

# **Stromverbrauchsmodellierung des Industriesektors im Kontext der Dekarbonisierung**

## **Abschlussbericht**

Fabian Jetter, Aicha Platzdasch, Oskar Baumann, Andrej Guminski, Hannes Kracht

29.05.2026

# Inhaltsverzeichnis

1. Zielsetzung und Vorgehensweise
2. Status quo – Industriesteckbriefe
3. Status quo – Kriseneinflüsse
4. Transformationspfade
5. Regionalisierung – Status quo
6. Regionalisierung – Transformationspfade
7. Literaturverzeichnis
8. Datenanhang



# Erläuterungen zum Inhaltsverzeichnis

Der vorliegende Bericht beschreibt und visualisiert die Vorgehensweise sowie die Ergebnisse des Projekts **„Stromverbrauchsmodellierung des Industriesektors im Kontext der Dekarbonisierung“**. Er stellt eine Aktualisierung und Weiterentwicklung der gleichnamigen Vorgängerstudie aus dem Jahr 2022 dar.

In Abschnitt 1 werden die Aufgabenstellung des Projekts, eine Zusammenfassung der durchgeführten Arbeiten sowie ein Überblick über die angewandte Methodik vorgestellt.

In Abschnitt 2 wird die Auswahl der betrachteten Prozesse erläutert und diese in Form von Steckbriefen strukturiert beschrieben.

In Abschnitt 3 werden die Auswirkungen der Coronapandemie und des Ukrainekriegs auf die deutsche Industrie für den Zeitraum 2019 bis 2023 untersucht.

In Abschnitt 4 wird die Methodik sowie die Ergebnisse der Transformationspfade der Industrieszenarien „max. Strom“ und „max. H<sub>2</sub>“ mit den ihren jeweiligen Szenariorahmen auf nationaler Ebene dargestellt.

Abschnitt 5 befasst sich mit Regionalisierung des Stromverbrauchs des Basisjahres 2023 sowie der zurückliegenden Jahre bis 2019.

In Abschnitt 6 wird die Methoden zur Regionalisierung der Verbrauchsszenarien vorgestellt und die regionalen Ergebnisse präsentiert.



# 1 Zielsetzung und Vorgehensweise

Inhaltsverzeichnis

# Zielsetzung und Arbeitsschritte

Zielstellungen waren: Methodenentwicklung, Datenübergabe, Wissenstransfer

## Status-quo-Analyse

Ermittlung der aktuellen Lage der Industrie in Deutschland

- Aktualisierung der Beschreibung der WZ/Prozesse in den Industriesteckbriefen
- Ermittlung des heutigen Bedarfs an Strom & H<sub>2</sub> sowie Emissionen
- Erklärung der historischen Veränderung der Stromverbräuche von 2019 bis 2023 unter Beleuchtung der Kriseneinflüsse

## Transformationspfade

Verbrauch von Strom und H<sub>2</sub>-/-Derivaten für drei Szenarien in zwei Szenariorahmen je Stützjahr

- Erstellung der Szenariorahmen
- Beschreibung der Methodik zur Berechnung der Szenarien
- Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario inkl. Beschreibung der Transformation
- Zielzustände je WZ/Prozess für verschiedene Stützjahre in Deutschland

## Regionalisierung

Regionalisierung des heutigen und zukünftigen Strom-, H<sub>2</sub>-/-Derivate-Verbrauchs sowie der max. Anschlussleistung auf NUTS-3

- Erfassung von Standorten der energieintensiven Industrie mit Produktionsmengen
- Regionalisierung des Stromverbrauchs im Basisjahr
- Regionalisierung der Zielzustände der Szenarien

# Tätigkeiten und Deliverables je Arbeitsschritt

Ergebnisse wurden in Jour fixe Terminen vermittelt und als Daten & Doku übergeben

## Status-quo-Analyse

- Aktualisierung von Industriesteckbriefen der Vorstudie
- Standortrecherche zur energieintensiven Industrie zur Ermittlung erfolgter und angekündigter Produktionsschließungen
- Untersuchung der Auswirkungen von Coronapandemie und Ukrainekrieg auf die industriellen Stromverbräuche von 2019 bis 2023

## Transformationspfade

- Berechnung von drei Szenarien in zwei Szenariorahmen zur Beschreibung der Transformation der: max. Elektrifizierung und max. Wasserstoffeinsatz im Trendszenariorahmen sowie max. Elektrifizierung im Zielszenariorahmen
- Ausweisung des der Entwicklung des Endenergieverbrauchs für alle Energieträger
- Ausweisung der Strom-, H<sub>2</sub>-/-Derivate-Verbräuche je energieintensiven Prozess und Wirtschaftszweig

## Regionalisierung

- Regionalisierung des Stromverbrauchs anhand standortscharfer Produktionsmengen und regionaler Statistiken
- Weiterentwicklung der Methode zur detaillierten regionalen Abbildung des heutigen und zukünftigen Strom-, H<sub>2</sub>-/-Derivate-Verbrauchs sowie der max. Anschlussleistung
- Visualisierung Ergebnisse als Karten und Interpretation



## 2 Status quo – Industriesteckbriefe

Inhaltsverzeichnis

# Auswahl und Beschreibung der energieintensiven Prozesse

Aufgrund der ausgeprägten Heterogenität des Industriesektors kann im Rahmen dieser Kurzstudie nur eine begrenzte Auswahl energieintensiver Prozesse detailliert untersucht werden. Da das zentrale Ziel der Studie in der Abbildung der heutigen sowie zukünftigen Verbräuche von Strom, Wasserstoff und Wasserstoffderivaten liegt, wurden hierfür die maßgeblichen Prozesse aus den energieintensivsten Wirtschaftszweigen ausgewählt.

Für diese Prozesse wurden strukturierte und beschreibende Industriesteckbriefe mit Standortkarten erstellt.

Im Zuge der Szenariobildung werden für die ausgewählten sowie für weitere relevante Prozesse (mit Ausnahme der Raffinerien) tiefgreifende Treibhausgas-Minderungsmaßnahmen explizit modelliert und in den Ergebnissen ausgewiesen.

Ungeachtet der Fokussierung der Detailanalyse auf einzelne Prozesse wird in der Studie der gesamte Endenergieverbrauch der Industrie sowie der Verbrauch im Umwandlungssektor berücksichtigt. Der nicht im Detail analysierte Endenergieverbrauch fließt somit vollständig in die Berechnungen ein und wird über vereinfachte Transformationslogiken abgebildet.

Ein wesentlicher Anteil dieses Verbrauchs entfällt auf Nieder- und Mitteltemperatur-Prozesswärme, für die ein solches Vorgehen in der Industriemodellierung gängige Praxis ist. Um dennoch eine Orientierung zu diesem Verbrauchsbereich zu ermöglichen, wurde ergänzend ein Industriesteckbrief zur Kategorie „Sonstige Industrie“ erstellt.

Darüber hinaus wird eine kurze Einschätzung zum Einsatz von Carbon Capture and Storage/Utilization (CCUS) je Prozess gegeben und auf weitere Literatur verwiesen.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde für den Status quo das Jahr 2023 festgelegt.

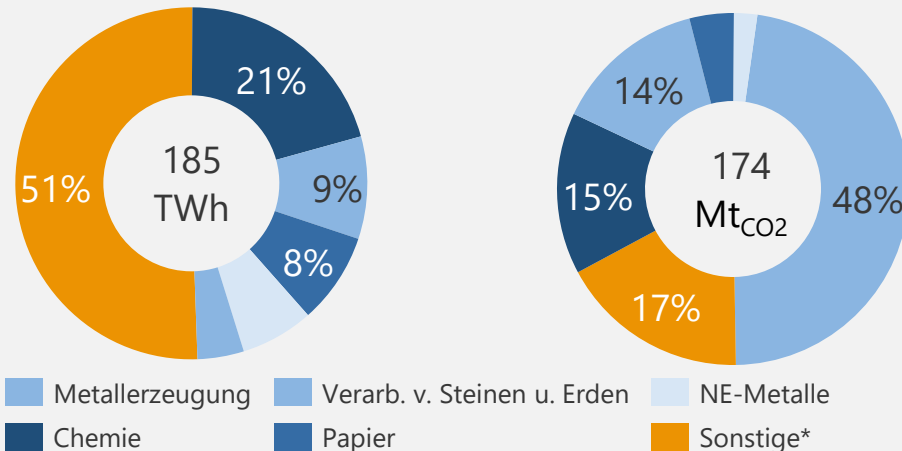
# Prozesse der energieintensiven Industrie

- Der gesamte Industriestromverbrauch wird nach WZ differenziert betrachtet.
- Um die Entwicklung der neuen Verbraucher in der Industrie sinnvoll zu untersuchen, erfolgt für die energieintensive Industrie eine Betrachtung auf Prozessebene.
- Für die Entwicklung des Strom- und H<sub>2</sub>-Bedarfs spielen auch nicht-energieintensive Niedertemperaturprozesse eine wichtige Rolle. Die Entwicklung dieser Energiemengen wird prozessunabhängig im Sammelindustriezweig „Sonstige“ erfasst.

## Betrachtung der wichtigsten Industriezweige und Prozesse

| Wirtschaftszweig                   | Prozesse                    |
|------------------------------------|-----------------------------|
| Eisen- und Stahl                   | Primär- & Sekundärstahl     |
| Chemie                             | High Value Chemicals        |
|                                    | Ammoniak                    |
|                                    | Methanol                    |
| Nicht-Eisen Metalle                | Primäraluminium             |
| Verarbeitung von Steinen und Erden | Zement & Kalk               |
|                                    | Hohlglas & Flachglas        |
| Papiergewerbe                      | Papiermaschinen             |
|                                    | Holz- & Zellstoffproduktion |
| Sonstige**                         | NT-Prozesswärme             |
| Umwandlung                         | Raffinerieprozesse          |

Anteil der adressierten Wirtschaftszweige am Stromverbrauch und Scope 1 Emissionen im Jahr 2023



\*„Sonstige“ umfasst Verbräuche und Emissionen der WZ Ernährung und Tabak, sonstige chemische Industrie, Gummi- und Kunststoffwaren, Maschinenbau, Fahrzeugbau, Gewinnung von Steinen, sonstige Wirtschaftszweige. Bei der Regionalisierung des Status Quo Stromverbrauch werden die WZ unter „Sonstiges“ unterschieden. Auch der Stromverbrauch, der nicht durch prozessspezifische Betrachtungen in den anderen WZ abgedeckt wird, findet Berücksichtigung. In AP2&3 erfolgt nach Abstimmung mit dem AG eine prozessspezifische Betrachtung der Kategorie „Sonstiges“. Potenzieller neuer Strom- und H<sub>2</sub>-Bedarf kann hier v.a. in der Niedertemperatur Prozesswärme durch Einsatz von Wärmepumpe, Elektrodenheizkesseln und ggf. H<sub>2</sub>-Brennern entstehen. Im Rahmen einer Kurzstudie ist eine Betrachtung dieser Technologien als Querschnittsmaßnahme gerechtfertigt.

\*\* Raffinerien sind nicht enthalten, da kein Teil des Endenergieverbrauchs

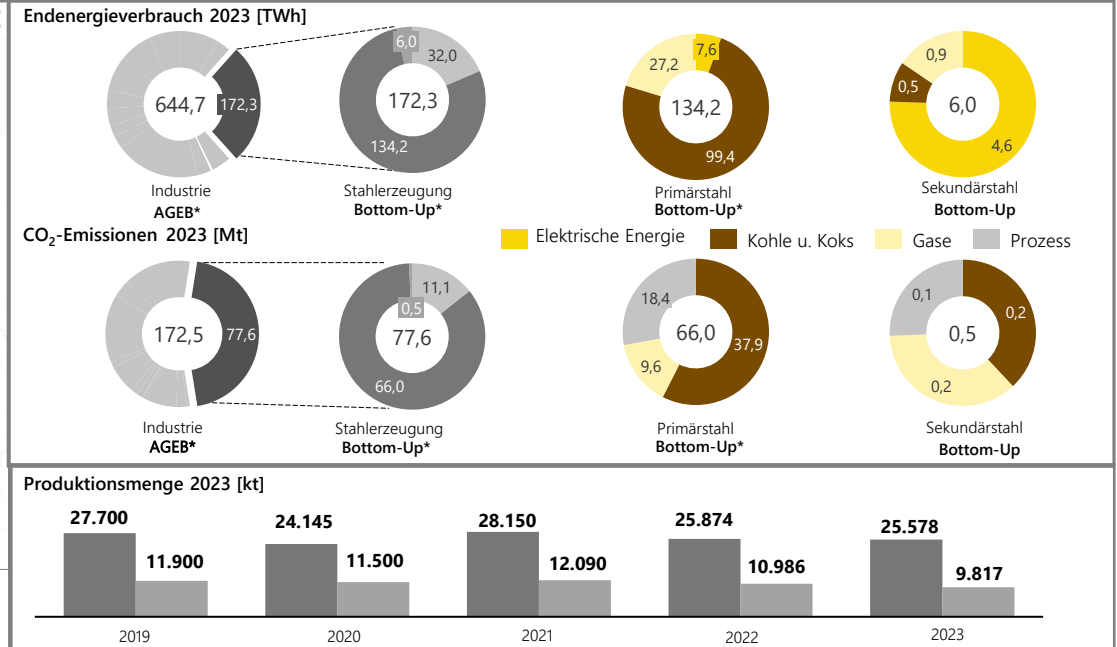
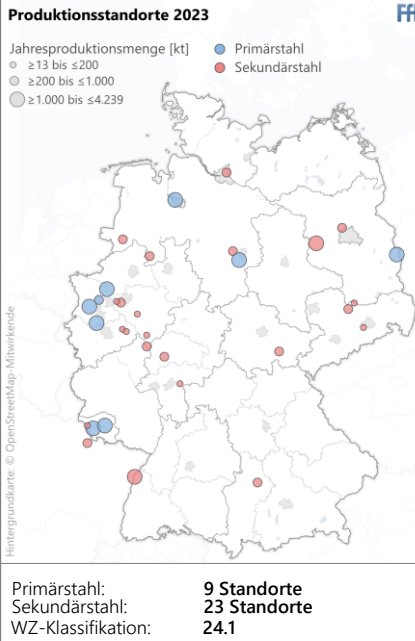
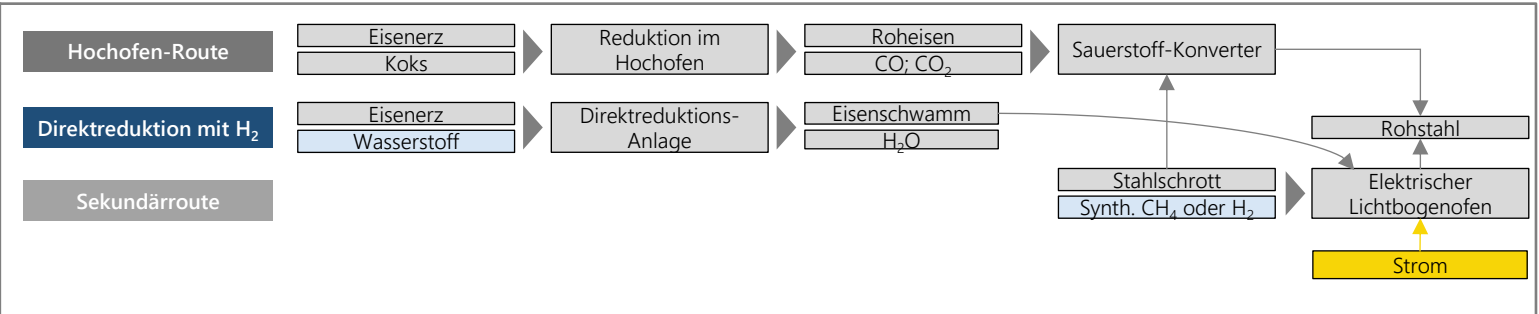
# Eisen- und Stahlerzeugung | Primär- & Sekundärstahl

## Prozessbeschreibung der Status quo Technologien

- Primärstahlerstellung - Hochofen-Route:** Im ersten Schritt wird der Sauerstoff aus dem Eisenerz entfernt. Hierfür wird eine Mischung aus hauptsächlich Eisenerz und Koks in den Hochofen gegeben und unter Zugabe von Heißluft erhitzt (ca. 1.300 °C). Der im Koks enthaltene Kohlenstoff wird hierdurch vergast und reagiert zu Kohlenstoffmonoxid (CO). Dieses Reduktionsgas reduziert den im Eisenerz enthaltenen Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>). Das so reduzierte Eisen schmilzt bei den während des Prozesses entstehenden Temperaturen von bis zu 2.200 °C zu flüssigem Roheisen und wird am Boden des Ofens abgestochen. Für die Festigkeit wird anschließend im Konverter Sauerstoff mit einer Lanze in das flüssige Roheisen geblasen, um den Kohlenstoffgehalt weiter zu senken. Unter 2 % wird das Metall als Rohstahl bezeichnet und kann vom Konverter in einer Stahlpfanne abgestochen werden.
- Sekundärstahl - Stahlrecycling im Lichtbogenofen:** Stahlschrott wird in einem Lichtbogenofen gegeben, der dann mit einem Deckel verschlossen wird. Auf der Unterseite des Deckels befinden sich leitfähige Graphitelektroden, die bei der Durchleitung von Strom einen Lichtbogen zwischen den Elektroden und dem Stahlschrott erzeugen. Für das Entstehen von Temperaturen bis zu 3.500 °C im Lichtbogen sind hohe Spannungen und Stromstärken im kV- bzw. kA-Bereich notwendig. Die thermische Energie des Lichtbogens wird an den Stahlschrott weitergegeben, der beim Einschmelzen Temperaturen bis 1.800 °C erreicht.

## Prozessbeschreibung der Transformationspfade

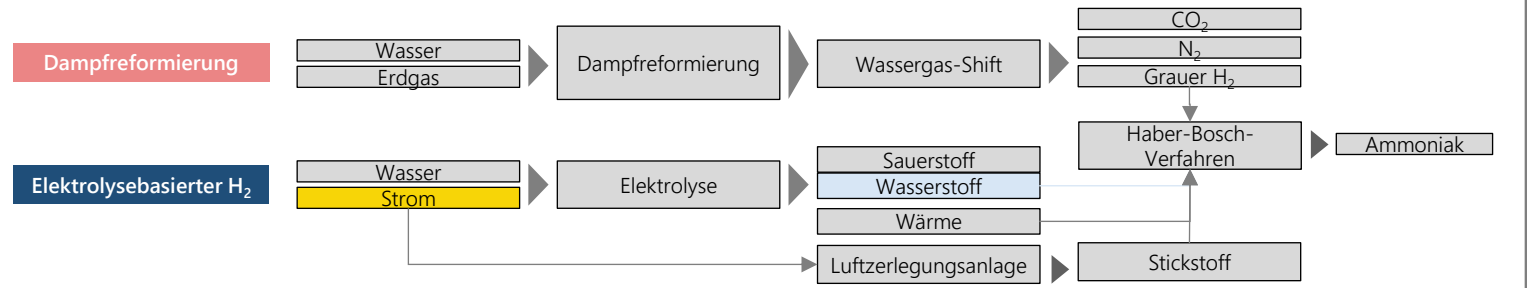
- Substitution der Hochofen- durch die Direktreduktionsroute:** Die Verbrennung von Koks oder Kohle zur Reduktion von Eisenerz zu Roheisen im Hochofen wird durch die H<sub>2</sub>-basierte Direktreduktion von Eisenerz zu Eisenschwamm ersetzt. Hierbei entsteht H<sub>2</sub>O statt CO<sub>2</sub> in dem Reduktionsverfahren. Der Eisenschwamm wird anschließend im elektrischen Lichtbogenofen (EAF) zu Stahl eingeschmolzen. Denkbar ist auch eine veränderte Wertschöpfungskette, d. h., dass Unternehmen nur einen EAF besitzen und Lieferbeziehungen für den Eisenschwamm aufbauen.
- Substitution Primär- für Sekundärstahl:** Vermehrte Verwendung von Sekundärstahl anstelle von Primärstahl würde die benötigten Energiemengen senken und verstärkt auf elektrische Energie verlagern. Dies setzt eine verstärkte Kreislaufwirtschaft voraus. Eine komplette Umstellung auf Recyclingstahl ist nicht möglich.



# Grundstoffchemie | Ammoniak

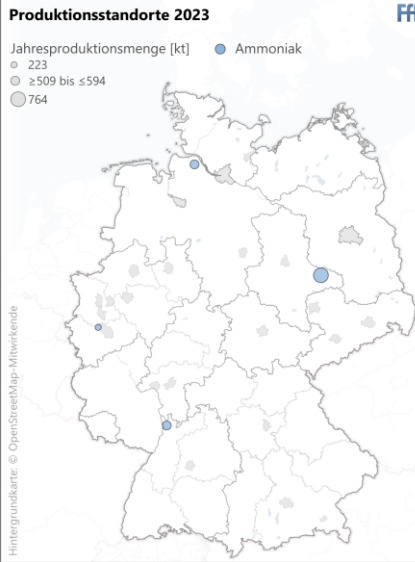
## Prozessbeschreibung der Status quo Technologien

- Ammoniak-Synthese:** Ammoniak wird im Haber-Bosch-Verfahren aus Wasserstoff und Stickstoff synthetisiert. Als Ausgangsprodukte dienen Erdgas, Wasserdampf und Luft (Stickstoff-Sauerstoffgemisch), welche mit Hilfe des Dampfreformers in Wasserstoff und Stickstoff sowie Wasser und Kohlendioxid zerlegt werden. Dabei wird das Feedgas im Primärreformer mit Dampf gemischt und etwa 60 % des Erdgases in einer endothermen Reaktion zu Synthesegas umgeformt. Der Stickstoff wird in einem Sekundärreformer durch weitere Verbrennung von Erdgas vom Luftsauerstoff getrennt. Das im Prozessgas verbleibende Kohlenmonoxid wird mit Hilfe einer Wassergas-Shift-Reaktion in Wasserstoff und Kohlendioxid umgesetzt. Die eigentliche Synthese des Ammoniaks geschieht anschließend unter hohem Druck (150-350 bar) und bei hoher Temperatur (450-550 °C) in einem Reaktor. Zur Beschleunigung der Reaktion wird Eisen als Katalysator eingesetzt. Das entstandene Reaktionsgas kondensiert anschließend durch einen Wärmetauscher zu flüssigem Ammoniak.

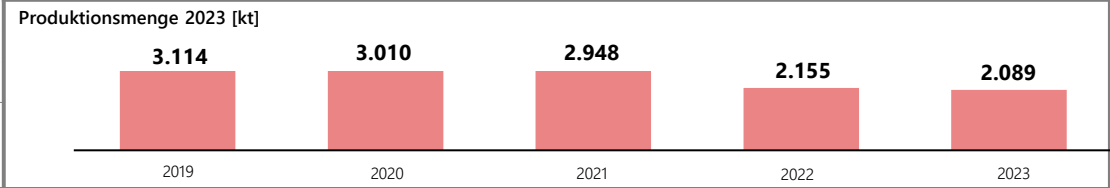
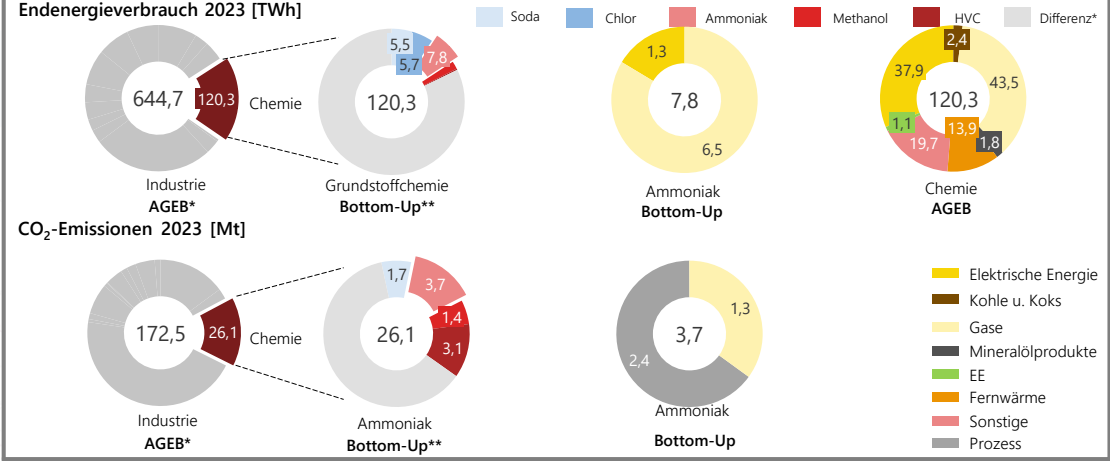


## Prozessbeschreibung der Transformationspfade

- Substitution der Dampfreformierung:** Die Reformierung von Erdgas und dessen Ausgangsprodukte kann durch klimaneutralen Wasserstoff und Stickstoff aus einer Luftzerlegungsanlage ersetzt werden. Das bei der Luftzerlegung eingesetzte Linde-Verfahren beruht auf dem Joule-Thomson-Effekt. Durch starke Komprimierung der Umgebungsluft erwärmt sich das Gasgemisch und wird über Filteranlagen in ein Stickstoff-Sauerstoff-Gemisch gewandelt. Die verbliebene Wärmeenergie wird mit Hilfe eines Wärmetauschers entzogen und anschließend das Gasgemisch wieder entspannt. Dabei verringert sich die Temperatur so stark, dass sich das Gemisch verflüssigt. Durch die unterschiedlichen Siedepunkte geht Stickstoff früher in die gasförmige Phase über und kann abgeleitet werden. Für die anschließende Ammoniaksynthese fehlt der konventionelle Dampf (Wärmeenergie) aus der Dampfreformierung, somit muss der Prozess zusätzlich mit Wärme versorgt werden.
- Weitere Prozesse:** Biologische Fixierung, elektrochemische Produktion und chemische Kreislaufprozesse könnten in Zukunft auch Ammoniak bereitstellen. Diese Routen befinden sich erst im TRL-Bereich 1-2.



Ammoniak: 4 Standorte  
WZ-Klassifikation: 20.1



\* Die Differenz enthält neben dem Delta zwischen AGEB und Bottom-Up-Berechnung auch die sonstigen WZ der Chemie, welche für die Regionalisierung nicht explizit transformationsrelevant sind. Dennoch werden sie im Bereich NT-Prozesswärme mitbetrachtet (s. NT-Prozesswärme).

\* Endenergieverbrauch inkl. Koksverbrauch in Hochöfen  
\*\* Bilanzierung des Steamcrackers zur High Value Chemicals Herstellung kann über Brennstoffverbrauch oder Prozessemissionen erfolgen. In dieser Studie über Prozessemissionen.

# Grundstoffchemie | Methanol

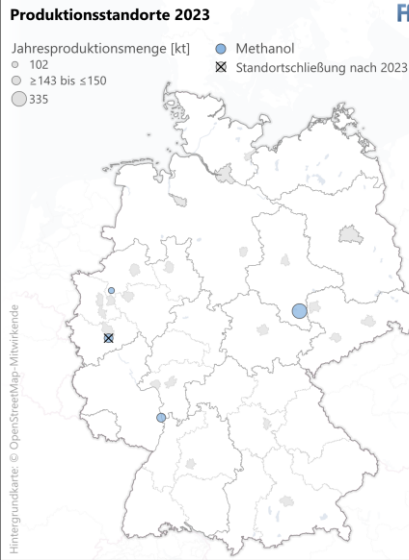
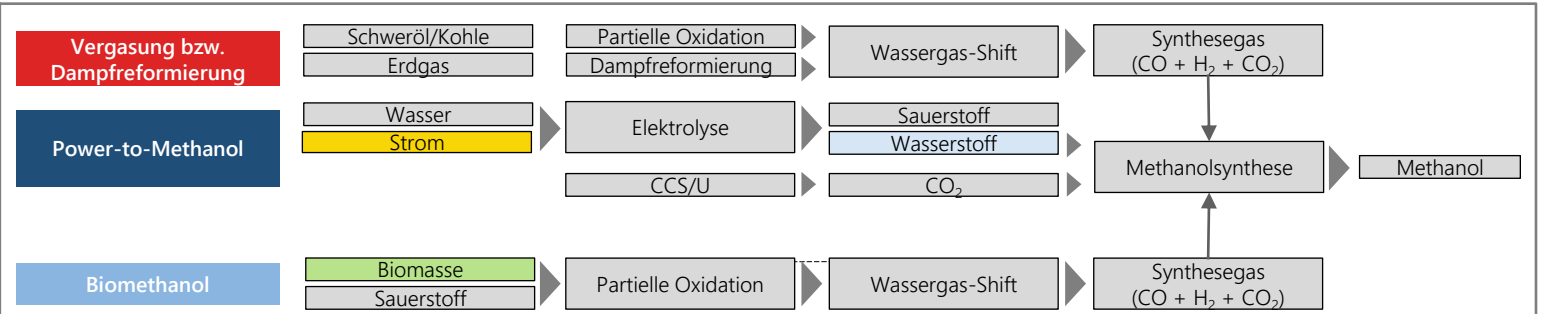
## Prozessbeschreibung der Status quo Technologien

- Methanolsynthese:** Die Synthese von Methanol benötigt als Ausgangsstoff Synthesegas, welches konventionell durch partielle Oxidation oder Dampfreformierung gewonnen wird. Bei der partiellen Oxidation werden Kohlenwasserstoffe (Schweröl) oder Kohlenstoff in Form von Kohle (Kohlevergasung) unterstöchiometrisch verbrannt. Die Dampfreformierung verwendet hingegen Erdgas. Der Prozess wurde bereits detaillierter bei der Ammoniakherstellung beschrieben. Nach beiden Prozessen muss der Anteil von Kohlenmonoxid für den nachgelagerten Syntheseprozess durch die Wassergas-Shift-Reaktion reduziert werden. Hierbei reagiert bei hoher Temperatur (die Temperatur bestimmt dabei den Anteil) das Kohlenmonoxid im Gasgemisch mit Wasserdampf zu Kohlendioxid und Wasserstoff. Die eigentliche Methanolsynthese läuft im heutigen industriellen Maßstab im LURGI-Verfahren ab. Dabei reagiert mit Hilfe eines Kupferoxid-Katalysators das Synthesegas unter Druck (50-100 bar) und bei einer Temperatur von 200-300 °C mit sich selbst in einer exothermen Reaktion zu Methanol und weiteren Bestandteilen. Um den Anteil des Methanols möglichst hochzuhalten, wird das Reaktionsgas in einem zweiten Reaktor durch frisches Synthesegas gekühlt. Dabei scheidet sich Methanol ab und das Restgas + das Synthesegas werden wiederum in den ersten Reaktor zurückgespeist. Im letzten Schritt wird durch Abkühlung des Rohmethanols das Methanol destilliert und von den übrigen Bestandteilen getrennt.

## Prozessbeschreibung der Transformationspfade

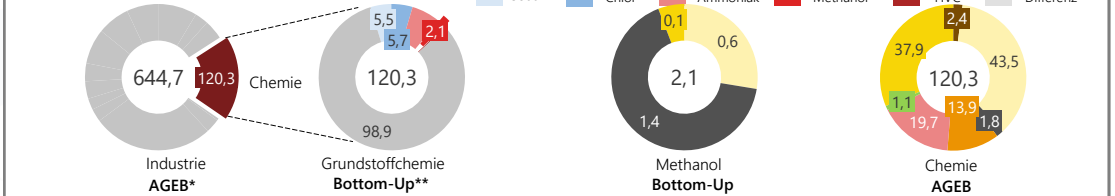
- Power-to-Methanol:** Der eigentliche Syntheseprozess wird auch in Zukunft Bestand haben. Mögliche Verbesserungen der Katalysatoren zur effizienteren Ausnutzung des Synthesegases können dabei nicht ausgeschlossen werden. Jedoch kann das Synthesegas wie bereits bei der Ammoniakherstellung durch Wasserstoff ersetzt werden. Im Gegensatz dazu muss bei der Methanolherstellung eine zusätzliche CO<sub>2</sub>-Quelle verwendet werden. Dies können in Zukunft CCU- oder CCS-Technologien (ausgenommen irreversibel gespeichertes CO<sub>2</sub>) sein.
- Biomethanol:** Wie bei der konventionellen Herstellung von Synthesegas aus Kohle wird durch Partielle Oxidation (Vergasung) die Biomasse in die entsprechenden Bestandteile zerlegt und über die Wassergas-Shift-Reaktion in das optimale Verhältnis gebracht. Durch die Ähnlichkeit der Prozesse kann in Zukunft durch einen geringen technologischen Aufwand die Kohlevergasung auf Biomasse umgestellt werden.

\* Die Differenz enthält neben dem Delta zwischen AGEB und Bottom-Up-Berechnung auch die sonstigen WZ der Chemie, welche aufgrund ihrer hohen Elektrifizierung eine untergeordnete Rolle spielen.

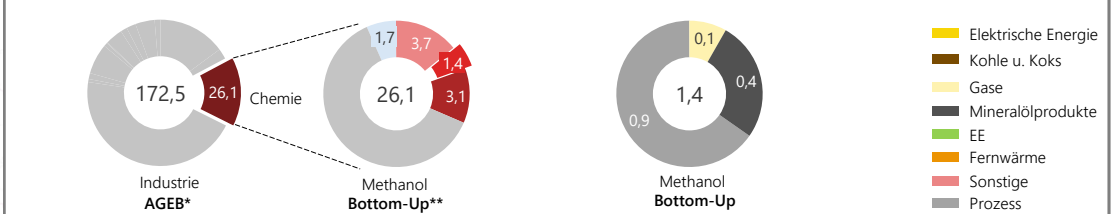


Methanol: **3 Standorte (+1 Schließung)**  
WZ-Klassifikation: **20.1**

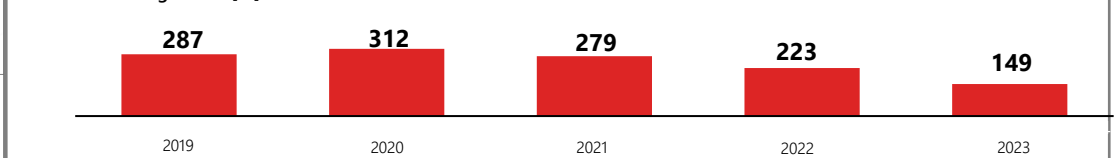
## Endenergieverbrauch 2023 [TWh]



## CO<sub>2</sub>-Emissionen 2023 [Mt]



## Produktionsmenge 2023 [kt]



\* Endenergieverbrauch inkl. Koksverbrauch in Hochöfen

\*\* Bilanzierung des Steamcrackers zur High Value Chemicals Herstellung kann über Brennstoffverbrauch oder Prozessemissionen erfolgen. In dieser Studie über Prozessemissionen.

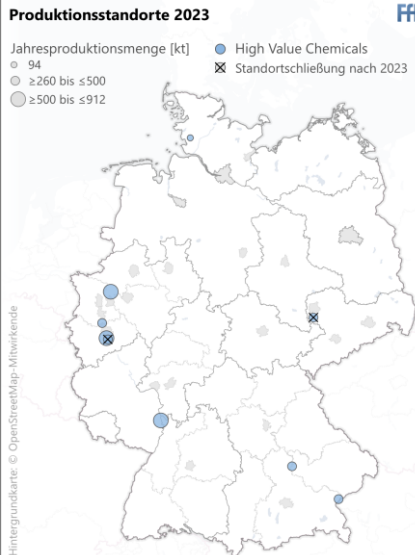
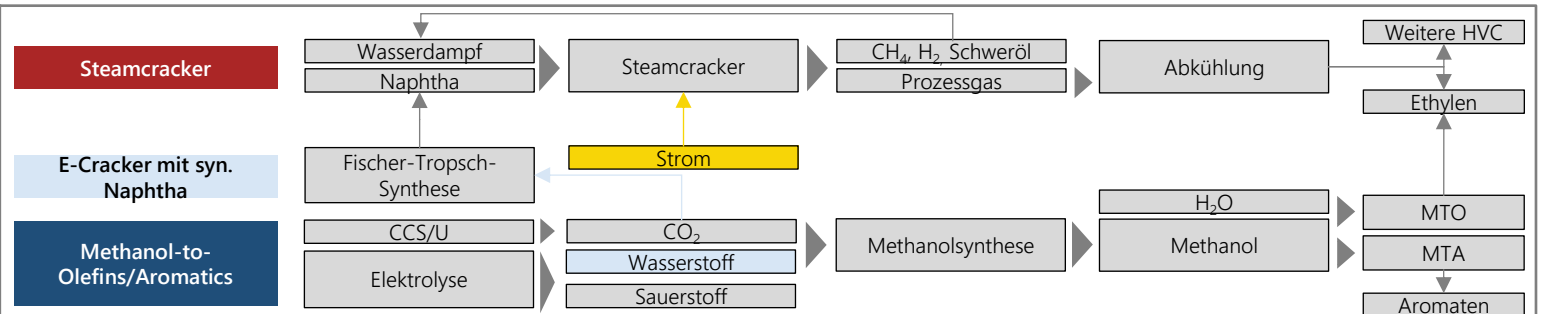
# Grundstoffchemie | High Value Chemicals

## Prozessbeschreibung der Status quo Technologien

- Steamcracker:** Als Edukt für die Produktion von Olefinen und Aromaten wird im konventionellen Bereich fast ausschließlich Naphtha als Nebenprodukt der Erdölraffinerie verwendet. Dieses wird mit Hilfe von Wasserdampf und hohen Temperaturen (bis zu 900 °C) im Steamcracker zu kurzkettigen Kohlenwasserstoffketten gewandelt. Dabei entstehen neben dem Prozessgas auch Methan, Wasserstoff und Schweröl, welche zur Befehung des Steamcrackers genutzt werden. Durch Abkühlung des Prozessgases kondensieren die Olefine und Aromate, wie z.B. Ethylen, Propylen und Buten bei unterschiedlichen Temperaturen aus und können getrennt weiterverarbeitet werden. Typische Abnehmer sind z. B. die Kunststoffindustrie zur Herstellung von Polyethylen.

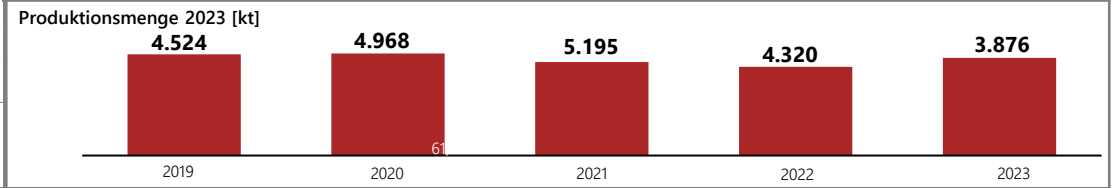
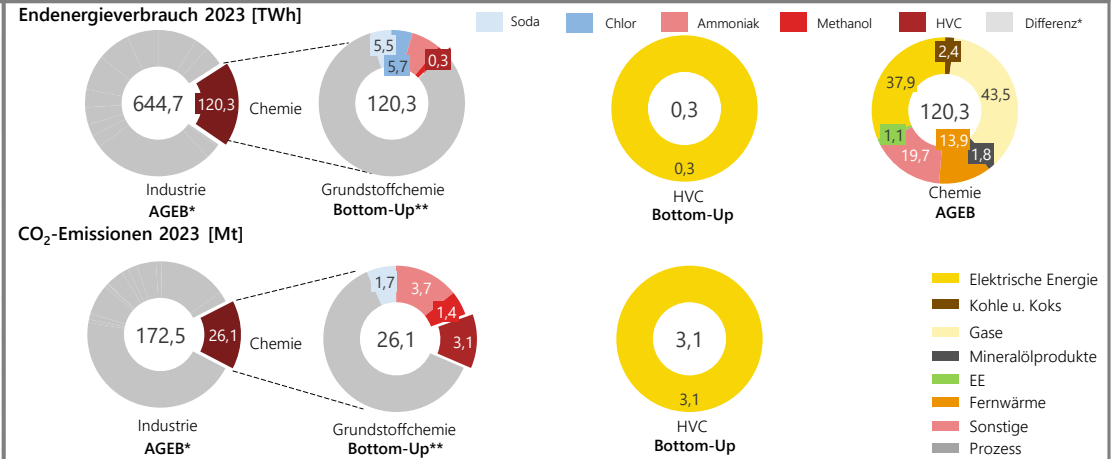
## Prozessbeschreibung der Transformationspfade

- Synthetisches Naphtha:** Naphtha wird bisher aus Erdöl gewonnen, könnte allerdings in Zukunft durch die Fischer-Tropsch-Synthese aus Synthesegas, welches über die Wasserelektrolyse und Kohlendioxid bereitgestellt werden kann, erzeugt werden. Der Steamcracker könnte in einem nächsten Schritt elektrisch beheizt werden und die Nebenprodukte anderweitig verwendet werden (befindet sich im Entwicklungsstadium, größte Herausforderung ist die hohe Wärmemenge auf kleinem Raum). Synthesegas kann auch über die Vergasung von Biomasse erzeugt werden. Neben der Herstellung von synthetischem Naphtha ist das chemische Kunststoffrecycling zur Herstellung von Pyrolyseöl ein möglicher Inputstrom für den elektrisch beheizten Steamcracker.
- Methanol-to-Olefin/Aromatics:** Alternativ können die gewünschten Produkte über emissionsarmes Methanol als Einsatzstoff im Methanol-to-Olefins bzw. -Aromatics Prozess gewonnen werden. Hier wird Methanol in einer katalytischen Reaktion zu dem gewünschten Produkt umgewandelt. Im Gegensatz zur Referenzroute kann aus dem Prozess nur ein einzelnes Produkt gleichzeitig gewonnen werden, da unterschiedliche Katalysatoren für die gewünschten Produkte benötigt werden. Der MTA-Prozess ist bereits großtechnisch einsetzbar und der MTO-Prozess befindet sich im Endstadium der Entwicklung (TRL 7).



High Value Chemicals: **7 Standorte**  
(+2 Schließungen)

WZ-Klassifikation: **20.1**



\* Die Differenz enthält neben dem Delta zwischen AGEB und Bottom-Up-Berechnung auch die sonstigen WZ der Chemie, welche aufgrund ihrer hohen Elektrifizierung eine untergeordnete Rolle spielen.

\* Endenergieverbrauch inkl. Koksverbrauch in Hochöfen

\*\* Bilanzierung des Steamcrackers zur High Value Chemicals Herstellung kann über Brennstoffverbrauch oder Prozessemissionen erfolgen. In dieser Studie über Prozessemissionen.

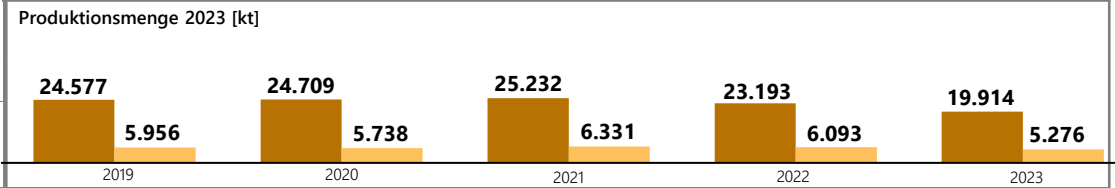
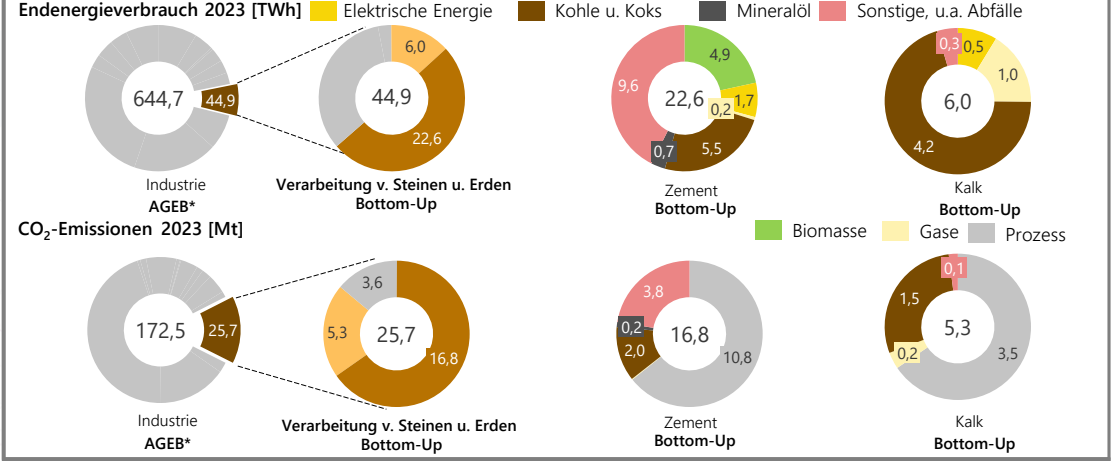
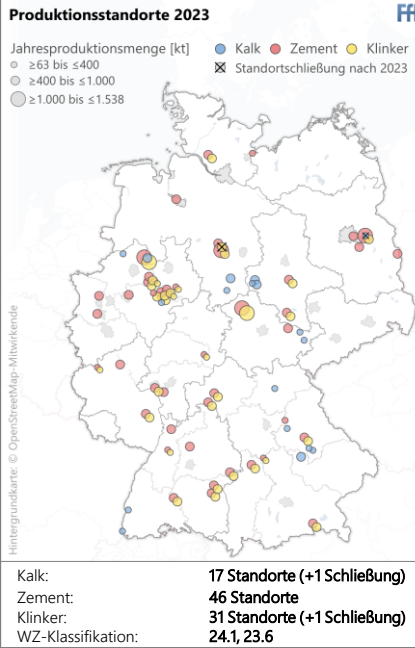
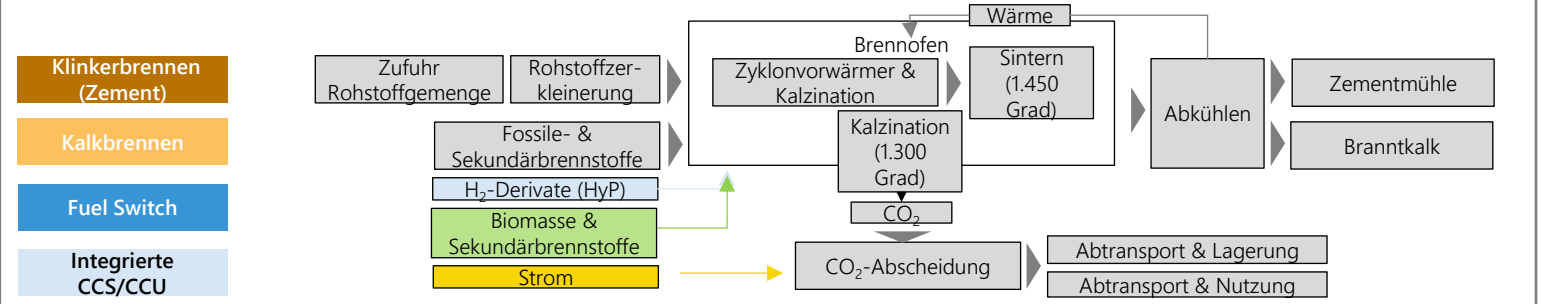
# Verarbeitung von Steinen und Erden | Zement & Kalk

## Prozessbeschreibung der Status-quo-Technologien

- Zement:** Zement besteht zu ca. 75 % aus Calciumoxid, das auch Branntkalk genannt wird. Als Ausgangsrohstoff für die Herstellung von Zement wird ein Gemenge aus Kalkstein und Ton gemahlen und homogenisiert. Das Gemenge wird in einem Zyklonvorwärmer entsäuert (Kalzination). Dabei spaltet sich das Kohlendioxid vom Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) ab und es entsteht Branntkalk. Bei diesem Prozess werden bereits 60 % des Wärmebedarfs verbraucht und es entstehen ca. 80 % der  $\text{CO}_2$ -Emissionen. In einem weiteren Schritt wird das Gemenge aus Branntkalk in einem Drehrohrföfen bei bis zu 1450 °C zu Zementklinker gesintert. Nach der Abkühlung des Klinkers wird durch Zugabe weiterer Zusatzstoffe und das Zerkleinern in der Zementmühle der fertige Portlandzement hergestellt. Insgesamt werden ca. 66 % der Emissionen durch den Prozess und ca. 34 % durch den Einsatz von Brennstoffen erzeugt.
- Kalk:** Bei der Kalkherstellung wird reiner aufbereiteter Kalk bei ca. 1.300 °C in einem Schacht- oder Drehrohrföfen zu reinem Branntkalk umgesetzt. Dabei werden feste Brennstoffe (Steinkohle, Koks und Braunkohle) und Erdgas zur Befuerung des Prozesses eingesetzt. Auch hier machen die Emissionen aus dem Prozess die größeren Anteile aus. Der Branntkalk wird im Anschluss abgekühlt und kann zu verschiedenen Produkten (z. B. Löschkalk) weiterverarbeitet werden.

## Prozessbeschreibung der Transformationspfade

- Fuel Switch:** ca. 30 % der Brennstoffbedarfe des Klinkerbrennens werden über fossile Energieträger (v.a. Kohle) gedeckt, während alternative Brennstoffe (z. B. Altfleisch, Altöl, Tiermehl, Klärschlamm) 70 % decken. Beim Kalkbrennen kommen bis zu 90 % Kohle und Erdgas zum Einsatz. Mit geeigneten Brenntechnologien können Wasserstoffderivate (HyP) oder Biomasse die fossilen Brennstoffe im Prozess ersetzen. Wasserstoff ist durch seine geringe Strahlungswärme ungeeignet für die Verwendung im Drehrohrföfen.
- CCS/CCU:** Unabhängig vom eingesetzten Brennstoff wird ohne eine sprunghafte Entwicklung der alternativen Bindemittel CCS/CCU aufgrund der Prozessemissionen für eine tiefe Dekarbonisierung benötigt.
- Alternative Bindemittel:** Als Alternativen zum Portlandzement werden andere Bindemittel wie z. B. magnesiumbasierte Zemente (Navocem) untersucht. Außerdem wird durch andere Produktionsprozesse (Celitement) versucht, die Prozessemissionen zu reduzieren. Die meisten Technologien befinden sich noch im Entwicklungsstadium und werden in Pilotanlagen getestet.



\* Endenergieverbrauch inkl. Koksverbrauch in Hochöfen

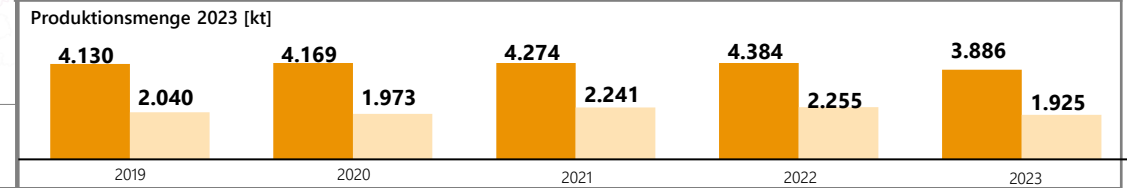
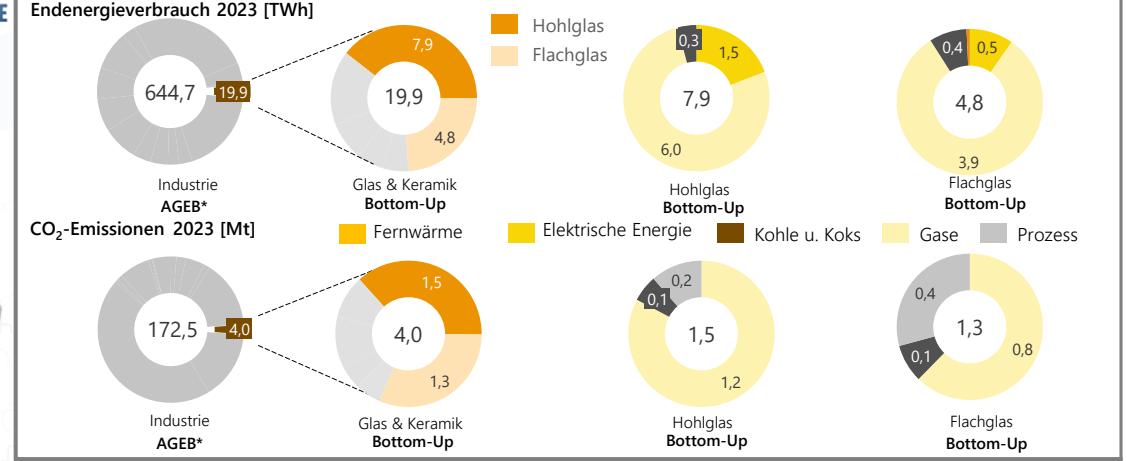
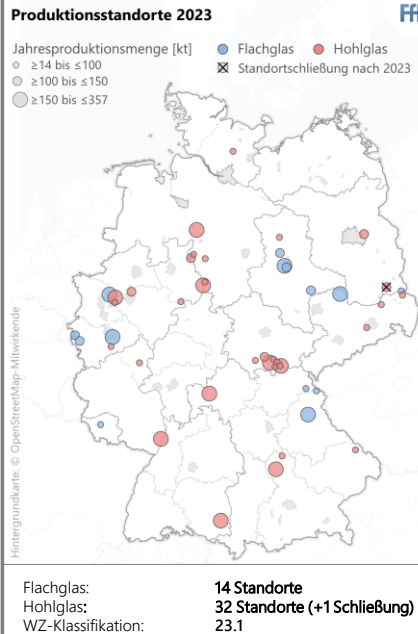
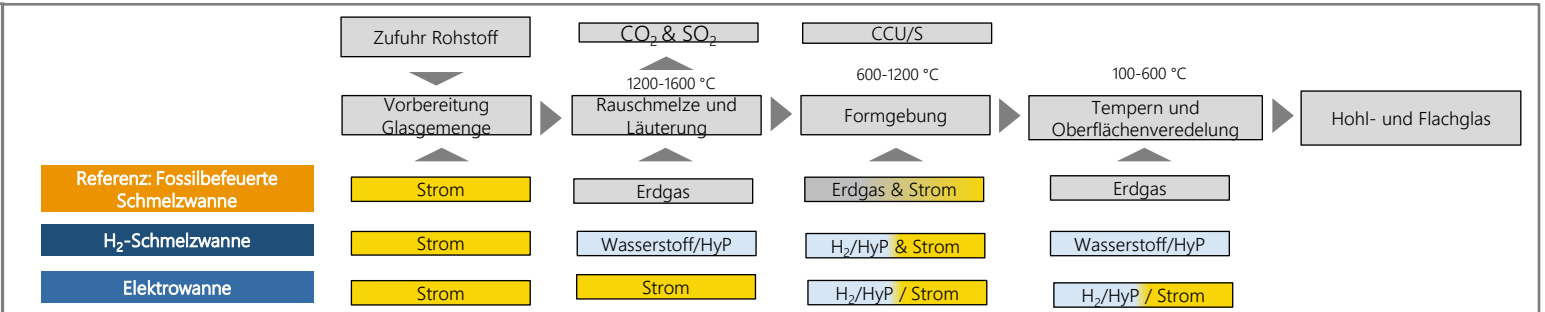
# Glas & Keramik | Flach- und Hohlglas

## Prozessbeschreibung der Status quo-Technologien

- Schmelzprozess:** Zur Vorbereitung der Glasschmelze müssen die Ausgangsrohstoffe (z. B. Quarzsand, Soda, Pottasche, Feldspat, Kalk, Dolomit und Altglas) in einer je nach Glasprodukt bestimmten Zusammensetzung gemischt und auf eine Korngröße von unter 0,5 mm gebrochen werden. Dabei gilt: je besser die Durchmischung des Gemenges und je höher der Anteil an recyceltem Altglas, desto geringer ist der Energiebedarf für die Schmelze. Das Gemenge wird kontinuierlich an der Kopfseite des Ofens zugeführt und durch die Hitze der Brennerflammen, die über die Oberfläche des festen und schmelzenden Rohmaterials gerichtet sind, eingeschmolzen (Rauschmelze). Durch den Temperaturunterschied können feste Bestandteile durch die Schwerkraft auf den Boden sinken. Um dies zu verhindern, wird durch Elektroden oder durch den Eintrag von Gas eine Kreislaufströmung erzeugt, welche die festen Bestandteile wieder in den Schmelzbereich fördert. Verunreinigungen wie CO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub>, die beim Einschmelzen entstehen, werden durch die kontinuierliche Befuerung aus der Schmelze herausgetrieben (Feinschmelze), wodurch das Gemisch weiter homogenisiert wird. Der durch die Abgase entstehende Wärmeaustausch kann durch eine Wärmerückgewinnung der Verbrennerluft zugeführt werden. Nach bis zu 24 Stunden und der Abkühlung auf die optimale Temperatur wird die homogene Schmelze aus der Schmelzwanne abgeleitet und in der Formgebung weiterverarbeitet. Durch die Formgebung entstehen im Glaskörper Spannungen, welche die Qualität deutlich beeinflussen. Daher muss das Glas im Anschluss in einem Temper-Process definiert abgekühlt werden (zusätzlicher Wärmeeintrag), um so das Glas zu entspannen (Ausnahme sind bewusst erzeugte Spannungen für besonders harte Glassorten). Zusätzlich können die Oberflächen durch mechanische oder chemische Bearbeitung veredelt werden.

## Prozessbeschreibung der Transformationspfade

- H<sub>2</sub>-Wanne:** Der Schmelzprozess in einer H<sub>2</sub>-befeuerten Schmelzwanne folgt den gleichen Schritten wie in der Referenzroute. Wegen der unterschiedlichen Flammenbildung und Wärmeübertragung von H<sub>2</sub> im Vergleich zu Erdgas müssen zur Qualitätssicherung und Prozessoptimierung weitere Forschung und Pilotversuche durchgeführt werden. Für die weiteren Prozesse kann ebenfalls das Erdgas durch Wasserstoff ersetzt werden. Das in der Schmelze entstehende Prozess-CO<sub>2</sub> könnte durch geeignete CCU/CCS-Maßnahmen verarbeitet werden.
- Elektrowanne:** Der Schmelzprozess bleibt gleich, wird aber ausschließlich durch Elektroden am Ofenboden beheizt. Heutige Elektrowannen in Deutschland sind vergleichsweise klein. Für die Beheizung der weiteren Prozessschritte können entweder Elektrostrahler oder Wasserstoffbrenner eingesetzt werden.



\* Endenergieverbrauch inkl. Koksverbrauch in Hochöfen

# Raffinerie | 1/2

## Prozessbeschreibung der Status quo-Technologien

- Raffinerieprozesse:** Heutige Raffinerieprozesse lassen sich in drei Hauptbereiche unterteilen: Trennung, Umwandlung (Konversion) und Nachbehandlung (Veredelung). Jenseits dieser übergeordneten Kategorisierung ist jedoch jede Raffinerie ein einzigartiger Industriepark, der für einen optimalen Betrieb im Hinblick auf die Eigenschaften der verfügbaren Rohstoffe und die Palette der gewünschten Endprodukte spezialisiert ist. Jede Raffinerie zeichnet sich wiederum durch unterschiedliche Prozesse innerhalb der drei übergreifenden Kategorien aus. Neben diesen gemeinsamen Hauptprozessen ist ein weiteres gemeinsames Merkmal aller Raffinerien der hohe Grad der Prozessintegration. Ausgehend vom Rohöl als Inputstoff wird eine breite Palette von Endprodukten hergestellt, wobei (zum Beispiel) die Abfallprodukte eines Prozessschrittes zum Ausgangsmaterial eines gekoppelten Prozesses werden oder zur Bereitstellung von Prozesswärme für einen vorgelagerten Prozessschritt verbrannt werden.
- Trennung:** Der wichtigste Prozessschritt der Trennung ist die Destillation, die den Ausgangspunkt für die weitere Verarbeitung des Rohöls in der Raffinerie darstellt. Bei der atmosphärischen Destillation wird das Rohöl auf 300-400°C erhitzt, bevor es in eine Destillationskolonne geleitet und verdampft wird. Während das Gemisch in der Kolonne aufsteigt, kondensieren schwerere Fraktionen (z. B. Heizöl) in den unteren Ebenen der Kolonne, während leichtere Fraktionen (z. B. Benzin) in den höheren Ebenen kondensieren. Jede gesammelte Fraktion kann dann in weiteren Schritten getrennt verarbeitet werden. Die schwersten Fraktionen des Rohöls, die bei dem in der atmosphärischen Destillation verwendeten Druck nicht verdampfen, werden als Rückstände vom Boden der Destillationskolonne in den Vakuumdestillationsprozess geleitet. Hier wird ein ähnlicher Prozess bei höherem Druck (40-100 mbar) durchgeführt.
- Umwandlung:** Die Anteile der Ausgangsprodukte aus der Destillation hängen von den Eigenschaften des verarbeiteten Rohöls ab, sind aber für eine bestimmte Art von Rohstoffen relativ fest – wesentliche Änderungen des Verhältnisses der Ausgangsprodukte lassen sich nicht allein durch verfahrenstechnische Anpassungen erreichen. Um ein Endproduktspektrum zu erreichen, das die Nachfrage des Markts besser widerspiegelt, sind nach der Trennungsstufe zusätzliche Umwandlungsprozesse erforderlich. Ziel ist es in der Regel, den Anteil an Leichtprodukten (z. B. Benzin) aus dem Prozess zu erhöhen. Je nach Rohöl-Einsatzmaterial und gewünschten Endprodukten werden thermische Crackverfahren (ca. 500°C), katalytische Crackverfahren (ca. 500°C) oder Hydrocrackverfahren (100-150 bar und in Gegenwart von H<sub>2</sub>) eingesetzt.
- Nachbehandlung:** Produkte aus den Umwandlungsprozessen müssen i.d.R. noch aufgewertet werden, bevor sie die Raffinerie verlassen. Für Kraftstoffe wie Benzin oder Diesel ist die Entschwefelung einer der wichtigsten dieser Prozesse. In einer Entschwefelungsanlage wird das Produkt mit Wasserstoff vermischt und in Gegenwart von Katalysatoren auf 300-400°C erhitzt, wobei sich der Schwefel im Produkt an die Wasserstoffmoleküle bindet und abgetrennt wird.
- Integrierte Petrochemie:** Neben den typischen Raffinerieprodukten wie Kraftstoffen oder Heizöl können auch wichtige chemische Produkte hergestellt werden. Das bei der Destillation aus dem Rohöl abgetrennte Naphta kann in Steamcracker geleitet werden (siehe HVC). Methanol wird in Europa in der Regel aus Erdgas synthetisiert, aber ein Großteil seiner Produktion in Deutschland basiert auf der Vergasung schwerer Rückstände, die bei der Destillation übrig bleiben. Diese integrierten petrochemischen Prozesse könnten für Raffinerien an Bedeutung gewinnen, da die Elektromobilität die Nachfrage nach fossilen Brennstoffen reduziert. Langfristig müssen die Raffinerien jedoch ihr auf Erdöl basierendes Kerngeschäftsmodell vollständig ändern, um klimaneutral zu werden.

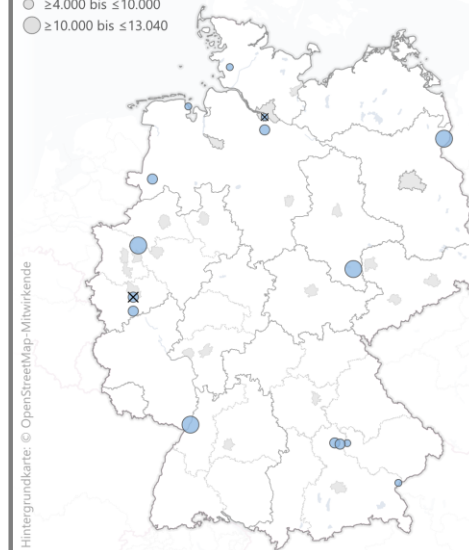
## Prozessbeschreibung der Transformationspfade

- PtL:** „Syn crude“ aus Fischer-Tropsch-basierten PtL-Prozessen kann in Raffinerien zu synthetischen Kraftstoffen verarbeitet werden. Integrierte Produktion direkt an Raffineriestandorten wäre auch bei für die Elektrolyse ausreichendem grünem Strom möglich.
- Biofuels:** Prozesse zur Herstellung von Biokraftstoffen können mit einer Umwidmung bestehender Anlagen auch an Raffineriestandorten eingebunden werden. Zwar stellt dies ein neues Geschäftsmodell mit neuen Feedstocks dar, aber es kann von Erfahrungen mit ähnlichen Prozessen und bestehenden Infrastrukturen profitieren. Manche Produkte können direkt mit fossilen Produkten zusammen verarbeitet werden. Beide Transformationsprozesse erzeugen wiederum Naphta als Nebenprodukt, welches für die Chemische Industrie essenziell ist.

## Produktionsstandorte 2023



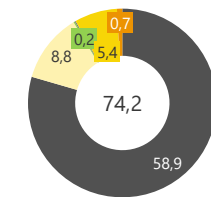
- Jahresproduktionsmenge [kt]
  - ≥ 1.597 bis ≤ 4.000
  - ≥ 4.000 bis ≤ 10.000
  - ≥ 10.000 bis ≤ 13.040
- Raffinerie
- ✕ Standortschließung nach 2023



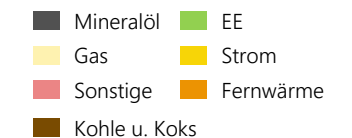
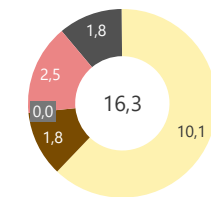
Raffinerie: **13 Standorte (+2 Schließungen)**

WZ-Klassifikation: **19.2**

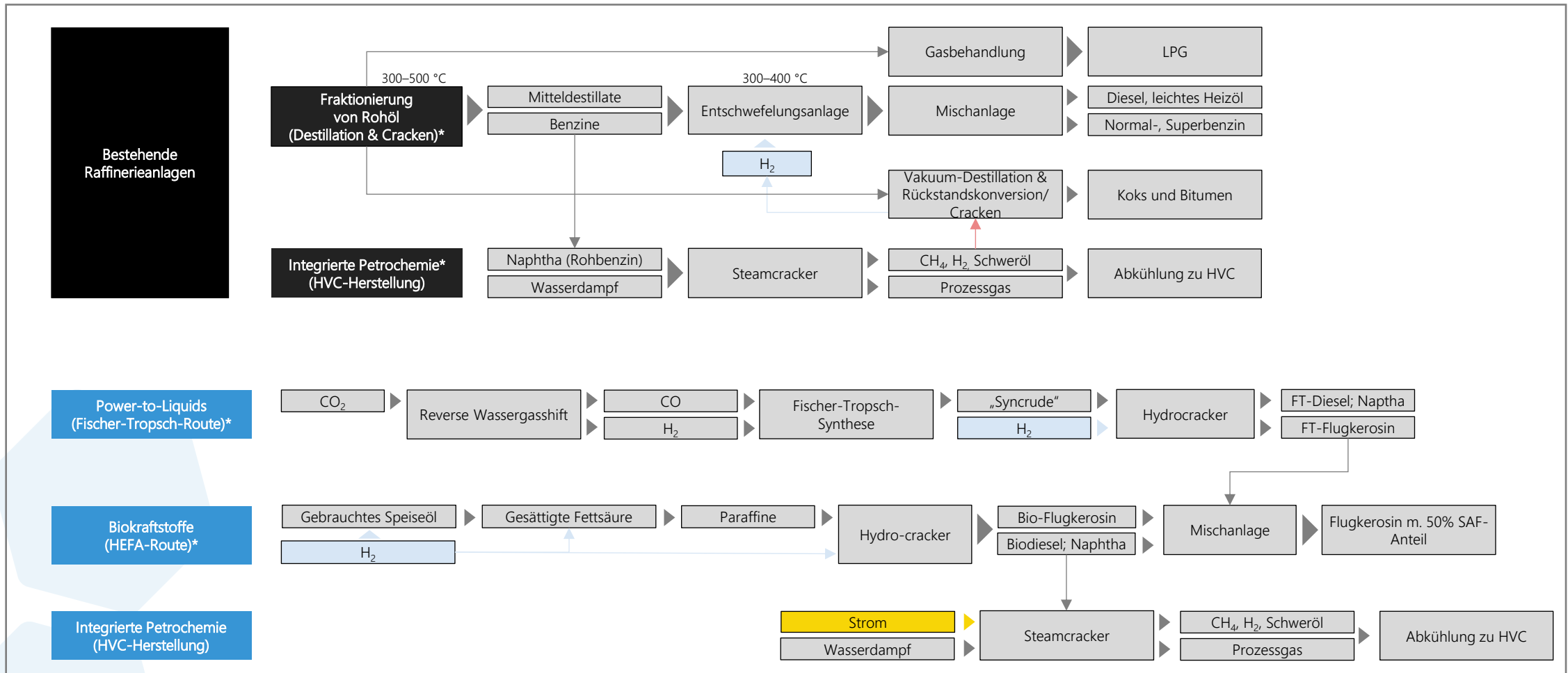
## Endenergieverbrauch 2023 [TWh]



## CO<sub>2</sub>-Emissionen 2023 [Mt]



# Raffinerie | 2/2



# NE-Metalle | Primäraluminium & -kupfer

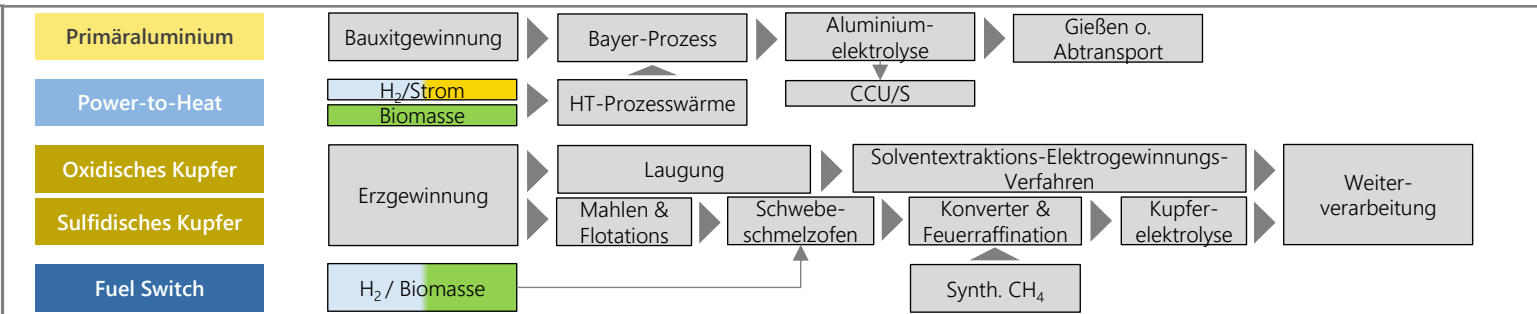
## Prozessbeschreibung der Status quo-Technologien

• **Aluminiumherstellung:** Im ersten Schritt wird Bauxit im Tagebau abgebaut und nach Deutschland exportiert. Um das für die Weiterverarbeitung notwendige Aluminiumoxid zu gewinnen, wird das Bauxit im sogenannten Bayer-Prozess durch verschiedene Mahl-, Filter- und Brennprozesse aufbereitet. Anschließend kann das Aluminiumoxid in der Elektrolyse zu Aluminium verarbeitet werden. In Deutschland kommt hierfür ausschließlich die Schmelzflusselektrolyse nach dem Hall-Heroult-Verfahren zum Einsatz. Hierbei wird das Aluminiumoxid mit Hilfe von Graphit-Anoden durch Gleichstrom bei einer konstanten Temperatur von ca. 950 °C zu Aluminium reduziert. Die Einhaltung der Temperatur ist dabei stets zu gewährleisten. Während das Aluminium reduziert wird, reagiert der freigewordene Sauerstoff mit dem Kohlenstoff der Anode zu Kohlendioxid und Kohlenmonoxid. Der Hauptbrennstoffbedarf entsteht durch den Verschleiß der Elektroden und die Aufbereitung des Bauxits zu Aluminiumoxid.

• **Kupferherstellung:** Die Kupferherstellung unterscheidet sich wegen der Zusammensetzung des Ausgangsrohstoffes in zwei Prozesse. Beim sulfidischen Kupfererz wird das Erz gemahlen und durch Flotation das hydrophobe Kupfererz angereichert. Dabei fallen etwa 70 % des gesamten Energieverbrauchs an. Anschließend wird das Kupferkonzentrat in einem Schwebeschmelzofen durch Zugabe von Sauerstoff in einer exothermen Reaktion bei 1200 °C zu Kupferstein (Cu<sub>2</sub>S, 65 % Kupfer) geschmolzen. Zur Steigerung des Reinheitsgrads wird mit Hilfe eines Konverters Rohkupfer (98 %) erzeugt und durch Feuerraffination mit Hilfe von Erdgas das restliche Eisen und Schwefel herausgetrieben (Anodenkupfer 99 %). Abschließend werden in der Kupferelektrolyse die restlichen Nicht-Kupfer Metalle entfernt und hochreines Kathodenkupfer (99,95 %) hergestellt. Da das oxidische Kupfer nicht hydrophob ist, muss es zunächst mit Schwefelsäure behandelt werden und kann anschließend durch das Solventextraktions-Elektrogewinnungs-Verfahren direkt zu Kathodenkupfer verarbeitet werden.

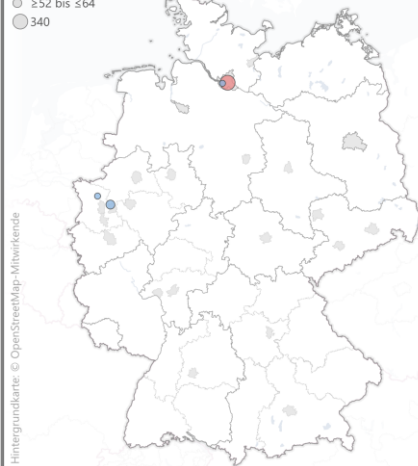
## Prozessbeschreibung der Transformationspfade

- **Inerte Anode/benetzte Kathode:** Inertes Anoden-Material zur Reduktion der Emissionen durch den Anodenverbrauch oder benetzte Kathode zur Verringerung des Abstandes zwischen den Elektroden und Reduktion des Widerstandes (Stromverbrauch).
- **Power-to-Heat & CCU/S:** Befuerung des Bayer-Prozesses mit Power-to-Heat und Abscheidung der Prozessemissionen durch CCU oder CCS.
- **Fuel Switch:** Befuerung des Schwebeschmelzofens mit HyP oder Biomasse und Einsatz von synth. Methan zur Reduktion des Eisens und Schwefels. CCU/S wäre hier ebenfalls einsetzbar.
- **Sekundärroute:** energiearme Lösung -> Recycling



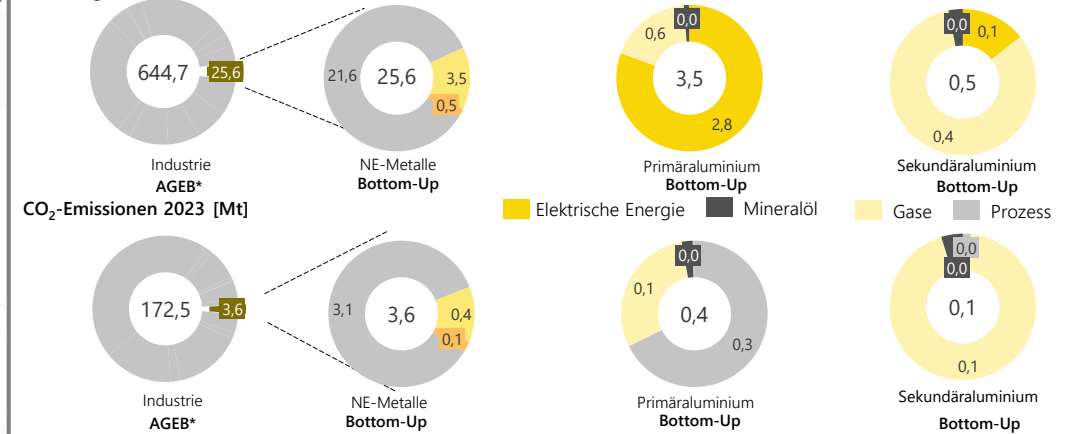
## Produktionsstandorte 2023

- Primäraluminium (blau)
  - Primärkupfer (rot)
- Jahresproduktionsmenge [kt]  
 ● ≥30 bis ≤43  
 ● ≥52 bis ≤64  
 ● 340

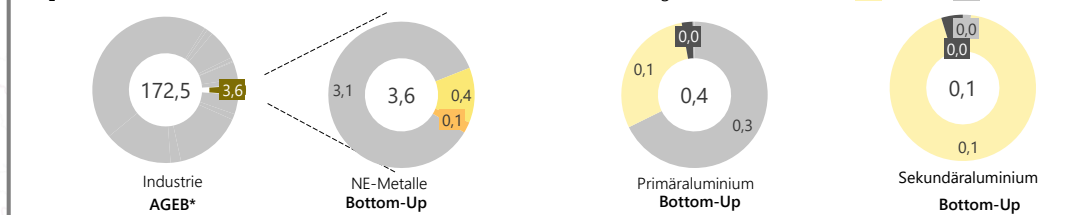


Primäraluminium: 3 Standorte  
 Primärkupfer: 1 Standort  
 WZ-Klassifikation: 24.1

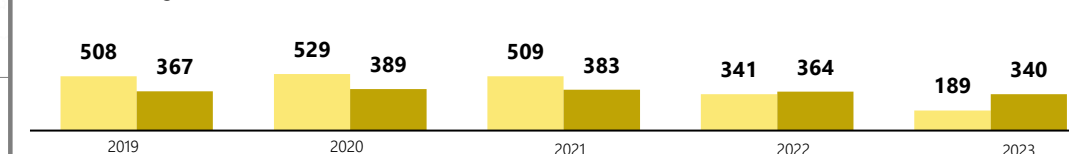
## Endenergieverbrauch 2023 [TWh]



## CO<sub>2</sub>-Emissionen 2023 [Mt]



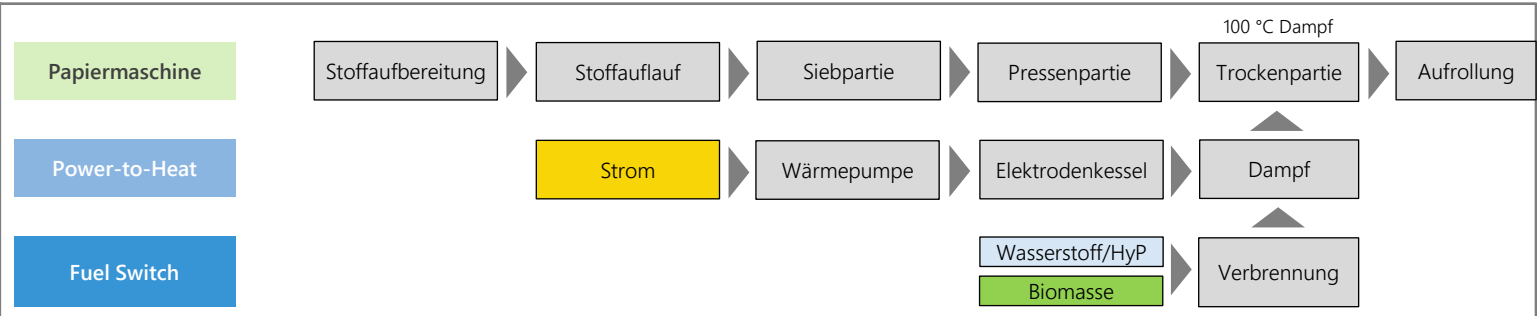
## Produktionsmenge 2023 [kt]



# Papiergewerbe | Papiermaschinen

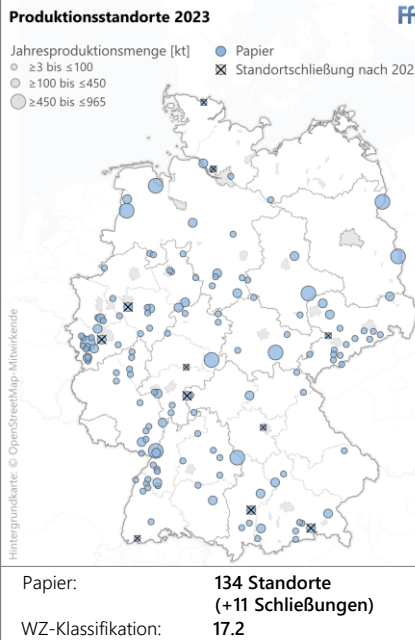
## Prozessbeschreibung der Status quo-Technologien

- Papiermaschine:** Zunächst wird ein konstanter Stoffstrom aus Fasern, Füllstoffen und Wasser erzeugt. Dieser wird anschließend mittels Prozesswasser verdünnt, um den gewünschten Faserstoffgehalt (0,1-1,4 Prozent) zu erreichen. Außerdem wird er gereinigt, entlüftet und mit einer geregelten Geschwindigkeit in den Stoffauflauf der Papiermaschine gebracht. In der bis zu 250 Meter langen Papiermaschine wird aus der verdünnten Faserstoffsuspension ein Blatt erzeugt, welches durch Filtration, Pressen und thermische Trocknung entwässert und schließlich auf den Tambour aufgewickelt wird. Zusätzliche Prozesseinheiten zur Oberflächenbehandlung und Veredelung wie Leimpresen, Streichanlagen und Kalande werden je nach Papier- und Kartonqualität entweder vor oder zwischen der Trocknungspartie und der Aufrollung (online) oder außerhalb der Papiermaschine (offline) eingesetzt.

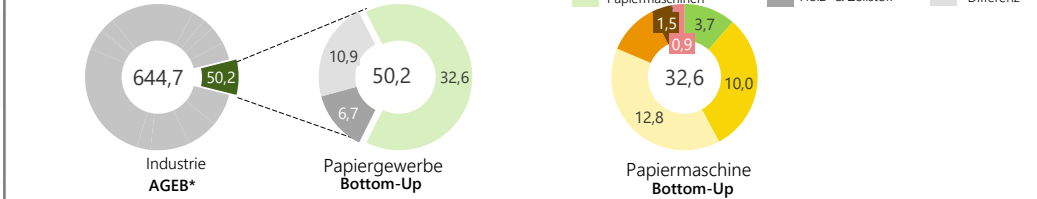


## Prozessbeschreibung der Transformationspfade

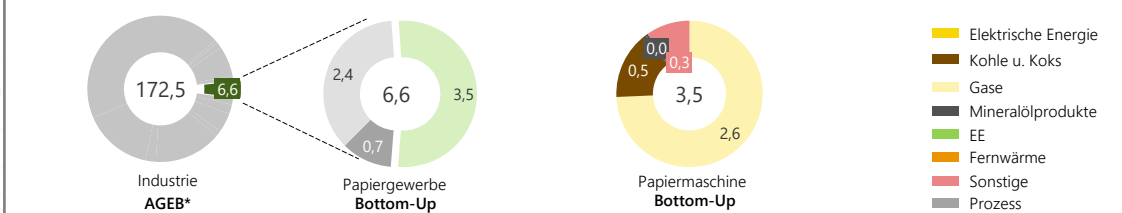
- Power-to-Heat/Fuel Switch:** Der Hauptanteil der fossilen Energie bei der Papierproduktion wird für die Bereitstellung des Dampfes in der Trockenpartie benötigt. Dabei werden die feuchten Papierbahnen durch mehrere dampfbeheizte Trockenzylinder geführt. Als Transformationstechnologie bietet sich hier der Elektrodenkessel (PtH) mit seiner relativ hohen Effizienz und der flexiblen Dampfproduktion an. Diese Technologie wird bereits in einigen Papierfabriken erfolgreich angewandt. Zur weiteren Effizienzsteigerung können in der Zukunft Wärmepumpen zur Voranhebung des Temperaturniveaus eingesetzt werden. Der Einsatz von Wasserstoff, Derivaten (HyP) oder Biomasse wäre hier als Ersatz für das heute eingesetzte Erdgas ebenso denkbar.



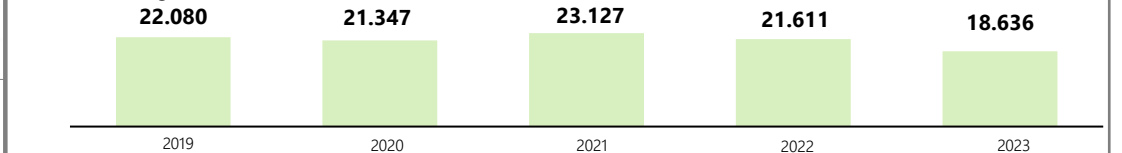
## Endenergieverbrauch 2023 [TWh]



## CO<sub>2</sub>-Emissionen 2023 [Mt]



## Produktionsmenge 2023 [kt]



\* Endenergieverbrauch inkl. Koksverbrauch in Hochöfen

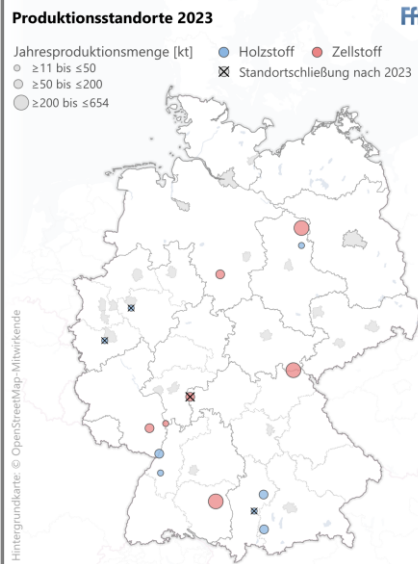
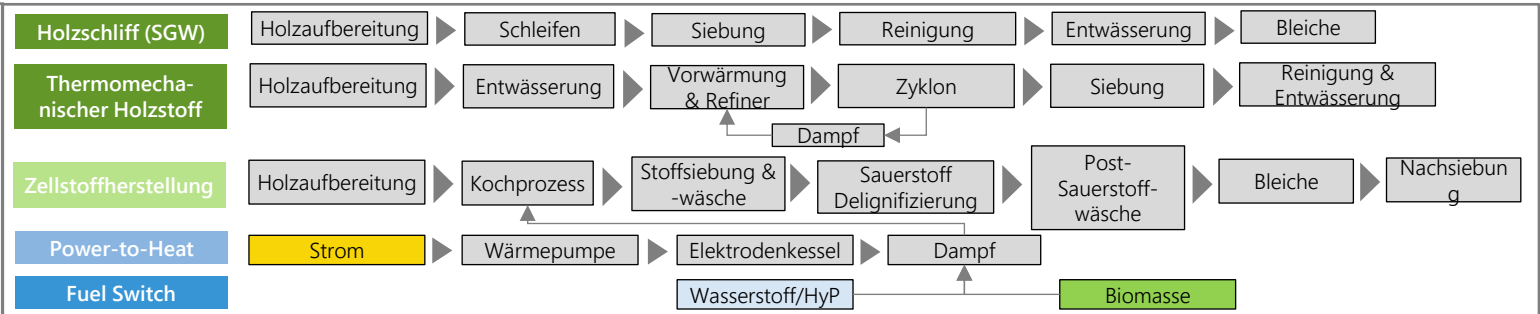
# Papiergewerbe | Holz- und Zellstoffproduktion

## Prozessbeschreibung der Status quo-Technologien

- Holzschliff (SGW) & Thermomechanischer Holzstoff (TMP):** Beim SGW-Aufschluss werden Stämme unter Zugabe von Wasser gegen einen rotierenden Mahlstein gepresst und der Holzstoff durch Siebung, Reinigung, Entwässerung und Bleichung hergestellt. Der TMP-Holzstoff wird nach der Behandlung mit Dampf (um die Fasern durch Quellung leichter zu verarbeiten) durch die Defibrierung (Zerfaserung) von Hackschnitzeln zwischen Metallscheiben hergestellt. Im Refiner des TMP-Verfahrens werden Temperaturen zwischen 120 °C und 135 °C benötigt, um den größten Teil der Fasern aufzuweichen und leichter abzutrennen. Ein Großteil der im Refiner eingesetzten elektrischen Energie wird in Wärme umgewandelt und setzt den Prozess durch Dampf, der aus der Holzfeuchtigkeit und dem Verdünnungswasser in den Refinern erzeugt wird, unter Druck. Aufgrund der Druckbedingungen (Druck von bis zu 6 bar) kann eine signifikant hohe Energiemenge für andere Prozessschritte wie die Papier- oder Zellstofftrocknung zurückgewonnen werden.
- Zellstoffherstellung:** Die Holzhackschnitzel werden zunächst bei hohen Temperaturen zusammen mit Chemikalien gekocht, um die Fasern aus der Holzmatrix freizusetzen und um das Lignin weitgehend in der Kochlauge zu lösen und aus dem Prozess auszuschleusen. Erst im Anschluss daran erfolgt der Bleichvorgang, um das Restlignin zu entfernen. Dabei unterscheidet man zwei verschiedene Prozessvarianten, welche sich wiederum in der Chemie des Kochprozesses, dem chemischen Rückgewinnungssystem, der Anzahl an nötigen Bleichschritten und den eingesetzten Mengen an Bleichchemikalien unterscheiden. Die Herstellung von Zellstoff kann in vier Hauptprozessschritte unterteilt werden: die Rohstoffhandhabung, der chemische Aufschluss (Delignifizierung) mit einem fast vollständig geschlossenen Chemikalien- und Energierückgewinnungssystem, das Bleichen mit einem offenen Wassersystem und das prozesseexterne Abwasserbehandlungssystem. Durch die Verbrennung des heizwertreichen Lignins in der Ablauge lässt sich der Energieeinsatz für fast den gesamten Zellstoffherstellungsprozess abdecken. Die Chemikalien werden dabei nahezu vollständig recycelt. Zur Herstellung von Marktzellstoff wird der Zellstoff anschließend getrocknet.

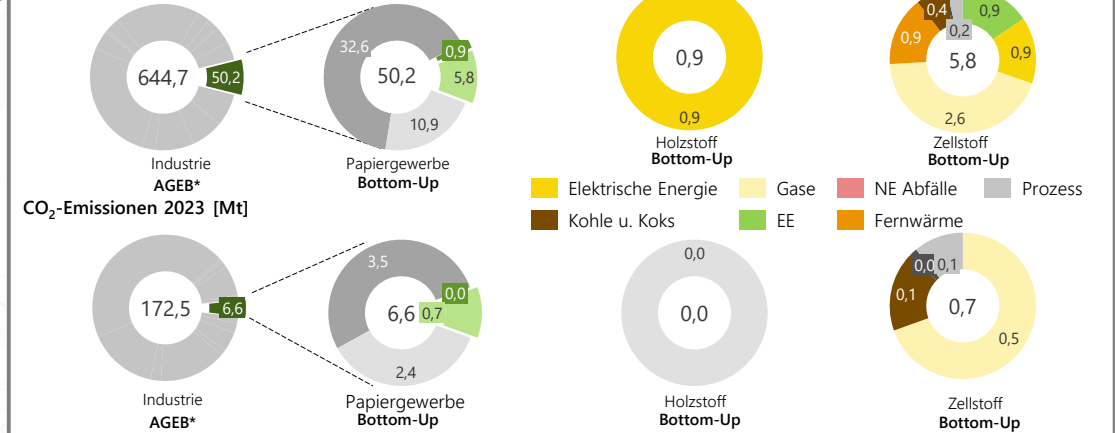
## Prozessbeschreibung der Transformationspfade

- Power-to-Heat:** Bei der Zellstoffherstellung können die fossilen Energieträger für die Bereitstellung der Dampferzeugung durch elektrische Energie in Wärmepumpen und Elektrodenkesseln ersetzt werden. Wie bei der Papierherstellung können auch hier Wasserstoff, seine Derivate (HyP) und Biomasse eingesetzt werden. In der Holzstoffproduktion wird durch die Zerfaserung so viel Wärmeenergie erzeugt, dass durch Wärmerückgewinnung die Prozesse mit genügend Energie versorgt werden können.

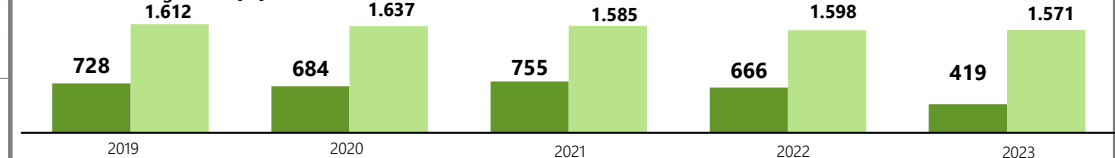


Holzstoff: 5 Standorte (+3 Schließungen)  
 Zellstoff: 6 Standorte (+1 Schließung)  
 WZ-Klassifikation: 17.11

## Endenergieverbrauch 2023 [TWh]



## Produktionsmenge 2023 [kt]



\* Endenergieverbrauch inkl. Koksverbrauch in Hochöfen

# Sonstige | Niedertemperatur-Prozesswärme (NT-Prozesswärme)

## Prozessbeschreibung der Status quo-Technologien

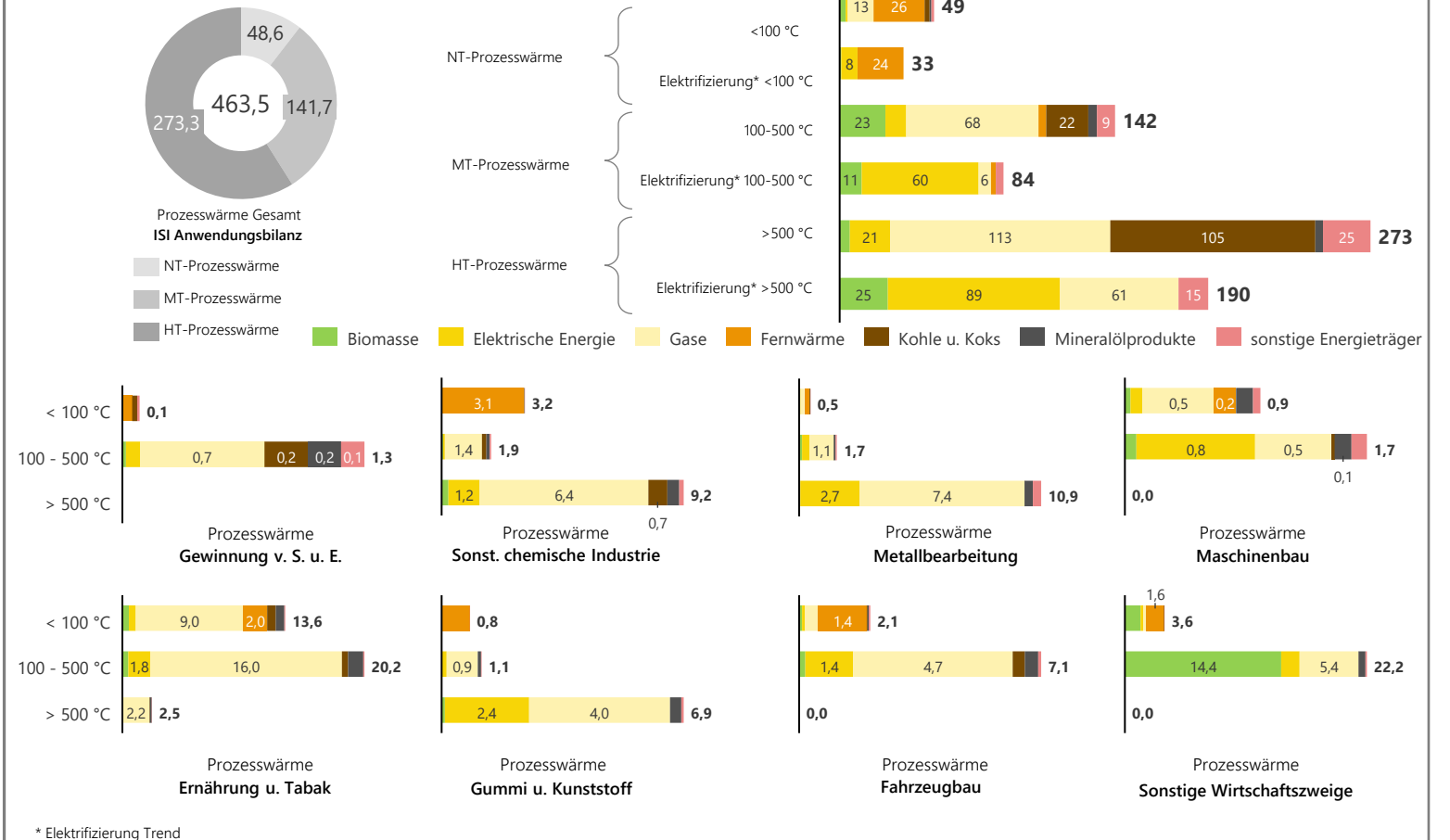
- **NT-Prozesswärme:** Heutzutage wird die Prozesswärme hauptsächlich durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen hergestellt. Dabei spielt Erdgas eine große Rolle. Allgemein lässt sich die Prozesswärme in folgende drei Temperaturbereiche einteilen:
  - Niedertemperatur (NT) < 100 °C
  - Mitteltemperatur (MT) 100-500 °C
  - Hochtemperatur (HT) > 500 °C

## Prozessbeschreibung der Transformationspfade

- **Power-to-Heat:** Die Transformation der NT-Prozesswärme kann je nach Temperaturniveau durch verschiedene Technologien erfolgen. Die Wärmepumpe (WP) eignet sich für niedrige Temperaturniveaus < 100 °C. Für die MT-Prozesswärme zwischen 100 und 200 °C eignet sich ein Kaskadensystem in Kombination mit einem Elektrodenkessel. Dabei wird der Vorteil der höheren Effizienz der WP im unteren Temperaturbereich ausgenutzt und mit dem Elektrodenkessel das vorgeheizte Wasser auf die gewünschte Dampftemperatur gebracht. Ab 200 °C kommt der Elektrodenkessel bis zu einer Temperatur von 500 °C zum Einsatz. Hierbei wird durch elektrischen Strom über zwei Elektroden das Wasser in einem Dampfkessel erhitzt. Oberhalb 500 °C lässt sich die Hochtemperatur-Prozesswärme nicht mehr auf einfache Weise elektrifizieren und muss durch Wasserstoff, seine Derivate (HyP) oder Biomasse ersetzt werden.
- **Wasserstoff/Derivate:** Da heute ein großer Teil der Prozesswärme durch Erdgasbrenner erzeugt wird, würde eine Umstellung auf Wasserstoff oder dessen Derivate einen technisch geringen Mehraufwand bedeuten. Allerdings ergibt sich durch die Umwandlungsverluste eine schlechtere Effizienz im Gesamtprozess. Eine weitere Möglichkeit stellt die KWK-Technik dar. Sie wird vor allem in der Grundstoffchemie als potenzielle Transformationstechnologie gesehen.

WZ-Klassifikation: 8, 10 - 16, 20 (außer 20.1), 21, 22, 24 - 33

## Endenergieverbrauch Prozesswärme 2023 [TWh]



# Einschätzung zum Einsatz von CCUS

## aus Sicht der Industrieprozesse

| Prozesse                            | Einschätzung zum Einsatz von Carbon Capture (CC) in den ausgewählten Prozessen  |
|-------------------------------------|---|
| Primär- & Sekundärstahl             | Der Einsatz von CC an integrierten Hüttenwerken ist grundsätzlich denkbar und hat als Technologieoption in der Diskussion zur Treibhausgasverminderung in der Stahlindustrie nach wie vor seinen Platz. Allerdings existiert mit der Direktreduktionsroute eine Alternative zum Einsatz von CC, die noch dazu eine tiefere spezifische Treibhausgasverminderung verspricht. Aufgrund der vergleichsweise geringen erzielbaren Abscheiderate, die am Hochofen erzielt werden, können mittels CC in den beiden Prozessen die spezifischen Emissionen der Stahlerzeugung nur um 86 % bzw. 76 % reduziert werden.   |
| Steam-cracking & Dampfpreformierung | Bei den Prozessen zur Herstellung von High-Value-Chemicals (im Steamcracker), Ammoniak und Methanol (via Dampfpreformierung) stellt CC grundsätzlich eine Technologieoption dar (v. a., da es sich hier um große Punktquellen handelt). Auch hier gilt jedoch, dass die Abscheideraten aufgrund der verhältnismäßig geringen CO <sub>2</sub> -Konzentration im Abgas relativ gering sind und andere strom- und H <sub>2</sub> -basierte Verfahrensrouten existieren, mittels derer eine weitreichende Treibhausgasverminderung erzielt werden kann.   |
| Aluminium & Kupfer                  | Im Bereich der Alu- und Kupferherstellung stellt CC bis dato keine realistische Technologieoption dar. Im Bereich der Aluminiumherstellung wird hieran aktuell allerdings geforscht. Die dortige Entwicklung sollte aufmerksam verfolgt werden, da hohe Unsicherheiten mit Bezug zur voraussichtlichen Marktreife der alternativen Technologie zur tiefen Treibhausgasverminderung (innovative Elektroden) existieren.  |
| Zement & Kalk                       | Obwohl die CO <sub>2</sub> -Abscheidung an Drehrohr- und Schachtöfen bis dato technisch noch nicht im großindustriellen Maßstab zur Verfügung steht, gilt der Einsatz in diesen beiden Prozessen als wahrscheinlich bzw. unausweichlich und wird in ersten Pilotprojekten getestet. Noch existieren keine weiteren Technologieoptionen, mit denen die dort auftretenden Prozessemissionen vollständig reduziert werden können. Dies ist insofern problematisch, als dass insbesondere die Zementindustrie geographisch flächendeckend über das Land verteilt ist und z.T. auch relativ kleine Punktquellen für CO <sub>2</sub> vorliegen. Es existieren zahlreiche offene Fragen, was Infrastruktur für Transport und Speicherung von CO <sub>2</sub> in diesen Prozessen anbelangt. Nichtsdestotrotz könnten durch den Einsatz von CC in Kombination mit biogenen Energieträgern die Prozesse Kalk und Zement perspektivisch zu einer CO <sub>2</sub> -Senke werden. |
| Hohlglas & Flachglas                | Die Problematik bei der Glasherstellung ist vergleichbar mit der bei Zement & Kalk. Auch wenn die Energieversorgung dieser Prozesse treibhausgasneutral gestellt wird, verbleiben Prozessemissionen, für deren Verminderung bis dato nur die CO <sub>2</sub> -Abscheidung in Frage kommt. Darüber hinaus stellen Glasschmelzen ebenfalls relativ kleine und verteilte Punktquellen dar. Aufgrund dieser Faktoren ist mit hohen Treibhausgasverminderungskosten zu rechnen.  |
| KWK- Anlagen                        | Grundsätzlich ist CC auch an KWK-Anlagen möglich. Wird die KWK mit Biomasse betrieben, kann sogar eine Emissionssenke erzeugt werden. Allerdings gilt sowohl für die KWK-Anlagen in der Papier- als auch der Chemieindustrie, dass keine 100-prozentige Abscheidung möglich ist (bzw. extrem aufwändig wäre) und technisch weniger aufwändige direktelektrische Anwendungen zur Verfügung stehen.   |

[Literaturhinweis zu kompakten Informationen über Carbon Capture Storage and Usage](#)

[Weitere Literatur](#)



# 3 Status quo – Kriseneinflüsse

Inhaltsverzeichnis

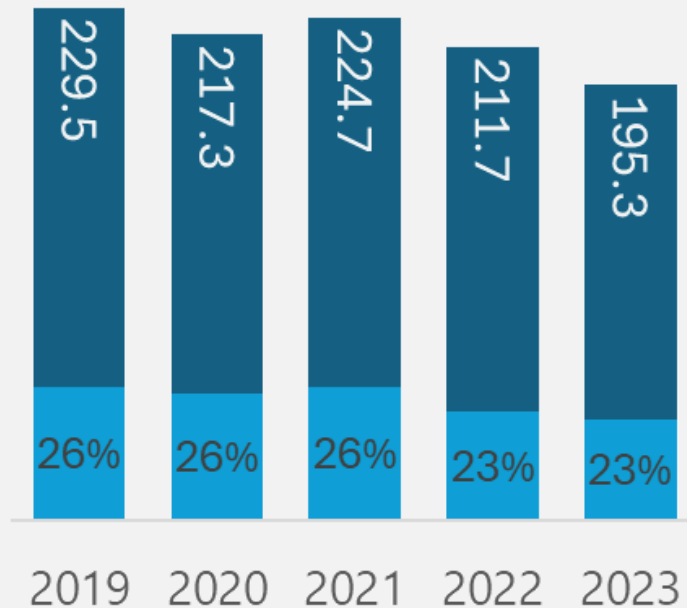
# Auswirkungen von Coronapandemie und Ukrainekrieg auf die deutsche Industrie

Zusätzlich zur Beschreibung der energieintensivsten Prozesse und ihrer Transformationspfade im vorangegangenen Kapitel werden hier die Kriseneinflüsse auf die historischen Stromverbrauchsentwicklungen 2019 – 2023 beleuchtet. Dabei werden einerseits Auswirkungen der Coronapandemie und andererseits des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine untersucht. Es lassen sich Aussagen über den gesamten Stromverbrauch, den Verbrauch der energieintensiven Industrie und einzelner Wirtschaftszweige treffen. Insbesondere die qualitativen Einflüsse auf den Stromverbrauch 2023 finden in der Erstellung der Szenarien und in der Berechnung der Endenergieverbräuche für die Stützjahre 2025 und 2030 Beachtung.

# Krisenbedingte Senkungen der Stromverbräuche

## Übersicht 2019 - 2023

Entwicklung des industriellen Stromverbrauchs in DE [TWh] und Anteil des **prozessspezifischen Verbrauchs**



Von 2019 bis **2020** gab es **pandemiebedingte** Nachfrage**einbrüche** und Produktionsstopps in fast allen Wirtschaftszweigen, die zu einer Senkung des Stromverbrauchs führten. Eine Ausnahme ist die pharmazeutische Industrie.

Im Folgejahr **2021** sind **Erholungseffekte** bemerkbar.

**2022** und **v. a. 2023** kam es zu **Einbrüchen** in der Produktion aufgrund des **Ukrainekriegs** und den damit gestiegenen Energiepreisen. Besonders betroffen sind energieintensive Branchen. Der industrielle Stromverbrauch in Deutschland ist im Jahr **2023 im Vergleich zu 2019 im Durchschnitt um knapp 15 % gesunken.**

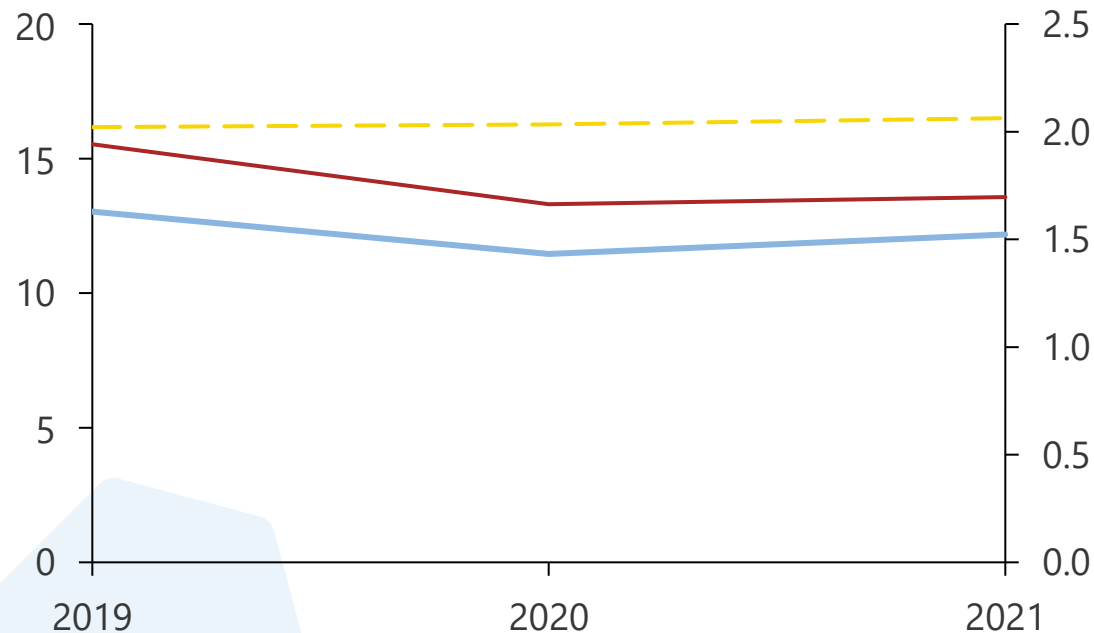
Der Prozessstromverbrauch ist von 2019 bis 2023 um rund 14,7 TWh gesunken. Sein Anteil am industriellen Gesamtstromverbrauch lag 2023 bei knapp 23 %, rund 3 % weniger als 2019.

# Auswirkungen der Corona-Pandemie

## Übersicht 2019 - 2021

### Stromverbrauch in TWh

C24, C29



- C21 - H. v. pharmazeutischen Erzeugnissen
- C24 - H. v. Metallerzeugnissen
- C29 - H. v. Kraftwagen u. Kraftwagenteilen

### 2020

- Einbruch in der Kundennachfrage
- Umstrukturierung der Lieferkette nötig
- Kurzarbeit, v. a. in der Zulieferindustrie bei Teile- und Komponentenzulieferern wie WZ25–H. v. Metallerzeugnissen und bei Systemzulieferern sowie bei der Herstellung komplexer Produkte
- Kurzarbeit auch bei Endproduktherstellern wie WZ29-H.v.Kraftwagen u. Kraftwagenteile
- Start Digitalisierungsschub → Home-Office und die Nutzung von Cloud-Diensten erhöht Strombedarf in Rechenzentren

### 2021

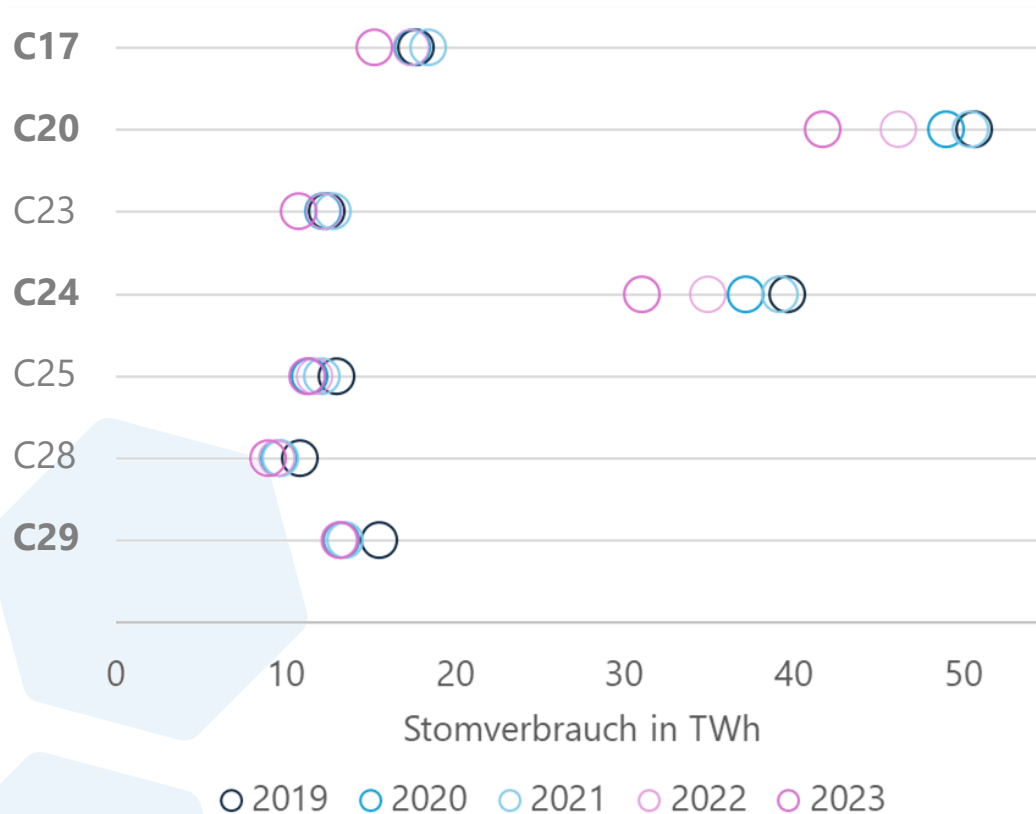
- Langsamere Erholung im Verarbeitenden Gewerbe (B2B-Markt) als bei B2C

Unterschiede in den Entwicklungen der Stromverbräuche der WZ bzgl. Kurzarbeit und Erholung nicht sichtbar

# Stromverbrauchsentwicklung

## Wirtschaftszweige 2019 - 2023

Stromverbrauch in ausgewählten Wirtschaftszweigen in den Jahren von 2019 bis 2023



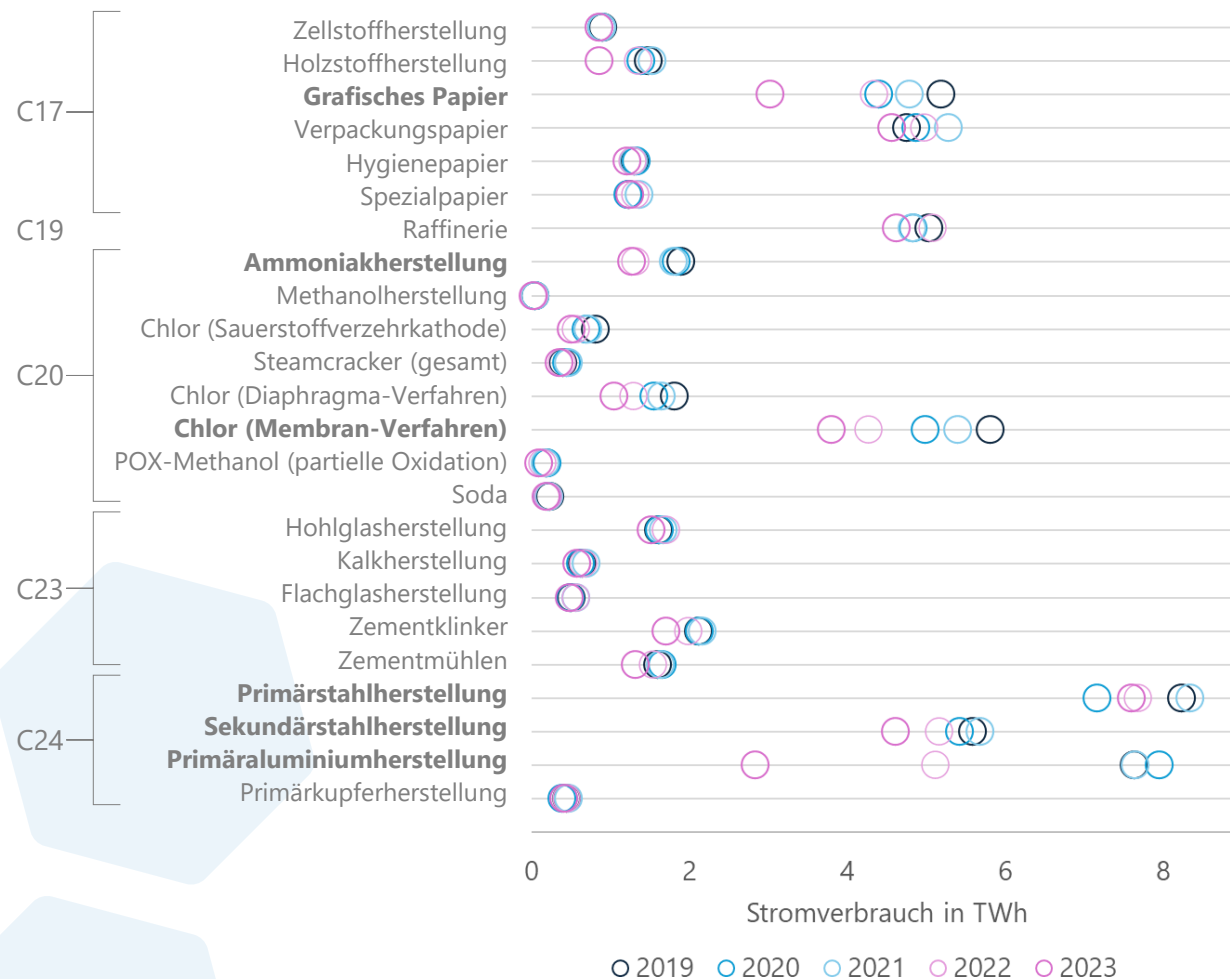
Die linke Grafik zeigt die Entwicklung des Stromverbrauchs seit 2019 für ausgewählte Wirtschaftszweige. Ausgewählt wurden Branchen, die sowohl einen hohen Stromverbrauch (über 8 TWh) als auch einen deutlichen Rückgang von mehr als 13 % im Betrachtungszeitraum aufweisen.

Den **stärksten Rückgang** von 2019 zu 2023 verzeichnen die **Wirtschaftszweige C20 – Herstellung von chemischen Erzeugnissen** sowie **C24 – Metallerzeugung und -bearbeitung**. Diese beiden Branchen gehören zudem zu den stromintensivsten der Industrie.

- C17 - H.v. Papier, Pappe u. Waren daraus (-14%)
- C20 - H.v. chem. Erzeugn. (-18%)
- C23 - H.v. Glas,-waren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden
- C24 - Metallerzeugung u.- bearbeitung (-22%)
- C25 - H.v. Metallerzeugnissen
- C28 – Maschinenbau
- C29 - H.v. Kraftwagen u. Kraftwagenteilen (-14%)

# Stromverbrauchsentwicklung

## Energieintensive Prozesse 2019 - 2023



Die linke Grafik zeigt die Entwicklung des Stromverbrauchs der betrachteten Prozesse seit 2019.

**Besonders starke Rückgänge** (- 33 % bis - 63 %) sind bei der Aluminium-, Ammoniak- und Chlorproduktion sowie bei der Herstellung von Stahl und grafischem Papier zu beobachten. Allein der Rückgang in der Aluminium-, Chlor- und Papierproduktion verursacht 71 % des gesamten Rückgangs beim prozessbedingten Stromverbrauch seit 2019. Bezogen auf die Tonne Produkt sind die Primäraluminium- und die Chlorherstellung sehr stromintensiv.

# Auswirkungen des Ukrainekriegs

## Hohe Energiepreise und Nachfragerückgänge stellen Industrie vor Probleme

### Wirtschaftszweige

- Hauptgründe
- ◐ Weitere Gründe
- Vorübergehende Reduktion

| Wirtschaftszweige  | Werksschließung/<br>dauerhafte<br>Kapazitätsreduktion | Nachfrage-<br>rückgang | Hohe Energiepreise | Hohe<br>Standortkosten<br>(Arbeit, STAU) | Hohe<br>Übertragungsnetz-<br>entgelte | Geopolitische<br>Instabilität* | Wettbewerbs-<br>druck (v. a. Asien) | Fachkräftemangel | Strengere<br>Regulatorik/<br>Bürokratie | Umrüstung | Modernisierung | Verringerung der<br>Rohstoffvorräte |
|--|---|------------------------|--------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------|---|-----------|----------------|-------------------------------------|
| C20 - H. v. chem.Erzeugn. (u. a. Ammoniak)                     | ●   | ●                      | ●                  |  |                                       |                                | ◐                                   |                  | ◐                                       |           | ◐              |                                     |
| C24 - Metallerzeugung u.-bearbeitung (Aluminium)               | ●   |                        | ●                  |  |                                       |                                |                                     |                  |   | ○         | ○              |                                     |
| C24 - Metallerzeugung u.-bearbeitung (Stahl)                   |   | ●                      | ●                  |  | ●                                     | ◐                              |                                     |                  |   |           |                |                                     |
| C17 - H. v. Papier,Pappe u. Waren daraus                       | ●   | ●                      | ●                  | ◐  |                                       | ◐                              |                                     |                  |   |           |                |                                     |
| C29 - H. v. Kraftwagen u. Kraftwagenteilen                     |   | ●                      |                    |  |                                       | ◐                              | ●                                   |                  |   |           |                |                                     |
| C23 - H. v. Glas, -waren, Keramik, Verarb. v. Steinen u. Erden |   | ●                      | ◐                  |  |                                       |                                |                                     |                  |   | ◐         |                | ◐                                   |
| C28 - Maschinenbau   |   | ◐                      |                    | ●  |                                       | ●                              | ◐                                   | ●                | ◐                                       |           |                |                                     |

Die Nachfrage im WZ C25 – H. v. Metallerzeugnissen ist abhängig von C28 u. C29 und daher nicht extra gelistet. [/IFO-01 18P/]

- Nachfragerückgang von Papier ist nicht krisenbedingt
- Geopolitische Instabilität und deren Auswirkungen auf Absatz und Lieferkette: Neugestaltung der Lieferketten kurzfristig möglich /PWC-01 25P/
- Modernisierung – C20: Unternehmen sehen Effizienzmaßnahmen als Mittel zur Senkung des Energiebedarfs/-kosten /VCI-02 24P/
- Modernisierung – Senken Effizienzmaßnahmen den Stromverbrauch? V.a. ungehobene Effizienzpotentiale bei Prozesswärme, nicht stromseitig /IFEUE-01 23P/



# 4 Transformationspfade

Inhaltsverzeichnis

# Transformationspfade der deutschen Industrie

Auf Basis des Status quo wird für die beiden Extremszenarien maximal sinnvolle Elektrifizierung und maximal sinnvoller Wasserstoffeinsatz im **Trendszenariorahmen** sowie für das Elektrifizierungsszenario zusätzlich im Zielszenariorahmen der Industrieverbrauch transformiert. Dabei wird zwischen einer detaillierten Transformation auf der betrachteten Prozessebene und einer pauschalen Variante für den restlichen Endenergieverbrauch (EEV) der Wirtschaftszweige unterschieden. Als Eingangsdaten dienen neben den öffentlichen Bilanzen recherchierte Kennzahlen sowie Erfahrungswerte der FfE.

Für die Berechnung der Transformationspfade wird das **Industriesektormodell „Smlnd“** der FfE, basierend auf SQL und Matlab, verwendet. Zunächst werden alle Input-Parameter definiert. Anschließend werden die betrachteten Endenergieverbräuche der Prozesse und der verbleibenden prozessunspezifischen EEV-Anteile der Wirtschaftszweige in verschiedenen Schritten transformiert. Zuerst wird die Baseline-Entwicklung (ohne Transformationstechnologien) berechnet, d. h., basierend auf Produktionsmengen- und Bruttowertschöpfungsentwicklungen werden die EEV fortgeschrieben.

Anschließend werden Transformationsmaßnahmen aus den Clustern Effizienz, Verfahrensroutenwechsel, Brennstoffwechsel und Carbon Capture angewendet. Der prozessunspezifische Teil wird je nach Anwendung durch Effizienzfaktoren und bestimmte Brennstoffwechselmaßnahmen pauschal transformiert. Der Umwandlungssektor wird separat in einem Excel-Tool anhand der jeweils erzeugten fossilen Energieträger und deren Rückgang durch die Transformation ebenfalls transformiert.

Die Ergebnisse der Transformationspfade werden als **transformations- und nicht-transformationsbedingte (Baseline) Endenergieverbräuche** an die Regionalisierung übergeben.

# Aufbau des Transformationstools

## AP3-5: Analyse der Elektrifizierungspotenziale und Dekarbonisierungsoptionen unter Verwendung des Sektormodells Industrie **Smlnd**

### Es werden 3 Szenarien erstellt:

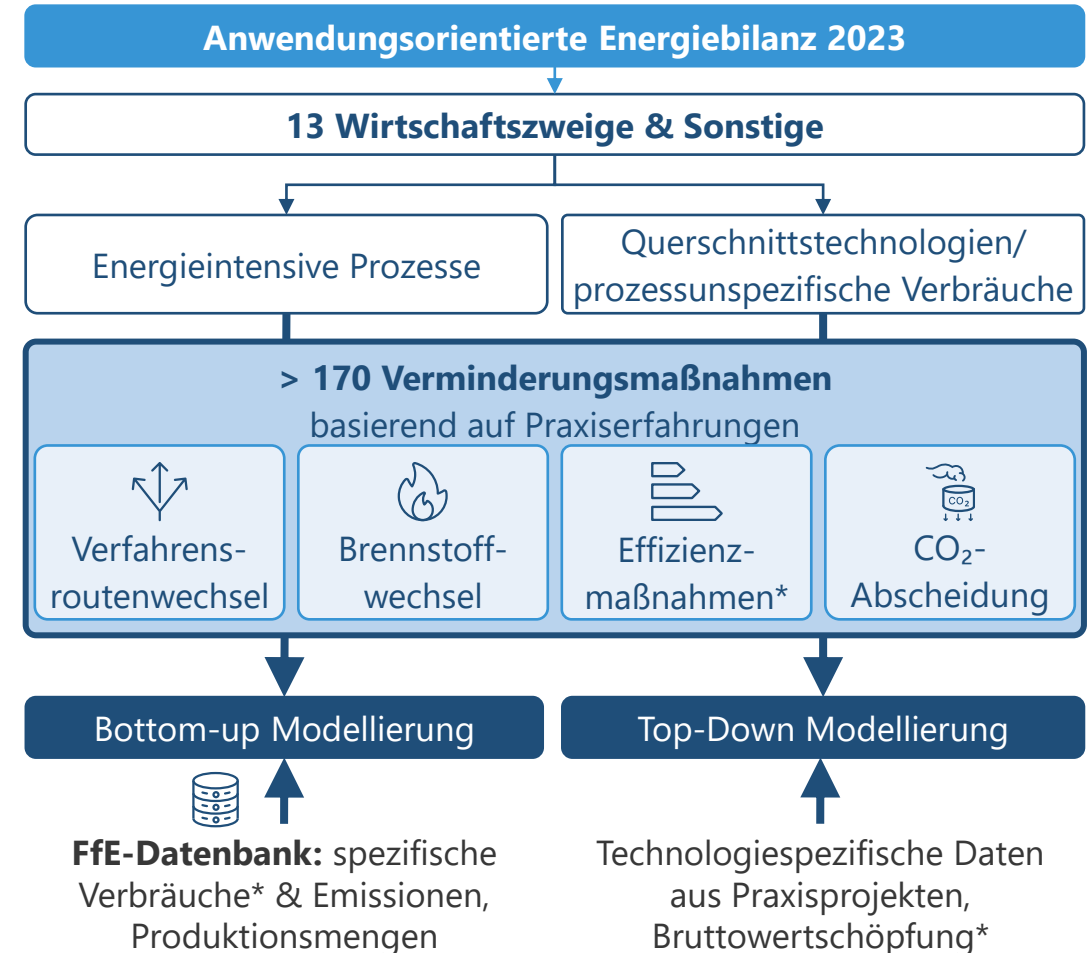
- Maximale Elektrifizierung im Trendszenariorahmen
- Maximaler Wasserstoffeinsatz im Trendszenariorahmen
- Maximale Elektrifizierung im Zielszenariorahmen

### Mögliche szenarioabhängige Parameter:

- Produktionsmengenentwicklung / Geschwindigkeit der Verfahrensroutenwechsel (für bottom-up)
- Technologieaustauschrate (z. B. Geschwindigkeit des Einsatzes von Wasserstoff)
- Technologiedurchdringung (z. B. Anteil Elektrifizierung vs. Wasserstoff im Brennstoffwechsel)
- Startjahr Technologiehochlauf (z. B. Verfügbarkeit von Wasserstoff)
- Umsetzungsrate von Effizienzmaßnahmen (in Abhängigkeit von den Energieträgerkosten)

### Ergebnisse:

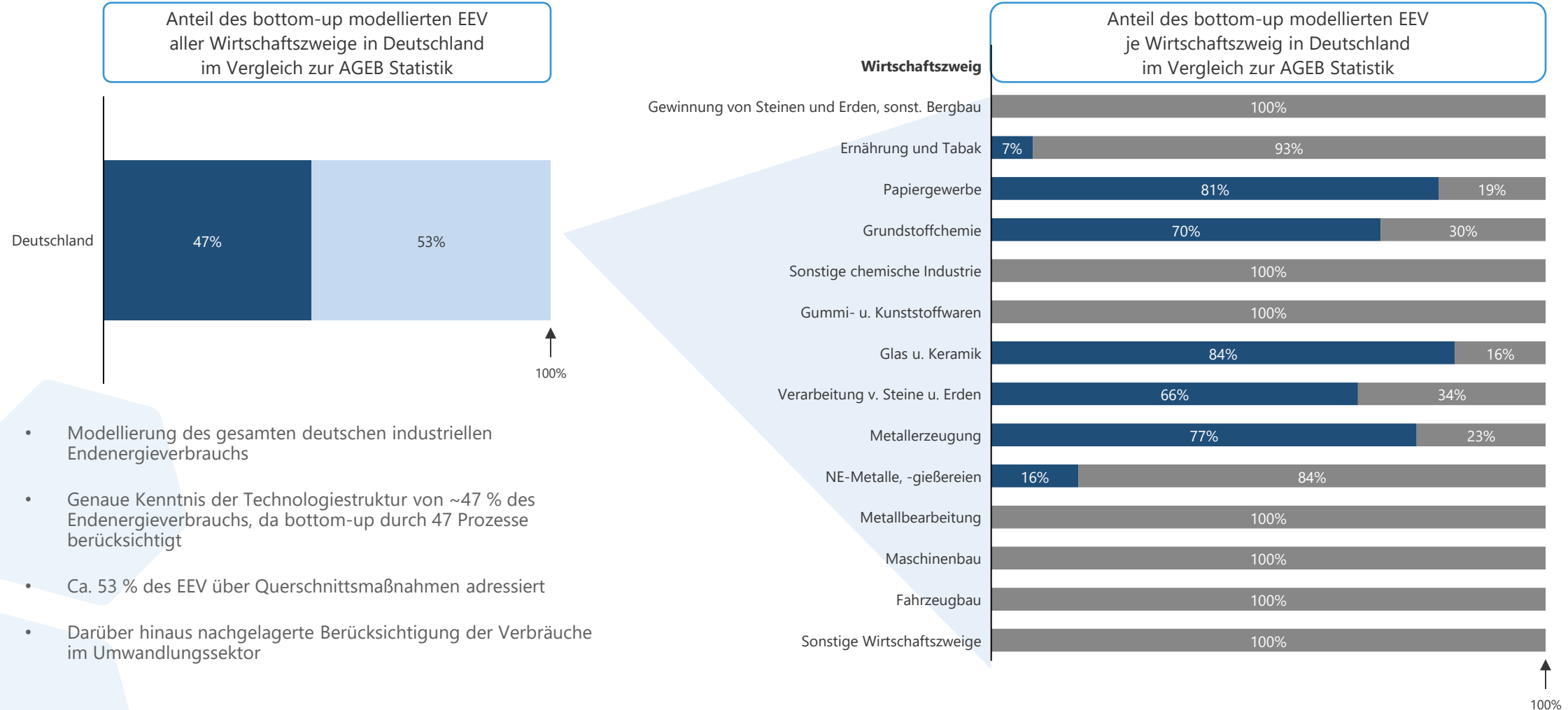
- Endenergieverbrauch (Strom, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>-Derivate), Emissionen
- je WZ nach Stützjahren, Anwendungen, Energieträgern und betrachteten Prozessen



# Hybrides bottom-up/top-down Transformationsmodell

## Bedeutende Verbräuche werden prozessspezifisch erfasst

■ **Bottom-up:** prozessspezifische, energieintensive Verbräuche 
 ■ **Top-Down:** prozessunspezifische Verbräuche



- Modellierung des gesamten deutschen industriellen Endenergieverbrauchs
- Genaue Kenntnis der Technologiestruktur von ~47 % des Endenergieverbrauchs, da bottom-up durch 47 Prozesse berücksichtigt
- Ca. 53 % des EEV über Querschnittsmaßnahmen adressiert
- Darüber hinaus nachgelagerte Berücksichtigung der Verbräuche im Umwandlungssektor

# Modellierung des Umwandlungssektors

## Zu modellierende Wirtschaftszweige:

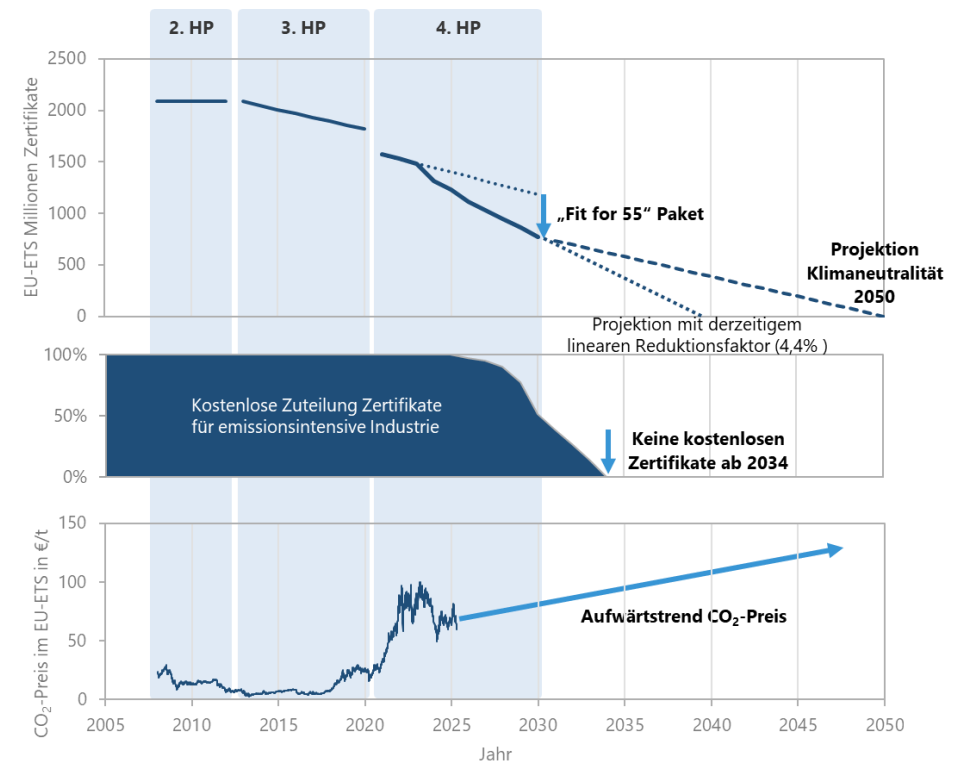
- Kokereien (Koks)
- Raffinerien (FFKW und Synfuels)
- Steinkohle- und Braunkohlenzechen-, -brikettfabriken (Stein- und Braunkohle)
- Erdöl- und Erdgasgewinnung (FFKW und Erdgas)

## Skalierung der Stromverbräuche im Anschluss an die Szenarienberechnung gemäß:

- den Stromverbräuchen der Wirtschaftszweige im Status Quo ×
- der Entwicklung der entsprechenden Energieträger im Energiesystem (fFe-Trend- und -Zielszenario)

Option im Trendszenario: nur 10% der Synfuelproduktion im Zieljahr heimisch, Rest Import, Reduktion der Raffinerieverbräuche wird mit dem linearen Reduktionsfaktor im EU ETS I einhergehen, da Produktion Synfuels teurer als Import (bei moderatem EE-Zubau)

Nicht berücksichtigte Option: Import und Raffinierung von Syn-Crude



# Szenariorahmen: Unterschiede

## Zielszenario – Ambitionierter Klimaschutz



- Abbildung eines **Soll-Hochlaufs**



- Strom-/Wasserstoffmengen fallen kurzfristig höher aus, da **Transformation** zügig startet, gefolgt von einem **gleichmäßigeren** Anstieg



- **Optimale Annahmen zur Produktionsmengenentwicklung** und schnellstmögliche Transformation der Industriestruktur, auf Basis von Literaturdaten und Branchen-Roadmaps

## Trendszenario – Klimaneutral bis 2045



- Abbildung eines möglichst **realistischen** Hochlaufs



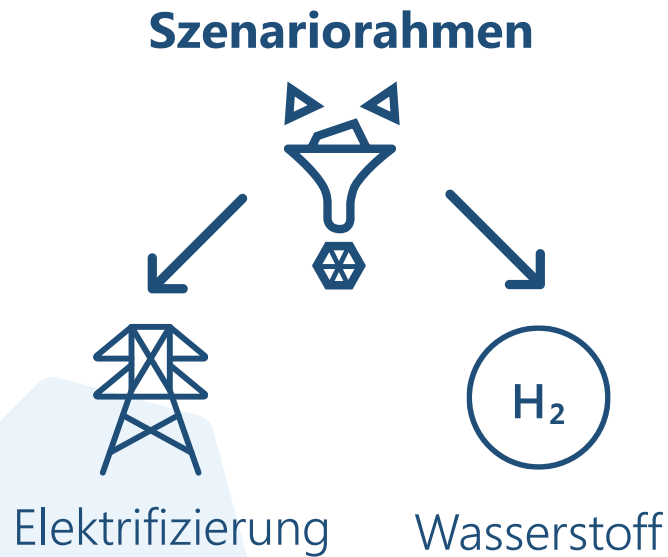
- Strom-/Wasserstoffmengen steigen in der Mittel- und Langfrist stärker an durch **Nachholeffekte** (verlangsamte Transformation in der Kurzfrist)



- **Abschätzung neuer Wertschöpfungsketten** für die Industrie, insb. Chemie und Primärstahl, auf Basis von FfE-Praxiserfahrungen

# Der Projekt-Szenariobaum “Trend” hat zwei Äste

## Elektrifizierung und Wasserstoff



Der **Szenariorahmen** mit den Annahmen zu **Infrastrukturbedingungen** und Preisentwicklungen ist für alle Szenarien gültig. Die Eckdaten zur gesamtwirtschaftlichen Entwicklung und die Regionalisierungslogik sind **szenarioübergreifend einheitlich**.

Es werden 2 Szenarien „maximale Elektrifizierung“ und „maximaler Wasserstoffeinsatz“ berechnet.

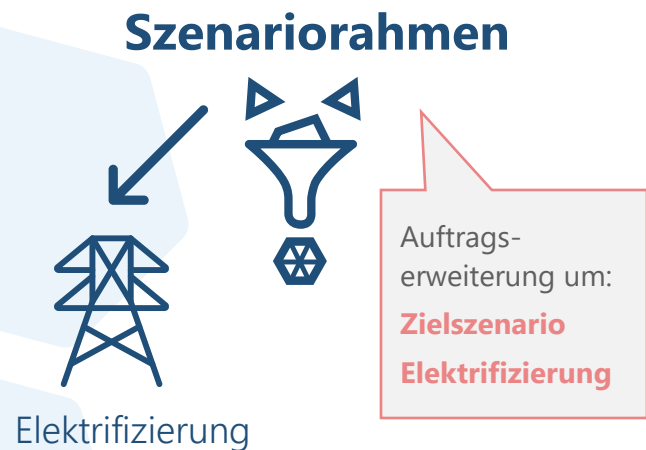
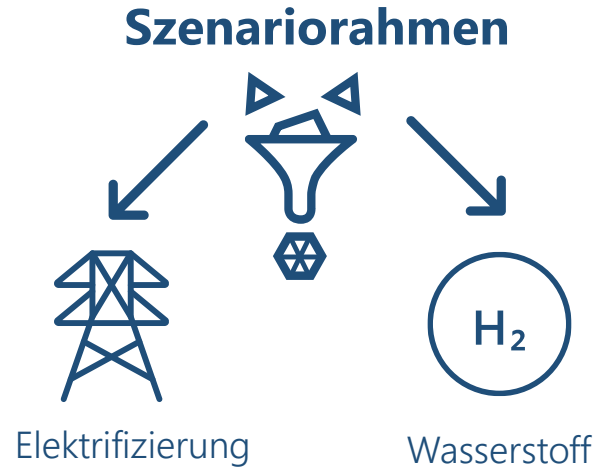
Die Szenarien unterscheiden sich für das Jahr 2025 nicht. Unterschiede treten in den Stützjahren 2030, 2035, 2040 und 2045 auf.

Für das **Elektrifizierungsszenario** gibt es **technische Grenzen**. Beispielsweise in der Chemie- und Stahlindustrie sowie im Bereich der Prozesswärmeerzeugung > 500°C wird der Wasserstoffeinsatz nötig sein. Der Energieträger Wasserstoff spielt **folglich weiterhin eine Rolle**.

Für das Wasserstoffszenario gibt es **techno-ökonomische Grenzen**. Bei der Prozesswärmeerzeugung im Nieder- und Mitteltemperaturbereich ist Elektrifizierung sinnvoll. In den Hauptszenarien werden keine komplett „extremen“ Entscheidungen getroffen. Beide Szenarien lösen sich nicht von technischen Erkenntnissen, die in vergangenen Forschungsprojekten gesammelt wurden. In beiden Szenarien spielt der „andere“ Energieträger nach wie vor eine tragende Rolle.

# Projekterweiterung um “Ziel”-Szenariobaum

In der Vorgängerstudie wurde ein Elektrifizierungsszenario mit geringeren Effizienzfaktoren berechnet. Stattdessen wird nun ein Szenariorahmen ergänzt.



Der **Szenariorahmen** mit den Annahmen zu Infrastrukturbedingungen und Preisentwicklungen ist für alle Szenarien gültig. Die Eckdaten zur gesamtwirtschaftlichen Entwicklung und die Regionalisierungslogik sind **szenarioübergreifend einheitlich**.

Es werden 2 Szenarien „maximale Elektrifizierung“ und „maximaler Wasserstoffeinsatz“ berechnet.

Die Szenarien unterscheiden sich für das Jahr 2025 nicht. Unterschiede treten in den Stützjahren 2030, 2035, 2040 und 2045 auf.

Für das **Elektrifizierungsszenario** gibt es **technische Grenzen**. Beispielsweise in der Chemie- und Stahlindustrie sowie im Bereich der Prozesswärmeerzeugung >500°C wird der Wasserstoffeinsatz nötig sein. Der Energieträger Wasserstoff spielt **folglich weiterhin eine Rolle**.

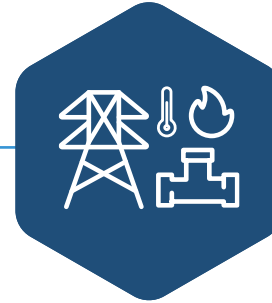
Für das Wasserstoffszenario gibt es **techno-ökonomische Grenzen**. Bei der Prozesswärmeerzeugung im Nieder- und Mitteltemperaturbereich ist Elektrifizierung sinnvoll. In den Hauptszenarien werden keine komplett „extremen“ Entscheidungen getroffen. Beide Szenarien lösen sich nicht von technischen Erkenntnissen, die in vergangenen Forschungsprojekten gesammelt wurden. In beiden Szenarien spielt der „andere“ Energieträger nach wie vor eine tragende Rolle.

# Szenariorahmen: Trendszenario

## Klimaschutzszenario 2045 unter Berücksichtigung aktueller Trends



- Deutschland **behält die Stoßrichtung** seiner aktuellen Klimapolitik bei. Um die (internationale) **Wettbewerbsfähigkeit zu gewährleisten**, werden, falls notwendig, Zwischenziele und Gesetzgebungen angepasst.
- Es findet ein **realistischer, marktorientierter Hochlauf** aller Technologien statt. **Wertschöpfungsketten** verändern sich. Einige Prozessrouten sind in Deutschland nicht wirtschaftlich, weshalb auf (Vor)produktimporte gesetzt wird. Ein Teil der Produktion wird aus geopolitischen Überlegungen in Deutschland gehalten.



- Der infrastrukturelle Rahmen (inkl. Importe) für ein klimaneutrales Energiesystem wird auf Basis periodisch überarbeiteter Planungen aufgebaut. Unsicherheiten bzgl. der Bedarfsentwicklungen **verlangsamen** den Ausbau. Später kommt es zu **Nachholeffekten**. Der Ausbau des Wasserstoffkernnetzes verzögert sich bis 2035. **Wasserstoffimporte** von außerhalb der EU als Derivate beginnen in kleinen Mengen **2027** mit anschließendem Hochlauf **ab 2035**.
- CO<sub>2</sub>-Abscheidung und –Speicherung ist in kleinen Mengen ab 2028 möglich, erste Pipelines und Transportkorridore gibt es ab **2034**, der vollständige Aufbau erfolgt erst **nach 2040**.
- Anschlussbegehren im Verteilnetz sind zeitintensiv.



- EU-ETS I und II werden ein- bzw. weitergeführt. Der CO<sub>2</sub>-Preis steigt gegenüber heute an.
- Um Wettbewerbsnachteile zu verhindern, wird der ETS in ein breites Maßnahmenpaket eingebettet. **So werden Preisspitzen nach dem Auslauf der kostenlosen Zertifikate verhindert.**
- Der CBAM flankiert den ETS und schützt die energieintensive Industrie vor Wettbewerbsnachteilen im EU-Markt.

# Kurzbeschreibung Elektrifizierungsszenario Trend

| Anwendung | Kurzbeschreibung   |      |               |               |      |      |
|-----------|--|------|---------------|---------------|------|------|
|           | Stahl: Vollständiger phase-out der Hochofenroute bis <b>2045</b> . Ausweitung der <b>Sekundärherstellung</b> ab Startjahr (31 %) bis an die Grenze der Schrottverfügbarkeit (~ <b>45 %</b> ). Restliche Mengen über die DRI-EAF Route, Hochlauf ab 2026. Vollständiger Wasserstoffeinsatz ab <b>2045</b> .   | 2025 | 2025          | 2030          | 2025 |      |
|           | Ammoniak: Power-to-Ammoniak ab technischer Reife 2031, verstärkt ab <b>2035</b><br>HVC: <b>E-Cracker</b> ab 2026<br>Methanol: Power-to-Methanol inkl. CC für MeOH-Synthese ab technischer Reife 2026   | 2025 | 2030          | 2030/<br>2035 | 2025 | 2030 |
|           | Zement & Kalk: Einsatz biogener Abfälle und alternativer Brennstoffe soweit möglich. Restliche Mengen CH <sub>4</sub> werden durch H <sub>2</sub> ersetzt. Hochlauf von CC als Grundvoraussetzung für Treibhausgasneutralität von 2028 bis <b>2045</b> .   | 2025 |               | 2030          | 2025 | 2030 |
|           | Alu: Einsatz innovativer Elektroden ab technischer Reife 2031<br>Papier: <b>Elektrifizierung</b> Prozesswärme<br>Glas: Einsatz von Hybridwannen mit <b>80 %</b> Strom und <b>20 %</b> Gas  | 2025 | 2025/<br>2035 | 2030          | 2025 | 2030 |
|           | Elektrifizierung verläuft linear von 2025 bis 2045, Wasserstoffeinsatz <b>2028 (mit Erdgas)-2035 (100 % H<sub>2</sub>)-2045</b> . <b>100%</b> Elektrifizierung f. <100 °C mit COP=3, <b>90 %</b> Elektrifizierung mit COP=2,2 f. 100°C – 500 °C und <b>50 %</b> Elektrifizierung mit COP = 1 f. >500°C. Substitution CH <sub>4</sub> mit H <sub>2</sub> -Brennern & feste fossile KW mit Biomasse. | 2025 | 2025          | 2030          | 2025 |      |

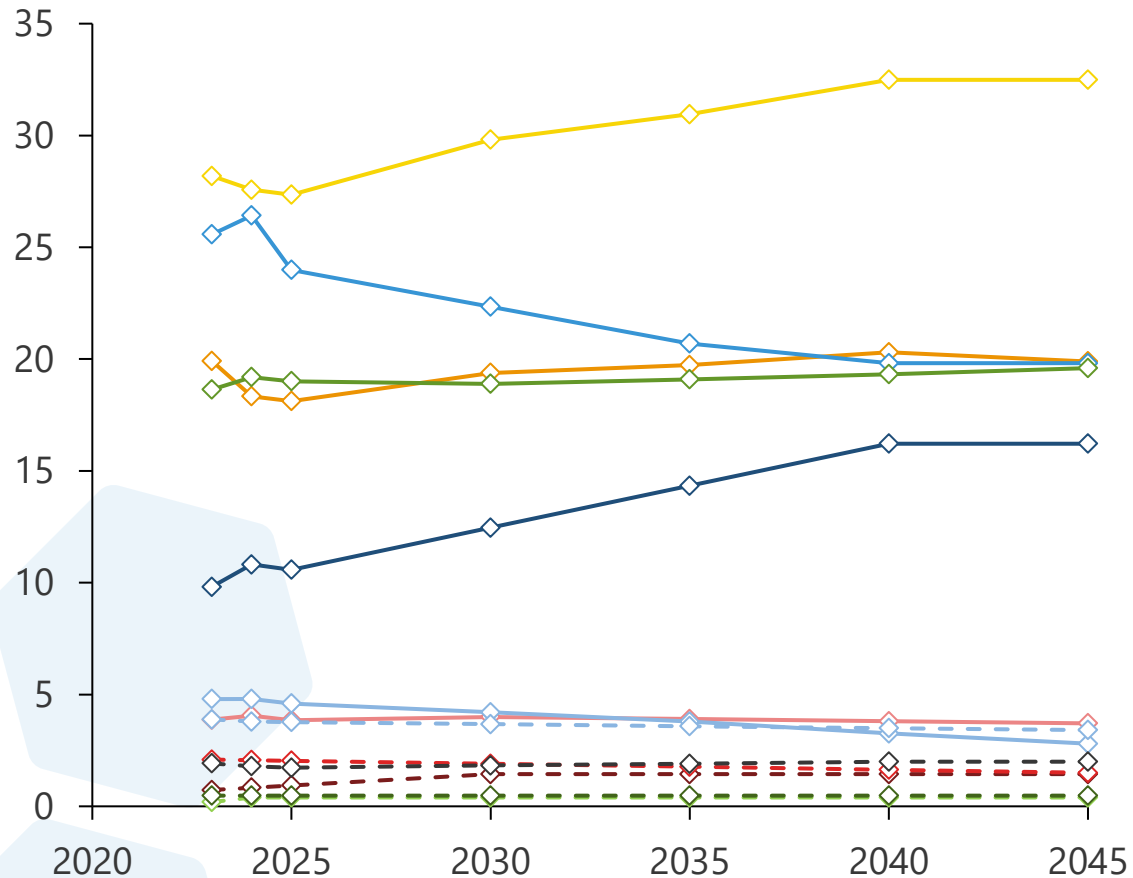
# Kurzbeschreibung Wasserstoffszenario Trend

| Anwendung | Kurzbeschreibung   |      |               |               |      |      |
|-----------|--|------|---------------|---------------|------|------|
|           | Stahl: Vollständiger phase-out der Hochofenroute bis <b>2045</b> . Konstante Sekundärherstellung. Ausweitung der <b>Sekundärherstellung</b> ab Startjahr (31 %) bis <b>40 %</b> . Restliche Mengen über die DRI-EAF Route, Hochlauf ab 2026. Vollständiger Wasserstoffeinsatz ab <b>2045</b> .   | 2025 | 2025          | 2030          | 2025 |      |
|           | Ammoniak: Power-to-Ammoniak ab technischer Reife 2031, verstärkt ab <b>2035</b><br>HVC: Umstieg auf MTO/MTA Routen ab <b>2030</b> , <b>geringer Elektrocrackeranteil</b><br>Methanol: Power-to-Methanol inkl. CC für MeOH-Synthese ab technischer Reife 2026   | 2025 |               | 2030/<br>2035 | 2025 | 2030 |
|           | Zement & Kalk: Einsatz biogener Abfälle und alternativer Brennstoffe soweit möglich. Restliche Mengen CH <sub>4</sub> werden durch H <sub>2</sub> ersetzt. Hochlauf von CC als Grundvoraussetzung für Treibhausgasneutralität von 2028 bis <b>2045</b> .   | 2025 |               | 2030          | 2025 | 2030 |
|           | Alu: Einsatz innovativer Elektroden ab technischer Reife 2031<br>Papier: <b>Elektrifizierung</b> Prozesswärme<br>Glas: Einsatz von Hybridwannen mit <b>60 %</b> Strom und <b>40 %</b> Gas  | 2025 | 2030/<br>2035 | 2030          | 2025 | 2030 |
|           | Elektrifizierung verläuft linear von 2025 bis 2045, Wasserstoffeinsatz <b>2028 (mit Erdgas)-2035 (100 % H<sub>2</sub>)-2045</b> . <b>90 %</b> Elektrifizierung f. <100 °C mit COP=3<br><b>50 %</b> Elektrifizierung mit COP=2,2 f. 100°C – 500 °C und <b>10 %</b> Elektrifizierung mit COP = 1 f. >500°C. Substitution CH <sub>4</sub> mit H <sub>2</sub> -Brennern & feste fossile KW mit Biomasse. | 2025 | 2025          | 2030          | 2025 |      |



# Produktionsmengenentwicklung im Trendszenario

**Mengenentwicklung energieintensiver Produkte**  
in Mio t



- ◇— Zement
- ◇— Zementklinker
- ◇— Primärstahl
- ◇— Papier
- ◇— Sekundärstahl
- ◇— Ethylen
- ◇— Hohlglas
- ◇— Kalk
- ◇— Flachglas
- ◇— Ammoniak
- ◇— Methanol
- ◇— Sekundäraluminium
- ◇— Primäraluminium

## Einflussfaktoren

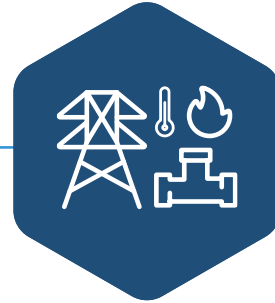
- Zement/klinker: **Bauaktivität, Klinkerfaktor 2045 60 %**
- Papier: **Nachfrage** nach Verpackungen und Print
- Stahl: **Wettbewerbsfähigkeit** (Wasserstoff- u. Schrottverfügbarkeit, Strompreise, Lieferbeziehungen)
- Kalk: abhängig von Zement und Primärstahl
- Ethylen: Wettbewerbsfähigkeit, Mechanisches Recycling
- Glas: Nachfrage nach Getränkeflaschen, Gebäudesanierung
- Ammoniak, Methanol: Wettbewerbsfähigkeit, Geopolitik
- Aluminium: Wettbewerbsfähigkeit

# Szenariorahmen: Zielszenario

Alle Szenarien entsprechen einem ambitionierten Klimaschutzszenario. Wirtschaftliche und infrastrukturelle Annahmen werden hervorgehoben.



- Deutschland richtet seine Politik konsequent auf die **Erreichung der Klimaneutralität bis 2045** inklusive Zwischenziele bis 2030 aus. Dazu werden Planungs- und Genehmigungsverfahren **beschleunigt**, um den zügigen Hochlauf aller Energiewende-Technologien zu gewährleisten und Erneuerbare Energien ausreichend auszubauen.
- Deutschland setzt auf die Erreichung der Klimaziele als strategische Grundlage geopolitischer Unabhängigkeit und wirtschaftlicher Erneuerung.
- **Wirtschaftliche Nachteile** der Transformation werden durch zusätzliche Instrumente und staatliche Garantien **abgemildert**.



- Der infrastrukturelle Rahmen (inkl. Importe) für ein klimaneutrales Energiesystem wird europäisch koordiniert aufgebaut. Der Ausbau des **Wasserstoffkernnetzes** erfolgt planmäßig bis **2032**. Wasserstoffimporte von außerhalb der EU als Derivate beginnen in kleinen Mengen **2027** mit anschließendem Hochlauf.
- CO<sub>2</sub>-Abscheidung und –Speicherung ist in kleinen Mengen ab **2028** möglich, erste Transportkorridore und Pipelines gibt es ab **2032** und der vollständige Aufbau erfolgt **bis 2040**.
- Anschlussbegehren im Verteilnetz können zügig erfüllt werden.



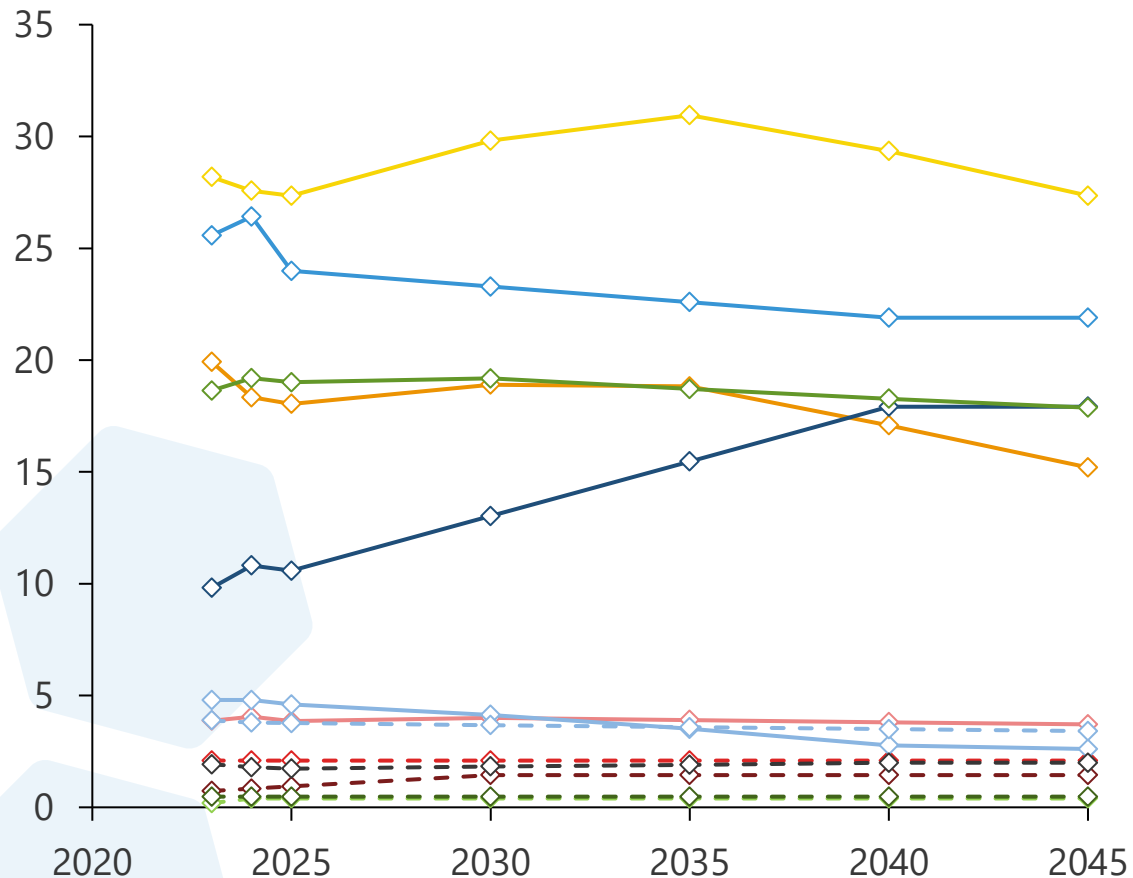
- EU-ETS I und II werden vollständig umgesetzt. Der CO<sub>2</sub>-Preis steigt gegenüber heute deutlich an – planbar und politisch akzeptiert.
- Eingebettet in ein breites Maßnahmenpaket bleibt der Preis in der Endphase **ab 2038 auf einem hohen Niveau stabil**. So bleibt der **Transformationsdruck** spürbar und unerwünschte Markteffekte werden vermieden.
- Der CBAM flankiert den ETS und schützt die energieintensive Industrie vor Wettbewerbsnachteilen im EU-Markt.

# Kurzbeschreibung Elektrifizierungsszenario Ziel

| Anwendung | Kurzbeschreibung   |      |               |               |      |      |
|-----------|--|------|---------------|---------------|------|------|
|           | Stahl: Vollständiger phase-out der Hochofenroute bis <b>2040</b> . Ausweitung der <b>Sekundärherstellung</b> ab Startjahr (31 %) bis an die Grenze der Schrottverfügbarkeit (~ <b>45 %</b> ). Restliche Mengen über die DRI-EAF Route, Hochlauf ab 2026. Vollständiger Wasserstoffeinsatz ab <b>2045</b> .   | 2025 | 2025          | 2030          | 2025 |      |
|           | Ammoniak: Power-to-Ammoniak ab technischer Reife 2031, <del>verstärkt ab 2035</del><br>HVC: <b>E-Cracker</b> ab 2026<br>Methanol: Power-to-Methanol inkl. CC für MeOH-Synthese ab technischer Reife 2026   | 2025 | 2030          | 2030/<br>2035 | 2025 | 2030 |
|           | Zement & Kalk: Einsatz biogener Abfälle und alternativer Brennstoffe soweit möglich. Restliche Mengen CH <sub>4</sub> werden durch H <sub>2</sub> ersetzt. Hochlauf von CC als Grundvoraussetzung für Treibhausgasneutralität von 2028 bis <b>2040</b> .   | 2025 |               | 2030          | 2025 | 2030 |
|           | Alu: Einsatz innovativer Elektroden ab technischer Reife 2031<br>Papier: <b>Elektrifizierung</b> Prozesswärme<br>Glas: Einsatz von Hybridwannen mit <b>80 %</b> Strom und <b>20 %</b> Gas  | 2025 | 2025/<br>2035 | 2030          | 2025 | 2030 |
|           | Elektrifizierung verläuft linear von 2025 bis 2045, Wasserstoffeinsatz <b>2026 (mit Erdgas)-2035 (100% H<sub>2</sub>)-2045</b> . <b>100 %</b> Elektrifizierung f. <100 °C mit COP=3, <b>90 %</b> Elektrifizierung mit COP=2,2 f. 100°C – 500 °C und <b>50 %</b> Elektrifizierung mit COP = 1 f. >500°C. Substitution CH <sub>4</sub> mit H <sub>2</sub> -Brennern & feste fossile KW mit Biomasse. | 2025 | 2025          | 2030          | 2025 |      |

# Produktionsmengenentwicklung im Zielszenario

**Mengenentwicklung energieintensiver Produkte**  
in Mio t



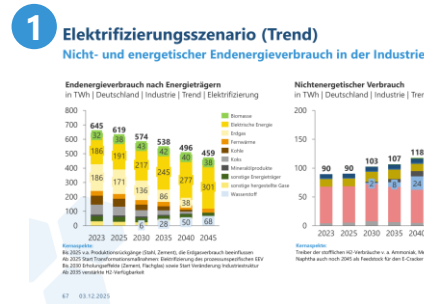
## Einflussfaktoren

- Zement/klinker: Bauaktivität, **Materialeffizientes Bauen Klinkerfaktor 2045 53 %**
- Papier: Nachfrage nach Verpackungen und Print, **Materialeffizienz**
- Stahl: **Nachfrage** aus Fahrzeugbau und Baubranche
- Kalk: abhängig von Zement und Primärstahl
- Ethylen: Wettbewerbsfähigkeit, Mechanisches Recycling
- Glas: Nachfrage nach Getränkeflaschen, Gebäudesanierung
- Ammoniak, Methanol: Wettbewerbsfähigkeit, Geopolitik
- Aluminium: Wettbewerbsfähigkeit

# Auswertungen je Szenario

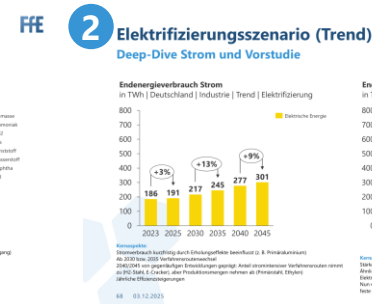
## Für Elektrifizierungsszenario im Trend- & Zielrahmen sowie für Elektrifizierungs- & Wasserstoffszenario im Trendrahmen

**1** Endenergieverbrauch nach Energieträgern & Nichtenergetischer Verbrauch



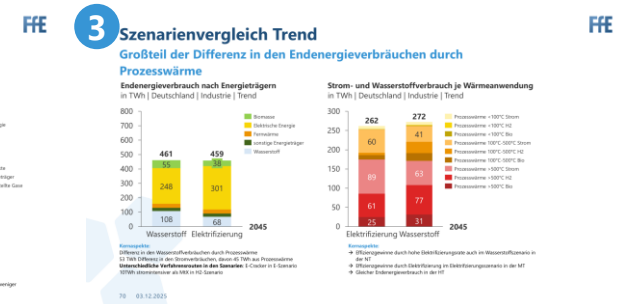
Neu im Vergleich zur Vorstudie

**2** EEV-Deep-Dive: Strom & Vergleich Zieljahr mit Vorstudie



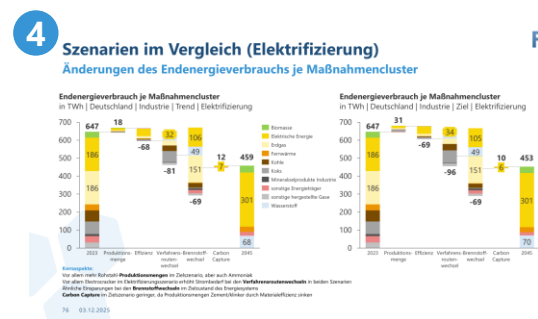
Neu im Vergleich zur Vorstudie

**3** Ggf.: EEV-Deep-Dive Vergleich Zieljahr mit Elektrifizierung-Trend



Neu im Vergleich zur Vorstudie

**4** Nicht-/Transformationsbedingte Änderungen des EEV



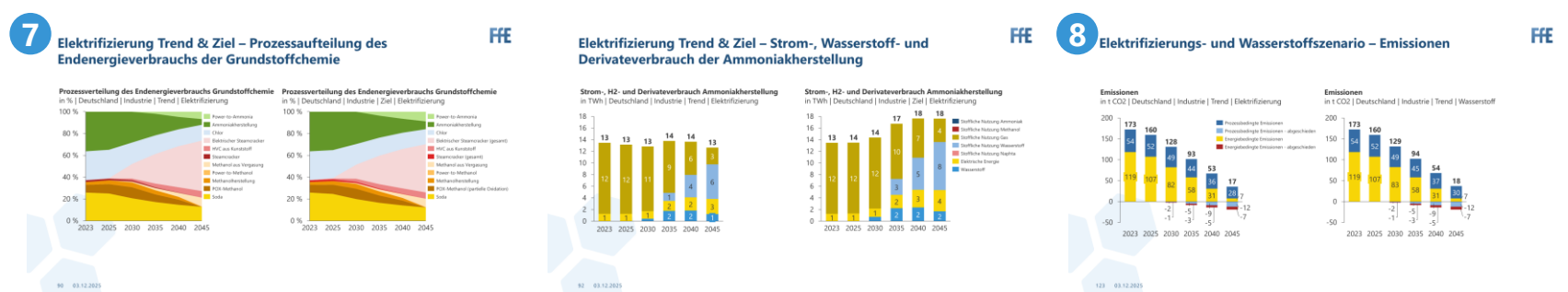
Neu im Vergleich zur Vorstudie

**6** Strom- und Wasserstoffverbrauch nach Anwendungen



Neu im Vergleich zur Vorstudie

**8** Emissionen des Industriesektors inkl. Carbon Capture

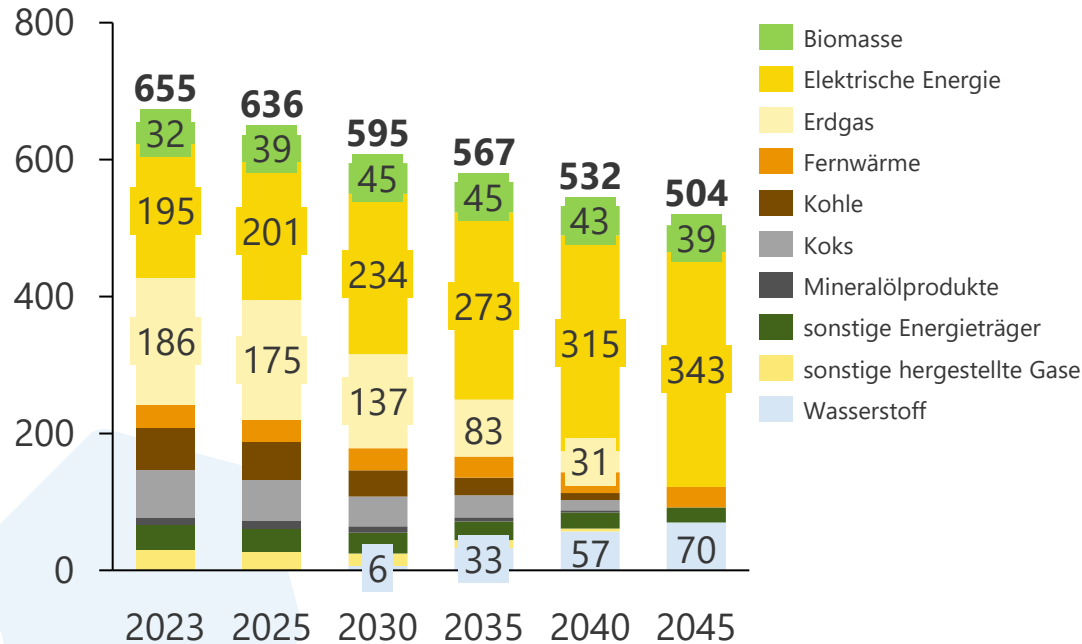


# Elektrifizierungsszenario (Trend)

## Nicht- und energetischer Endenergieverbrauch in der Industrie

### Endenergieverbrauch nach Energieträgern

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

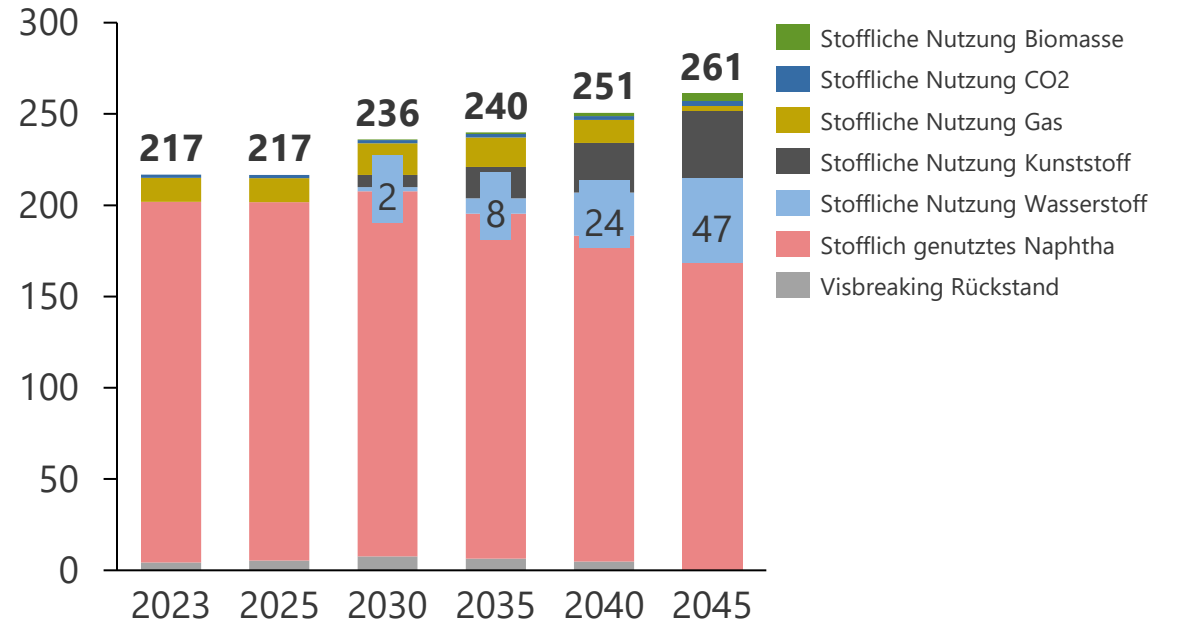


#### Kernaspekte:

Bis 2025 v. a. **Produktionsrückgänge** (Stahl, Zement), die **Erdgasverbrauch** beeinflussen  
 Ab 2025 **Start Transformationsmaßnahmen**: Elektrifizierung des prozessspezifischen EEV  
 Bis 2030 Erholungseffekte (Zement, Flachglas) sowie Start Veränderung Industriestruktur  
 Ab 2035 **verstärkte H<sub>2</sub>-Verfügbarkeit**

### Nichtenergetischer Verbrauch

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



#### Kernaspekte:

Treiber der **stofflichen H<sub>2</sub>-Verbräuche** Ammoniak (6 TWh), Methanol (5 TWh) und v.a. **DRI-EAF-Stahl** (36 TWh in 2045 und bis dahin Erdgas als Übergang)

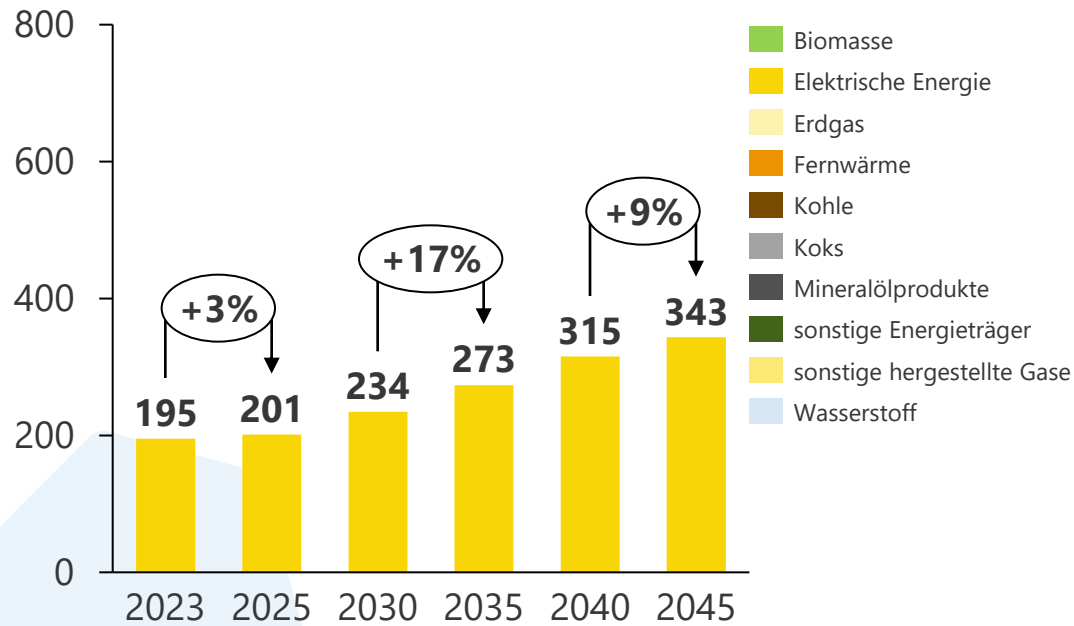
Naphtha auch noch 2045 als Feedstock für den E-Cracker relevant

# Elektrifizierungsszenario (Trend)

## Deep-Dive Strom und Vorstudie

### Endenergieverbrauch Strom

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

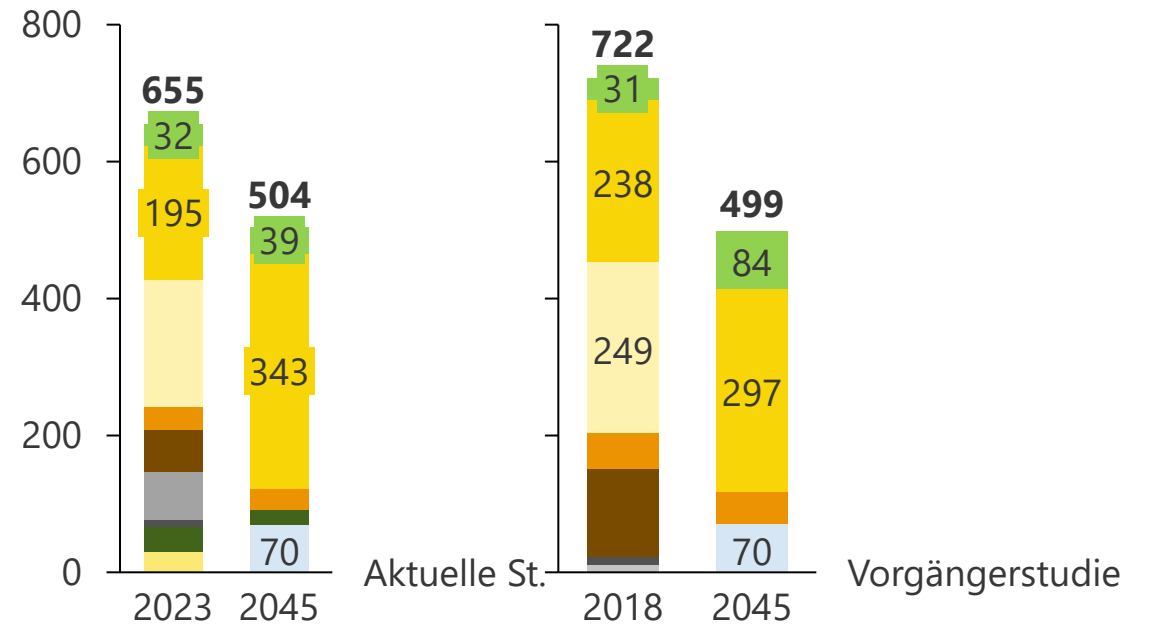


#### Kernaspekte:

Stromverbrauch kurzfristig durch Erholungseffekte beeinflusst (z. B. Primäraluminium)  
 Ab 2030 bzw. 2035 Verfahrensroutenwechsel  
 2040/2045 von gegenläufigen Entwicklungen geprägt: **Anteil stromintensiver Verfahrensrouten nimmt (stärker) zu** (H<sub>2</sub>-Stahl, E-Cracker) als **Produktionsmengen abnehmen** (Primärstahl, Ethylen)  
 Jährliche Effizienzsteigerungen

### Endenergieverbrauch nach Energieträgern

in TWh | Deutschland | Industrie | Elektrifizierung



#### Kernaspekte:

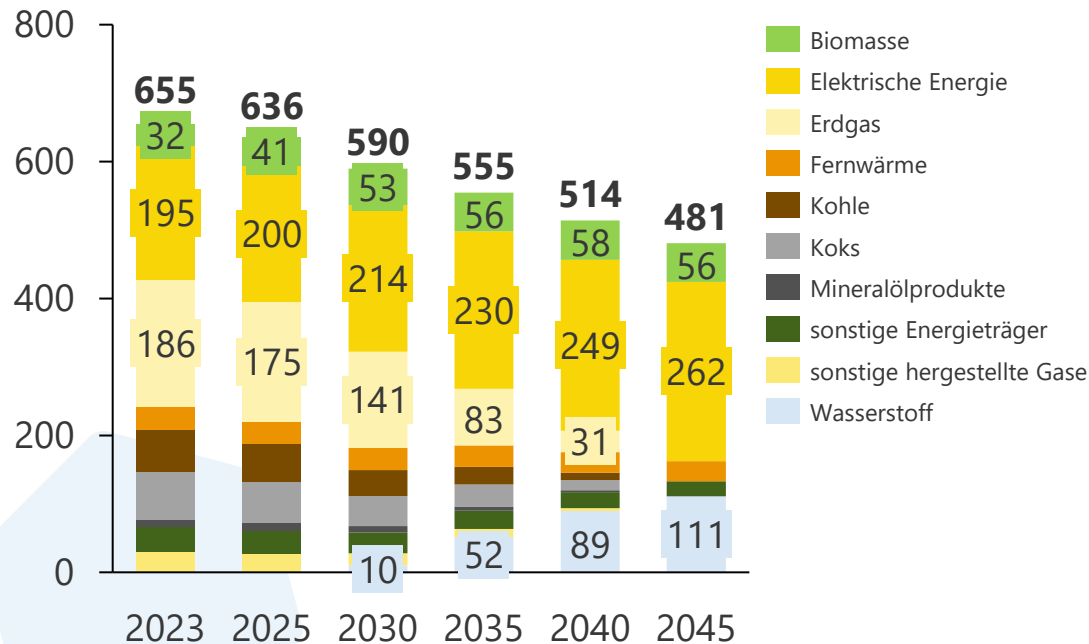
Stärkere Veränderungen in der Industriestruktur  
**Aktuelle Studie setzt in Grundstoffchemie auf elektrisch beheizte Cracker, dadurch deutlich mehr Stromverbrauch, abgesehen davon ausgleichende Effekte im Zieljahr (Produktionsmengenrückgänge, aber stärkere Elektrifizierung im prozessunspezifischen Bereich)**  
 Nun weniger Biomasse, da 1) Umstellung Zement/Kalk auch auf Abfallverbrennung und 2) weniger feste fossile Brennstoffe im Status Quo

# Wasserstoffszenario (Trend)

## Nicht- und energetischer Endenergieverbrauch in der Industrie

### Endenergieverbrauch nach Energieträgern

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



#### Kernaspekte:

Bis 2025 v.a. Produktionsrückgänge (Stahl, Zement), die Erdgasverbrauch beeinflussen  
 Ab 2025 Start Transformationsmaßnahmen: Elektrifizierung des prozessspezifischen EEV sowie Einsatz von Biomasse

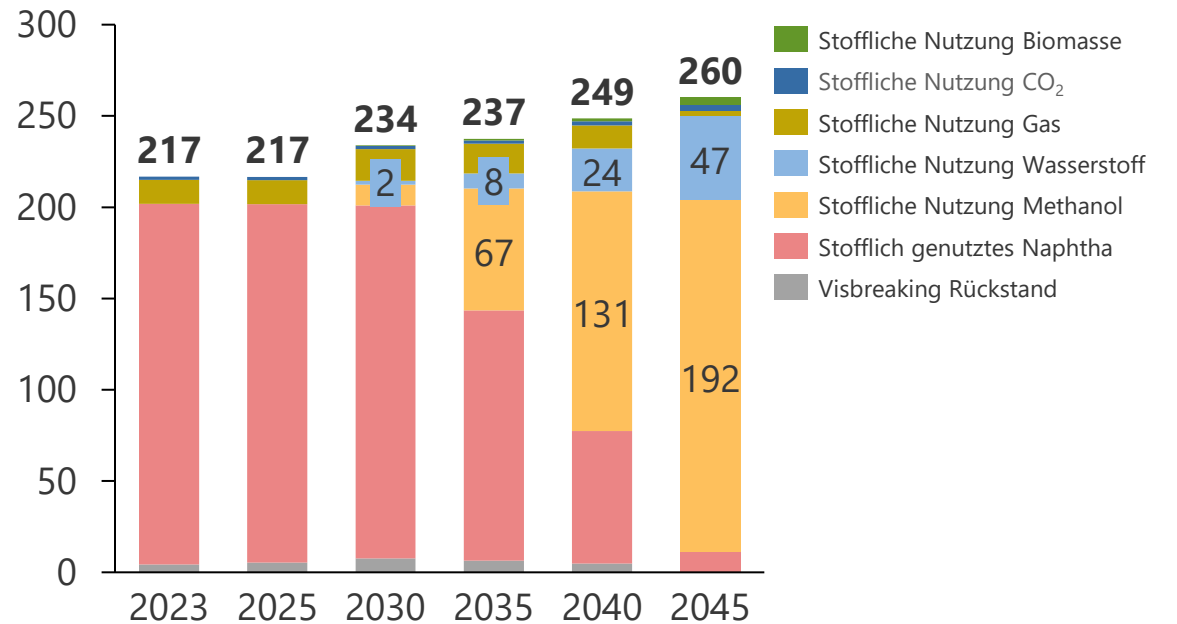
Bis 2030 Erholungseffekte (Zement, Flachglas) sowie Start Veränderung Industriestruktur

**Ab 2035 verstärkte H<sub>2</sub>-Verfügbarkeit: Treiber der zusätzlichen H<sub>2</sub>-Bedarfe sind die prozessspezifischen EEV**

48 Abweichung zu AGEB im Bereich Koks, da die Mengen hier der Primärstahlherstellung (Endenergiesektor) zugeschrieben werden. In AGEB zählen sie zum Umwandlungseinsatz in Hochöfen.

### Nichtenergetischer Verbrauch

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



#### Kernaspekte:

Treiber der stofflichen H<sub>2</sub>-Verbräuche Ammoniak, Methanol, v.a. DRI-EAF-Stahl (Erdgas als Übergang)  
**Methanol** als Feedstock für MtX-Prozesse in der HVC-Produktion  
 Make-or-buy des Feedstocks: Zusätzlicher Methanolbedarf im Trend „buy“

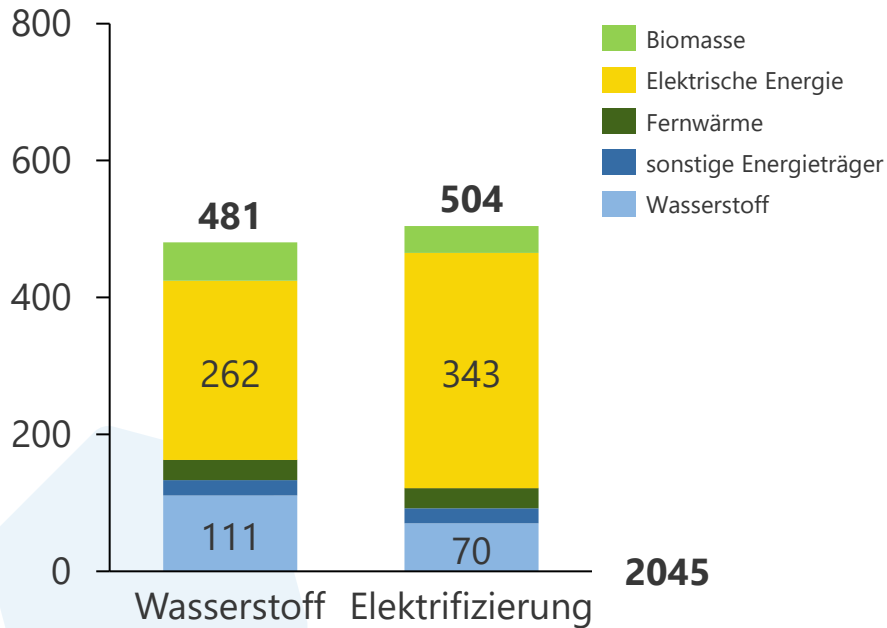
**Stofflicher H<sub>2</sub>-Verbrauch** in Trend Wasserstoff und Trend Elektrifizierung gleich, weil sich Produktionsmengen gleichen. Unterschied: Weniger Sekundärstahl im Wasserstoffszenario beeinflusst nur Stromverbräuche

# Szenarienvergleich Trend

## Großteil der Differenz in den Endenergieverbräuchen durch Prozesswärme

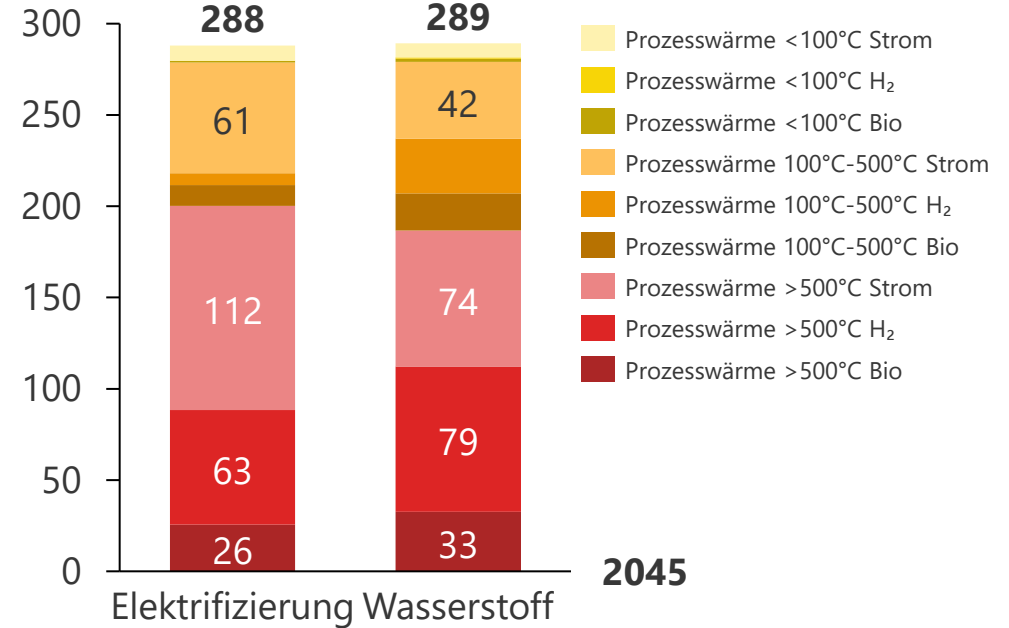
### Endenergieverbrauch nach Energieträgern

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend



### Strom- und Wasserstoffverbrauch je Wärmeanwendung

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend



#### Kernaspekte:

Differenz in den Wasserstoffverbräuchen durch Prozesswärme  
82 TWh Differenz in den Stromverbräuchen, davon 57 TWh aus Prozesswärme

**Unterschiedliche Verfahrensrouten in den Szenarien:** E-Cracker in E-Szenario 41 TWh stromintensiver als MtX in H<sub>2</sub>-Szenario

#### Kernaspekte:

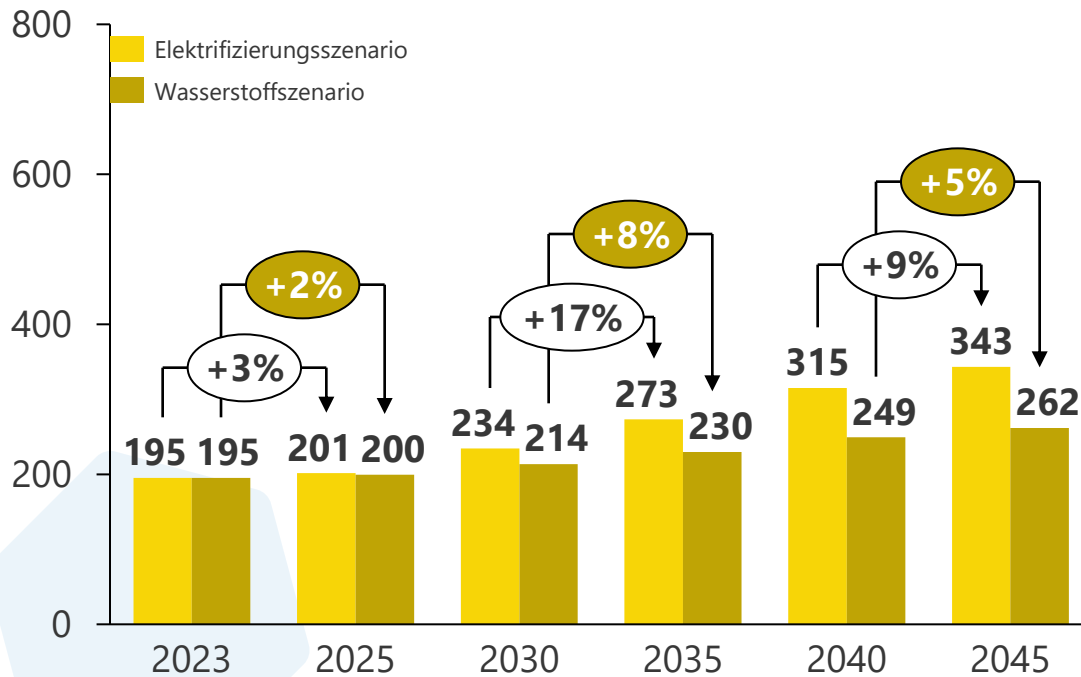
- Effizienzgewinne durch hohe Elektrifizierungsrate auch im WasserstoffszENARIO in der NT
- Effizienzgewinne durch Elektrifizierung im Elektrifizierungsszenario in der MT
- Ähnlicher Endenergieverbrauch in der HT, Strom-Mehrverbrauch in Elektrifizierungsszenario kommt v.a. durch E-Cracker

# Wasserstoffszenario (Trend)

## Deep-Dive Strom & Wasserstoff und Vorstudie

### Endenergieverbrauch Strom

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Beide Szenarien



**Kernaspekte:** Geringerer absoluter Stromanstieg als im Elektrifizierungsszenario

Stromverbrauch kurzfristig durch Erholungseffekte beeinflusst (z. B. Primäraluminium)

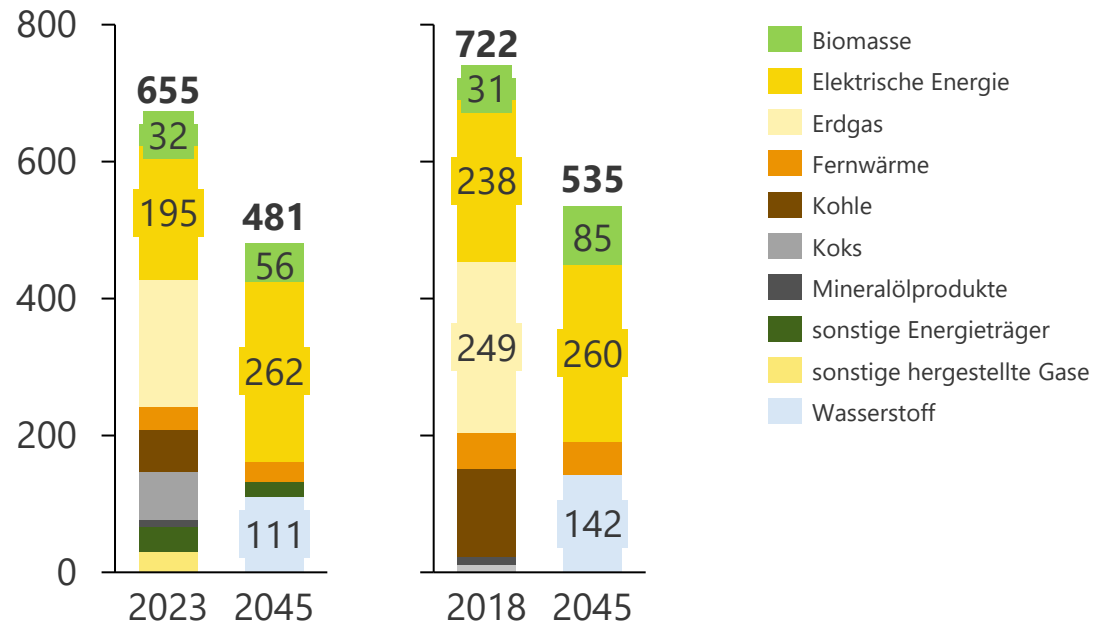
Ab 2030 bzw. 2035 Verfahrensroutenwechsel

2040/2045 von gegenläufigen Entwicklungen geprägt: Anteil stromintensiver Verfahrensrouten nimmt zu (H<sub>2</sub>-Stahl, MtX), aber Produktionsmengen nehmen ab (Primärstahl, Ethylen)

Jährliche Effizienzsteigerungen

### Endenergieverbrauch nach Energieträgern

in TWh | Deutschland | Industrie | Wasserstoff



Aktuelle St.

Vorgängerstudie

**Kernaspekte:**

Haupttreiber für zusätzlichen Wasserstoffbedarf in der **Vorstudie** waren Stahlherstellung und **Wasserstoffbrenner im NT-Bereich**

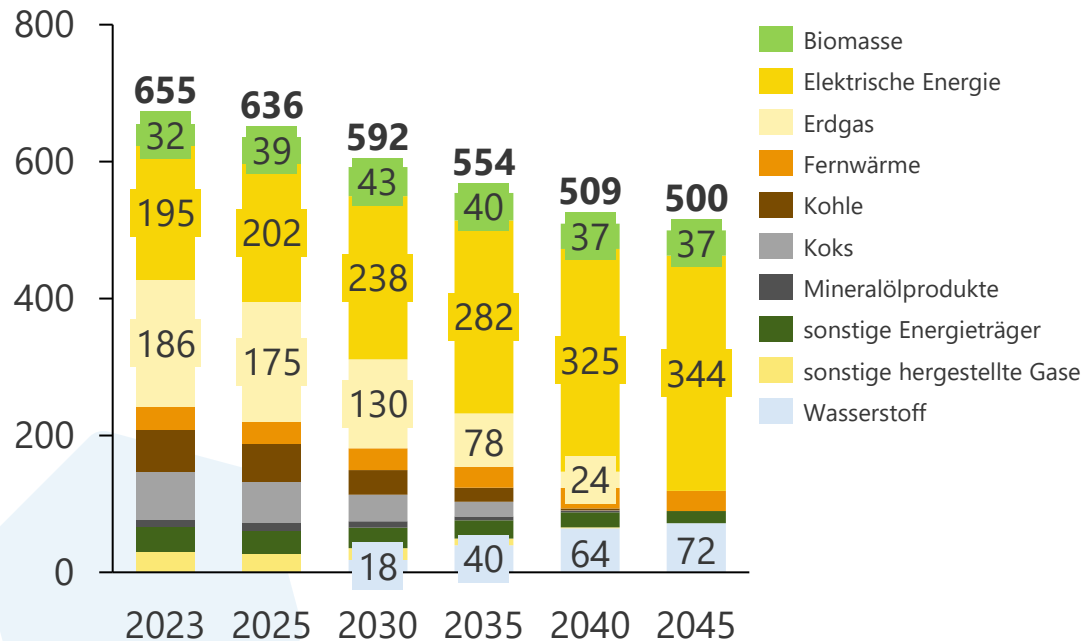
Vorstudie: 50 % Elektrifizierung im NT-Bereich <> aktuelle Studie: 90 % Elektrifizierung

Veränderte Industriestruktur → weniger Strombedarf

# Elektrifizierungsszenario (Ziel)

## Nicht- und energetischer Endenergieverbrauch in der Industrie

**Endenergieverbrauch nach Energieträgern**  
in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung

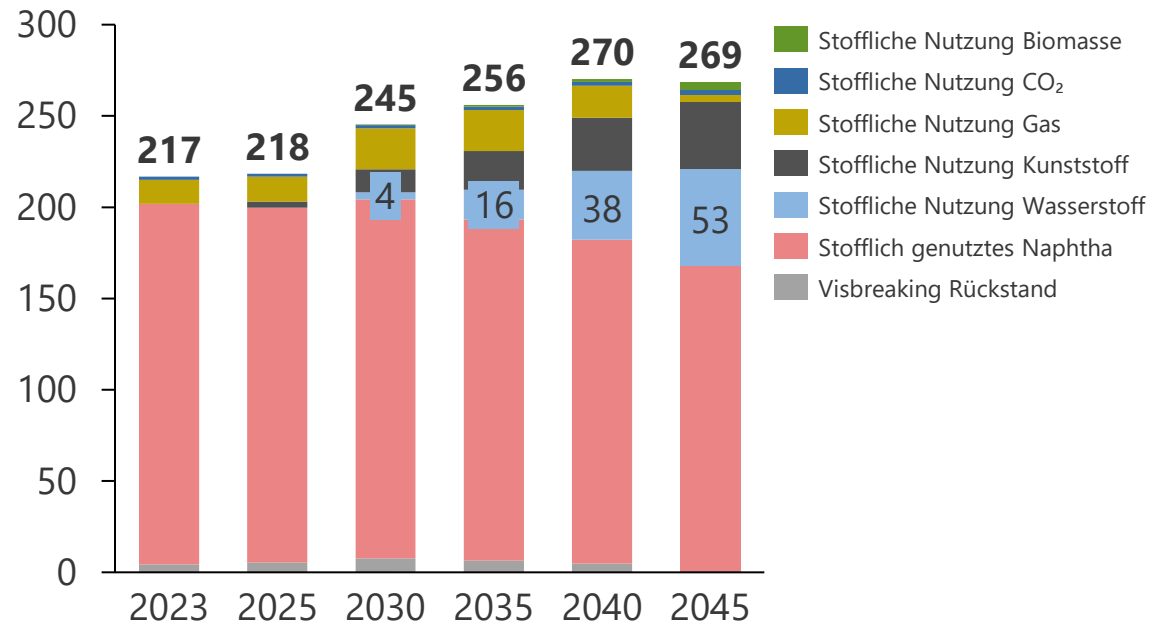


**Kernaspekte:**

Bis 2025 v.a. Produktionsrückgänge (Stahl, Zement), die Erdgasverbrauch beeinflussen  
Ab 2025 Start Transformationsmaßnahmen: Elektrifizierung des prozessunspezifischen EEV  
Bis 2030 Erholungseffekte (Zement, Flachglas)

**H<sub>2</sub>-Verfügbarkeit + Stromanstieg ohne Nachholeffekte im Vergleich zum Trendszenario**

**Nichtenergetischer Verbrauch**  
in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

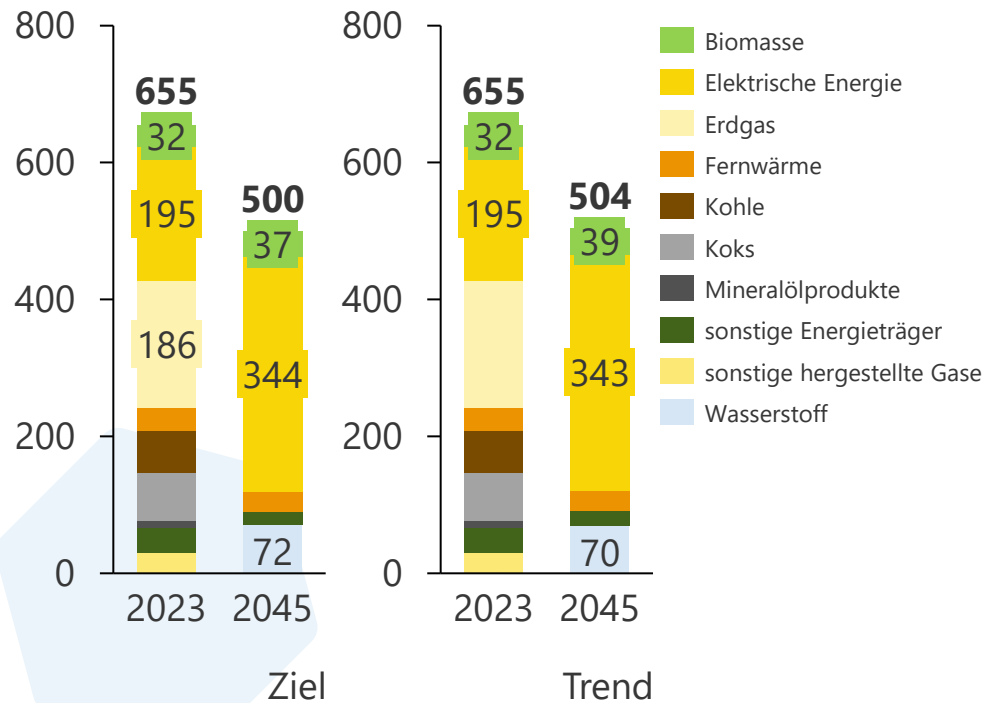
Treiber der stofflichen H<sub>2</sub>-Verbräuche Ammoniak (8 TWh), Methanol (5 TWh), v.a. DRI-EAF-Stahl (39 TWh in 2045, bis dahin Erdgas als Übergang)  
Naphtha auch noch 2045 als Feedstock für den E-Cracker relevant

**Mehr stofflicher Erdgas- und H<sub>2</sub>-Verbrauch** als im Trendszenario, da mehr Primärstahl- und Ammoniakproduktionsmengen erhalten bleiben

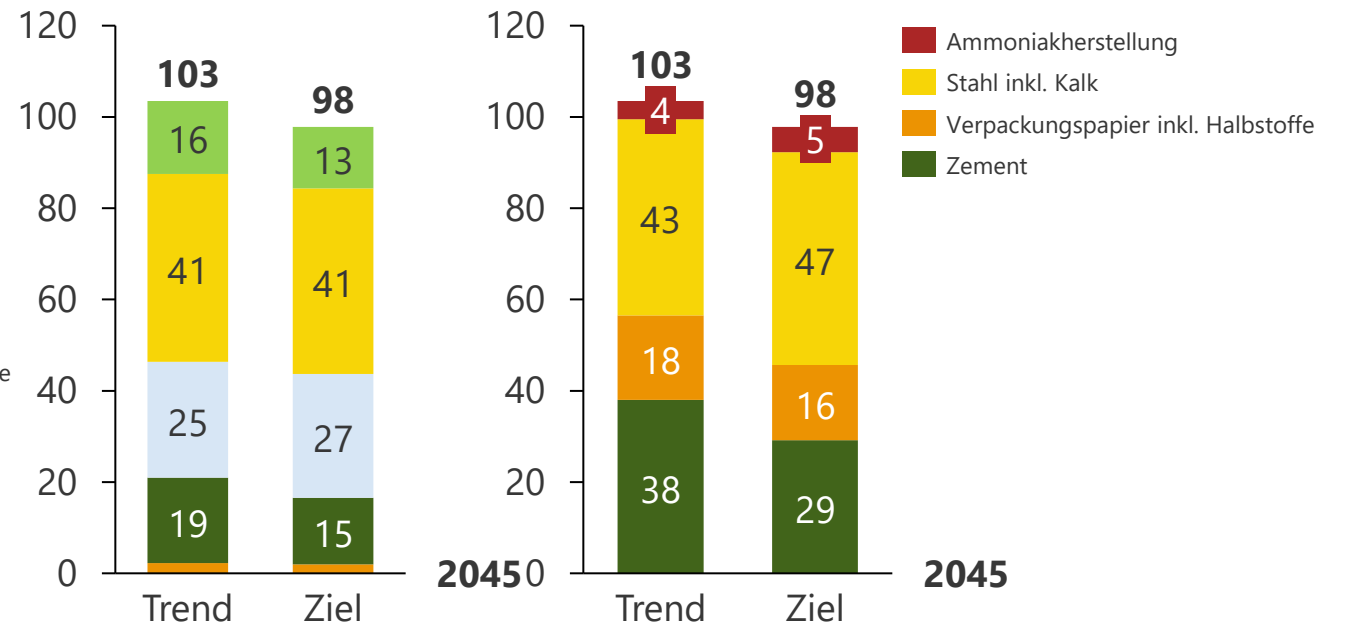
# Elektrifizierungsszenarien Trend & Ziel

## Konträre Entwicklung der energieintensivsten Prozesse

**Endenergieverbrauch nach Energieträgern**  
in TWh | Deutschland | Industrie | Elektrifizierung



**Endenergieverbrauch nach Energieträgern (li) und Prozessen (re)**  
in TWh | Deutschland | Industrie | Elektrifizierungsszenarien



**Kernaspekte:** 4 TWh Unterschied im Zieljahr

**Konträre Entwicklung der energieintensivsten Prozesse**

**Primärstahl-** und **Ammoniak-**Produktionsmengen Ziel > Trend (Wettbewerbsfähigkeit)

**Zementklinker-** und **Verpackungspapier-**Produktionsmengen Ziel < Trend (Effizienz)

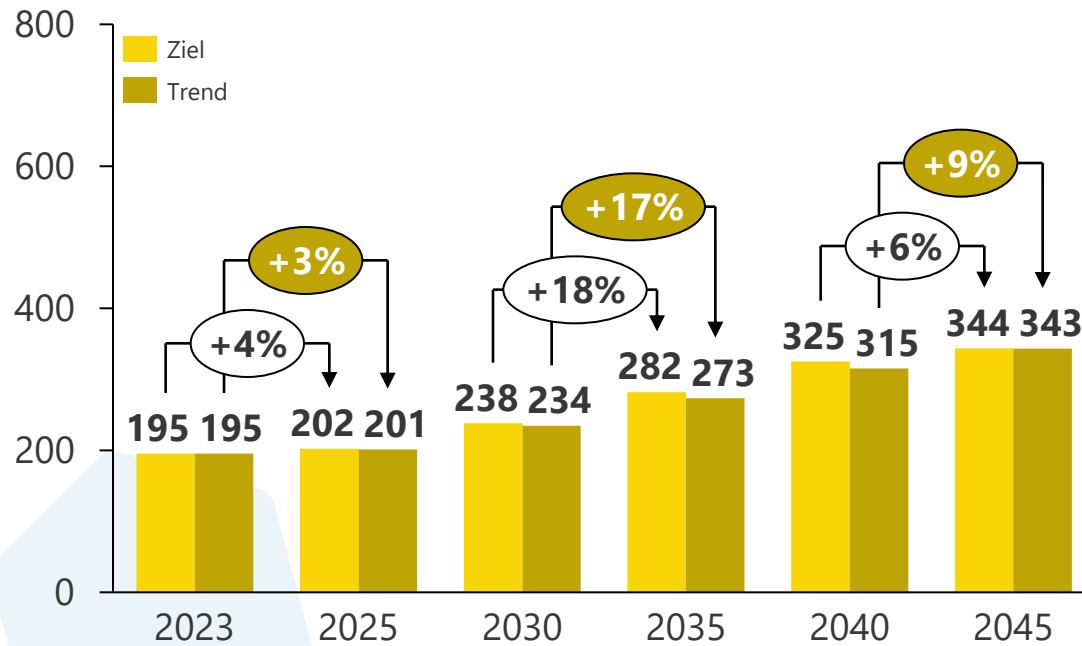
Höhere Stromverbräuche der Raffinerien im Zielszenario

# Elektrifizierungsszenarien Trend & Ziel

## Endenergieverbrauch Strom

### Endenergieverbrauch Strom

in TWh | Deutschland | Industrie | Beide Szenariorahmen | Elektrifizierung



**Kernaspekte: keine Nachholeffekte, wie im Trend ersichtlich**

Stromverbrauch kurzfristig durch Erholungseffekte beeinflusst (z. B. Primäraluminium)

Ab 2030 bzw. 2035 Verfahrensroutenwechsel

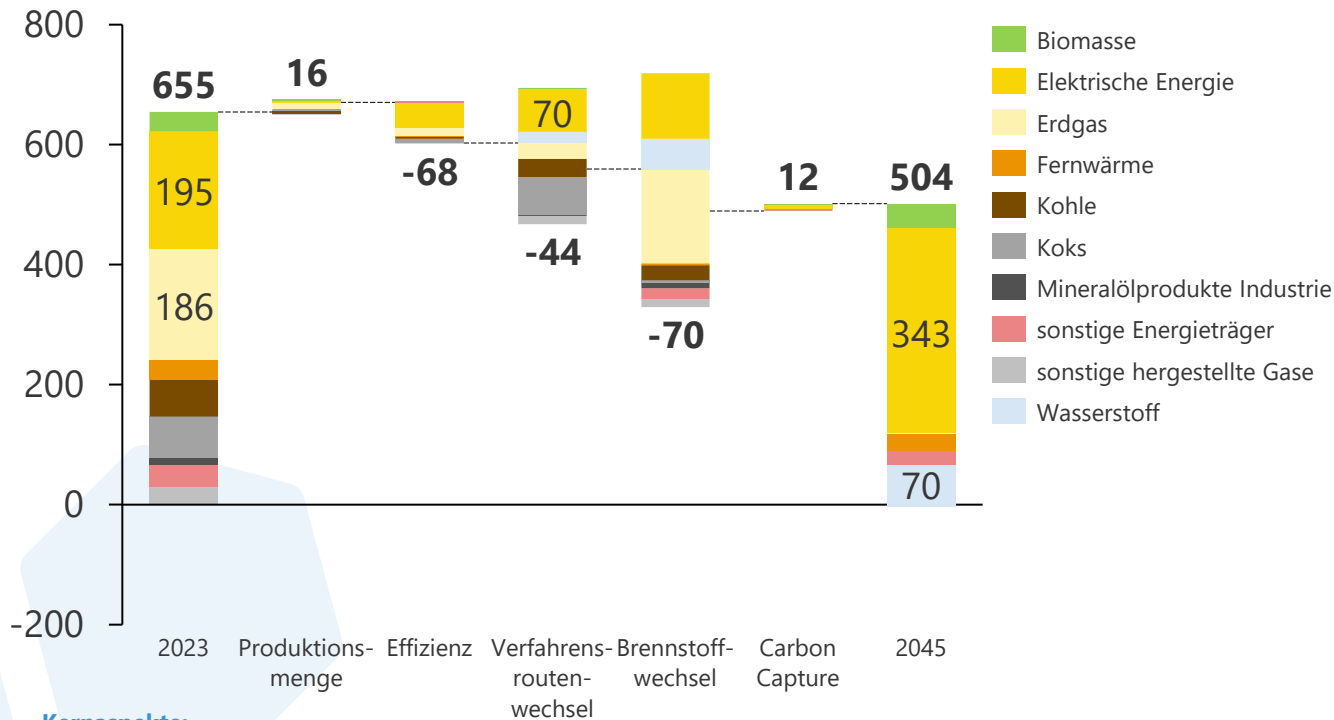
2040/2045 von gegenläufigen Entwicklungen geprägt: Anteil stromintensiver Verfahrensrouten nimmt zu (H<sub>2</sub>-Stahl, E-Cracker), aber Produktionsmengen nehmen ab (Zementklinker, Ethylen)

Jährliche Effizienzsteigerungen

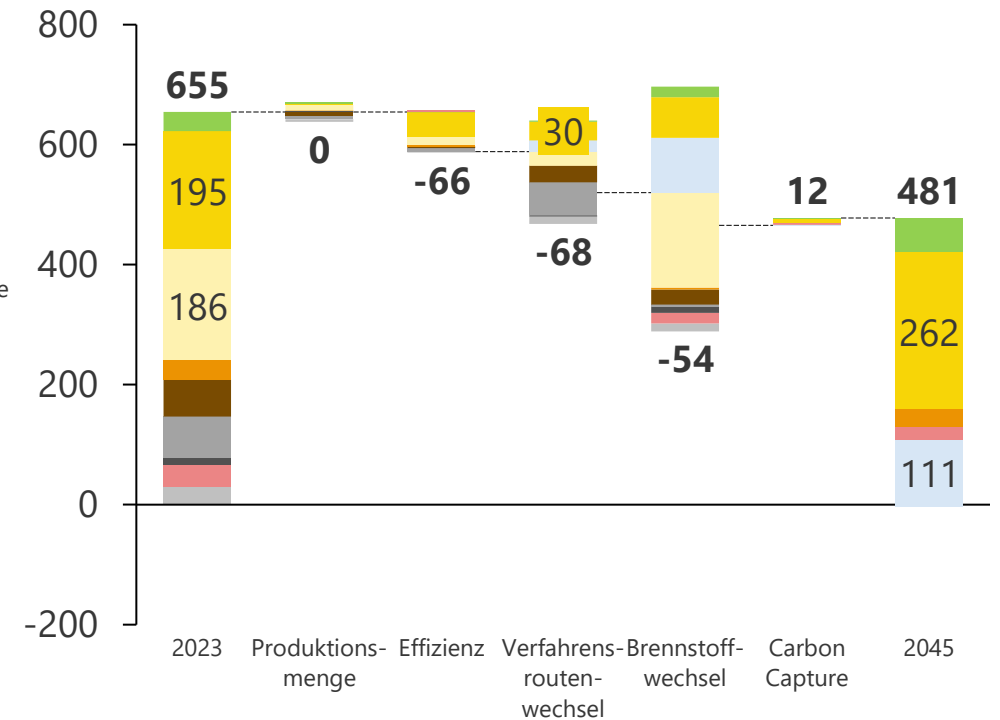
# Szenarien im Vergleich (Trend)

## Änderungen des Endenergieverbrauchs je Maßnahmencluster

**Endenergieverbrauch je Maßnahmencluster**  
in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



**Endenergieverbrauch je Maßnahmencluster**  
in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

Primärstahlproduktionsmengen in beiden Szenarien gleich, aber mehr Sekundärstahlproduktion im Elektrifizierungsszenario → mehr Rohstahl-**Produktionsmenge, Effizienzeinsparung** und mehr Einsparungen beim Verfahrensroutenwechsel

Electrocracker im Elektrifizierungsszenario erhöht Strombedarf bei den **Verfahrensroutenwechseln** im Vergleich zu MtX-Routen im Wasserstoffsszenario

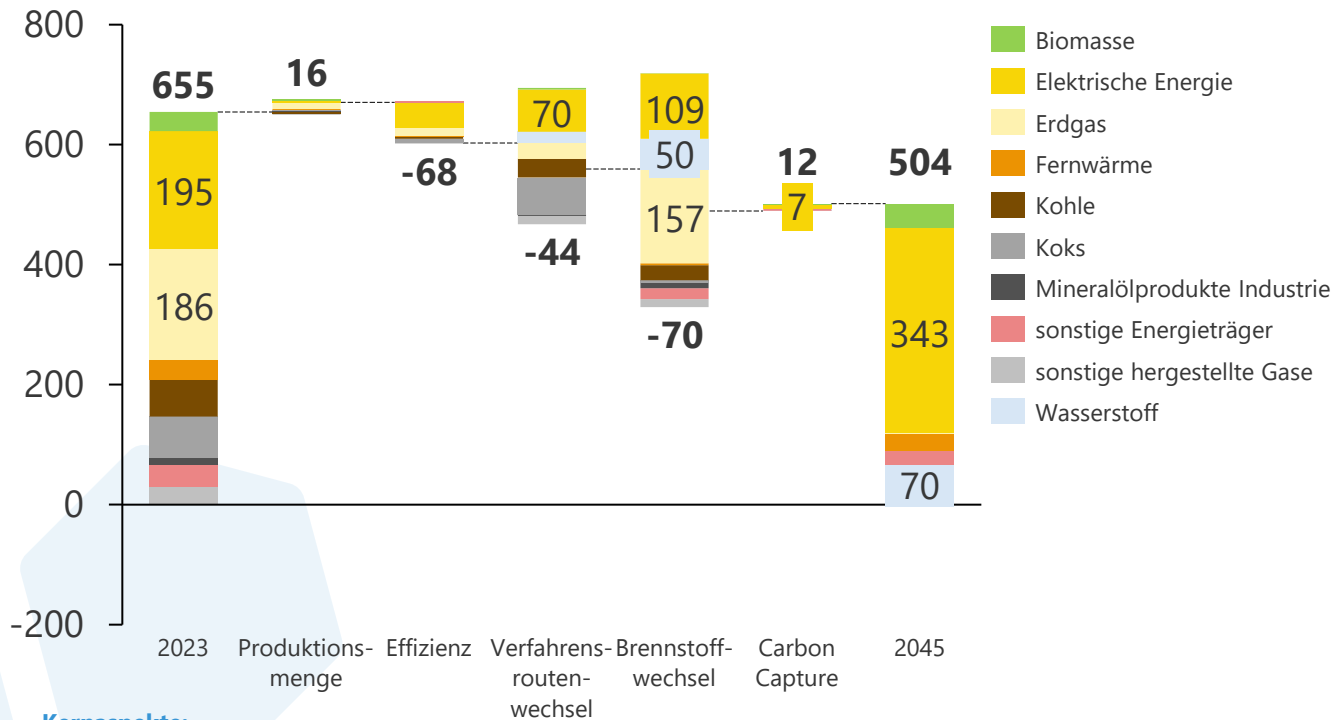
Mehr Einsparungen bei den **Brennstoffwechseln** im systemisch effizienteren Elektrifizierungsszenario

**Carbon Capture** gleich, da Produktionsmengen Zement+ Kalk gleich

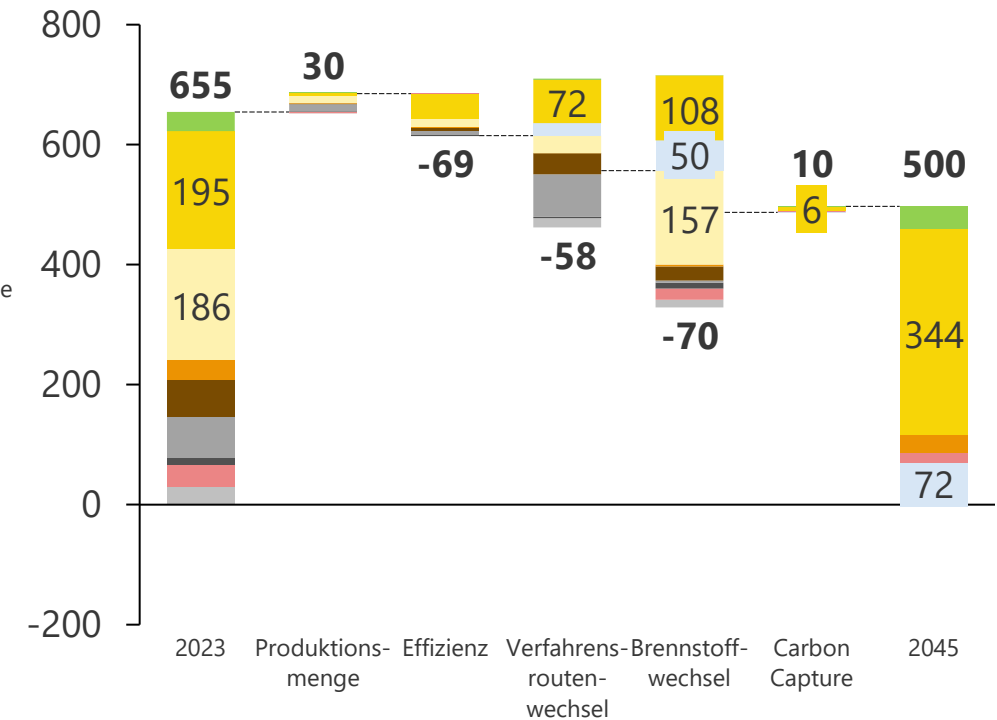
# Szenarien im Vergleich (Elektrifizierung)

## Änderungen des Endenergieverbrauchs je Maßnahmencluster

**Endenergieverbrauch je Maßnahmencluster**  
in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



**Endenergieverbrauch je Maßnahmencluster**  
in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

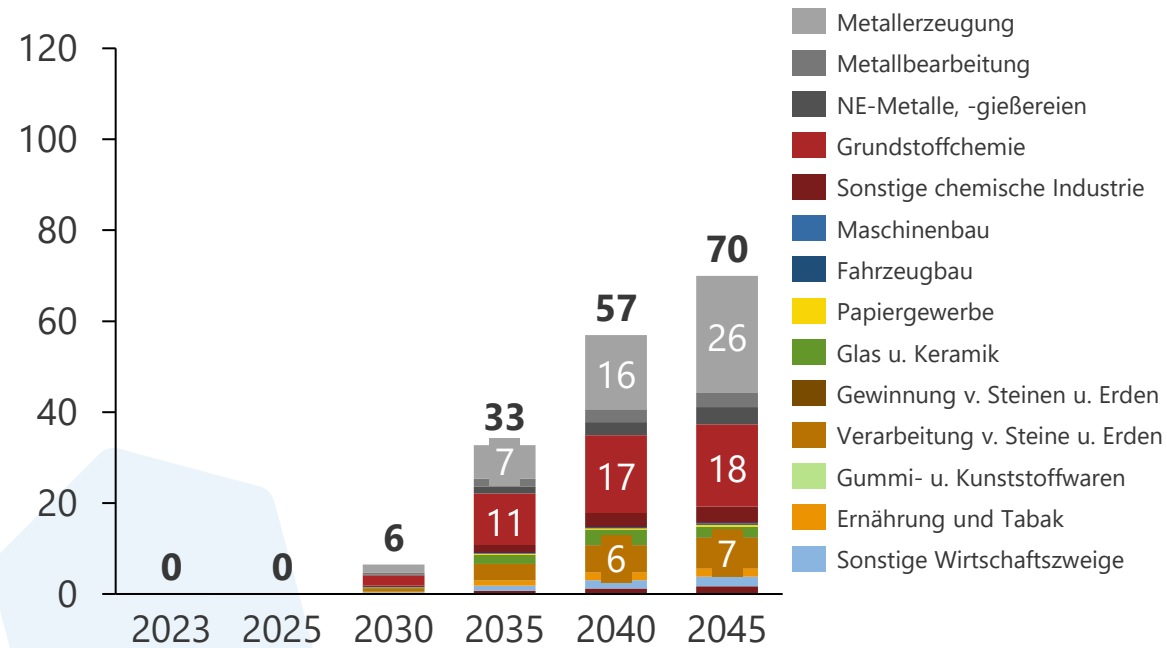
- Vor allem mehr Rohstahl-**Produktionsmengen** im Zielszenario, aber auch Ammoniak
- Vor allem Electrocracker im Elektrifizierungsszenario erhöht Strombedarf bei den **Verfahrensroutenwechseln** in beiden Szenarien
- Ähnliche Einsparungen bei den **Brennstoffwechseln** im Zielzustand des Energiesystems
- Carbon Capture** im Zielszenario geringer, da Produktionsmengen Zement/klinker durch Materialeffizienz sinken

# Der Blick auf Wasserstoff

## Energetischer Wasserstoffverbrauch nach Wirtschaftszweigen

### Wasserstoffverbrauch nach Wirtschaftszweigen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



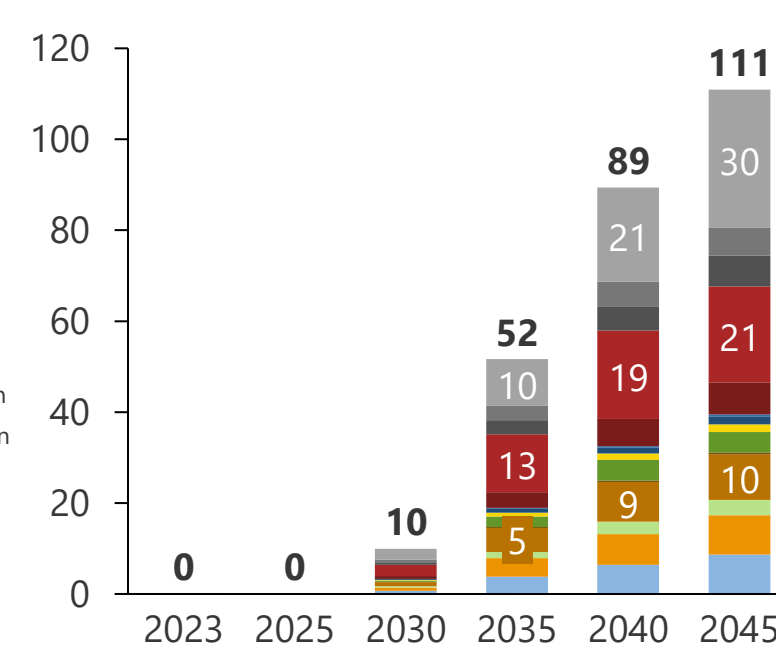
**Kernaspekte:**

**Stahl (Metallerzeugung) dominiert** nicht nur als stofflicher, sondern auch energetischer Wasserstofftreiber  
 Weitere Treiber sind die **energieintensiven Branchen** Grundstoffchemie und Verarbeitung v. Steinen u. Erden

**Ab 2035 verstärkte H<sub>2</sub>-Verfügbarkeit**

### Wasserstoffverbrauch nach Wirtschaftszweigen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

Weiterhin Metallerzeugung, Grundstoffchemie und Verarbeitung v. Steinen u. Erden dominant  
 Ab 2035 Hochlauf

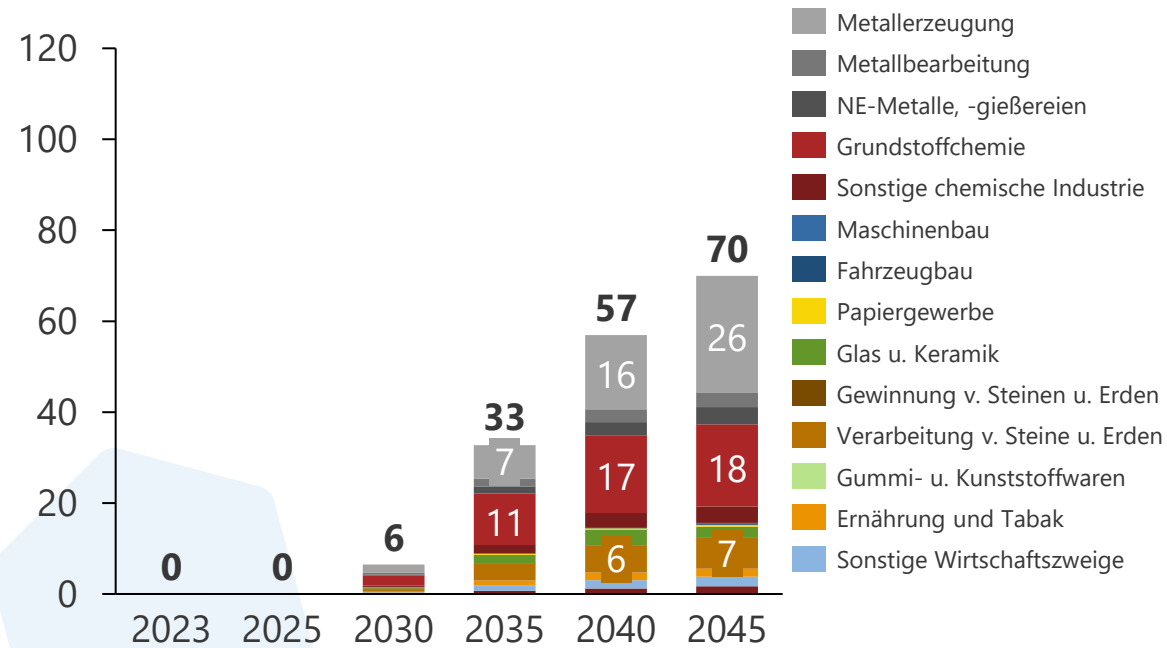
**Treiber der zusätzlichen H<sub>2</sub>-Bedarfe sind die prozessspezifischen EEV in den anderen Wirtschaftszweigen**

# Der Blick auf Wasserstoff

## Energetischer Wasserstoffverbrauch nach Wirtschaftszweigen

### Wasserstoffverbrauch nach Wirtschaftszweigen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



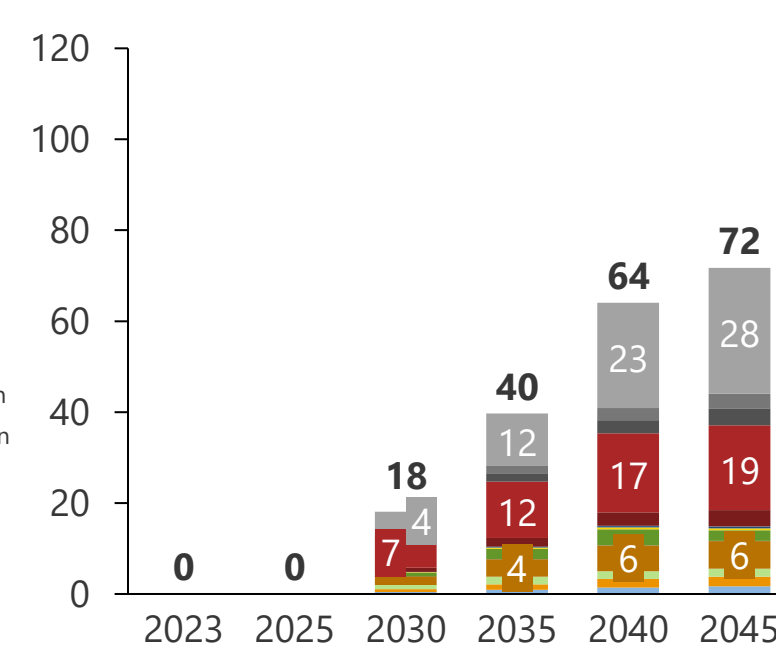
**Kernaspekte:**

**Stahl (Metallerzeugung) dominiert** nicht nur als stofflicher, sondern auch energetischer Wasserstofftreiber  
 Weitere Treiber sind die **energieintensiven Branchen** Grundstoffchemie und Verarbeitung v. Steinen u. Erden

**Ab 2035 verstärkte H<sub>2</sub>-Verfügbarkeit**

### Wasserstoffverbrauch nach Wirtschaftszweigen

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

Metallerzeugung, Grundstoffchemie und Verarbeitung v. Steinen u. Erden dominant

**Andere Entwicklung** der Produktionsmengen:

**Primärstahl-** und **Ammoniak-Produktionsmengen** Ziel > Trend (Wettbewerbsfähigkeit)

**Zementklinker-** und Verpackungspapier-Produktionsmengen Ziel < Trend (Effizienz)

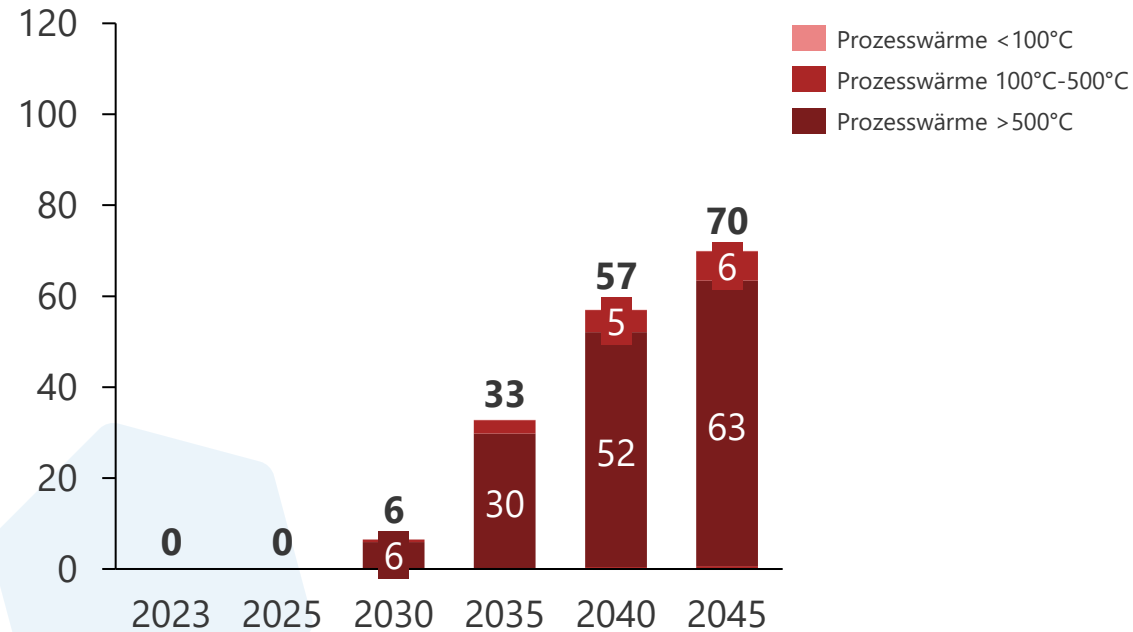
Früherer Hochlauf, bereits 2030 höherer EEV

# Der Blick auf Wasserstoff

## Energetischer Wasserstoffverbrauch nach Anwendungen

### Wasserstoffverbrauch nach Anwendungen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

Kein Wasserstoff in der Niedertemperatur

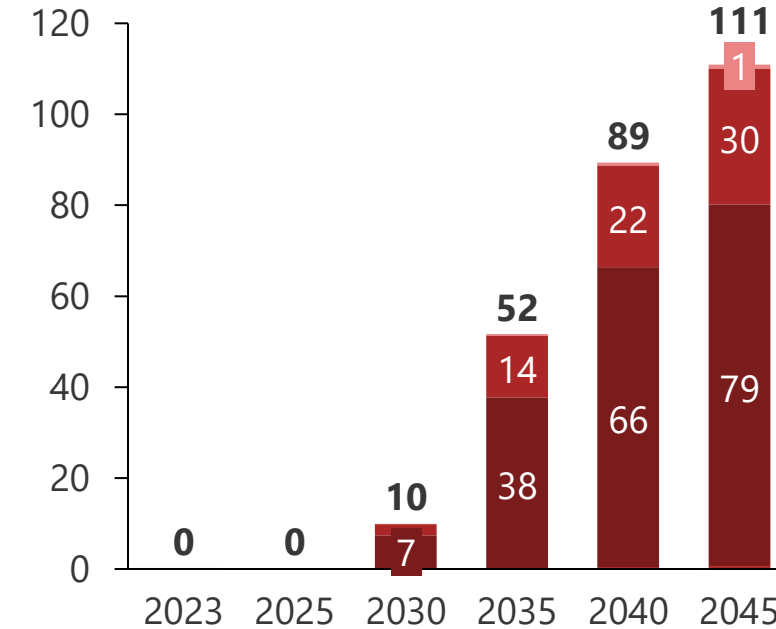
Geringer Bedarf in der Mitteltemperatur (10 % des EEV werden nicht elektrifiziert)

**Haupttreiber** für Wasserstoffbedarf sind Wasserstoffbrenner im **Hochtemperatur-Prozesswärme-**Bereich (50 % des EEV werden nicht elektrifiziert)

**Ab 2035 verstärkte H<sub>2</sub>-Verfügbarkeit**

### Wasserstoffverbrauch nach Anwendungen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

Geringer Wasserstoffbedarf in der Niedertemperatur (10 % des EEV werden nicht elektrifiziert)

**Treiber der zusätzlichen H<sub>2</sub>-Bedarfe sind die prozessspezifischen EEV in der Mittel- und Hochtemperatur (50 bzw. 90 % des EEV werden nicht elektrifiziert)**

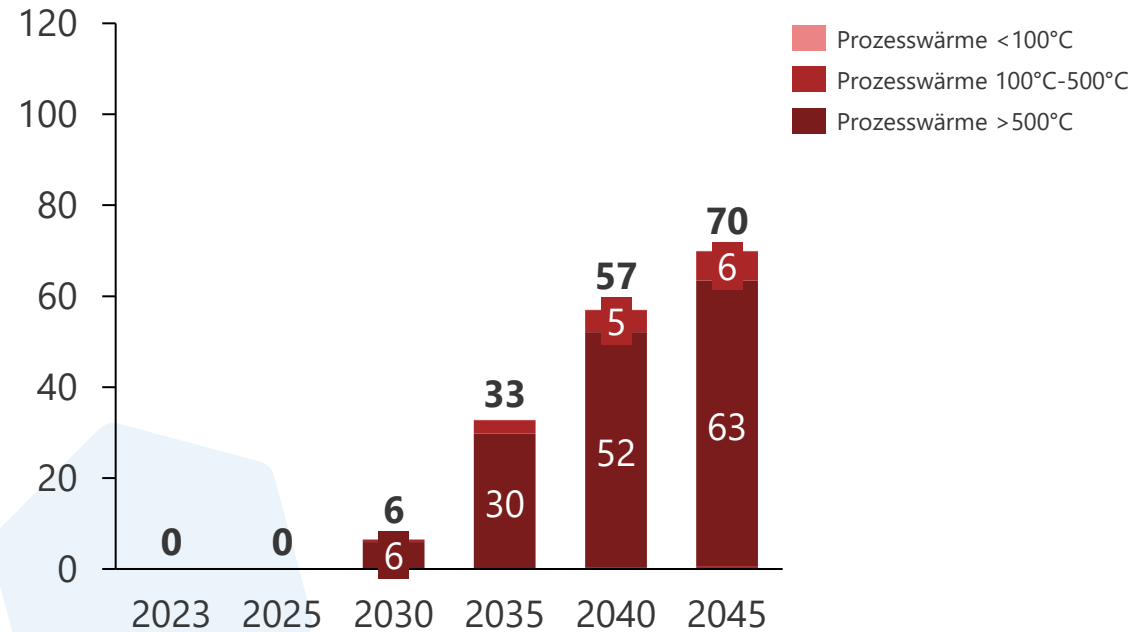
Ab 2035 Hochlauf

# Der Blick auf Wasserstoff

## Energetischer Wasserstoffverbrauch nach Anwendungen

### Wasserstoffverbrauch nach Anwendungen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

Kein Wasserstoff in der Niedertemperatur

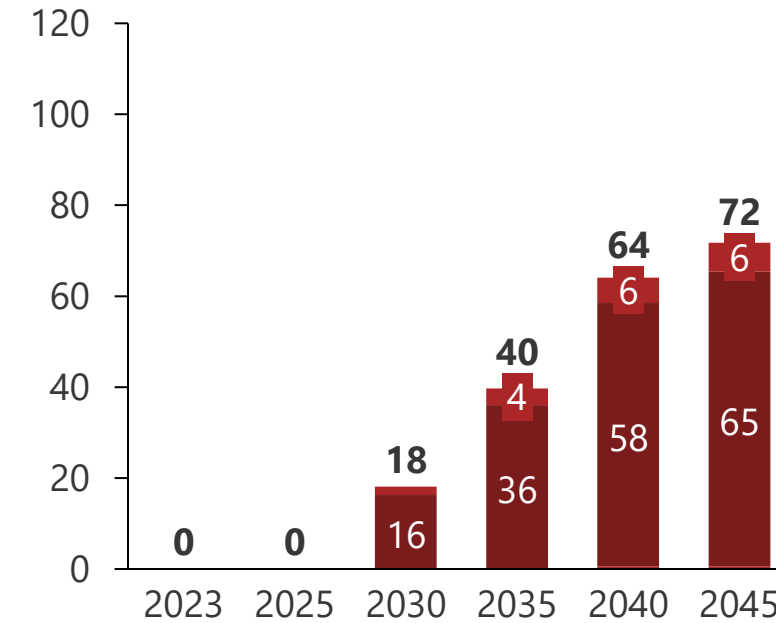
Geringer Bedarf in der Mitteltemperatur (10 % des EEV werden nicht elektrifiziert)

**Haupttreiber** für Wasserstoffbedarf sind Wasserstoffbrenner im **Hochtemperatur-Prozesswärme-** Bereich (50 % des EEV werden nicht elektrifiziert)

**Ab 2035 verstärkte H<sub>2</sub>-Verfügbarkeit**

### Wasserstoffverbrauch nach Anwendungen

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

Elektrifizierungsgrade wie im Trendszenario

**Unterschiede durch die Produktionsmengenentwicklungen** von Primärstahl, Ammoniak und Zementklinker haben v. a. **Auswirkungen auf die Hochtemperatur-Prozesswärme**

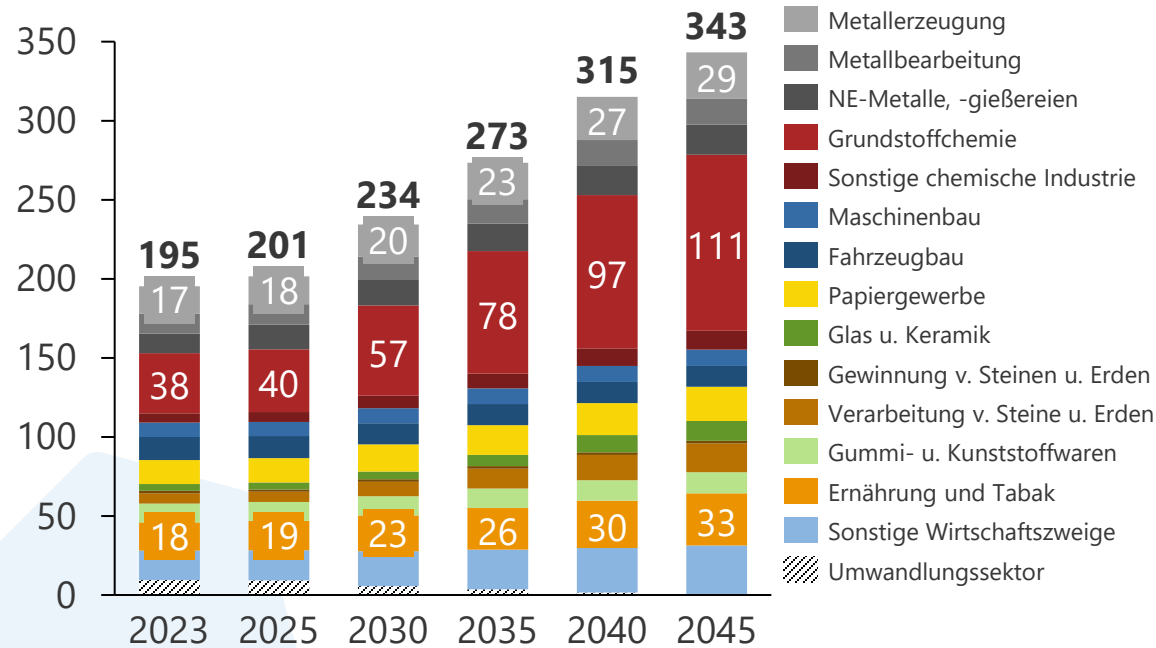
Früherer Hochlauf, bereits 2030 höherer EEV

# Der Blick auf Strom

## Stromverbrauch nach Wirtschaftszweigen

### Stromverbrauch nach Wirtschaftszweigen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



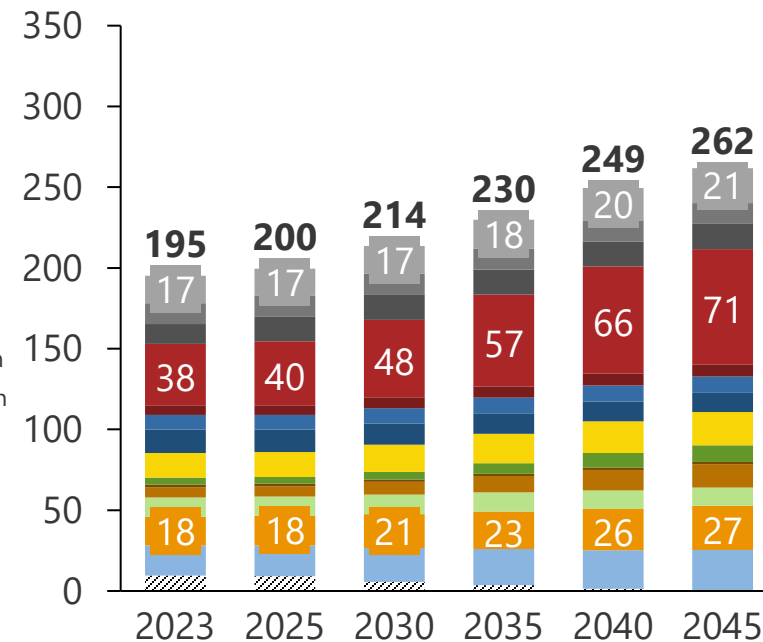
#### Kernaspekte:

**Die Grundstoffchemie dominiert** den Stromverbrauch im Status Quo sowie den Verbrauchsanstieg. Der Stromverbrauch steigt in allen Wirtschaftszweigen bis 2045, Stromeffizienz grenzt den Verbrauchsanstieg ein.

Treiber sind die Prozesstransformation und die Elektrifizierung der Nieder- und Mitteltemperatur sowie Teile der Hochtemperatur.

### Stromverbrauch nach Wirtschaftszweigen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



#### Kernaspekte:

Im Wasserstoffszenario deutlich geringerer Anstieg des Stromverbrauchs.

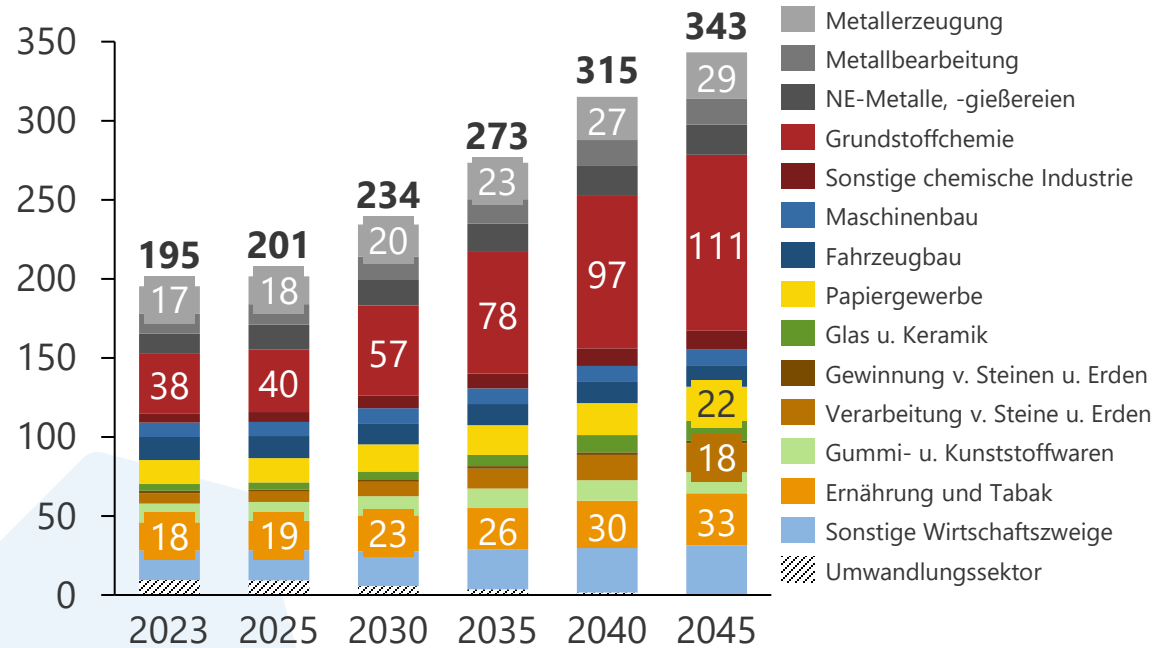
In einigen Branchen, in denen **Mitteltemperatur** stark ausgeprägt ist oder Prozesse nach wie vor elektrifiziert werden, kommt es dennoch zu einem Verbrauchsanstieg.

# Der Blick auf Strom

## Stromverbrauch nach Wirtschaftszweigen

### Stromverbrauch nach Wirtschaftszweigen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



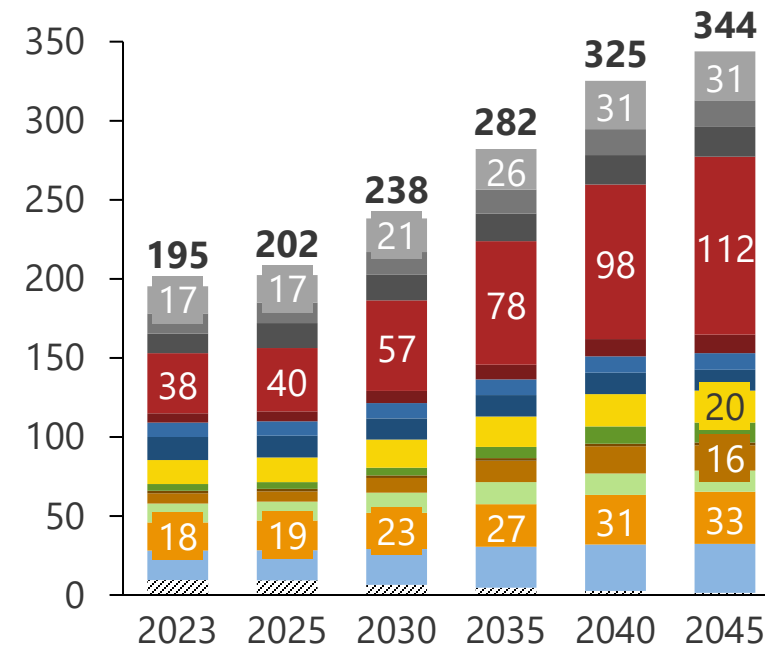
#### Kernaspekte:

**Die Grundstoffchemie dominiert** den Stromverbrauch im Status Quo sowie den Verbrauchsanstieg. Der Stromverbrauch steigt in allen Wirtschaftszweigen bis 2045, Stromeffizienz grenzt den Verbrauchsanstieg ein.

Treiber sind die Prozesstransformation und die Elektrifizierung der Nieder- und Mitteltemperatur sowie Teile der Hochtemperatur.

### Stromverbrauch nach Wirtschaftszweigen

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



#### Kernaspekte:

**Andere Entwicklung** der Produktionsmengen führt in Summe zum gleichen Strombedarf, aber anderer WZ-Aufteilung:

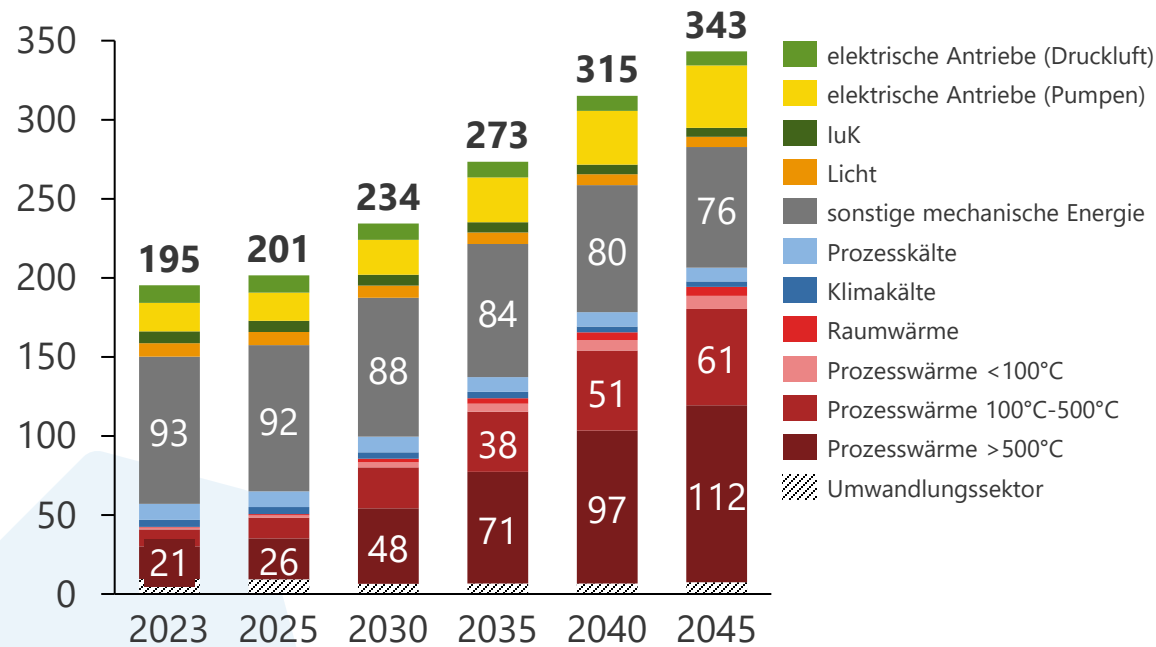
**Primärstahl-** und **Ammoniak-Produktionsmengen** Ziel > Trend (Wettbewerbsfähigkeit), daher haben Metallerzeugung und Grundstoffchemie leicht höhere Stromverbräuche  
**Zementklinker-** und **Verpackungspapier-Produktionsmengen** Ziel < Trend (Effizienz)

# Der Blick auf Strom

## Stromverbrauch nach Anwendungen

### Stromverbrauch nach Anwendungen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



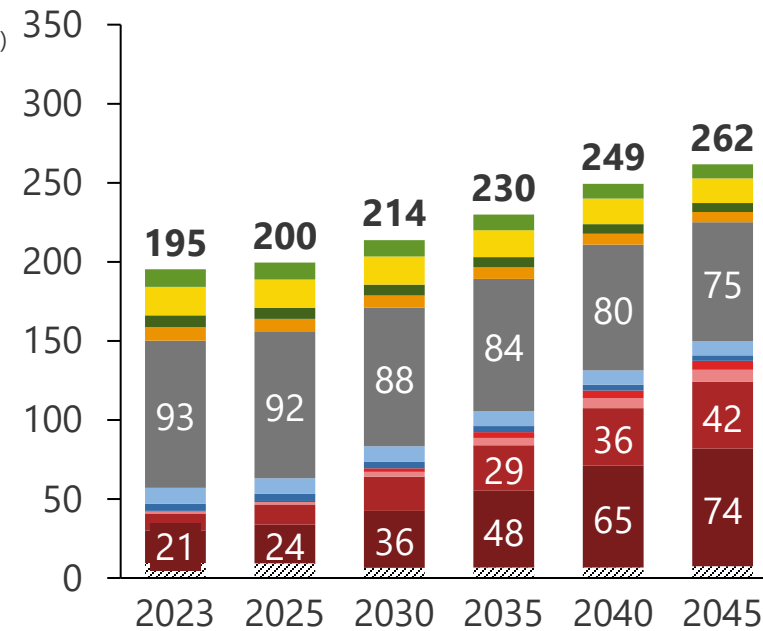
**Kernaspekte:**

**Wärmeanwendungen in der Mittel- und Hochtemperatur treiben den Stromanstieg**

11 TWh Abnahme des Stromverbrauchs im Bereich mechanischer Energie ist auf den prozessunspezifischen Teil (v.a. Grundstoffchemie, Metalle, Fahrzeugbau) zurückzuführen, der Rest auf die veränderte Industriestruktur (Verfahrensroutenwechsel und überwiegend sinkende Produktionsmengen)

### Stromverbrauch nach Anwendungen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

Im Wasserstoffszenario deutlich geringerer Anstieg des Stromverbrauchs, da geringere Elektrifizierung der Prozesswärme des prozessspezifischen EEV, in **Mittel- und Hochtemperatur** kommt es dennoch zu einem Verbrauchsanstieg

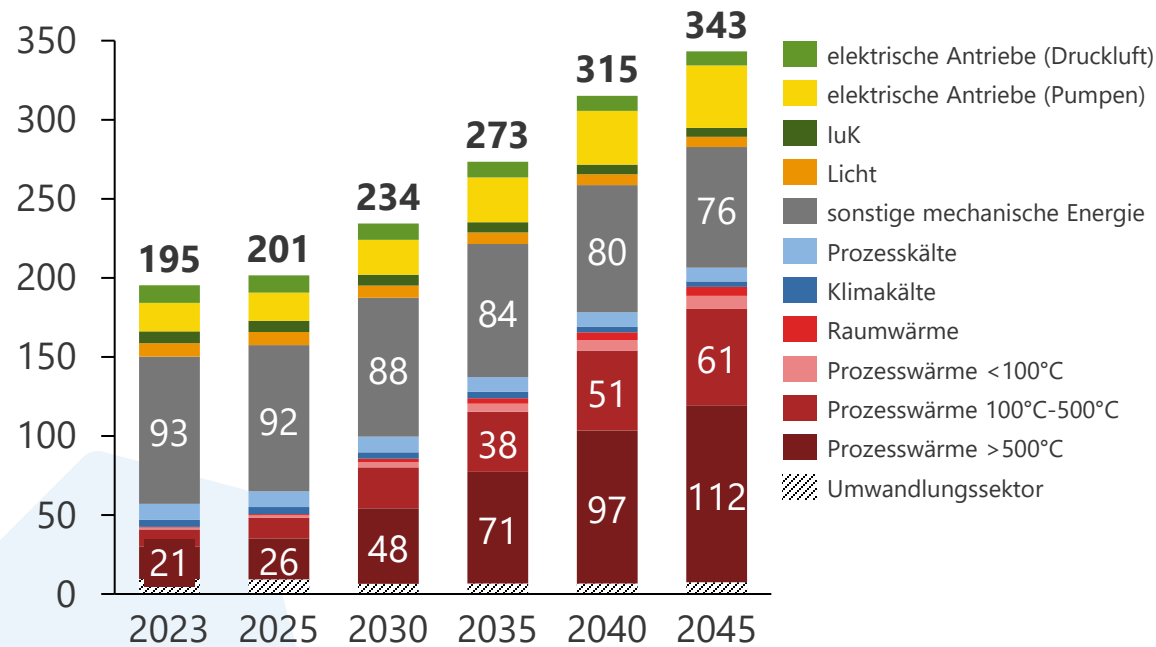
Wie in Elektrifizierungsszenario Rückgang der mechanischen Energie → zurückzuführen auf szenario-übergreifende veränderte Industriestruktur (Bruttowertschöpfungsentwicklung, Produktionsmengen)

# Der Blick auf Strom

## Stromverbrauch nach Anwendungen

### Stromverbrauch nach Anwendungen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



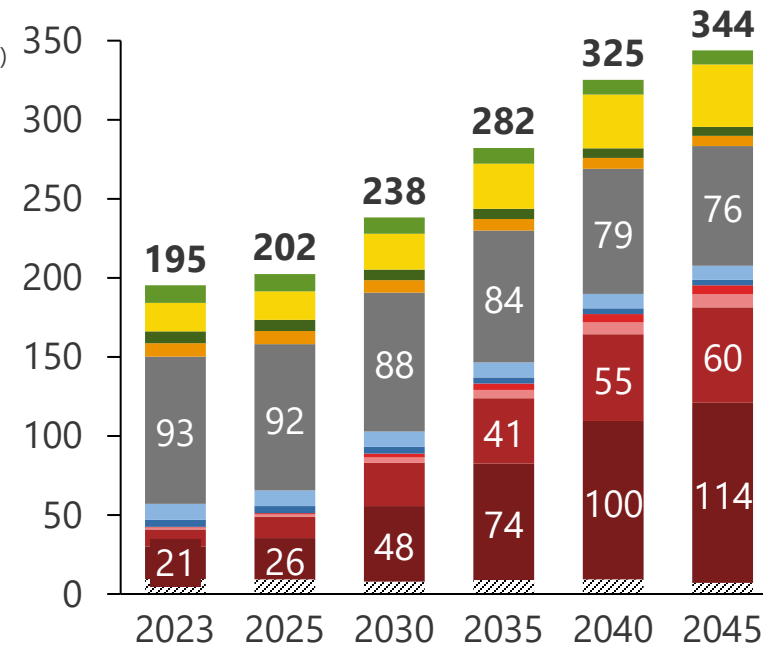
**Kernaspekte:**

**Wärmeanwendungen in der Mittel- und Hochtemperatur treiben den Stromanstieg**

11 TWh Abnahme des Stromverbrauchs im Bereich mechanischer Energie ist auf den prozessunspezifischen Teil (v.a. Grundstoffchemie, Metalle, Fahrzeugbau) zurückzuführen, der Rest auf die veränderte Industriestruktur (Verfahrensroutenwechsel und überwiegend sinkende Produktionsmengen)

### Stromverbrauch nach Anwendungen

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

**Andere Entwicklung** der Produktionsmengen führt in Summe zum gleichen Strombedarf, aber anderer Anwendungs-Aufteilung:

**Primärstahl- und Ammoniak-Produktionsmengen** Ziel > Trend, daher hat Hochtemperatur-Prozesswärme leicht höhere Stromverbräuche

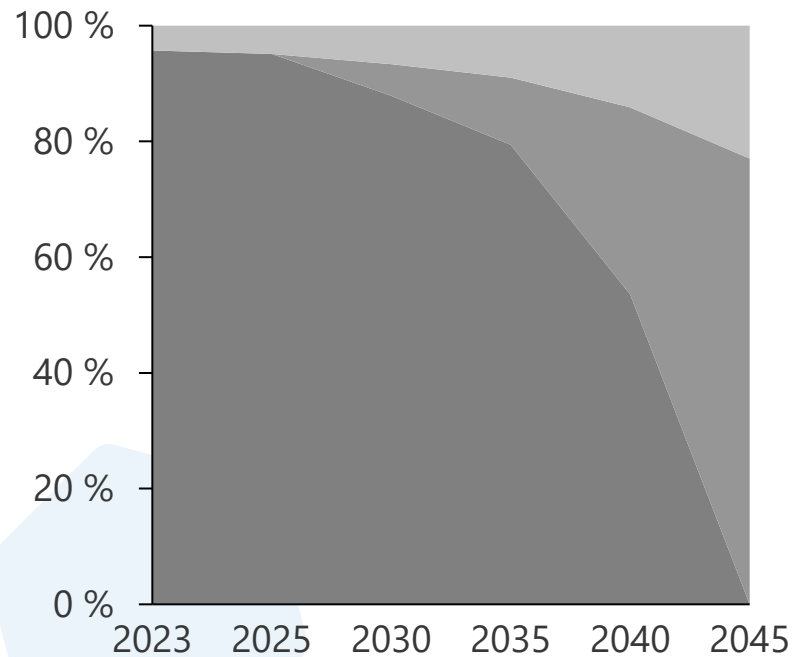
**Zementklinker- und Verpackungspapier-Produktionsmengen** Ziel < Trend wirkt auf E<sub>mech</sub> und MT

# Elektrifizierungs- & Wasserstoffscenario

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs der Metallerzeugung

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Metallerzeugung

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

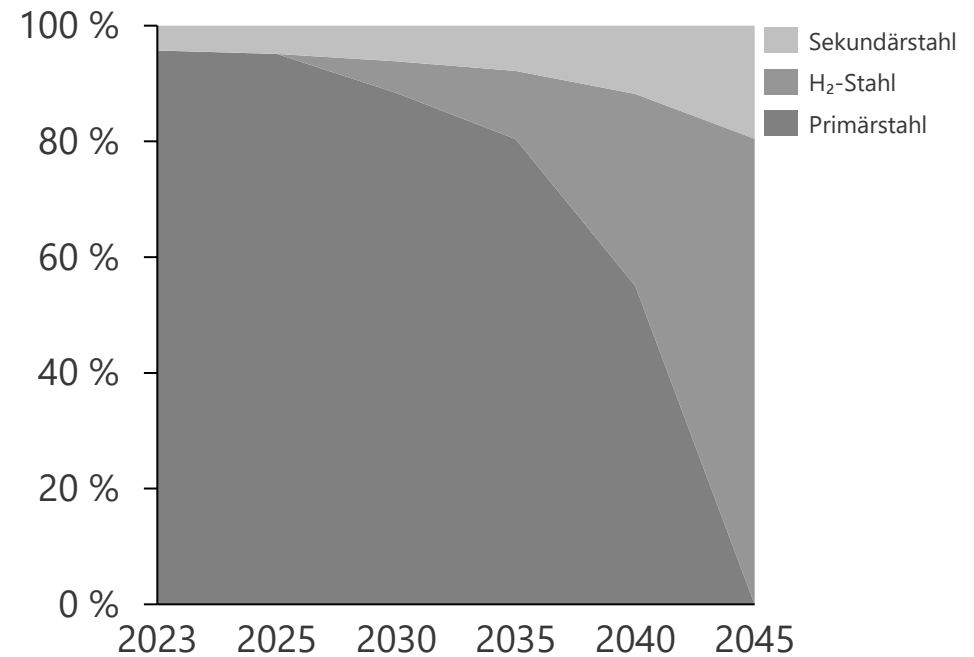
**Hochofenroute bestimmt im Jahr 2023 die Stahlproduktion**

Im Zieljahr wird 45 % des Rohstahls über die Sekundärroute und 55 % durch die Direktreduktion bereitgestellt → **Recycling führt zu deutlichen EEV-Einsparungen**

Transformationsgeschwindigkeit der Hochofenroute nimmt nach hinten hin zu

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Metallerzeugung

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

**Wie bei der Elektrifizierung bestimmt die Direktreduktion die Transformation im Jahr 2045**

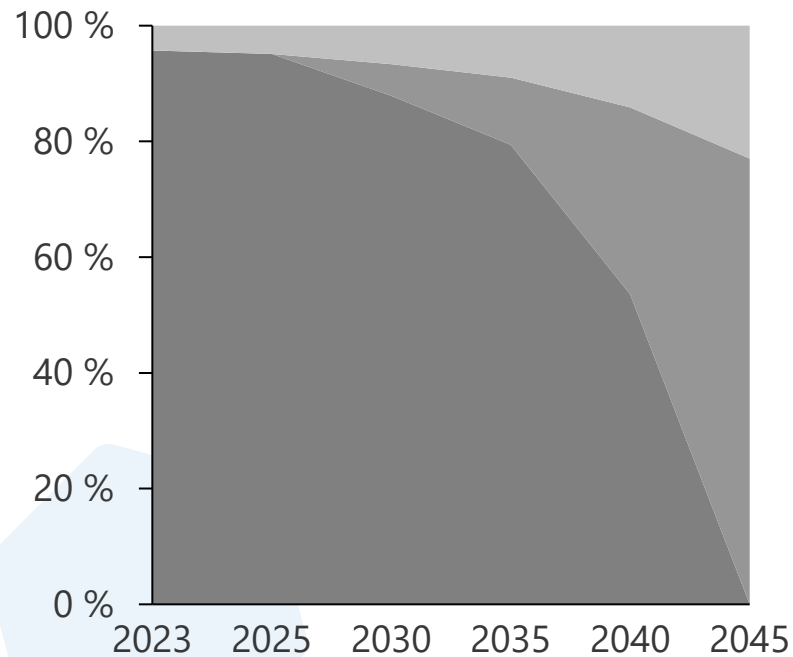
Nur noch 40 % der Rohstahl-Produktionsmengen in 2045 entfallen auf die Sekundärroute

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs der Metallerzeugung

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Metallerzeugung

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

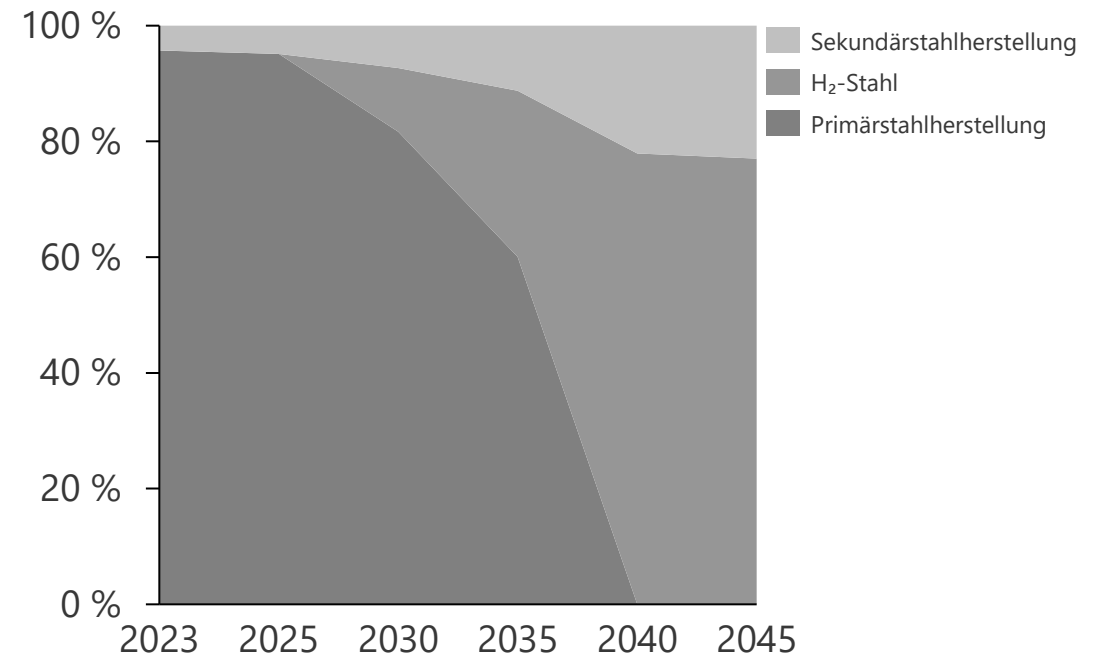
**Hochofenroute bestimmt im Jahr 2023 die Stahlproduktion**

Im Zieljahr wird 45 % des Rohstahls über die Sekundärroute und 55 % durch die Direktreduktion bereitgestellt → **Recycling führt zu deutlichen EEV-Einsparungen**

Ersatz der Hochofenroute gleichmäßig durch Sekundärroute und Direktreduktion  
Transformationsgeschwindigkeit nimmt nach hinten hin zu

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Metallerzeugung

in % | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

**Wie bei der Elektrifizierung bestimmt die Direktreduktion die Transformation im Jahr 2045**

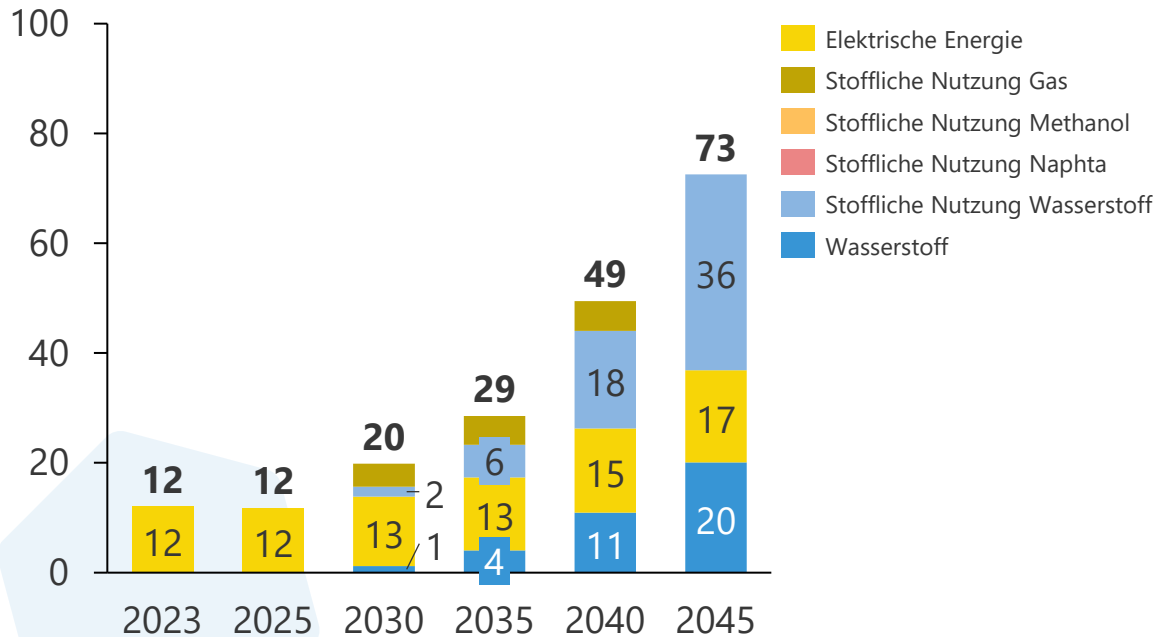
Insgesamt höhere Produktionsmengen, aber gleiches Verhältnis Direktreduktion/Sekundärroute  
Schnellere Transformation, Zielzustand bereits Ende der 2030er Jahre erreicht, auch wenn noch teilweise Erdgas und noch nicht vollständig Wasserstoff eingesetzt wird

# Elektrifizierungs- & Wasserstoffszenario

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Metallerzeugung

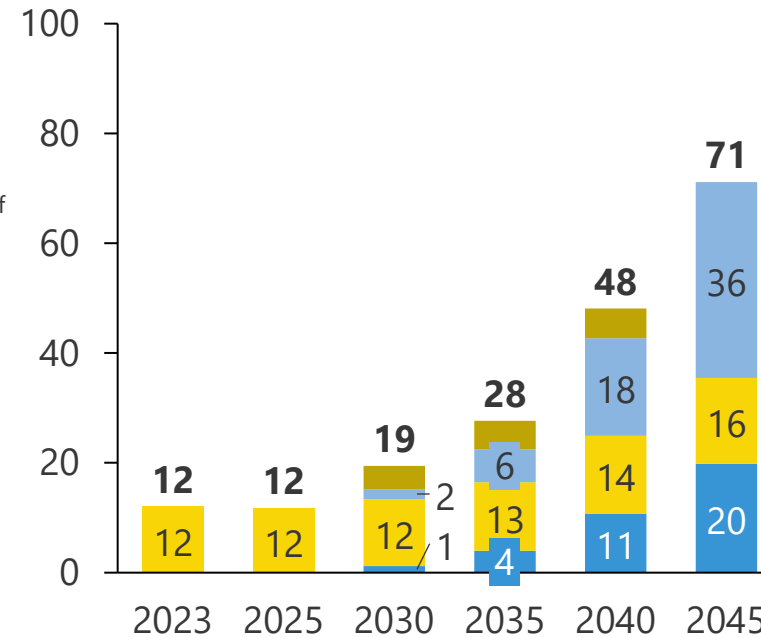
### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Rohstahl

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Rohstahl

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

**Der hohe Anteil der Direktreduktion führt zu einem hohen Verbrauch von Wasserstoff und stofflichem Wasserstoff,** Gas wird übergangsweise als Feedstock (und Energieträger) eingesetzt

Die Direktreduktion benötigt neben Wasserstoff für die Aufbereitung des Eisenschwammes ebenfalls Elektrische Energie

Im Vergleich zu allen betrachteten Prozessen entsteht in der Stahlerzeugung durch die Transformation ein sehr hoher Bedarf der betrachteten Energieträger

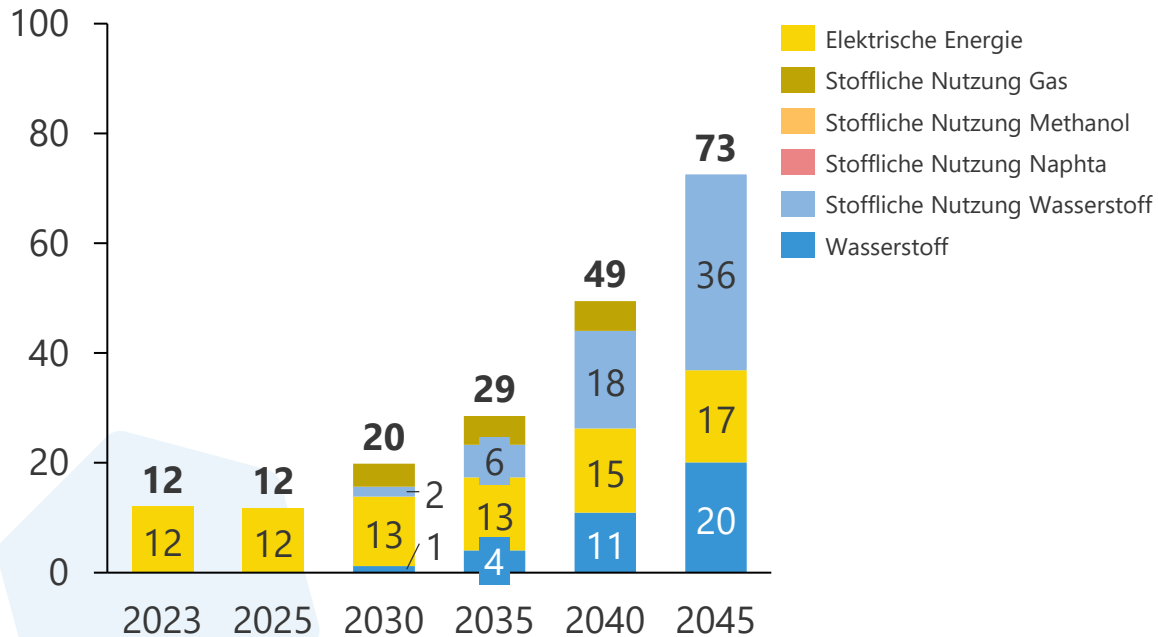
**Kernaspekte:**

Stromverbrauch sinkt um 1 TWh im Jahr 2045 im Vergleich zum Elektrifizierungsszenario, da die Sekundärstahlroute weniger stark ausgeprägt ist

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Metallerzeugung

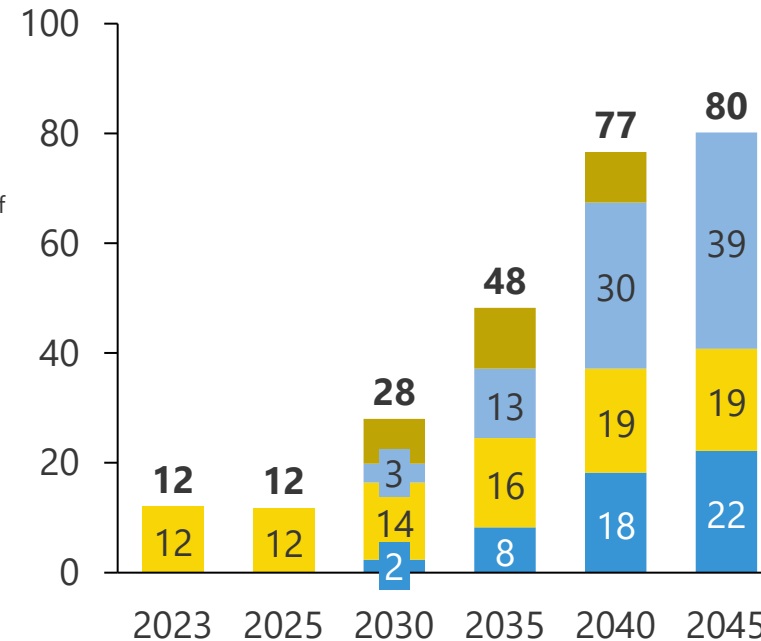
**Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Rohstahl**  
in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

**Der hohe Anteil der Direktreduktion führt zu einem hohen Verbrauch von Wasserstoff und stofflichem Wasserstoff**, Gas wird übergangsweise als Feedstock (und Energieträger) eingesetzt. Die Direktreduktion benötigt neben Wasserstoff für die Aufbereitung des Eisenschwammes ebenfalls Elektrische Energie. Im Vergleich zu allen betrachteten Prozessen entsteht in der Stahlerzeugung durch die Transformation ein sehr hoher Bedarf der betrachteten Energieträger

**Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Rohstahl**  
in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

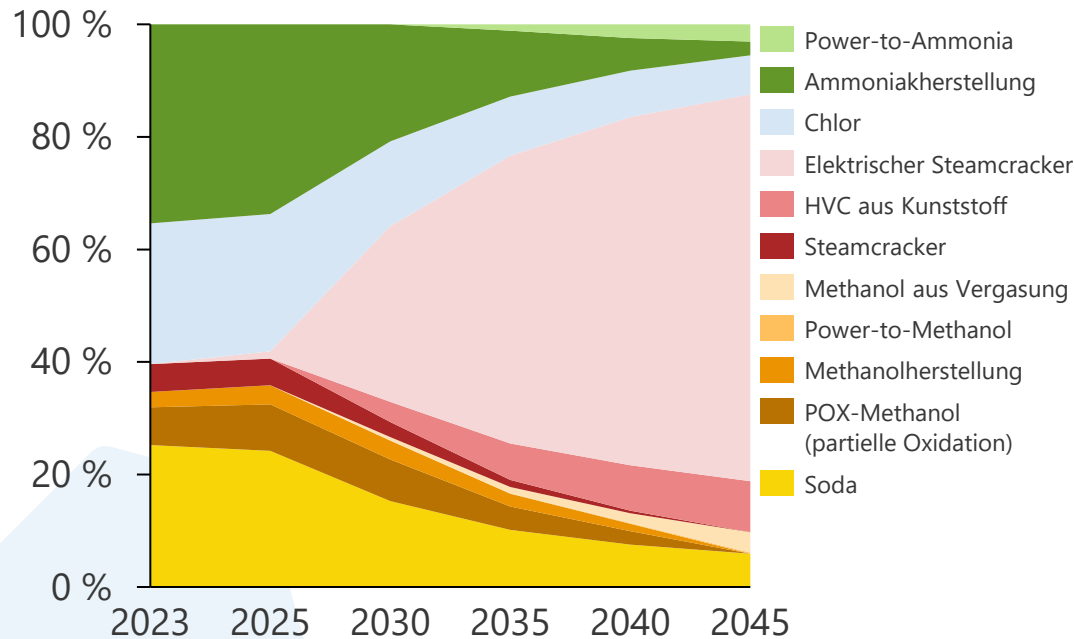
**Höherer Bedarf** aller Energieträger, da mehr Primärstahl- und Sekundärstahlproduktionsmengen erhalten bleiben

# Elektrifizierungs- & Wasserstoffzenario

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs der Grundstoffchemie

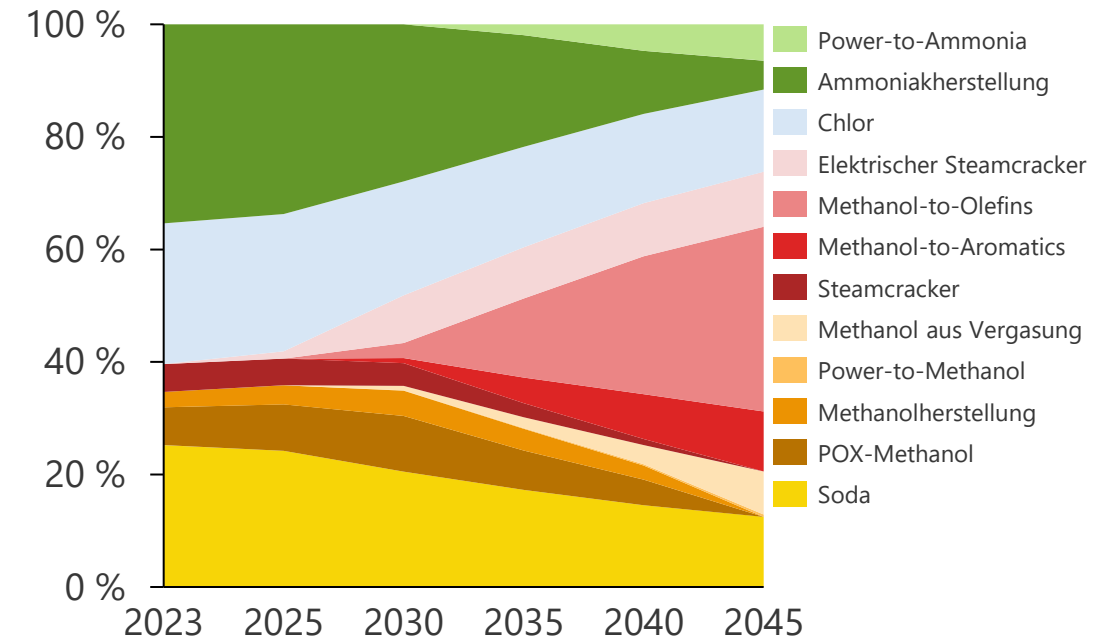
### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Grundstoffchemie

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Grundstoffchemie

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

Abweichung zur Vorstudie: In ihr dominierte der Steamcracker mit 77 % den EEV im Status Quo\*

**Erweiterung der Vorstudie:** neue Prozesse Soda und Chlorherstellungsverfahren

**Grundstoffchemie geprägt von mehreren energieintensiven Prozessen**

Steamcracker wird durch Elektrocracker mit synthetischem Naphtha und Kunststoffrecycling ersetzt (siehe Steckbrief) → stromintensiv

**Kernaspekte:**

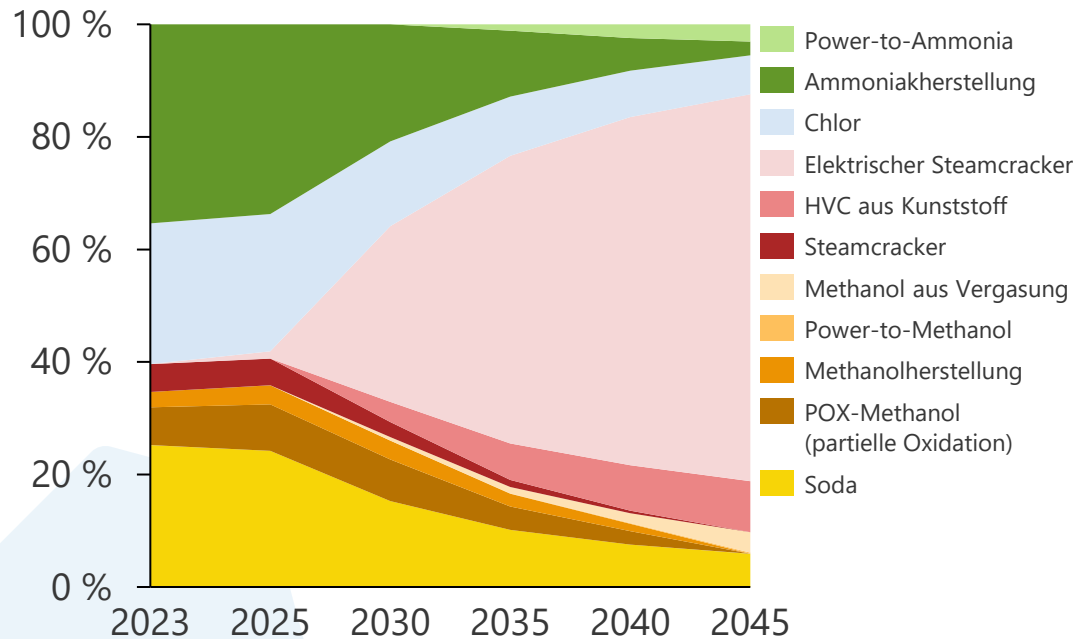
Methanol-to-X-Routen werden als gängige Alternative für den Steamcracker angenommen, nur der Standort, der bereits heute einen Elektrocracker hat, setzt auf diese Verfahrensrouten → führt zu geringerem Gesamt-EEV

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs der Grundstoffchemie

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Grundstoffchemie

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



#### Kernaspekte:

Abweichung zur Vorstudie: in ihr dominierte der Steamcracker mit 77 % den EEV im Status Quo\*

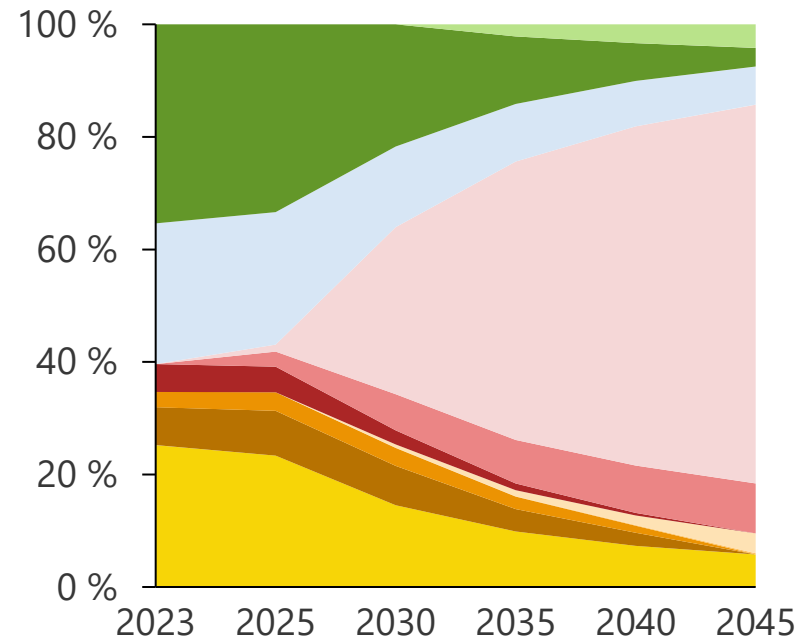
**Erweiterung der Vorstudie:** neue Prozesse Soda und Chlorherstellungsverfahren

**Grundstoffchemie geprägt von mehreren energieintensiven Prozessen**

Steamcracker wird durch Elektrocracker mit synthetischem Naphtha und Kunststoffrecycling ersetzt (siehe Steckbrief) → stromintensiv

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Grundstoffchemie

in % | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



#### Kernaspekte:

Methanol-to-X-Routen werden als gängige Alternative für den Steamcracker angenommen, nur der Standort, der bereits heute einen Elektrocracker hat, setzt auf diese Verfahrensrouten → führt zu geringerem Gesamt-EEV

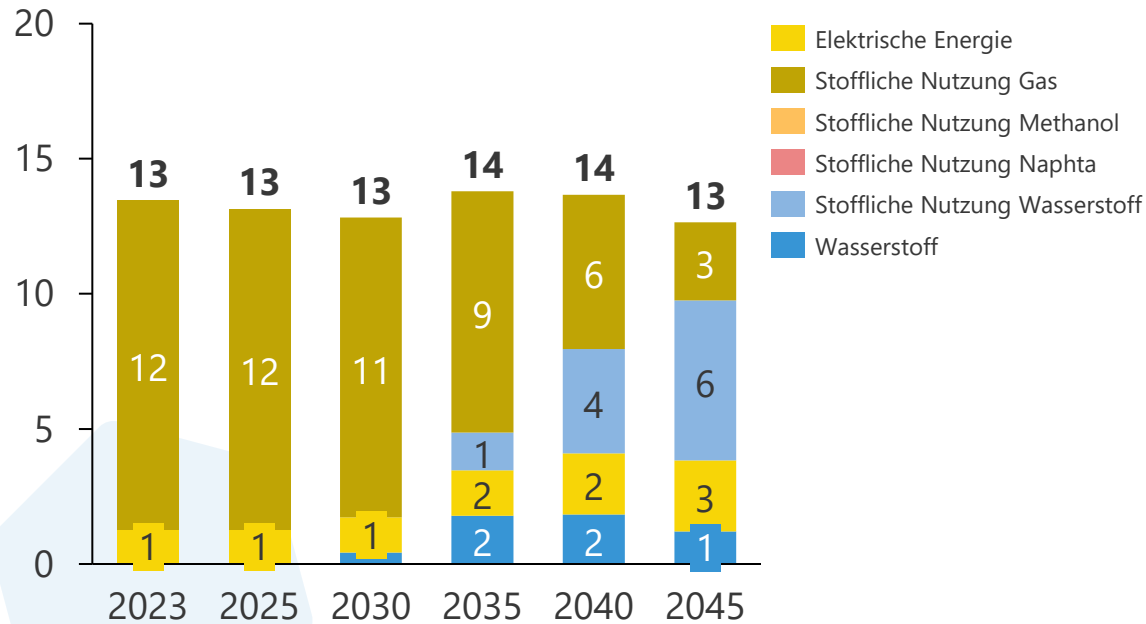
Da Wasserstoff früher verfügbar ist, beginnen Power-to-Methanol und Power-to-Ammoniak Routen mit gleichmäßigem Hochlauf ab technologischer Reife/2030 statt wie im Trendszenario verstärkt ab 2035.

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Ammoniakherstellung

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Ammoniakherstellung

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

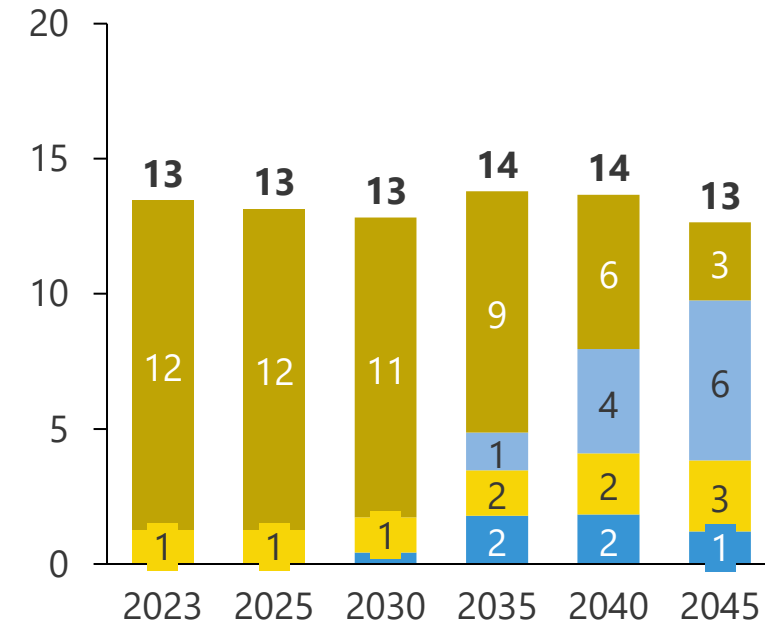


**Kernaspekte:**

Die **Transformationstechnologie** des Ammoniaks hat einen **höheren spez. Stromverbrauch**, dadurch steigt der elektrische Verbrauch bis 2045 an, obwohl die Produktionsmengen zurückgehen. Ein Teil der Dampfreformierung (stoffl. Nutzung Gas) bleibt in allen Szenarien erhalten, da die Ammoniakproduktion in Deutschland über Abwärmenutzung an die Harnstoffproduktion gekoppelt ist. Die energet. Nutzung von Erdgas wird durch Wasserstoff und Biomasse ersetzt.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Ammoniakherstellung

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

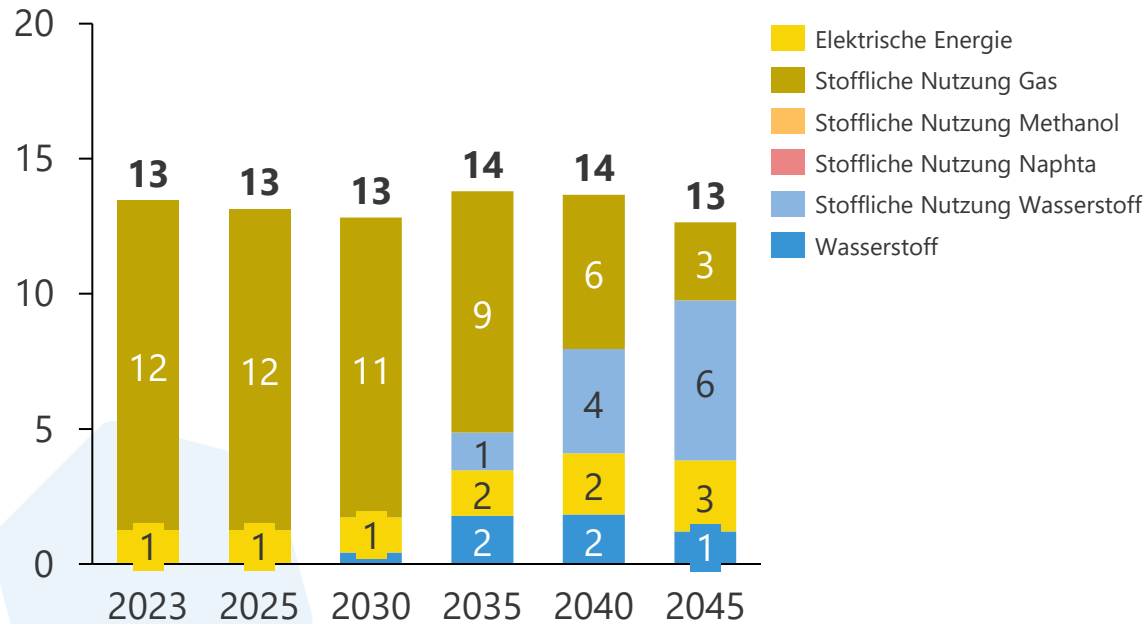
Da die Substitution der Dampfreformierung durch die Power-to-Ammoniak-Route als einzige realistisch umsetzbare Technologie angenommen wird, sind beide Szenarien **identisch**.

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Ammoniakherstellung

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Ammoniakherstellung

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

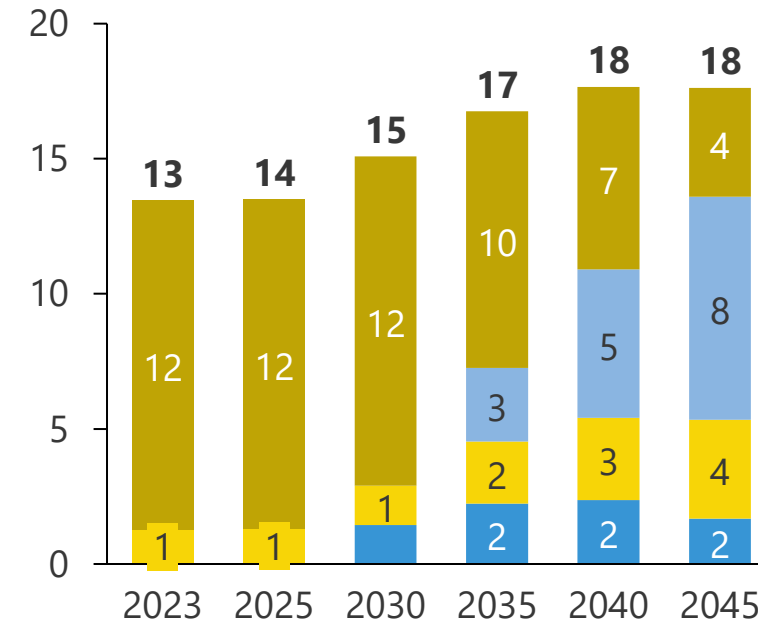


**Kernaspekte:**

Die **Transformationstechnologie** des Ammoniaks hat einen **höheren spez. Stromverbrauch**, dadurch steigt der elektrische Verbrauch bis 2045 an, obwohl die Produktionsmengen zurückgehen. Ein Teil der Dampfreformierung (stoffl. Nutzung Gas) bleibt in allen Szenarien erhalten, da die Ammoniakproduktion in Deutschland über Abwärmenutzung an die Harnstoffproduktion gekoppelt ist. Die energet. Nutzung von Erdgas wird durch Wasserstoff und Biomasse ersetzt.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Ammoniakherstellung

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

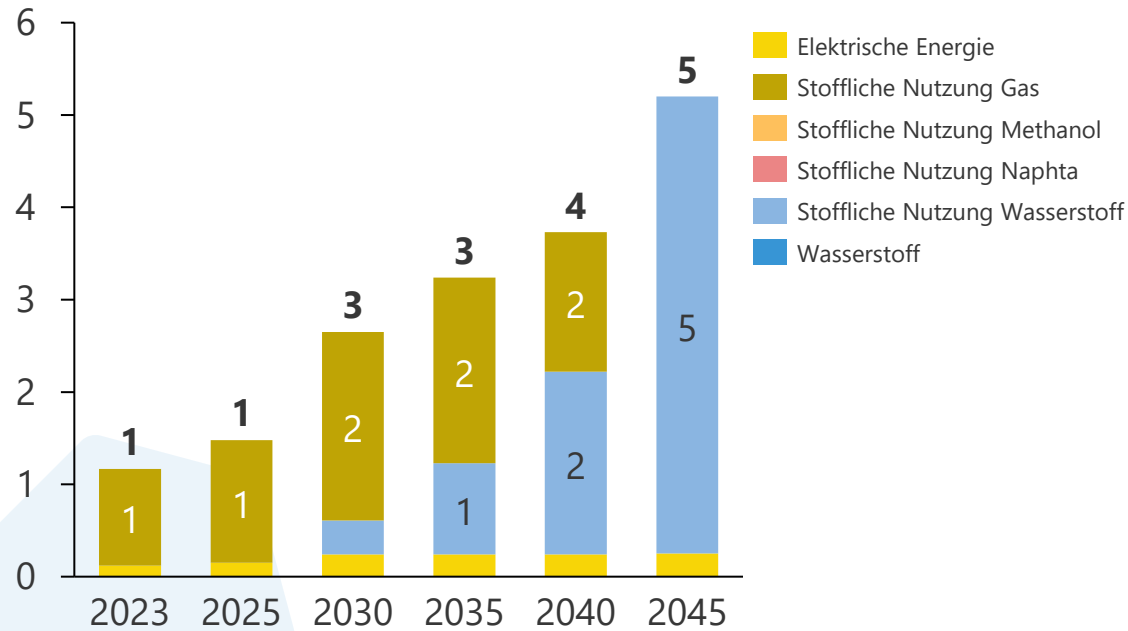
Höhere Produktionsmengen führen zu höheren EEV

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Methanolherstellung

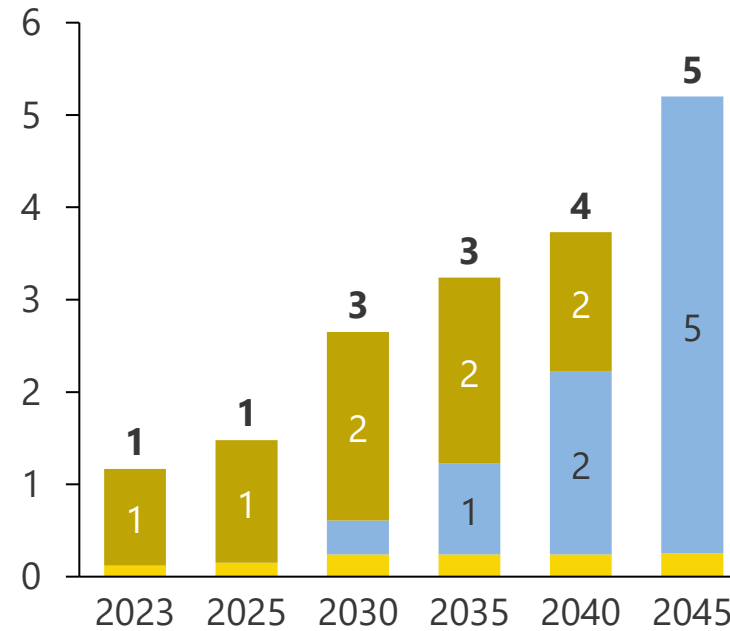
### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Methanolherstellung

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Methanolherstellung

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



#### Kernaspekte:

**Power-to-Methanol** und die Herstellung aus Biomassevergasung setzen im Gegensatz zur klassischen Methanolsynthese oder der partiellen Oxidation von Mineralölfractionen mehr elektrische Energie als Energieträger ein. Folglich steigt der elektrische Energieverbrauch durch die Transformation. Der stoffliche H<sub>2</sub>-Bedarf nimmt durch die PtM-Route ebenfalls zu. Ein weiterer Treiber sind leicht steigende Produktionsmengen.

#### Kernaspekte:

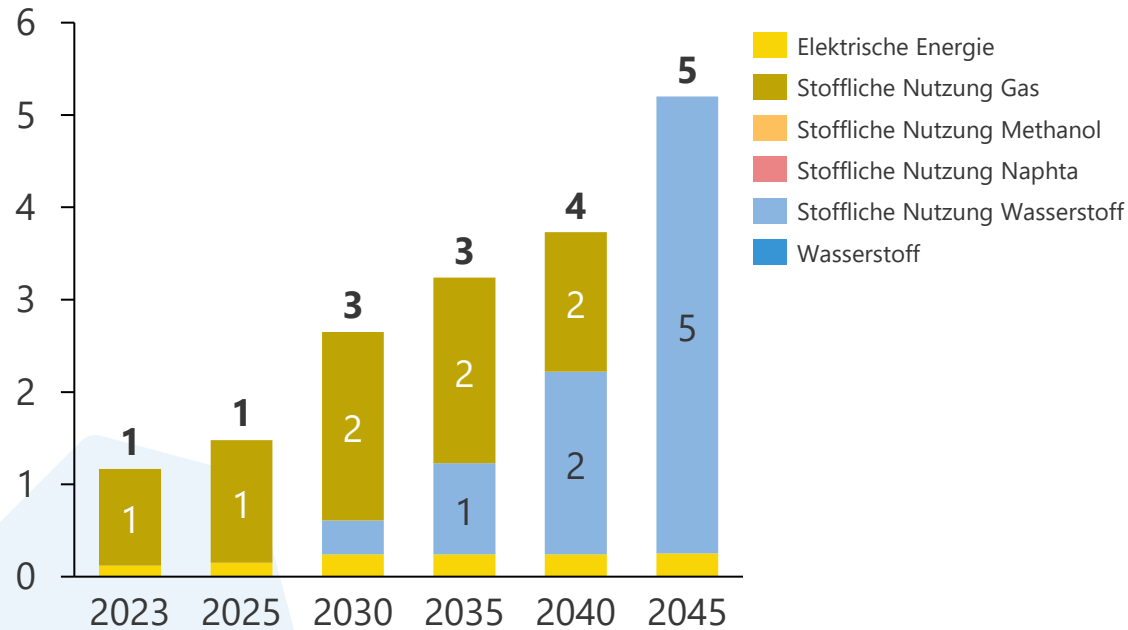
Die beiden Szenarien sind identisch. Es entsteht kein zusätzlicher Methanolbedarf durch die methanolbasierten Verfahrensroutenwechsel bei der HVC-Produktion, da dieser Bedarf laut Szenariodefinition durch Importe gedeckt wird.

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Methanolherstellung

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Methanolherstellung

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

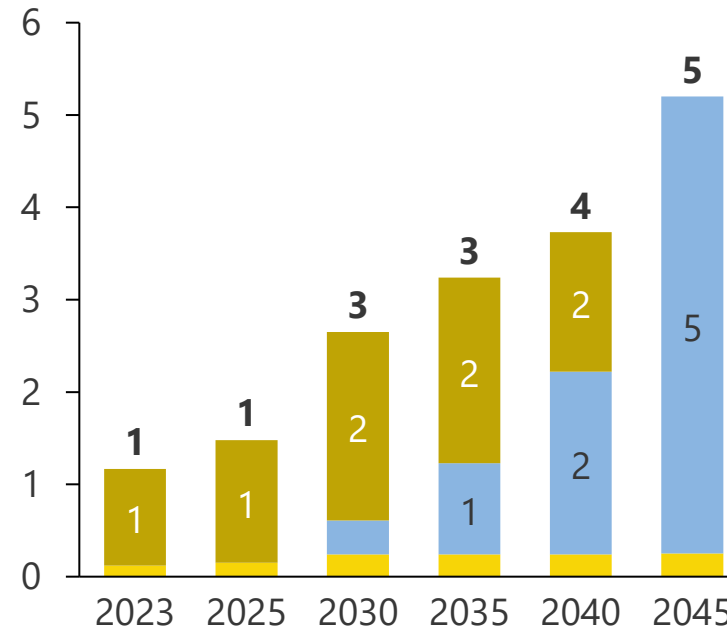


#### Kernaspekte:

**Power-to-Methanol** und die Herstellung aus Biomassevergasung setzen im Gegensatz zur klassischen Methanolsynthese oder der partiellen Oxidation von Mineralölfractionen mehr elektrische Energie als Energieträger ein. Folglich steigt der elektrische Energieverbrauch durch die Transformation. Der stoffliche H<sub>2</sub>-Bedarf nimmt durch die PtM-Route ebenfalls zu. Ein weiterer Treiber sind leicht steigende Produktionsmengen.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Methanolherstellung

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



#### Kernaspekte:

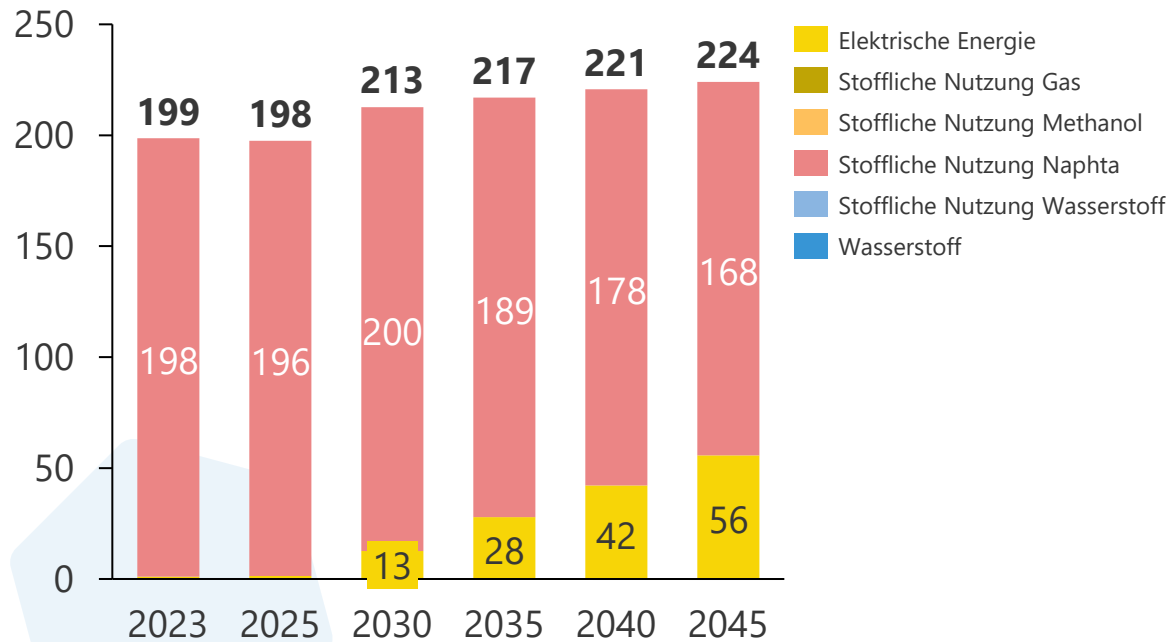
Die beiden Szenarien sind identisch. Es entsteht kein zusätzlicher Methanolbedarf, da nicht auf die methanolbasierten Verfahrensroutenwechsel bei der HVC-Produktion, sondern auf Electrocracker gesetzt wird.

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der HVC-Produktion

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch HVC-Produktion

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



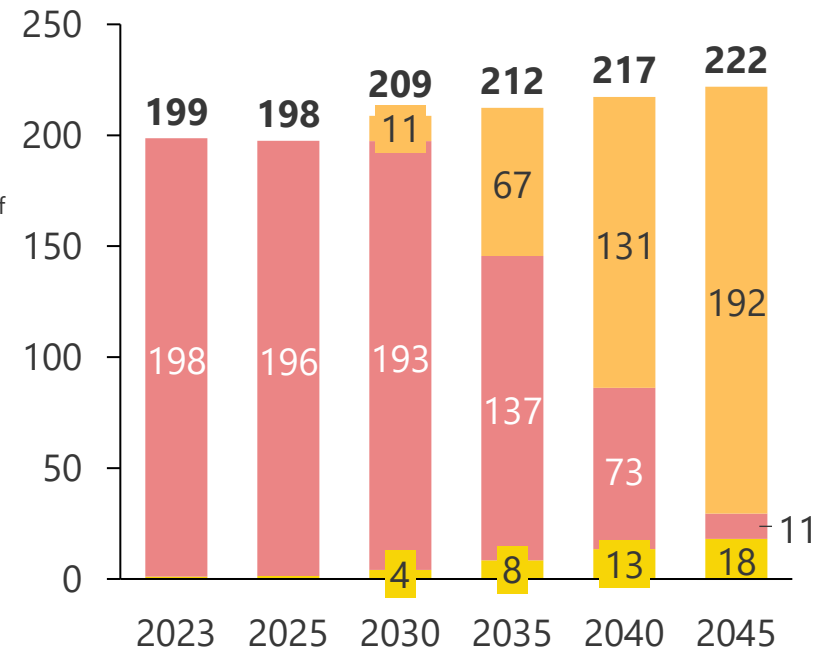
#### Kernaspekte:

Durch die Transformation werden die Steamcracker mit fossilem Naphtha durch Electrocracker mit synthetischem Naphtha ersetzt. Die verschiedenen Herstellungsverfahren von synthetischem Naphtha sind im Steckbrief erläutert. Die Anteile an wasserstoff- und biomassebasiertem Naphtha werden hier nicht näher ausgewiesen für den Zielzustand.

Der **elektrische Cracker** besitzt einen **höheren spez. Strombedarf**. Dadurch steigt der Strombedarf, obwohl die Produktionsmengen sinken.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch HVC-Produktion

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



#### Kernaspekte:

Im Wasserstoffszenario spielt der elektrische Steamcracker nur eine untergeordnete Rolle. Naphtha wird großteils durch Methanol ersetzt. Höherer Verbrauch von MtO und MtA führt zu einem deutlichen Anstieg des Methanolbedarfs gegenüber dem Elektrifizierungsszenario.

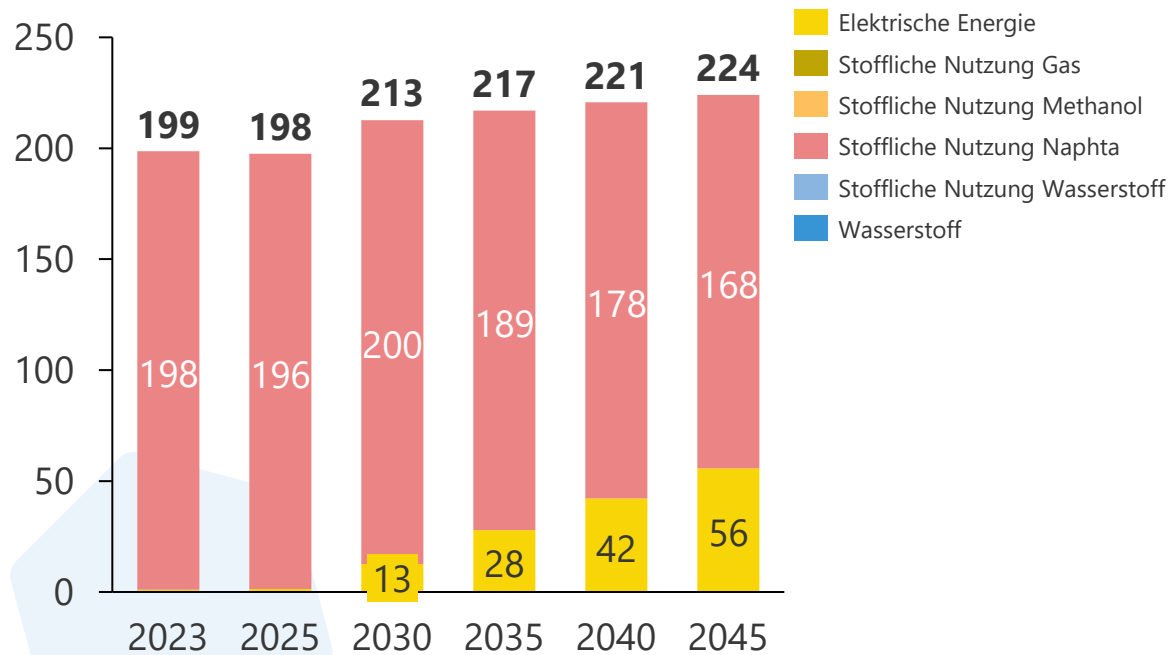
**Methanolbasierte Verfahrensrouten** weniger stromintensiv als der elektrisch beheizte Cracker.

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der HVC-Produktion

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch HVC-Produktion

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



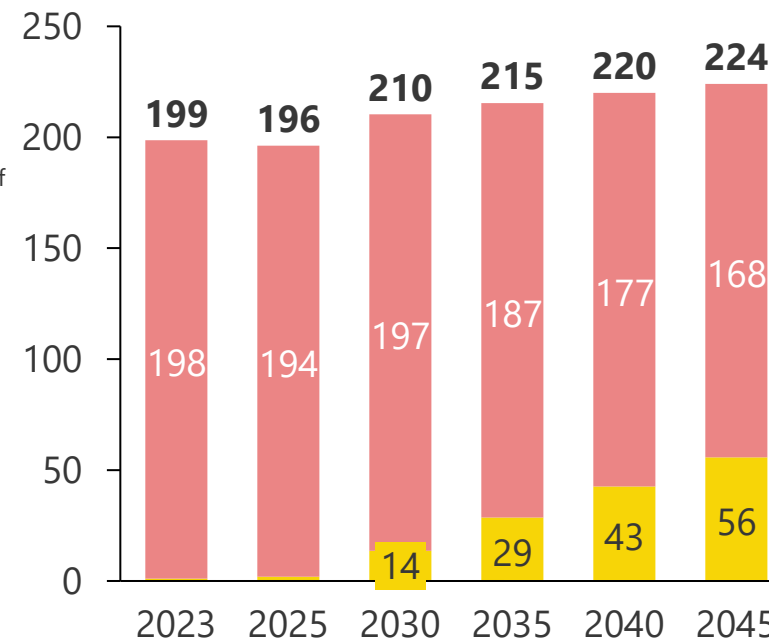
#### Kernaspekte:

Durch die Transformation werden die Steamcracker mit fossilem Naphtha durch Elektrocracker mit synthetischem Naphtha ersetzt. Die verschiedenen Herstellungsverfahren von synthetischem Naphtha sind im Steckbrief erläutert. Die Anteile an wasserstoff- und biomassebasiertem Naphtha werden hier nicht näher ausgewiesen für den Zielzustand.

Der **elektrische Cracker** besitzt einen **höheren spez. Strombedarf**. Dadurch steigt der Strombedarf, obwohl die Produktionsmengen sinken.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch HVC-Produktion

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



#### Kernaspekte:

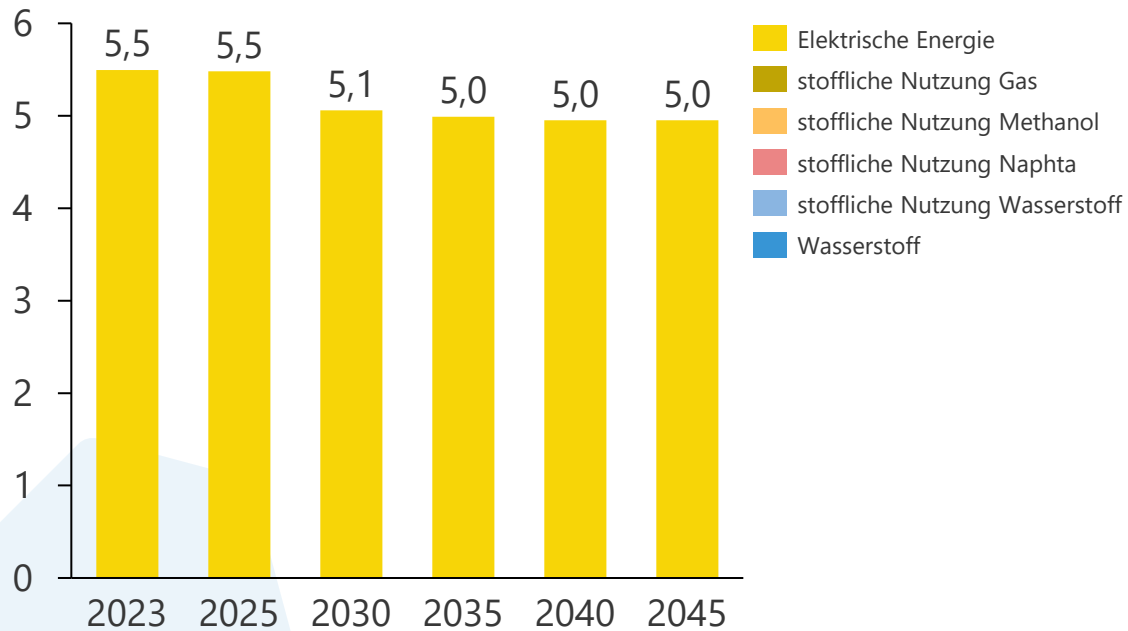
Verfahrensroutenwechsel vom konv. Steamcracker zum Elektrocracker mit Feedstock Pyrolyseöl aus chemischem Recycling startet früher und ist 2030 zu höherem Anteil verfügbar. Da über diese Verfahrensrouten im Zieljahr nur 11 % der Produktionsmenge bereitgestellt wird, ist schnellerer Hochlauf 2030 und 2035 marginal.

# Elektrifizierung & Wasserstoff | Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Chlor- und Soda-Produktion

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Chlor-Produktion

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | alle Szenarien



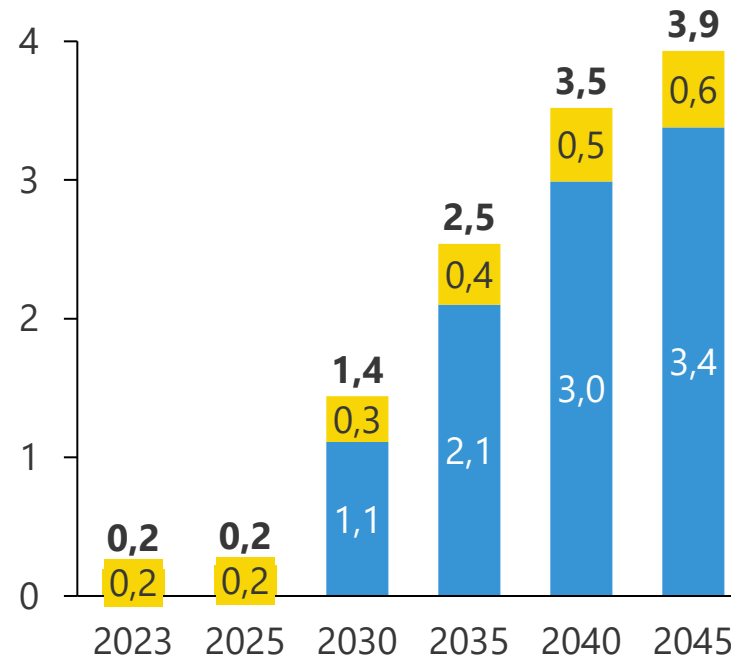
**Kernaspekte:**

Chlorherstellung bereits im Status Quo strombasiert. 2027 endet das Herstellungsverfahren „Sauerstoffverzehrkathode“.

EEV nur von den Produktionsmengen abhängig. PM sind in allen Szenarien identisch.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Soda-Produktion

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | alle Szenarien



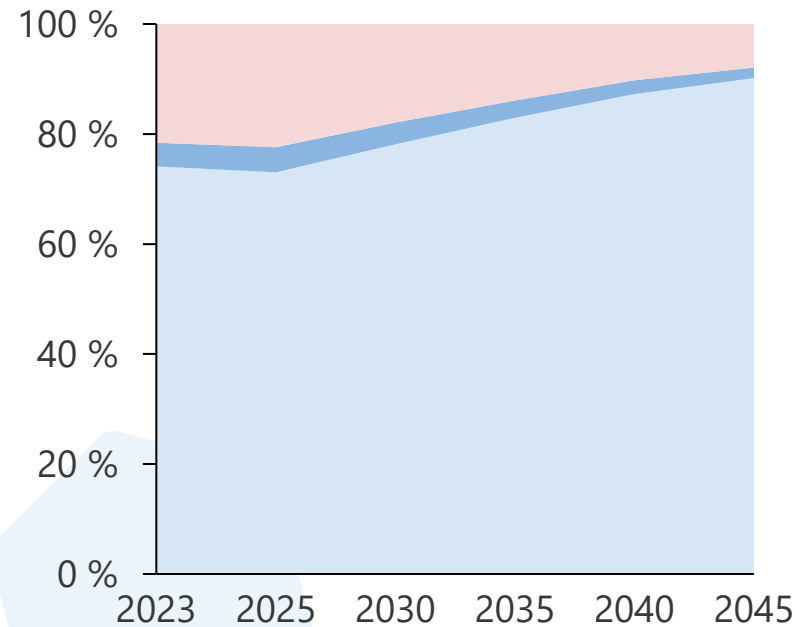
**Kernaspekte:**

Sodaherstellung wird nicht über Verfahrensroutenwechsel, sondern Brennstoffwechsel dekarbonisiert. EEV von den Produktionsmengen abhängig. PM sind in allen Szenarien identisch.

# Elektrifizierungs- & Wasserstoffscenario

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs der Verarbeitung von Steinen und Erden

**Prozessverteilung d. Endenergieverbr. Ver. v. Steinen u. Erden**  
in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



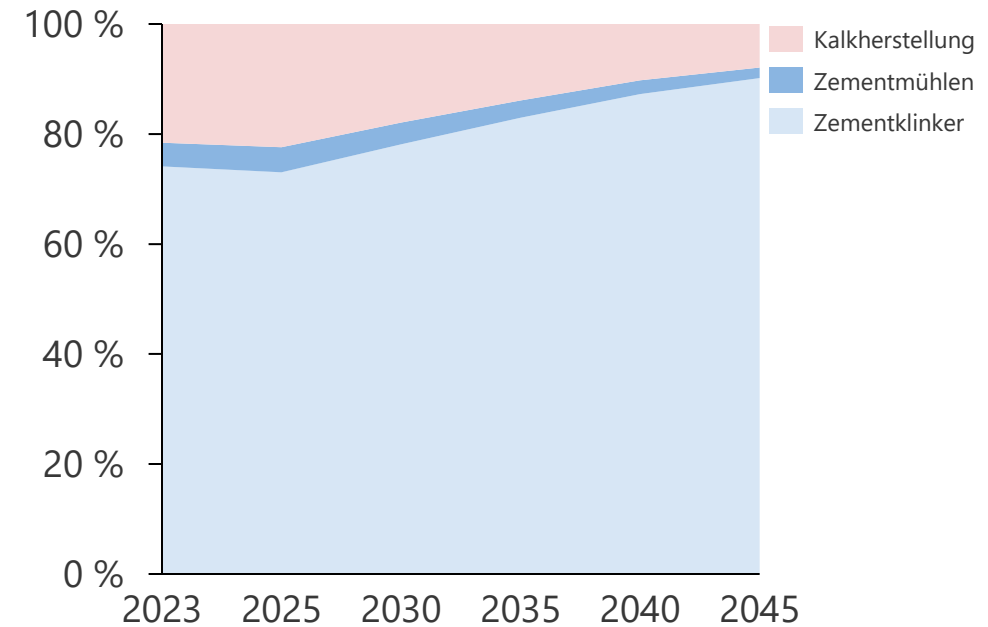
**Kernaspekte:**

Im Jahr 2023 dominiert die Klinker-Herstellung mit 75 %, gefolgt von Kalk 20 % und Zement 5 % den Endenergieverbrauch.

Die Zementmühle ist bereits vollständig elektrifiziert und wird daher nicht transformiert. Dennoch ist im Jahr 2045 ein leichter Rückgang durch die Effizienzsteigerung zu erkennen.

Durch Produktionsmengenentwicklung sinkt der Anteil der Kalkherstellung bis 2045 auf 20 %.

**Prozessverteilung des Endenergieverbr. Ver. V. Steinen u. Erden**  
in % | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



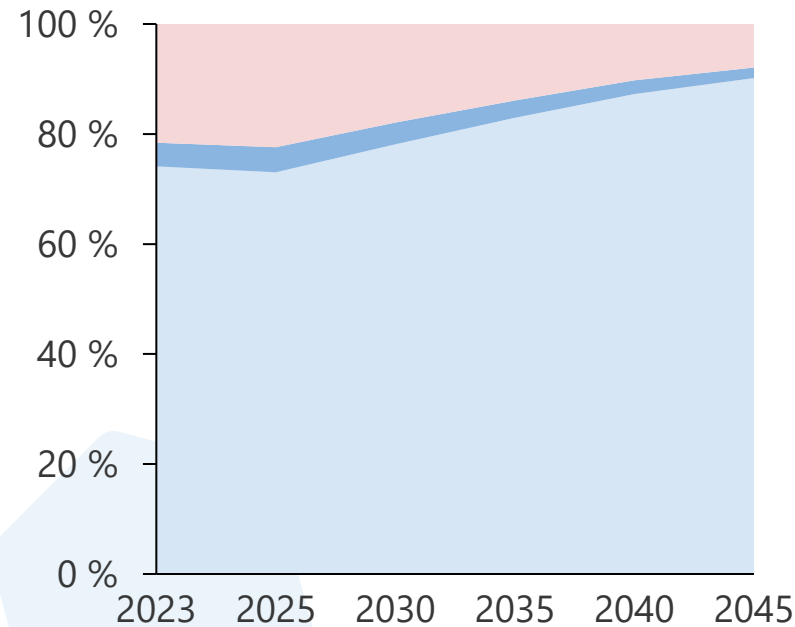
**Kernaspekte:**

Unterschiede im EEV sind erst auf Ebene der Brennstoffwechsel erkennbar.

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs der Verarbeitung von Steinen und Erden

**Prozessverteilung d. Endenergieverbr. Ver. v. Steinen u. Erden**  
in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



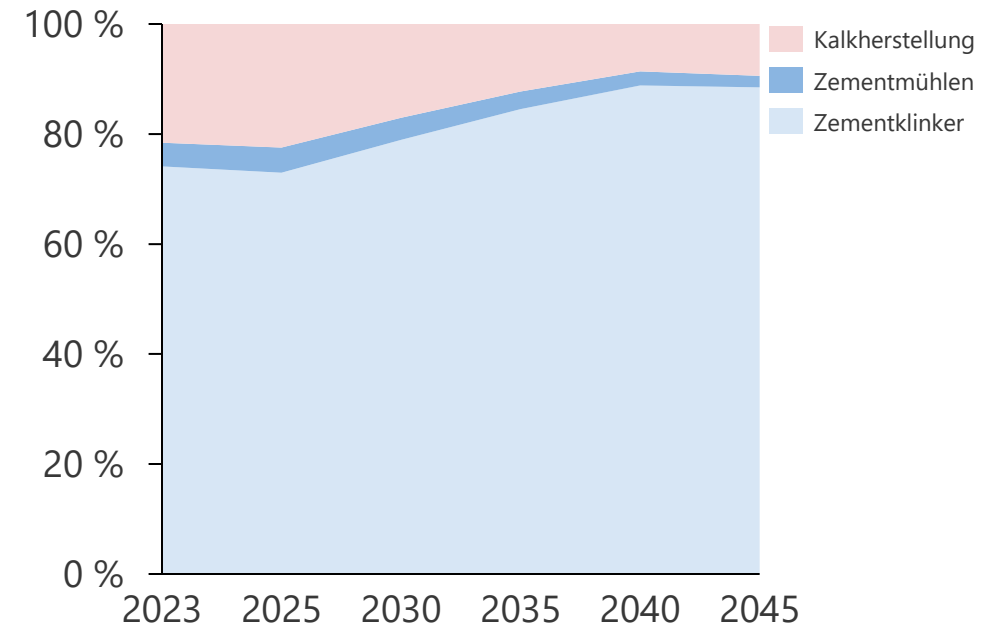
**Kernaspekte:**

Im Jahr 2023 dominiert die Klinker-Herstellung mit 75 %, gefolgt von Kalk 20-% und Zement 5 % den Endenergieverbrauch.

Die Zementmühle ist bereits vollständig elektrifiziert und wird daher nicht transformiert. Dennoch ist im Jahr 2045 ein leichter Rückgang durch die Effizienzsteigerung zu erkennen.

Durch Produktionsmengenentwicklung sinkt der Anteil der Kalkherstellung bis 2045 auf 20 %.

**Prozessverteilung des Endenergieverbr. Ver. V. Steinen u. Erden**  
in % | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

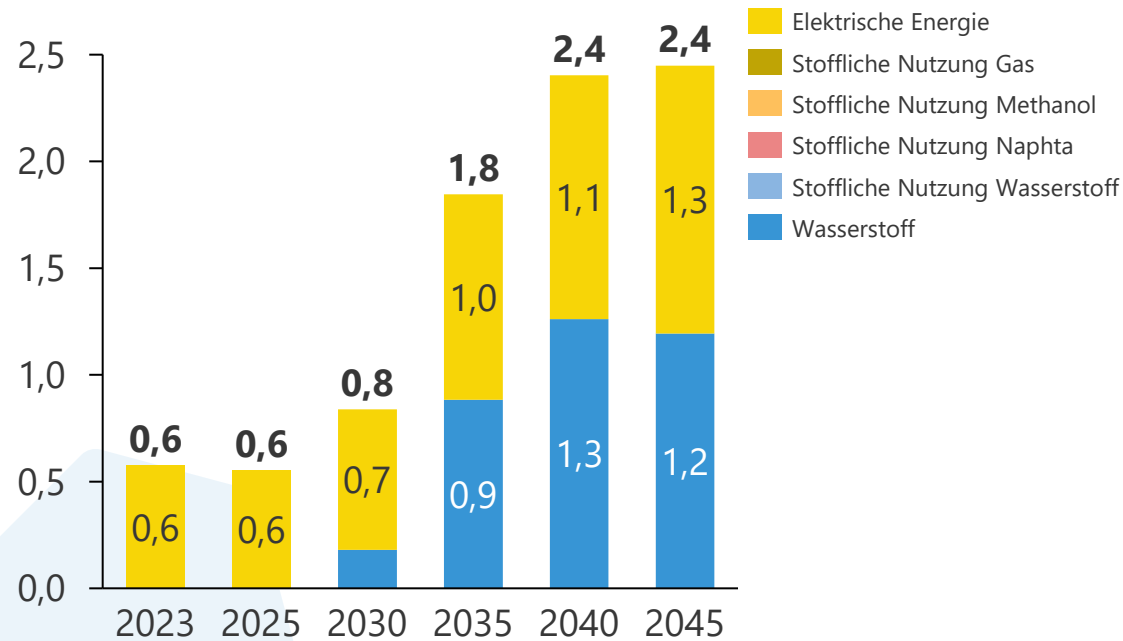
Rückgang der Zement- und Zementklinker-Produktionsmengen durch Effizienz im Vergleich zum Trendszenario.

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Kalkherstellung

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Kalkherstellung

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



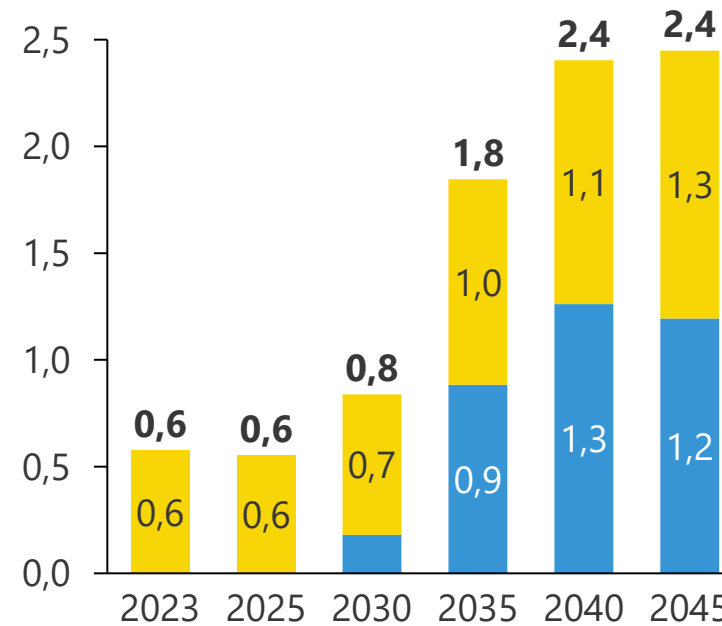
**Kernaspekte:**

Brennstoffwechsel zu Biomasse und Wasserstoff

Stromanstieg wird durch Carbon Capture getrieben.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Kalkherstellung

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

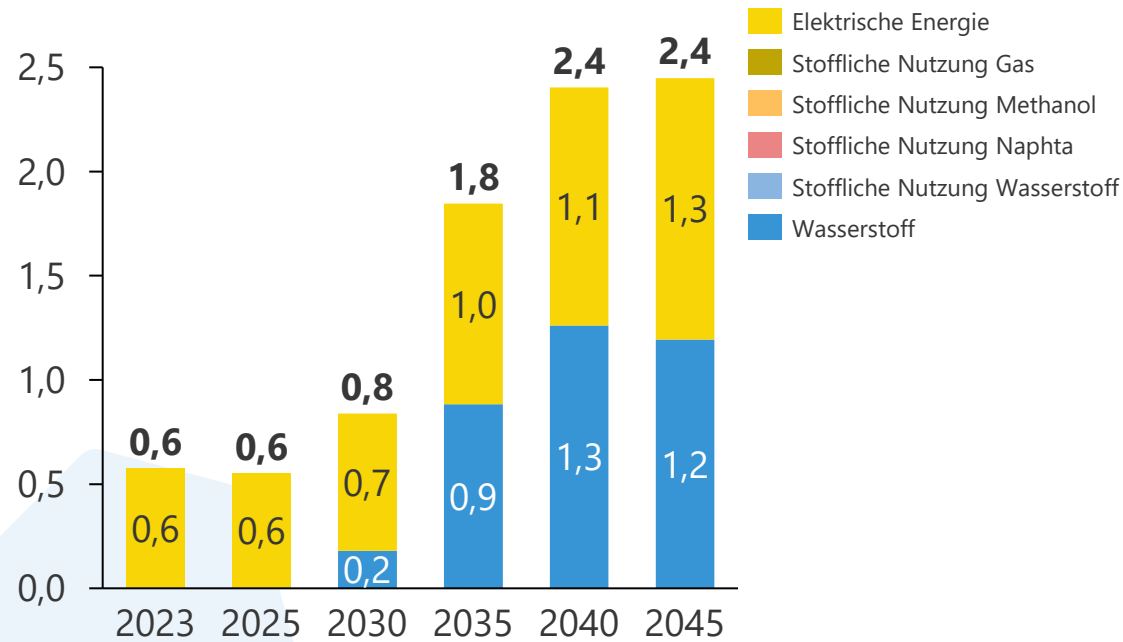
Szenarien sind identisch.

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Kalkherstellung

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Kalkherstellung

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

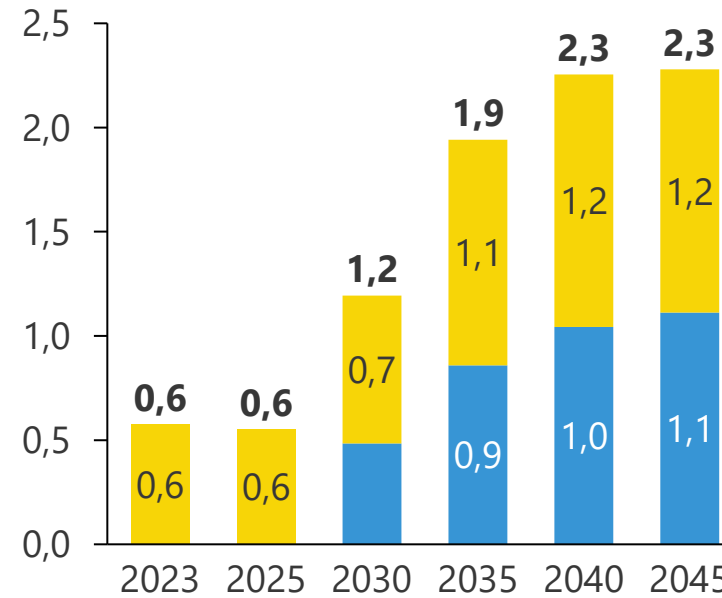


**Kernaspekte:**

Brennstoffwechsel zu Biomasse und Wasserstoff  
 Stromanstieg wird durch Carbon Capture getrieben

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Kalkherstellung

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

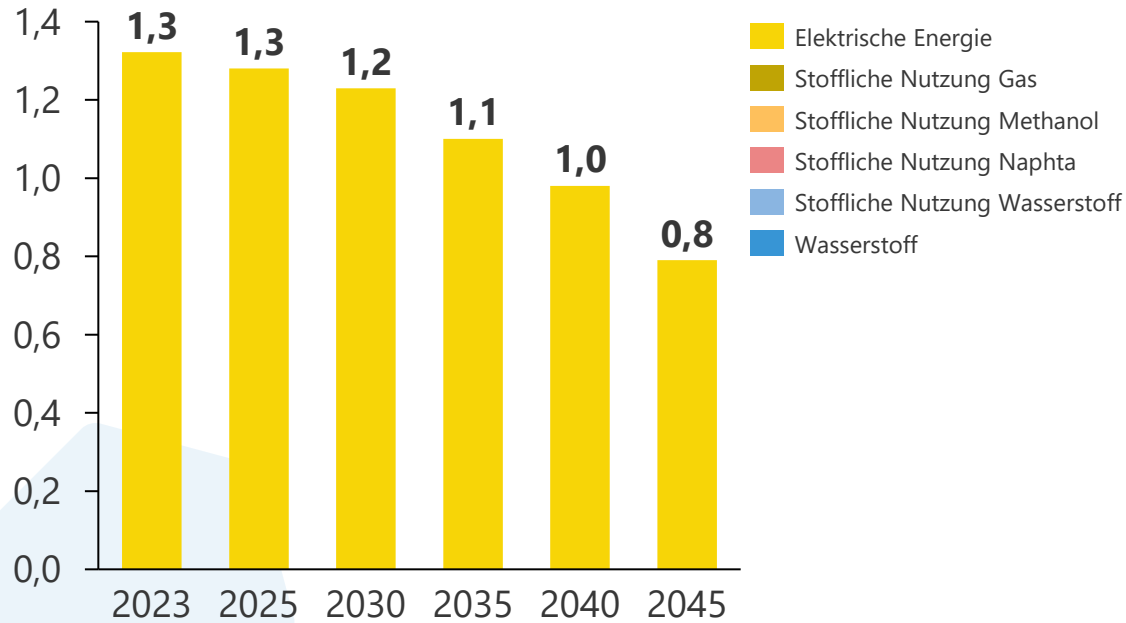
Szenarien unterscheiden sich durch Produktionsmengenentwicklung. Kalk ist an Primärstahl und Baubranche gekoppelt. Rückgang des EEV ähnlich zur Zementbranche.

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Zementmühlen

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Zementmühlen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

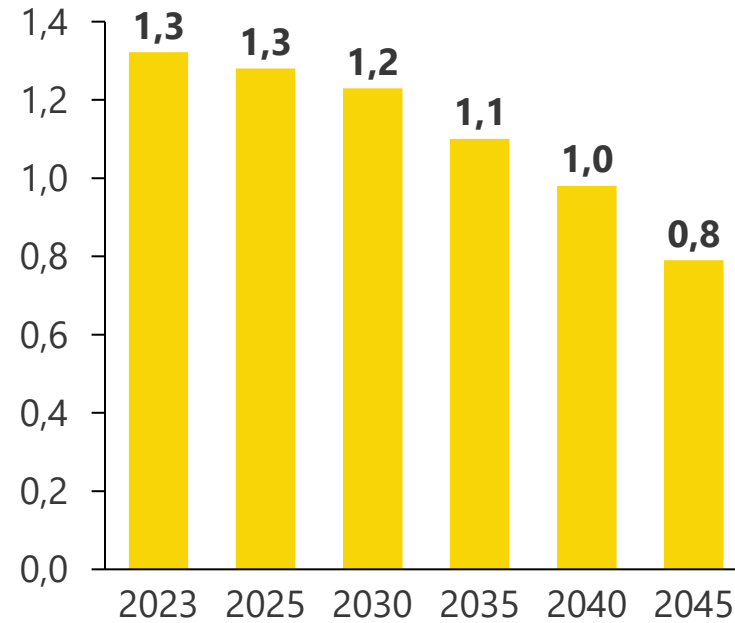


**Kernaspekte:**

Die Zementmühle wird nicht transformiert, da diese bereits strombasiert ist. Der Rückgang entsteht durch Effizienzsteigerungen.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Zementmühlen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

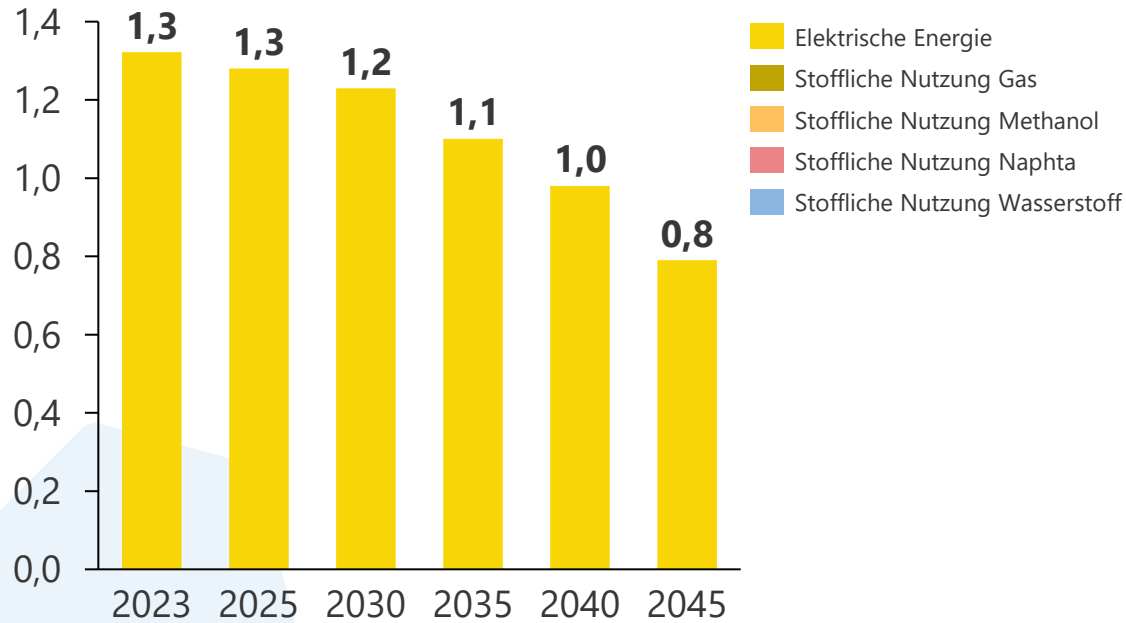
Identische Szenarien.

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Zementmühlen

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Zementmühlen

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

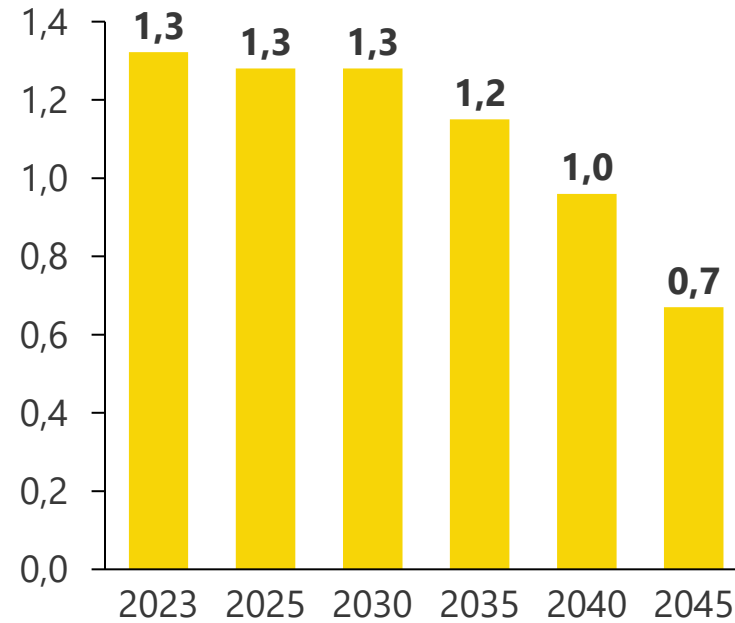


**Kernaspekte:**

Die Zementmühle wird nicht transformiert, da diese bereits strombasiert ist. Der Rückgang entsteht durch Effizienzsteigerungen.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Zementmühlen

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

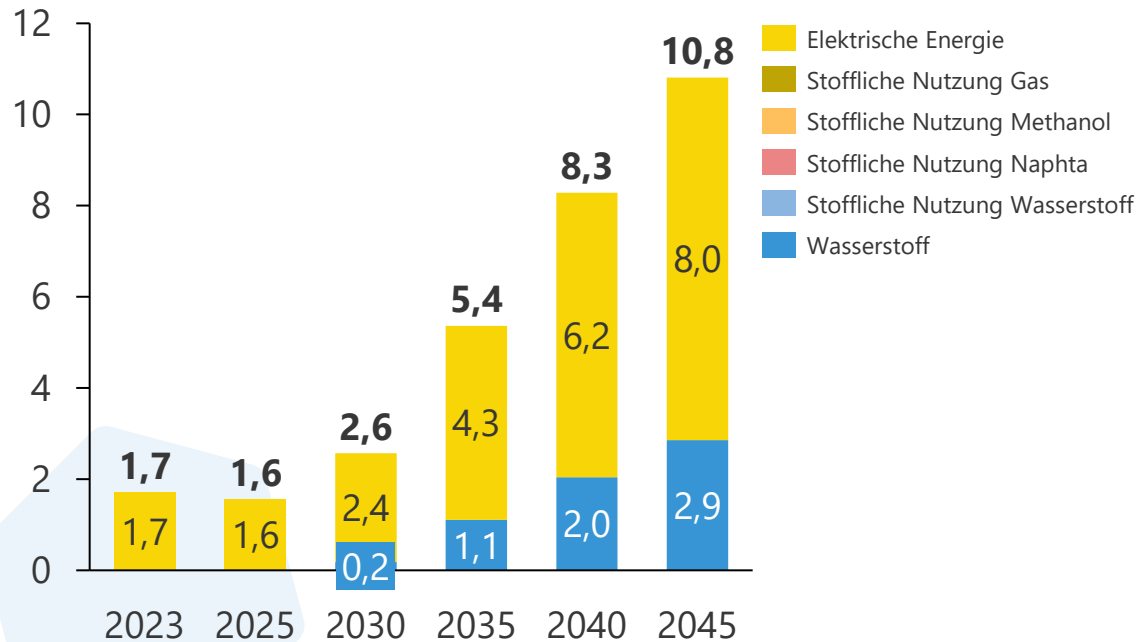
Rückgang der Zement-Produktionsmengen durch Effizienz im Vergleich zum Trendszenario.

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Zementklinker

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Zementklinker

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



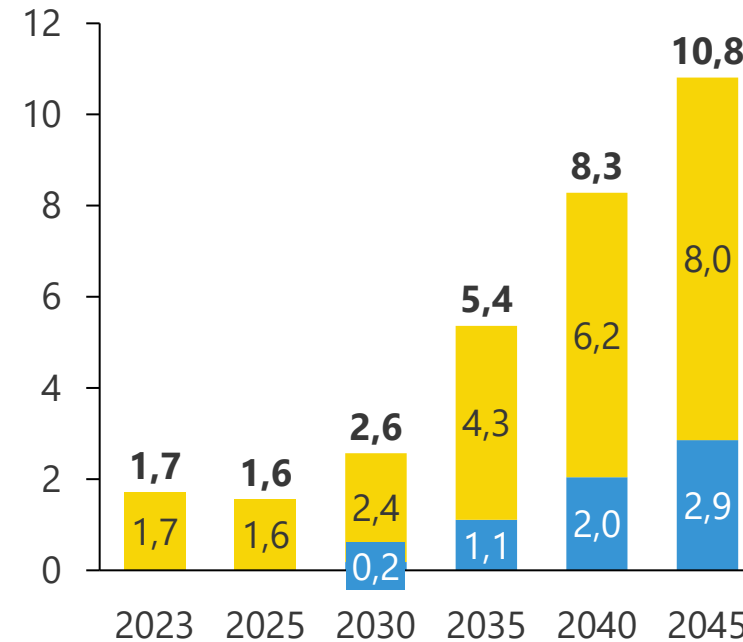
**Kernaspekte:**

Brennstoffwechsel zu Biomasse und Wasserstoff und Abfall

Stromanstieg wird durch Carbon Capture getrieben.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Zementklinker

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

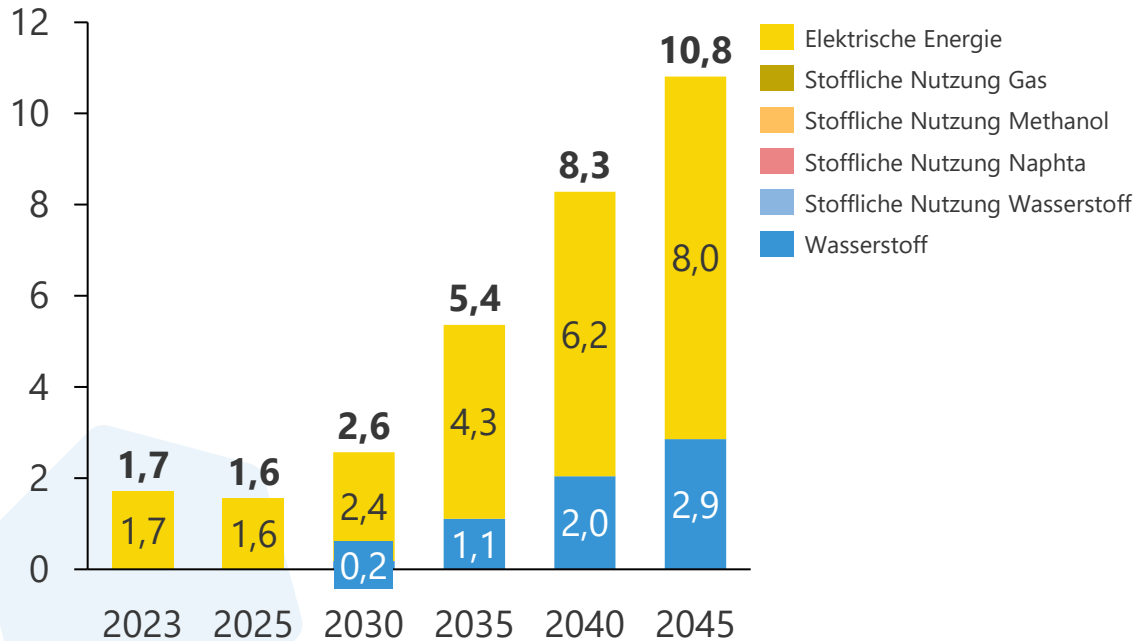
Szenarien sind identisch.

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Zementklinker

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Zementklinker

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



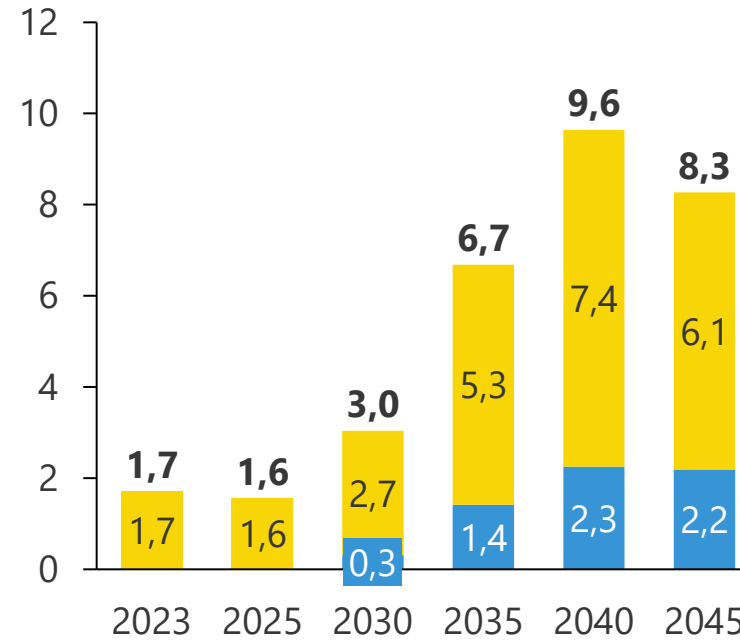
**Kernaspekte:**

Brennstoffwechsel zu Biomasse und Wasserstoff und Abfall

Stromanstieg wird durch Carbon Capture getrieben.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Zementklinker

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

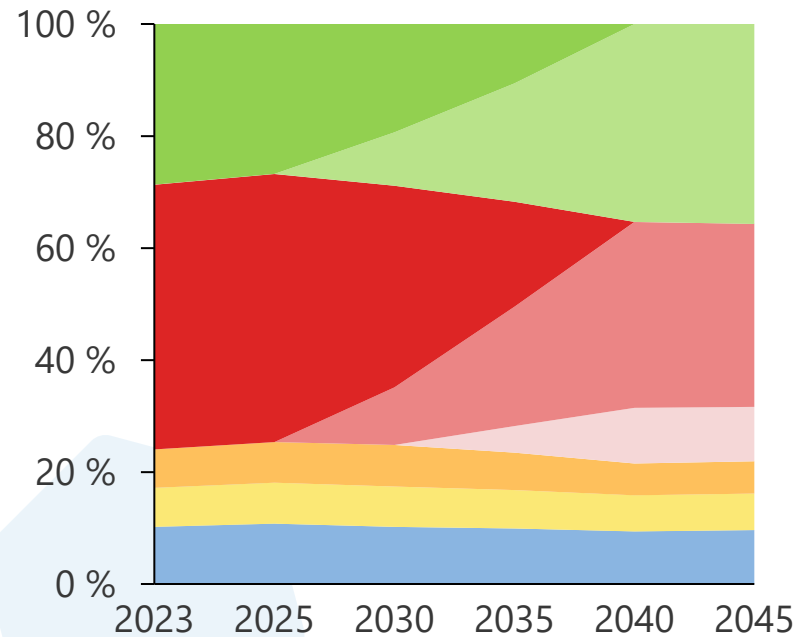
Rückgang der Zementklinker-Produktionsmengen durch Effizienz im Vergleich zum Trendszenario.

# Elektrifizierungs- & WasserstoffszENARIO

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs des Glas- und Keramik-Wirtschaftszweiges

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Glas & Keramik

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

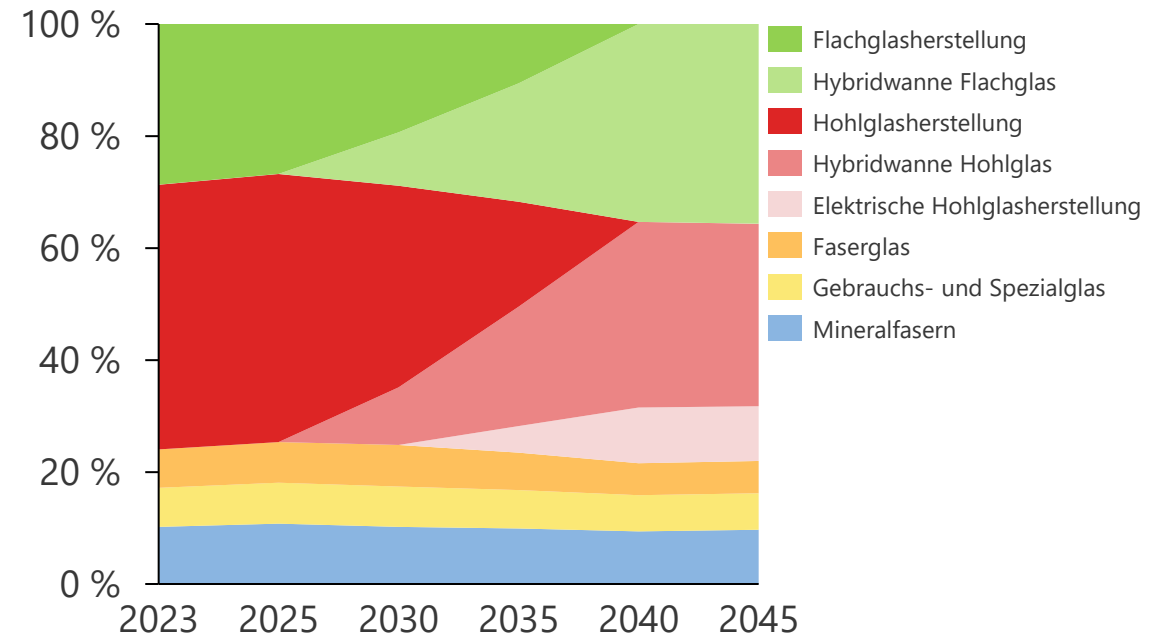


#### Kernaspekte:

Entwicklungen der Anteile von Hohl- und Flachglas an den EEV hauptsächlich durch Produktionsmengenentwicklungen bestimmt.

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Glas & Keramik

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



#### Kernaspekte:

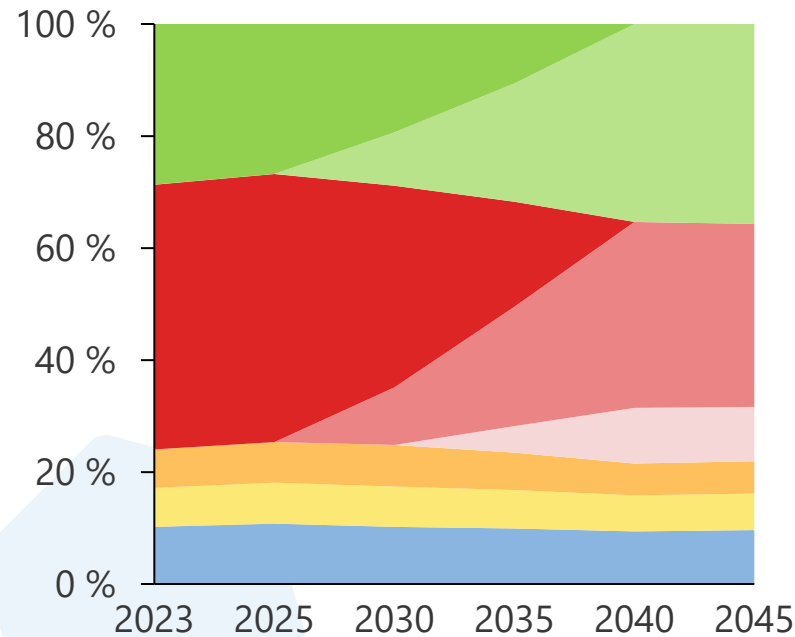
Im WasserstoffszENARIO haben die Hybridwannen von Hohl- und Flachglas einen höheren spez. Wasserstoffverbrauch und einen niedrigeren spez. Stromverbrauch (40:60 statt 20:80 im Elektrifizierungsszenario). Das ändert nichts an den Anteilen der EEV.

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs des Glas- und Keramik-Wirtschaftszweiges

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Glas & Keramik

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

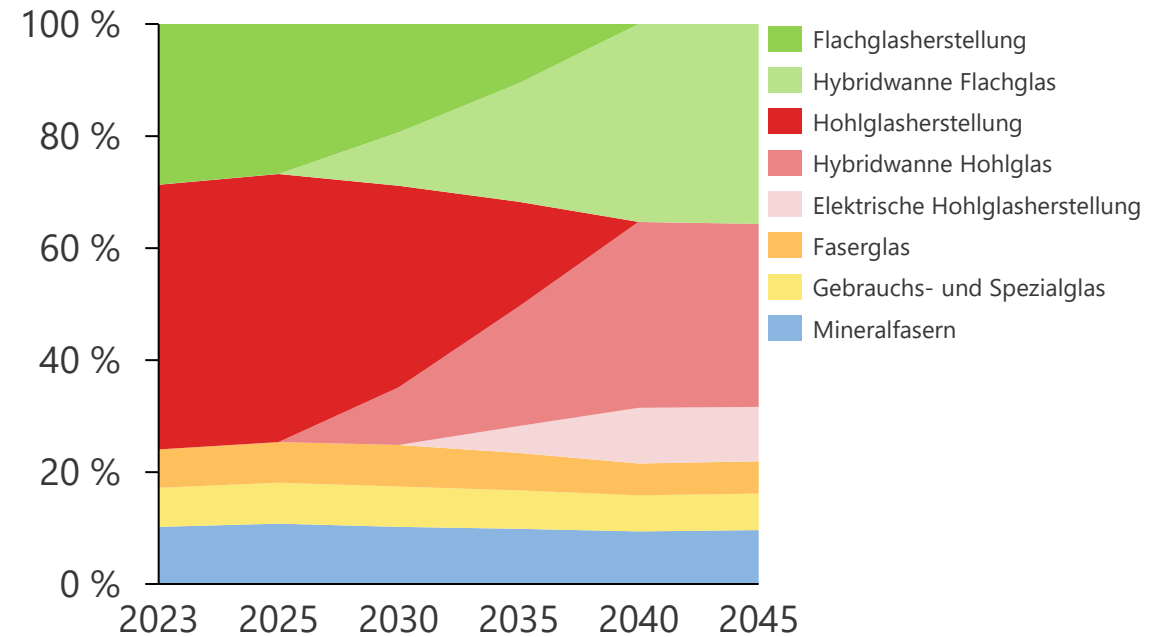


**Kernaspekte:**

Entwicklungen der Anteile von Hohl- und Flachglas an den EEV hauptsächlich durch Produktionsmengenentwicklungen bestimmt.

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Glas & Keramik

in % | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

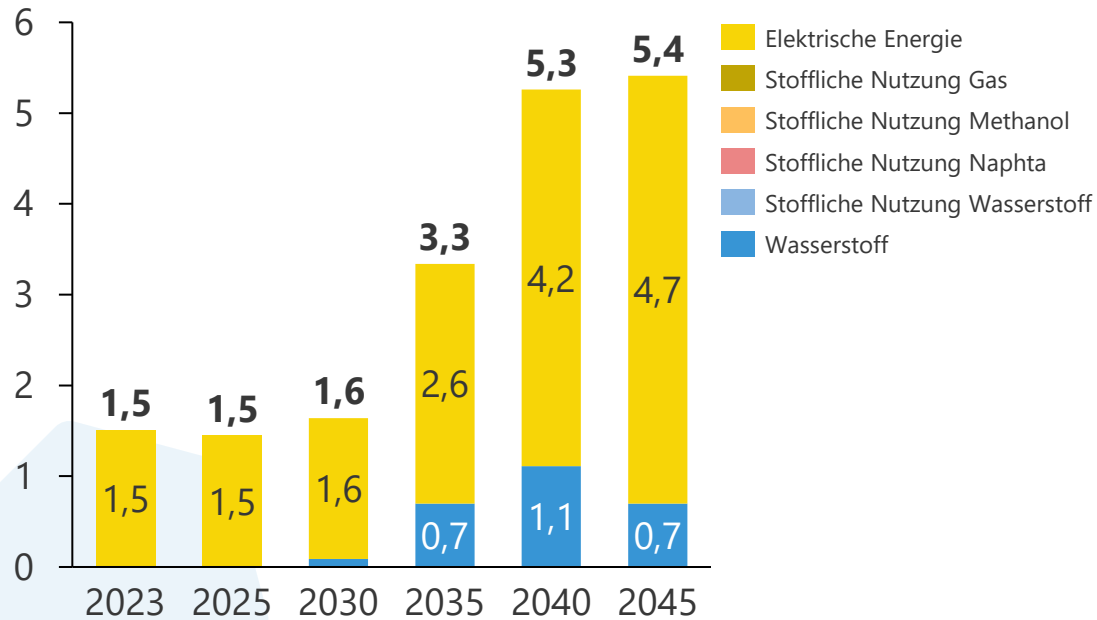
Im Zielszenario werden die Hybridwannen früher mit Wasserstoff betrieben. Das ändert nichts an den Anteilen der EEV.

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Hohlglasproduktion

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Hohlglas

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



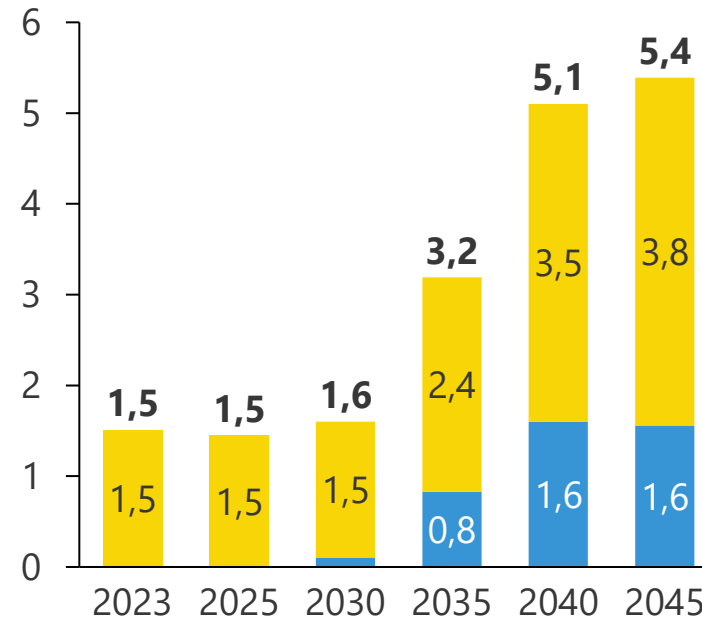
#### Kernaspekte:

Größter Treiber für die Stromzunahme sind die Hybridwannen (80 % des spez. Energiebedarfs strombasiert im Zieljahr). Elektrische Hohlglasherstellung trägt weniger zur Stromzunahme bei, da geringer Anteil an der Produktionsmenge.

Verfahrensroutenwechsel bis 2040 abgeschlossen. EEV 2045 beeinflusst durch Effizienz, PM-Rückgang und Steigerung des Stromanteils im spez. Energiebedarf.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Hohlglas

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



#### Kernaspekte:

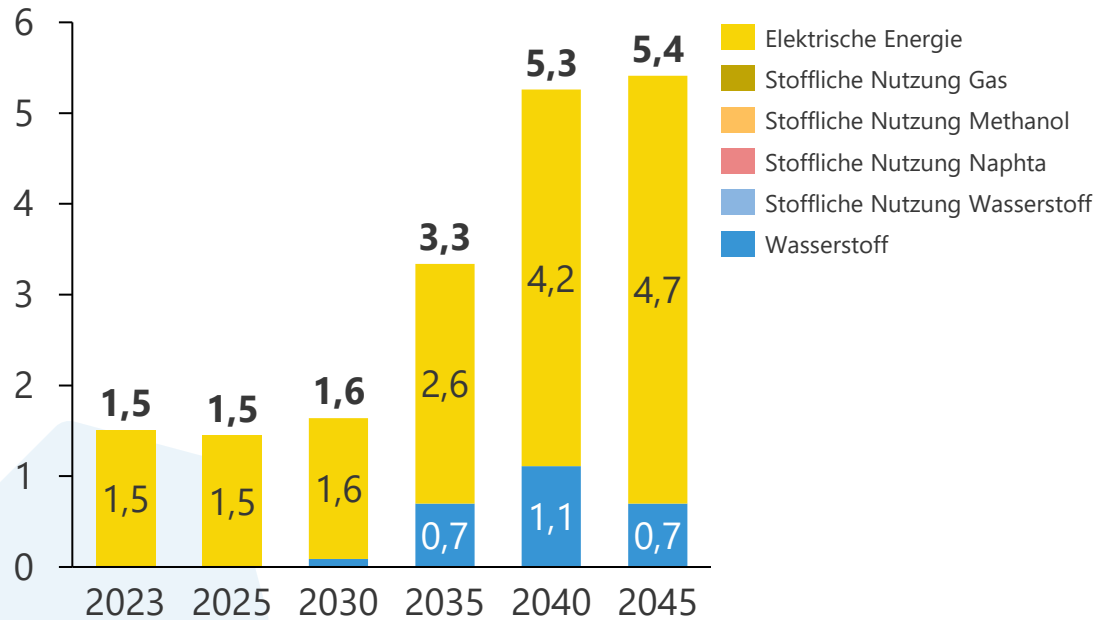
Im Wasserstoffszenario haben die Hybridwannen einen höheren spez. Wasserstoffverbrauch und einen niedrigeren spez. Stromverbrauch (40:60 statt 20:80 im Elektrifizierungsszenario).

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Hohlglasproduktion

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Hohlglas

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



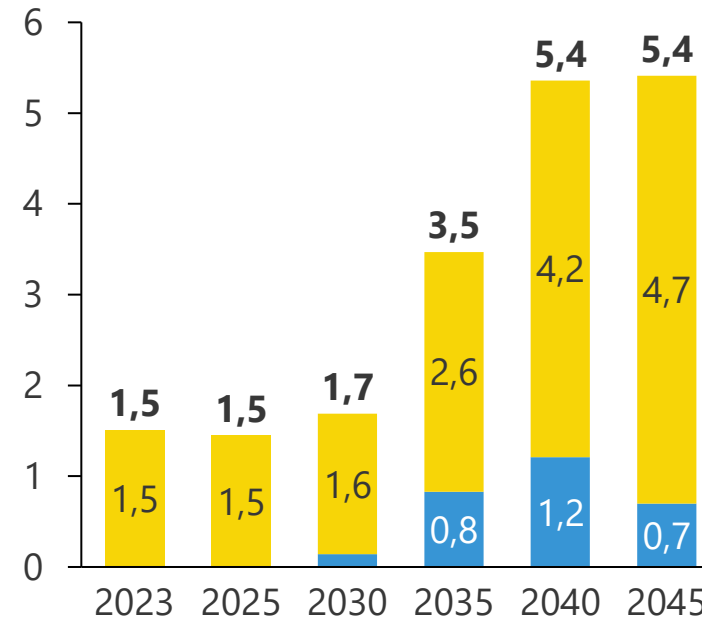
#### Kernaspekte:

Größter Treiber für die Stromzunahme sind die Hybridwannen (80 % des spez. Energiebedarfs strombasiert im Zieljahr). Elektrische Hohlglasherstellung trägt weniger zur Stromzunahme bei, da geringer Anteil an der Produktionsmenge.

Verfahrensroutenwechsel bis 2040 abgeschlossen. EEV 2045 beeinflusst durch Effizienz, PM-Rückgang und Steigerung des Stromanteils im spez. Energiebedarf.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Hohlglas

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



#### Kernaspekte:

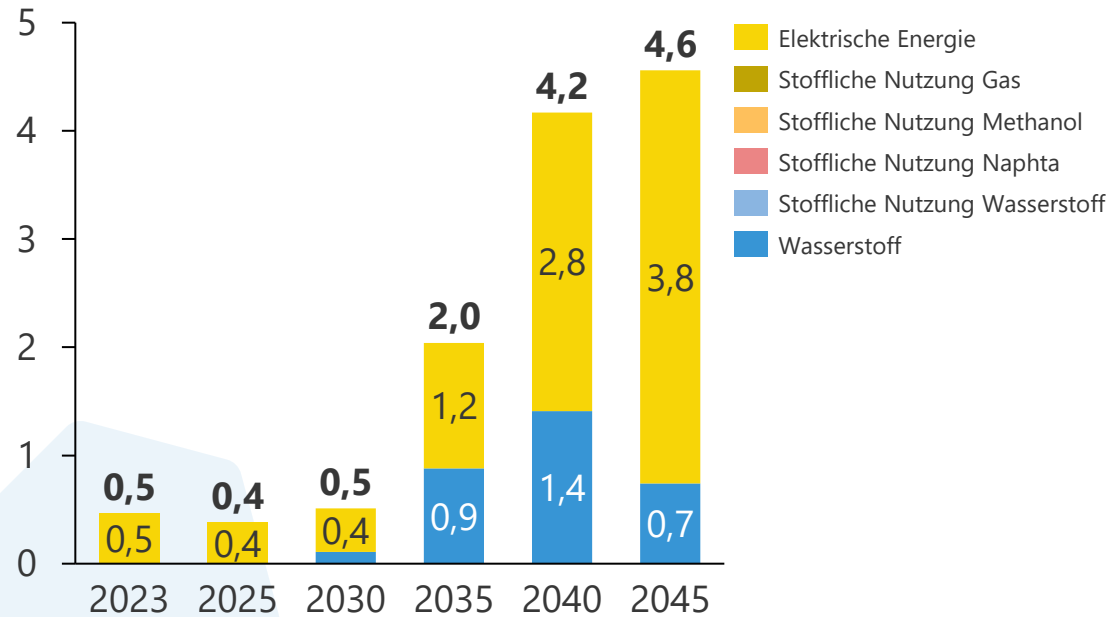
Im Zielszenario werden die Hybridwannen früher mit Wasserstoff statt Erdgas betrieben.

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Flachglasproduktion

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Flachglas

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



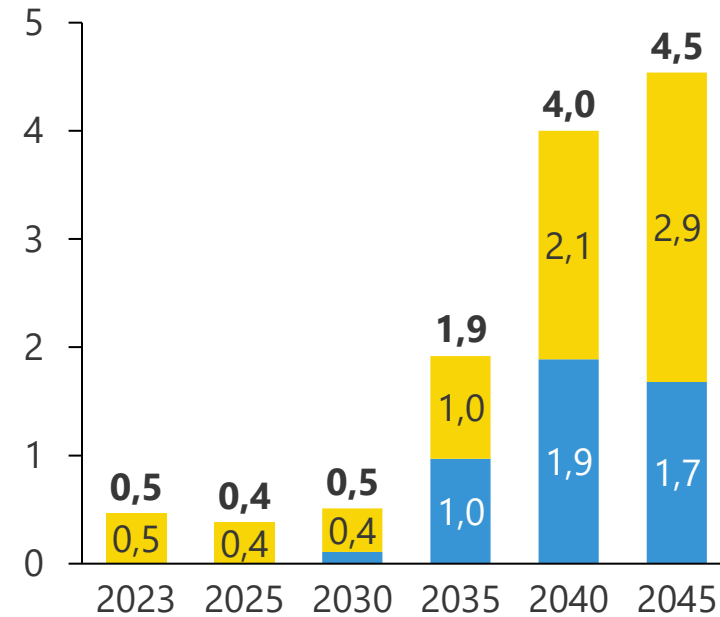
**Kernaspekte:**

Treiber für die Stromzunahme sind die Hybridwannen (80 % des spez. Energiebedarfs strombasiert im Zieljahr).

Verfahrensroutenwechsel bis 2040 abgeschlossen. EEV 2045 beeinflusst durch Effizienz und Steigerung des Stromanteils im spez. Energiebedarf.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Flachglas

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

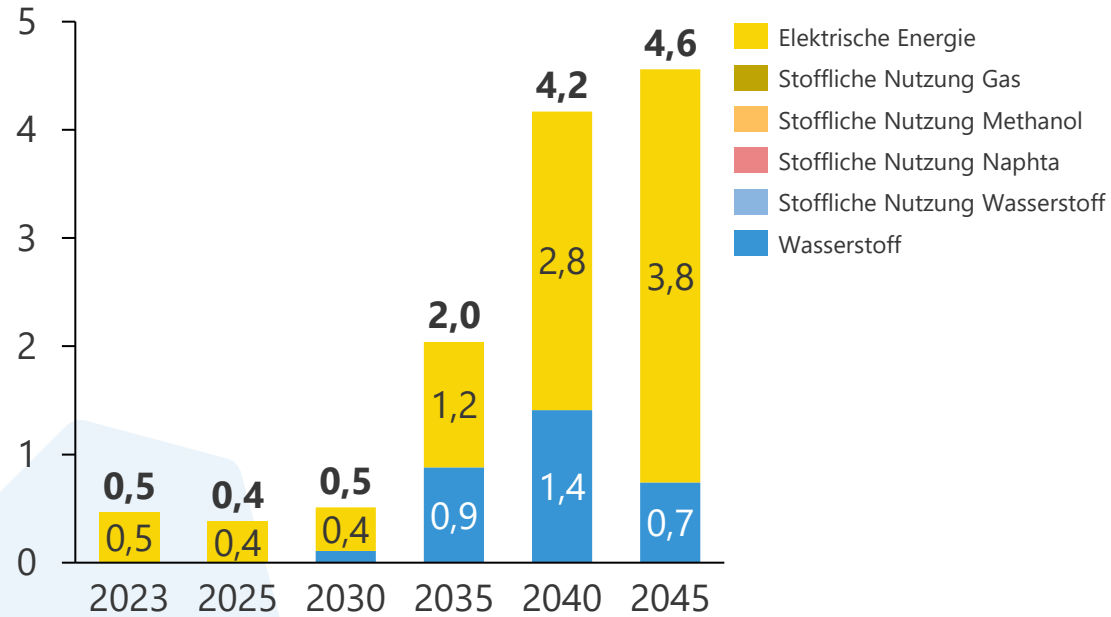
Im Wasserstoffszenario haben die Hybridwannen einen höheren spez. Wasserstoffverbrauch und einen niedrigeren spez. Stromverbrauch (40:60 statt 20:80 im Elektrifizierungsszenario).

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Flachglasproduktion

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Flachglas

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



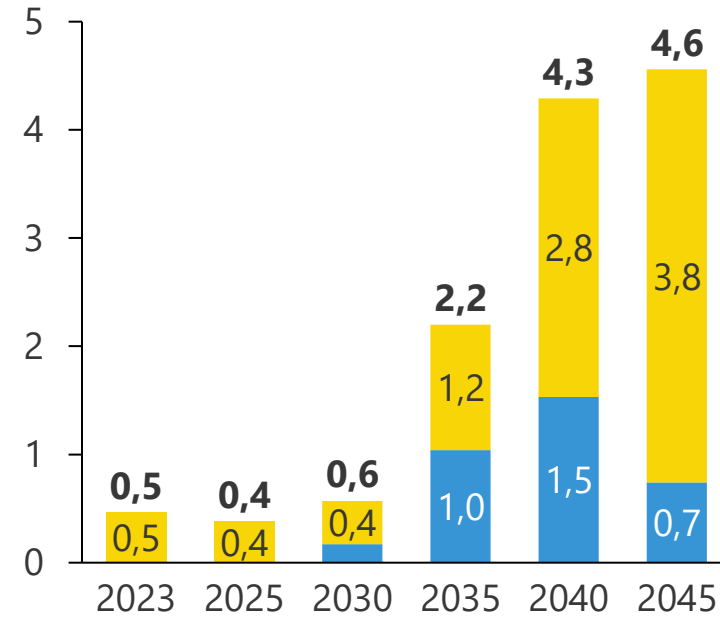
#### Kernaspekte:

Treiber für die Stromzunahme sind die Hybridwannen (80 % des spez. Energiebedarfs strombasiert im Zieljahr).

Verfahrensroutenwechsel bis 2040 abgeschlossen. EEV 2045 beeinflusst durch Effizienz und Steigerung des Stromanteils im spez. Energiebedarf.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Flachglas

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



#### Kernaspekte:

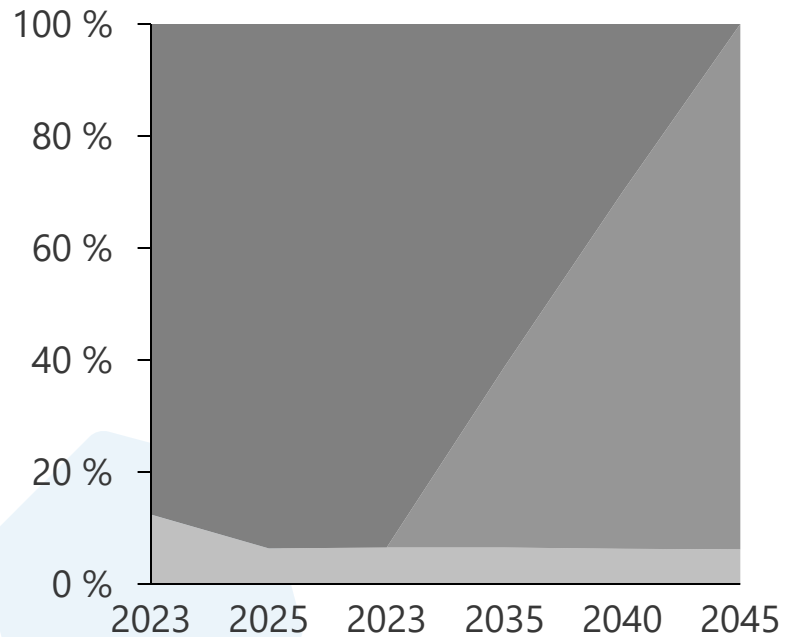
Im Zielszenario werden die Hybridwannen früher mit Wasserstoff statt Erdgas betrieben.

# Elektrifizierungs- & Wasserstoffszenario

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs der NE-Metalle

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs NE-Metalle

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

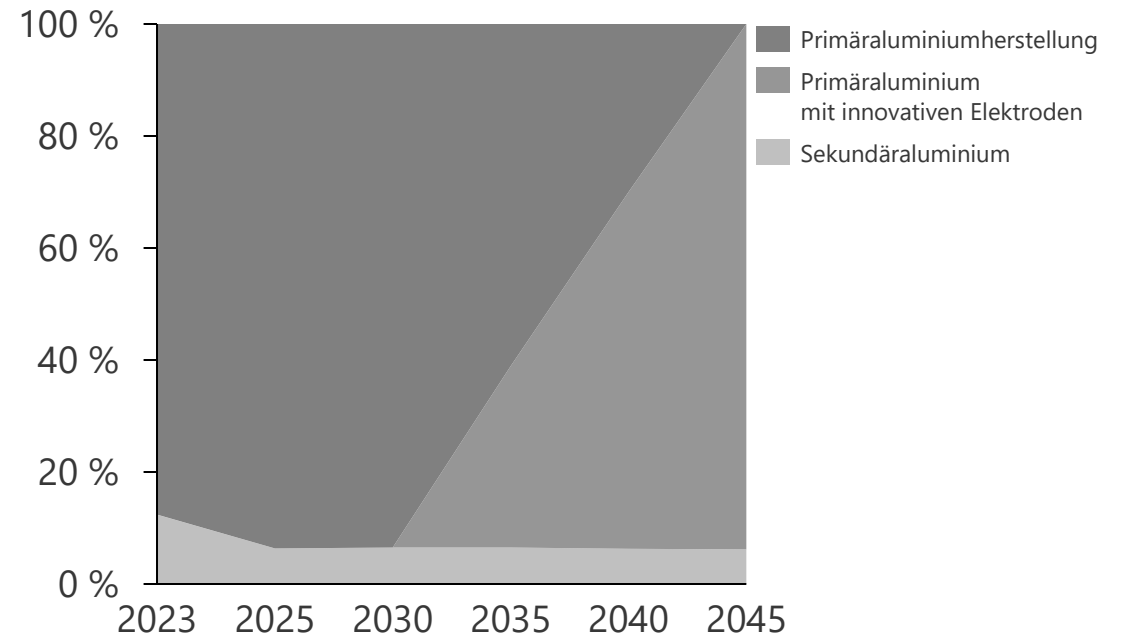


**Kernaspekte:**

Einsatz der innovativen Elektroden ab technologischer Reife.  
 Primäraluminiumherstellung deutlich energieintensiver als Recyclingroute.

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs NE-Metalle

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

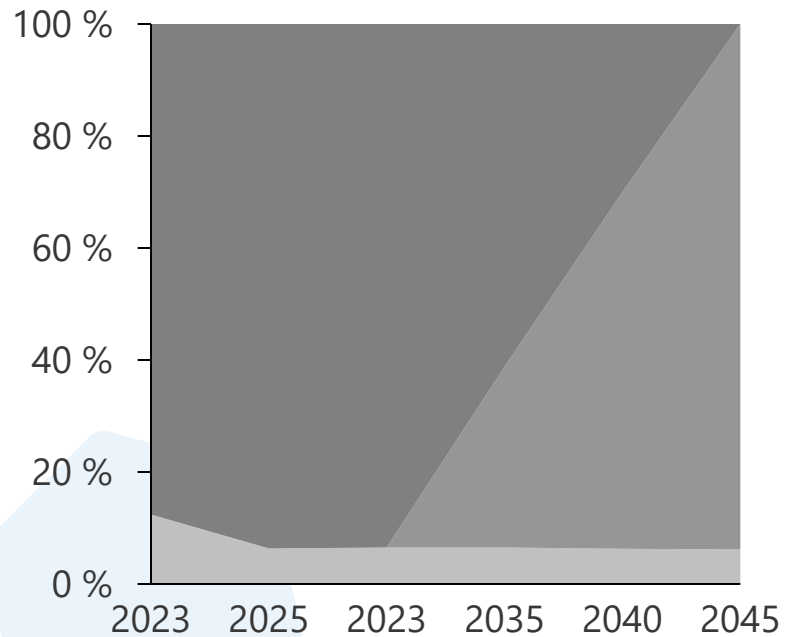
Szenarien identisch

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs der NE-Metalle

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs NE-Metalle

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

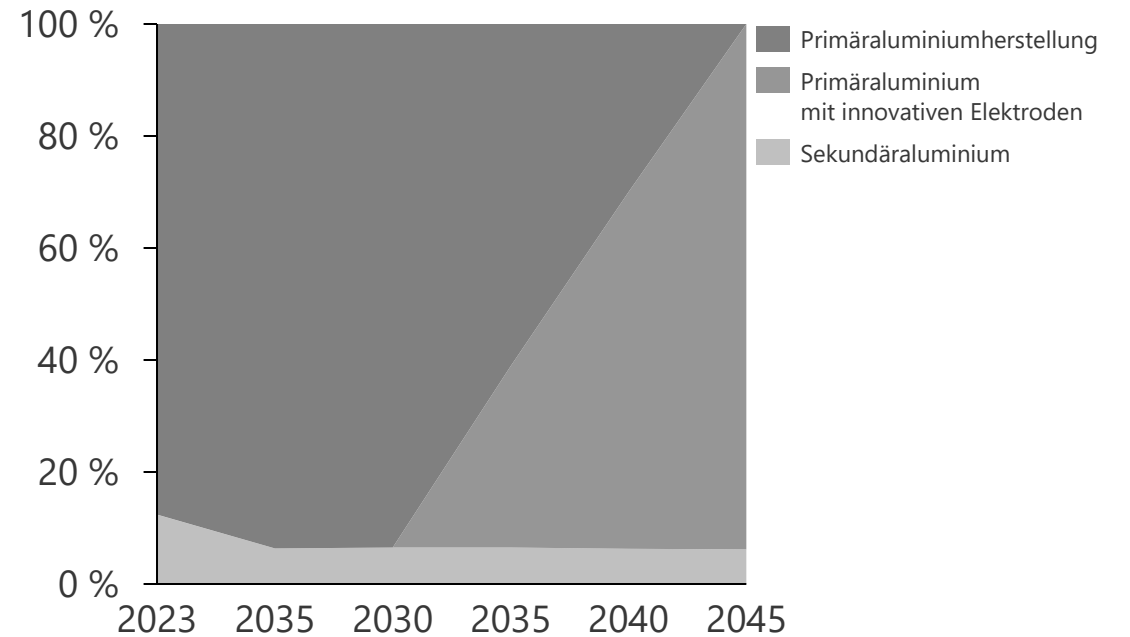


**Kernaspekte:**

Einsatz der innovativen Elektroden ab technologischer Reife.  
 Primäraluminiumherstellung deutlich energieintensiver als Recyclingroute.

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs NE-Metalle

in % | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

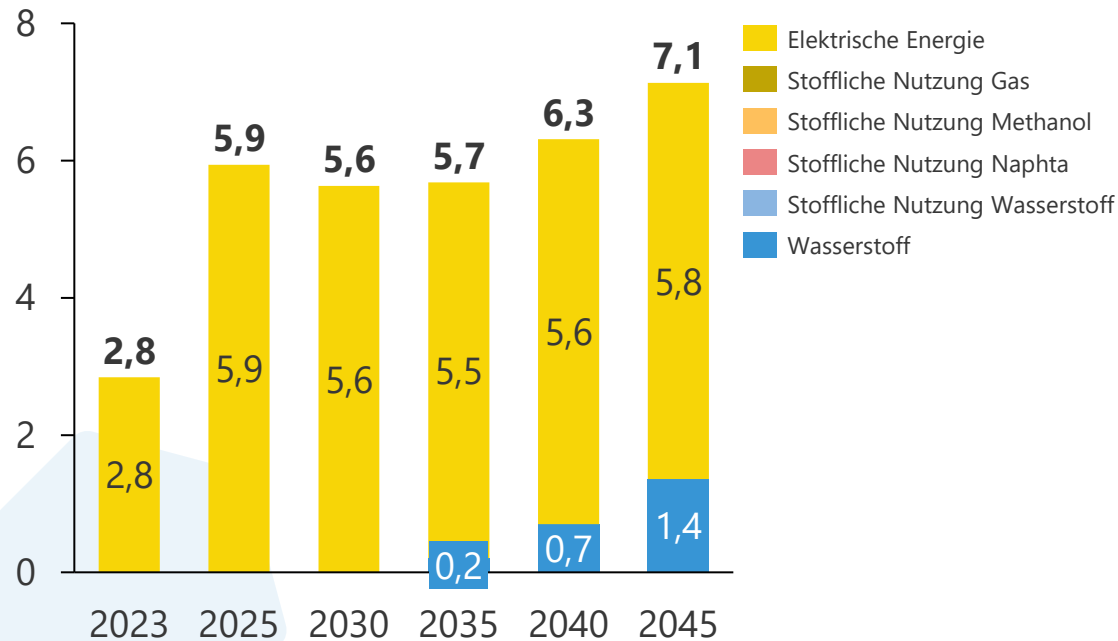
Szenarien identisch.

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Primäraluminiumherstellung

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Primäraluminium

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

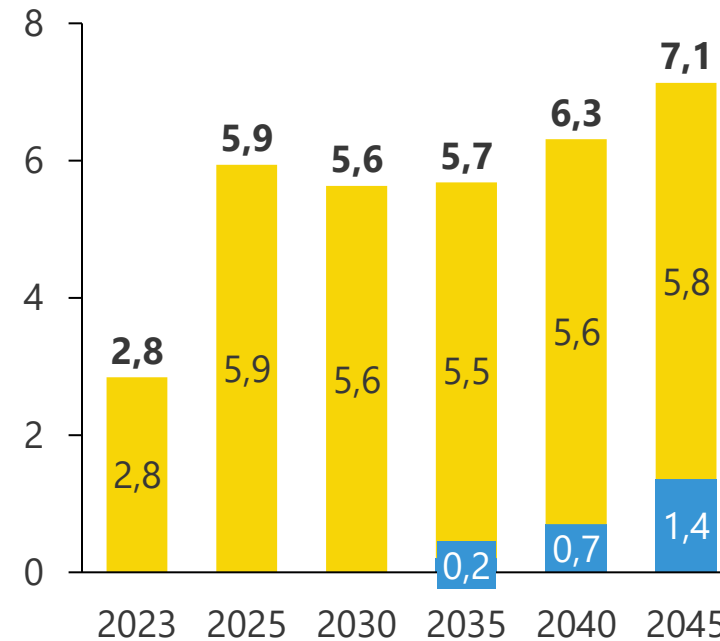
2023 → 2025: Erholung der Produktionsmenge

2025 → 2030: Effizienz

2031: Start Verfahrensroutenwechsel und Deckung des Brennstoffbedarfs über Wasserstoff

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Primäraluminium

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

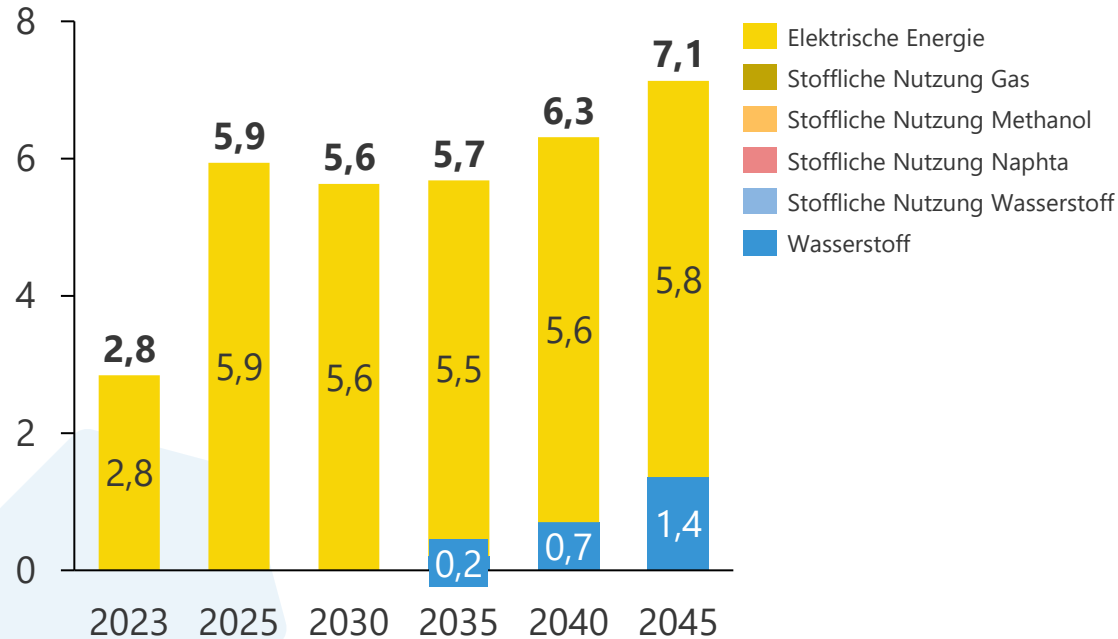
Szenarien identisch

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Primäraluminiumherstellung

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Primäraluminium

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

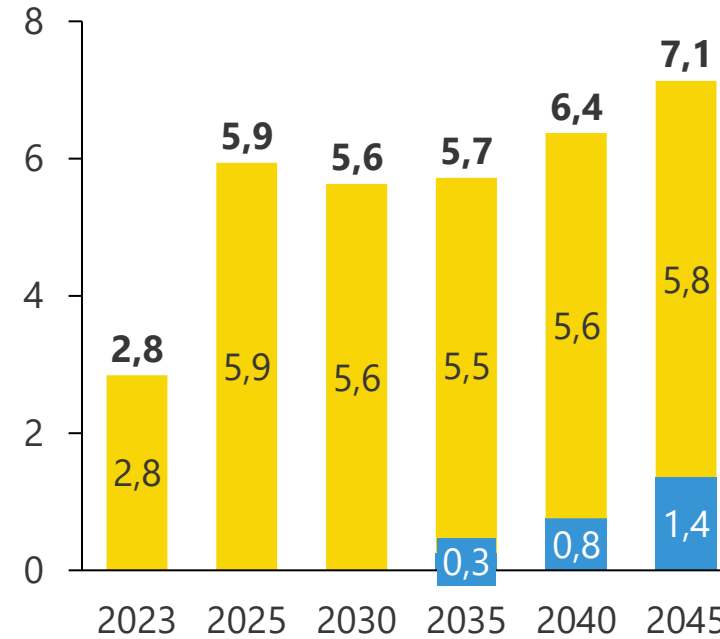
2023 → 2025: Erholung der Produktionsmenge

2025 → 2030: Effizienz

2031: Start Verfahrensroutenwechsel und Deckung des Brennstoffbedarfs über Wasserstoff

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Primäraluminium

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

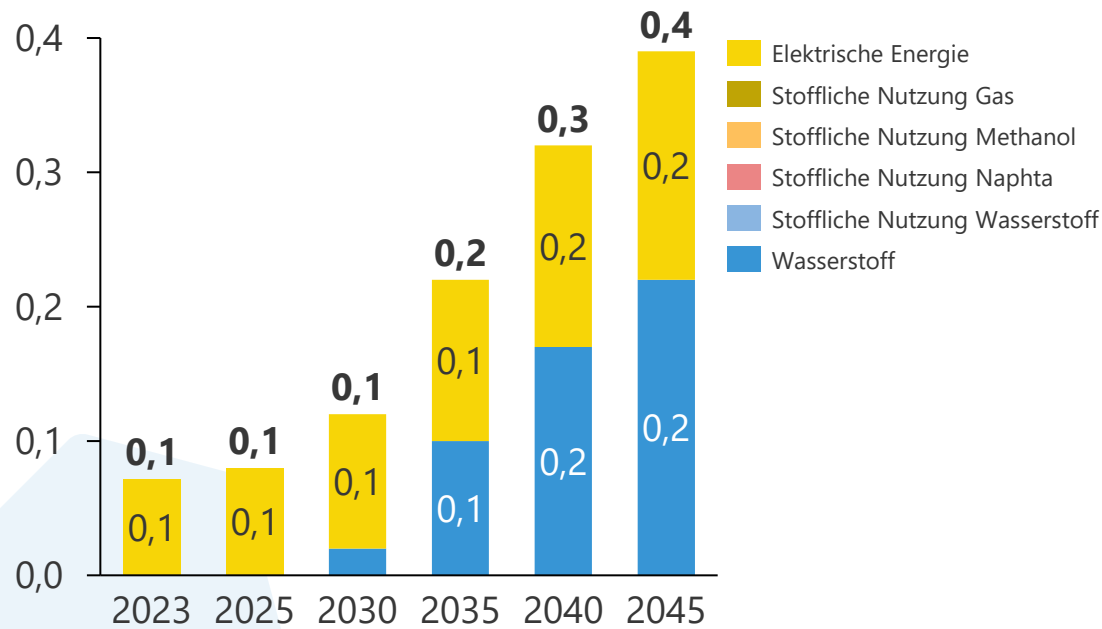
Szenarien identisch

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Sekundäraluminiumherstellung

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Sekundäraluminium

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



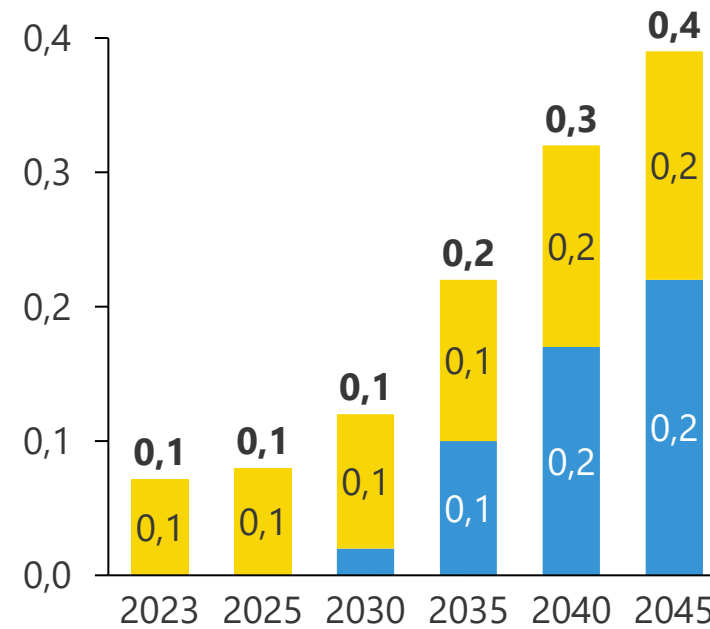
**Kernaspekte:**

Zusätzlicher EEV entsteht durch Substitution Erdgas durch Strom, Biomasse und Wasserstoff.

Diese Art von Brennstoffwechsel einzige Dekarbonisierungsoption aufgrund hoher Temperaturen

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Sekundäraluminium

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

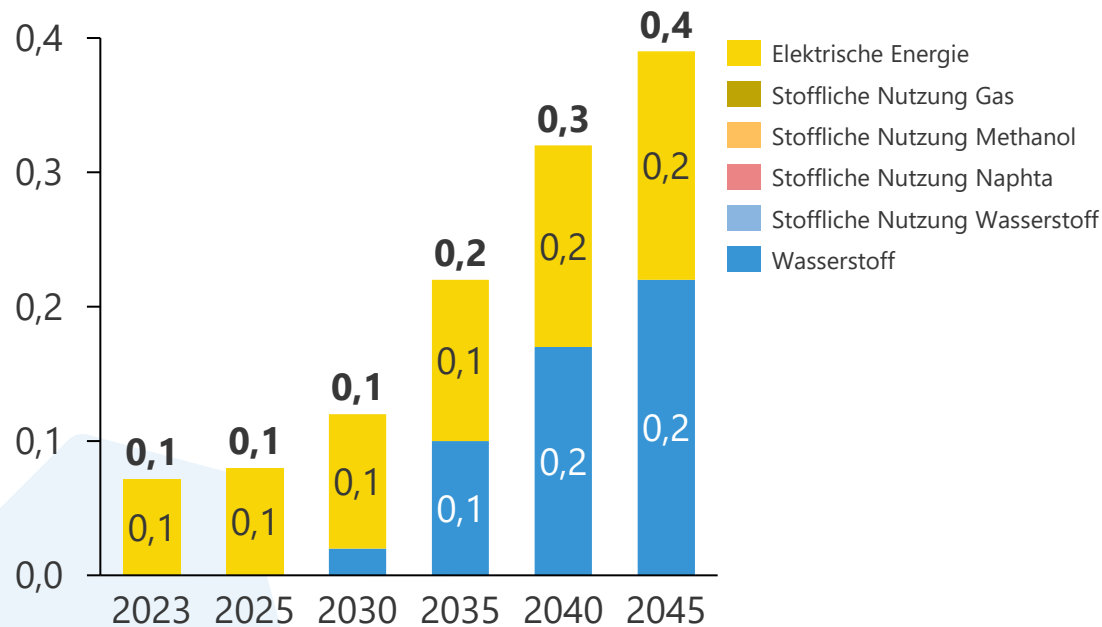
Szenarien identisch

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Sekundäraluminiumherstellung

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Sekundäraluminium

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



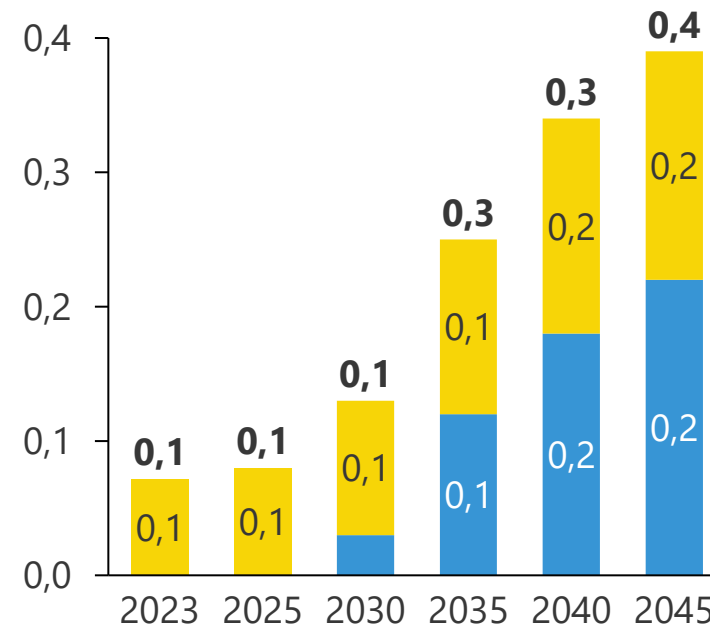
**Kernaspekte:**

Zusätzlicher EEV entsteht durch Substitution Erdgas durch Strom, Biomasse und Wasserstoff

Diese Art von Brennstoffwechsel einzige Dekarbonisierungsoption aufgrund hoher Temperaturen

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Sekundäraluminium

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

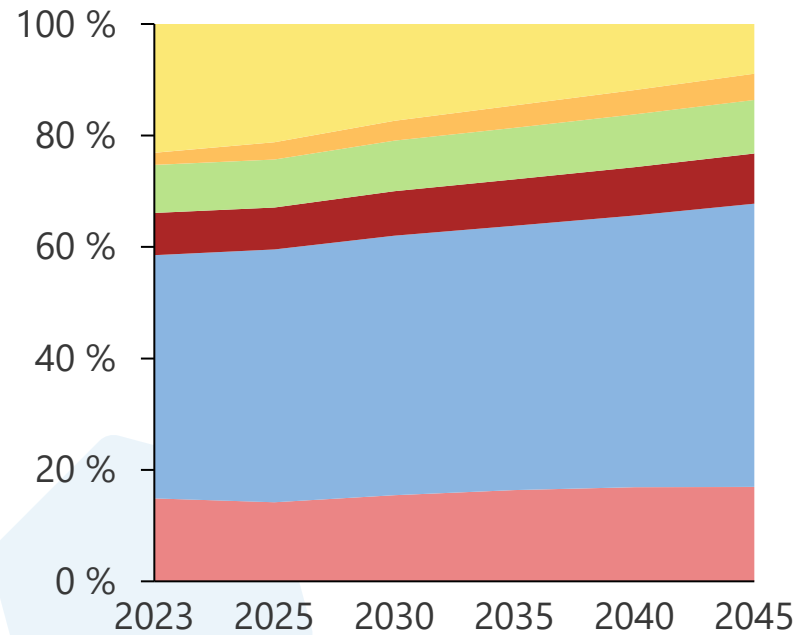
Szenarien identisch

# Elektrifizierungs- & Wasserstoffscenario

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs des Papiergewerbes

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Papiergewerbe

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

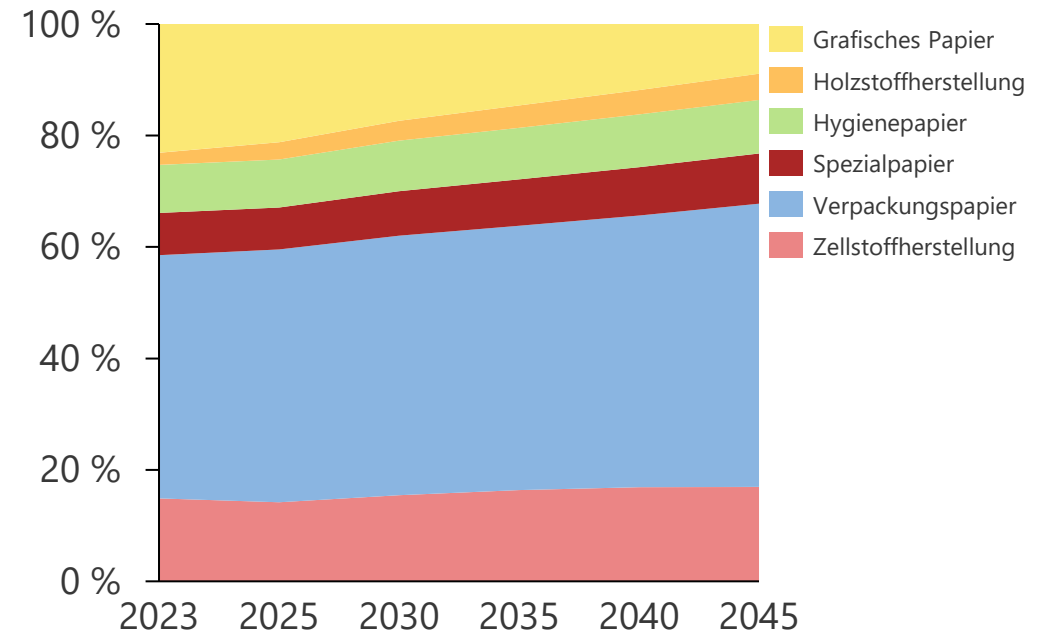


**Kernaspekte:**

Produktionsmengenentwicklung bestimmt EEV-Anteile.

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Papiergewerbe

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

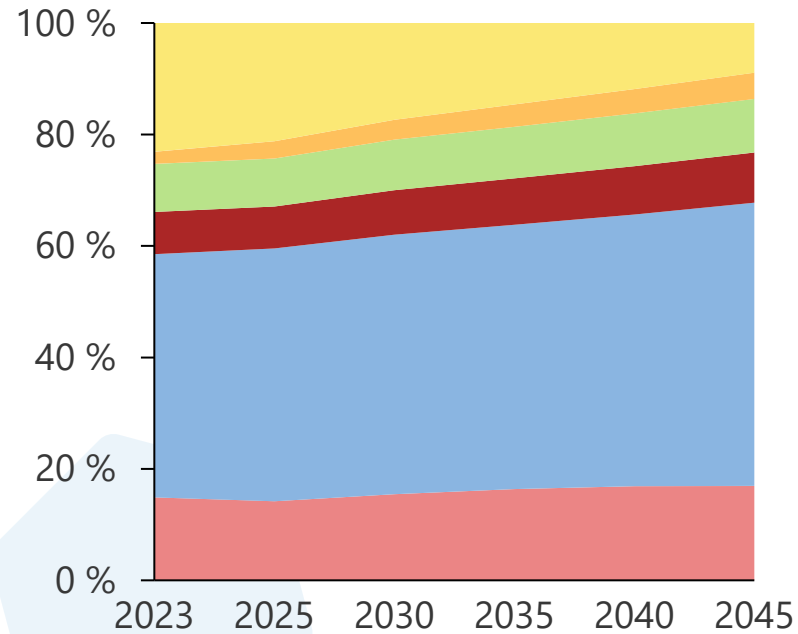
Szenarien identisch

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs des Papiergewerbes

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Papiergewerbe

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

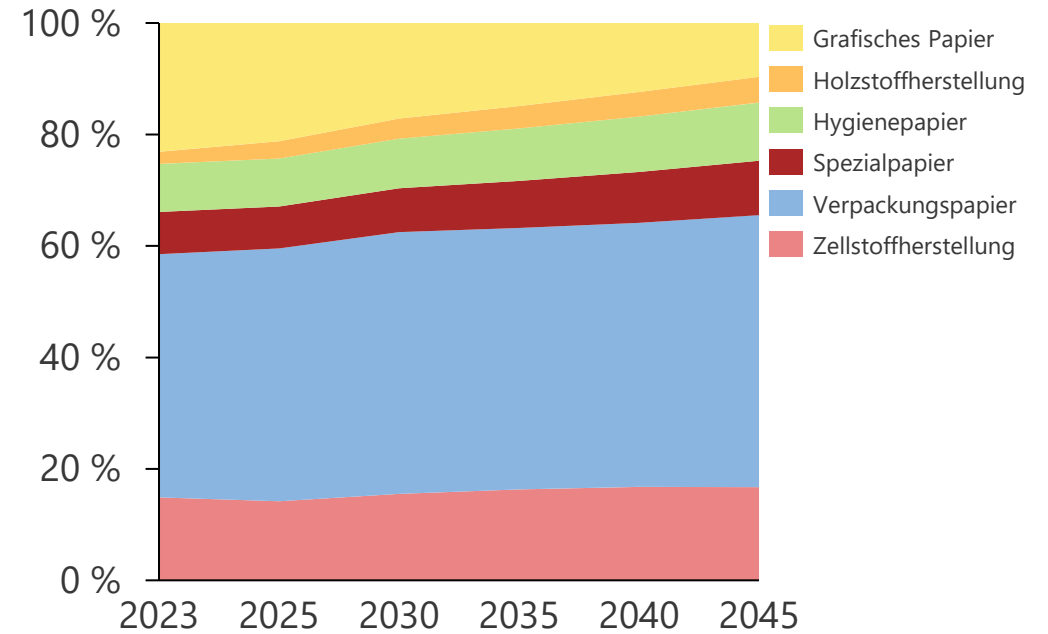


**Kernaspekte:**

Produktionsmengenentwicklung bestimmt EEV-Anteile.

### Prozessverteilung des Endenergieverbrauchs Papiergewerbe

in % | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

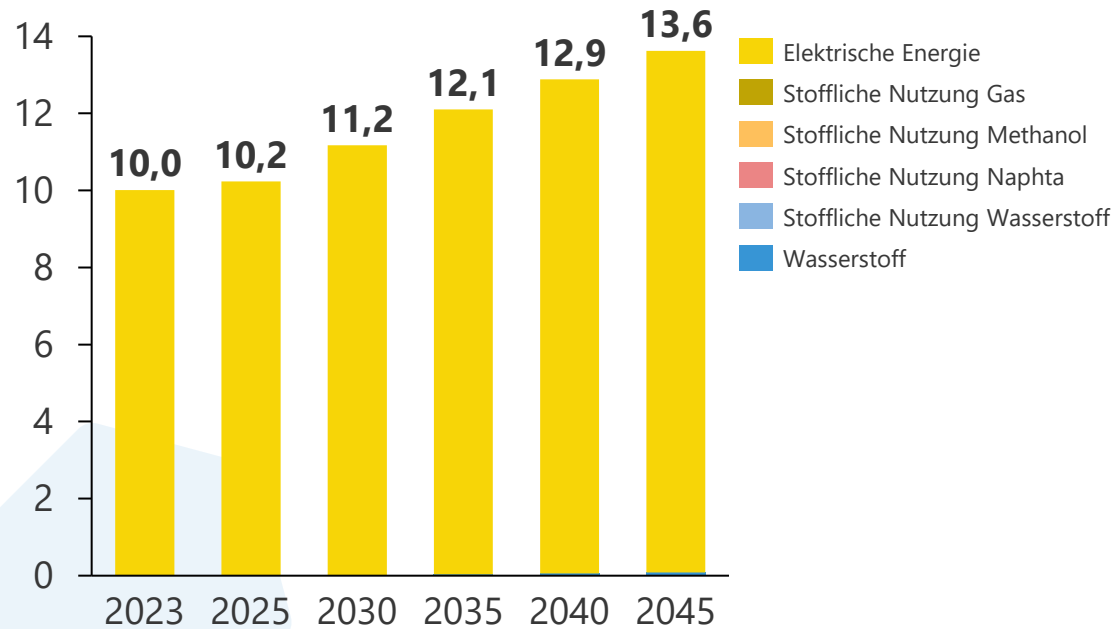
In der Produktionsmengenentwicklung kommt Materialeffizienz vermehrt zum Tragen.

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Papierherstellung

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Papiermaschine

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

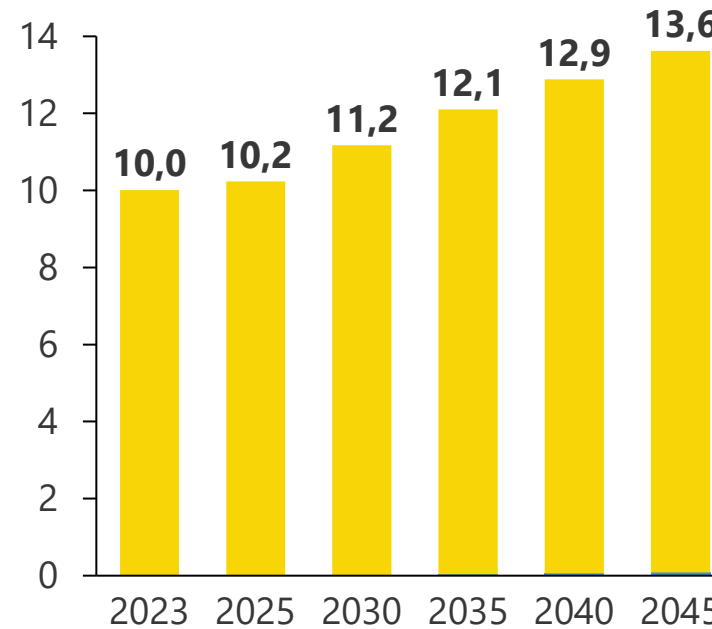


**Kernaspekte:**

Stromverbrauchsanstieg durch Zunahme der Verpackungspapierproduktion bedingt. Wasserstoffeinsatz nur in der Hochtemperatur in geringem Maße, überwiegend wird auf Biomasse gesetzt. Hochtemperaturwärmebedarf sehr gering, eher Mitteltemperatur dort Strom, Biomasse, Fernwärme.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Papiermaschine

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

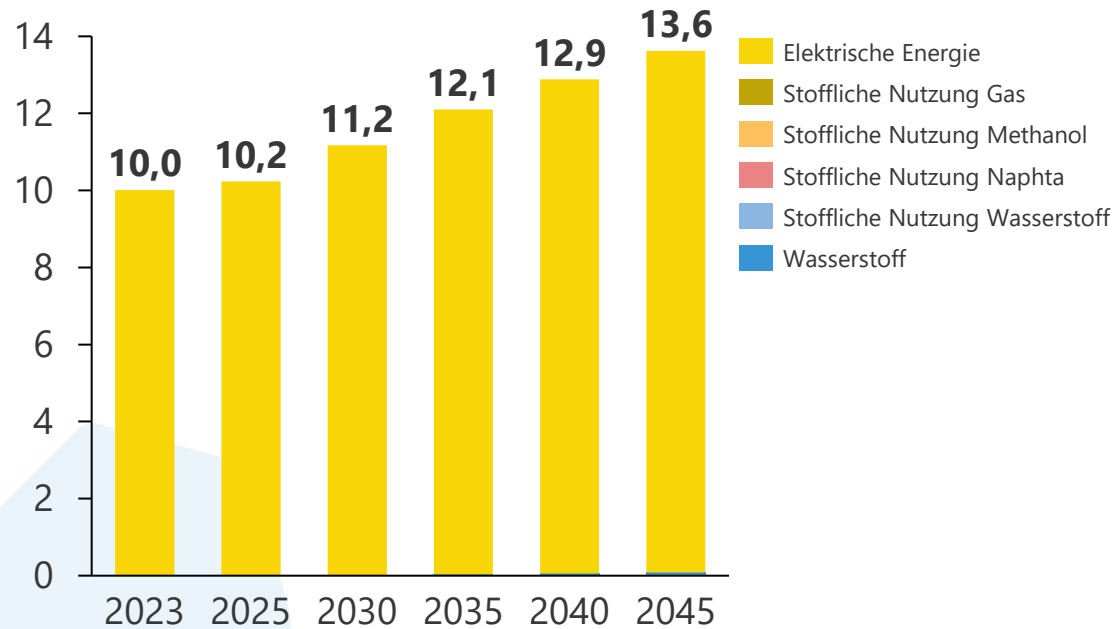
Szenarien identisch.

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Papierherstellung

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Papiermaschine

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

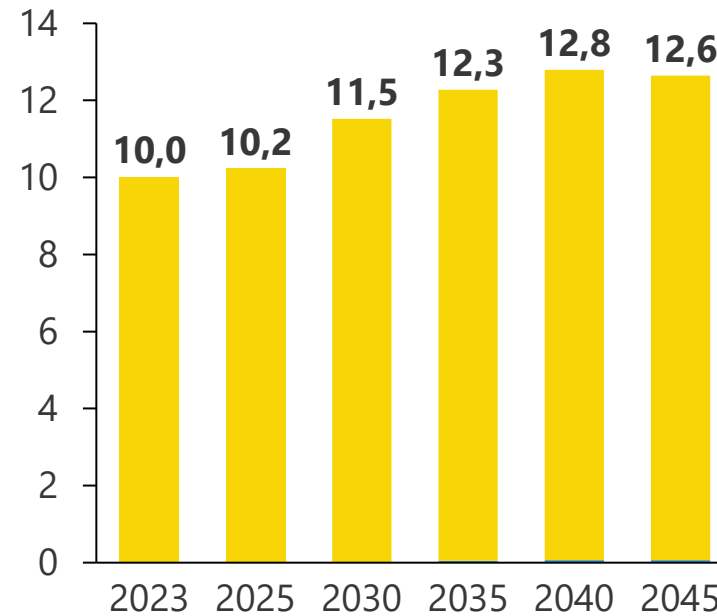


**Kernaspekte:**

Stromverbrauchsanstieg durch Zunahme der Verpackungspapierproduktion bedingt. Wasserstoffeinsatz nur in der Hochtemperatur in geringem Maße, überwiegend wird auf Biomasse gesetzt. Hochtemperaturwärmebedarf sehr gering, eher Mitteltemperatur dort Strom, Biomasse, Fernwärme.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Papiermaschine

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

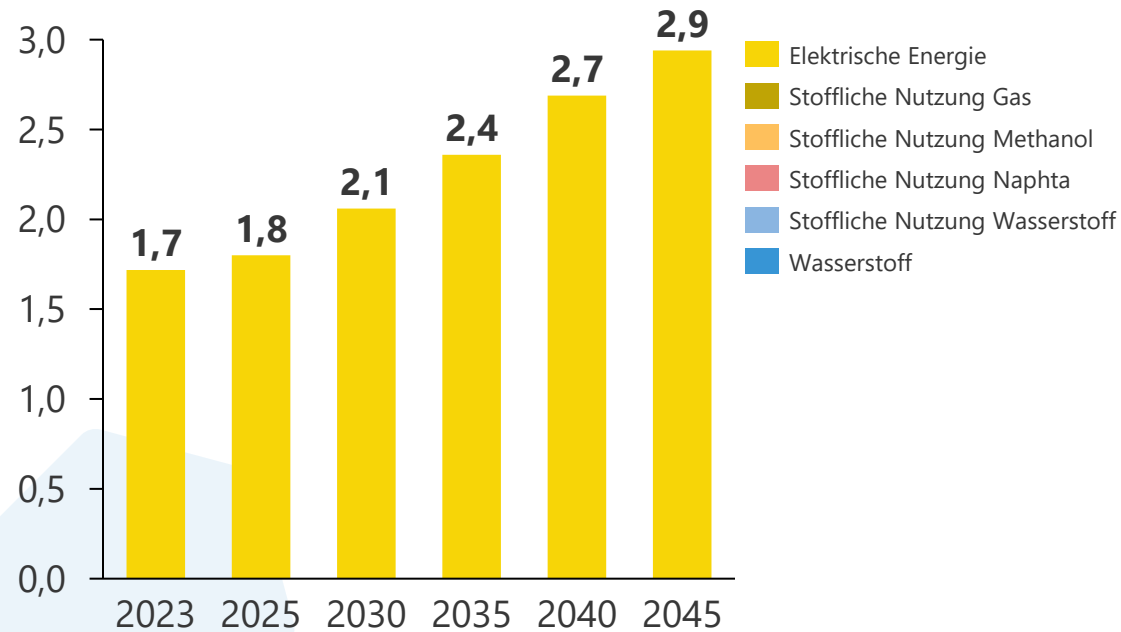
In der Produktionsmengenentwicklung kommt Materialeffizienz vermehrt zum Tragen in der langfristigen Entwicklung.

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Halbstoffe

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Halbstoffe

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

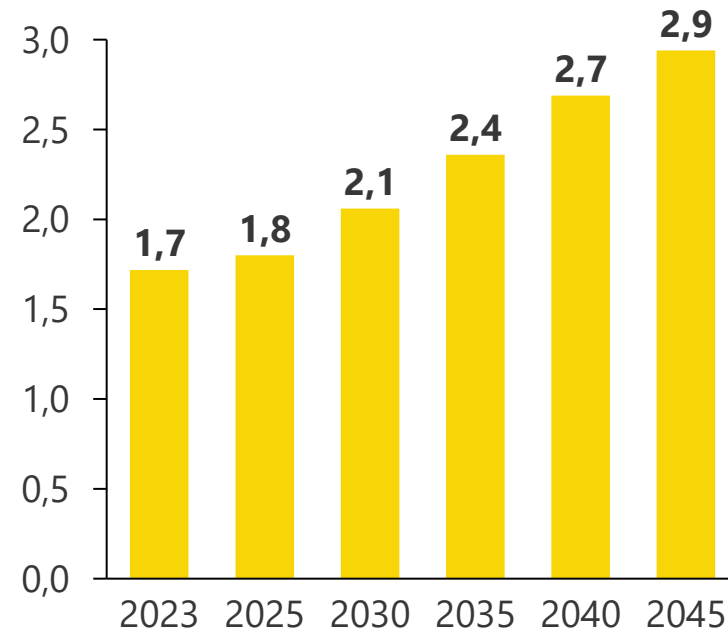


**Kernaspekte:**

Holzstoffherstellung hat Strombedarf für mechanische Energie, Zellstoffherstellung v. a. für Mitteltemperatur.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Halbstoffe

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

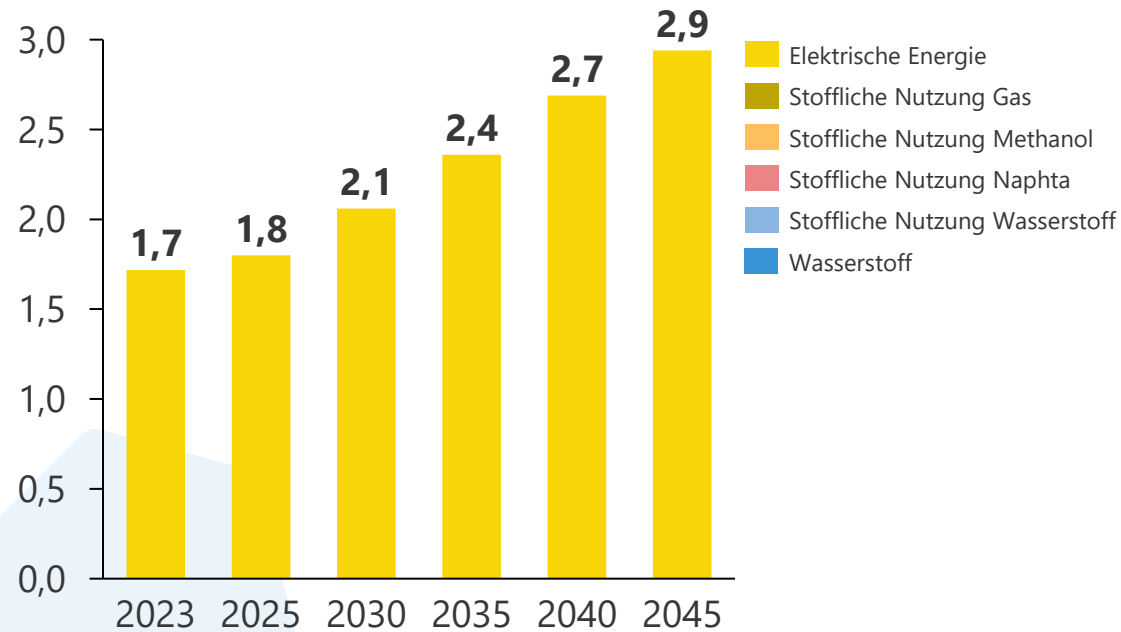
Szenarien identisch

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Strom-, Wasserstoff- und Derivateverbrauch der Halbstoffe

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Halbstoffe

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

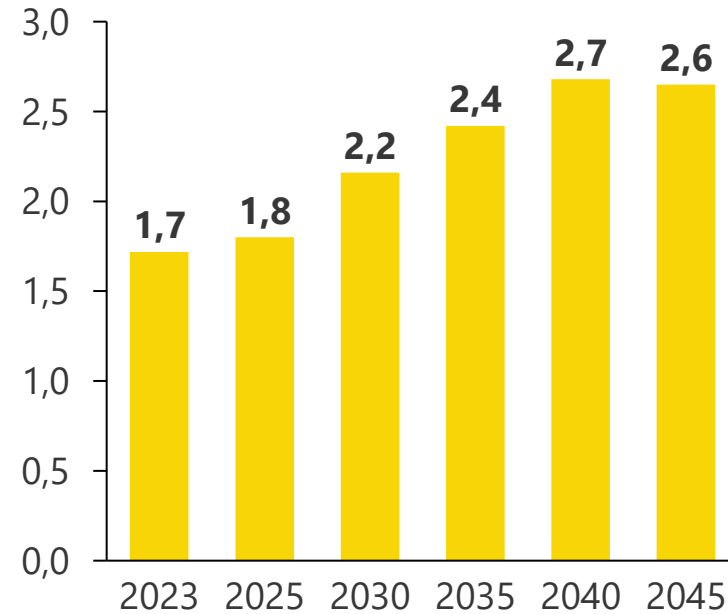


**Kernaspekte:**

Holzstoffherstellung hat Strombedarf für mechanische Energie, Zellstoffherstellung v. a. für Mitteltemperatur.

### Strom-, H<sub>2</sub>- und Derivateverbrauch Halbstoffe

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

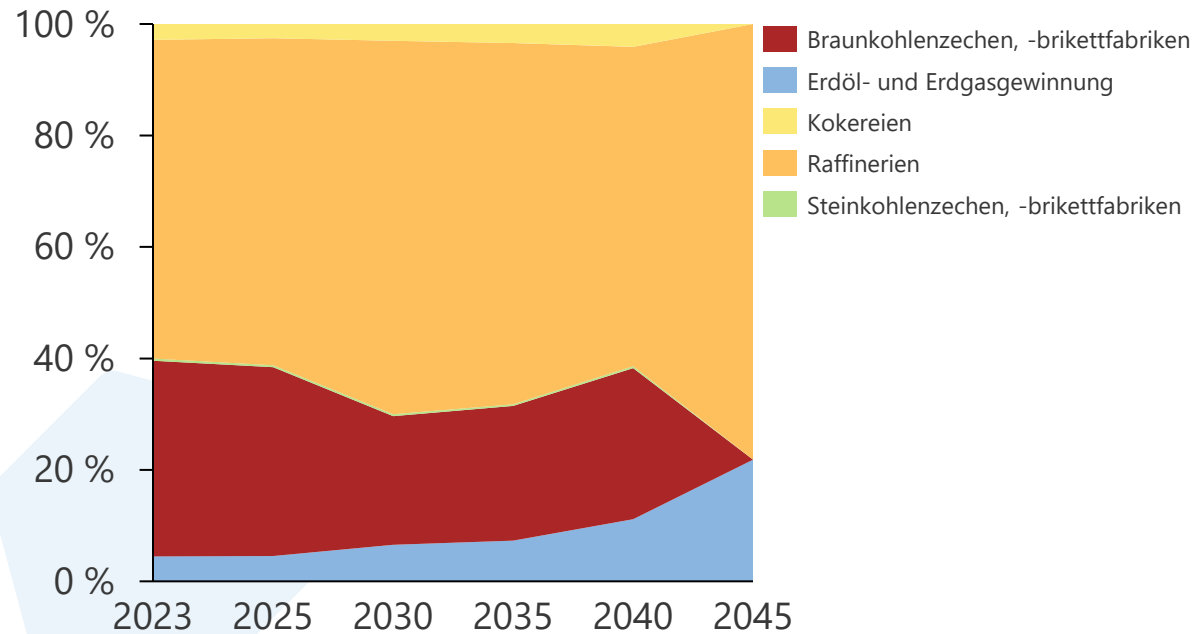
In der Produktionsmengenentwicklung kommt Materialeffizienz vermehrt zum Tragen in der langfristigen Entwicklung.

# Elektrifizierungs- & Wasserstoffszenario

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs des Umwandlungssektors

### Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs des Umwandlungssektors

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

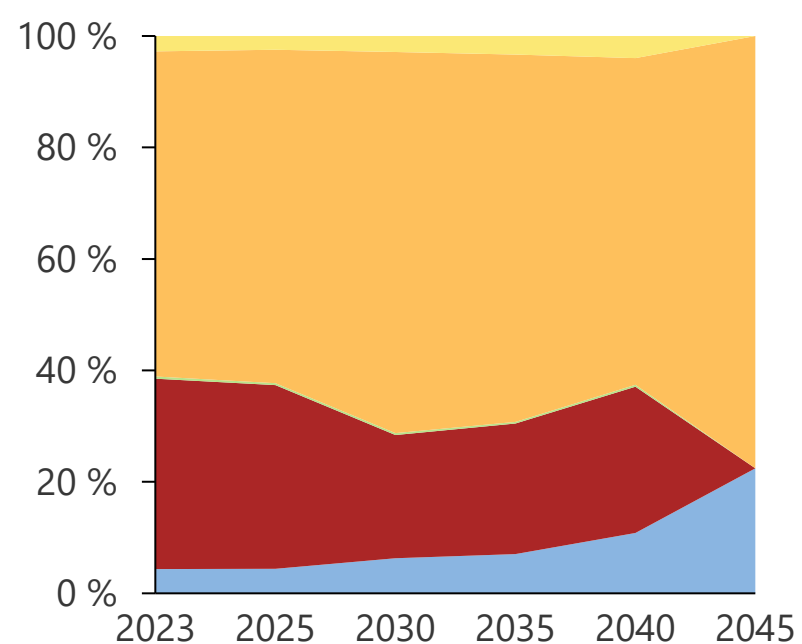


**Kernaspekte:**

Stromverbrauch von Kokereien und Erdöl- Erdgasgewinnung geht zurück.  
 Stromverbräuche Kohlenzechen, -brikettfabriken sinken langsamer als im Zielszenario.  
 Raffinerie-Stromverbräuche **stark** sinkend, aber anteilig am EEV steigend.

### Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs des Umwandlungssektors

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

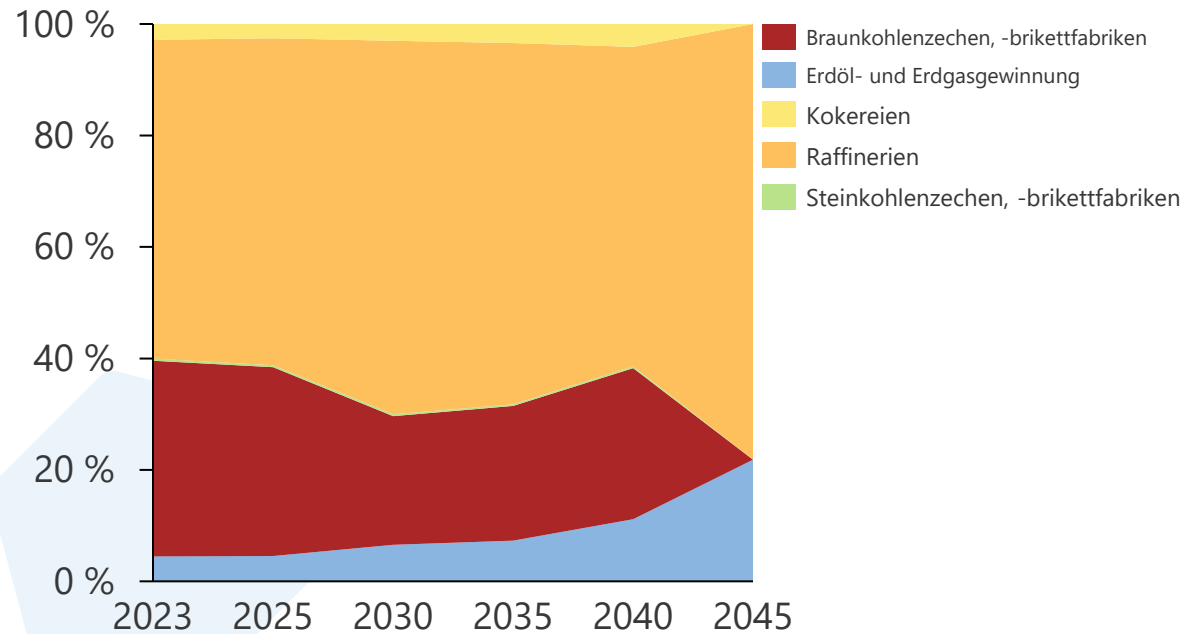
Szenarien identisch.

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs des Umwandlungssektors

### Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs des Umwandlungssektors

in % | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

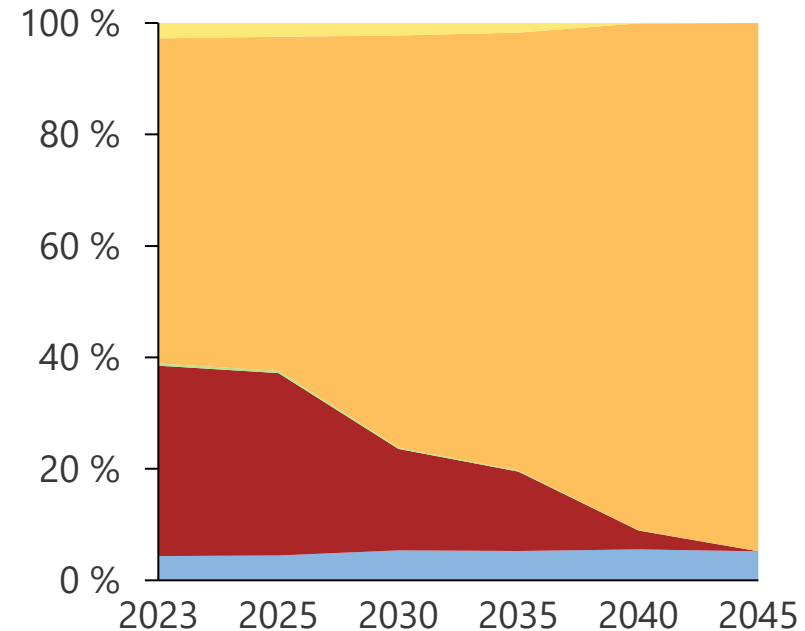


**Kernaspekte:**

Stromverbrauch von Kokereien und Erdöl- Erdgasgewinnung geht zurück.  
 Stromverbräuche Kohlenzechen, -brikettfabriken sinken langsamer als im Zielszenario.  
 Raffinerie-Stromverbräuche **stark** sinkend, aber anteilig am EEV steigend.

### Prozessaufteilung des Endenergieverbrauchs des Umwandlungssektors

in % | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



**Kernaspekte:**

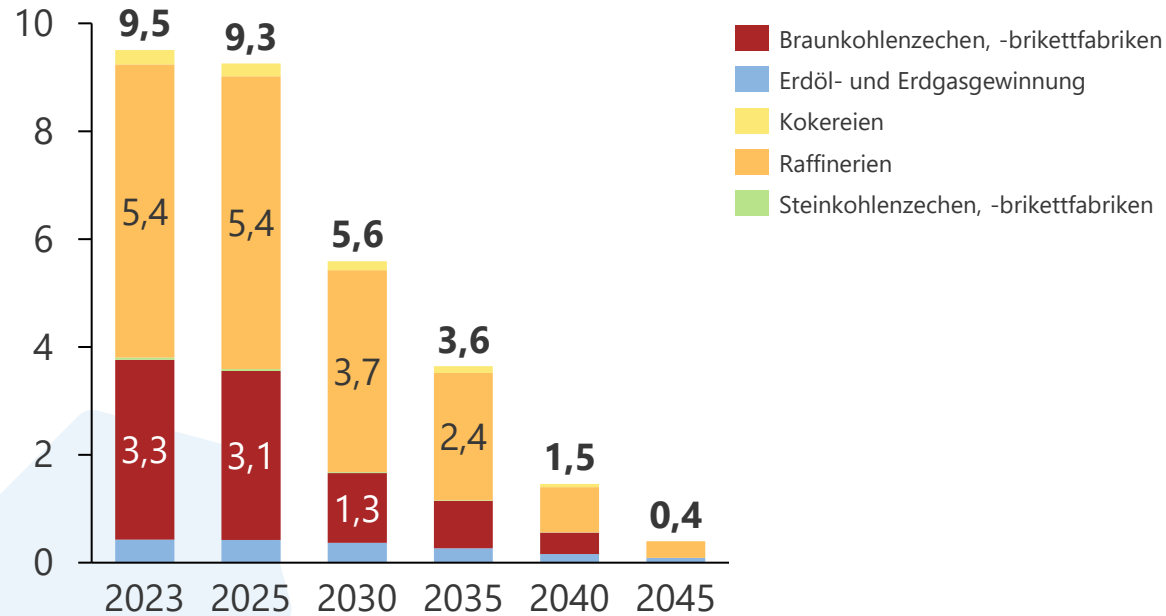
Stromverbrauch von Kokereien, Kohlenzechen, -brikettfabriken und Erdöl- Erdgasgewinnung geht zurück  
 Raffinerie-Stromverbräuche auch sinkend, aber anteilig am EEV steigend

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Stromverbrauch des Umwandlungssektors

### Stromverbrauch Umwandlungssektor

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

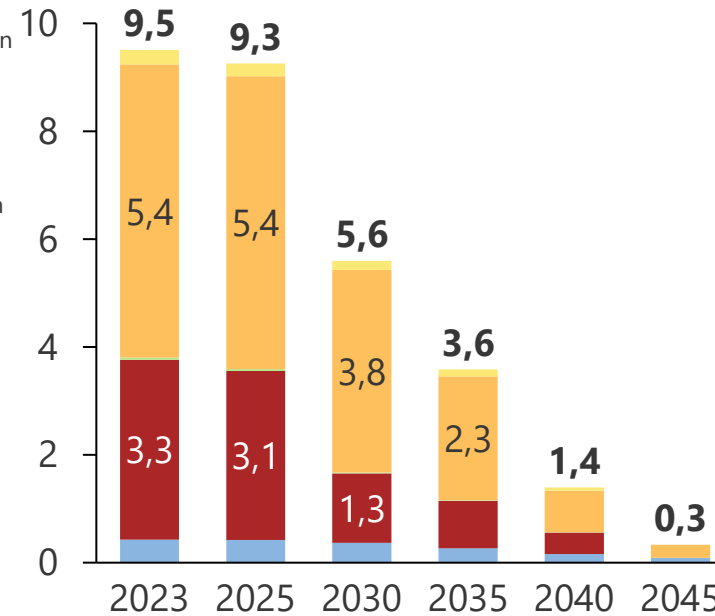


**Kernaspekte:**

- Koks wird immer weniger in den Hochöfen in der Industrie verwendet.
- Rückgang des Stromverbrauchs von Kohlenzechen und Brikettfabriken, da bis 2030 deutlicher Rückgang in der Kohleverstromung sowie Rückgang in der Industrie bis 2040
- Erdgas als Energieträger am längsten relevant im Energiesystem
- Rückgang der Raffinerieverbräuche, da nur ein geringer Teil des Synfuels inländisch produziert wird

### Stromverbrauch Umwandlungssektor

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



**Kernaspekte:**

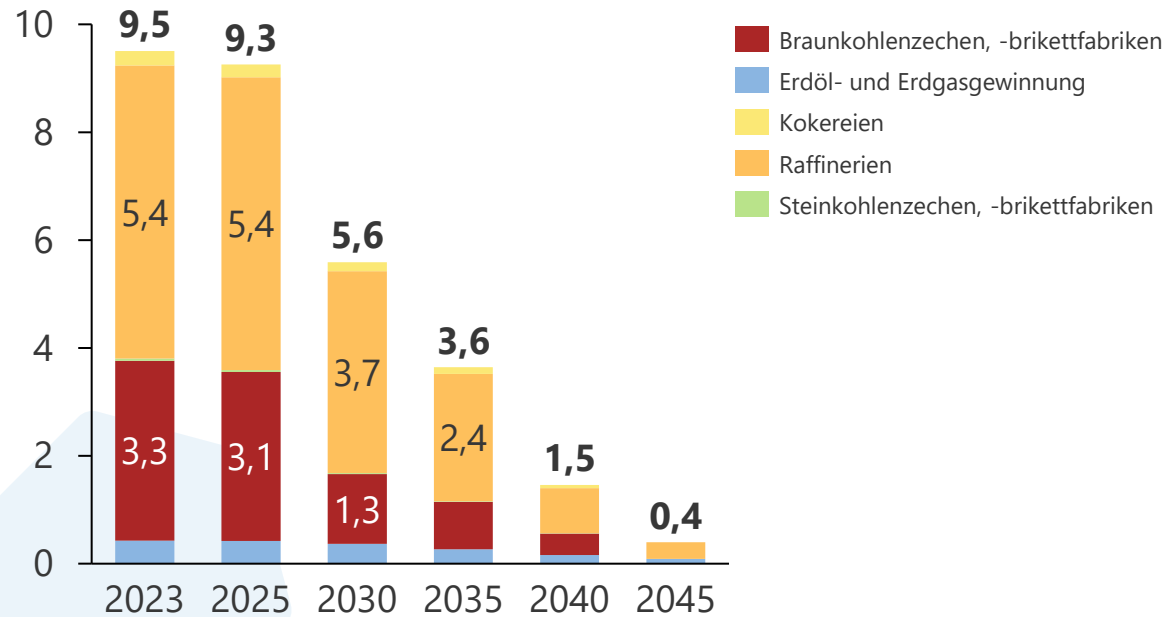
- wie Elektrifizierungsszenario, außer leicht andere Raffinerieverbräuche (geringerer Synfuelbedarf, da methanolbasierte HVC-Herstellung statt Electrocracker mit syn. Naphtha genutzt wird)

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Stromverbrauch des Umwandlungssektors

### Stromverbrauch Umwandlungssektor

in TWh | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung

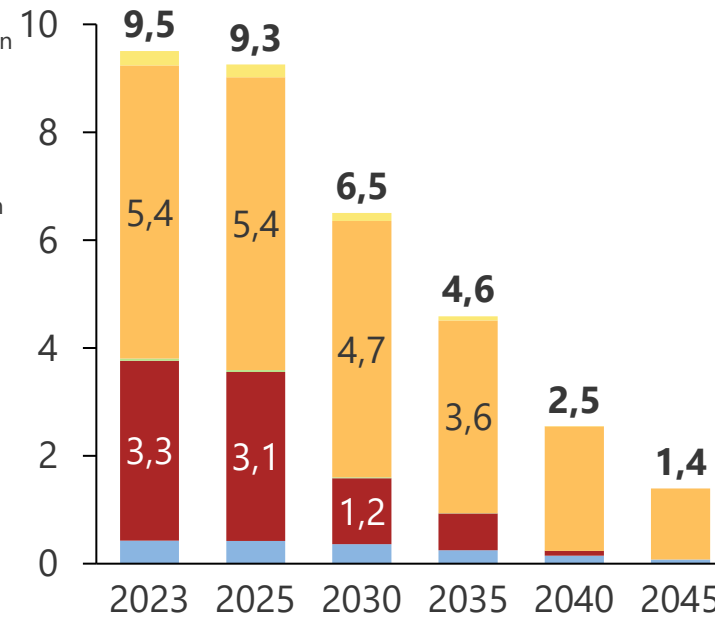


#### Kernaspekte:

- Koks wird immer weniger in den Hochöfen in der Industrie verwendet.
- Rückgang des Stromverbrauchs von Kohlenzechen und Brikettfabriken, da bis 2030 deutlicher
- Rückgang in der Kohleverstromung sowie Rückgang in der Industrie bis 2040
- Erdgas als Energieträger am längsten relevant im Energiesystem
- Rückgang der Raffinerieverbräuche, da nur ein geringer Teil des Synfuels inländisch produziert wird

### Stromverbrauch Umwandlungssektor

in TWh | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



#### Kernaspekte:

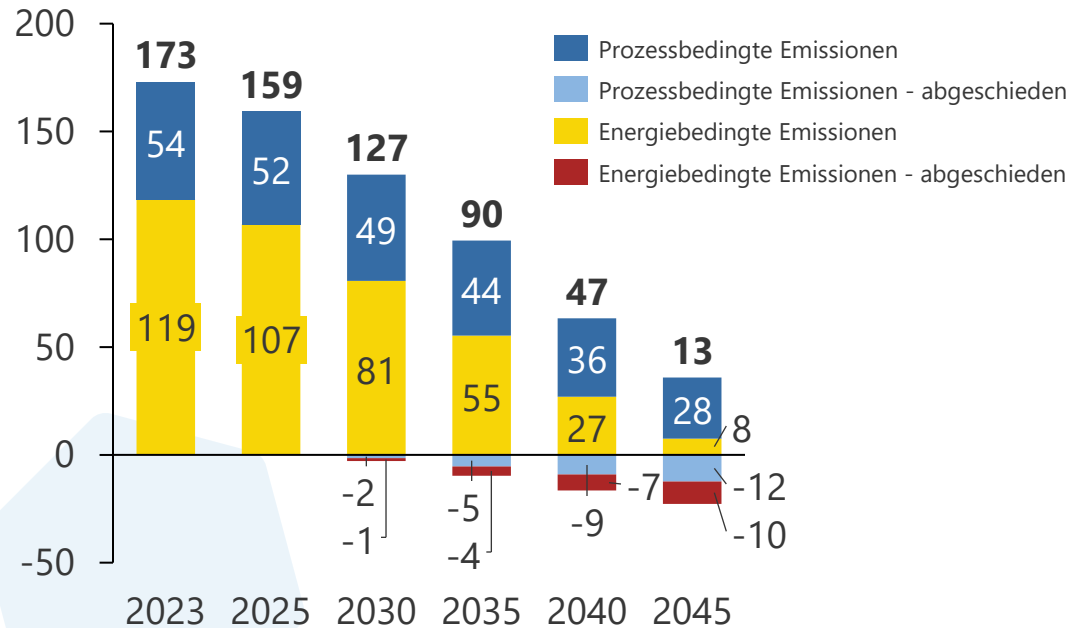
- Stromverbrauch sinkt schneller, da fossile Energieträger im Energiesystem früher ersetzt werden
- Außer bei Raffinerien, dort höherer Stromverbrauch, da Synfuelbedarf inländisch gedeckt wird

# Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario

## Emissionen

### Emissionen

in Mt CO<sub>2</sub> | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



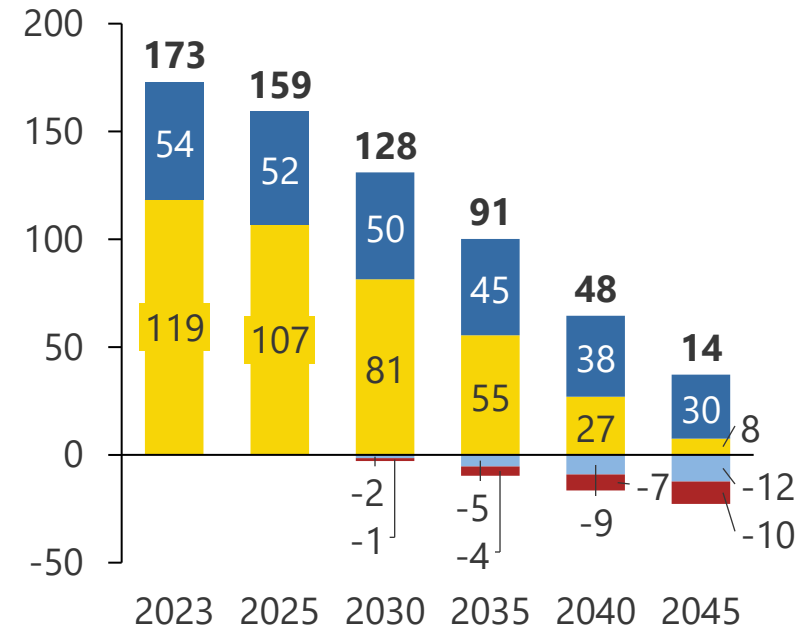
#### Kernaspekte:

Die prozessbedingten Emissionen von Zementklinker- und Kalkherstellung werden abgeschieden. Es verbleiben prozessbedingte Emissionen v. a. in der Glas-, Stahl- und Chemieindustrie.

Energiebedingte Emissionen verbleiben v. a. durch Abfallverbrennung in der Zementklinkerherstellung. Diese verbleibenden Emissionen + Negativemissionen aus Biomasseverbrennung werden abgeschieden.

### Emissionen

in Mt CO<sub>2</sub> | Deutschland | Industrie | Trend | Wasserstoff



#### Kernaspekte:

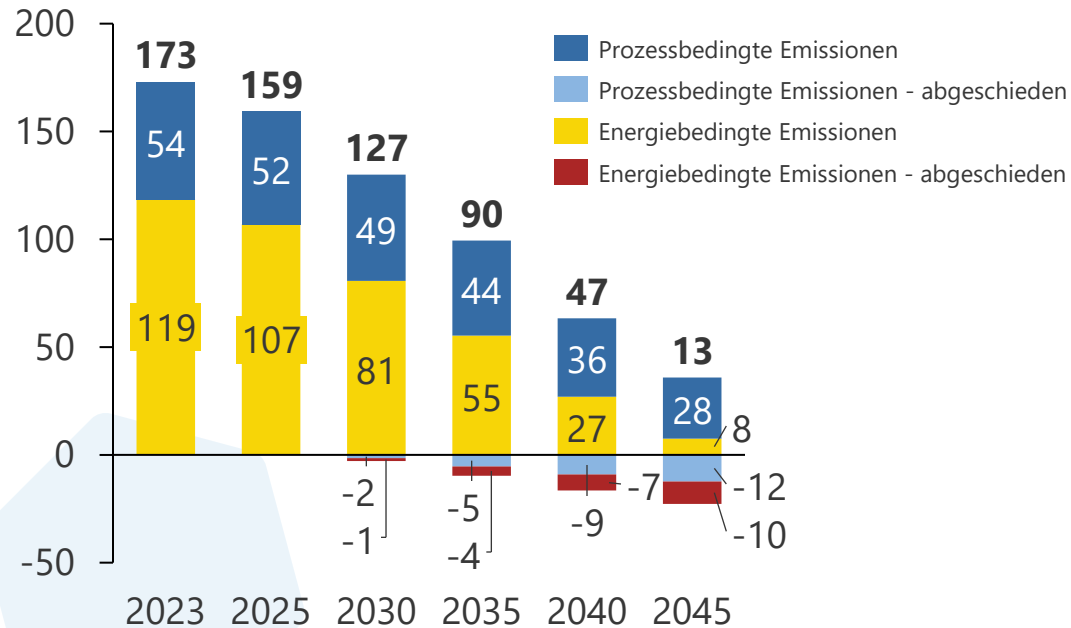
Leicht andere Prozessemissionen durch die methanolbasierte Route statt Electrocracker

# Elektrifizierung Trend & Ziel

## Emissionen

### Emissionen

in Mt CO<sub>2</sub> | Deutschland | Industrie | Trend | Elektrifizierung



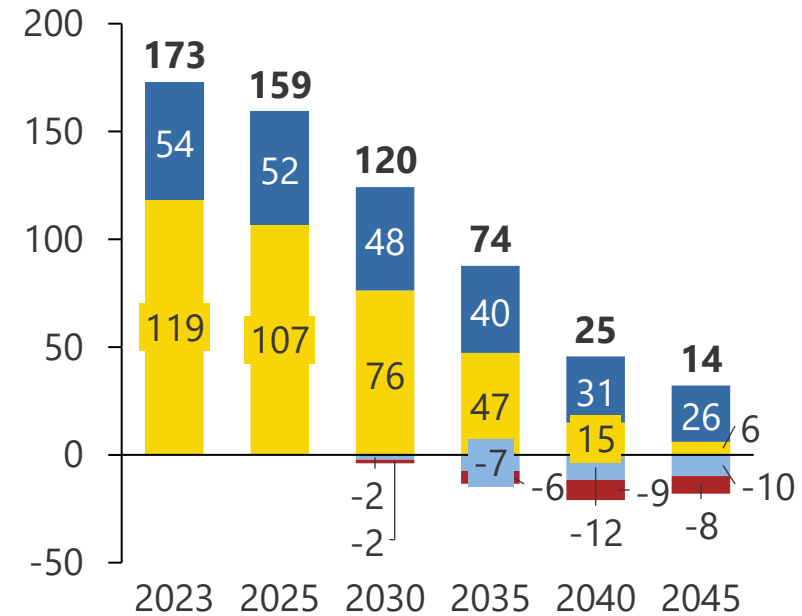
#### Kernaspekte:

Die prozessbedingten Emissionen von Zementklinker- und Kalkherstellung werden abgeschlossen. Es verbleiben prozessbedingte Emissionen v. a. in der Glas-, Stahl- und Chemieindustrie.

Energiebedingte Emissionen verbleiben v. a. durch Abfallverbrennung in der Zementklinkerherstellung  
Diese verbleibenden Emissionen + Negativemissionen aus Biomasseverbrennung werden abgeschlossen.

### Emissionen

in Mt CO<sub>2</sub> | Deutschland | Industrie | Ziel | Elektrifizierung



#### Kernaspekte:

Differenz in Prozessemissionen kommt v. a. durch Zementklinker-PM zustande.

# Fazit: Trend-Industrieszenarien

## Elektrifizierungsszenario

Wo es technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist, wird auf die Direktstromnutzung gesetzt. Dies ist aus Gründen der Systemeffizienz sinnvoll. [Im Vergleich zur Vorgängerstudie wird dabei v. a. im MT- und HT-Prozesswärmebereich stärker elektrifiziert.](#)

Bei einigen der betrachteten Prozesse (z. B. Stahl und Aluminium) sind die Potenziale der weniger energieintensiven Sekundärroute begrenzt. Bei anderen Prozessen (z. B. Glas, Zement, Kalk) ist die direkte Elektrifizierung aufgrund der Temperaturniveaus und Energiedichten keine oder erst sehr spät eine Option. In diesen Bereichen entsteht eine [robuste H<sub>2</sub>-Nachfrage](#).

Im Vergleich zur Vorgängerstudie wird von einer stärkeren Veränderung der Industriestruktur ausgegangen, d.h. einem teilweisen Rückgang von Produktionsmengen ausgegangen. [Die transformationsbedingte Zunahme des Stromverbrauchs aufgrund stromintensiverer Verfahrensrouten und Dekarbonisierungsmaßnahmen überwiegt den Rückgang des Stromverbrauchs aufgrund rückläufiger Produktionsmengen.](#)

Synthetische Brennstoffe werden im Szenario nicht eingesetzt. Wasserstoff, Strom und Biomasse sind die Energieträger der Zukunft in der Industrie.

## WasserstoffszENARIO

Unter der Annahme, dass H<sub>2</sub> günstig und in ausreichenden Mengen für priorisierte Industrien verfügbar ist, setzen sich H<sub>2</sub>-Verfahrensrouten und Wasserstoffbrenner auch in Bereichen durch, in denen die Direktstromnutzung möglich ist: [MT- und HT-Prozesswärmebereich und Glasherstellung.](#)

# Fazit: Elektrifizierung-Industrieszenarien

## Trend

Wo es technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist, wird auf die Direktstromnutzung gesetzt. Dies ist aus Gründen der Systemeffizienz sinnvoll. [Im Vergleich zur Vorgängerstudie wird dabei v. a. im MT- und HT-Prozesswärmebereich stärker elektrifiziert.](#)

Bei einigen der betrachteten Prozesse (z. B. Stahl und Aluminium) sind die Potenziale der weniger energieintensiven Sekundärroute begrenzt. Bei anderen Prozessen (z. B. Glas, Zement, Kalk) ist die direkte Elektrifizierung aufgrund der Temperaturniveaus und Energiedichten keine oder erst sehr spät eine Option. In diesen Bereichen entsteht eine [robuste H<sub>2</sub>-Nachfrage](#).

Im Vergleich zur Vorgängerstudie wird von einer stärkeren Veränderung der Industriestruktur ausgegangen, d.h. einem teilweisen Rückgang von Produktionsmengen ausgegangen. [Die transformationsbedingte Zunahme des Stromverbrauchs aufgrund stromintensiverer Verfahrensrouten und Dekarbonisierungsmaßnahmen überwiegt den Rückgang des Stromverbrauchs aufgrund rückläufiger Produktionsmengen.](#)

Synthetische Brennstoffe werden im Szenario nicht eingesetzt. Wasserstoff, Strom und Biomasse sind die Energieträger der Zukunft in der Industrie.

## Ziel

Die Endenergieverbräuche entwickeln sich in einigen Branchen mittelfristig unterschiedlich, da [Wasserstoff früher zur Verfügung steht](#) (z. B. Glasproduktion, Stahlherstellung), und langfristig unterschiedlich, da sich [Produktionsmengen](#) basierend auf Annahmen zur Wettbewerbsfähigkeit, Importen und Effizienzen [unterschiedlich entwickeln](#) (z. B. Stahl, Zement und -klinker, Papier, Halbstoffe, Ammoniak, Kalk).

[Im Zieljahr ähneln sich die Endenergieverbräuche beider Szenarien. Erst mit Blick auf einzelne Prozesse und Regionen kommen deutlichere Unterschiede zum Vorschein.](#)



# 5 Regionalisierung – Status quo

Inhaltsverzeichnis

# Regionalisierung des industriellen Stromverbrauchs auf Landkreisebene für die Jahre 2019 bis 2023

Zur differenzierten Analyse des industriellen Stromverbrauchs in Deutschland wird für das **Basisjahr 2023** sowie rückwirkend für die Jahre ab 2019 eine Regionalisierung auf Landkreisebene vorgenommen. Ziel ist es, den Stromverbrauch der Industrie räumlich präzise abzubilden und dabei sowohl prozessuale als auch branchenspezifische Unterschiede zu berücksichtigen. Grundlage dieser Regionalisierung bilden **georeferenzierte Standortdaten und Produktionsmengen energieintensiver Industriebetriebe** sowie regional aufgeschlüsselte Statistiken zum industriellen Stromverbrauch und zur Erwerbstätigkeit nach Wirtschaftszweigen.

Im ersten Schritt erfolgt die **Aufbereitung der Eingangsdaten**. Dabei werden die Produktionsmengen der relevanten Standorte für die Jahre 2019 bis 2023 erfasst und zugeordnet. Für Regionen oder Branchen, in denen aus Gründen des Datenschutzes keine vollständigen Angaben vorliegen, werden die fehlenden Werte mithilfe geeigneter Imputationsverfahren berechnet.

Die Berechnung des regionalen Stromverbrauchs erfolgt zweigeteilt:

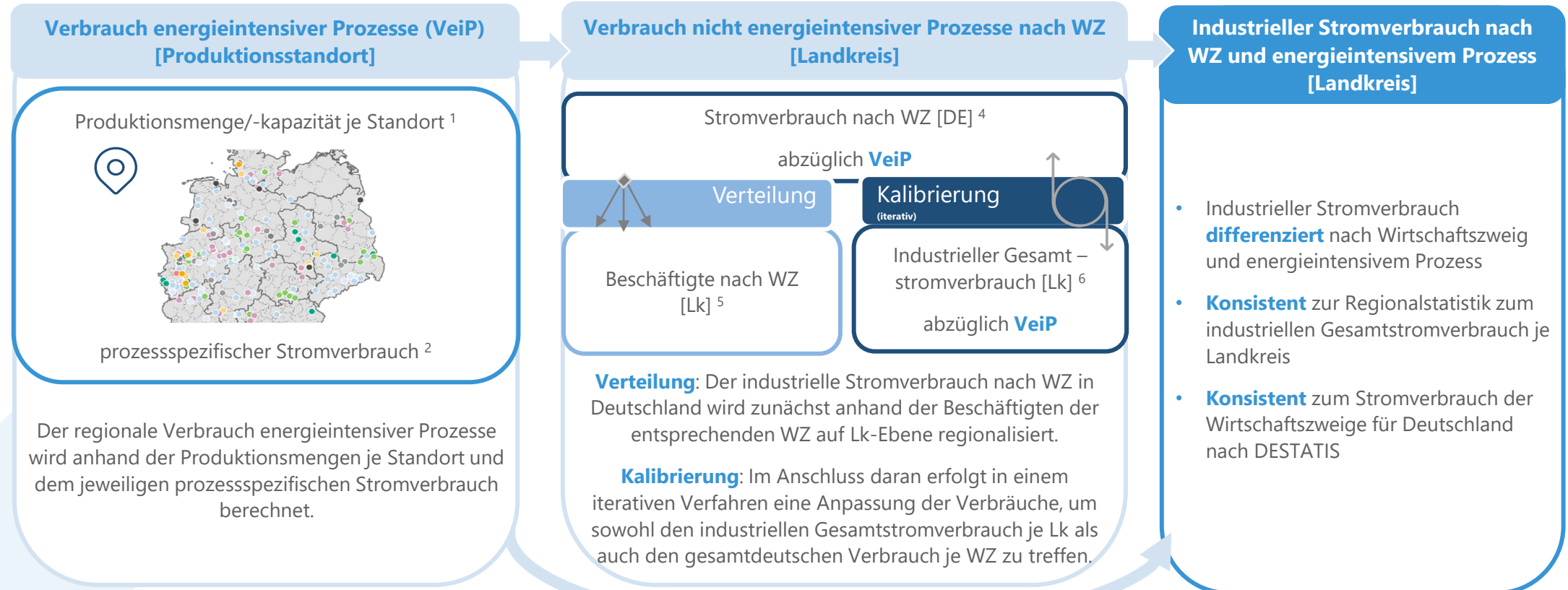
1. Zum einen wird der Verbrauch stromintensiver Prozesse direkt aus den Produktionsmengen und spezifischen Prozesskennwerten berechnet.
2. Zum anderen wird der übrige Stromverbrauch innerhalb der jeweiligen Wirtschaftszweige in einem iterativen Verfahren anhand regionaler Beschäftigtenzahlen verteilt.

Dabei wird sichergestellt, dass sowohl die Konsistenz mit den regionalen und nationalen Stromverbrauchsstatistiken bleiben.

Die Ergebnisse werden differenziert nach stromintensiven Prozessen und Wirtschaftszweigen ausgewiesen und bilden eine belastbare Grundlage für die Modellierung der Verbrauchsentwicklung in Abschnitt 5.

# Regionalisierungsmethodik

## Basisjahr und historische Jahre



<sup>1</sup> Standorte nach EU-ETS, E-PRTR, MaStR und weiteren Quellen → Produktionsmengen/-kapazitäten aus unterschiedlichen v. a. branchenspezifischen Quellen (u.a. Branchenbefragungen im Rahmen von TransHyDE)

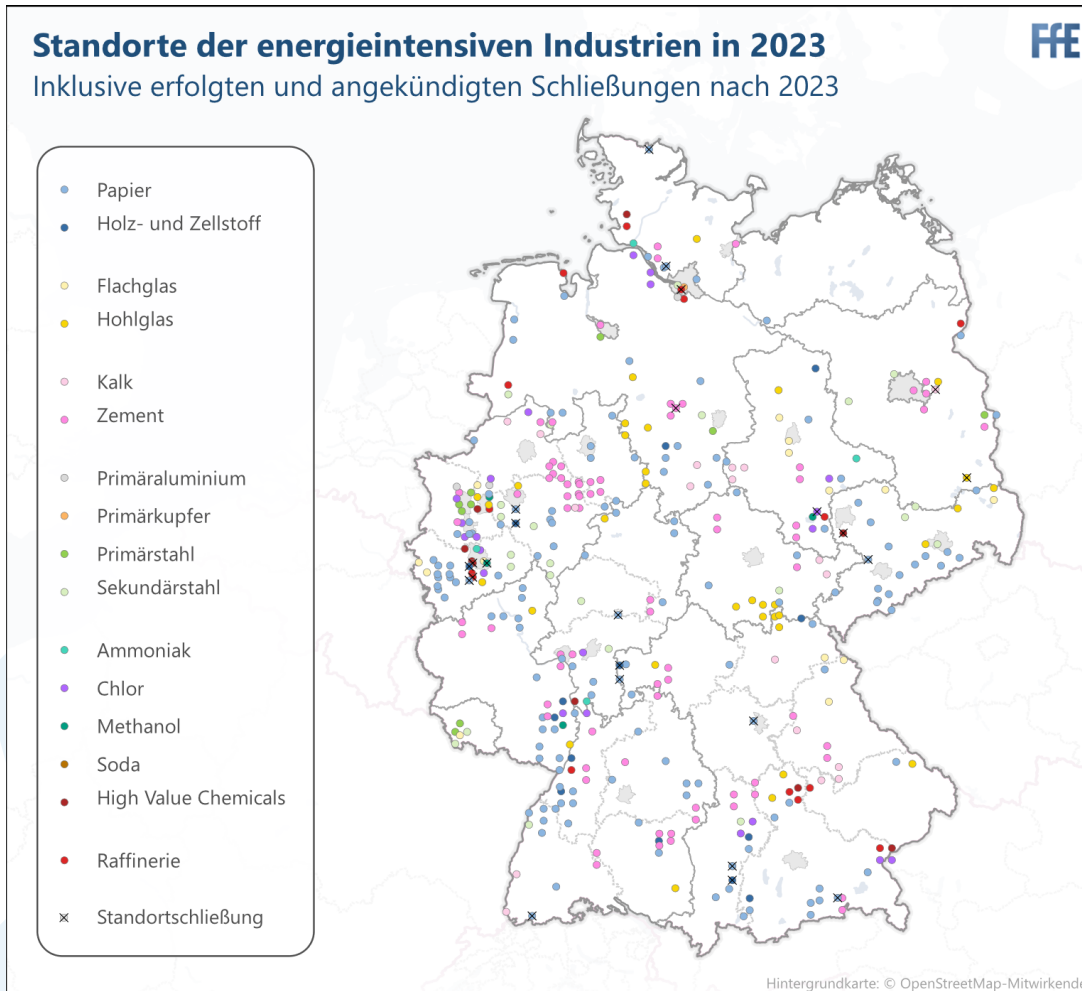
<sup>2</sup> TransHyDE: Prozessspezifischer Stromverbrauch

<sup>4</sup> DESTATIS: Energieverwendung der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe nach Wirtschaftszweig (Tabelle: 43531-0002)

<sup>5</sup> Bundesagentur für Arbeit: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte je Wirtschaftszweig → Berechnung fehlender Werte durch FFE

<sup>6</sup> DESTATIS: Jahreserhebung ü. die Energieverwendung der Betriebe im Verarbeitendem Gewerbe (Tabelle: 43531-01-02-4) → Berechnung fehlender Werte (Imputation) durch FFE

# Standorte der energieintensiven Industrie



Die Verbräuche der energieintensiven Industrie werden sowohl für das Basisjahr und die zurückliegenden historischen Jahre als auch für die zukünftigen Jahre der Transformationsszenarien standortscharf berechnet.

Hierfür greift die FfE auf ihre Industriestandortdatenbank zurück, die im Rahmen verschiedener Projekte aufgebaut und für das vorliegende Vorhaben aktualisiert wurde. Ziel der Aktualisierung war es, für die betrachteten Status-quo-Jahre den jeweiligen Betriebsstatus der Standorte zu erfassen sowie seit dem Basisjahr erfolgte und angekündigte Standortschließungen und Änderungen der Produktionskapazitäten zu identifizieren.

Die seit dem Basisjahr erwarteten Entwicklungen einzelner Standorte werden bei der Regionalisierung der Transformationspfade in Kapitel 5 in Form von standortspezifischen Szenarien berücksichtigt.

Die dargestellte Karte zeigt die Standorte der energieintensiven Industrie, einschließlich der nach dem Jahr 2023 erfolgten sowie angekündigten Standortschließungen.

# Vergleich der statistischen Eingangsdaten zum industriellen Stromverbrauch

## Statistik auf Deutschlandebene <sup>1</sup>: Stromverbrauch nach Wirtschaftszweigen

Statistisches Bundesamt (Destatis): Tabelle 43531-0002; 2023  
 WZ08-B-C: Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, Verarbeitendes Gewerbe

| Eigene Stromerzeugung (netto) | Strombezug (einschließlich Ausland) | Stromabgabe (einschließlich Ausland) | Stromverbrauch         |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| 45.155.385 MWh                | 171.476.85 MWh                      | 21.364.292 MWh                       | <b>195.267.945 MWh</b> |

$$\text{Stromverbrauch} = \text{Eigenstromerzeugung} + \text{Strombezug} - \text{Stromabgabe}$$

Die Stromverbrauchsstatistik nach Wirtschaftszweigen auf Bundesebene und die Regionalstatistik zum industriellen Stromverbrauch sind für 2023 konsistent und weisen jeweils rund **195,3 TWh** aus.

Der Stromverbrauch umfasst dabei die Eigenstromerzeugung und den Strombezug abzüglich der Stromabgabe.

## Statistik auf Landkreisebene <sup>2</sup>: Industrieller Stromverbrauch ohne WZ

Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Deutschland: Tabelle: 43531-01-02-4, 2023  
 Jahreserhebung über die Energieverwendung der Betriebe im verarbeitenden Gewerbe

$$\text{Strom} = 195.267.945 \text{ MWh}$$

Beide Statistiken sind konsistent mit der **Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland** (AGEB), die in die Berechnung der anwendungsorientierten Energiebilanz und der Mantelzahlen einfließt.

## Bilanz auf Deutschlandebene <sup>3</sup>: Stromverbrauch nach Wirtschaftszweigen

AG Energiebilanzen e.V. (AGEB): Energiebilanz der Bundesrepublik 2023  
 Endenergieverbrauch im Sektor *Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, Verarbeitendes Gewerbe* sowie Energieverbrauch im *Umwandlungssektor* (ohne „Kraftwerke“ und *sonstige Energieerzeuger*)

$$\text{Strom} = 195,26 \text{ TWh}$$

Da die WZ-Klassifikation der Energiebilanz von der WZ2008-Systematik der Destatis-Statistik abweicht, wird die zukünftige Verbrauchsentwicklung in zusammengefassten WZ-Gruppen ausgewiesen.

# Berechnung fehlender Werte in den statistischen Eingangsdaten

Wegen datenschutzrechtlicher Vorgaben fehlen in der **Regionalstatistik zum industriellen Stromverbrauch** für das Jahr 2023 für 22 Landkreise Angaben zum Stromverbrauch (siehe Tabelle).

Zur Schätzung dieser Werte werden in einem ersten Schritt Daten aus anderen Jahren als Indikatoren genutzt und anschließend so skaliert, dass sie mit den Werten auf Regierungsbezirks- oder Landesebene übereinstimmen.

Für 9 Landkreise erfolgt eine weitere Anpassung auf Basis ermittelter Prozessverbräuche.

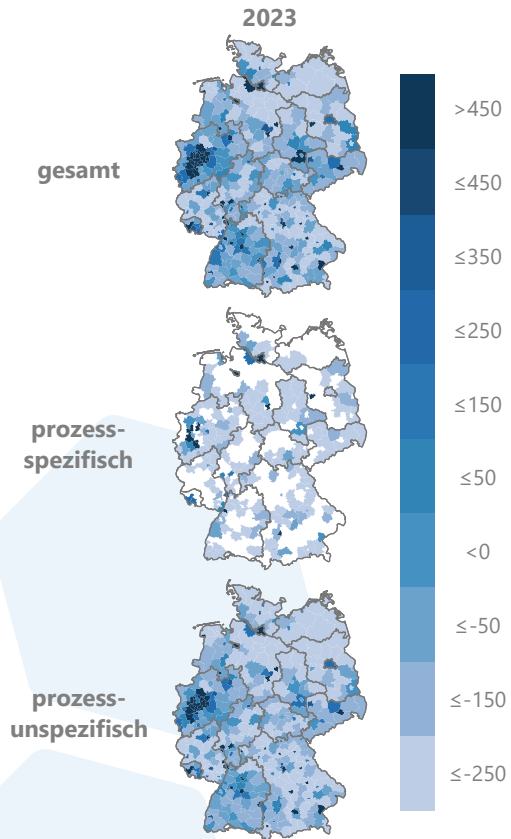
Auch bei den **sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nach WZ2008** fehlen Daten auf Kreisebene. Etwa 32 % der Werte in den Gruppen B und C werden analog zum ersten Schritt des oben beschriebenen Verfahrens geschätzt.

| AGS      | Landkreis                | Indikator                   | Anpassung durch  |
|----------|--------------------------|-----------------------------|------------------|
|          |                          | Jahr Statistik <sup>3</sup> | Prozessverbrauch |
| 03102000 | Salzgitter               | 2019                        | ✓                |
| 03103000 | Wolfsburg                | -                           |                  |
| 03157000 | Peine                    | 2012                        | ✓                |
| 03354000 | Lüchow-Dannenberg        | 2021                        |                  |
| 03359000 | Stade                    | 2012                        | ✓                |
| 03402000 | Emden                    | 2012                        |                  |
| 03405000 | Wilhelmshaven            | 2012                        |                  |
| 03455000 | Friesland                | 2012                        | ✓                |
| 03462000 | Wittmund                 | 2012                        |                  |
| 05512000 | Bottrop                  | 2022                        |                  |
| 05515000 | Münster                  | 2022                        |                  |
| 09161000 | Ingolstadt               | 2012                        |                  |
| 09180000 | Garmisch-Partenkirchen   | 2022                        |                  |
| 09261000 | Landshut                 | 2017                        |                  |
| 09262000 | Passau                   | 2012                        |                  |
| 09279000 | Dingolfing-Landau        | 2012                        |                  |
| 12051000 | Brandenburg an der Havel | -                           | ✓                |
| 12053000 | Frankfurt (Oder)         | 2022                        |                  |
| 12064000 | Märkisch-Oderland        | -                           | ✓                |
| 12065000 | Oberhavel                |                             | ✓                |
| 12071000 | Spree-Neiße              | 2021                        | ✓                |
| 12073000 | Uckermark                | -                           | ✓                |

# Regionaler Stromverbrauch

## Historische Entwicklung

Stromverbrauch in MWh/km<sup>2</sup>  
Basisjahr

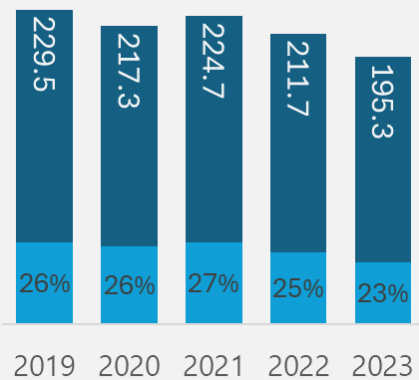


### Kartenreihen

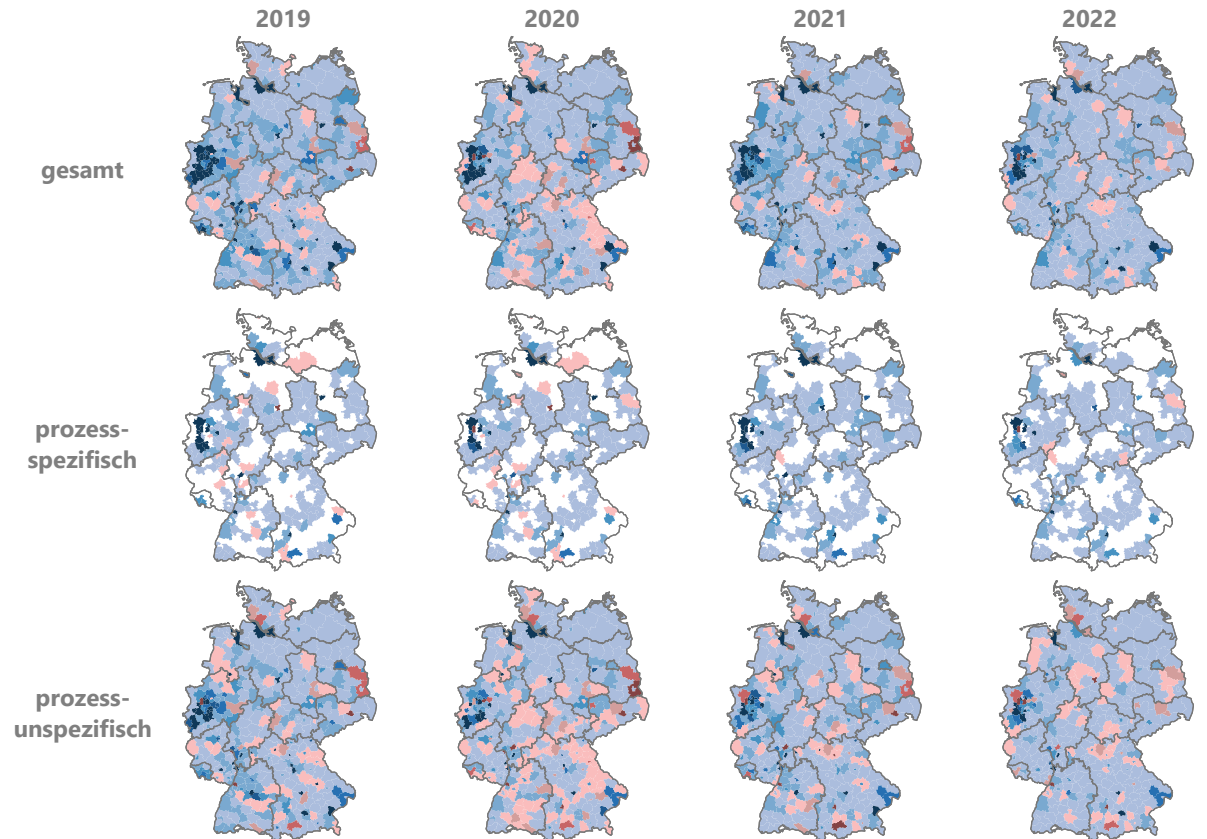
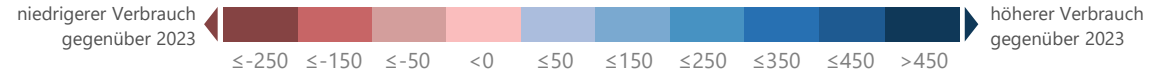
**Links:** Flächenspezifischer Stromverbrauch im Basisjahr 2023

**Rechts:** Veränderung des flächenspezifischen Stromverbrauchs gegenüber dem Basisjahr 2023

Entwicklung des industriellen Stromverbrauchs in DE [TWh] und Anteil des **prozessspezifischen Verbrauchs**



Stromverbrauch in MWh/km<sup>2</sup> - Differenz zum Basisjahr





# 6 Regionalisierung – Transformationspfade

Inhaltsverzeichnis

# Regionalisierung der Transformation

Die aus den Szenarien resultierenden **Verbräuche von Strom, H<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>-Derivaten** werden auf Landkreisebene nach Wirtschaftszweigen und energieintensiven Prozessen differenziert ausgewiesen.

Die Regionalisierung unterscheidet dabei verschiedene **Kategorien der Verbrauchsentwicklung**, die den bestehenden Verbrauch sowie konventionelle und transformationsbedingte Veränderungen abbilden. Während die konventionelle Entwicklung aus Änderungen der Wirtschaftsleistung und Effizienz resultiert, wird die transformationsbedingte Entwicklung durch Energieträgerwechsel bestimmt.

Die **Regionalisierung erfolgt ausgehend vom Basisjahr 2023** auf Grundlage der dort ermittelten regionalen Strom- und Brennstoffverbräuche der jeweiligen Wirtschaftszweige und Prozesse. Ergänzend werden für die energieintensive Industrie **Standortszenarien** erstellt, um Standortschließungen, Kapazitätsanpassungen und Änderungen der Verfahrensrouten abzubilden.

Die **maximale Anschlussleistung** wird, wie in der Vorstudie, auf Basis des regionalisierten Stromverbrauchs und wirtschaftszweigspezifischer Lastzeitreihen einer Typwoche berechnet. Der Stromverbrauch für die Raumwärme bei Elektrifizierung wird durch ein separates Wärmepumpenprofil abgebildet. Die detaillierte Methodik zur Berechnung der Lastzeitreihen und der maximalen Anschlussleistung ist in der Vorstudie beschrieben.

Im Folgenden wird die Regionalisierungsmethodik erläutert und anschließend die regionale Verbrauchsentwicklung gegenüber dem Basisjahr kartographisch dargestellt.

# Regionalisierungsmethodik

## Zukünftige Jahre

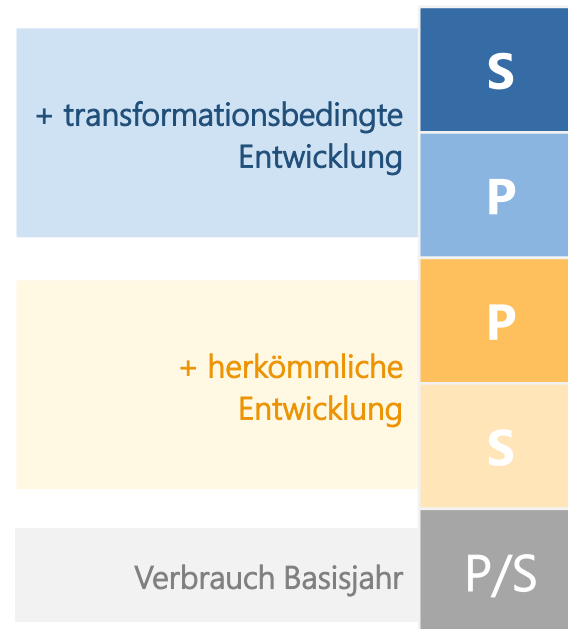
### Mantelzahlen: Energieverbrauch je WZ

nach P: Prozessverbrauch & S: sonstiger, prozessunspezifischer Verbrauch 2030-2045

Die **Mantelzahlen** werden für jedes Stützjahr nach WZ, Prozess, Anwendung und Energieträger ausgewiesen sowie nach Verbrauchsentwicklungskategorie differenziert

**Entwicklungskategorien:** Der veränderte Energieverbrauch gegenüber dem Basisjahr ist ein Resultat veränderter Wirtschaftsleistung bzw. Produktionsmengen, Effizienzsteigerung (= **herkömmliche Entwicklung**) sowie von Energieträgerwechseln (= **transformationsbedingte Entwicklung**).

Der vom Basisjahr abweichende Energieverbrauch in einem WZ wird zudem in den Verbrauch der betrachteten Prozesse (P) und dem sonstigen, prozessunspezifischen Verbrauch (S) unterschieden.

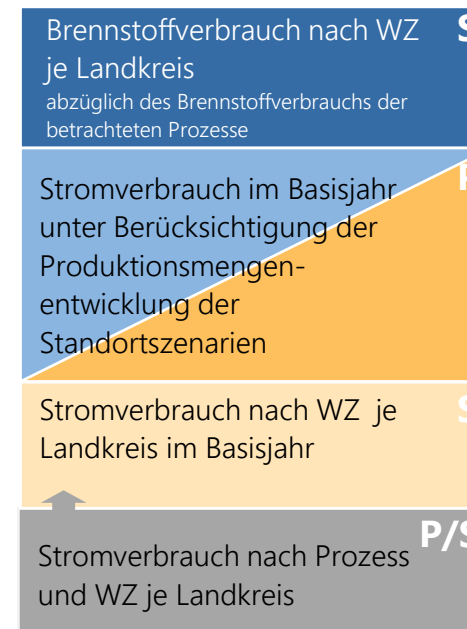


Verbrauch eines WZ für ein Stützjahr unterteilt in Entwicklungskategorien (schematische Darstellung)

### Regionalisierung: Auf Landkreisebene aggregierter Energieverbrauch

nach S & P, 2030-2045

Die **Regionalisierung** erfolgt für die einzelnen Entwicklungskategorien nach unterschiedlichen Verfahren:



Regionalisierungskriterien

Die **transformationsbedingten Verbräuche von S** werden in Abhängigkeit ihrer Anwendung anhand ausgewählter regionaler WZ-Energieträgerverbräuche des Basisjahres verortet.

**Verbräuche von P (+/-)** werden über die Stromverbräuche im Basisjahr unter Berücksichtigung von Produktionsschließungen und Produktionsmengenentwicklung verteilt.

**Nicht transformationsbedingte Verbräuche von S (+/-)** werden anhand der regionalen Verteilung des WZ-Stromverbrauchs im Basisjahr regionalisiert.

Die **Regionalisierungsergebnisse des Basisjahres** gehen zunächst in vollem Umfang in die regionale Entwicklung ein.

# Regionaler Brennstoffverbrauch

## Regionalisierungsindikator

Der Brennstoffverbrauch im Basisjahr dient als **Indikator für die Regionalisierung der transformationsbedingten prozess-unspezifischen Entwicklung** des Bedarfs an Strom, H<sub>2</sub> sowie H<sub>2</sub>-Derivaten.

Der **nach WZ, Prozess und Energieträger differenzierte Brennstoffverbrauch** wird anhand derselben Methode wie der regionale Stromverbrauch auf Landkreisebene berechnet. Aus folgenden Gründen wird dieser ausschließlich als **Regionalisierungsindikator** verstanden:

- Die Regionalstatistik (Tabelle 43531-01-02-4-B) weist je Landkreis für die einzelnen Energieträger den energetischen und nichtenergetischen Energieverbrauch in Summe aus.
- Im Vergleich zum Strom bestehen bei den übrigen Energieträgern deutlich größere Datenlücken, was einen höheren Anteil modellierter Werte bedeutet.

Die **Zusammensetzung des Regionalisierungsschlüssels** wird in Abhängigkeit der betrachteten WZ-Anwendungs-Kombination vorgenommen. Dabei fällt die Entscheidung auf diejenigen Energieträger, die in einem WZ einen nennenswerten Anteil (mind. 10 %) am Verbrauch für die Anwendung aufweisen.

### Beispiele für die Energieträgerauswahl von drei Wirtschaftszweig-Anwendungs-Kombinationen

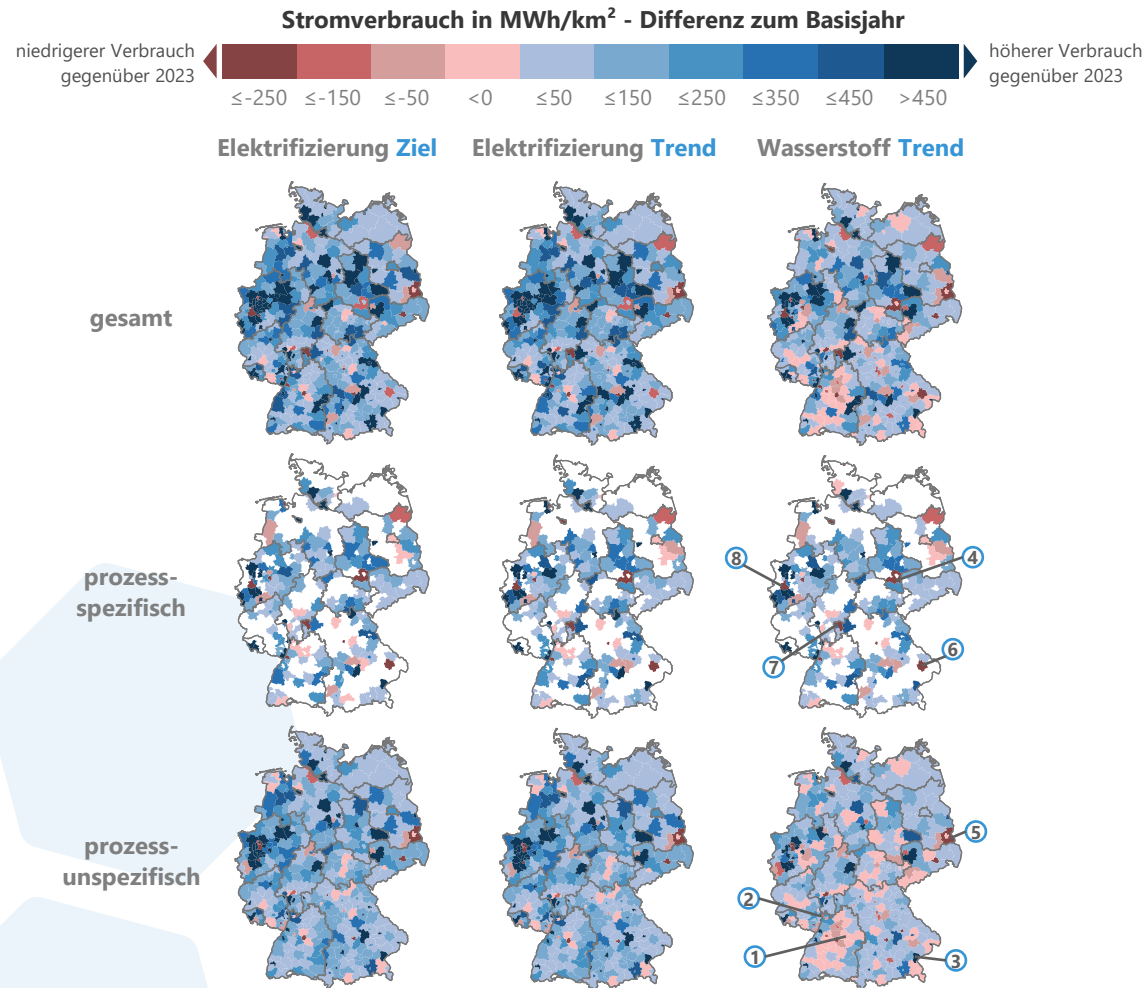
| Brennstoffe          | Indikator für Strom |   |   |
|----------------------|---------------------|---|---|
| Erdgas               | ●                   | ● | ● |
| Kohle                | ○                   | ● | ○ |
| Heizöl               | ○                   | ○ | ○ |
| Erneuerbare          | ○                   | ○ | ● |
| Sonst. Energieträger | ●                   | ○ | ○ |

- Herstellung von chemischen Erzeugnissen | Raumwärme
- H.v.Glas,-waren,Keramik,Verarb. v.Steinen u.Erden | Prozesswärme <100°C
- Ernährung und Tabak | Prozesswärme 100°C-500°C



# Regionale Ergebnisse: Strom

## Szenarienüberblick – Betrachtungsjahr 2045



Dargestellt ist die Veränderung des flächenspezifischen Stromverbrauchs je Landkreis im Vergleich zum Basisjahr.

In allen Szenarien nimmt der Stromverbrauch in der Mehrzahl der Landkreise zu.

Im Wasserstoffszenario weisen mehr Landkreise einen rückläufigen Stromverbrauch auf als in den Elektrifizierungsszenarien. In vielen Fällen überwiegt dabei der durch sinkende Produktionsmengen verursachte Rückgang des Verbrauchs gegenüber dem transformationsbedingten Mehrverbrauch. Besonders deutlich zeigt sich dies im Wirtschaftszweig *Metallerzeugung und -bearbeitung*, etwa im Rems-Murr-Kreis **(1)**.

In der Chemieindustrie verhält es sich umgekehrt. Hier überwiegt der transformationsbedingte Mehrverbrauch gegenüber dem durch sinkende Produktionsmengen verursachte Verbrauchsrückgang, wie an den Chemie-Standorten wie Ludwigshafen **(2)** und Altötting **(3)** zu sehen ist.

In allen Szenarien kommt es zudem zu einem sehr starken Verbrauchsrückgang in den Wirtschaftszweigen *Kokerei* und *Mineralölverarbeitung* sowie *Kohlenbergbau*. Besonders ausgeprägt ist diese Entwicklung im Saalekreis **(4)**, in dem beide Wirtschaftszweige vertreten sind. Auch im Landkreis Spree-Neiße **(5)** ist der hohe Rückgang überwiegend auf den Kohlenbergbau zurückzuführen; zusätzlich soll dort die Produktion von Hohlglas nach 2025 eingestellt werden.

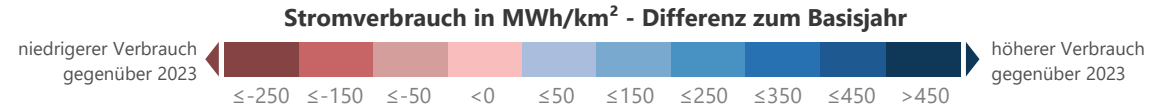
Weitere Standortschließungen, etwa in der Papier- und Zellstoff- bzw. Holzstoffproduktion in Deggendorf **(6)** und Aschaffenburg **(7)** sowie in der Primäraluminiumherstellung im Rhein-Kreis Neuss **(8)**, führen ebenfalls zu einer rückläufigen Verbrauchsentwicklung in diesen Landkreisen.

Da die Entwicklung des Stromverbrauchs eng mit der maximalen Anschlussleistung verknüpft ist, werden steigende Verbräuche und Leistungen im folgenden Abschnitt näher erläutert.

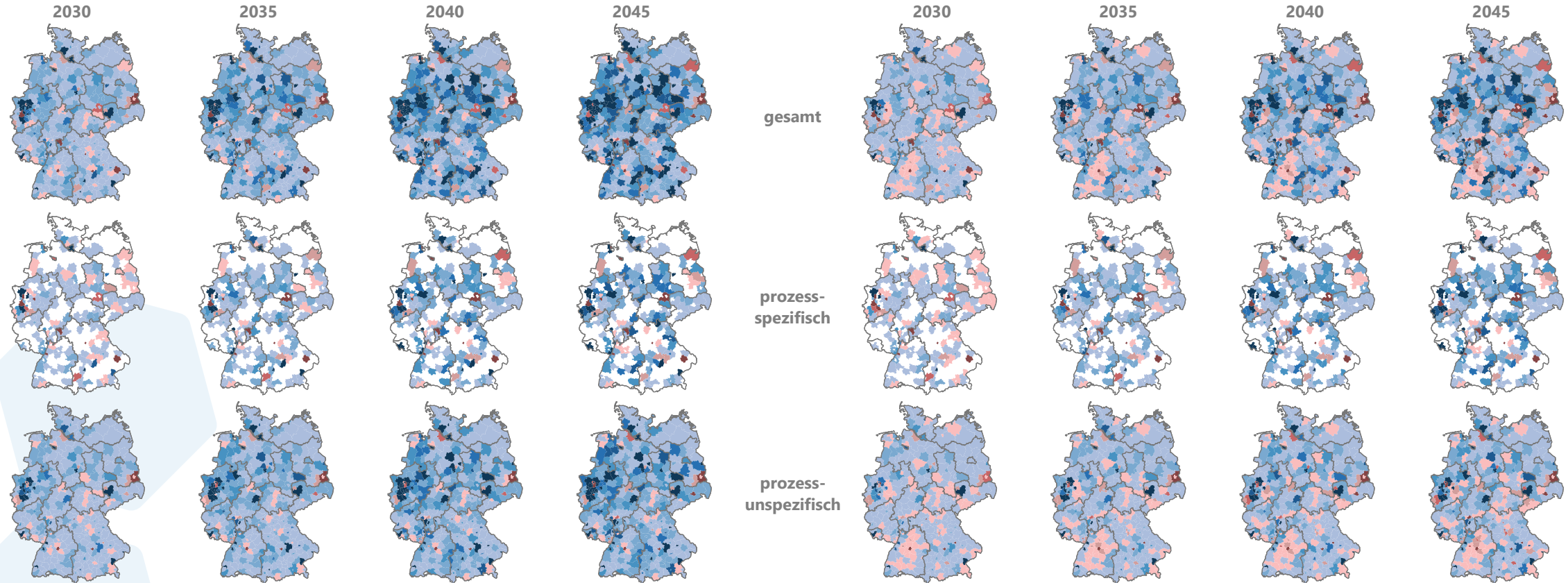
# Regionale Ergebnisse: Strom

## Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario – Trendszenariorahmen

### Elektrifizierungsszenario Trend



### Wasserstoffszenario Trend

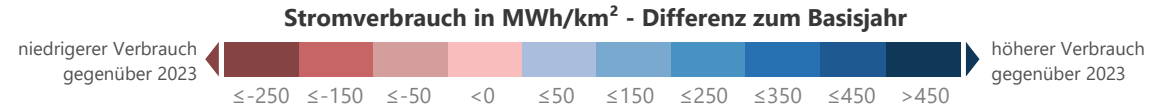


# Regionale Ergebnisse: Strom

## Elektrifizierungsszenarien – Trends- und Zielszenariorahmen

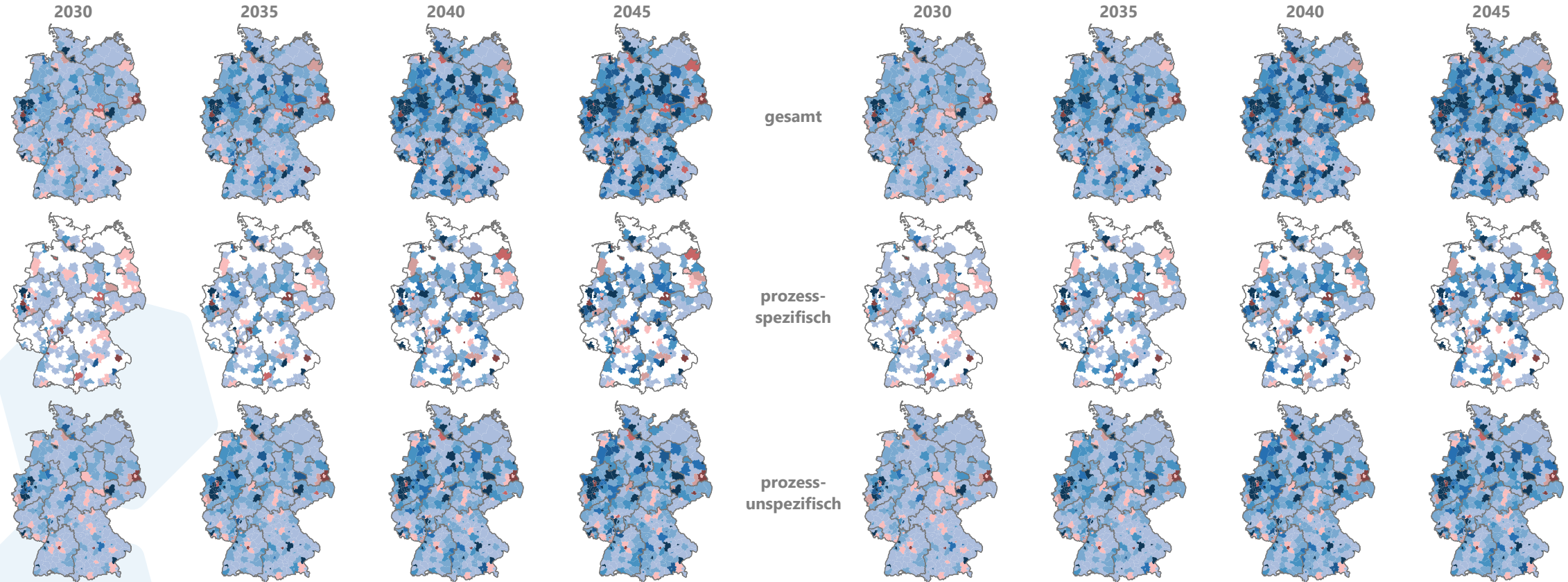
### Elektrifizierungsszenario

#### Trend



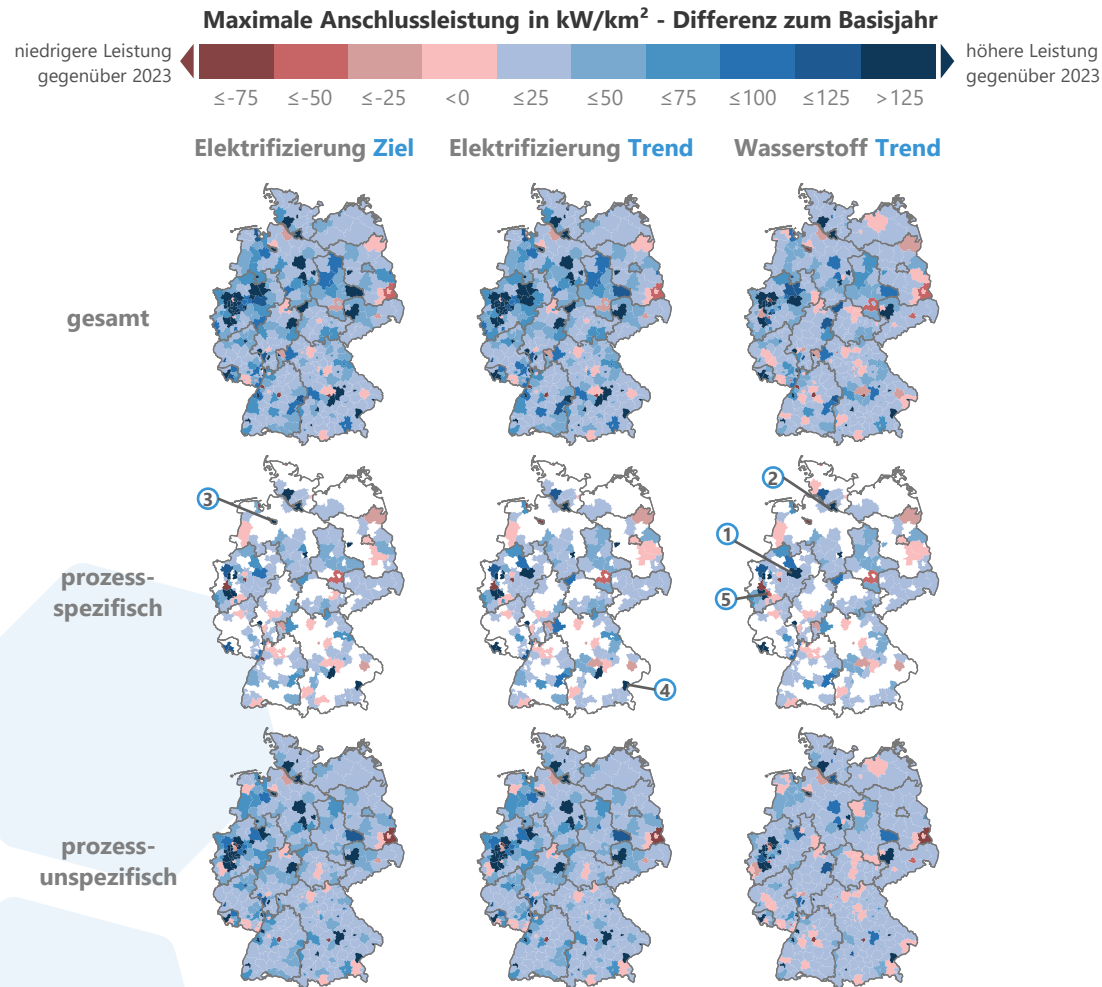
### Elektrifizierungsszenario

#### Ziel



# Regionale Ergebnisse: Maximale Anschlussleistung

## Szenarienüberblick – Betrachtungsjahr 2045



Die regionale Entwicklung der max. Anschlussleistung verläuft nicht in allen Landkreisen analog zur Stromverbrauchsentwicklung. Ausschlaggebend sind dabei die Anteile einzelner Wirtschaftszweige bzw. Prozesse am jeweiligen Stromverbrauch des Landkreises. Im Wasserstoffscenario weisen daher in Bezug auf die max. Anschlussleistung weniger Landkreise eine rückläufige Entwicklung auf als beim Stromverbrauch.

Größere Entwicklungen sind jedoch bei beiden Kenngrößen gleichermaßen erkennbar. So steigt der Stromverbrauch an Standorten der Zementklinker- und Kalkherstellung, etwa im Landkreis Soest (1), insbesondere infolge von Carbon-Capture-Prozessen. Auch steigt der Verbrauch an Standorten der Primäraluminiumherstellung wie Hamburg (2) durch den Einsatz innovativer Elektroden; entsprechend nimmt dort auch die max. Anschlussleistung zu.

Im Elektrifizierungsszenario (Ziel) erfolgt im Gegensatz zu den anderen Szenarien an allen Primärstahlstandorten bis zum Jahr 2045 ein Verfahrensroutenwechsel zur H<sub>2</sub>-Stahlproduktion. Da damit neben einem steigenden Wasserstoffverbrauch auch ein Anstieg des Stromverbrauchs einhergeht, ist die max. Anschlussleistung bspw. in Bremen (3) höher als in den anderen Szenarien.

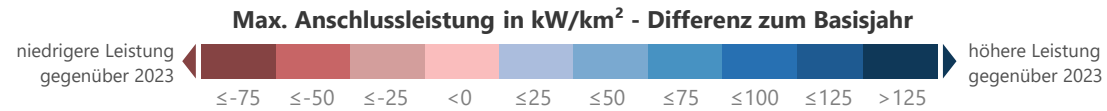
In Altötting (4) führen Transformationsprozesse in der Chemieindustrie wie der Verfahrensroutenwechsel zum elektrischen Steamcracker zu einem steigenden Stromverbrauch. Im Gegensatz zu den anderen Szenarien kommt dieser im Wasserstoffscenario nur in Ludwigshafen zum Einsatz. Daher ist im Wasserstoffscenario in Köln (5) die Entwicklung der max. Anschlussleistung rückläufig, da dort im Gegensatz zu den Elektrifizierungsszenarien der elektr. Steamcracker nicht zum Einsatz kommt und gleichzeitig dort ein starker Verbrauchrückgang in der Mineralölindustrie stattfindet.

In Köln ist zudem im Elektrifizierungsszenario (Ziel) der Anstieg des Stromverbrauchs und der max. Anschlussleistung aufgrund der höheren Ammoniakproduktion höher als in den anderen Szenarien.

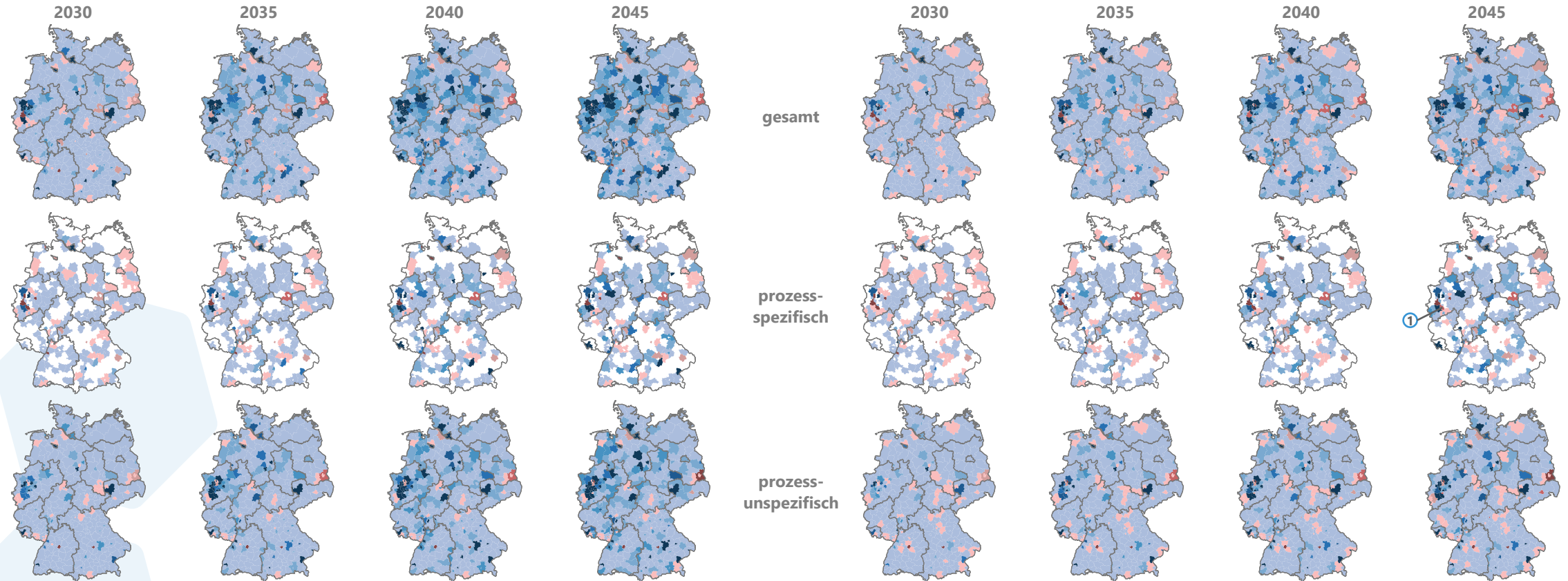
# Regionale Ergebnisse: Maximale Anschlussleistung

## Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario – Trendszenariorahmen

### Elektrifizierungsszenario Trend



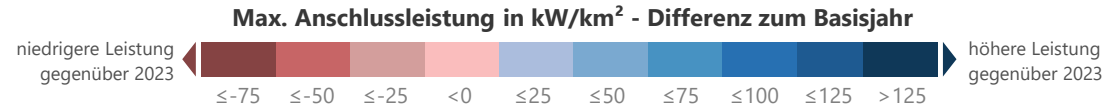
### Wasserstoffszenario Trend



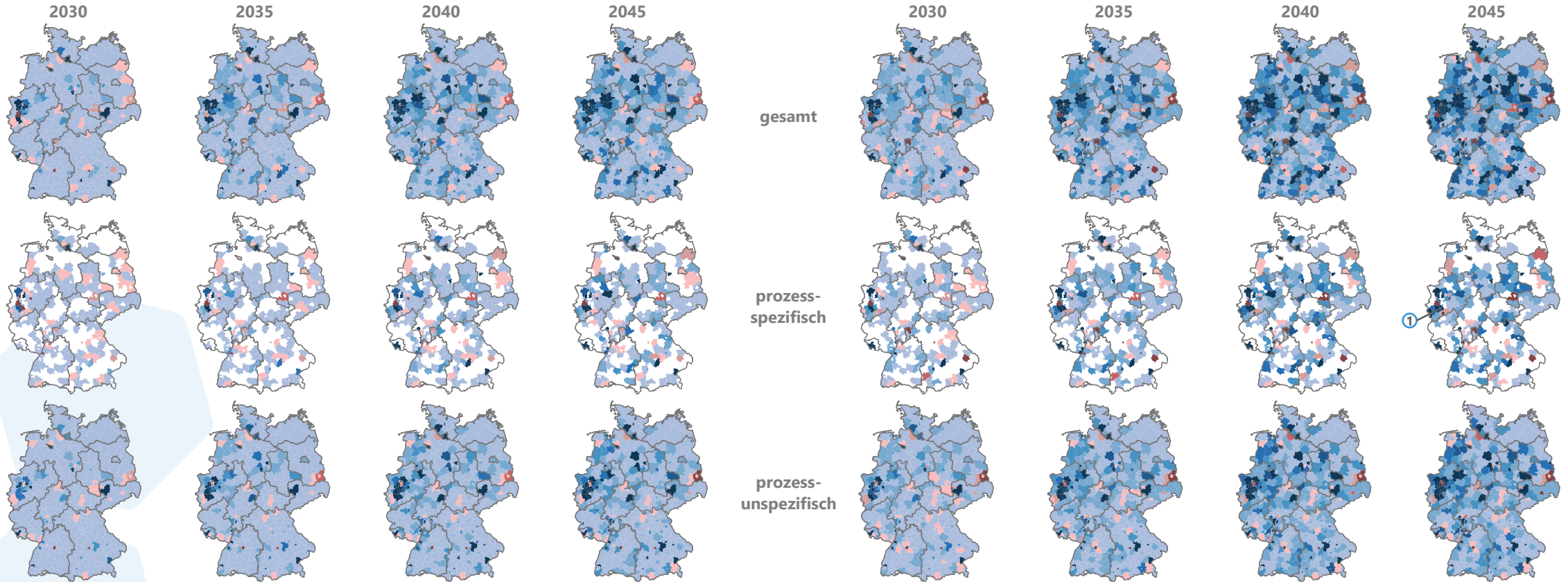
# Regionale Ergebnisse: Maximale Anschlussleistung

## Elektrifizierungsszenarien – Trend- und Zielszenariorahmen

### Elektrifizierungsszenario Trend

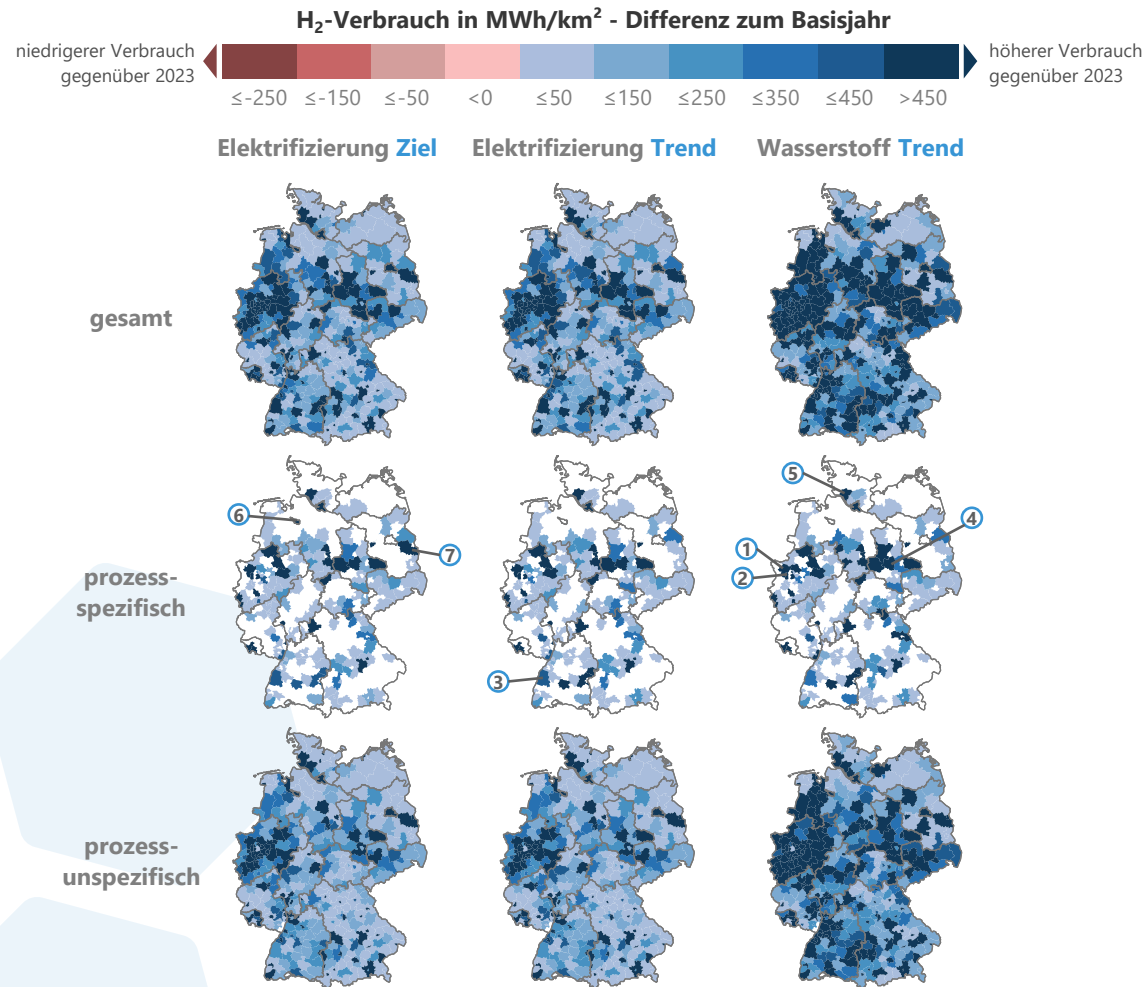


### Elektrifizierungsszenario Ziel



# Regionale Ergebnisse: Wasserstoff

## Szenarienüberblick – Betrachtungsjahr 2045



Dargestellt ist die Veränderung des flächenspezifischen H<sub>2</sub>-Verbrauchs je Landkreis im Vergleich zum Basisjahr.

In allen Szenarien erfolgt der H<sub>2</sub>-Verbrauch insbesondere in den Wirtschaftszweigen *Herstellung von Chemischen Erzeugnissen* und *Metallerzeugung und -bearbeitung*. Hohe Verbräuche fallen in diesen Wirtschaftszweigen an Standorten folgender Produktionen an:

- H<sub>2</sub>-Stahl z. B. in Duisburg **(1)**,
- Primäraluminium z. B. in Wesel **(2)**,
- Sekundärstahl z. B. im Ortenaukreis **(3)**,
- Soda z. B. im Salzlandkreis **(4)**
- und Ammoniak z. B. in Steinburg **(5)**

In den Szenarien mit Trendszenariorahmen erfolgt dabei der Verfahrensroutenwechsel zu H<sub>2</sub>-Stahl ausschließlich im Regionalverband Saarbrücken und den Landkreisen Saarlouis, Saargiller sowie Duisburg, wohingegen im Elektrifizierungsszenario mit Zielszenariorahmen auch ein Verfahrensroutenwechsel in Bremen **(6)** und Oder-Spree **(7)** stattfindet.

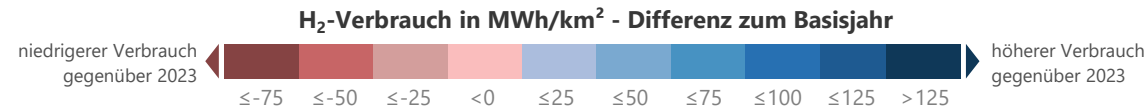
Aber auch bei der Herstellung von Zementklinker, Kalk, Hohlglas, Flachglas und Papier sowie prozessunspezifisch in fast allen Wirtschaftszweigen für die Mittel- und Hochtemperatur-Prozesswärme wird H<sub>2</sub> flächendeckend benötigt.

Insgesamt ist der Verbrauch an H<sub>2</sub> im Wasserstoffsszenario deutlich höher als in den Elektrifizierungsszenarien, die Charakteristik der räumlichen Verteilung der Verbräuche ist in allen Szenarien allerdings relativ ähnlich.

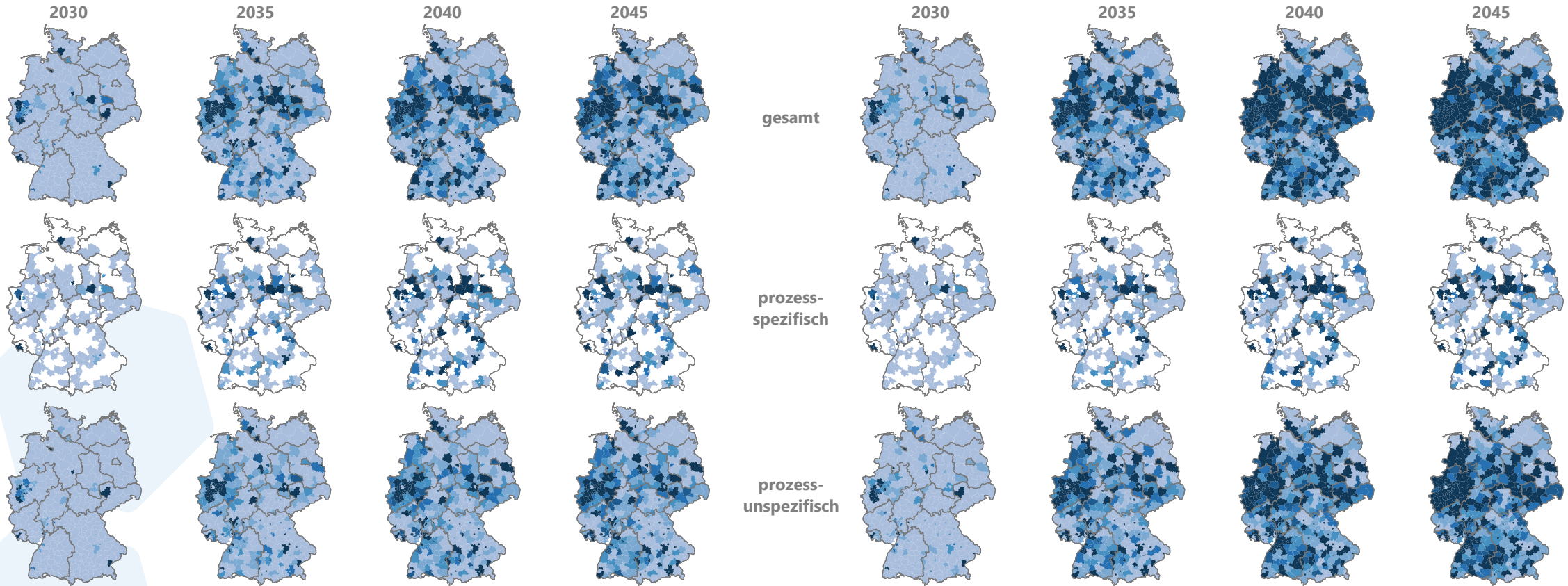
# Regionale Ergebnisse: Wasserstoff

## Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario – Trendszenariorahmen

### Elektrifizierungsszenario Trend



### Wasserstoffszenario Trend

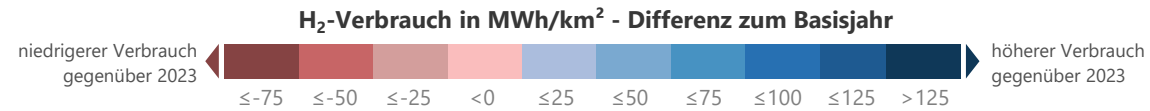


# Regionale Ergebnisse: Wasserstoff

## Elektrifizierungsszenarien – Trend- und Zielszenariorahmen

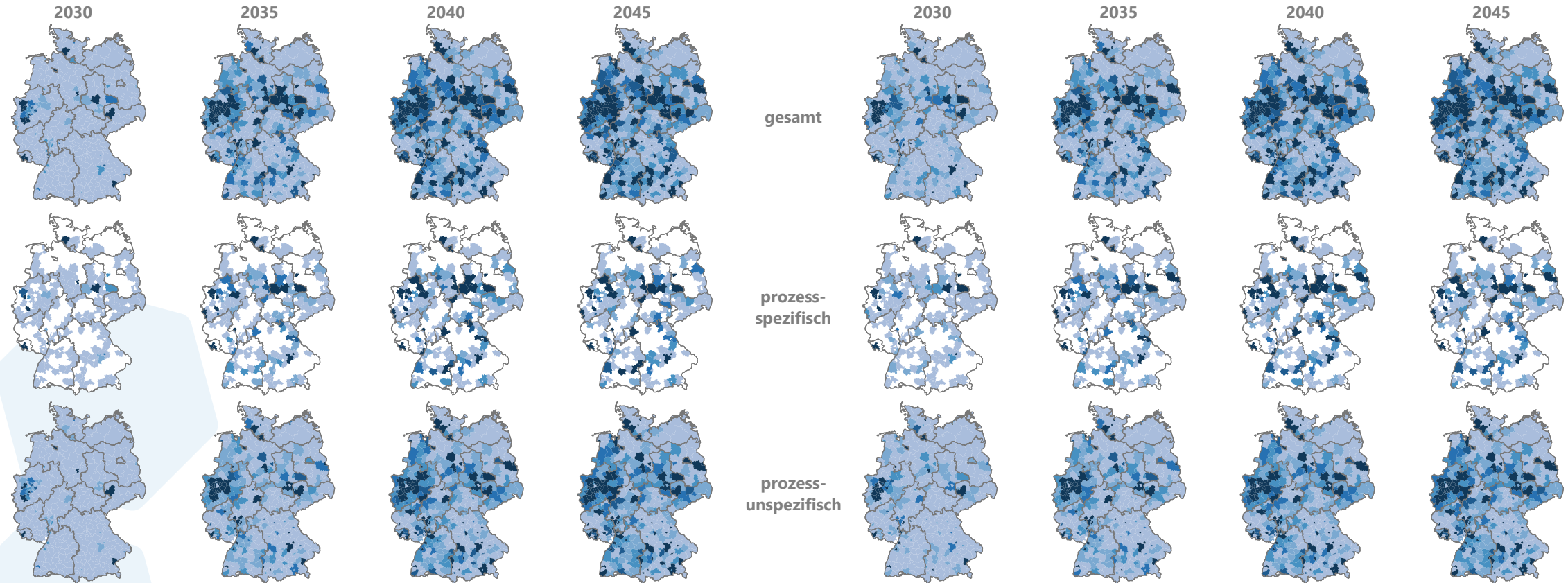
### Elektrifizierungsszenario

#### Trend



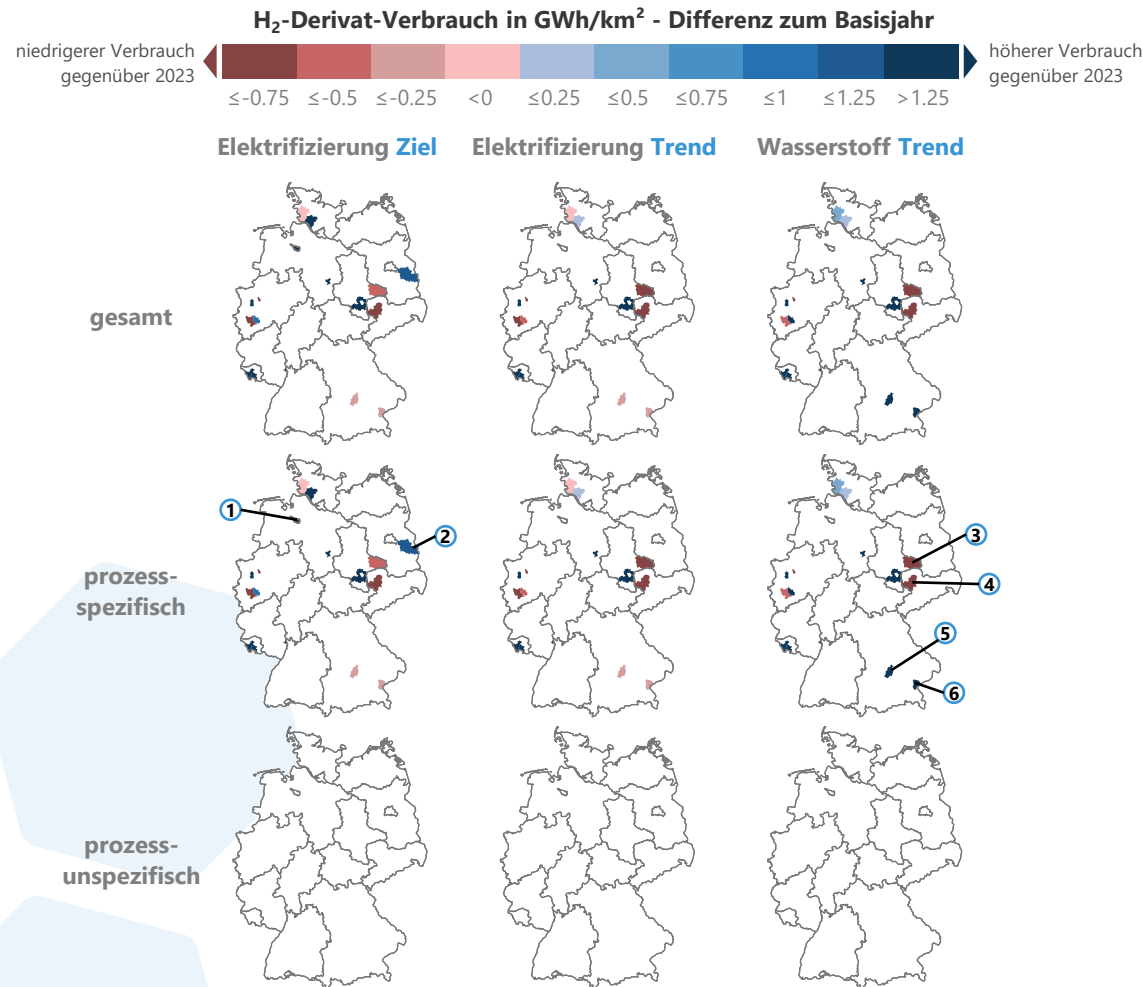
### Elektrifizierungsszenario

#### Ziel



# Regionale Ergebnisse: H<sub>2</sub>-Derivate

## Szenarienüberblick – Betrachtungsjahr 2045



Dargestellt ist die Veränderung des flächenspezifischen Verbrauchs von H<sub>2</sub>-Derivaten in den Szenarien im Vergleich zum Basisjahr je Landkreis.

Der Verbrauch erfolgt ausschließlich an Standorten für die Produktion von High Value Chemicals, H<sub>2</sub>-Stahl, Methanol und Ammoniak.

Die stoffliche Nutzung von H<sub>2</sub> ist für die Produktion von H<sub>2</sub>-Stahl relevant. An den Produktionsstandorten von H<sub>2</sub>-Stahl wird stofflich genutztes Gas als Übergang verwendet, bis H<sub>2</sub> in ausreichenden Mengen zur Verfügung steht.

Dadurch, dass im Elektrifizierungsszenario (Ziel) die H<sub>2</sub>-Stahlproduktion an allen Primärstahlproduktionsstandorten erfolgt, ist auch in Bremen (1) und im Landkreis Oder-Spree (2) ein Verbrauch von stofflich genutztem Wasserstoff und Gas erkennbar.

Gas wird ansonsten noch für die konventionelle Methanol- und Ammoniakherstellung stofflich genutzt, allerdings mit stark rückläufiger Verbrauchsentwicklung, was im Falle der Ammoniakherstellung im Landkreis Wittenberg (3) deutlich zu erkennen ist.

Stofflich genutztes Naphtha und Methanol werden ausschließlich an Standorten von Steamcrackern verbraucht. Dadurch, dass der Steamcracker in Leipzig (4) außerbetrieb genommen wird, gibt es dort auch allgemein keinen Verbrauch mehr an Derivaten.

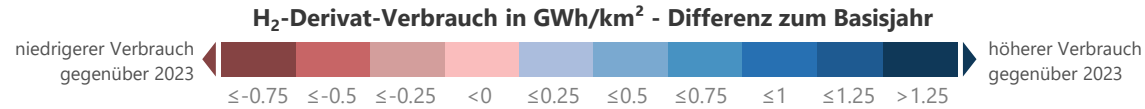
Stofflich genutztes Methanol kommt zudem nur im WasserstoffszENARIO zum Einsatz, weshalb Pfaffenhofen an der Ilm (5) und Altötting (6) im Gegensatz zu den Elektrifizierungsszenarien eine zunehmende Verbrauchsentwicklung aufweisen.

# Regionale Ergebnisse: H<sub>2</sub>-Derivate

## Elektrifizierungs- und Wasserstoffszenario – Trendszenariorahmen

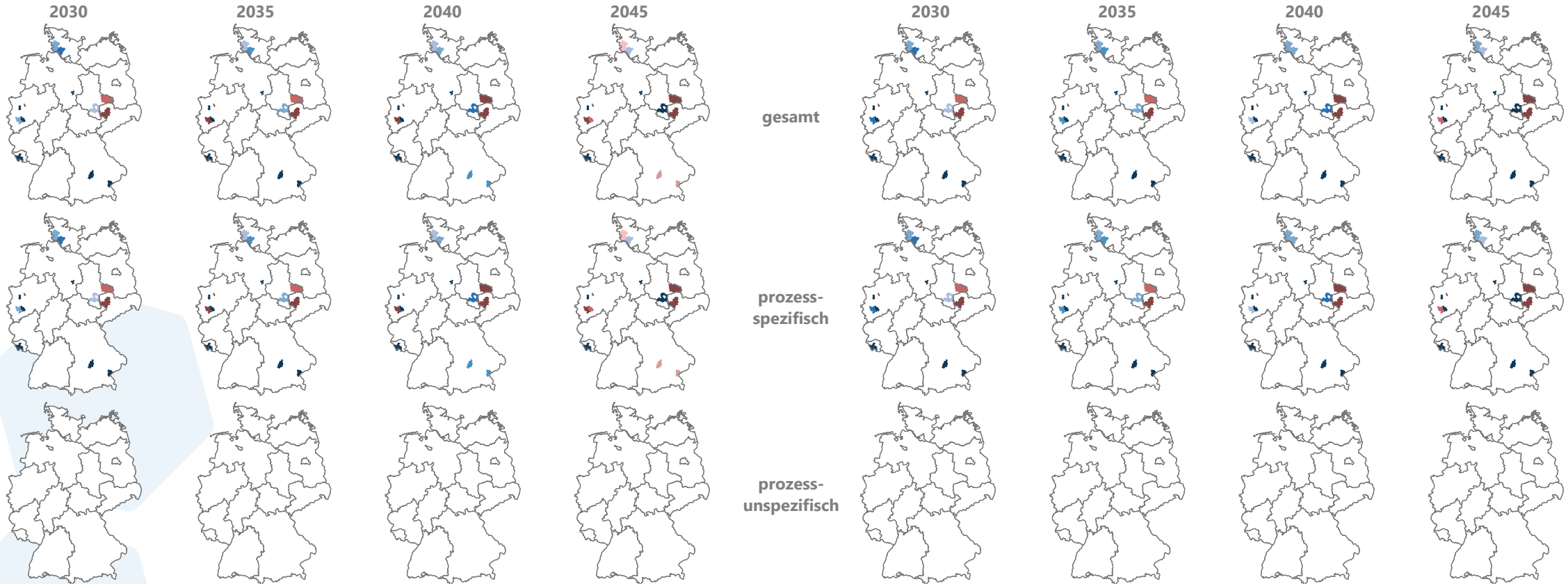
### Elektrifizierungsszenario

#### Trend



### Wasserstoffszenario

#### Trend

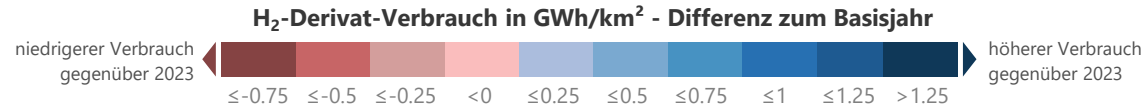


# Regionale Ergebnisse: H<sub>2</sub>-Derivate

## Elektrifizierungsszenarien – Trend- und Zielszenariorahmen

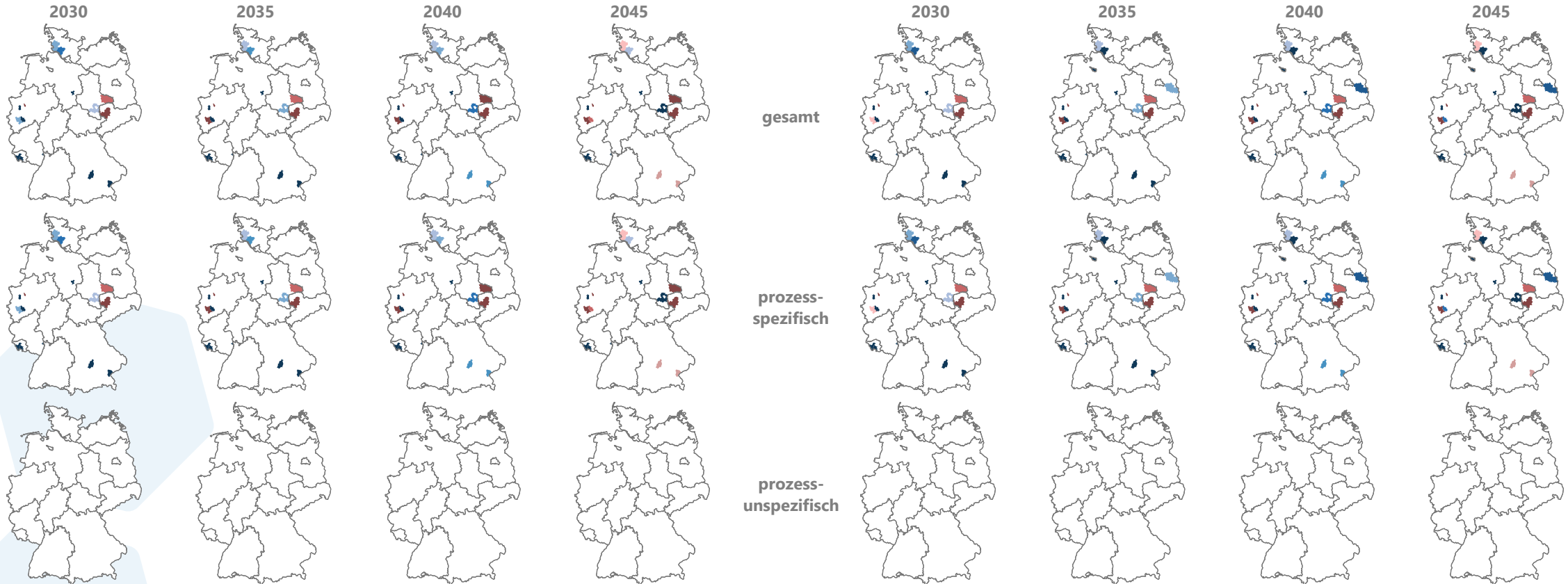
### Elektrifizierungsszenario

#### Trend



### Elektrifizierungsszenario

#### Ziel



# Limitationen der Studie

In der Studie kann auf ein umfangreiches Modell mit Detailbetrachtungen einzelner Prozesse und Dekarbonisierungsmaßnahmen sowie fundiertes Vorwissen und Projekterfahrung im Bereich Industrietransformation, -szenarien und Regionalisierung aufgebaut werden. Folgende Aspekte könnten allerdings in höherer Breite und Tiefe betrachtet werden:

## Transformationstool

- Anzahl der betrachteten Prozesse
- Linearität von Brennstoffwechseln, Verfahrensroutenwechseln, Carbon Capture Maßnahmen (Diese Vereinfachungen sind in der Industriemodellierung üblich, limitieren allerdings das Ergebnis.)

## Szenarien

- Der Fokus im Projekt liegt auf H<sub>2</sub>-, H<sub>2</sub>-Derivate- und Stromverbräuchen: Durch eine vollständige Auswertung des EEV nach Prozess kann ein ganzheitlicheres Bild auf die Transformation geworfen werden.

## Regionalisierung

- Sofern keine Standortszenarien vorliegen, werden die Endenergieverbräuche der Verfahrensrouten- und Energieträgerwechsel gewichtet nach dem Stromverbrauch der Standorte verteilt. Realistisch wäre es, dass die Standorte sich nur für bestimmte Wechsel entscheiden.
- In der Regionalisierung wird kein Hochlauf des Wasserstoff- und CCS-Einsatzes anhand möglicher Infrastrukturhochläufe (Verfügbarkeit Anschluss ans Kernnetz) abgebildet. Dieser potenziell stufenweise Hochlauf wird auch in der Linearität des Transformationstools nicht abgebildet.

# Vielen Dank



**FABIAN JETTER**

Head of Geodata Lab & Data Analytics  
Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH

FJETTER@FFE.DE



**AÏCHA PLATZDASCH**

Research Associate  
Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH

APLATZDASCH@FFE.DÉ

**FfE München**

Am Blütenanger 71  
D-80995 München

**FfE Berlin**

Albrechtstraße 22  
D-10117 Berlin



[www.ffe.de](http://www.ffe.de)



# 7 Literaturverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

# Literatur

- AGEB-01 20** Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2018: [https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=bilanz18d.xls](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=bilanz18d.xls); Berlin: AG Energiebilanzen e.V. (AGEB), 2020.
- AGORA-07 19** Joas, Fabian; Witecka, Wido; Lenck, Thorsten; Peter, Frank; Seiler, Fiona; Samadi, Sascha; Schneider, Clemens; Holtz, Georg; Kobiela, Georg; Lechtenböhrer, Stefan; Dinges, Katja; Steinbacher, Karoline; Schröder, Jonas; Sach, Thobias; Schimmel, Matthias; Kliem, Christine; Altrock, Martin; Lehnert, Wieland; Finke, Jasper; Yilmaz, Yasin: Klimaneutrale Industrie - Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. Berlin, Wuppertal: Agora Energiewende, 2019.
- ARCE-01 25P** ArcelorMittal Europe drängt auf schnellere Umsetzung des Aktionsplans für Stahl und Metalle. In [https://germany.arcelormittal.com/icc/arcelor/nav/359/broker.jsp?uMen=2ee70f5f-705d-5091-40a3-d6d1ae2bc09d&uCon=37c6419a-1a78-791c-a42a-e646185468c7&uTem=f6270cf6-9dfe-6781-f467-79d4d933f076&\\_ic\\_currentpage=&\\_ic\\_currentpagesize=&all=true&\\_ic\\_back=true](https://germany.arcelormittal.com/icc/arcelor/nav/359/broker.jsp?uMen=2ee70f5f-705d-5091-40a3-d6d1ae2bc09d&uCon=37c6419a-1a78-791c-a42a-e646185468c7&uTem=f6270cf6-9dfe-6781-f467-79d4d933f076&_ic_currentpage=&_ic_currentpagesize=&all=true&_ic_back=true). (Abruf am 2025-12-17); Hamburg: ArcelorMittal Germany Holding GmbH, 2025.
- ARG-01 23P** Hedvat, Keyvan: Nynas to convert Harburg refinery site into terminal. London: Argus Media group, 2023.
- ARG-01 24P** BP to close third of capacity at German refinery. In <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2545585-bp-to-close-third-of-capacity-at-german-refinery>. (Abruf am 2025-12-22); London: Argus Media group, 2024.
- ASD-01 06P** Stora Enso schließt Papierwerk. In <https://www.welt.de/regionales/nrw/article157503/Stora-Enso-schliesst-Papierwerk.html>. (Abruf am 2025-12-22); Berlin: Axel Springer Deutschland GmbH, 2006.
- BA-01 21** Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte nach Wirtschaftsabteilungen der WZ 2008; Nürnberg: Bundesagentur für Arbeit, 2021.
- BEL-01 21P** Bellmann, Lutz; Bourgeon, Pauline; Gathmann, Christina; Kagerl, Christian; Marguerit, David; Martin, Ludivine; Pohlan, Laura; Roth, Duncan: Digitalisierungsschub in Firmen während der Corona-Pandemie. In: Wirtschaftsdienst 101/2021. Hamburg: ZBW - Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft, 2021. DOI: 10.1007/s10273-021-3005-3.

# Literatur

**BER-01 25P**

Pertz, Thomas: Statusbericht im Februar 2025: So reagiert das Stahlwerk Benteler in Lingen auf US-Zölle und Energiekosten. In <https://energie-emsland.com/energie-aus-elektrizitaet-im-emsland/statusbericht-im-februar-2025-so-reagiert-das-stahlwerk-benteler-in-lingen-auf-us-zoelle-und-energiekosten/>. (Abruf am 2025-12-23); Emsbüren: Bernd Robben, 2025.

**BGCK-01 24P**

Carl Lenz paper mill will cease operations in mid-2025. In <https://www.paper-world.com/en/newsdetail/carl-lenz-paper-mill-will-cess-operations>. (Abruf am 2025-12-22); Hamburg: Birkner GmbH & Co. KG, 2024.

**BGEV-02 21**

Jahresbericht 2020. Düsseldorf: Bundesverband Glasindustrie e. V., 2021.

**BGEV-02 23P**

Jahresbericht 2022/23. Düsseldorf: Bundesverband Glasindustrie e.V., 2023.

**BGEV-02 24P**

Jahresbericht 2023/24. Düsseldorf: Bundesverband Glasindustrie e.V., 2024.

**BGEV-04 22P**

Jahresbericht 2021/22. Düsseldorf: Bundesverband Glasindustrie e.V., 2022.

**BGR-01 23P**

Bastian, Dennis; Bookhagen, Britta; Eicke, Corinna; Elsner, Harald; Henning, Sören; Kern, Marius; Kuhn, Kerstin; Liesegang, Michael; Lutz, Rüdiger; Mähltz, Paul; Moldenhauer, Kirsten; Pein, Martin; Schauer, Michael; Schmidt, Sandro; Schmitz, Martin; Szurlies, Michael; Wittenberg, Antje: Deutschland - Rohstoffsituation 2022. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2023. DOI: 10.25928/dero-si22.

**BGR-01 24P**

Bagge, Meike; Bastian, Dennis; Bookhagen, Britta; Eicke, Corinna; Elsner, Harald; Henning, Sören; Kern, Marius; Klitzke, Peter; Kuhn, Kerstin; Liesegang, Michael; Lutz, Rüdiger; Mähltz, Paul; Moldenhauer, Kirsten; Pein, Martin; Schauer, Michael; Schmidt, Sandro; Schmitz, Martin; Sievers, Henrike; Szurlies, Michael: Deutschland - Rohstoffsituation 2023. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2024. ISBN: 978-3-910923-03-4.

**BGR-02 20**

Andrulleit, Harald; Elsner, Harald; Henning, Sören; Homberg-Heumann, Doris; Kreuz, Antje; Kuhn, Kerstin: Deutschland – Rohstoffsituation 2019. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2020.

# Literatur

- BGR-02 22P** Bookhagen, Britta; Eicke, Corinna; Elsner, Harald; Henning, Sören; Kern, Marius; Kresse, Carolin; Kuhn, Kerstin; Liesegang, Michael; Lutz, Rüdiger; Mähltitz, Paul; Moldenhauer, Kirsten; Pein, Martin; Schauer, Michael; Schmidt, Sandro; Schmitz, Martin; Sievers, Henrike; Szurlies, Michael: Deutschland - Rohstoffsituation 2021. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2022. ISBN: 978-3-948532-72-7.
- BGR-04 21** Baier, Matthias; Bookhagen, Britta; Eicke, Corinna; Elsner, Harald; Henning, Sören; Kuhn, Kerstin; Lutz, Rüdiger; Moldenhauer, Kirsten; Pein, Martin; Schauer, Michael; Schmidt, Sandro; Schmitz, Martin; Sievers, Henrike; Szurlies, Michael: Deutschland – Rohstoffsituation 2020. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021. ISBN: 978-3-948532-55-0.
- BNN-01 22P** Juch, Stephan: Letzter Produktionstag bei Baden Board in Gernsbach im Packaging-Bereich. In <https://bnn.de/mittelbaden/gaggenau/gernsbach/baden-board-letzter-produktionstag-packaging-bereich-aus-fuer-traditionsunternehmen>. (Abruf am 2025-12-22); Karlsruhe: Badische Neueste Nachrichten Badendruck GmbH, 2022.
- BR-02 25P** Beige, Valentin: Ende einer Legende: Sappi-Turm in Stockstadt gesprengt. In <https://www.br.de/nachrichten/bayern/ende-einer-legende-sappi-turm-in-stockstadt-gesprengt>, UpKCM9p. (Abruf am 2025-12-22); München: Bayerischer Rundfunk, 2025.
- BR-03 25P** Regensburger, Florian; Einzel, Dominik: Papierfabrik schließt: 235 Jobs im Unterallgäu fallen weg. In <https://www.br.de/nachrichten/bayern/papierfabrik-schliesst-235-jobs-in-ettringen-fallen-weg>, UfACRVP. (Abruf am 2025-12-22); München: Bayerischer Rundfunk, 2025.
- BSK-01 25P** UPM schließt Papierfabrik in Ettringen / 235 Arbeitsplätze betroffen. In <https://www.bayern.de/upm-schliet-papierfabrik-in-ettringen-235-arbeitspltze-betroffen/>. (Abruf am 2025-12-22); München: Bayerische Staatskanzlei, 2025.
- DBB-01 24P** Monatsbericht: Schwäche der deutschen Kfz-Industrie setzt sich fort. In <https://www.bundesbank.de/de/aufgaben/themen/monatsbericht-schwaecher-der-deutschen-kfz-industrie-setzt-sich-fort-944796>. (Abruf am 2025-12-17); Frankfurt a. M.: Deutsche Bundesbank, 2024.
- DECH-02 19** Roadmap Chemie 2050 - Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland. München, Frankfurt: FutureCamp Climate GmbH, 2019. ISBN: 978-3-89746-223-.

# Literatur

**DESTATIS-01 26P**

Produktion im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Quartale, Güterverzeichnis (9-Steller). In

**DESTATIS-03 22**

Energieverwendung der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe - Stromerzeugung, Strombezug, Stromabgabe, Stromverbrauch: Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige (Tabelle: 43531-0002); Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022.

**DESTATIS-04 22**

Jahreserhebung über die Energieverwendung der Betriebe im Verarbeitendem Gewerbe - Energieverbrauch, Jahressumme - regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte (Tabelle: 43531-01-02-4); Düsseldorf: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2022.

# Literatur

- DEU-07 23P** Zinke, Olaf: BASF legt Ammoniak-Produktion still und baut 2600 Stellen ab. In <https://www.agrarheute.com/management/agribusiness/basf-legt-ammoniak-produktion-still-baut-2600-stellen-ab-603952>. (Abruf am 2025-12-17); München: Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, 2023.
- DEU-08 23P** Heymann, Eric: Deutsche Industrie: Strukturwandel im Gange. Frankfurt a. M.: Deutsche Bank AG, 2023.
- DFBE-10 19** Ireson, R; Fuller, A; Woods, J; Simon, R; Andrews, G; Bingham, P; Hakes, S; Davies, M: Alternative Fuel Switching Technologies for the Glass Sector - Final Report - BEIS Industrial Fuel Switching Phase 2. UK: Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2019.
- DILL-01 24P** Nächster Schritt zur Transformation: Zentrale Anlagen für größtes europäisches Dekarbonisierungsprojekt Power4Steel bestellt. In <https://www.dillinger.de/aktuelles/pressemitteilungen/nachster-schritt-zur-transformation-zentrale-anlagen-fur-grosstes-europaisches-dekarbonisierungsprojekt-power4steel-bestellt/?id=17507>. (Abruf am 2025-12-18); Dillingen: Aktien-Gesellschaft der Dillinger Hüttenwerke, 2024.
- DIW-01 25P** Danne, Christian; Gornig, Martin; Pagenhardt, Laura: Trendwende in der Bauwirtschaft in Sicht – politischer Handlungsdruck nimmt dennoch zu. In [https://www.diw.de/de/diw\\_01.c.931570.de/publikationen/wochenberichte/2025\\_01\\_1/trendwende\\_in\\_der\\_bauwirtschaft\\_in\\_sicht\\_\\_\\_politischer\\_handlungsdruck\\_nimmt\\_dennoch\\_zu.html](https://www.diw.de/de/diw_01.c.931570.de/publikationen/wochenberichte/2025_01_1/trendwende_in_der_bauwirtschaft_in_sicht___politischer_handlungsdruck_nimmt_dennoch_zu.html). (Abruf am 2025-12-17); Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (DIW Berlin), 2025.
- DIW-03 22P** Gornig, Martin; Michelsen, Claus; Pagenhardt, Laura: Bauwirtschaft: Hohe Preisdynamik setzt sich fort – Geschäfte laufen trotz Corona-Krise gut. In [https://www.diw.de/de/diw\\_01.c.833281.de/publikationen/wochenberichte/2022\\_01\\_1/bauwirtschaft\\_\\_hohe\\_preisdynamik\\_setzt\\_sich\\_fort\\_\\_\\_\\_geschaefte\\_laufen\\_trotz\\_corona-krise\\_gut.html](https://www.diw.de/de/diw_01.c.833281.de/publikationen/wochenberichte/2022_01_1/bauwirtschaft__hohe_preisdynamik_setzt_sich_fort____geschaefte_laufen_trotz_corona-krise_gut.html). (Abruf am 2025-12-17); Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (DIW Berlin), 2022.
- DPI-01 23P** Papier 2023 - Statistiken zum Leistungsbericht. Berlin: Die Papierindustrie e.V., 2023.

# Literatur

- DPI-01 25** Leistungsbericht Papier 2025. Berlin: DIE PAPIERINDUSTRIE e. V., 2025.
- DYC-01 18P** Dyckerhoff informiert über Integration der Portland Zementwerke Seibel & Söhne. In <https://www.dyckerhoff.com/w/presse-seibel-integration>. (Abruf am 2025-12-22); Wiesbaden: Dyckerhoff GmbH, 2018.
- ECL-01 20** Chlor-alkali industry review 2019-2020. Brussels: Euro Chlor, 2020.
- ECL-01 21P** Chlor-Alkali industry review 2020/2021. Brüssel: Euro Chlor, 2021.
- ECL-01 22P** Chlor-Alkali industry review 2021-2022 - Euro Chlor on its own transition pathway. Brüssel: Euro Chlor, 2022.
- ECL-01 23P** Chlor-Alkali Industry Review 2022-2023 - Remaining safe and competitive while achieving climate neutrality. Brüssel: Euro Chlor, 2023.
- ECL-01 24P** Chlor-Alkali Industry Review 2023-2024. Brüssel: Euro Chlor, 2024.
- EMG-01 21P** Lenninger Papierfabrik stellt die Produktion von Silphie-Papier ein. In <https://www.print.de/news-de/lenninger-papierfabrik-stellt-die-produktion-von-silphie-papier-ein/>. (Abruf am 2025-12-22); Ulm: Ebner Media Group GmbH & Co. KG, 2021.
- EMG-01 23P** Wessendorf, Ansgar: Sappi schließt Papierwerk in Stockstadt - Priorität liegt auf Papierlösungen für Verpackungen und Etiketten. In <https://www.flexotiefdruck.de/menschen-maerkte/sappi-schliesst-papierwerk-in-stockstadt/>. (Abruf am 2025-12-17); Ulm: Ebner Media Group GmbH & Co. KG, 2023.
- EMG-02 24P** Leipa nimmt die Papiermaschine PM1 aus der Produktion. In <https://www.print.de/news-de/leipa-nimmt-die-papiermaschine-pm1-aus-der-produktion/>. (Abruf am 2025-12-23); Ulm: Ebner Media Group GmbH & Co. KG, 2024.

# Literatur

- ERA-01 25P** Wir brauchen eine Duisburger Lösung - Die IG Metall fordert Sicherheit und Perspektive für die mehr als 850 Beschäftigten von ArcelorMittal in Duisburg. In <https://duisburg-dinslaken.igmetall.de/news/2025-06-27-igm-fordert-investitionsentscheidung-arcelor-mittal>. (Abruf am 2025-12-18); Frankfurt a. M.: IG Metall, 2025.
- EUROME-01 25P** Koehl, Christian: Stahlwerk Bous up for sale. In <https://eurometal.net/stahlwerk-bous-up-for-sale/>. (Abruf am 2025-12-19); Hamm: EUROMETAL, 2025.
- EUWID-01 23P** Kübler & Niethammer Papierfabrik Kriebstein stellt Betrieb ein. In <https://www.euwid-papier.de/news/unternehmen/kuebler-niethammer-papierfabrik-kriebstein-stellt-betrieb-ein-170323/>. (Abruf am 2025-12-17); Gernsbach: EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH, 2023.
- EUWID-01 24P** Shell führt Methanolproduktion in Wesseling nicht mehr fort. In <https://www.euwid-holz.de/news/holzwerkstoffe/shell-fuehrt-methanolproduktion-in-wesseling-nicht-mehr-fort-081024/>. (Abruf am 2025-12-19); Gernsbach: EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH, 2024.
- EUWID-02 24P** Wellpappenrohpaapiere: Raubling Papier schließt zum 31. Dezember 2024. In <https://www.euwid-papier.de/news/unternehmen/wellpappenrohpaapiere-raubling-papier-schliesst-zum-31-dezember-2024-050724/>. (Abruf am 2025-12-22); Gernsbach: EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH, 2024.
- FFE-123 19** Hübner, Tobias; Guminski, Andrej; von Roon, Serafin; Rouyrre, Elsa: Energiewende in der Industrie - Branchensteckbrief der Zement- und Kalkindustrie. München: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft (FfE), 2019.
- FFE-13 25** Mohr, Stephan; Schmidt-Achert, Tapio; Ziemsky, Valerie; Pichlmaier, Simon: Von der Theorie zur Praxis: Warum grüner Wasserstoff teurer ist als gedacht. München: FfE, 2025.
- FFE-51 24P** UPM schließt Werk Hürth und eine Feinpapiermaschine bei Nordland Papier – Beteiligungsprozess mit Arbeitnehmervertretern abgeschlossen. In [https://www.upm.com/de/neuigkeiten-und-geschichten/Ausl\\_27sungen/2024/08/upm-schliesst-werk-hurth-und-eine-feinpapiermaschine-bei-nordland-papier--beteiligungsprozess-mit-arbeitnehmervertretern-abgeschlossen/](https://www.upm.com/de/neuigkeiten-und-geschichten/Ausl_27sungen/2024/08/upm-schliesst-werk-hurth-und-eine-feinpapiermaschine-bei-nordland-papier--beteiligungsprozess-mit-arbeitnehmervertretern-abgeschlossen/). (Abruf am 2025-12-22); Augsburg: UPM GmbH, 2024.

# Literatur

- FFE-52 24P** UPM plant Kapazitätsreduzierung bei grafischen Papieren in Deutschland – Anpassung an Kundennachfrage und Sicherung Wettbewerbsfähigkeit. In <https://www.upmpaper.com/de/wissen-und-inspiration/alle-news/2024/05/upm-plant-kapazitatsreduzierung-bei-grafischen-papieren-in-deutschland--anpassung-an-kundennachfrage-und-sicherung-wettbewerbsfahigkeit/>. (Abruf am 2025-12-23); Augsburg: UPM GmbH, 2024.
- FFE-59 18** Hübner, Tobias; von Roon, Serafin; Guminski, Andrej: Energiewende in der Industrie - Branchensteckbrief NE-Metalle. Stuttgart, München: FfE, 2018.
- FFE-73 23P** UPM plant Kapazitätsreduzierung in Schongau und beendet Papierherstellung in Steyrermühl vorzeitig. In <https://www.upmpaper.com/de/wissen-und-inspiration/alle-news/2023/03/upm-plant-kapazitatsreduzierung-in-schongau-und-beendet-papierherstellung-in-steyrermuhl-vorzeitig/>. (Abruf am 2025-12-17); Augsburg: UPM GmbH, 2023.
- FFE-74 23P** UPM schließt Werk Plattling – Beteiligungsprozess mit Arbeitnehmervertretern abgeschlossen. In <https://www.upmpaper.com/de/wissen-und-inspiration/alle-news/2023/10/upm-schliebt-werk-plattling--beteiligungsprozess-mit-arbeitnehmervertretern-abgeschlossen/>. (Abruf am 2025-12-17); Augsburg: UPM GmbH, 2023.
- FIFS-01 20P** Welche Auswirkungen hat die Corona-Krise auf die Industrie?. In <https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2020/Auswirkungen-Corona-Krise-auf-Industrie.html>. (Abruf am 2025-12-22); Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, 2020.
- FMNG-01 25P** Strubbe, Jens: Endgültiges Aus: Papierfabrik kündigt 426 Mitarbeitern. In <https://www.wp.de/lokales/hagen/article409089140/endgueltige-aus-keine-hoffnung-mehr-fuer-pulp-paper.html>. (Abruf am 2025-12-22); Essen: Funke Medien NRW GmbH, 2025.
- FPF-01 23P** Mitsubishi HiTec Paper Europe (Flensburg mill) becomes Fjord Paper Flensburg. Flensburg: Fjord Paper Flensburg GmbH, 2023.
- GUM-01 21** Guminski, Andrej: CO2 Abatement in the European Industry Sector - Evaluation of Scenario-Based Transformation Pathways and Technical Abatement Measures. (Submitted). Dissertation. Herausgegeben durch Technische Universität München (TUM): München, 2021.

# Literatur

**HES-01 24P**

Papierfabrik Ober-Schmitten soll im Frühjahr schließen. In <https://www.hessenschau.de/wirtschaft/ende-der-papierfabrik-ober-schmitten-steht-unmittelbar-bevor-v2,papierfabrik-insolvenz-100.html>. (Abruf am 2025-12-22); Frankfurt a. M.: Hessischer Rundfunk, 2024.

**HMA-01 20P**

Pressemitteilung: HeidelbergCement stellt Klinkerproduktion in Leimen ein. In [www.heidelbergmaterials.com/de/pi-15-09-2020](http://www.heidelbergmaterials.com/de/pi-15-09-2020). (Abruf am 2023-05-26); Heidelberg: Heidelberg Materials AG, 2020.

**HMA-04 24P**

Heidelberg Materials stellt Klinkerproduktion im Werk Hannover ein – Standort wird künftig als Mahlwerk weiterbetrieben. In <https://www.heidelbergmaterials.de/de/media/baufachpresse/zementwerk-hannover-stellt-klinkerproduktion-ein>. (Abruf am 2025-12-22); Heidelberg: Heidelberg Materials AG, 2024.

**HÜB-01 22P**

Hübner, Tobias: Entwicklung eines Industriemodells zur Ableitung kostenoptimierter Energietransformationspfade der deutschen Industrie. Dissertation. Herausgegeben durch Technische Universität München: München, 2022.

**HÜT-01 23P**

Göbelbecker, Jona: Lanxess spart und schließt Anlagen in Krefeld. In <https://www.chemietechnik.de/branche-markt/lanxess-spart-und-schliesst-anlagen-in-krefeld/2123319>. (Abruf am 2025-12-17); Heidelberg: Hüthig Medien GmbH, 2023.

**HÜT-01 24P**

BASF plant den Verkauf von Anlagen in Ludwigshafen. In <https://www.chemietechnik.de/branche-markt/basf-plant-den-verkauf-von-anlagen-in-ludwigshafen/1937361>. (Abruf am 2025-12-23); Heidelberg: Hüthig Medien GmbH, 2024.

**HÜT-01 25P**

Göbelbecker, Jona: Welche Chemieanlagen in Deutschland geschlossen werden. In <https://www.chemietechnik.de/branche-markt/welche-chemieanlagen-in-deutschland-geschlossen-werden/1882914>. (Abruf am 2025-12-17); Heidelberg: Hüthig Medien GmbH, 2025.

**HÜT-02 25P**

Göbelbecker, Jona: Update: Chemiekonzern Dow schließt Anlagen in Schkopau und Böhlen. In <https://www.chemietechnik.de/branche-markt/update-chemiekonzern-dow-schliesst-anlagen-in-schkopau-und-boehlen/1910920>. (Abruf am 2025-12-19); Heidelberg: Hüthig Medien GmbH, 2025.

# Literatur

- HÜT-03 25P** Hammer, Peter: Feldmuehle Uetersen erneut insolvent - Papierhersteller versucht Sanierung in Eigenverwaltung. In <https://www.neueverpackung.de/markt/feldmuehle-uetersen-erneut-insolvent/2230050>. (Abruf am 2025-12-22); Heidelberg: Hüthig Medien GmbH, 2025.
- HÜT-04 25P** SKW Piesteritz verringert Ammoniakproduktion um die Hälfte. In <https://www.chemietechnik.de/branche-markt/skw-piesteritz-verringert-ammoniakproduktion-um-die-haelfte/1955452>. (Abruf am 2025-12-23); Heidelberg: Hüthig Medien GmbH, 2025.
- IAI-01 24P** Produktion von Rohaluminium. Düsseldorf: Aluminium Deutschland e. V., 2024.
- IFEUE-01 23P** Meyer, Jörg; Madsen, Marius; Saars, Lukas: Kurzstudie Energieeffizienzmaßnahmen in der Industrie - Marktnahe und wirtschaftliche Energieeinsparpotentiale in der Industrie. Krefeld: Institut für Energietechnik und Energiemanagement der Hochschule Niederrhein, 2023.
- IFO-01 18P** Opfinger, Matthias: Die Herstellung von Metallerzeugnissen in Deutschland – eine Branchenanalyse. München: ifo Institut, 2018.
- LMG-01 25P** Posern, Antje: Ardagh in Drebkau: Glaswerk schließt – so geht's für die Mitarbeiter weiter. In <https://www.lr-online.de/lausitz/cottbus/ardagh-in-drebkau-glaswerk-schliesst-so-gehtsfuer-die-mitarbeiter-weiter-78130453.html>. (Abruf am 2025-12-19); Cottbus: LR Medienverlag GmbH, 2025.
- MDR-02 25P** Papierfabrik in Penig schließt, Entlassungen im Werk Weißenborn. In <https://www.mdr.de/nachrichten/sachsen/chemnitz/werksschliessung-papierfabrik-entlassungen-krise-102.html>. (Abruf am 2025-12-22); Leipzig: Mitteldeutscher Rundfunk, 2025.
- MDS-01 23P** Kirfel, Wolfgang: In Sötenich soll wieder Kalkstein abgebaut und gemahlen werden. In <https://www.rundschau-online.de/region/euskirchen-eifel/kall/in-soetenich-soll-wieder-kalkstein-abgebaut-und-gemahlen-werden-701885>. (Abruf am 2025-12-22); Köln: M. DuMont Schauberg Expedition der Kölnischen Zeitung GmbH & Co. KG, 2023.

# Literatur

- MKG-01 25P** Thyssenkrupp Steel beschließt Liefervertrag mit HKM zu beenden. In <https://stahlbase.com/thyssenkrupp-steel-beschliesst-liefervertrag-mit-hkm-zu-beenden/>. (Abruf am 2025-12-18); Köln: Maenken Kommunikation GmbH, 2025.
- MMG-01 24P** Hunscheidt, Hubert: Automobilindustrie: Leitmarkt für die Produktion von grünem Stahl in Europa. In <https://www.marketsteel.de/news-details/automobilindustrie-leitmarkt-fuer-die-produktion-von-gruenem-stahl-in-europa.html>. (Abruf am 2025-12-17); Düsseldorf: marketSTEEL Media GmbH, 2024.
- MSC-01 25P** Mutares hat die Übernahme des Geschäfts der Buderus Edelstahl GmbH von der voestalpine AG abgeschlossen. In <https://mutares.com/mutares-hat-die-ubernahme-des-geschäfts-der-buderus-edelstahl-gmbh-von-der-voestalpine-ag-abgeschlossen/>. (Abruf am 2025-12-19); München: Mutares SE & Co. KGaA, 2025.
- NAV-02 19** Gogin, Hélène: Energiewende in der Industrie - Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor - Branchensteckbrief der Papierindustrie. Köln: Navigant Energy Germany GmbH, 2019.
- NDR-01 24P** Fjord Paper in Flensburg stellt den Betrieb ein. In <https://www.ndr.de/nachrichten/schleswig-holstein/Fjord-Paper-in-Flensburg-stellt-Betrieb-ein-,fjordpaper104.html>. (Abruf am 2025-12-22); Hamburg: Norddeutscher Rundfunk, 2024.
- NDR-02 24P** Papierfabrik Meldorf in Tornesch schließt. In <https://www.ndr.de/nachrichten/schleswig-holstein/Papierfabrik-Meldorf-in-Tornesch-schliesst,papierfabrik176.html>. (Abruf am 2025-12-22); Hamburg: Norddeutscher Rundfunk, 2024.
- NECG-01 25P** Praxisbeispiel: Wasserstoff statt Kohlenstoff - Für eine klimaneutrale Stahlproduktion bis 2050. In <https://www.energy4climate.nrw/praxisbeispiele/wasserstoff-statt-kohlenstoff>. (Abruf am 2025-12-18); Düsseldorf: NRW.Energy4Climate GmbH, 2025.
- NSG-01 25P** Pilkington Deutschland AG verschiebt Kaltreparatur der Floatglas-Linie 1 in Weiherhammer. In <https://www.pilkington.com/de/de/presse/presseinformationen/kaltreparatur-der-floatglas-linie-1-in-weiherhammer>. (Abruf am 2025-12-23); Tokyo: Pilkington, NSG Group, 2025.

# Literatur

**NSGC-01 24P**

Pilkington Deutschland AG reduziert Floatglas-Produktion in Gladbeck. In <https://www.pilkington.com/de/de/presse/presseinformationen/pilkington-deutschland-ag-reduziert-floatglas-produktion-in-gladbeck#>. (Abruf am 2025-12-23); Tokyo: Nippon Sheet Glass Co., Ltd., 2024.

**ÖKO-02 25P**

Matthes, Felix; Brauer, Johannes: Wasserstoff-Erzeugungskosten - Determinanten, Stand und Perspektiven. Berlin, Paris: Öko-Institut e. V., 2025.

**OTTO-01 17**

Otto, Alexander; Robinius, Martin; Grube, Thomas; Schiebahn, Sebastian; Praktiknjo, Aaron; Stolten, Detlef: Power-to-Steel - Reducing CO2 through the Integration of Renewable Energy and Hydrogen into the German Steel Industry in: *Energies* (4), 2017, S. 451. Basel: MDPI, 2017. DOI: 10.3390/en10040451

**PUB-01 25P**

Riesa steelworks opens emission-free rolling mill. In <https://www.diesachsen.de/en/economy/riesa-steelworks-opens-emission-free-rolling-mill-3018888>. (Abruf am 2025-12-19); Dresden: publizer GmbH, 2025.

**PWC-01 25P**

Folgen des Ukraine-Kriegs für die deutsche Industrie - PwC-Studie 2022: Welche Konsequenzen ziehen Unternehmen, um sich strategisch sicher aufzustellen?. In <https://www.pwc.de/de/joint-crisis-center/folgen-des-ukraine-kriegs-fuer-die-deutsche-industrie.html>. (Abruf am 2025-12-22); Frankfurt a. M.: PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, 2025.

**PWC-02 23P**

Maschinenbau - Barometer. Frankfurt a. M.: PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, 2023.

**RBB-01 25P**

Gewerkschaft protestiert gegen angekündigte Werksschließung in Drebkau. In <https://www.rbb24.de/wirtschaft/beitrag/2025/01/protest-gewerkschaft-glaswerk-drebkau-schliessung.html>. (Abruf am 2025-12-19); Berlin: Rundfunk Berlin-Brandenburg (rbb), 2025.

**RBB-02 25P**

Brennöfen in Rüdersdorf stillgelegt – wenig Hoffnung auf Wiederinbetriebnahme. In <https://www.rbb24.de/wirtschaft/beitrag/2025/01/kalkwerk-ruedersdorf-kalkbrennen-oefen-stillgelegt-fels.html>. (Abruf am 2025-12-19); Berlin: Rundfunk Berlin-Brandenburg (rbb), 2025.

# Literatur

**RPV-01 23P**

Zolke, Susanne: Speira fährt Aluminiumhütte auf Null. In [https://rp-online.de/nrw/staedte/neuss/neuss-speira-faehrt-die-aluminiumherstellung-vollstaendig-runter\\_aid-86314637](https://rp-online.de/nrw/staedte/neuss/neuss-speira-faehrt-die-aluminiumherstellung-vollstaendig-runter_aid-86314637). (Abruf am 2025-12-19); Düsseldorf: Rheinische Post Verlagsgesellschaft mbH, 2023.

**RUB-01 15**

Jasper, Sarah; M.El-Halwagi, Mahmoud: A Techno-Economic Comparison between Two Methanol-to-Propylene Processes. Bochum, Texas: Ruhr-University Bochum, 2015.

**RVB-01 25P**

Vorläufige Insolvenzverwaltung für GMB Glasmanufaktur Brandenburg GmbH. In <https://verbraucherschutzforum.berlin/2025-07-07/vorlaeufige-insolvenzverwaltung-fuer-gmb-glasmanufaktur-brandenburg-gmbh-378704/>. (Abruf am 2025-12-19); Leipzig: Redaktion Verbraucherschutzforum Berlin, 2025.

**SAAR-01 22P**

Geschäftsbericht 2022 - Saarstahl. Völklingen: Saarstahl AG, 2022.

**SAC-01 23P**

Wolf, Ulrich: Papierfabrik Hainsberg in Freital ist erneut insolvent. In <https://www.wirtschaft-in-sachsen.de/de/papierfabrik-hainsberg-in-freital-ist-erneut-insolvent/>. (Abruf am 2025-12-22); Dresden: Sachsen Medien GmbH, 2023.

**SAUIG-02 21**

Borgnäs, Kajsa; Dupuls, Indira; Harrendorf, Malte; Hoare, Stephan; West, Klaus-W.: Branchenausblick 2030+: Papier- und Zellstoffindustrie. Berlin: Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE, 2021.

**SGAG-01 24P**

#hierpassiert - Geschäftsbericht 2024. Salzgitter: Salzgitter AG, 2024.

**SGAG-02 22P**

Ein neues Denken für eine neue Industrie - Geschäftsbericht 2022 . Salzgitter: Salzgitter AG, 2022.

**SGFS-01 25P**

Weiterer Salcos-Baustein: Grundsteinlegung für eine der größten Anlagen Europas zur Produktion von grünem Wasserstoff. In <https://www.salzgitter-flachstahl.de/de/news/details/weiterer-salcos-baustein-grundsteinlegung-fuer-eine-der-groessten-anlagen-europas-zur-produktion-von-gruenem-wasserstoff-23447.html>. (Abruf am 2025-12-18); Salzgitter: Salzgitter Flachstahl GmbH, 2025.

# Literatur

- SHELL-01 25P** Zeitenwende: Shell in Wesseling rohölfrei – neue zukunftsweisende Produktionsanlagen entstehen. In <https://www.shell.de/ueberuns/newsroom/pressemitteilungen-2025/zeitenwende-shell-in-wesseling-roholfrei-neue-zukunftsweisende-produktionsanlagen-entstehen.html>. (Abruf am 2025-12-19); Hamburg: Shell Deutschland GmbH, 2025.
- SHS-01 25P** Power4Steel - Der Weg der CO2-Transformation ist klar definiert. In <https://www.pure-steel.com/power4steel/>. (Abruf am 2025-12-18); Dillingen: Stahl-Holding-Saar GmbH & Co.KGaA, 2025.
- SHS-02 25P** Die Transformation schreitet voran: SHS-Gruppe und Verso Energy unterschreiben wegweisenden Wasserstoff-Vertrag. In <https://www.stahl-holding-saar.de/shs/de/presse/pressemitteilungen/die-transformation-schreitet-voran-shs-gruppe-und-verso-energy-unterschreiben-wegweisenden-wasserstoff-vertrag-117887.shtml>. (Abruf am 2025-12-18); Dillingen: Stahl-Holding-Saar GmbH & Co.KGaA, 2025.
- SMB-01 23P** Hörmann, Nicolas: Die Branche "Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen" im strukturellen Wandel - Eine Analyse über die Auswirkungen des Strukturwandels auf den Produktionsstandort Baden-Württemberg. Baden-Württemberg: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg, 2023.
- SPE-02 22P** Speira halbiert Hüttenproduktion im Rheinwerk. In <https://www.speira.com/de/newsroom/presse/speira-halbiert-huettenproduktion-im-rheinwerk/>. (Abruf am 2025-12-17); Grevenbroich: Speira GmbH, 2022.
- STROB-01 25P** ArcelorMittal steigt aus Grüner-Stahl-Projekten in Deutschland aus. In <https://www.zeit.de/wirtschaft/2025-06/arcelormittal-ausstieg-gruener-stahl>. (Abruf am 2025-12-19); Hamburg: Zeit Online GmbH, 2025.
- SVG-01 10P** Oberland beendet im Mai mit neuer Wanne 2 die Kurzarbeit im Betrieb in Bad Wurzach. In <https://www.schwaebische.de/regional/allgaeu/bad-wurzach/oberland-beendet-im-mai-mit-neuer-wanne-2-die-kurzarbeit-im-betrieb-in-bad-wurzach-1051452>. (Abruf am 2025-12-23); Ravensburg: Schwäbischer Verlag GmbH & Co. KG Drexler, Gessler, 2010.
- SVG-01 25P** Insolvenzverfahren wurde am 1. Juni eröffnet. In [https://www.stadtanzeiger-ortenau.de/gengenbach/c-wirtschaft-regional/insolvenzverfahren-wurde-am-1-juni-eroeffnet\\_a112345](https://www.stadtanzeiger-ortenau.de/gengenbach/c-wirtschaft-regional/insolvenzverfahren-wurde-am-1-juni-eroeffnet_a112345). (Abruf am 2025-12-22); Offenburg: STADTANZEIGER Verlags-GmbH & Co. KG, 2025.

# Literatur

- TKS-01 25P** thyssenkrupp Steel Europe startet die grüne Transformation in Duisburg - Direktreduktionsanlage nimmt 2027 den Betrieb auf. In <https://transformation.thyssenkrupp-steel.com/>. (Abruf am 2025-12-18); Duisburg: thyssenkrupp Steel Europe AG, 2025.
- TOR-01 22P** DELKESKAMP schließt Nortruper Papierfabrik. In <https://www.osradio.de/2022/03/10/delkeskamp-schliesst-nortruper-papierfabrik/>. (Abruf am 2025-12-22); Osnabrück: Trägerverein OS-Radio 104,8 e.V., 2022.
- TRI-02 25P** TRIMET plant Volllastbetrieb in 2025. In <https://www.trimet.eu/de/presse/was-gibt-es-neues/news/trimet-plant-volllastbetrieb-in-2025>. (Abruf am 2025-12-17); Essen: TRIMET Aluminium SE, 2025.
- VCI-01 24P** Chemiewirtschaft in Zahlen 2024. Frankfurt: Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), 2024.
- VCI-02 24P** VCI-Presskonferenz: Jahresbilanz 2024. Frankfurt a. M.: Verband der chemischen Industrie e.V., 2024.
- VCI-02 25P** Chemiewirtschaft in Zahlen online. In <https://www.vci.de/die-branche/zahlen-berichte/chemiewirtschaft-in-zahlen-online.jsp>. (Abruf am 2025-12-23); Frankfurt a.M.: Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI), 2025.
- VCI-03 22P** Die deutsche Chemie: Bereit für die Zukunft - Jahresbericht 2022. Frankfurt a. M.: Verband der chemischen Industrie e.V., 2022.
- VDBC-01 25P** VCI - Jahresbilanz 2023: Stürmische Zeiten für die Branche - Bilanz der chemisch-pharmazeutischen Industrie 2023. In <https://www.bayerische-chemieverbaende.de/vci-jahresbilanz-2023-stuermische-zeiten-fuer-die-branche/>. (Abruf am 2025-12-18); München: Verein der Bayerischen Chemischen Industrie e. V., Verband der Chemischen Industrie e. V., 2025.
- VDP-01 21P** Papier 2021 - Statistiken zum Leistungsbericht. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e.V., 2021.
- VDVC-01 25P** Firmenauskunft für Kabel Premium Pulp & Paper GmbH. In [https://firmeneintrag.creditreform.de/58099/6070712337/KABEL\\_PREMIUM\\_PULP\\_PAPER\\_GMBH](https://firmeneintrag.creditreform.de/58099/6070712337/KABEL_PREMIUM_PULP_PAPER_GMBH). (Abruf am 2025-12-22); Neuss: Verband der Vereine Creditreform e. V., 2025.

# Literatur

- VDZ-01 20** Dekarbonisierung von Zement und Beton - Minderungspfade und Handlungsstrategien - Eine CO<sub>2</sub> - Roadmap für die deutsche Zementindustrie. Düsseldorf: Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ), 2020.
- VDZ-02 24P** Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2023. Düsseldorf: Verein deutscher Zementwerke e.V., 2024.
- VIG-01 25P** Glashütte Freital GmbH stellt sich im Eigenverwaltungsverfahren neu auf: Gute Aussichten für Sanierung des Unternehmens. In <https://www.indat.info/Meldungen/Pressemitteilungen-Insolvenz-Sanierung/Glashuette-Freital-GmbH-stellt-sich-im-Eigenverwaltungsverfahren-neu-auf-Gute-Aussichten-fuer-Sanierung-des-Unternehmens-ecf963fb5cd5fc40d2af73ceccd5cebd>. (Abruf am 2025-12-22); Köln: Verlag INDat GmbH, 2025.
- VNP-01 25P** Voigt, Alexandra: Nach Insolvenz der Fürther Firma Wickels: Wie geht es mit dem großen Gelände weiter?. In <https://www.nn.de/fuerth/nach-insolvenz-der-further-firma-wickels-wie-geht-es-mit-dem-grossen-gelände-weiter-1.14602633>. (Abruf am 2025-12-22); Nürnberg: Verlag Nürnberger Presse Druckhaus Nürnberg GmbH & Co. KG, 2025.
- WDR-01 25P** Bandermann, Kay: Papierstau in Hagen - Ende einer Traditionsfabrik. In <https://www1.wdr.de/nachrichten/ruhrgebiet/papierfabrik-hagen-insolvenz-beschaefigte-freigestellt-100.html>. (Abruf am 2025-12-22); Köln: Westdeutscher Rundfunk Köln, 2025.
- WFI-01 25P** Sodawerk Staßfurt. In [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Sodawerk\\_Sta%C3%9Ffurt&oldid=255472969](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Sodawerk_Sta%C3%9Ffurt&oldid=255472969). (Abruf am 2025-12-23); San Francisco: Wikimedia Foundation Inc., 2025.
- WI-01 17** Arnold, Karin; Kobiela, Georg; Pastowski, Andreas: Technologiebericht 4.3 Power-to-liquids/-chemicals innerhalb des Forschungsprojekts TF\_Energiewende. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, 2017.
- WVGC-01 22P** Nielen, Michael: OPTERRA schließt Werk in Sötenich. In <https://www.wochenspiegellive.de/kreis-euskirchen/artikel/opterra-schliesst-werk-in-soetenich>. (Abruf am 2025-12-22); Monschau: Weiss-Verlag GmbH & Co. KG, 2022.
- WVS-01 24P** Daten und Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2024. Berlin: Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2024.
- WVS-01 25P** Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2024/2025. Berlin: Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2025.

# Literatur

**WVS-02 22P**

2022 im Blick: Jahresbericht und Fakten zur Stahlindustrie erschienen - Engagement für Stahl, Jahresbericht 2022 - Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2022. In <https://www.wvstahl.de/aktuelles/2022-im-blick-jahresbericht-und-fakten-zur-stahlindustrie-erschieneen/>. (Abruf am 2025-12-17); Berlin: Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2022.

**WVS-02 23P**

Rückblick 2023 - Energiekrise und schwache Konjunktur führen zu historischen Produktionseinbrüchen. In <https://www.wvstahl.de/pressemitteilungen/rueckblick-2023-energiekrise-und-schwache-konjunktur-fuehren-zu-historischen-produktionseinbruechen/>. (Abruf am 2025-12-17); Berlin: Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2023.

**WVS-02 24P**

Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2023/2024. Berlin: Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2024.

**WVS-03 23P**

Daten und Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland. Berlin: Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2023.

**YBG-01 23P**

Lagebericht für das Geschäftsjahr 2022. Büttel: YARA Brunsbüttel GmbH, 2023.

**YGC-01 24P**

Yara Brunsbüttel factsheet. Dülmen: YARA GmbH & Co KG, 2024.



# 8 Datenanhang

Inhaltsverzeichnis

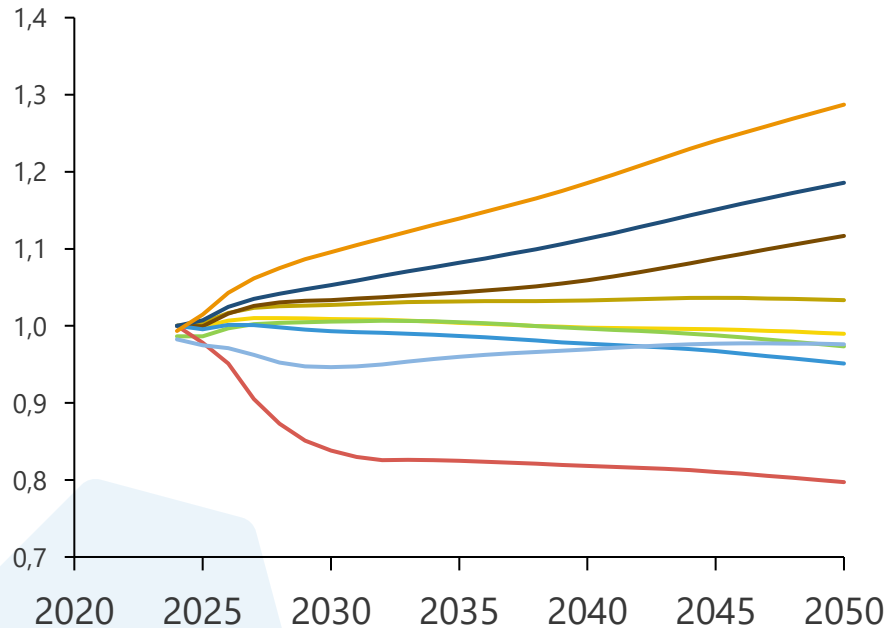
# Bruttowertschöpfungsentwicklung

## für prozessunspezifischen EEV unabhängig vom Szenariorahmen oder Szenario

### Szenario

Bruttowertschöpfung (BWS) – energieintensiv

2023 = 1



- Papiergewerbe
- Grundstoffchemie
- Glas u. Keramik
- Verarbeitung v. Steine u. Erden
- Metallerzeugung
- NE-Metalle, -gießereien
- Metallbearbeitung
- Maschinenbau
- Fahrzeugbau

Kurzfristig sind überwiegend Erholungseffekte sichtbar.

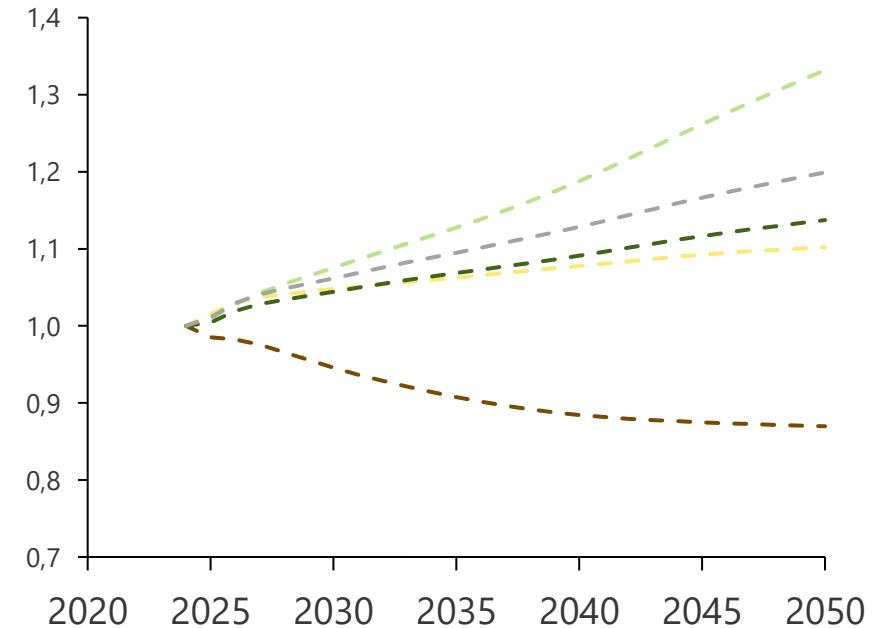
Am stärksten steigt die BWS im Maschinenbau.

Die Automobilbranche weist während der Transformation hin zur Elektromobilität ein Minimum in der BWS auf.

Die BWS der Metallerzeugung (Eisen & Stahl) ist rückläufig.

BWS – nicht-energieintensiv

2023 = 1



- Gewinnung von Steinen und Erden, sonst. Bergbau
- Ernährung und Tabak
- Sonstige chemische Industrie
- Gummi- u. Kunststoffwaren
- Sonstige Wirtschaftszweige

# Prozessinput

## Übersicht über die spezifischen Prozess-verbräuche (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 1/6

| Wirtschaftszweig | Prozess                           | Spez. Brennstoffverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Spez. Stromverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Spez. Stofflicher Verbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Feedstock   |
|------------------|-----------------------------------|---|--|---|-------------|
| Eisen- und Stahl | Primärstahlherstellung, konv.     | 5   | 0.297  |   |             |
| Eisen- und Stahl | Sekundärstahlherstellung          | 0.15  | 0.47   |   |             |
| Eisen- und Stahl | Primärstahl, DRI+EAF (2023, 2025) | 1.2   | 0.6  | 1.8   | Erdgas      |
| Eisen- und Stahl | Primärstahl, DRI+EAF (2030)       | 1.2   | 0.6  | 1.26  | Erdgas      |
| Eisen- und Stahl | Primärstahl, DRI+EAF (2035)       | 1.2   | 0.6  | 0.84  | Erdgas      |
| Eisen- und Stahl | Primärstahl, DRI+EAF (2040)       | 1.2   | 0.6  | 0.42  | Erdgas      |
| Eisen- und Stahl | Primärstahl, DRI+EAF (2030)       | 1.2   | 0.6  | 0.54  | Wasserstoff |
| Eisen- und Stahl | Primärstahl, DRI+EAF (2035)       | 1.2   | 0.6  | 0.96  | Wasserstoff |
| Eisen- und Stahl | Primärstahl, DRI+EAF (2040)       | 1.2   | 0.6  | 1.38  | Wasserstoff |
| Eisen- und Stahl | Primärstahl, DRI+EAF (2045)       | 1.2   | 0.6  | 1.8   | Wasserstoff |
|                  |                                   |   |  |   |             |
|                  |                                   |   |  |   |             |
|                  |                                   |   |  |   |             |

# Prozessinput

## Übersicht über die spezifischen Prozess-verbräuche (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 2/6

| Wirtschaftszweig | Prozess                 | Spez. Brennstoffverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Spez. Stromverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Spez. Stofflicher Verbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Feedstock            |
|------------------|-------------------------|---|--|---|----------------------|
| Grundstoffchemie | Ammoniakherstellung     | 3.111   | 0.61   | 5.834   | Erdgas               |
| Grundstoffchemie | Power-to-Ammonia        | 0   | 2.32   | 5.899   | Wasserstoff          |
| Grundstoffchemie | Methanolherstellung     | 3.861   | 0.167  | 6.9671  | Erdgas               |
| Grundstoffchemie | Power-to-Methanol       | 0   | 0.276  | 1.493   | CO2                  |
| Grundstoffchemie | Power-to-Methanol       | 0   | 0.276  | 6.866   | Wasserstoff          |
| Grundstoffchemie | Steamcracker gesamt     | 0   | 0.28   | 50.96   | Naphta               |
| Grundstoffchemie | Elektrocracker (gesamt) | 0   | 15.19  | 50.96   | Naphta               |
| Grundstoffchemie | Methanol-to-Olefins     | 0   | 4.313  | 49.12   | Methanol             |
| Grundstoffchemie | Methanol-to-Aromatics   | 0   | 4.313  | 73.85   | Methanol             |
| Grundstoffchemie | Ethylen aus Biomasse    | 23.75   | 0.09   | 77.1  | Biomasse             |
| Grundstoffchemie | HVC aus Kunststoff      | 0   | 16,24  | 90,36   | Kunststoff           |
| Grundstoffchemie | Vergasung-Methanol      | 3.69  | 0.167  | 5.537   | Biomasse             |
| Grundstoffchemie | POX-Methanol            | 2.416   | 0.167  | 7.33  | Visbreaker Rückstand |
| Grundstoffchemie | Harnstoffherstellung    | 0   | 0  | 0.73  | CO2                  |
| Grundstoffchemie | Harnstoffherstellung    | 0   | 0  | 2.977   | Ammoniak             |
| Grundstoffchemie | Sodaherstellung         | 2.542   | 0.09   |   |                      |

# Prozessinput

## Übersicht über die spezifischen Prozess-verbräuche (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 3/6

| Wirtschaftszweig                   | Prozess          | Spez. Brennstoffverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Spez. Stromverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Spez. Stofflicher Verbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Feedstock |
|------------------------------------|------------------|---|--|---|-----------|
| Grundstoffchemie                   | Chlor-SVK        | 0   | 1.75   |   |           |
| Grundstoffchemie                   | Chlor-Diaphragma | 0   | 2.32   |   |           |
| Grundstoffchemie                   | Chlor-Amalgam    | 0   | 3.18   |   |           |
| Grundstoffchemie                   | Chlor-Membran    | 0   | 2.36   |   |           |
|                                    |                  |   |  |   |           |
| Verarbeitung von Steinen und Erden | Kalkherstellung  | 1.139   | 0.109  |   |           |
| Verarbeitung von Steinen und Erden | Zementklinker    | 1.05  | 0.086  |   |           |
| Verarbeitung von Steinen und Erden | Zementmühlen     | 0   | 0.0469   |   |           |

# Prozessinput

## Übersicht über die spezifischen Prozess-verbräuche (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 4/6

| Produkt        | Prozess                         | Spez. Brennstoffverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Spez. Stromverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Spez. Stofflicher Verbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Feedstock |
|----------------|---------------------------------|---|--|---|-----------|
| Glas & Keramik | Hohlglasherstellung             | 1.64  | 0.39   |   |           |
| Glas & Keramik | Flachglasherstellung            | 2.24  | 0.25   |   |           |
| Glas & Keramik | Elektrische Hohlglasherstellung | 0   | 1.51   |   |           |
| Glas & Keramik | Hybridwanne Hohlglas (2025)     | 1.32  | 0.4  |   |           |
| Glas & Keramik | Hybridw. Hohlglas (2030)        | 1.157   | 0.563  |   |           |
| Glas & Keramik | Hybridw. Hohlglas (2035)        | 0.886   | 0.834  |   |           |
| Glas & Keramik | Hybridw. Hohlglas (2040)        | 0.615   | 1.105  |   |           |
| Glas & Keramik | Hybridw. Hohlglas (2045)        | 0.344   | 1.376  |   |           |
| Glas & Keramik | Hybridwanne Flachglas (2025)    | 2.09  | 0.32   |   |           |
| Glas & Keramik | Hybridw. Flachglas (2030)       | 2.09  | 0.32   |   |           |
| Glas & Keramik | Hybridw. Flachglas (2035)       | 1.554   | 0.856  |   |           |
| Glas & Keramik | Hybridw. Flachglas (2040)       | 1.018   | 1.392  |   |           |
| Glas & Keramik | Hybridw. Flachglas (2045)       | 0.482   | 1.928  |   |           |

# Prozessinput

## Übersicht über die spezifischen Prozess-verbräuche (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 5/6

| Produkt        | Prozess   | Spez. Brennstoffverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Spez. Stromverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Spez. Stofflicher Verbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Feedstock |
|----------------|---|---|--|---|-----------|
| Glas & Keramik | Faserglasherstellung                              | 3.088   | 1.105  |   |           |
| Glas & Keramik | Gebrauchs- und Spezialglas                        | 3.179   | 1.02   |   |           |
| Glas & Keramik | Mineralfaserherstellung                           | 2.041   | 0.66   |   |           |
| Glas & Keramik | Elektrische Faserglasherstellung                  | 1.471   | 1.021  |   |           |
| Glas & Keramik | Elektrische Gebrauchs- und Spezialglasherstellung | 1.851   | 1.094  |   |           |
| Glas & Keramik | Hybridwanne Faserglas                             | 0.758   | 2.166  |   |           |
| Glas & Keramik | Hybridwanne Gebrauchs- und Spezialglas            | 0.954   | 2.272  |   |           |
| Glas & Keramik | Hybridwanne Mineralfasern                         | 0.501   | 1.368  |   |           |
|                |   |   |  |   |           |
| NE Metalle     | Primäraluminium                                   | 3.633   | 15.027   |   |           |
| NE Metalle     | Sekundäralu                                       | 0.892   | 0.15   |   |           |
| NE Metalle     | Primäraluminium mit innovativen Elektroden        | 3.532   | 14.61  |   |           |

# Prozessinput

## Übersicht über die spezifischen Prozess-verbräuche (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 6/6

| Produkt       | Prozess              | Spez. Brennstoffverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Spez. Stromverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Spez. Stofflicher Verbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Feedstock |
|---------------|----------------------|---|--|---|-----------|
| Papiergewerbe | Grafisches Papier    | 1.499   | 0.732  |   |           |
| Papiergewerbe | Verpackungspapier    | 1.104   | 0.394  |   |           |
| Papiergewerbe | Hygienepapier        | 1.618   | 0.876  |   |           |
| Papiergewerbe | Spezialpapier        | 1.272   | 0.9  |   |           |
|               |                      |   |  |   |           |
| Papiergewerbe | Zellstoffherstellung | 3.3   | 0.57   |   |           |
| Papiergewerbe | Holzstoffherstellung | 0   | 2.045  |   |           |
|               |                      |   |  |   |           |
| Sonstige      | Milchverarbeitung    | 0.444   | 0.139  |   |           |

# Prozessinput

## Übersicht über die Energieträgeraufteilung (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 1/8

| Prozess                           | Steinkohle | Braunkohle | Koks   | Brenntorf | Andere fossile Brennstoffe | Kokereigas | Gicht- und Konvert ergas | Heizöl | Erdgas  | Andere Erneuerbare Energieträger | Biomasse | Abfall | Fernwärme | Wasserstoff |
|-----------------------------------|------------|------------|--------|-----------|----------------------------|------------|--------------------------|--------|---------|----------------------------------|----------|--------|-----------|-------------|
| Primärstahlherstellung, konv      | 26.50%     | 0.00%      | 51.96% | 0.00%     | 0.00%                      | 2.00%      | 9.50%                    | 0.04%  | 10.00%  | 0.00%                            | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%       |
| Sekundärstahlherstellung          | 36.60%     | 0.00%      | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 0.00%  | 63.40%  | 0.00%                            | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%       |
| Primärstahl, DRI+EAF (2023, 2025) | 0.00%      | 0.00%      | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 0.00%  | 100.00% | 0.00%                            | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%       |
| Primärstahl, DRI+EAF (2030)       | 0.00%      | 0.00%      | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 0.00%  | 70.00%  | 0.00%                            | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%     | 30.00%      |
| Primärstahl, DRI+EAF (2035)       | 0.00%      | 0.00%      | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 0.00%  | 46.70%  | 0.00%                            | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%     | 53.30%      |
| Primärstahl, DRI+EAF (2040)       | 0.00%      | 0.00%      | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 0.00%  | 23.30%  | 0.00%                            | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%     | 76.70%      |
| Primärstahl, DRI+EAF (2045)       | 0.00%      | 0.00%      | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 0.00%  | 0.00%   | 0.00%                            | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%     | 100.00%     |

# Prozessinput

## Übersicht über die Energieträgeraufteilung (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 2/8

| Prozess                                       | Stein-<br>kohle | Braun-<br>kohle | Koks  | Brenn-<br>torf | Andere<br>fossile<br>Brenn-<br>stoffe | Kokerei-<br>gas | Gicht-<br>und<br>Konvert<br>ergas | Heizöl | Erdgas  | Andere<br>Erneuer-<br>bare<br>Energie-<br>träger | Bio-<br>masse | Abfall | Fern-<br>wärme | Wasser-<br>stoff |
|---|-----------------|-----------------|-------|----------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|--------|---------|--|---------------|--------|----------------|------------------|
| Ammoniak-<br>herstellung                      | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 100.00% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Power-to-<br>Ammonia                          | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 0.00%   | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Methanol-<br>herstellung                      | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 100.00% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Power-to-<br>Methanol                         | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 0.00%   | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Steam-<br>cracker<br>(gesamt)                 | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 11.00%                                | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 89.00%  | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Elektrischer<br>Steam-<br>cracker<br>(gesamt) | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 0.00%   | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Power-to-<br>Methanol-<br>to-Olefins          | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 0.00%   | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Power-to-<br>Methanol-<br>to-<br>Aromatics    | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 0.00%   | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |

# Prozessinput

## Übersicht über die Energieträgeraufteilung (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 3/8

| Prozess   | Stein-<br>kohle | Braun-<br>kohle | Koks  | Brenn-<br>torf | Andere<br>fossile<br>Brenn-<br>stoffe | Kokerei-<br>gas | Gicht-<br>und<br>Konvert<br>ergas | Heizöl  | Erdgas  | Andere<br>Erneuer-<br>bare<br>Energie-<br>träger | Bio-<br>masse | Abfall | Fern-<br>wärme | Wasser-<br>stoff |
|---|-----------------|-----------------|-------|----------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|---------|---------|--|---------------|--------|----------------|------------------|
| Ethylen aus<br>Biomasse                                 | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%   | 0.00%   | 0.00%  | 100.00%       | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Kunststoff-<br>recycling<br>(Pyrolyse &<br>el. Cracker) | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%   | 0.00%   | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Methanol<br>aus<br>Vergasung                            | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%   | 0.00%   | 0.00%  | 100.00%       | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| POX-<br>Methanol<br>(partielle<br>Oxidation)            | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 100.00% | 0.00%   | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Harnstoff   | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%   | 100.00% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Soda  | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%   | 100.00% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |

# Prozessinput

## Übersicht über die Energieträgeraufteilung (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 4/8

| Prozess                          | Steinkohle | Braunkohle | Koks  | Brenntorf | Andere fossile Brennstoffe | Kokereigas | Gicht- und Konvert ergas | Heizöl | Erdgas | Andere Erneuerbare Energieträger | Biomasse | Abfall | Fernwärme | Wasserstoff |
|----------------------------------|------------|------------|-------|-----------|----------------------------|------------|--------------------------|--------|--------|----------------------------------|----------|--------|-----------|-------------|
| Chlor (Sauerstoffverzehrkathode) | 0.00%      | 0.00%      | 0.00% | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 0.00%  | 0.00%  | 0.00%                            | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%       |
| Chlor (Diaphragmaverfahren)      | 0.00%      | 0.00%      | 0.00% | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 0.00%  | 0.00%  | 0.00%                            | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%       |
| Chlor (Amalgamverfahren)         | 0.00%      | 0.00%      | 0.00% | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 0.00%  | 0.00%  | 0.00%                            | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%       |
| Chlor (Membranverfahren)         | 0.00%      | 0.00%      | 0.00% | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 0.00%  | 0.00%  | 0.00%                            | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%       |
| Kalkherstellung                  | 12.00%     | 61.00%     | 4.00% | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 0.00%  | 18.00% | 0.00%                            | 0.00%    | 5.00%  | 0.00%     | 0.00%       |
| Zementklinker                    | 26.49%     | 0.00%      | 0.00% | 0.00%     | 45.98%                     | 0.00%      | 0.00%                    | 3.44%  | 0.72%  | 0.00%                            | 23.37%   | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%       |
| Zementmühlen                     | 26.49%     | 0.00%      | 0.00% | 0.00%     | 45.98%                     | 0.00%      | 0.00%                    | 3.44%  | 0.72%  | 0.00%                            | 23.37%   | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%       |

# Prozessinput

## Übersicht über die Energieträgeraufteilung (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 5/8

| Prozess                                 | Stein-<br>kohle | Braun-<br>kohle | Koks  | Brenn-<br>torf | Andere<br>fossile<br>Brenn-<br>stoffe | Kokerei-<br>gas | Gicht-<br>und<br>Konvert<br>ergas | Heizöl | Erdgas  | Andere<br>Erneuer-<br>bare<br>Energie-<br>träger | Bio-<br>masse | Abfall | Fern-<br>wärme | Wasser-<br>stoff |
|---|-----------------|-----------------|-------|----------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|--------|---------|--|---------------|--------|----------------|------------------|
| Hohlglas-<br>herstellung                | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 5.09%  | 94.85%  | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.06%          | 0.00%            |
| Flachglas-<br>herstellung               | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 9.20%  | 90.00%  | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.80%          | 0.00%            |
| Elektrische<br>Hohlglas-<br>herstellung | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 0.00%   | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Hybrid-<br>wanne<br>Hohlglas            | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 100.00% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Hybrid-<br>wanne<br>Flachglas           | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 100.00% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Faserglas-<br>herstellung               | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 2.00%  | 98.00%  | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Gebrauchs-<br>und<br>Spezialglas        | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 2.00%  | 98.00%  | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |

# Prozessinput

## Übersicht über die Energieträgeraufteilung (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 6/8

| Prozess   | Stein-<br>kohle | Braun-<br>kohle | Koks  | Brenn-<br>torf | Andere<br>fossile<br>Brenn-<br>stoffe | Kokerei-<br>gas | Gicht-<br>und<br>Konvert<br>ergas | Heizöl | Erdgas  | Andere<br>Erneuer-<br>bare<br>Energie-<br>träger | Bio-<br>masse | Abfall | Fern-<br>wärme | Wasser-<br>stoff |
|---|-----------------|-----------------|-------|----------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|--------|---------|--|---------------|--------|----------------|------------------|
| Mineralfaser<br>herstellung                                     | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 2.00%  | 98.00%  | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Elektrische<br>Faserglas-<br>herstellung                        | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 100.00% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Elektrische<br>Gebrauchs-<br>und<br>Spezialglas-<br>herstellung | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 100.00% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Hybrid-<br>wanne<br>Faserglas                                   | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 100.00% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Hybrid-<br>wanne<br>Gebrauchs-<br>und<br>Spezialglas            | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 100.00% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Hybrid-<br>wanne<br>Mineral-<br>fasern                          | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 100.00% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |

# Prozessinput

## Übersicht über die Energieträgeraufteilung (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 7/8

| Prozess  | Stein-<br>kohle | Braun-<br>kohle | Koks  | Brenn-<br>torf | Andere<br>fossile<br>Brenn-<br>stoffe | Kokerei-<br>gas | Gicht-<br>und<br>Konvert<br>ergas | Heizöl | Erdgas | Andere<br>Erneuer-<br>bare<br>Energie-<br>träger | Bio-<br>masse | Abfall | Fern-<br>wärme | Wasser-<br>stoff |
|--|-----------------|-----------------|-------|----------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|--------|--------|--|---------------|--------|----------------|------------------|
| Primär-<br>aluminium                                     | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.63%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 5.82%  | 93.56% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Sekundär-<br>aluminium                                   | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 3.70%  | 96.30% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Primär-<br>aluminium<br>mit<br>innovativen<br>Elektroden | 0.00%           | 0.00%           | 0.00% | 0.00%          | 0.63%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 5.82%  | 93.56% | 0.00%  | 0.00%         | 0.00%  | 0.00%          | 0.00%            |
| Grafisches<br>Papier                                     | 3.50%           | 3.70%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 53.00% | 0.00%  | 18.00%        | 4.00%  | 17.80%         | 0.00%            |
| Ver-<br>packungs-<br>papier                              | 3.20%           | 3.40%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 55.80% | 0.00%  | 16.90%        | 4.00%  | 16.70%         | 0.00%            |
| Hygiene-<br>papier                                       | 1.80%           | 1.90%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 0.00%  | 76.20% | 0.00%  | 9.10%         | 2.00%  | 9.00%          | 0.00%            |
| Spezial-<br>papier                                       | 3.40%           | 3.50%           | 0.00% | 0.00%          | 0.00%                                 | 0.00%           | 0.00%                             | 3.90%  | 50.40% | 0.00%  | 17.50%        | 4.00%  | 17.30%         | 0.00%            |

# Prozessinput

## Übersicht über die Energieträgeraufteilung (Status Quo + Verfahrensroutenwechsel) 8/8

| Prozess              | Steinkohle | Braunkohle | Koks  | Brenntorf | Andere fossile Brennstoffe | Kokereigas | Gicht- und Konvert ergas | Heizöl | Erdgas  | Andere Erneuerbare Energieträger | Biomasse | Abfall | Fernwärme | Wasserstoff |
|----------------------|------------|------------|-------|-----------|----------------------------|------------|--------------------------|--------|---------|----------------------------------|----------|--------|-----------|-------------|
| Zellstoffherstellung | 3.50%      | 3.70%      | 0.00% | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 1.00%  | 51.40%  | 0.00%                            | 18.20%   | 4.20%  | 18.00%    | 0.00%       |
| Holzstoffherstellung | 4.50%      | 3.90%      | 0.00% | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 0.50%  | 49.40%  | 0.00%                            | 21.90%   | 5.80%  | 14.00%    | 0.00%       |
| Milchverarbeitung    | 0.00%      | 0.00%      | 0.00% | 0.00%     | 0.00%                      | 0.00%      | 0.00%                    | 0.00%  | 100.00% | 0.00%                            | 0.00%    | 0.00%  | 0.00%     | 0.00%       |

# Effizienz-Cluster im Transformationstool

## Effizienzgewinne Wirtschaftszweige

| Wirtschaftszweig             | Einsparung an Brennstoffverbrauch <sup>1</sup> | Einsparung an Stromverbrauch <sup>1</sup> | Anwendungsfaktor <sup>2</sup> | Zeitraum der Umsetzung |
|------------------------------|--|---|-------------------------------|------------------------|
| Metallerzeugung              | 0.99964431                                     | 0.9994057                                 |                               | 1 jährlich             |
| Grundstoff- u. sonst. Chemie | 1.00071661                                     | 1.00071661                                |                               | 1 jährlich             |
| NE-Metalle                   | 1.00167825                                     | 1.00167825                                |                               | 1 jährlich             |
| Verarb. v. Steinen u. Erden  | 0.99923456                                     | 0.99923456                                |                               | 1 jährlich             |
| Fahrzeugbau                  | 0.99475235                                     | 0.99475235                                |                               | 1 jährlich             |
| Maschinenbau                 | 0.99938159                                     | 0.99938159                                |                               | 1 jährlich             |
| Gew. v. Steinen u. Erden     | 1.00194465                                     | 1.00194465                                |                               | 1 jährlich             |
| Ernährung und Tabak          | 1.0010082                                      | 1.0010082                                 |                               | 1 jährlich             |
| Papiergewerbe                | 0.99927009                                     | 0.99927009                                |                               | 1 jährlich             |
| Holz und Holzprodukte        | 1.00146541                                     | 1.00146541                                |                               | 1 jährlich             |
| Baugewerbe                   | 0.99980582                                     | 0.99980582                                |                               | 1 jährlich             |
| Textilien und Leder          | 0.99942336                                     | 0.99942336                                |                               | 1 jährlich             |
| Sonstige                     | 1.00012463                                     | 1.00012463                                |                               | 1 jährlich             |

<sup>1</sup> EINSPARUNGEN BEZOGEN AUF DAS VORJAHR (ZINSEZINSEFFEKT)

171 <sup>2</sup> BESCHREIBT AUF WIE VIEL % DER PRODUKTIONSKAPAZITÄT DIESE MAßNAHME ANGEWENDET WERDEN KANN

# Effizienz-Cluster im Transformationstool

## Prozessspezifische Effizienzmaßnahmen

| Prozess                                   | Jährliche EEV-Einsparung in % | Vorgängerstudie |
|---|-------------------------------|-----------------|
| Ammoniak                                  | 0.1                           | 0.2-1.0         |
| Chlor (Membran-Verfahren)                 | 0.3                           |                 |
| Faserglasherstellung                      | 0.2                           |                 |
| Flachglasherstellung                      | 0.3                           | 0.2-2.0         |
| Gebrauchs- und Spezialglasherstellung     | 0.2                           |                 |
| Grafisches Papier                         | 1.2                           | 1.1             |
| Hohlglasherstellung                       | 0.2                           | 0.2-2.0         |
| Holzstoffherstellung                      | 0.1                           |                 |
| Hygienepapier                             | 1.1                           | 1.1             |
| Kalkherstellung                           | 0.7                           | 0.2-0.7         |
| Methanolherstellung                       | 0.5                           | 0.2-1.0         |
| Milchverarbeitung                         | 0.2                           |                 |
| Mineralwolle- und Mineralfaserherstellung | 0.2                           |                 |
| POX-Methanol (partielle Oxidation)        | 0.7                           | 0.2-1.0         |
| Primäaluminiumherstellung                 | 0.4                           | 0-0.2           |
| Primärstahlherstellung                    | 0.4                           | 0.2-0.6         |
| Sekundärstahlherstellung                  | 0.6                           | 0.2-0.3         |
| Soda                                      | 1.1                           |                 |
| Spezialpapier                             | 1.3                           | 1.1             |
| Verpackungspapier                         | 2.0                           | 1.1             |
| Zellstoffherstellung                      | 0.6                           | 0.2-0.7         |
| Zementmühlen                              | 1.9                           | 0.2-1.1         |
| Sonstige                                  | 0.5                           |                 |

✓ Ersetzen der jährlichen Effizienzgewinne aus der Vorstudie durch ~ 100 spezifische Maßnahmen aus der Praxiserfahrung und Branchen-/Technologiereports

**Papiermaschine:** sinkende EEV durch sinkende Leerlaufverluste (Prozessoptimierung) und Einsparpotenziale bei der Entwässerungstechnologie, z. B. durch neue Trocknungsverfahren

**Soda:** Wärmerückgewinnung

**Zement:** Optimierte Prozesssteuerung, Retrofit und Komponentenaustausch (Mühlen, Transportsystemen, ...)

# Carbon Capture-Cluster im Transformationstool

## Prozessspezifische Maßnahmen

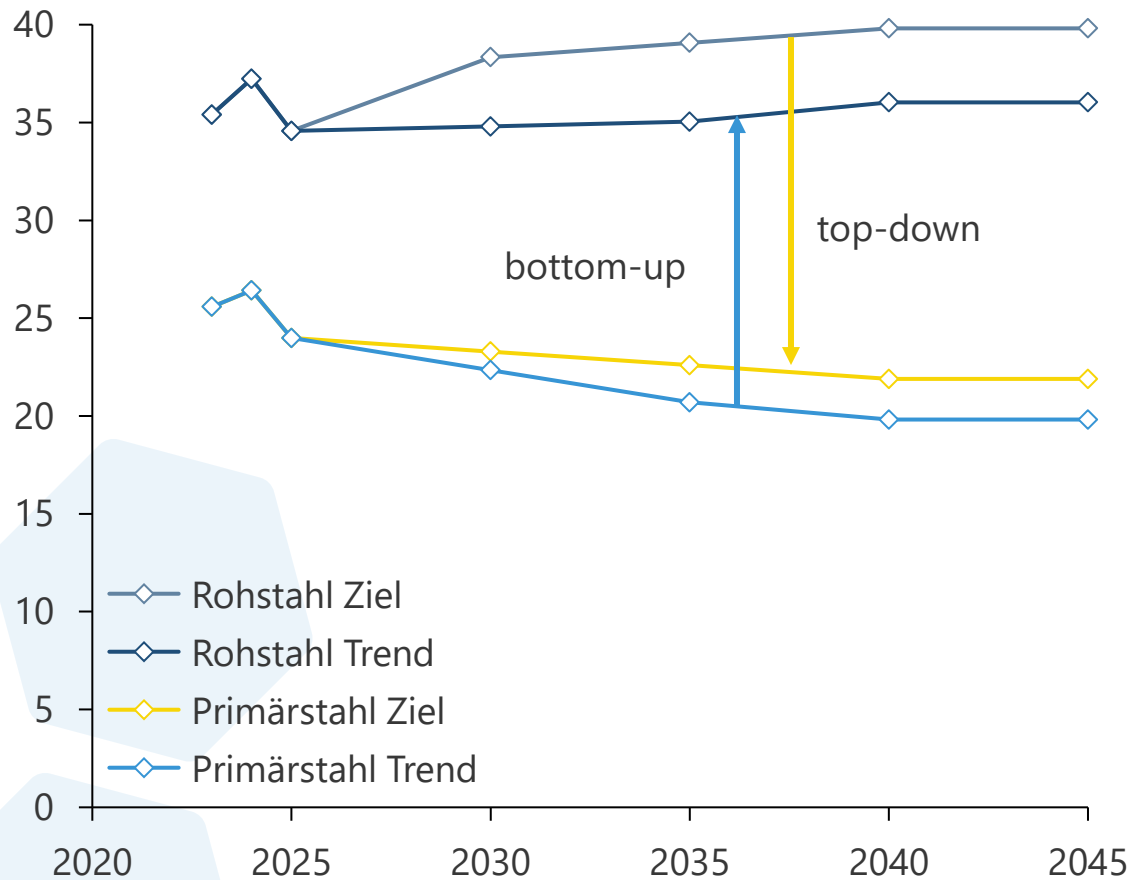
| Prozess         | Zusätzlicher spez. Brennstoffverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> | Zusätzlicher spez. Stromverbrauch in MWh/t <sub>Produkt</sub> |
|-----------------|--|---|
| Kalkherstellung | 0,23   | 0,31  |
| Zementklinker   | 0,23   | 0,31  |

# Produktionsmengenentwicklung Primärstahl

## Trend- (vgl. Folie) und Zielszenario (vgl. Folie)

### Mengenentwicklung Primärstahl

in Mio t



### Begründung:

#### • Ziel (top-down):

Rohstahlproduktionsmenge an **Nachfrage** gekoppelt

→ kurz/mittelfristig: Erholung der Fahrzeugbranche und der Bauaktivität führt zu steigenden Rohstahlmengen

→ langfristig stagniert Bauaktivität und in der Automobilbranche sinkt durch E-Mobilität die Stahlnachfrage<sup>1</sup>, was zu stagnierenden Rohstahlmengen führt  
Primärstahl sinkt nur, weil Sekundärstahlanteil steigt

#### • Trend (bottom-up):

durch Transformation Rückgang der Produktionsmenge

→ Modellierter Rückgang um ~25 % von 2022 zu 2040 aufgrund von Planungsunsicherheit in der Transformation:

1) **Wasserstoffverfügbarkeit** verzögert sich<sup>2,3</sup>

2) **Wasserstoffkosten** höher als ursprünglich angenommen<sup>2,3</sup>

→ Annahme, dass nur die Standorte mit bereits angekündigten DRI-Projekten transformieren, Umstellung bei anderen Standorten auf EAF + DRI(-Importe) werden durch fehlende **Lieferverträge** oder **Strompreise** auf dem heutigen Niveau<sup>4-6</sup> blockiert

Weiterer Faktor: Exporte könnten sinken, da es weltweite Überkapazitäten<sup>7</sup> gibt

# Trendszenario: Transformationsbedingter Rückgang in der Primärstahlproduktion

Wenn nur die bereits bekannten DRI-Projekte umgesetzt werden, würden 2040 im Vergleich zu 2022 35 % der Primärstahlerzeugung wegfallen. Da Thyssen aktuell nicht voll ausgelastet ist, können sich bis zu 3 Mio. t dorthin verlagern (-25 % insgesamt).

| Transformiert             | Stahlerzeugung in Mio t <sup>8</sup> | Transformiert nicht            | Stahlerzeugung in Mio t <sup>8</sup> | Zukunft des Werks (Annahmen)   |
|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--|
| Salzgitter                | 4,9                                  | ArcelorMittal Bremen           | 2,9                                  | Bau von EAF in Prüfung, dafür müssten sich Rahmenbedingungen ändern (Strompreise, Begrenzung der Flachstahlimporte) <sup>4</sup> |
| Thyssenkrupp Steel Europe | 7,7                                  | HKM                            | 3,9                                  | Schließung Ende 2032 mit Ende der Lieferverträge möglich <sup>5</sup>  |
| Dillinger Hüttenwerke     | 2,3                                  | ArcelorMittal Duisburg         | 1,0                                  | Auslauf Belieferung durch Thyssenkrupp 2027, noch keine Planung von EAF mit Belieferung aus Hamburg <sup>6</sup>                 |
| Saarstahl                 | 2,3                                  | ArcelorMittal Eisenhüttenstadt | 1,7                                  | Siehe Bremen   |
| <b>Summe</b>              | <b>17,2</b>                          | <b>Summe</b>                   | <b>9,5</b>                           |  |

# Standortszenarien

Für die bereits bekannten DRI-Projekte werden in der Regionalisierung Hochläufe entsprechend von Standortmeldungen hinterlegt.

| Transformiert   | Pläne  | Quelle  |
|---|--|---|
| Salzgitter  | <b>2026 – 2033</b>   | 9   |
| Thyssenkrupp Steel Europe   | <b>2027 – 2045</b>   | 10, 11  |
| Dillinger Hüttenwerke   | <b>2029</b> Start<br><b>70 %</b> der Produktionsmenge bis <b>Anfang 2030er</b> umstellen | 12 - 14                                       |
| Saarstahl   |  |   |
| Andere Standorte im Zielszenario<br>(die im Trendszenario nicht transformieren) | 2031 - 2045  | Annahme:<br>Planungs- und<br>Bauphase 5 Jahre |