

# Dezentrale Wärmeversorgung in einem klimaneutralen Deutschland

Die Rolle der Wärmepumpe in einem 100 % erneuerbaren Stromsystem gegenüber Wasserstoffheizungen

# Der Weg zur Klimaneutralität

Die Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“<sup>1</sup> zeigt einen möglichen Weg auf, wie Deutschland seine Klimaziele 2045 erreichen kann. Dieser Weg entspricht einer **Transformation der Energiewirtschaft** und der Verbrauchssektoren auf Basis **erneuerbarer Energie** und **effizienter Anwendungstechnologien**, die in vielen Teilen bereits begonnen hat, zur Zielerreichung aber konsequent fortgesetzt und beschleunigt werden muss.

Eine zentrale Säule bildet der **Umbau des Stromsystems** hin zu einer auf erneuerbaren Energiequellen basierenden Erzeugung. Dieser Umbau umfasst in der Stromerzeugung den deutlichen Ausbau der dargebotsabhängigen Erzeugungskapazitäten für Strom aus Wind und Sonne. Parallel ist der Um- und Aufbau von klimaneutralen Kapazitäten zur Bereitstellung regelbarer Erzeugung und Speicherkapazitäten und der Ausbau der Austauschkapazitäten innerhalb der EU notwendig, um die **Residuallast** decken zu können. Der Einsatz fossiler Energieträger zur Stromerzeugung wird dadurch beendet.

In den Nachfragesektoren bedeutet die Transformation weitere Effizienzfortschritte in der Energienutzung und den konsequenten **Ersatz fossiler Energieträger durch effiziente Anwendungen**. Strombasierte Anwendungen haben hier zwei entscheidende Vorteile: sie sind hocheffizient und bieten aufgrund ihrer Speichermöglichkeiten ein **Flexibilisierungspotenzial** zur Integration von erneuerbarem Strom, zum Beispiel elektrische Wärmepumpen zur Wärmebereitstellung oder batterieelektrische Antriebe für die Mobilität.

Der **Wärmesektor** ist ein zentraler Teil des zukünftigen Flexibilitätpotenzials. Wärme kann in Wärmespeichern kostengünstig zwischengespeichert werden und **Wärmepumpen** bieten eine technologisch reife Möglichkeit einen Großteil der Wärme aus Umweltwärme bereitzustellen. Kombiniert mit der fortschreitenden Sanierung des Gebäudebestands treten bei weiterer Durchdringung mit Wärmepumpen somit zwei Effekte ein: der Endenergieverbrauch im Wärmemarkt sinkt deutlich und bietet eine zunehmende Integrationsmöglichkeit dargebotsabhängiger Energiemengen aus dem Strommarkt.

# Motivation

Im Szenario „Klimaneutrales Deutschland 2045“ (KNDE2045) sind im Jahr 2045 **14 Millionen Wärmepumpen in Deutschland installiert.**

Die vorliegende Analyse ordnet die Rolle der **Wärmepumpen gegenüber Wasserstoffthermen** in dezentraler Wärmeerzeugung auf Basis von KNDE2045 ein. In diesem Zusammenhang sollen die **folgenden Fragen beleuchtet werden:**

**A** **Erfordert ein Stromsystem** mit einem hohen Anteil Erneuerbarer Energien und einem deutlich höheren Strombedarf nicht auch eine **deutlich höhere regelbare Kraftwerksleistung?** 

**B** Ist der **Einsatz von Wasserstoffheizungen statt Wärmepumpen** dazu geeignet, die Effizienz des Gesamtsystems zu erhöhen und lässt sich dadurch die **Residuallast deutlich senken?** 

# Vorgehen

1

**Einordnung von Spitzen- und Residuallast aufgrund der Transformation des Stromsystems**

2

**Die Rolle der Wärmepumpen gegenüber Wasserstoffheizungen am Beispiel KNDE 2045**

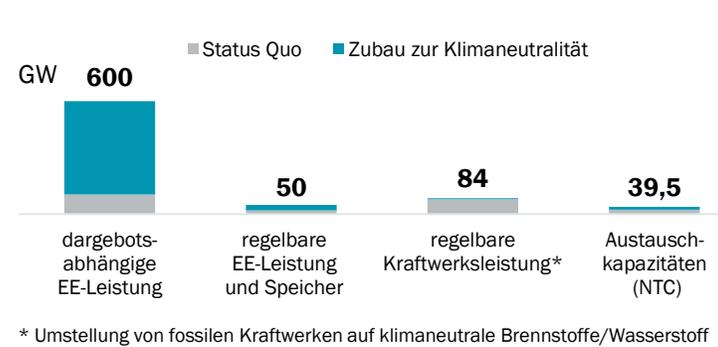
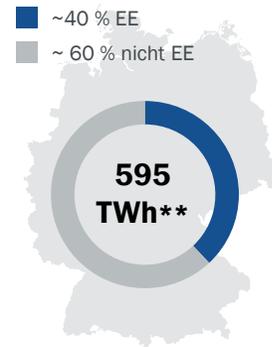
# Transformation des Stromsystems zur Klimaneutralität

## Die zentralen Maßnahmen der Transformation des Stromsystems zur Klimaneutralität sind

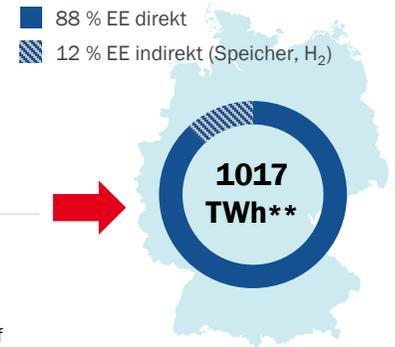
- Ein deutlicher Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung,
- Um-/Zubau regelbarer klimaneutraler Erzeugung sowie Speicherkapazitäten,
- Ausbau der Europäischen Austauschkapazitäten an Netzkoppelpunkten (NTC),
- Weitere Effizienzsteigerung in der Stromverwendung,
- Flexibilisierung der Stromnachfrage, insbesondere der neuen Verbraucher im Wärme- und Verkehrssektor, sowie in Elektrolyse und Demand-Side-Management der Industrie.

1. Die installierte Leistung wird für erneuerbare Erzeugung, Speicher und NTC deutlich ausgebaut. Die regelbare Leistung bleibt etwa konstant, muss aber klimaneutral werden (Wasserstoff statt fossiler Energieträger).

## Stromsystem DE heute

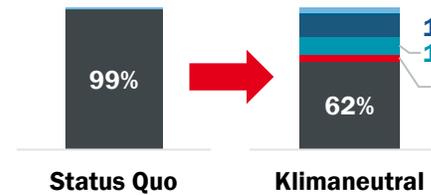


## Stromsystem KNDE2045



2. Die Flexibilisierung der Nachfrage verändert die Nachfragecharakteristik.

- Überwiegend **inflexible** Stromnachfrage
- Kaum unterbrechbare Verbrauchseinrichtungen
- Keine zuschaltbaren Verbrauchseinrichtungen



- Inflexible Stromnachfrage auf Niveau von heute
- Hohe Positive und negative **Nachfrageflexibilität**
- Neue flexible Verbraucher (Elektrofahrzeuge, **Wärmepumpen**, Elektrolyse, Demand-Side-Management)

- Pumpspeicherverbrauch
- DAC
- Elektrolyse
- flexible Mobilität
- flexible Wärmepumpe
- inflexibler Verbrauch

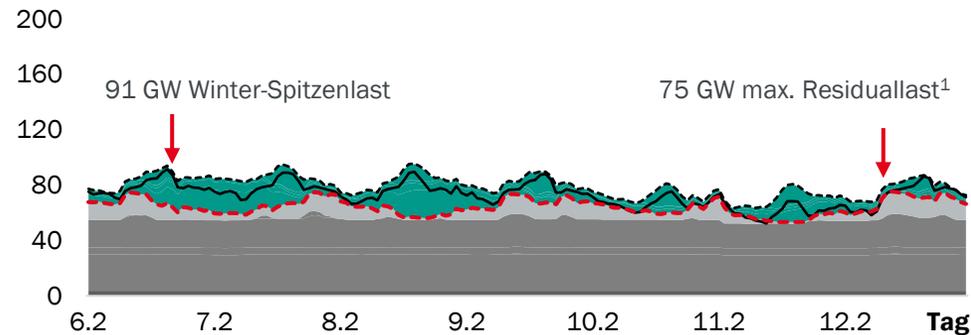
3. Der Anteil der regelbaren Erzeugung sinkt deutlich, die dargebotsabhängige Erzeugung aus erneuerbarem Strom deckt ca. 87 % der Nachfrage.



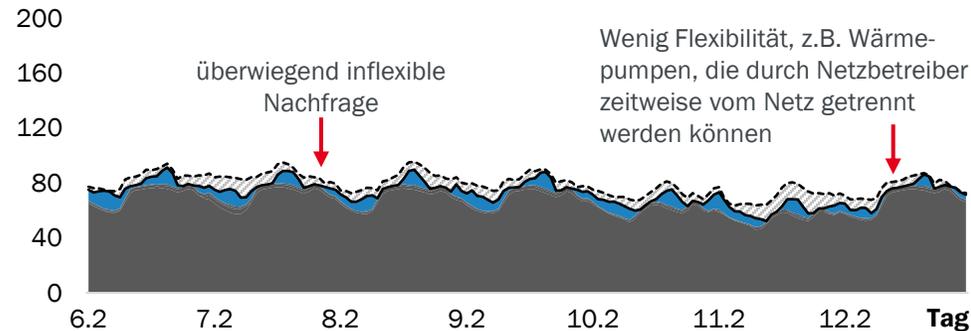
# Die erneuerbare Erzeugung gibt zunehmend den Takt vor

## Kritische Winterwoche 2022

Erzeugung in GWh/h

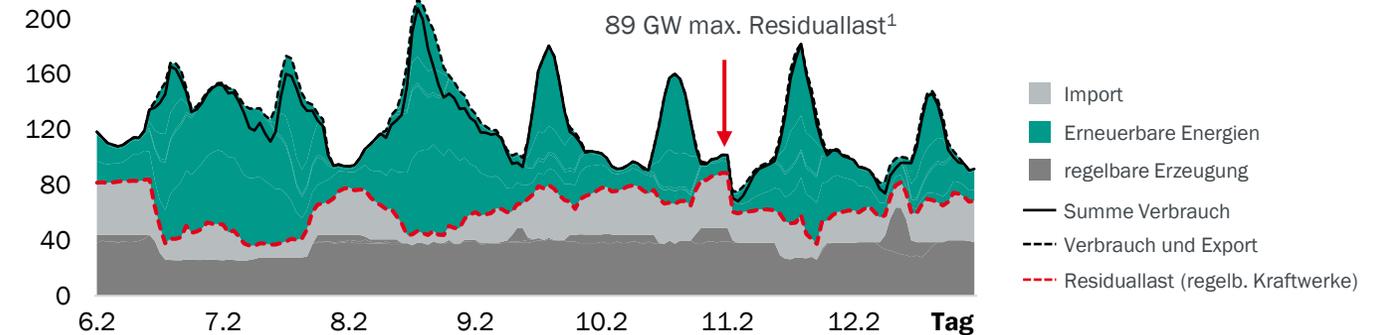


Nachfrage in GWh/h

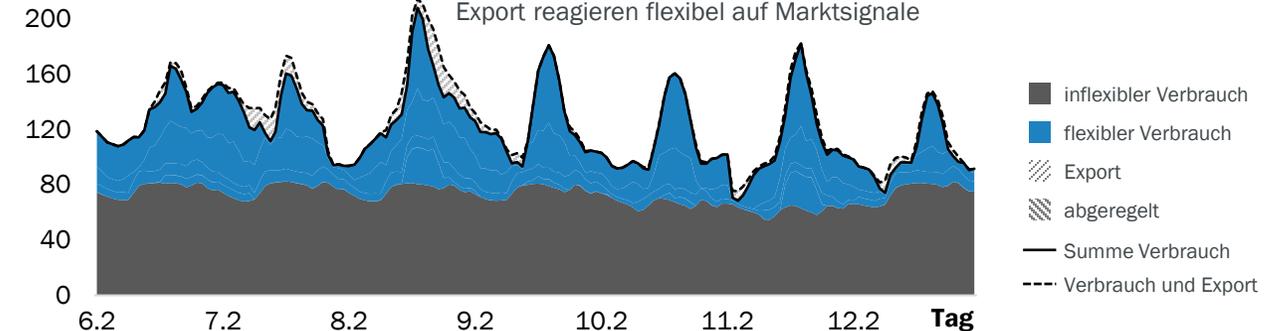


## Kritische Winterwoche klimaneutral 2045

Erzeugung in GWh/h

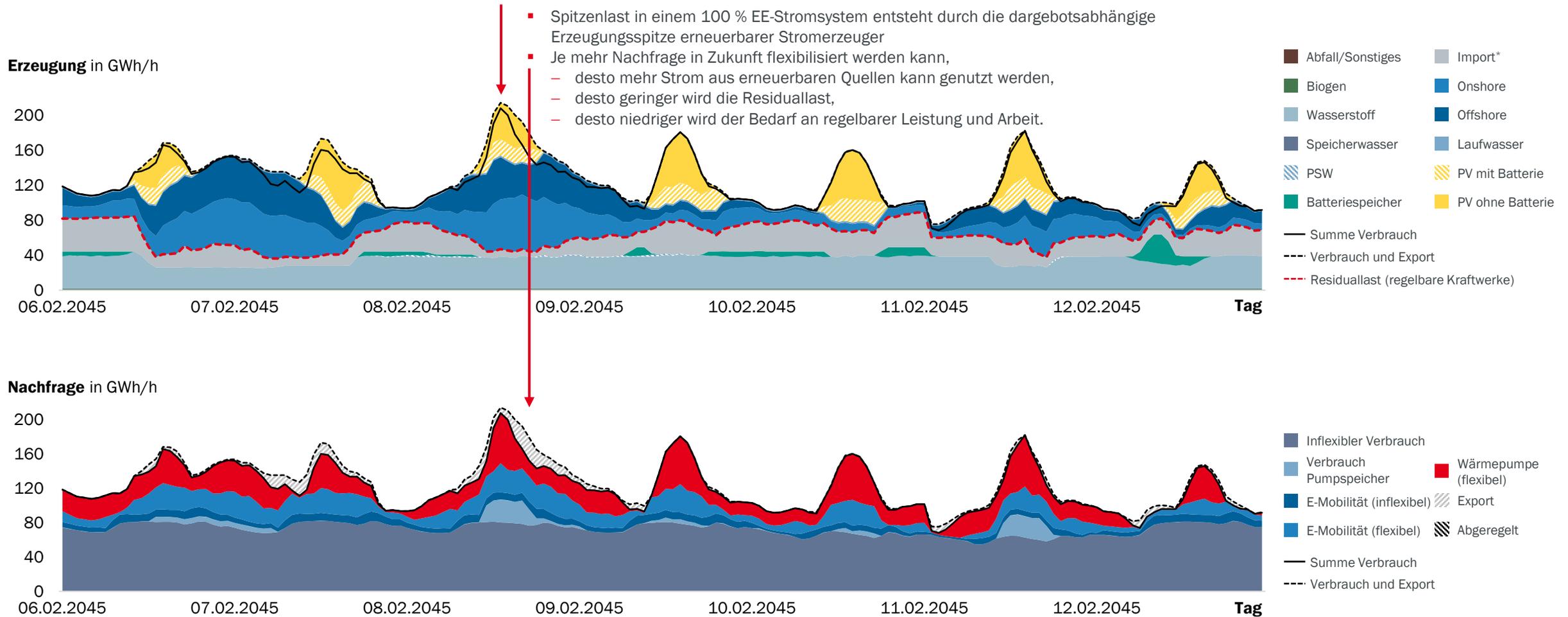


Nachfrage in GWh/h



Dargestellt ist das Ergebnis der Strommarktssimulation einer kritischen Winterwoche 2022 und 2045 auf Basis des Wetterjahres 2012

# Spitzenlast

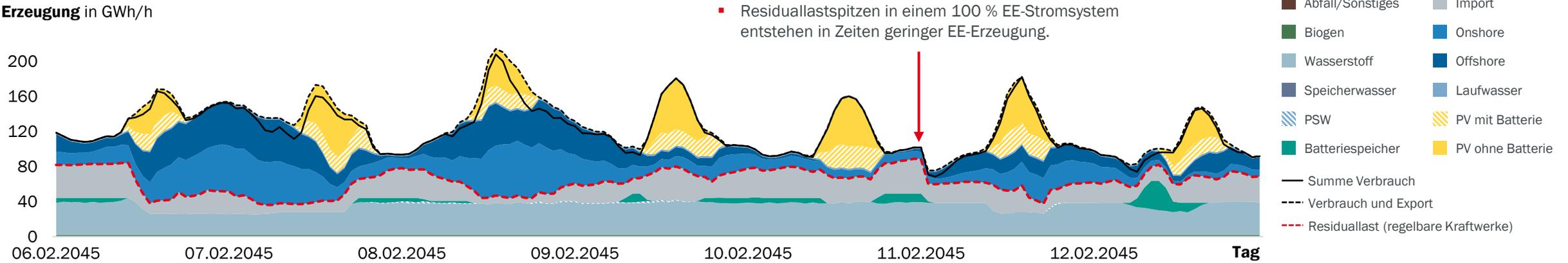


Dargestellt ist das Ergebnis der Strommarktsimulation einer kritischen Winterwoche im Szenario KNDE2045

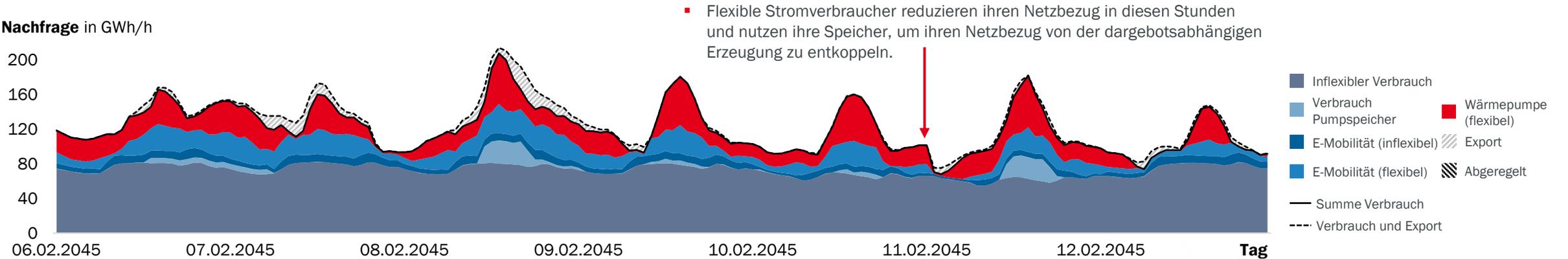
\*Anteil der Importe hängt von Wirtschaftlichkeit ggü. inländischer regelbarer Leistung ab.

# Residuallast

Erzeugung in GWh/h



Nachfrage in GWh/h



Dargestellt ist das Ergebnis der Strommarktsimulation einer kritischen Winterwoche im Szenario KNDE2045

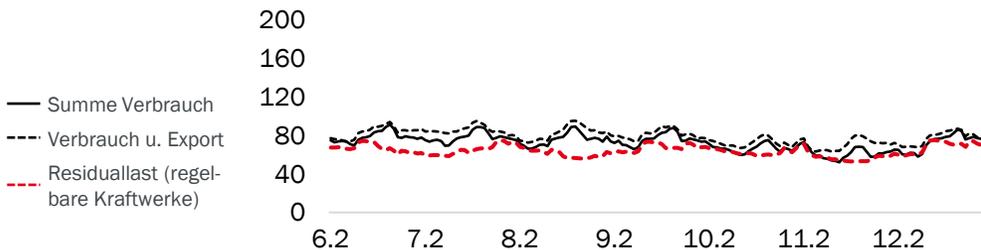
\*Anteil der Importe hängt von Wirtschaftlichkeit ggü. inländischer regelbarer Leistung ab.

# Die maximale Residuallast steigt um rund 20 %

## Stromsystem DE 2022

<b>Bruttostromverbrauch</b>	Stromnachfrage seit 20 Jahren auf dem Niveau von 550 bis 620 TWh/a	600 TWh
<b>Spitzenlast</b>	Zeitpunkt der höchsten Stromnachfrage (Jahreshöchstlast) ist statistisch <b>am frühen Abend im Winter</b>	91 GW
<b>maximale Residuallast</b>	Zeitpunkt der höchsten Nachfrage an steuerbarer gesicherter Leistung entspricht der inflexiblen Nachfrage abzüglich der EE-Einspeisung.	76 GW
	Absicherung durch <b>fossile Kapazitäten</b> Biomasse, Abfall, PSW, Importe	

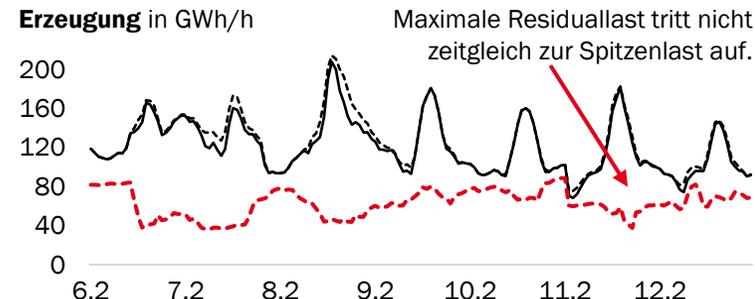
### Erzeugung in GWh/h



## Klimaneutrales Stromsystem KNDE 2045

	Stromnachfrage steigt aufgrund Ersatz fossiler Anwendungen durch Stromanwendungen auf ein Niveau von 1000 TWh	1017 TWh
	Zeitpunkt der höchsten Stromnachfrage orientiert sich flexibel am <b>Zeitpunkt höchster EE-Stromproduktion und fällt in den Sommer.</b>	269 GW
	Zeitpunkt der höchsten Nachfrage an steuerbarer gesicherter Leistung entspricht der inflexiblen Nachfrage* abzüglich der EE-Einspeisung	92 GW
	Absicherung durch <b>Wasserstoff</b> , Biomasse, Abfall, PSW, <b>Batteriespeicher</b> , Importe	

### Erzeugung in GWh/h



- Der notwendige Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung erhöht die Spitzenlast nahezu um den Faktor 3.
- Um diese Strommengen möglichst effizient zu integrieren sind Netzausbau und Flexibilisierung der Stromnachfrage wichtige Hebel.
- Flexible neue Stromverbraucher in den Sektoren Wärme, Verkehr und Industrie sind hocheffiziente und effektive Lösungen zur Integration von EE-Strom.
- Die maximale Residuallast steigt um ca. 20 % und muss in Zukunft klimaneutral bereitgestellt werden.

Basis der Ergebnisse ist die Strommarktsimulation einer kritischen Winterwoche im Szenario KNDE2045 für 2022 und 2045.

# Zwischenfazit

Der Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung und der Markthochlauf von Stromanwendungen in den Bereichen Wärme, Verkehr und Industrie müssen zum Gelingen der Transformation zur Klimaneutralität Hand in Hand wirken. Auch bei deutlich **steigenden Kapazitäten der erneuerbaren Stromerzeuger**, insbesondere Photovoltaik und Windenergie, können zukünftige Erzeugungsschwankungen ausgeglichen werden, und zwar durch die **Flexibilisierung der Nachfrage**. Hierzu stehen flexible Anwendungstechnologien, wie z.B. **Wärmepumpen** und **Elektrofahrzeuge** vor einem beschleunigten Markthochlauf. Ausbau und Anpassungen der **Netzinfrastruktur** vorausgesetzt – können flexible Verbraucher auf Marktsignale reagieren und ihre **Speicherkapazitäten** nutzen, um kurz- und mittelfristige Schwankungen im Angebot der erneuerbaren Energien auszugleichen.

Die **Spitzenlast** im Stromsystem wird weiter steigen, jedoch nicht zwangsläufig aufgrund steigender Nachfrage, sondern durch den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Je mehr diese ausgebaut und integriert (also nicht abgeregelt) werden, desto höher sind zukünftige Spitzenerzeugungen zu erwarten. Netzausbau und Netzsteuerung sind dazu eine Voraussetzung.

Zunehmend wichtig wird der Teil der Last, der nicht durch die dargebotsabhängige Erzeugung aus Wind und PV gedeckt werden kann, die **Residuallast**. Sie muss durch **regelbare Erzeugung** abgesichert werden und steigt in der Größenordnung von ca. 20 % ggü. heutigem Niveau an, leistet in Zukunft aber nur noch etwa ein Drittel der Arbeit wie heute, trotz Zunahme der Stromnachfrage in der Größenordnung von 70 %. **Zur Absicherung der Residuallast** müssen regelbare Erzeuger wie Wasserstoffkraftwerke und Batteriespeicher aufgebaut werden.

Die Flexibilisierung der Nachfrage hat Einfluss auf die notwendige Residuallastabsicherung. „Je mehr Stromnachfrage flexibilisiert wird, umso besser kann Versorgungssicherheit gewährleistet werden. Jedes MW smarte, intelligente Nachfrageflexibilität trägt dazu bei, den Zubaubedarf von steuerbarer gesicherter Leistung zu mindern.“ (BDEW)<sup>1</sup>

# Vorgehen

1

Einordnung von Spitzen- und Residuallast aufgrund der Transformation des Stromsystems

2

**Die Rolle der Wärmepumpen gegenüber Wasserstoffheizungen am Beispiel KNDE 2045**

# Wärmepumpen können einen Teil der Nachfrage flexibilisieren

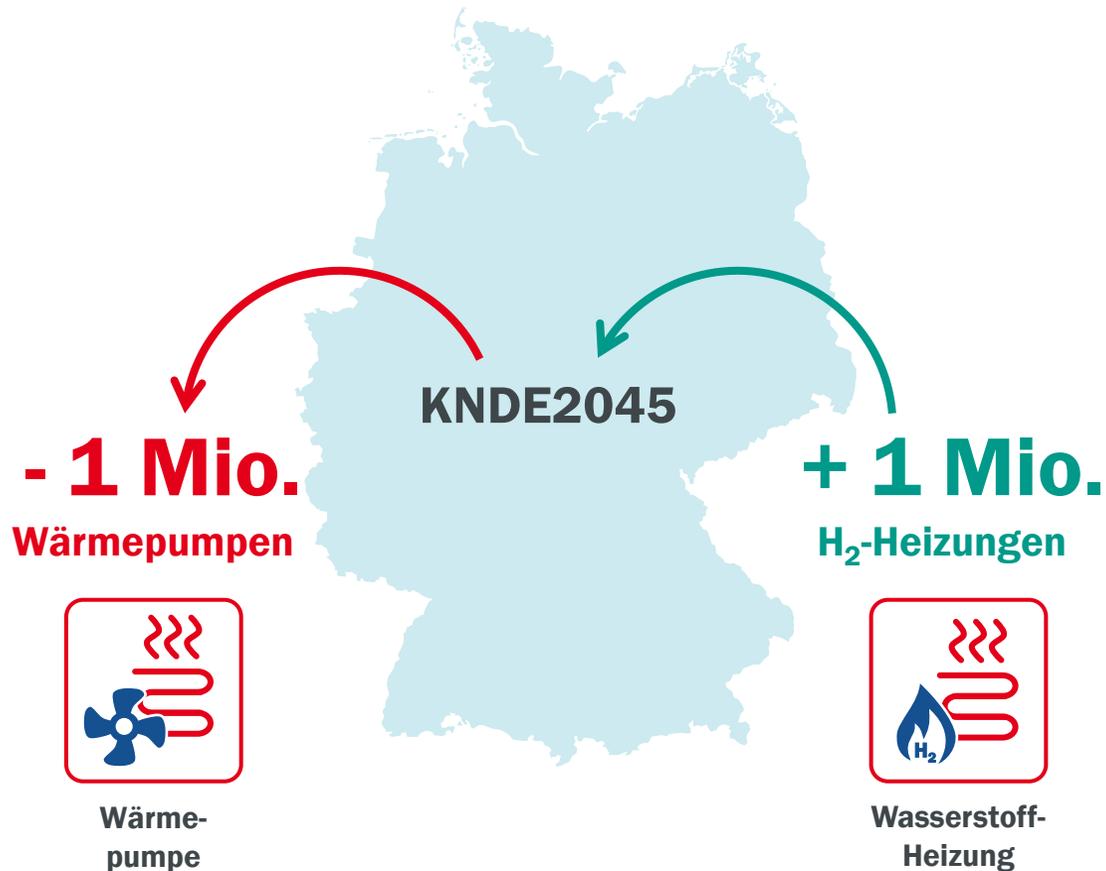
**Wärmepumpen** und andere Strom-zu-Wärme-Anwendungen bieten großes Flexibilisierungspotenzial. Als **stationäre** Geräte sind sie üblicherweise mit zwei **trägen thermischen Speichermassen** verbunden: 1. **Warmwasserspeicher** als Puffer für die Warmwasser und Heizkreisversorgung und 2. die **Gebäudemasse**, also die Mauern, Zwischendecken und sonstige beheizte Materie des Gebäudes, das sie versorgen. Diese Massen lassen je nach Qualität der Gebäudehülle und Nachfrageprofil ein Aussetzen über mehrere Stunden bis Tage zu, ohne dass die Nutzung dadurch eingeschränkt wird. Auch **Leistungsmodulation** ist bei heutigen Wärmepumpen Standard, sodass mit entsprechender Steuerung auch die Taktung der Wärmepumpe optimiert bzw. minimiert werden kann.

Im **Dreiklang** aus erneuerbarem **Strom, flexibler Steuerung** und ihrer **hohen Effizienz** aufgrund der Nutzung von **Umweltwärme** bietet die Wärmepumpentechnologie optimale Voraussetzungen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung, sowohl auf Einzelobjektebene im Gebäudesektor, als auch in Großanwendungen wie Nah- und Fernwärmenetze oder Industrierwärme.

Als alternativen Pfad zur klimaneutralen Wärmeversorgung skizzieren einzelne Stakeholder die dezentrale **Wärmeversorgung mit Wasserstoffheizungen**. Offenkundige Nachteile sind die geringere Effizienz und hohe sowie unsichere Brennstoffkosten. Als möglicher Vorteil kann ein geringerer Stromverbrauch (durch weniger Wärmepumpen) und dadurch ein geringerer Bedarf an Residuallast vermutet werden.

Welche Implikationen ein verminderter Ausbaupfad der Wärmepumpen auf das Stromsystem hat und in welchem Fall mehr Wasserstoff benötigt wird, ist Teil der nachfolgenden Analyse auf Basis des Szenarios KNDE2045<sup>1</sup>.

# Wasserstoffheizungen statt Wärmepumpen?



## Welchen Einfluss hat die Versorgung eines Teils der dezentralen Wärmeversorgung durch Wasserstoffheizungen statt Wärmepumpen auf das klimaneutrale Stromsystem?

Zur Beantwortung dieser Frage wurde eine Sensitivität des Szenarios modelliert, in der die Anzahl der strombetriebenen Wärmepumpen von 14 auf 13 Mio. reduziert ist. Damit sind 7% weniger Wärmepumpen im System, die aus Gebäuden mit überdurchschnittlichem Wärmebedarf entfernt wurden, wodurch sich der Strombedarf in dieser Sensitivität um 9% reduziert.

Die stündliche Modellierung dieser Sensitivität im Prognos-Strommarktmodell und der Vergleiche mit dem Basisszenario KNDE2045 ermöglicht ein vertieftes Verständnis der Rolle der Wärmepumpen in einem klimaneutralen Stromsystem.

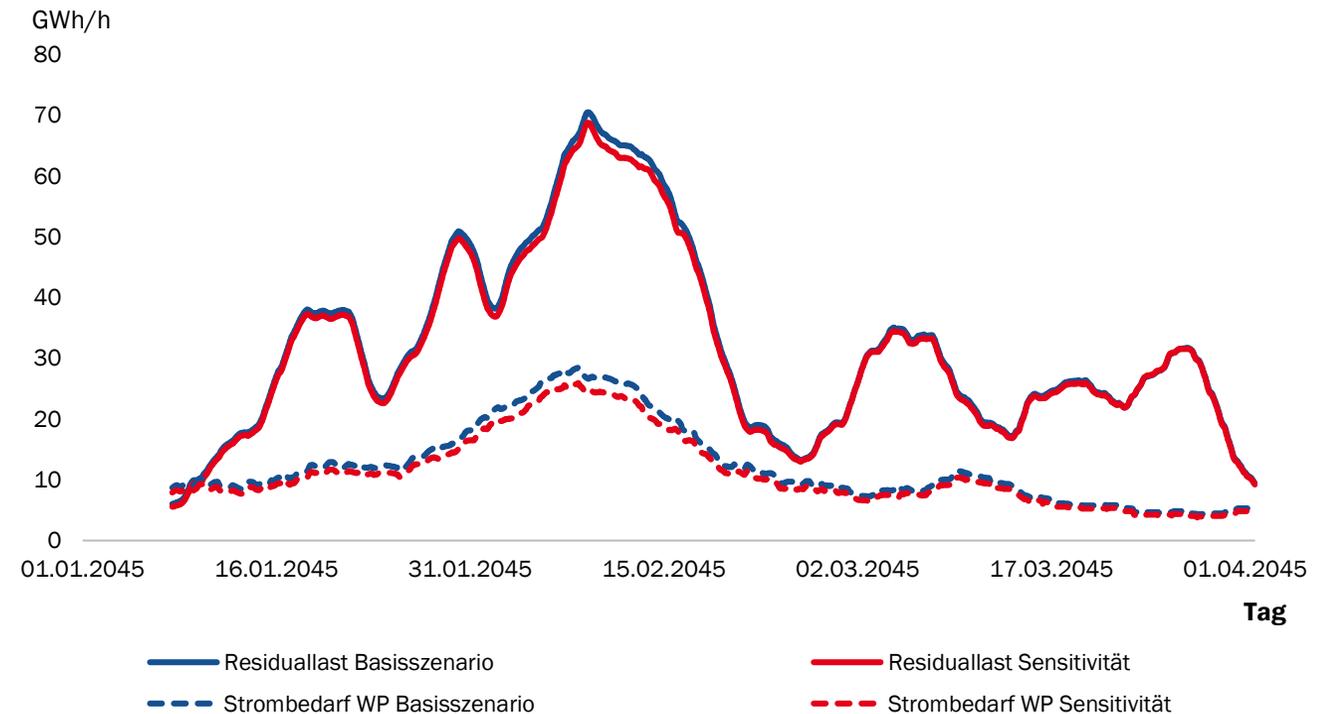
Der Fokus der Analyse richtet sich auf die kritischen Situationen im Hinblick auf die maximale **Residuallast** und Spitzenlast und die Veränderungen in Bezug auf **Abregelung, Im- und Exporte, Stromverbrauch** und **Wasserstoffeinsatz**.

# Residuallastsituationen – Betrachtung längerer Zeiträume

- Der maximale 7-Tagesmittelwert der Residuallast (inkl. Strombedarf für Stromexport) tritt in der zweiten Februarwoche auf.
- Die dort auftretende maximale Residuallast im 7-Tagesmittel sinkt bei eine Million weniger Wärmepumpen von 70,5 GWh/h auf 68,8 GWh/h
- In dem Zeitraum dieser Woche sinkt der residuale Strombedarf in der Sensitivität um 0,28 TWh.

→ In den Zeiten hoher Residuallast wird die Stromerzeugung durch Importe, Speicher und Wasserstoff-Kraftwerke sichergestellt.

## 7-Tagesmittelwert von Residuallast (inkl. Strombedarf für Strom-export) und Strombedarf der Wärmepumpen für Basisszenario und Sensitivität im ersten Quartal

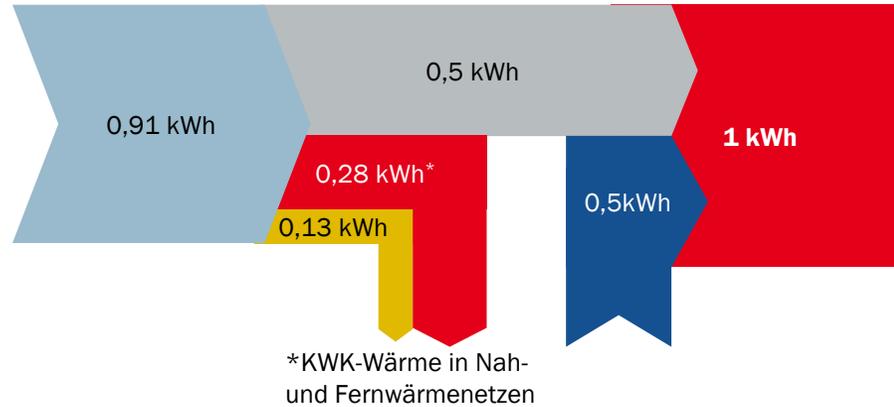


# Im Stromsystem kann Wasserstoff effizienter eingesetzt werden

→ Selbst in Situationen, in denen kein EE-Strom zur Verfügung steht, ist der Einsatz von Wasserstoff im Stromsystem und Wärmeversorgung via Wärmepumpen effizienter



## Wärmepumpe



### Annahmen:

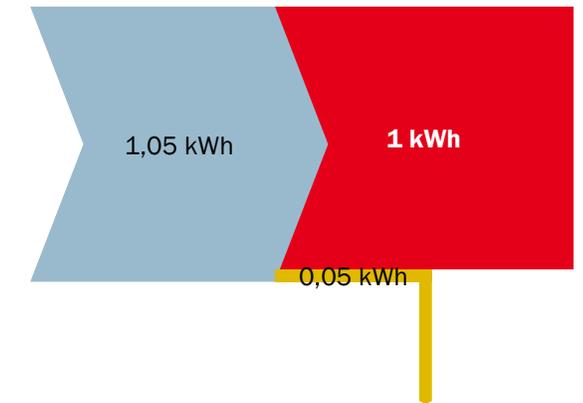
- COP Wärmepumpe: 2
- 100% Strom aus H<sub>2</sub>-KWK (GuD-Kraftwerk, (55% el. | 35% th. Wirkungsgrad, 12% Fernwärmeverluste)
- Kein EE-Strom



## Wasserstoffheizung

### Annahmen:

- Wasserstoffheizung: Abgasverluste 5 %



VS



-10 °C

Sehr kalter Wintertag



+10 °C

Frühlings-/Herbsttag

■ Wasserstoff 
 ■ EE-Strom 
 ■ Verluste 
 ■ Strom 
 ■ Umweltwärme 
 ■ Wärme

# Im Stromsystem kann Wasserstoff effizienter eingesetzt werden

→ In den häufigeren Situationen mit einem Beitrag der EE-Stromerzeugung, wird der Effizienzvorsprung des Stromsystems ggü. Wasserstoffheizungen deutlich größer



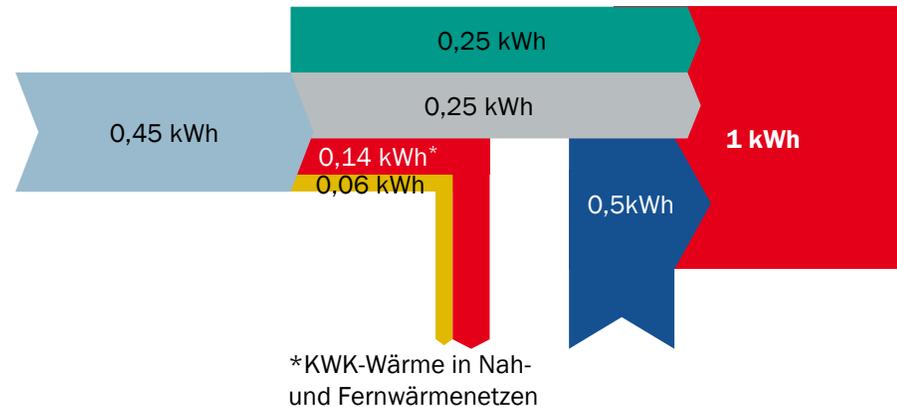
## Wärmepumpe



**Sehr kalter Wintertag**

### Annahmen:

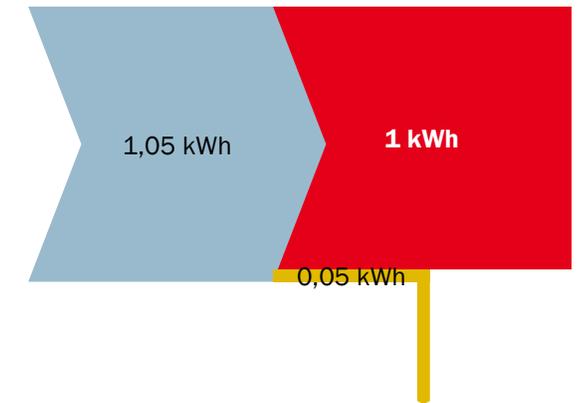
- COP Wärmepumpe: 2
- 50% Strom aus H<sub>2</sub>-KWK (GuD-Kraftwerk, (55% el. | 35% th. Wirkungsgrad, 12% Fernwärmeverluste)
- 50% EE-Strom



## Wasserstoffheizung

### Annahmen:

- Wasserstoffheizung: Abgasverluste 5 %



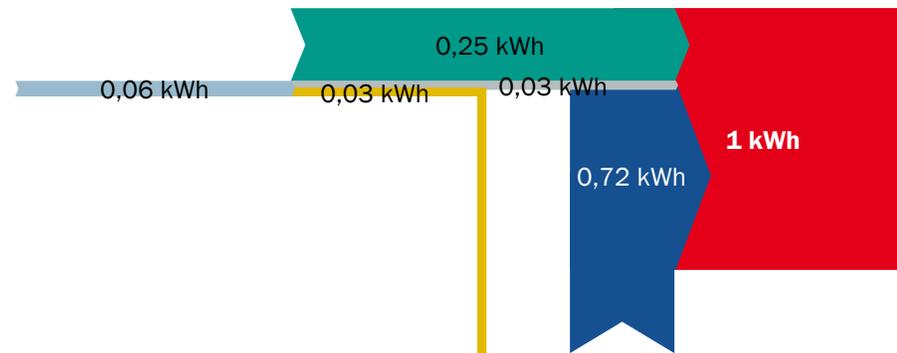
VS



**Frühlings-/ Herbsttag**

### Annahmen:

- COP Wärmepumpe: 3,6
- 10% Strom über H<sub>2</sub>-Gasmotor (45 % el. Wirkungsgrad)
- 90% EE-Strom



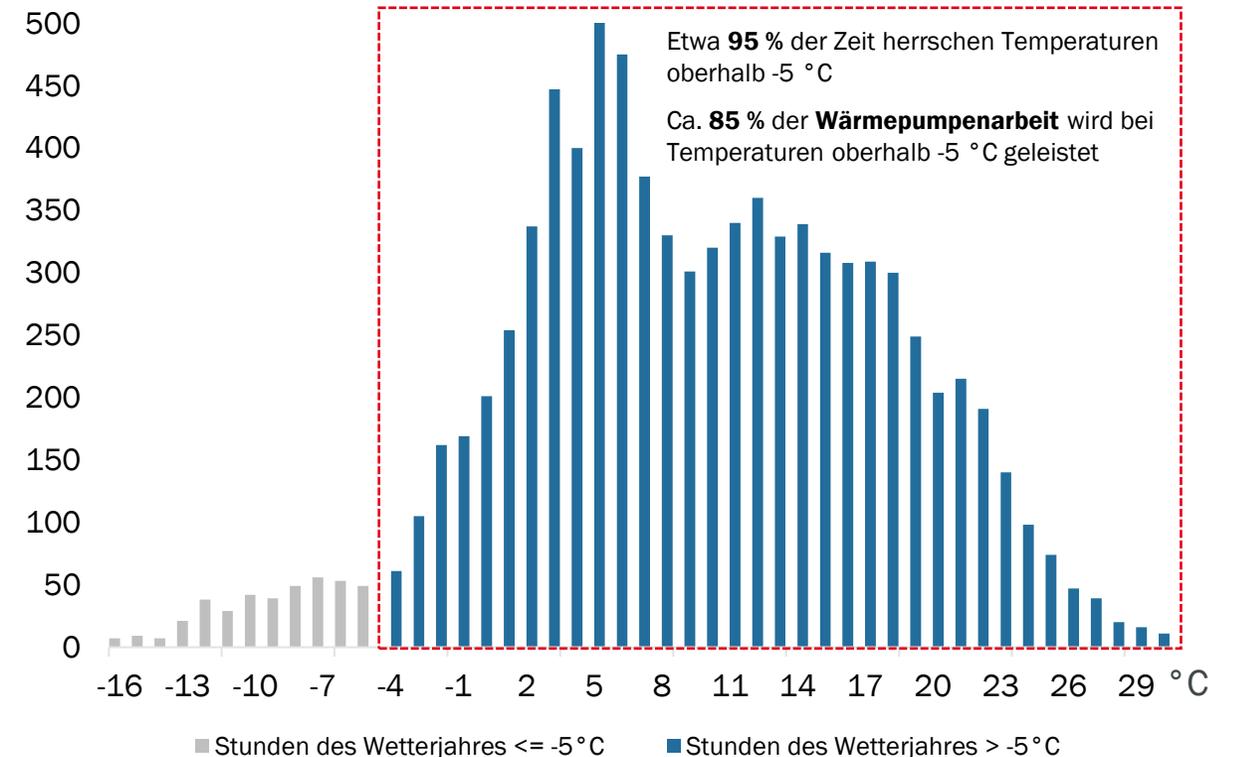
■ Wasserstoff ■ EE-Strom ■ Verluste ■ Strom ■ Umweltwärme ■ Wärme

# Wärmepumpenarbeit überwiegend bei moderaten Temperaturen

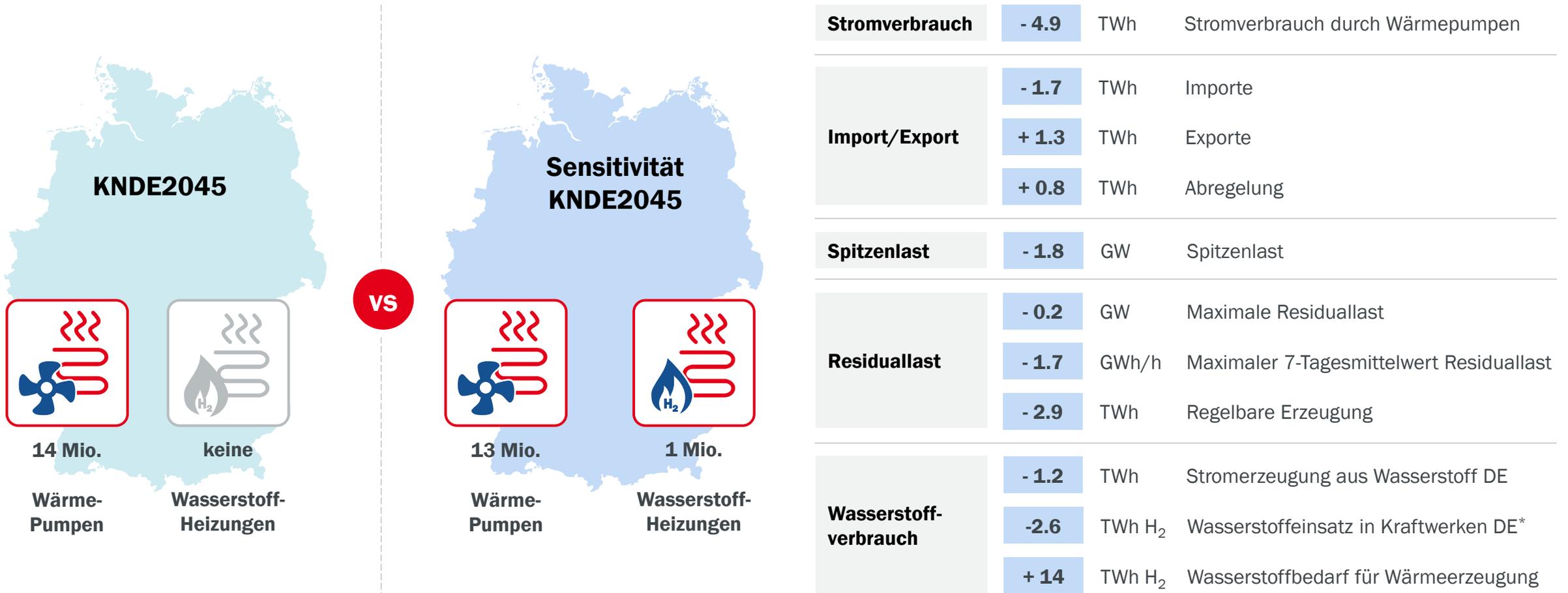
- Der überwiegende Anteil der Stunden des Wetterjahres liegt die Außentemperatur in einem moderaten Temperaturbereich, in dem elektrische Wärmepumpen besonders effizient und flexibel sind.
  - Die geringere stündliche Wärmenachfrage bei hohen Temperaturen kann zu einem großen Anteil aus erneuerbaren Energien gedeckt werden.
  - Darum können die Wärmepumpen einen Großteil ihrer Arbeit bei moderaten bis hohen Effizienzen leisten.
- Der Einsatz von Wasserstoffheizungen ist in den überwiegenden Stunden des Jahres deutlich ineffizienter als der Einsatz von Wärmepumpen, selbst wenn der Wärmepumpenstrom in wenigen Stunden des Jahres aus Wasserstoff erzeugt wird.

## Häufigkeit der Höhe der Temperatur

Anzahl Stunden im Beispieljahr 2012



# Wasserstoffheizung statt Wärmepumpen?



# Zusammenfassung

Die Ergebnisse verdeutlichen die Rolle der Wärmepumpen als flexible Verbraucher in einem erneuerbaren Stromsystem.

Mit einer Million weniger Wärmepumpen sind in der Sensitivität etwa 7% weniger Wärmepumpen als im Basisszenario. Der damit verbundene Rückgang des Strombedarfs liegt mit 4,9 TWh etwas höher bei ca. 9%, da vorwiegend Wärmepumpen in schlechter gedämmten Gebäuden mit einem überdurchschnittlichen Energiebedarf substituiert wurden.

Die Importe sinken (-1,7 TWh), Exporte steigen geringfügig (+1,3 TWh), was auf die veränderte Integrationsmöglichkeit erneuerbarer Erzeugung zurückzuführen ist, ebenso wie die Abregelung, die in Deutschland (0,8 TWh) und im EU-Ausland leicht ansteigt (0,6 TWh).

Die Maximallast der Wärmepumpen sinkt um 2 GW, ebenso wie gleichzeitige Maximallast von Wärmepumpen & Elektromobilität. Dies hat aber fast keine Auswirkung auf das Maximum der Residuallast, da das Maximum nicht gleichzeitig auftritt. Die maximale Erzeugung durch regelbare Kraftwerke ist nahezu unverändert (-0,2 GW), sodass auch die nötige gesicherte Leistung unverändert bleibt. Die regelbare Erzeugung sinkt um etwa 2,9 TWh und beträgt damit nur 60 % des Rückgangs des Wärmepumpenstrombedarfes.

Besonders interessant ist der Vergleich der **Wasserstoffbilanz** in beiden Szenarien.

→ **Die Wasserstoffheizungen führen zu einem mehr als doppelt so hohen Wasserstoffbedarf.**

- Der Bedarf der 1 Million Wasserstoffheizungen beträgt 14 TWh Wasserstoff\*.
- 6,3 TWh H<sub>2</sub><sup>\*</sup>, also 45 % dieser Menge, wird im Gegenzug wegen des Wegfalls der Stromnachfrage von 1 Million Wärmepumpen in geringerer Residualerzeugung aus Wasserstoffkraftwerken eingespart (2,6 TWh H<sub>2</sub> in Deutschland und 3,7 TWh H<sub>2</sub> in der EU).
- Netto ergibt sich durch die 1 Million Wasserstoffheizungen gegenüber den Wärmepumpen ein **Mehrbedarf von 7,7 TWh Wasserstoff**.
- Aufgrund der Nachfrage von zusätzlichen 1 Million Wasserstoffheizungen entsteht ein zusätzlicher Bedarf an Pipelineverteilnetzen für Wasserstoff mit ca. 10 GW H<sub>2</sub>-Leistung.

# Fazit

A

**Erfordert ein Stromsystem** mit einem hohen Anteil Erneuerbarer Energien und einem deutlich höheren Strombedarf nicht auch eine **deutlich höhere regelbare Kraftwerksleistung**?



Die nötige regelbare Kraftwerksleistung steigt um etwa 20 %. Gegenüber heutiger Überkapazität bedeutet das netto einen Rückgang der nötigen regelbaren Leistung. Zunehmend flexible Verbraucher können mit ihren Speicherkapazitäten das EE-Angebot integrieren und die Stromnachfrage zeitlich verschieben. Im Zusammenspiel mit Importen bleibt dadurch der Anstieg der maximalen Residuallast gering.

B

Ist der **Einsatz von Wasserstoffheizungen statt Wärmepumpen** dazu geeignet, die Effizienz des Gesamtsystems zu erhöhen und lässt sich dadurch die **Residuallast deutlich senken**?



Das Gesamtsystem wird durch Wasserstoffheizungen ineffizienter, weil ein deutlich erhöhter Wasserstoffbedarf eintritt und die erneuerbaren Energien schlechter integriert werden können.



© imagepoint – Mark Brun

**Backup**

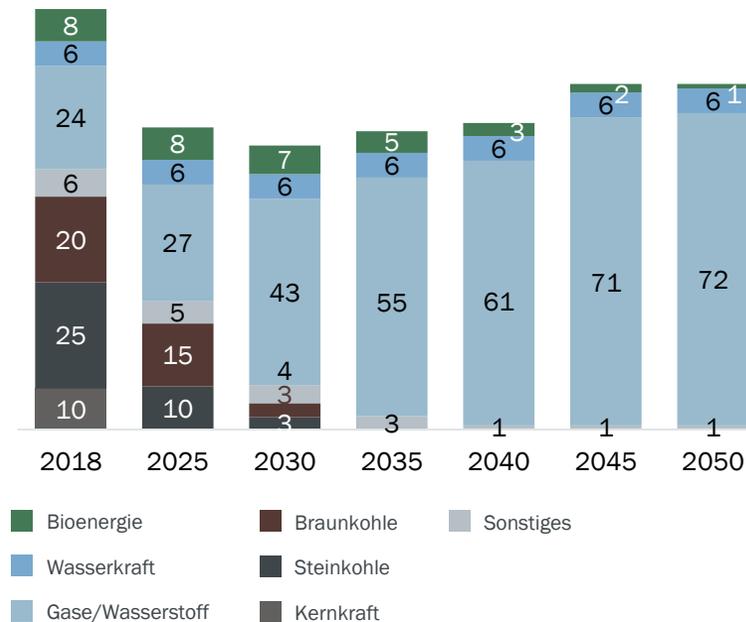
# Importe

- Der europäische Strommarkt verfolgt das Ziel der Wohlfahrtsmaximierung. Daher wird die Stromnachfrage von Kraftwerken gedeckt die zum jeweiligen Zeitpunkt am günstigsten Strom erzeugen können.
- Hohe Importe treten daher nicht primär auf weil sie aus Versorgungssicherheitsgründen nötig sind, sondern weil es die wirtschaftlichere Lösung ist
- Spitzenlast-Gasturbinen-Kraftwerke mit geringen Kapitalkosten aber hohen Betriebskosten sichern die Versorgungssicherheit, kommen aufgrund ihrer hohen Betriebskosten aber nur selten zum Einsatz

## Regelbare Kraftwerksleistung in KNDE 2045

### 1. Regelbare Kraftwerksleistung

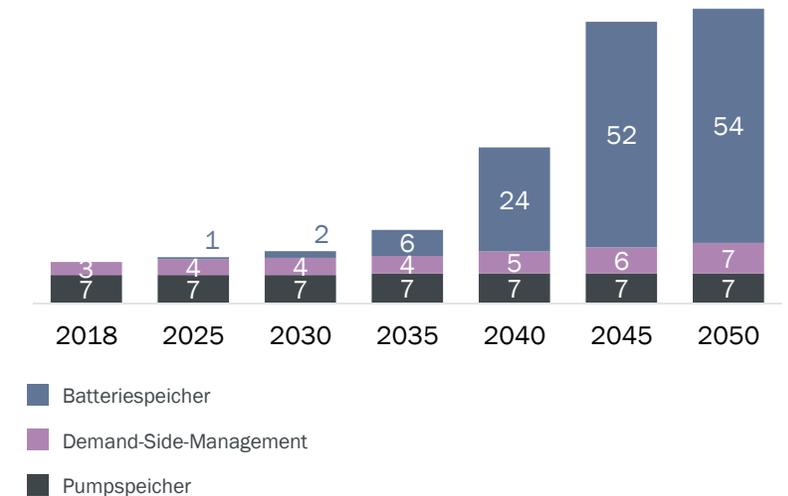
Nettleistung in GW



© Prognos 2021

### 2. Speicher und Demand-Side-Management

Nettleistung in GW\*

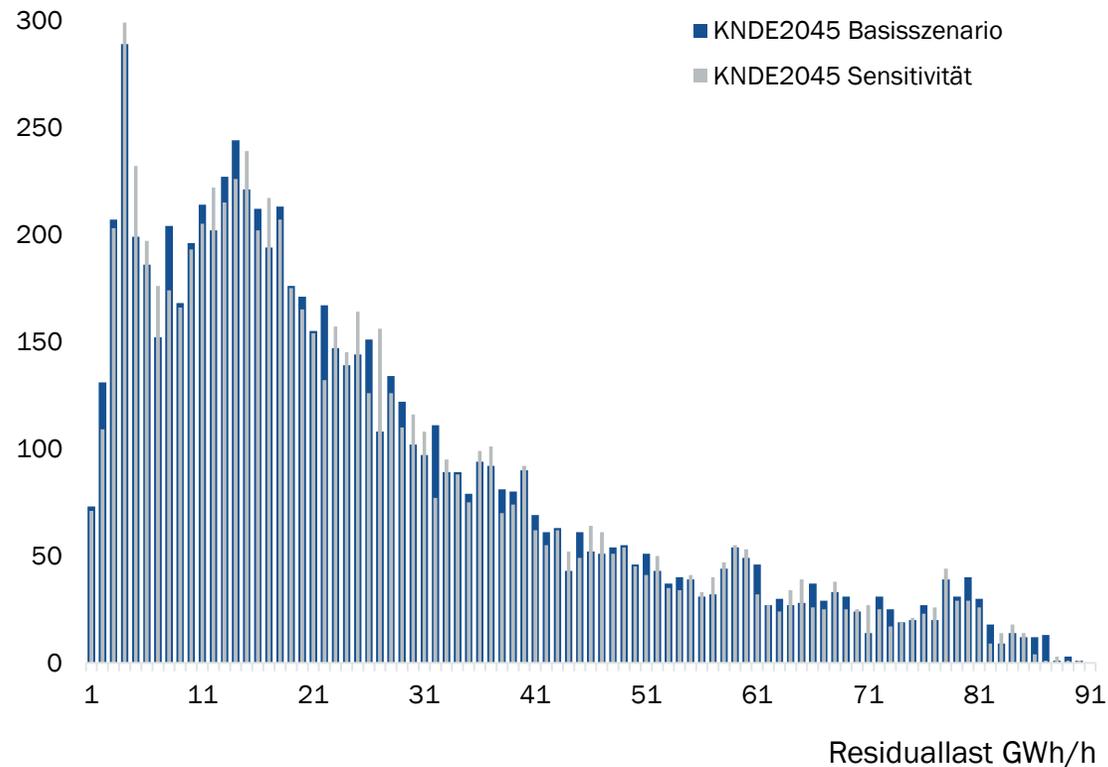


© Prognos 2021

# Residuallastspitzen verändern sich der Sensitivität kaum

## Häufigkeit der Höhe der Residuallast

Anzahl der Stunden im Jahr



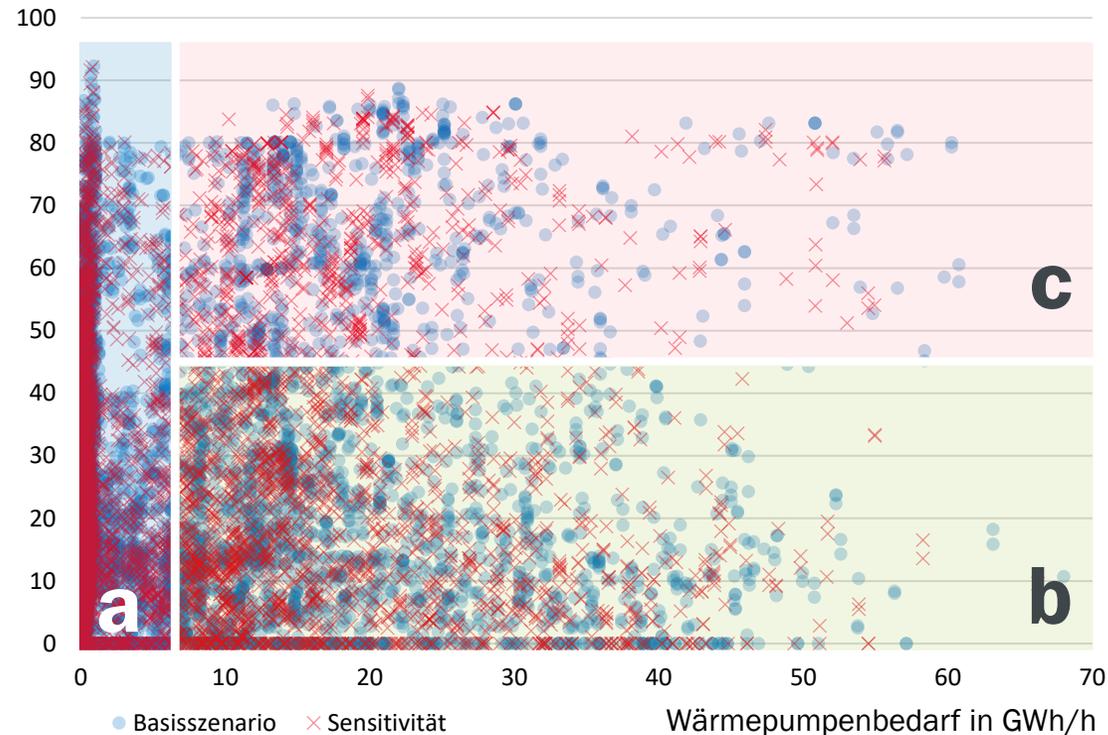
Die nebenstehende Auswertung zeigt die Anzahl der Stunden des Jahres über den jeweils auftretenden Residuallastwerten in GWh/h (regelbare Erzeugung inklusive Importe und Strombedarf für Stromexport) für das Basisszenario KNDE2045 und die Sensitivität KNDE2045-1Mio.WP. Folgende Schlussfolgerungen werden daraus abgeleitet:

- Die Reduktion um 1 Mio. Wärmepumpen bewirkt nur eine leichte Verschiebung der Häufigkeit einzelner Residuallastleistungen. Die Residuallast liegt in beiden Szenarien zwischen 0 und 90 GW.
- Die maximale Residuallast sinkt kaum und auch die Häufigkeit der oberen Residuallastwerte zwischen 70 und 90 GWh/h sinkt kaum. In beiden Szenarien liegt eine Residuallast > 80 GWh/h in 1 % der Stunden und > 70 GWh/h in 4 % der Stunden vor.
- Im überwiegenden Teil des Jahres (71% der Stunden) liegt die Residuallast unter 40 GW.
- In 50 % des Jahres liegt die Residuallast zwischen 10 bis 40 GW.
- Die regelbaren Kraftwerke erzeugen in beiden Szenarien ca. 10 % des Jahresverbrauchs, ca. 3 % werden durch Nettoimporte gedeckt.
- Wärmepumpen und andere, teilweise flexiblere Verbraucher (Elektroautos), ermöglichen den Strombezug in Stunden mit hoher Residuallast auf das nötige Minimum zu reduzieren und stattdessen auf Stunden vor oder nach den Residuallastspitzen auszuweichen.

# Residuallastspitze & Wärmepumpenspitzenlast selten zeitgleich

## Residuallast über Strombedarf der Wärmepumpen für alle Stunden des Jahres in Basisszenario und Sensitivität

Residuallast in GWh/h



Das nebenstehende Diagramm bildet die stündlichen Werte der Residuallast (inklusive Strombedarf für Stromexport) des Simulationsjahres über dem zugehörigen Strombedarf der Wärmepumpen ab, jeweils für das Basisszenario und für die Sensitivität.

Die Punktwolken lassen sich mithilfe der gekennzeichneten Bereiche a/b/c interpretieren:

- a) In vielen Stunden des Jahres liegt ein geringer Strombedarf von Wärmepumpen vor. Zum einen weil der Heizbedarf temperaturbedingt in diesen Stunden gering ist, zum anderen durch einen flexiblen Einsatz der Wärmepumpen die durch die Trägheit der Gebäudehülle und thermische Speicher nicht im Dauerbetrieb und damit auch nicht gleichzeitig eingesetzt werden.
- b) In vielen Stunden mit hohem Strombedarf der Wärmepumpen ist die Residuallast auf einem Niveau, in dem entweder
  - ausschließlich EE-Strom, Kurzfristspeicher (Batterien und Pumpspeicherkraftwerke) und Importe mit hohem EE-Anteil den Bedarf decken oder
  - der zusätzliche Bedarf vorwiegend von effizienten Wasserstoffkraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung gedeckt wird, die Strom und Fernwärme bereitstellen.
- c) Nur in wenigen Stunden besteht ein hoher Strombedarf der Wärmepumpen bei gleichzeitiger hoher Residuallast. In diesen Stunden wird der Strom für die Wärmepumpen teilweise auch durch vergleichsweise ineffiziente Wasserstoff-Spitzenlastkraftwerke ohne Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt und auch Importe sind in diesen Stunden zu einem größeren Teil aus H<sub>2</sub>-Verstromung.

# Impressum/Disclaimer

## Kontakt

Prognos AG

Goethestraße 85

10623 Berlin

Telefon: +49 30 52 00 59-210

Fax: +49 30 52 00 59-201

E-Mail: [info@prognos.com](mailto:info@prognos.com)

[www.prognos.com](http://www.prognos.com)

[twitter.com/prognos\\_ag](https://twitter.com/prognos_ag)

Ausarbeitung im Auftrag der  
Stiftung Klimaneutralität

[www.stiftung-klima.de](http://www.stiftung-klima.de)

© Prognos AG, 2021

Alle Inhalte dieses Werkes, insbesondere Texte, Abbildungen und Grafiken, sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, bei der Prognos AG. Jede Art der Vervielfältigung, Verbreitung, öffentlichen Zugänglichmachung oder andere Nutzung bedarf der ausdrücklichen, schriftlichen Zustimmung der Prognos AG.

**Stand:** 17. Februar 2022