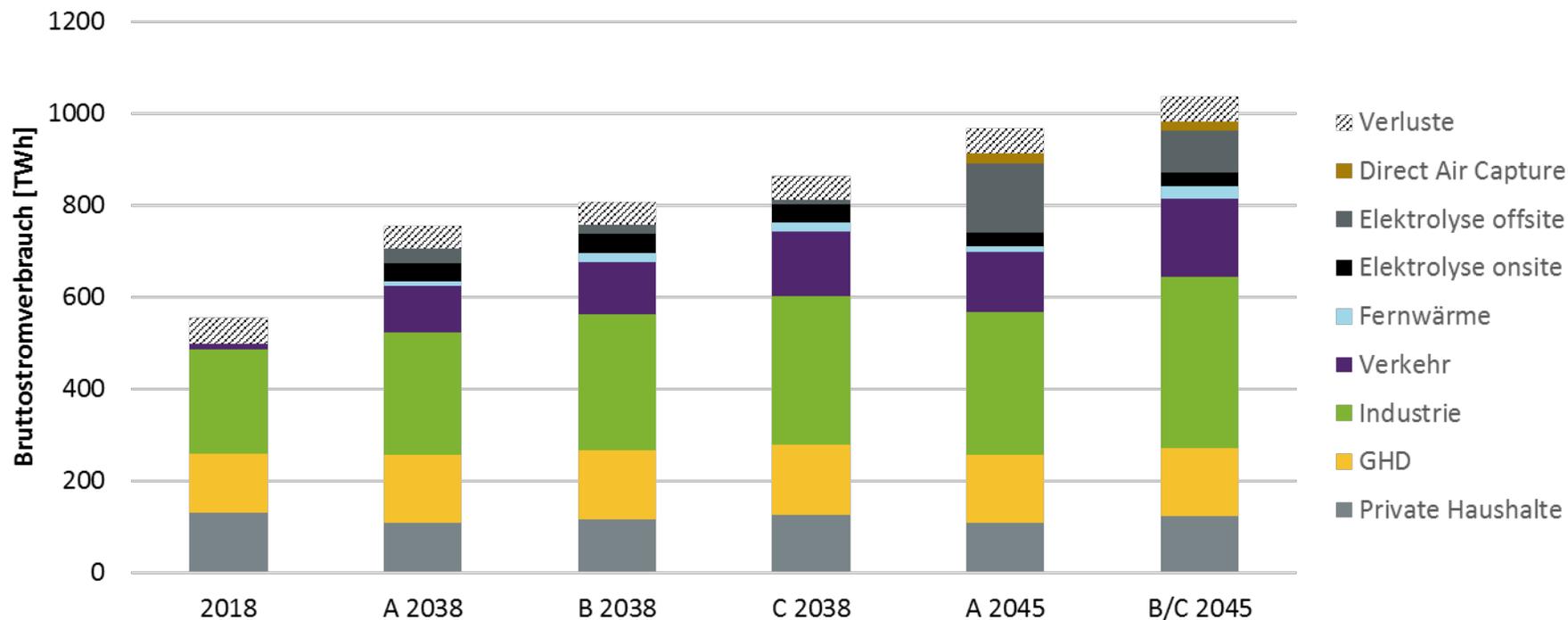
**3.**

Erneuerbare Energien  
Konventioneller Kraftwerkspark

# Gesamtüberblick



- **Szenario A:** Stärkerer Fokus auf **Wasserstoffanwendungen**, geringerer Stromverbrauch als in Szenario B
- **Szenario B:** Fokus auf **Elektrifizierung**, 45% höherer Bruttostromverbrauch in 2038 gegenüber heute
- **Szenario C:** **Schnellere Elektrifizierung** als in Szenario B, 56% höherer Stromverbrauch in 2038



# Haushalte und GHD



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN STROM

## ▪ Stromverbrauch des Gerätebestands sinkt

- Haushalte: **-33% gegenüber heute**
- GHD: **-5% gegenüber heute**

## ▪ Wärmebedarf:

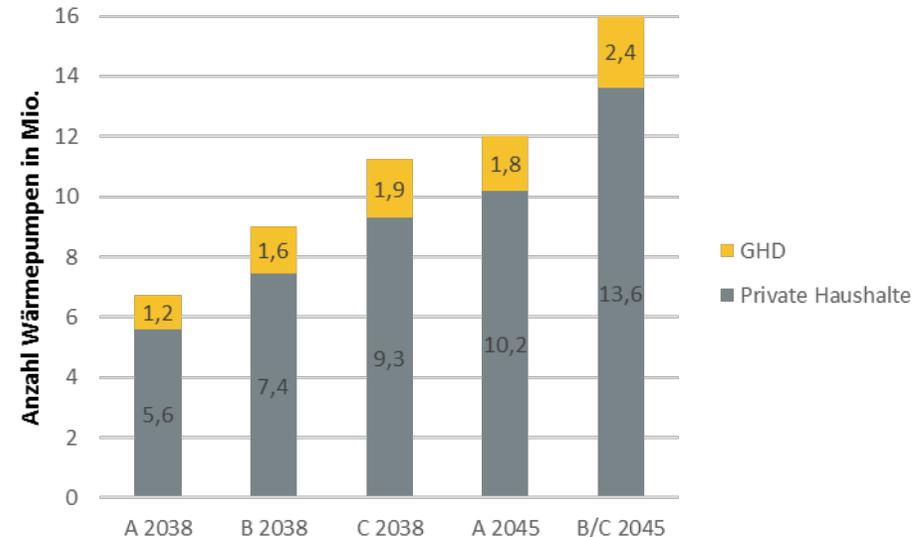
- Wärmebedarf (Sanierung) sinkt in den Szenarien gleichermaßen (sowohl GHD als auch Haushalte)
- Deckung durch **Wärmepumpen** und **Fernwärme**, teilweise Biomasse

- In Szenarien B und C langfristig kein Einsatz von Biomethan und/oder Wasserstoff in dezentralen Heizungen
- In Szenario A kleine Anteile von Erdgas und/oder Wasserstoff in dezentralen Heizungen, insbesondere 2038

## ▪ Wärmepumpen:

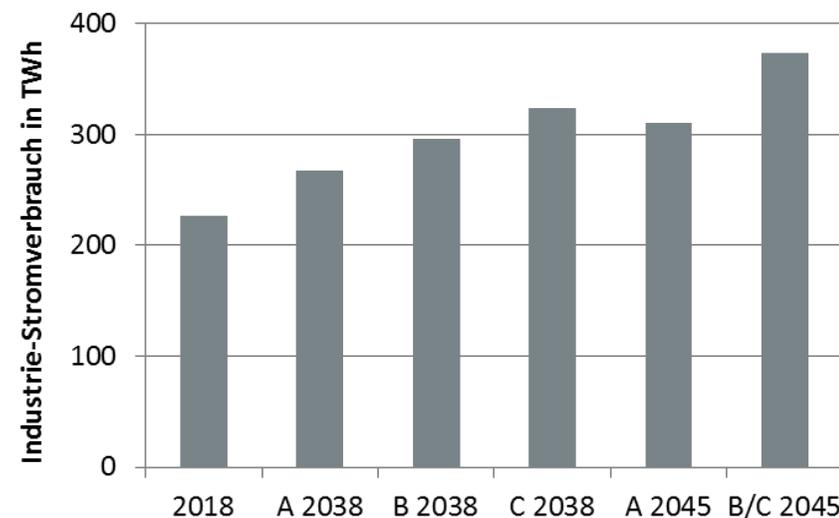
- In Szenario B und C hoher Anteil, Einsatz auch in schlechter gedämmten Gebäuden
- In Szenario A etwas geringerer Anteil, Einsatz in überwiegend gut gedämmten Gebäuden

## ▪ GHD: Viele Anschlussanfragen für **Rechenzentren**, Projekte teilweise bereits in Bau





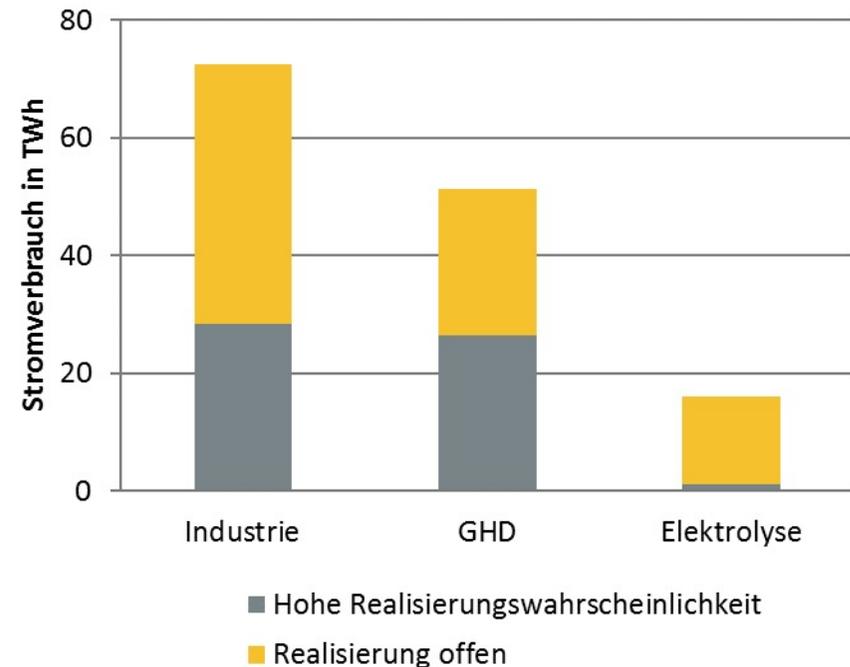
- Dekarbonisierung über verstärkten Einsatz strom- und wasserstoffbasierter Anwendungen, z. B. in Stahlindustrie oder Grundstoffchemie
- Stärkerer Fokus auf Wasserstoffanwendungen in Szenario A
- Starke **Dynamik** bei Elektrifizierung des Industriesektors
- Hohe **Unsicherheit** bei zukünftigen **Standorten** und **Höhe** der Bedarfe, zwei sich ergänzende Ansätze:
  - Bottom-up: Bekannte Netzanschlussanfragen neuer Großverbraucher
  - Top-Down: Einordnung über Studien (Produktionsmengen, Energiebedarfe) und Gesamtergebnis
- **Laufende Studie zu Lastmanagement:**
  - Durchgeführt von der *Forschungsstelle für Energiewirtschaft* und *Guidehouse*
  - Inhalt: Zukünftige Rolle, Potentiale und erwarteter Umfang von Lastmanagement in Deutschland



# Neue Stromgroßverbraucher



- **Vielzahl neuer Projekte zur Elektrifizierung der Industrie und Installation von Rechenzentren**
- **Punktuell hohe Stromnachfrage, daher erheblicher Einfluss auf Stromnetze**
- **ÜNB mit Abfrage an Verteilnetzbetreiber / Kunden zu neuen Großverbrauchern in ihren Versorgungsgebieten**
- **Ergebnisse** (vorläufiger Stand 28.09.2021):
  - Vielfach Realisierung offen, aber auch bereits sehr konkrete Projekte
  - Industrie: Elektrifizierung u. a. in Stahl-, Aluminium- oder Chemieindustrie, auch Batteriefabriken
  - GHD: Rechenzentren konzentriert auf wenige Knotenpunkte, viele Projekte bereits in Bau oder mit Netzanschlussanträgen

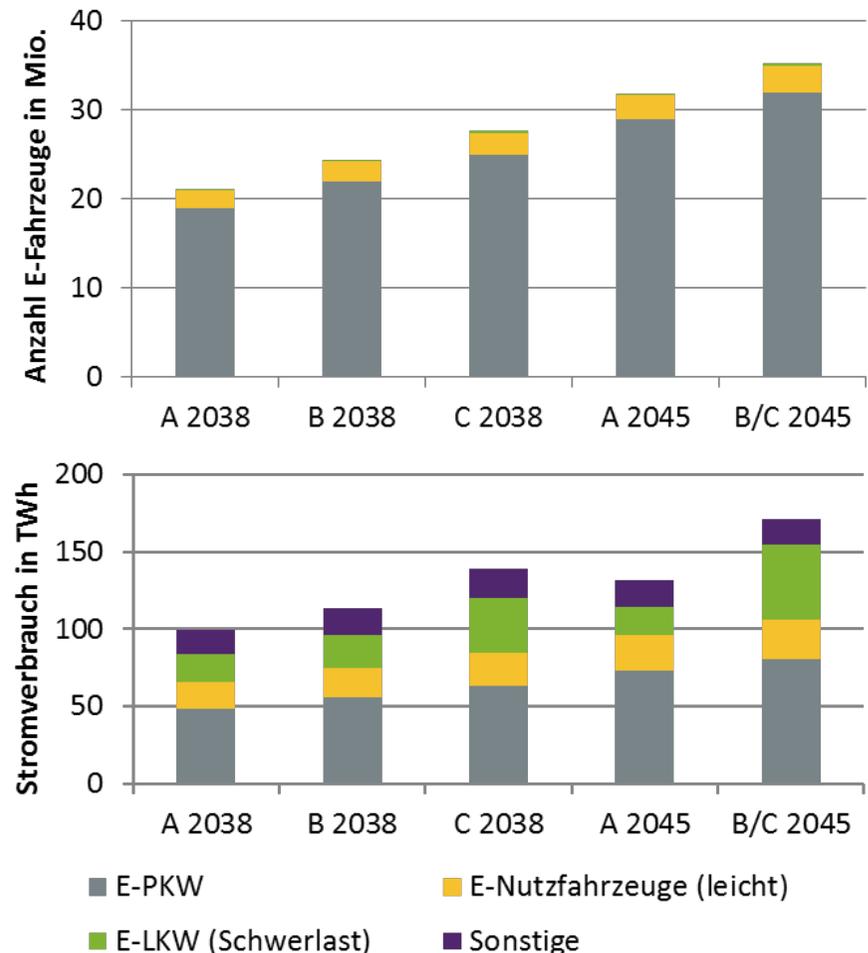


# Verkehr



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN STROM

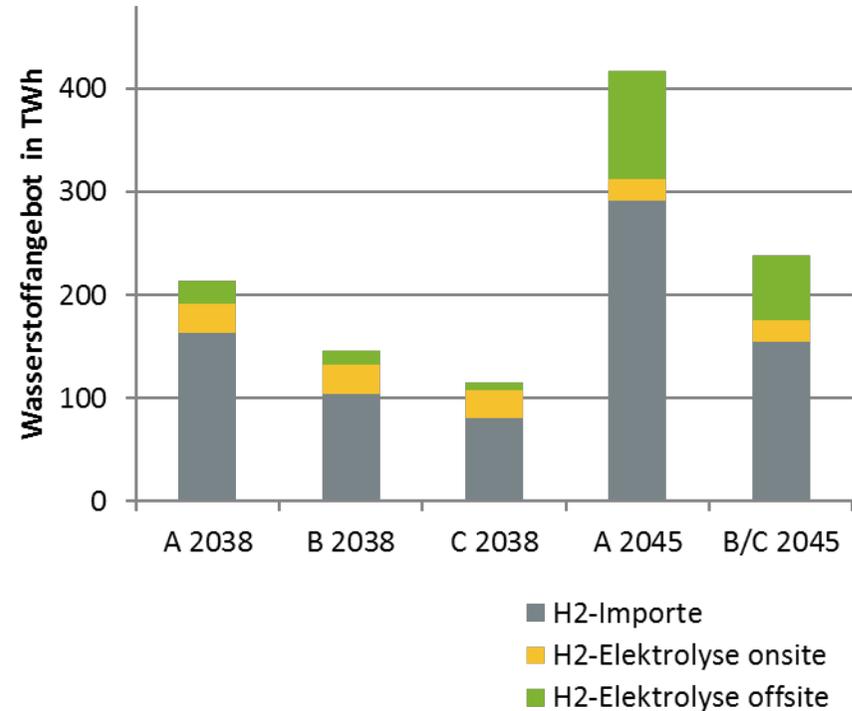
- Grundlage: Keine Unterschiede in Fahrleistungen, Personenkilometer und spezifischen Verbräuche zwischen Szenarien
- Weitestgehende Elektrifizierung des Schienenverkehrs
- Szenario A: Vermehrter Wasserstoffeinsatz in Schwerlastverkehr
- Szenarioübergreifend: Geringer Wasserstoffeinsatz im PKW-Bereich
- Flexibilisierung der Ladevorgänge und des Einsatzes von Wärmepumpen:
  - Marktorientierung: Optimale EE-Integration
  - Netzorientierung: Minimierung lokaler Verbrauchsspitzen abzgl. PV



# Power-to-Gas



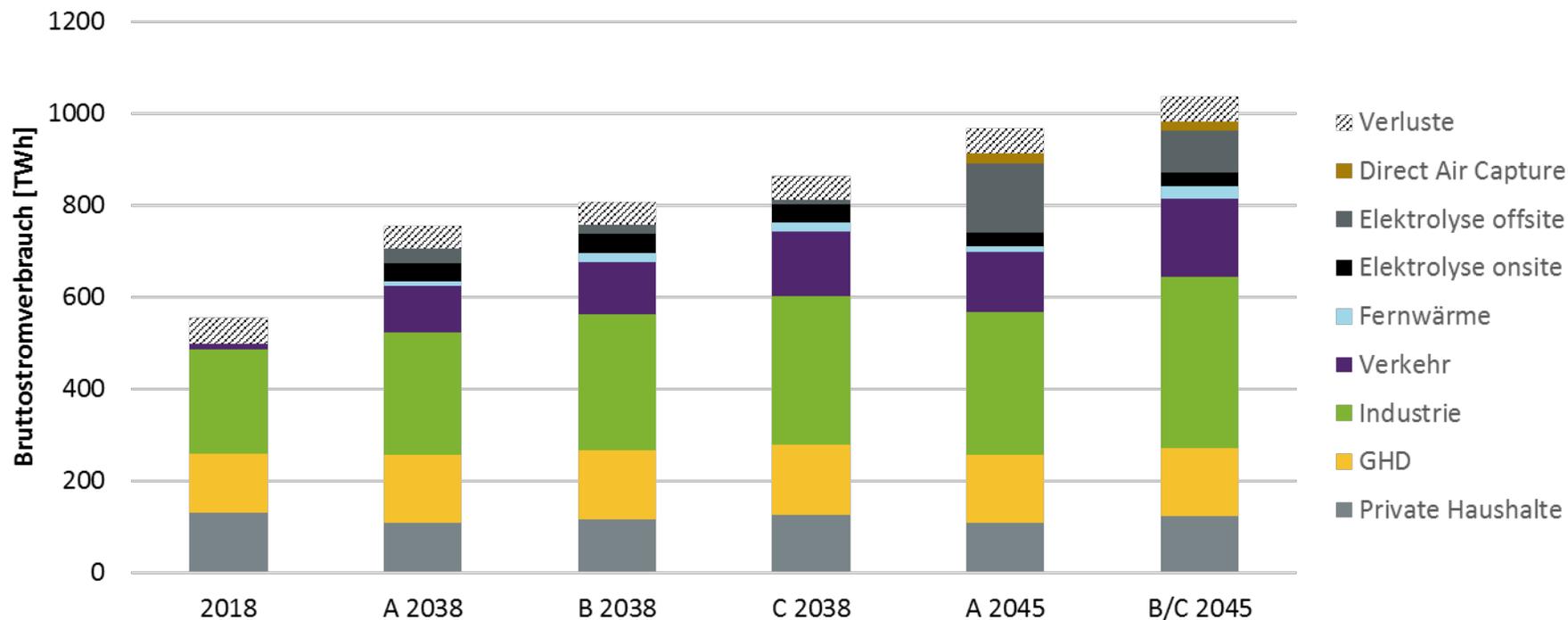
- **Wasserstoffbedarfe in Industrie, Verkehr und Stromerzeugung szenarioabhängig**
- **Bedarfsdeckung zu ca. 30% über inländische H<sub>2</sub>-Elektrolyse, zu 70% über Importe**
- **Standorte H<sub>2</sub>-Elektrolyse:**
  - Industriestandorte, z.B. Stahl und Grundstoffchemie (onsite)
  - Küstennah und Nähe zu Wasserstoffnetz bzw. Kavernenspeicher (offsite)
- **Ansatz:** Berücksichtigung von geförderten und über Anzeigen hinreichend konkreten Projekte, küstennahe Allokation weiterer Elektrolyseure
- **Einsatzverhalten:**
  - Elektrolyseure offsite marktorientiert, redispatchfähig
  - Elektrolyseure onsite überwiegend „in Dauerbetrieb“ in 2038, marktorientiert in 2045



# Gesamtüberblick



- **Szenario A:** Stärkerer Fokus auf **Wasserstoffanwendungen**, geringerer Stromverbrauch als in Szenario B
- **Szenario B:** Fokus auf **Elektrifizierung**, 45% höherer Bruttostromverbrauch in 2038 gegenüber heute
- **Szenario C:** **Schnellere Elektrifizierung** als in Szenario B, 56% höherer Stromverbrauch in 2038



# Agenda



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN **STROM**

**1.**

Politischer Rahmen  
Szenariodesign

**2.**

Stromverbrauch  
Sektorenkopplung

**3.**

Erneuerbare Energien  
Konventioneller Kraftwerkspark

# Erneuerbare Energien – installierte Leistung



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN STROM

		Bestand	NEP21	NEP 23				
		2020	B2040	A 2038	B 2038	C 2038	A 2045	B/C2045
Wind Offshore	GW	7,7	40	48	43	39	64	51
Wind Onshore	GW	54,3	89	90	100	110	130	145
PV	GW	52,4	126	220	260	300	320	390
Biomasse	GW	8,3	8	5	5	5	2	2
Laufwasser	GW	5,2	5,6	6	6	6	6	6

- Sehr hohe EE-Kapazitäten resultieren in einem **EE-Anteil von 84% bis 90%** am Bruttostromverbrauch
- **Szenario A** kann mit küstennahen Elektrolyseuren mehr Offshore-Windenergie integrieren
- **Szenario B/C** durch stärkere Gewichtung von Onshore-Wind und PV charakterisiert

# Erneuerbare Energien - Zubauraten



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN STROM

PV



Wind Onshore



Wind Offshore



## ▪ Je nach Szenario fallen die Zubau-Trajektorien unterschiedlich aus

- Szenario A und B erfordern eine sehr hohe Zubaurate von Onshore-Wind in 2038-2045
- Bis zu 15 GW/Jahr Zubau an EE-Kapazität notwendig um THG-Emissionen Richtung 2045 stark zu minimieren

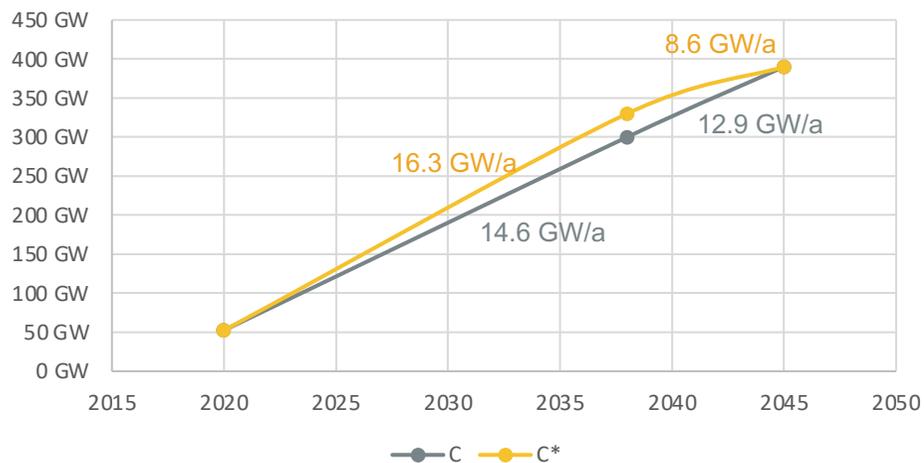
## ▪ Für 2045 ist zu erwarten, dass der aktuelle Bestand nahezu komplett ersetzt wird

# Alternative C\* - zur Diskussion

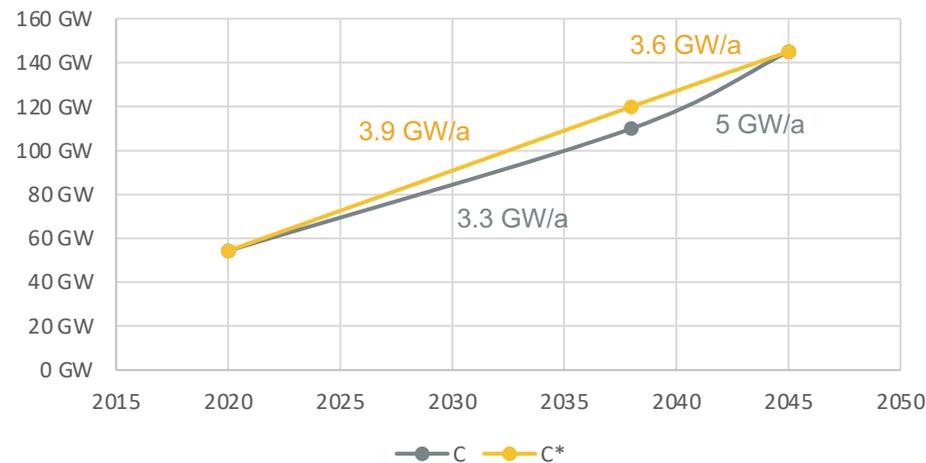


		C 2038	C* 2038	B/C2045
Wind Onshore	GW	110	120	145
PV	GW	300	330	390
Summe EE-Stromerzeugung	TWh	723	776	928
EE Anteil (am Bruttostromverbrauch)		84%	90%	90%

PV



Wind Onshore



# Erneuerbare Energien - technologische Entwicklung



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN STROM

VLS	2038	2045
Onshore	2400	2500
Offshore	4000	4000
PV	950	950

- Trend bei **Onshore**-Windenergieanlagen hin zu Schwachwindanlagen wird fortgesetzt, was zu einer Erhöhung der Volllaststunden führt
- Durch hohe **Offshore**-Kapazität kommt es zu Verschattungseffekten was die Volllaststunden limitiert
- Resultierender Energiebeitrag wird durch Effekte wie Spitzenkappung, nicht im Markt integrierbare Energie sowie das Einspeisemanagement reduziert

# Erneuerbare Energien – installierte Leistung



NETZ  
ENTWICKLUNGS  
PLAN STROM

		Bestand	NEP21	NEP 23					
		2020	B2040	A 2038	B 2038	C 2038	C* 2038	A 2045	B/C2045
Wind Offshore	GW	7,7	40	48	43	39	39	64	51
Wind Onshore	GW	54,3	89	90	100	110	120	130	145
PV	GW	52,4	126	220	260	300	330	320	390
Biomasse	GW	8,3	8	5	5	5	5	2	2
Laufwasser	GW	5,2	5,6	6	6	6	6	6	6

# Konventionelle Kraftwerke

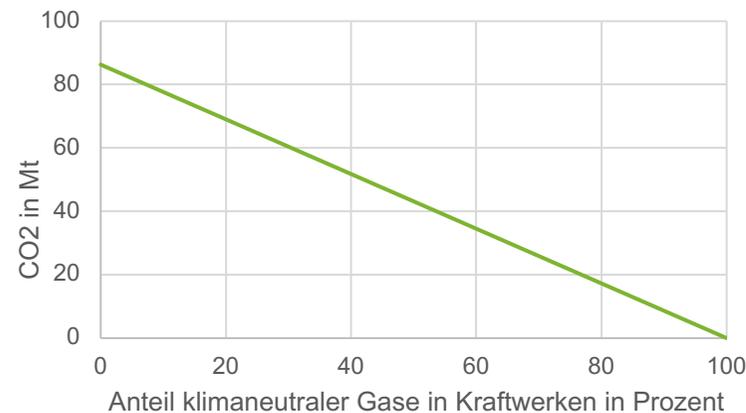


- Kernenergie- und Kohleausstieg, weiterer Rückbau nach Lebensdauer (Annahme: 45 Jahre)
- Explizite Abbildung von KWK-Ersatzneubauten (**H<sub>2</sub>-ready**)
- Konventionelle Kraftwerksleistung insgesamt **unter 50 GW** (heute: ca. 85 GW)
  - Für Versorgungssicherheit vermutlich nicht ausreichend,  
für zusätzliche Kraftwerke allerdings keine Standorte (Regionalisierung) bekannt
- **Annahme von weiterer Kraftwerksleistung, die über ganz Deutschland verteilt in der Nähe des Stromverbrauchs steht (H<sub>2</sub>-ready)**
  - Größenordnung Kraftwerksleistung aus externen Studien (z.B. TYNDP, KNDE, LFS)
- **Vorschlag: Keine Unterschiede in der Modellierung zwischen Wasserstoff und Erdgas**
  - schwer abschätzbar, wo Wasserstoff zuerst zum Einsatz kommt
  - Annahme ähnlicher Grenzkosten in 2038

# CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion



- **Bislang: Vorgabe einer Obergrenze für CO<sub>2</sub>-Emissionen und**
  - a) Erhöhung des nationalen CO<sub>2</sub>-Preises zur Einhaltung der Obergrenze *oder*
  - b) Ausweisung eines notwendigen Anteils klimaneutraler Gase in Kraftwerken (NEP21 B2040 ca. 40%)
- **Vorschlag: Keine Vorgabe einer Obergrenze für CO<sub>2</sub>-Emissionen im NEP23, stattdessen szenariospezifisches Diagramm (exemplarisch):**



# Überblick Szenariokennzahlen



		NEP21	NEP 23					
		B2040	A 2038	B 2038	C 2038	C* 2038	A 2045	B/C2045
Wind Offshore	GW	40	48	43	39	39	64	51
Wind Onshore	GW	89	90	100	110	120	130	145
PV	GW	126	220	260	300	330	320	390
Biomasse	GW	8	5	5	5	5	2	2
<b>Summe EE-Stromerzeugung</b>	<b>TWh</b>	<b>532</b>	<b>637</b>	<b>679</b>	<b>723</b>	<b>776</b>	<b>874</b>	<b>928</b>
E-PKW	Mio	14	19	22	25	25	29	32
Leichte E-Nutzfahrzeuge	Mio	*	2	2,2	2,4	2,4	2,6	2,9
E-LKW	Mio	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4
Wärmepumpen	Mio	6,5	7	9	11	11	12	16
Power-to-Gas onsite	GW	10,5	8	8	8	8	10	10
Power-to-Gas offsite	GW	0	16	10	5	5	50	30
<b>Bruttostromverbrauch</b>	<b>TWh</b>	<b>704</b>	<b>755</b>	<b>807</b>	<b>862</b>	<b>862</b>	<b>967</b>	<b>1037</b>
<b>EE-Anteil<sup>1</sup></b> (am Bruttostromverbrauch)		<b>76%</b>	<b>84%</b>	<b>84%</b>	<b>84%</b>	<b>90%</b>	<b>90%</b>	<b>90%</b>

<sup>1</sup>Der EE-Anteil enthält nicht die Stromerzeugung von mit Wasserstoff betriebenen Kraftwerken. Beide 2045er Szenarien sind klimaneutral.