



P I K

POTSDAM-INSTITUT FÜR
KLIMAFOLGENFORSCHUNG

UNIVERSITÄT LEIPZIG

Energiemanagement
und Nachhaltigkeit



Einstieg in den Ausstieg - Energiepolitische Szenarien für einen Atomausstieg in Deutschland

Ergebnisse einer Studie im Auftrag der Friedrich-Ebert-Stiftung

Brigitte Knopf, Michael Pahle, Ottmar Edenhofer
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

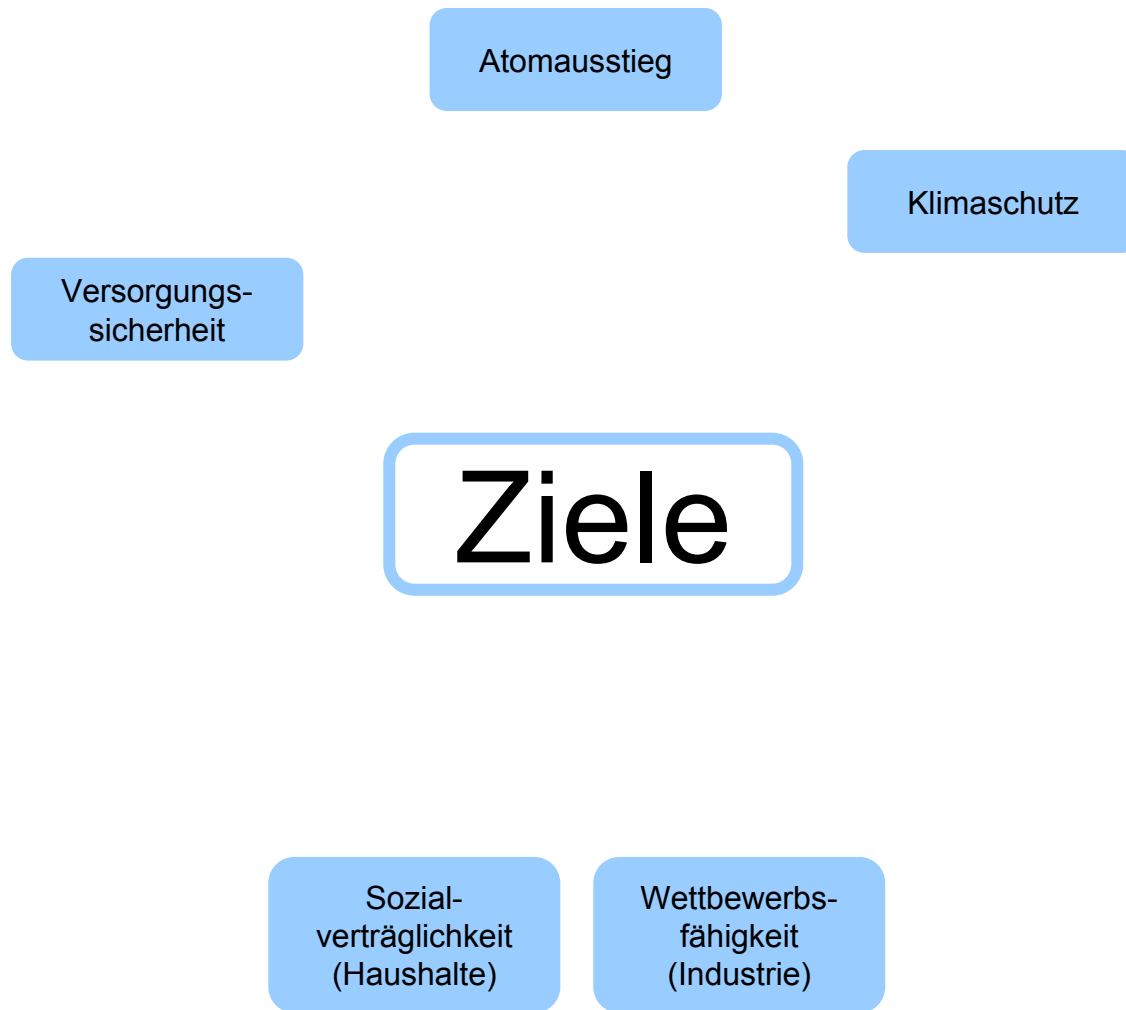
Hendrik Kondziella, Mario Götz, Thomas Bruckner
Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement (IIRM), Universität Leipzig

Berlin, 10.6.2011

Agenda

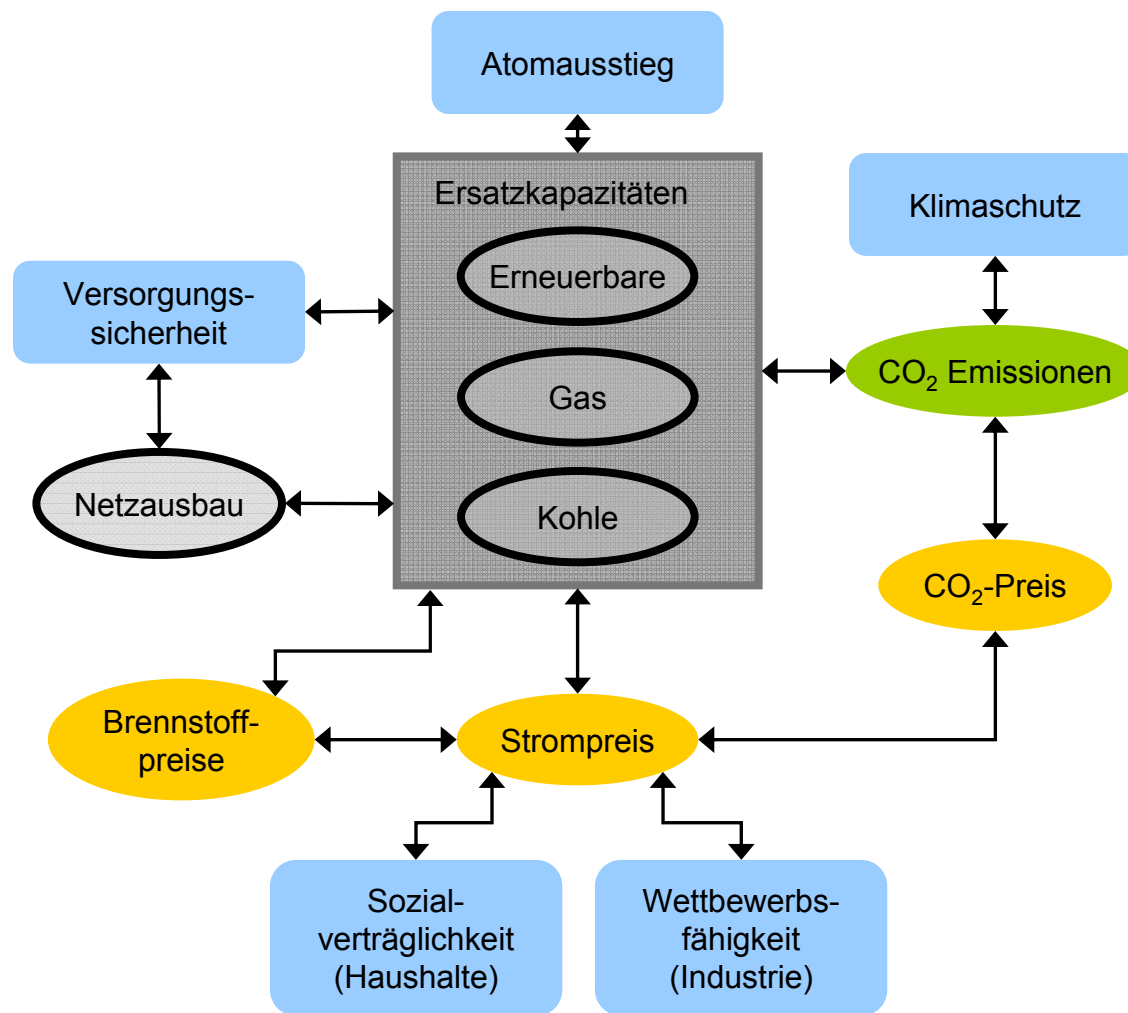
- 1) Motivation
- 2) Modellergebnisse
- 3) Anforderungen an staatliches Handeln

Dimensionen des Kernenergieausstiegs



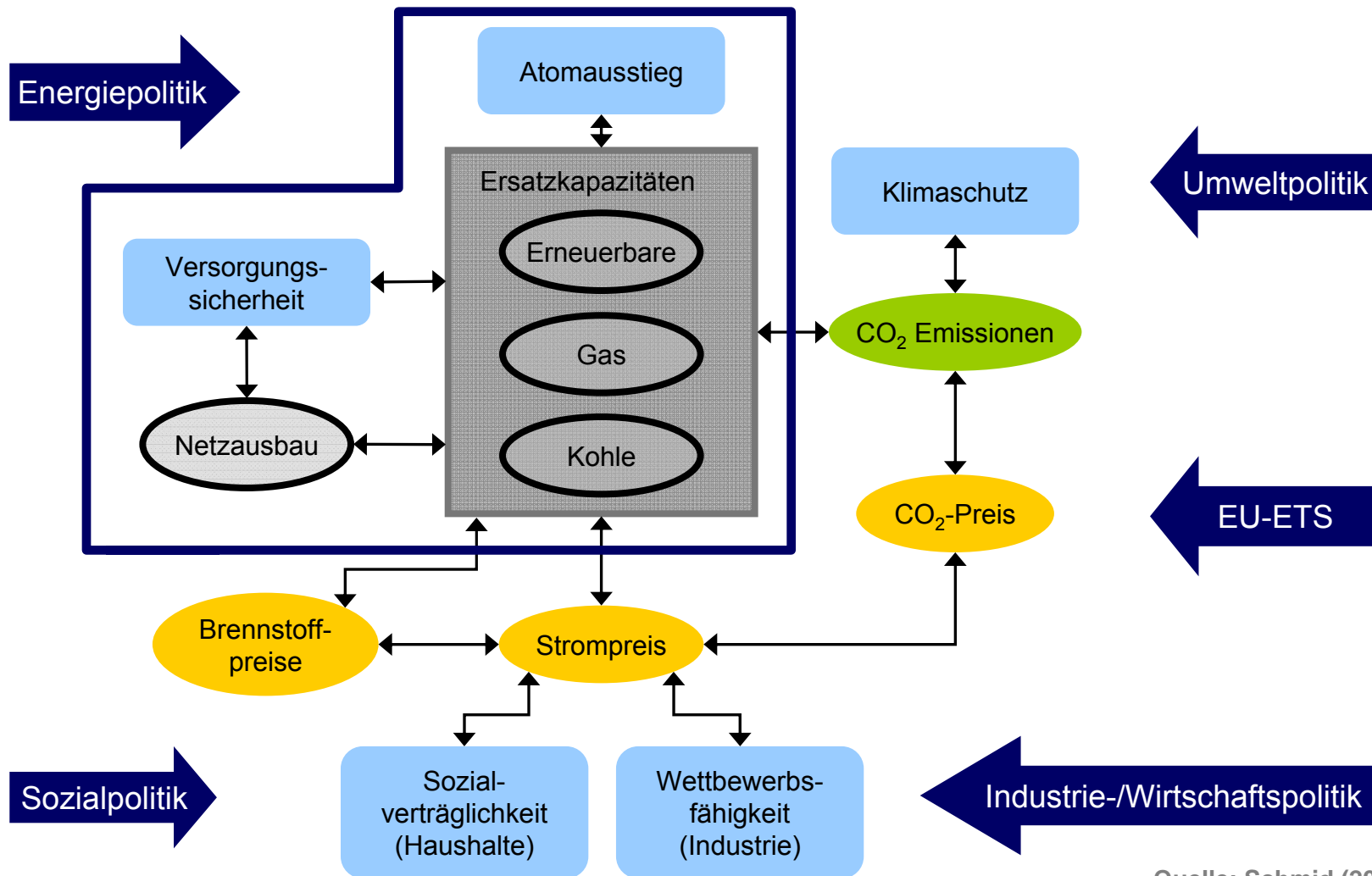
Quelle: Schmid (2011)

Dimensionen des Kernenergieausstiegs



Quelle: Schmid (2011)

Dimensionen des Kernenergieausstiegs



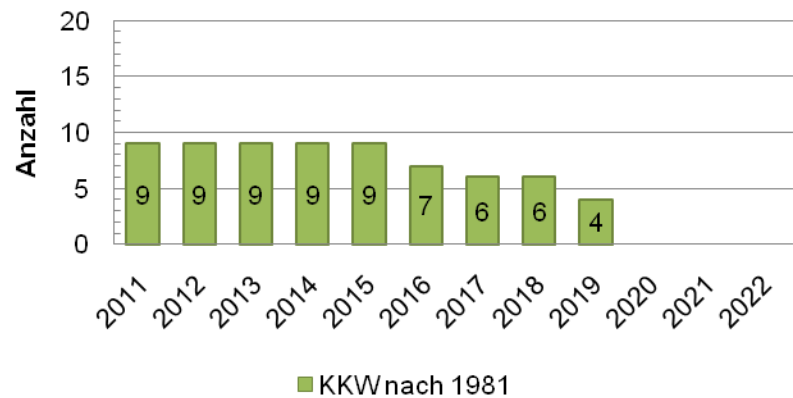
Quelle: Schmid (2011)

Darstellung der Modellergebnisse

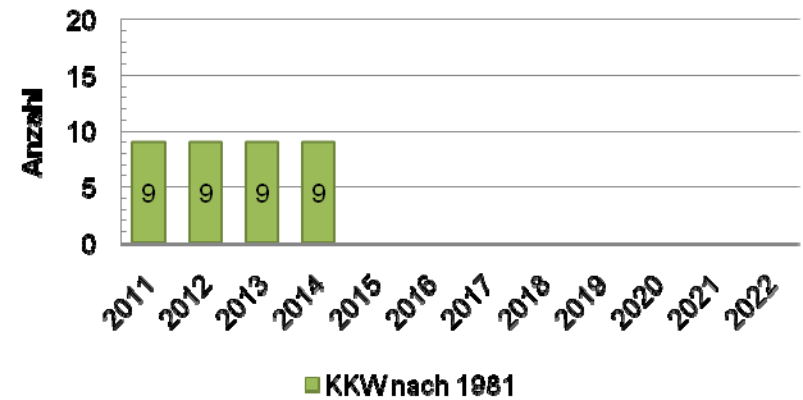
- ▶ Definition der Ausstiegsszenarien
- ▶ Ersatzbedarf im Bereich der fossilen Kraftwerke
- ▶ Preisbildung am Spotmarkt
- ▶ Entwicklung der Großhandelspreise
- ▶ Auswirkungen auf die Haushaltsstrompreise
- ▶ Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen
- ▶ Sensitivitätsanalysen

Kernenergieausstiegsszenarien (Restlaufzeiten)

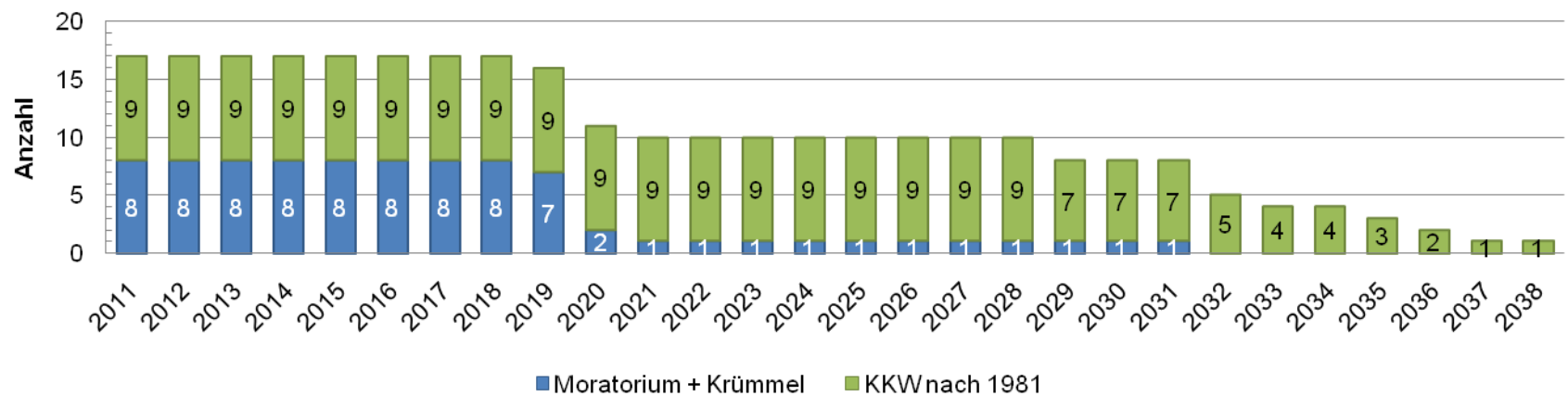
Kernkraftwerke im Modellszenario
Ausstieg 2020



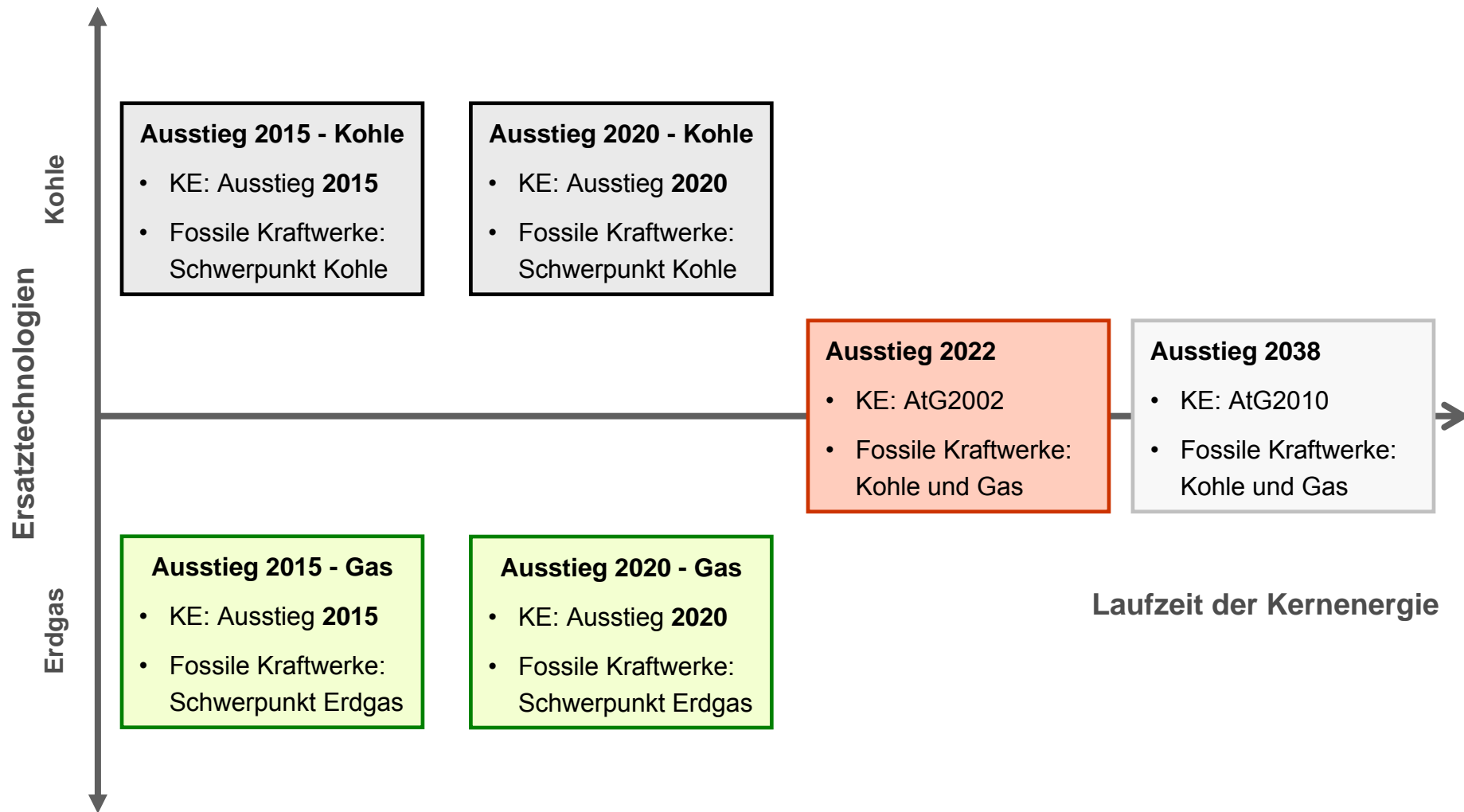
Kernkraftwerke im Modellszenario
Ausstieg 2015



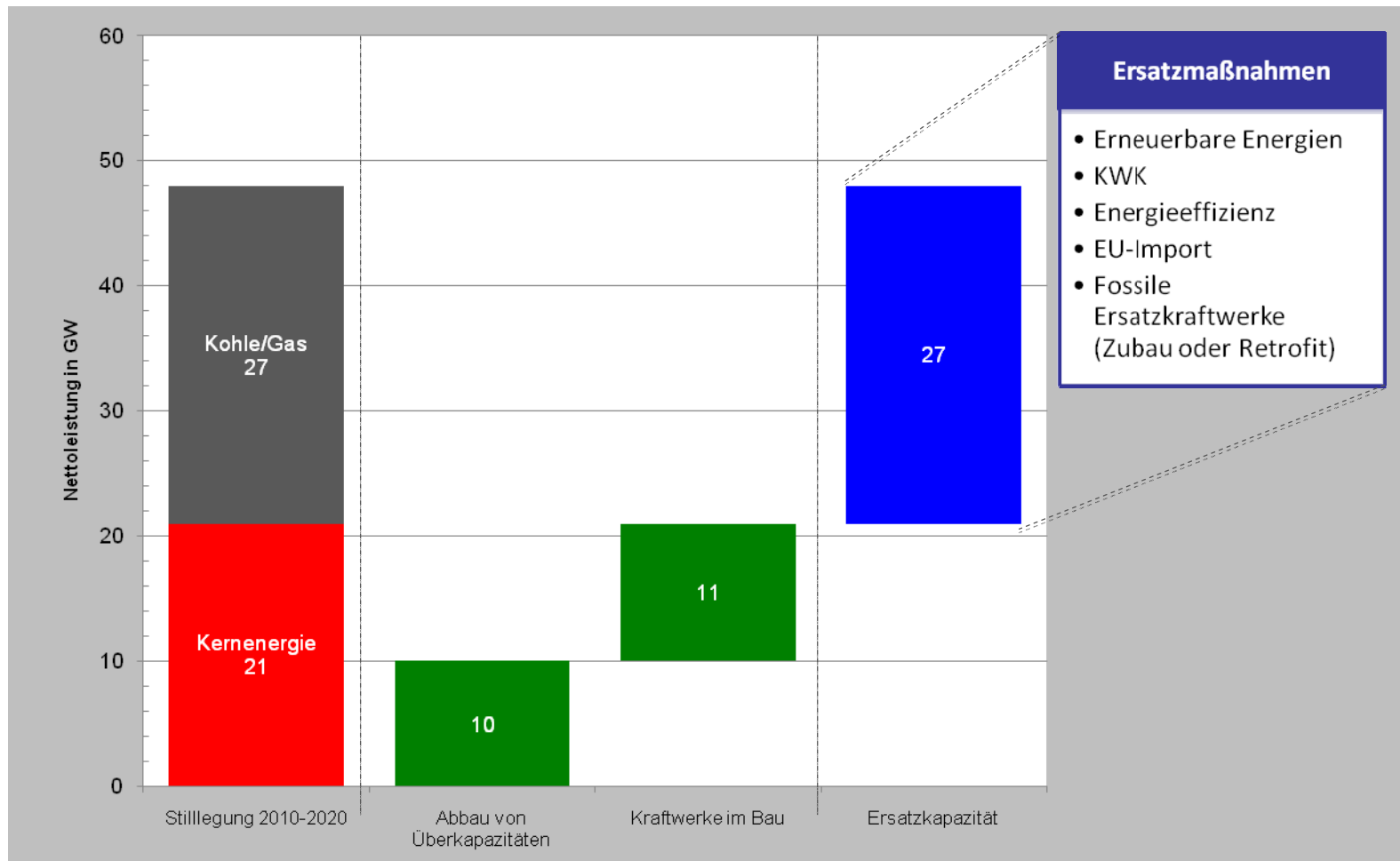
Kernkraftwerke bei Ausstieg 2038



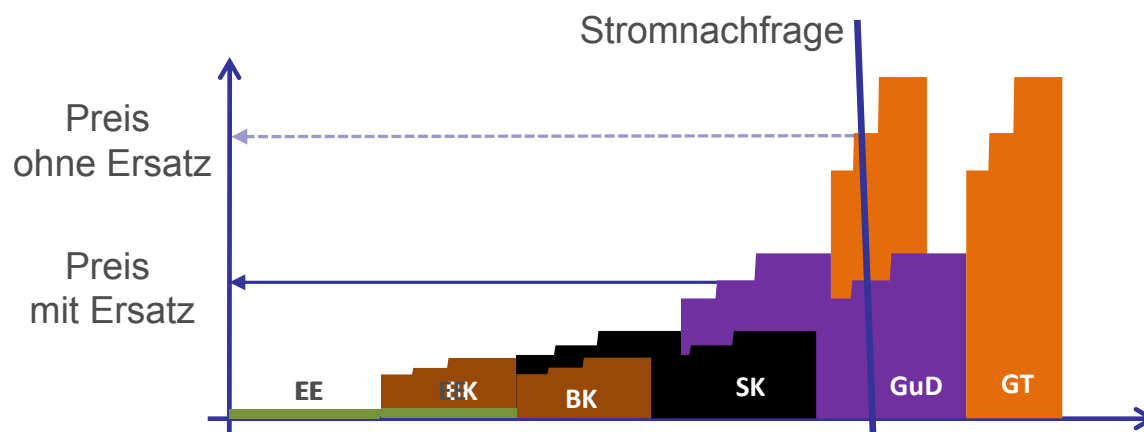
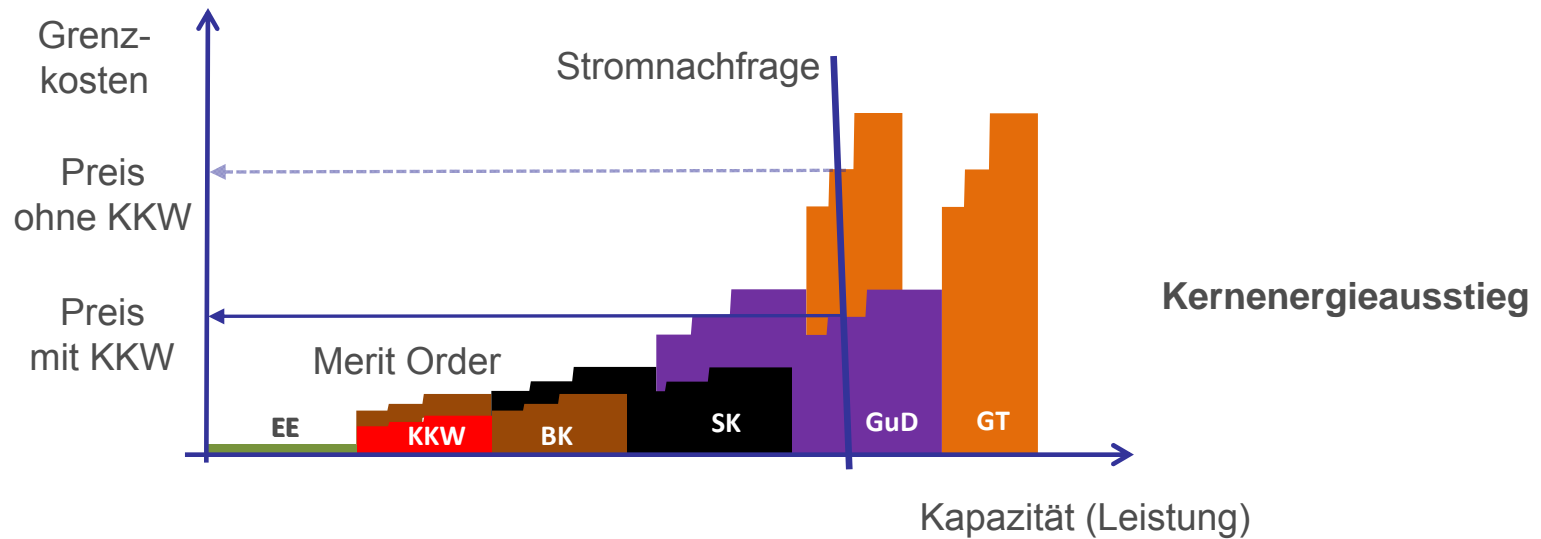
Definition der Szenarien



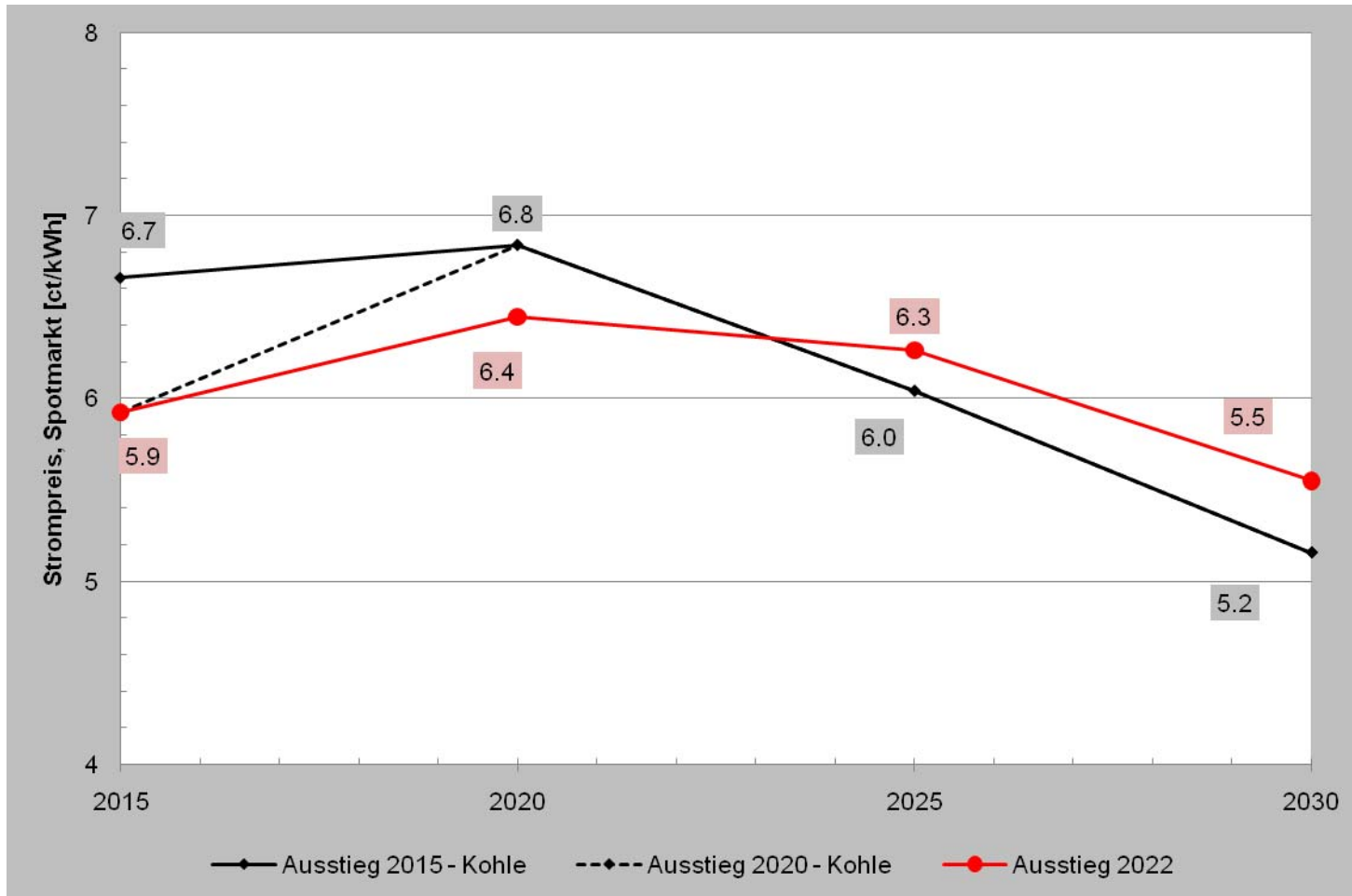
Zusätzlicher Bedarf an fossilen Kraftwerken



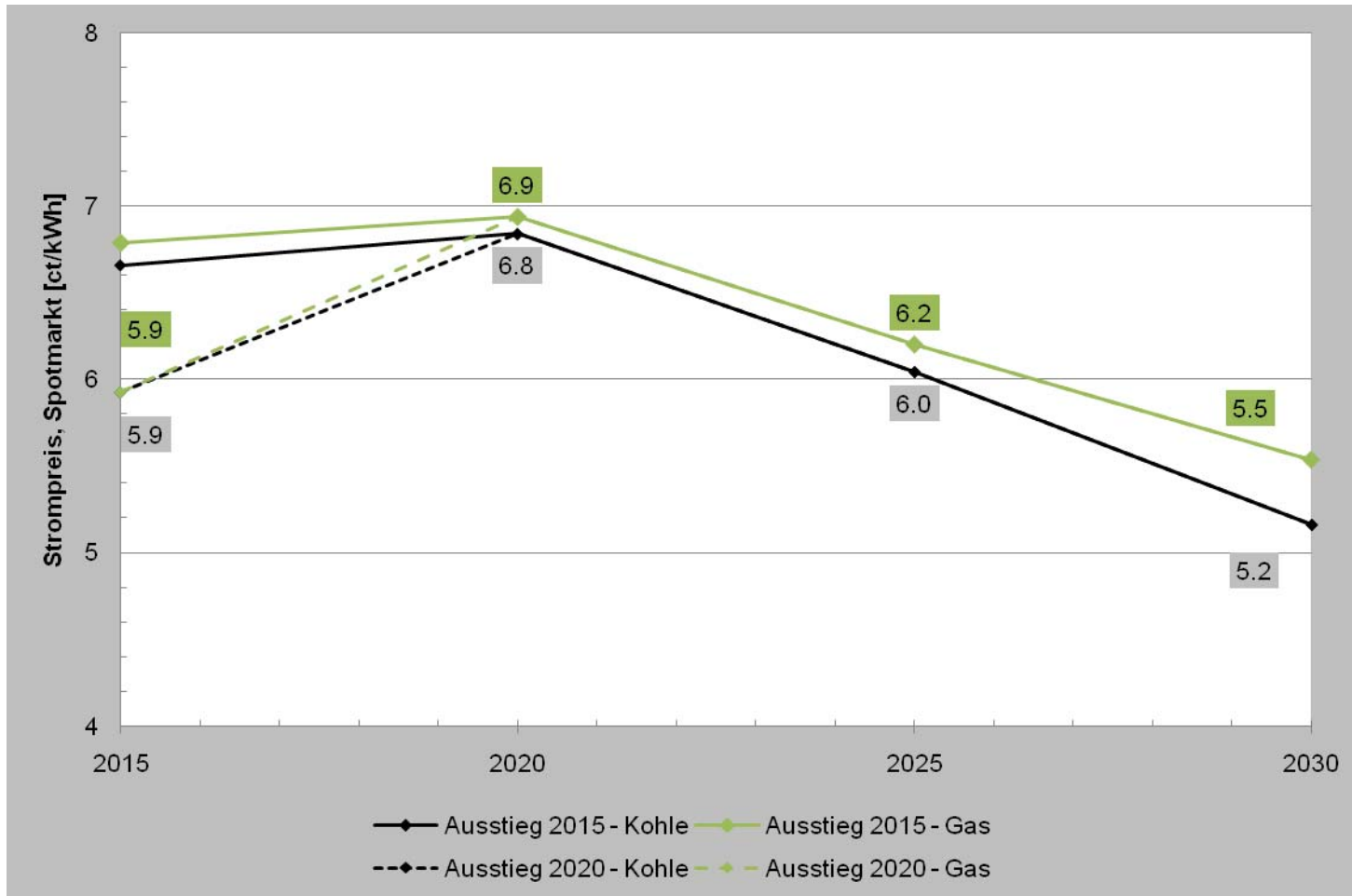
Preisbildung im liberalisierten Strommarkt



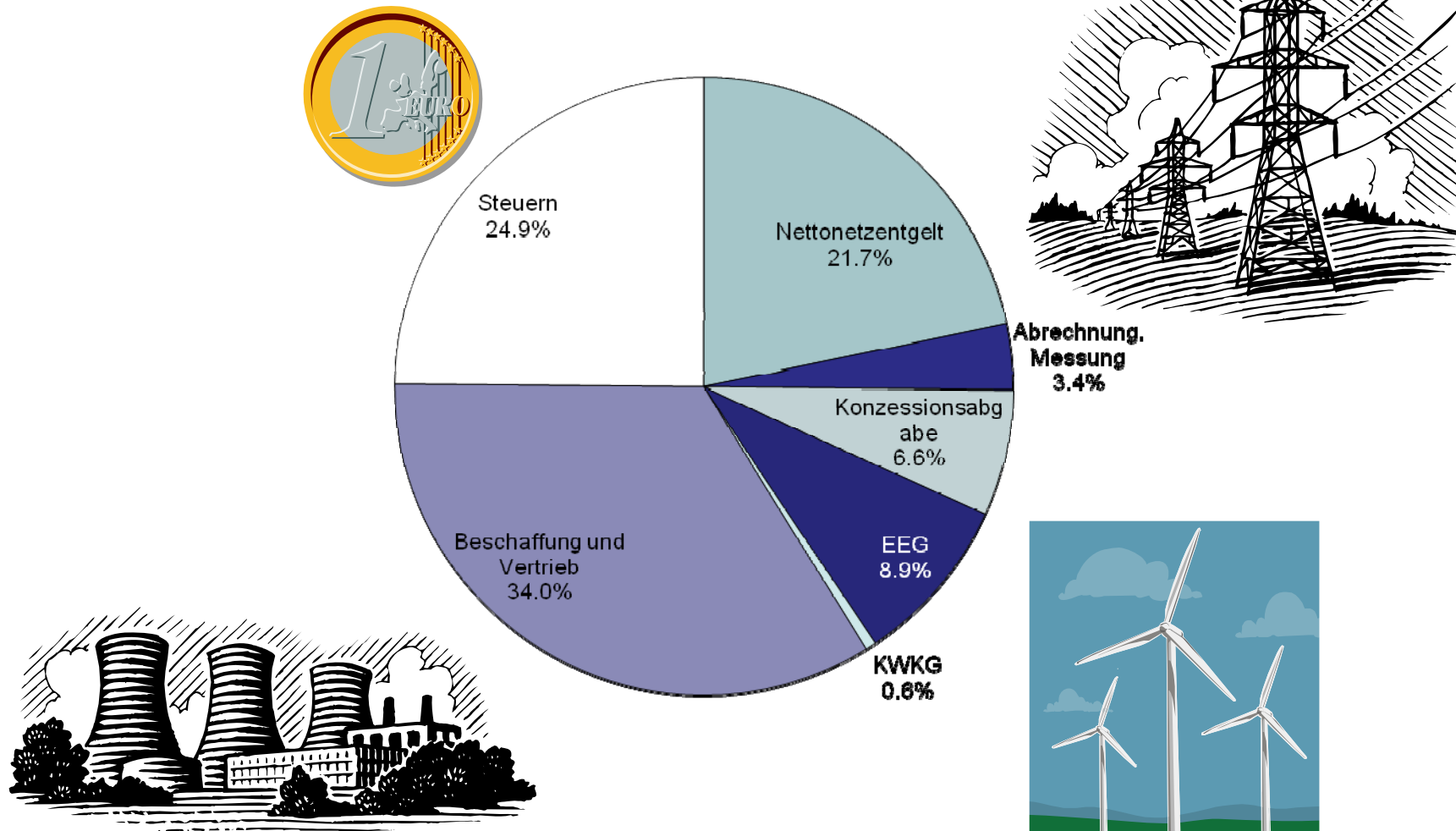
Entwicklung der Großhandelspreise



Ersatzoptionen: Gas- versus Kohlekraftwerke

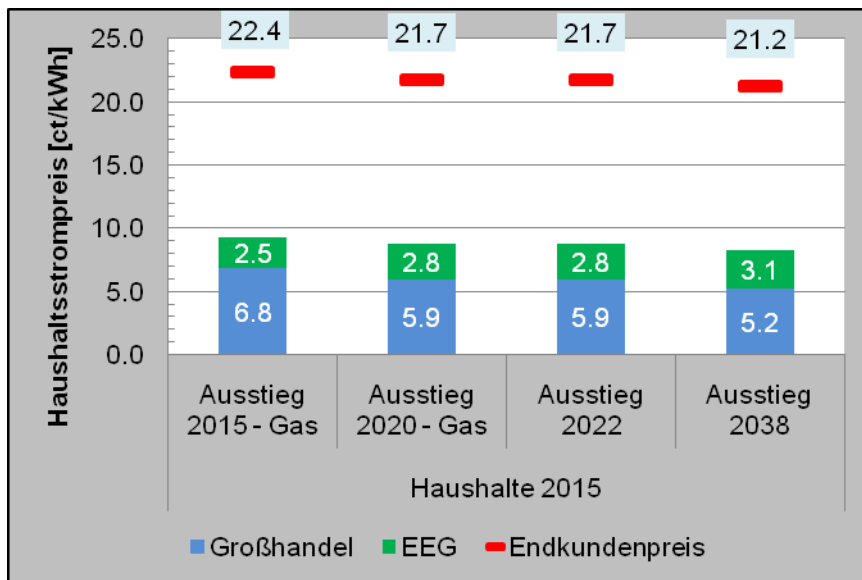


Zusammensetzung des Strompreises

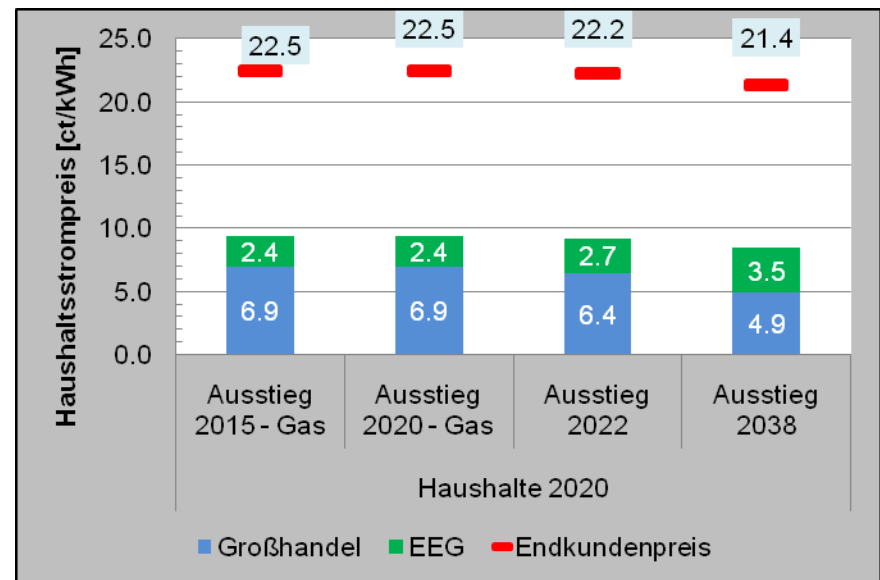


Strompreise für Haushalte

2015



2020



Beispiel: Stromverbrauch 3500 kWh

Basis Ausstieg 2020 oder 2022:

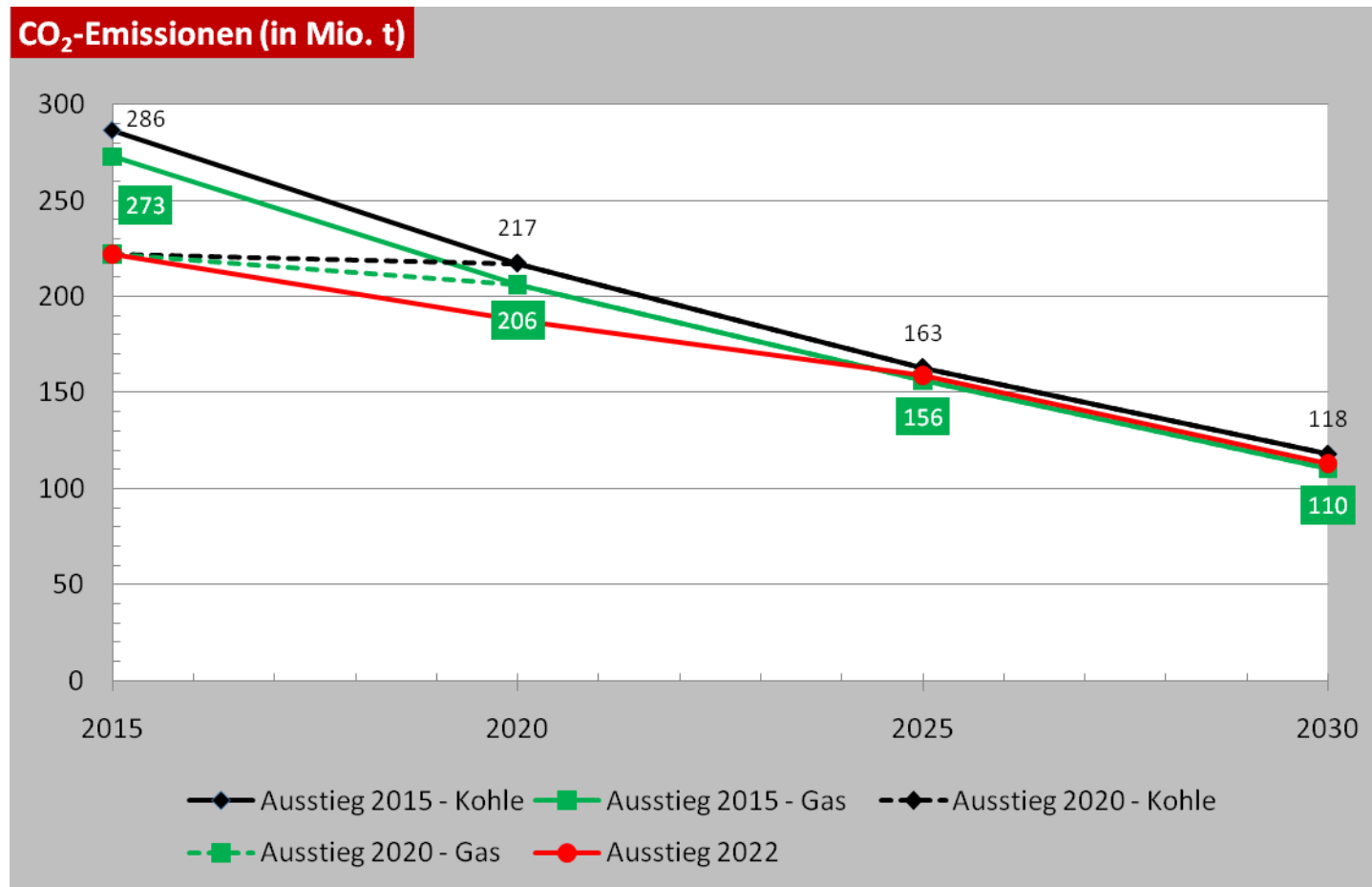
- ▶ 2 € monatliche *Mehrbelastung* bei einem Ausstieg in 2015
- ▶ 1,46 € monatliche *Entlastung* bei einem Ausstieg in 2038 (Laufzeitverlängerung)

Beispiel: Stromverbrauch 3500 kWh

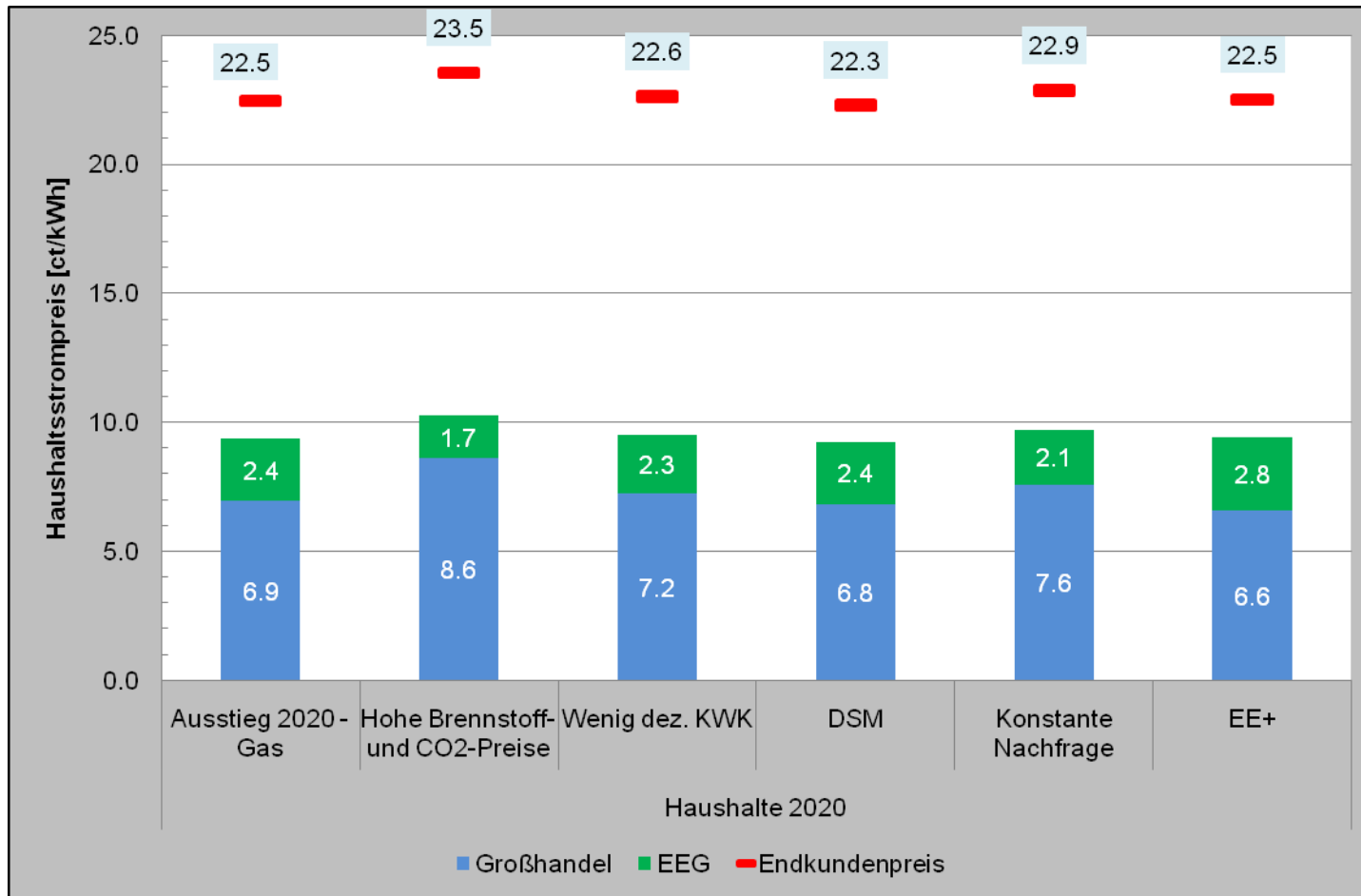
Basis Ausstieg 2015 oder 2020

- ▶ 0,90 € monatliche *Entlastung* bei einem Ausstieg in 2022
- ▶ 3,20 € monatliche *Entlastung* bei einem Ausstieg in 2038 (Laufzeitverlängerung)

CO₂-Emissionen



Sensitivität der Strompreise – Einflussfaktoren

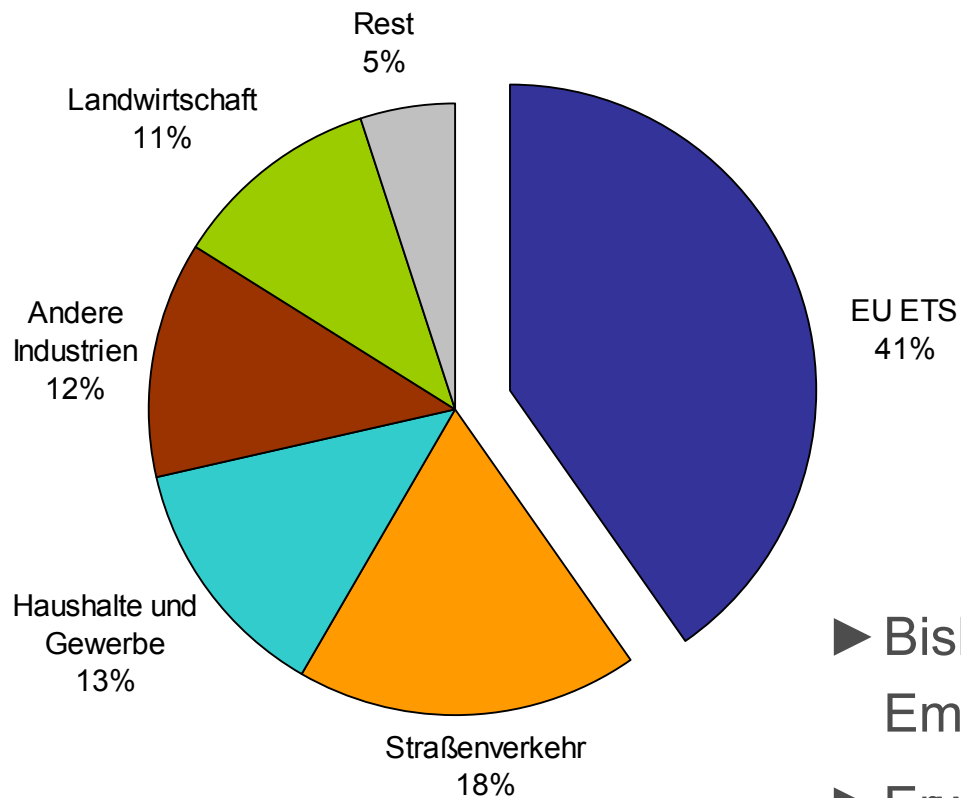


Koordinierte Europäische Klima- und Energiepolitik

- ▶ Eine koordinierte europäische Klima- und Energiepolitik unterstützt und erleichtert die Energiewende in Deutschland
- ▶ Geeignete Maßnahmen:
 - Erweiterung des Europäischen Emissionshandels
 - Gemeinsame Förderung der erneuerbaren Energien

Erweiterung des Europäischen Emissionshandels

EU-27 Treibhausgas Emissionen

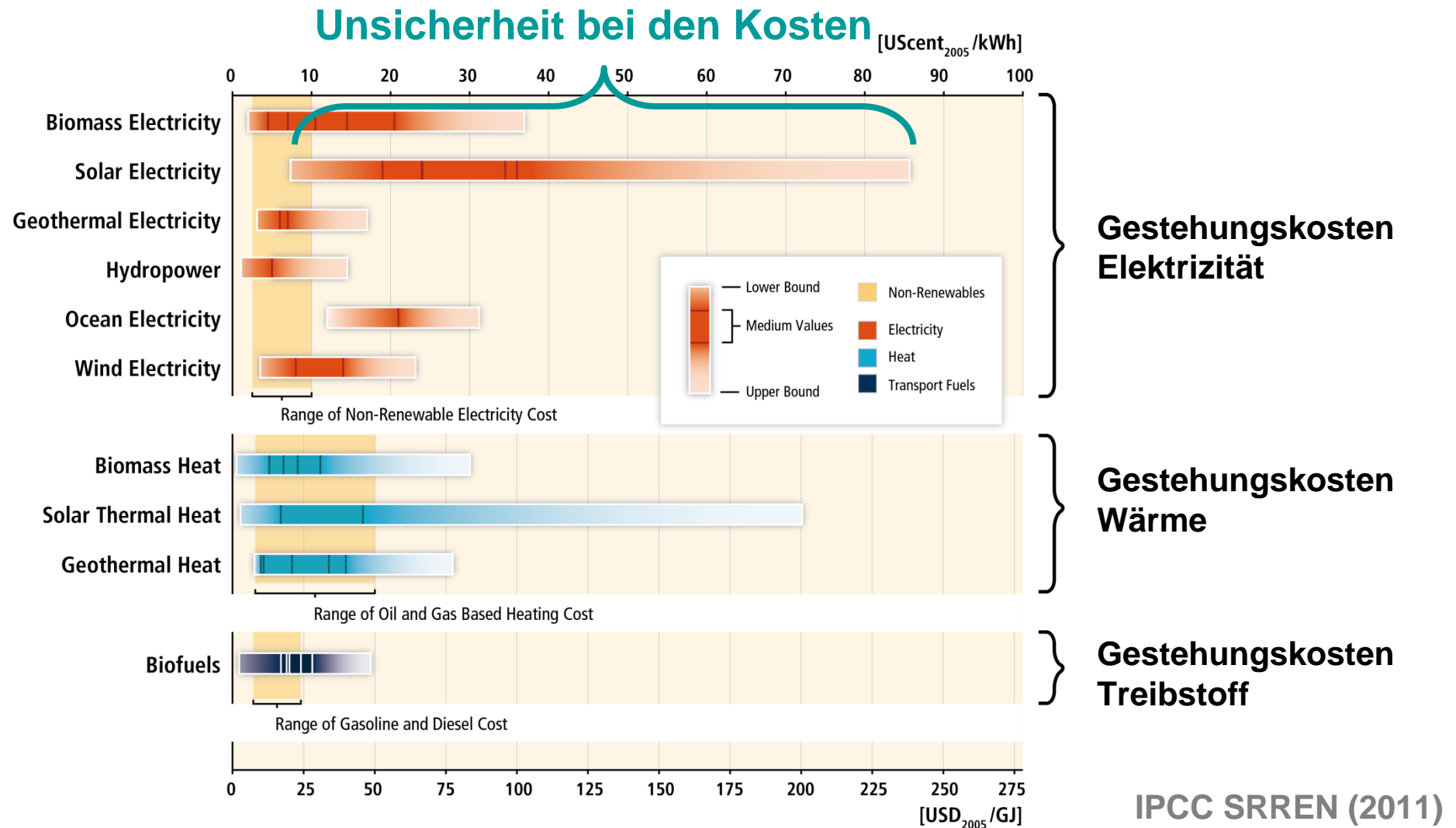


- ▶ Bisher sind nur ca. 40% der EU Emissionen abgedeckt.
- ▶ Erweiterung des Emissionshandels um weitere Sektoren ist notwendig.

Förderung der erneuerbaren Energien

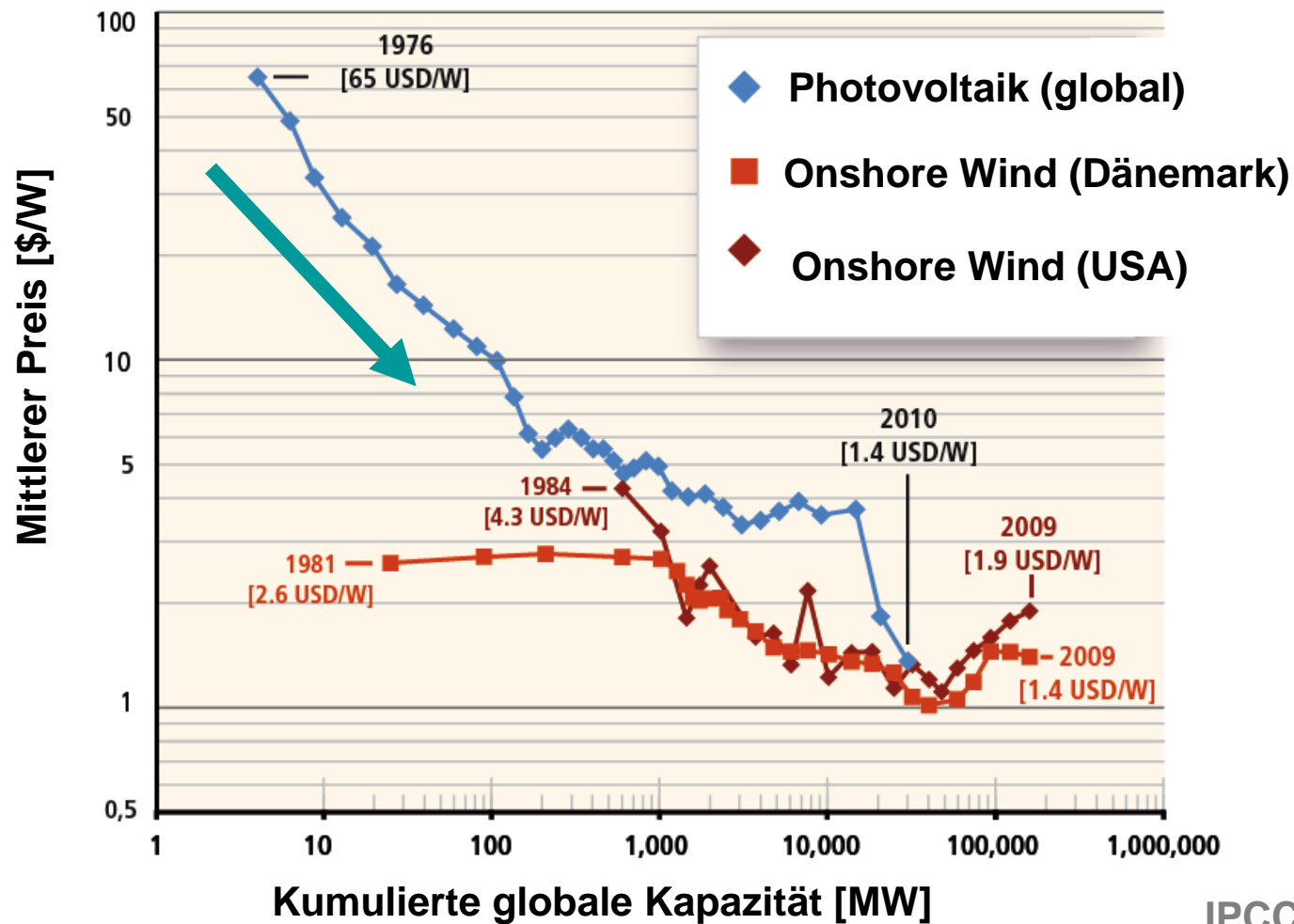
- ▶ Prüfung einer europaweiten Harmonisierung der Förderung der erneuerbaren Energien unter Berücksichtigung der Integration bestehender nationaler Fördersysteme
 - Erneuerbare Energien sind lernende Technologien
 - Kosten können durch geeignete Standortwahl gesenkt werden

Kostensenkung durch geeignete Standortwahl



Erneuerbare Energien sind lernende Technologien

Mit jeder weiteren installierten Kapazität sinken die Kosten



IPCC SRREN (2011)

Die erneuerbaren Energien brauchen den Netzausbau

- ▶ Ausrichtung des Neubaus von Kraftwerken an den Erfordernissen der Netzinfrastruktur (Berücksichtigung regionaler Gegebenheiten).
- ▶ Optimierung des Netzbetriebes im Hinblick auf Stabilität (z.B. durch Zertifizierung für systemsichernde Eigenschaften).
- ▶ Erhebung und Offenlegung der zur Beurteilung der Netzsituation notwendigen Daten.
- ▶ Weitere Beschleunigung des Netzausbaus gemäß den vorliegenden Plänen und Gesetzesinitiativen.

Einrichtung eines Rates für Energie- und Klimapolitik

- ▶ Die Langfristigkeit erlaubt eine größere Unabhängigkeit von kurzfristigen politischen Strömungen.
- ▶ Der Rat schlägt nicht nur einen Weg vor, sondern verschiedene Alternativen.
- ▶ Nicht nur Monitoring, sondern aktive Rolle bei der Identifizierung von Forschungslücken und Defiziten bei der Implementierung.
- ▶ Rat muss Rechenschaft gegenüber dem Parlament ablegen.
- ▶ Fortwährende Überprüfung von Zielen und Mitteln.

**Nicht der Ausstieg aus der Kernkraft ist die eigentliche
Herausforderung,
sondern der Einstieg in die Energiewende**

**Der Schritt vom Ausstieg zur Energiewende
ist machbar**

**Zur Umsetzung der Energiewende bedarf es einer
koordinierten europäischen Energie- und Klimapolitik**



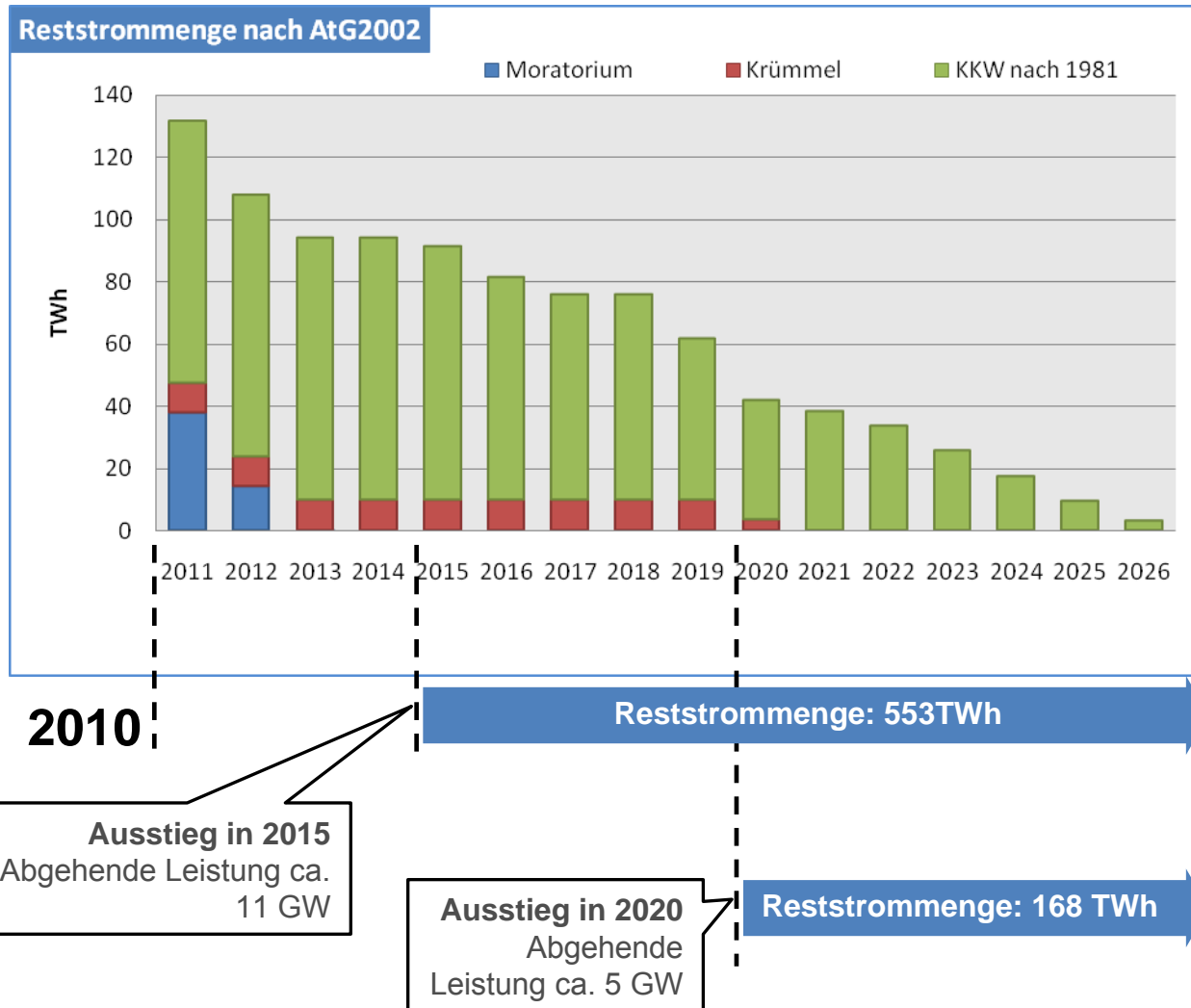
UNIVERSITÄT LEIPZIG

Energiemanagement
und Nachhaltigkeit



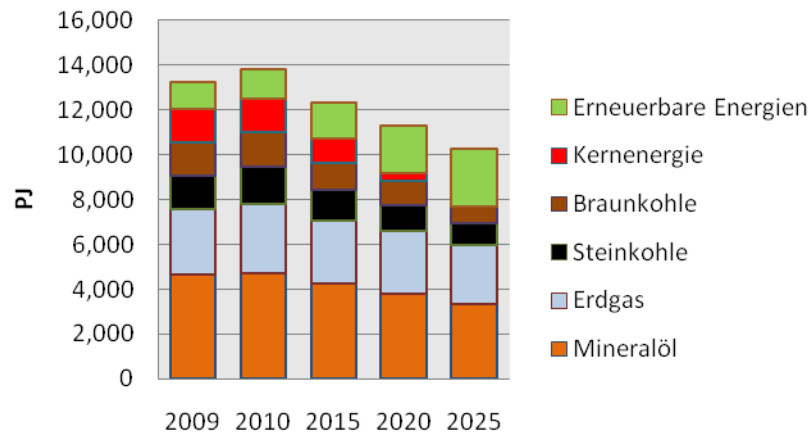
ANHANG

Trend national - Kraftwerkspark (II) – Szenario „Vollausstieg“

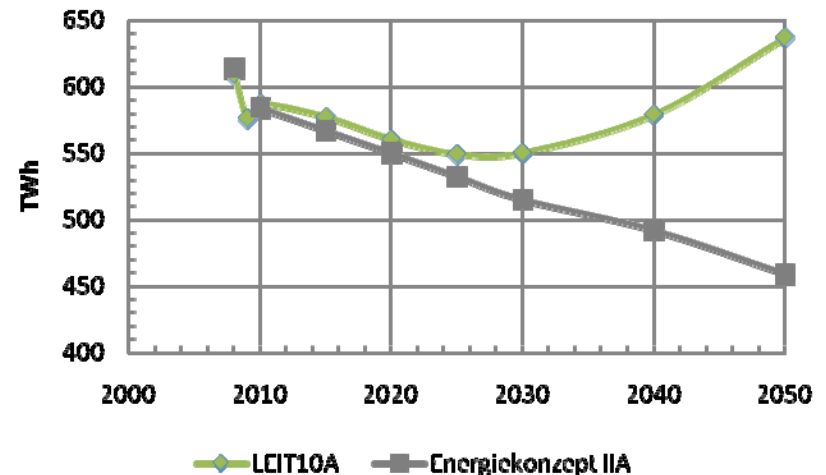


Trend national - Entwicklung des Energieverbrauchs

Primärenergieverbrauch in Deutschland Ist 2009/10 und Prognose 2025 (Leitstudie 2010)



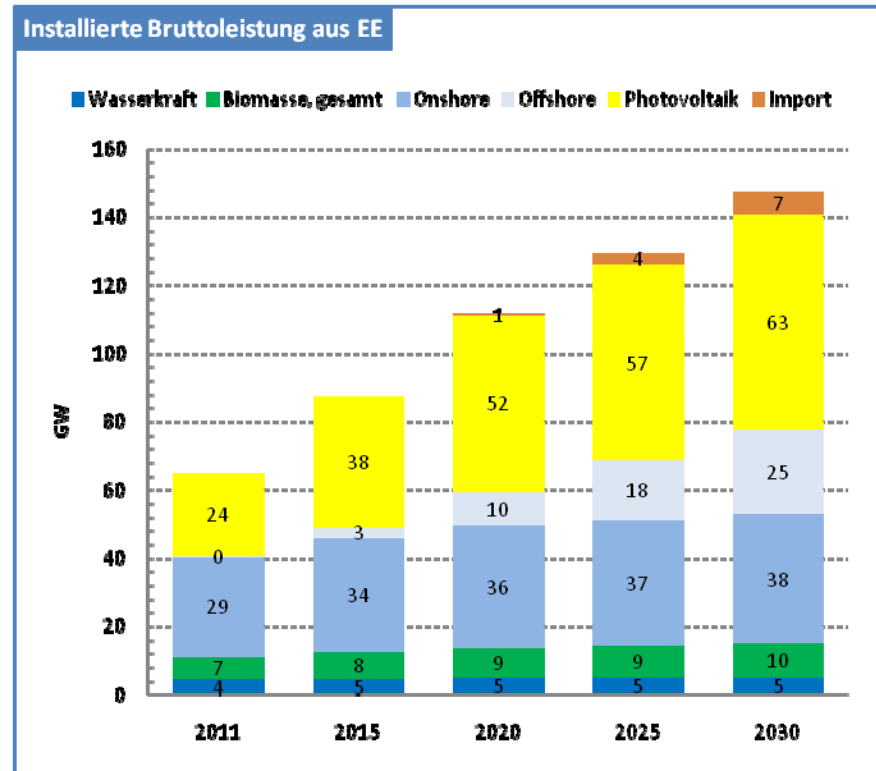
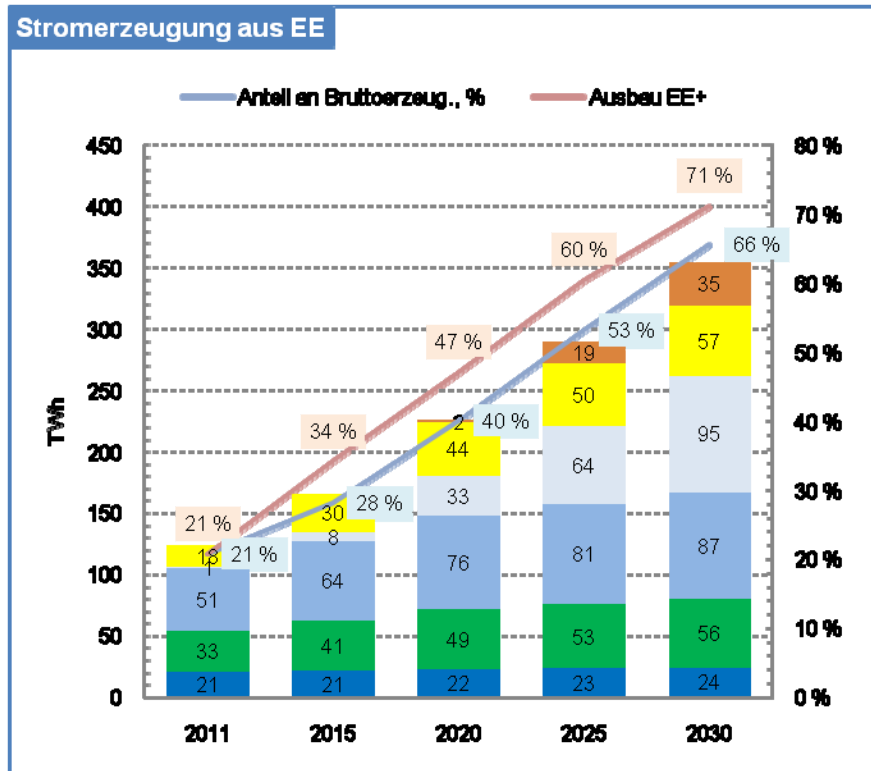
Entwicklung des Bruttostromverbrauchs bis 2050



- Die Prognosen zum Energieverbrauch werden durch eine Reihe von **sozio-ökonomischen Randdaten** bestimmt. Dies sind z. B.
 - Bevölkerung, Haushalte, Wohnraum pro Kopf, PKW pro Haushalt sowie
 - BIP, BIP pro Kopf, Arbeitskräfte, PKW.
- Für Deutschland werden in Studien folgende Trends unterstellt:
 - Sinkende Bevölkerung (ca. 79 Mio. in 2030), steigende Anzahl von Haushalten
 - Moderates Wirtschaftswachstum (1,1 % p.a. bis 2020)

- Die angestrebte Reduktion im Energieverbrauch bei weiterhin moderatem Wirtschaftswachstum bedingt eine **Steigerung der Primärenergieproduktivität** auf 2,7 % p.a. bis 2020 (vgl. Mittelwert der letzten Jahre 1,8 % p.a.)
- Im **Referenzszenario** sinkt der Bruttostromverbrauch von derzeit rund 600 TWh auf etwa 560 TWh bis 2020.
- Ab 2030 erhöhen zusätzliche Verbraucher (Elektromobilität, Wärmepumpen, Wasserstoff) die Stromnachfrage.
- Im Zielszenario II wird die zusätzliche Nachfrage durch weitere Einsparungen in den Sektoren kompensiert.

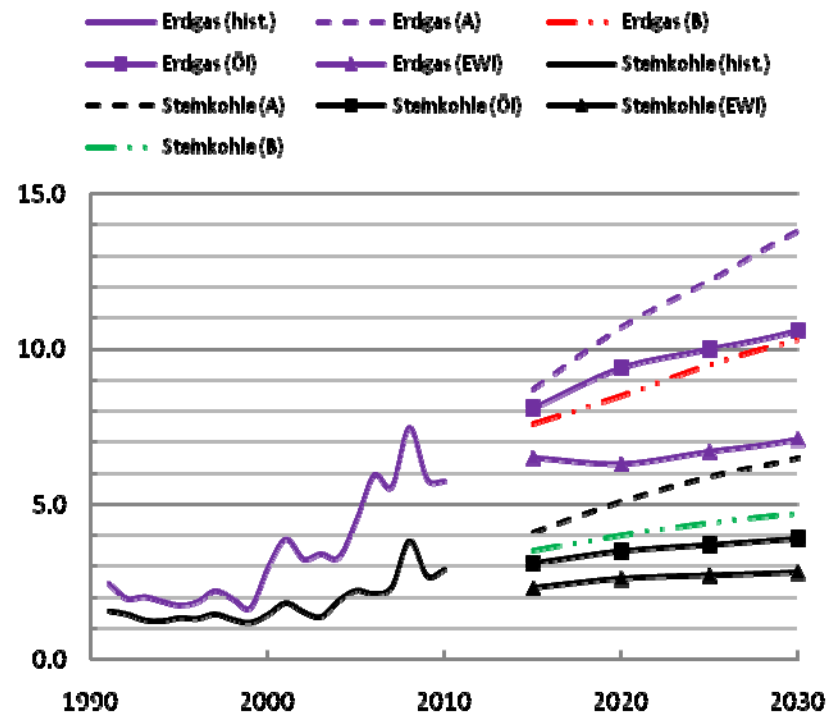
Zukünftiger Ausbau der erneuerbaren Energien



- Die EE-Stromerzeugung orientiert sich am „**BMU-Leitszenario 2010**“. Das Leitszenario liegt oberhalb der Annahmen des Energiekonzeptes der BReg. Die Abweichungen betragen rund 20 TWh in 2020 und 100 TWh in 2030.
- In den B-Szenarien wird der Ausbaupfad um rechnerisch 3 Jahre beschleunigt.

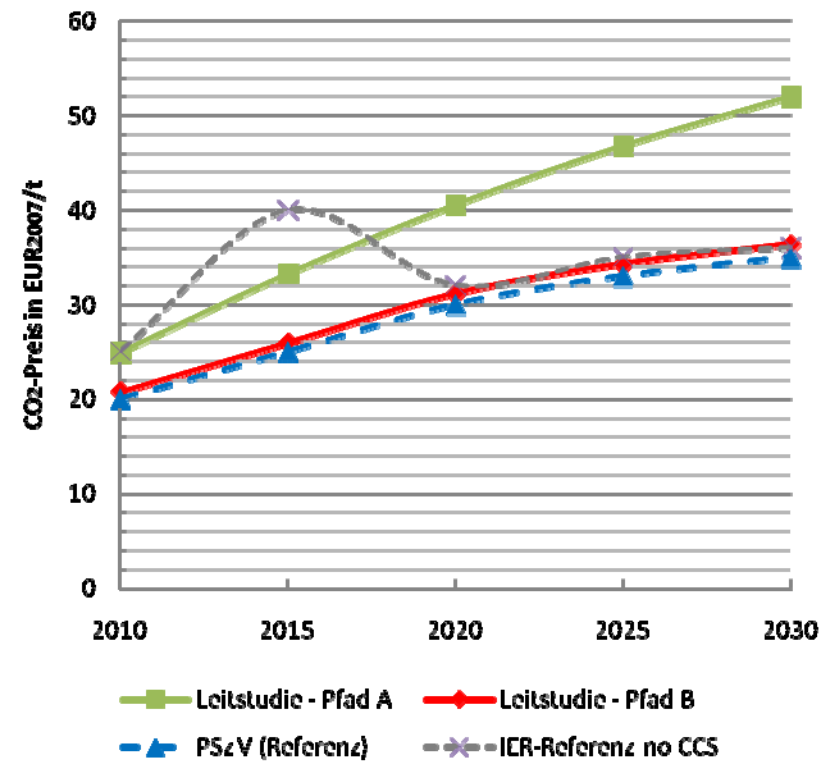
Entwicklung der Brennstoff- und CO₂-Preise

Brennstoffpreise frei Grenze - Steinkohle und Erdgas (EUR₂₀₀₇/GJ)



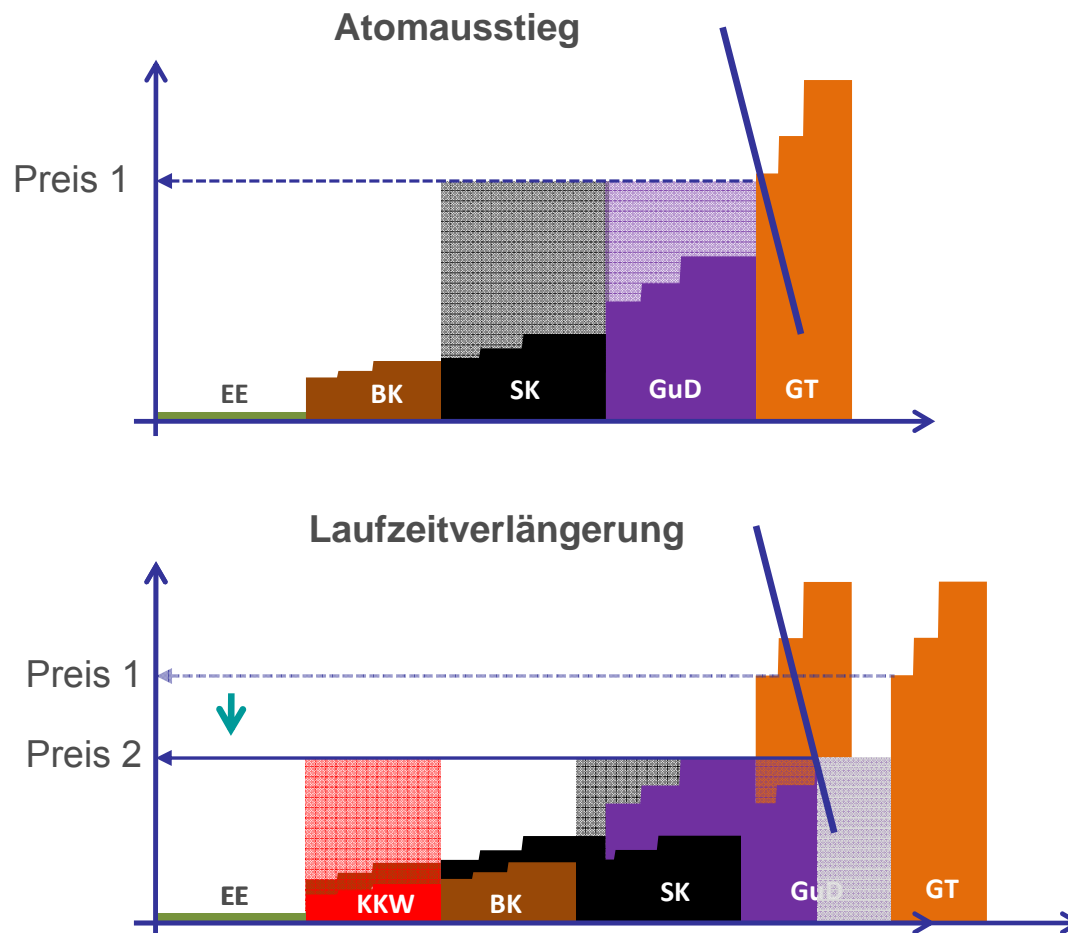
Die Modellrechnungen verwenden die Preispfade Erdgas (B) und Steinkohle (B).

Prognose der CO₂-Zertifikatepreise



Die Modellrechnungen verwenden die Preispfade Leitstudie - Pfad B.

Preisbildung im liberalisierten Strommarkt



Zusätzlicher Bedarf an fossilen Kraftwerken

- Der Ausstieg aus der Kernenergie erfordert einen schnelleren Zubau von fossilen Ersatzkapazitäten (oder einen Retrofit älterer Anlagen) als bisher geplant.
- Bis zum jeweiligen Ausstiegszeitpunkt in 2015, 2020 oder 2022 ist über die im Bau befindlichen Projekte hinaus die Neuplanung von Kraftwerken mit einer Netto-Leistung von 8 GW an fossilen Kraftwerken notwendig, um die Jahreshöchstlast zu decken.
- Dies bedeutet, dass nicht nur alle in Bau befindlichen Kraftwerke realisiert werden müssen, sondern erfordert auch die Inbetriebnahme von fossilen Kraftwerken, die derzeit nur im Planungsstatus sind bzw. ältere Anlagen länger als ursprünglich geplant am Netz zu lassen.
- Die Realisierung **eines Ausstiegs bis zum Jahr 2015** hängt entscheidend davon ab, dass zusätzliche Ersatzkapazitäten im Bereich der fossilen Kraftwerke kurzfristig verfügbar sind.
- Der frühere Ausstieg führt zwar nicht zu dramatisch höheren Preisen, aber zu deutlich höheren CO₂-Emissionen. Voraussetzung für die Realisierung dieses Szenarios ist, dass die Ersatzkapazitäten durch den Zubau von (fossilen) Kraftwerken tatsächlich zum benötigten Zeitpunkt verfügbar sind. Alternativ könnte auch eine längere Nutzung älterer fossiler Kohlekraftwerke in Erwägung gezogen werden.

Entwicklung der Großhandelspreise

- Sowohl beim Ausstieg 2020 als auch beim Ausstieg 2022 liegt der Spotmarktpreis im Jahr 2015 bei 5,9 ct/kWh. Ein Ausstieg 2015 würde demgegenüber zu einem Anstieg um 13% führen.
- Der Spotmarktpreis liegt in 2015 bei Ausstieg 2020 und Ausstieg 2022 bei 5,9 ct/kWh, verglichen mit einem Preis von 5 ct/kWh zu Beginn des Jahres 2011.
- Unter der Annahme eines Szenarios mit Verlängerung der Laufzeiten der Kernenergie (Ausstieg 2038) resultiert ein Spotmarktpreis von 5,2 ct/kWh.
- Bei einem beschleunigten Ausstieg (Ausstieg 2015) beträgt die zusätzliche Preissteigerung 0,8 ct/kWh (13%) gegenüber dem Ausstieg 2020 bzw. Ausstieg 2022.
- Mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien werden bis 2030 die Spotmarktpreise auf 5-6 ct/kWh sinken.

Ersatz der Kernkraftwerke – Gas- statt Kohlekraftwerke

- Der Ersatz der Kernkraftwerke durch Gas- statt durch Kohlekraftwerke wirkt sich annähernd gleichwertig auf die Strompreise aus, aber die CO₂-Emissionen würden weniger stark steigen.
- Werden verstärkt Gaskraftwerke statt Kohlekraftwerke zugebaut, so liegen die Spotmarktpreise im Jahr 2020 nur um etwa 0,1 ct/kWh über denen des „Kohlepfades“ (bei Ausstieg 2020). Weiterhin können die CO₂-Emissionen gesenkt werden. Vor allem bei einem frühen Ausstieg in 2015 könnte sich so der zusätzliche Ausstoß um 20% reduzieren.
- Langfristig gibt es jedoch zwischen dem Gas- und Kohlepfad bedingt durch den zunehmenden Marktanteil der erneuerbaren Energien nur noch geringe Unterschiede bei den CO₂-Emissionen.
- Ein stärkerer Ausbau von Gaskraftwerken gegenüber Kohlekraftwerken ist vorteilhaft, weil ein schnellerer Ersatz möglich ist und eine langfristige Festlegung auf einen fossilen Pfad damit verhindert wird. Darüber hinaus wird vor allem der Wettbewerb auf dem Strommarkt gestärkt, weil auch kleinere Anbieter wie z. B. Stadtwerke mit einer geringeren Kapitalausstattung in der Lage sind, diese Kraftwerke aufzubauen und in Verbindung mit der Kraft-Wärme-Kopplung die Effizienzziele zu erreichen.

Strompreise für Haushalte

- Für Haushalte, die der EEG-Umlage unterliegen, wirkt sich der Ausstiegszeitpunkt aus der Kernenergie nur in geringem Maße auf die Strompreise aus.
- Beim Ausstieg 2020 und Ausstieg 2022 liegt der Strompreis im Jahr 2015 bei 21,7 ct/kWh, beim Ausstieg 2015 bei 22,4 ct/kWh.
- Das bedeutet für einen durchschnittlichen Stromverbrauch pro Haushalt (3500 kWh pro Jahr) eine Differenz von etwa 2 € monatlich.
- Die maximale Differenz zwischen einem Ausstieg in 2015 und 2038 liegt bei 1,2 ct/kWh (3,50 € pro Monat).
- Die EEG-Umlage wirkt sich hier preisdämpfend für die Haushalte aus.

CO₂-Emissionen

- Bei einem frühzeitigeren Ausstieg aus der Kernenergie ist mit einem vorübergehenden Anstieg der CO₂-Emissionen zu rechnen, deren Gesamtmenge aber über den europäischen Emissionshandel begrenzt ist.
- Ein Ausstieg in 2022 würde die Rückkehr zum alten „Status Quo“ von vor der Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke bedeuten.
- Ein Ausstieg in 2020 würde die CO₂-Emissionen kurzfristig nur sehr leicht erhöhen. Beim Ausstieg bis 2015 würden sich dagegen die CO₂-Emissionen um 64 Mt CO₂ (23 %) erhöhen gegenüber einem Ausstieg in 2020 oder 2022. Ab 2025 liegen die Emissionen für die Ausstiegszeitpunkte 2022, 2020 und 2015 gleichauf.

Sensitivität der Strompreise – Einflussfaktoren

- Die Entwicklung der **Brennstoff- und CO₂-Preise** hat einen größeren Effekt auf den Strompreis als das Ausstiegsjahr.
- Im Szenario Ausstieg 2020-Gas steigen bei stärker steigenden Brennstoff- und CO₂-Preisen die Spotmarktpreise im Jahr 2020 um 20% an.
- Wenn Maßnahmen zur **Steigerung der Energieeffizienz** fehlschlagen und keine Senkung der Stromnachfrage erreicht werden kann, steigen die Strompreise ebenfalls an. Bei der Annahme einer konstanten statt sinkenden Stromnachfrage können die Spotmarktpreise im Jahr 2020 um 10% ansteigen.
- Der Einfluss von Maßnahmen zur Lastverschiebung (**Demand-Side-Management**) kann dagegen die Preise nur minimal senken und auch die Annahme über den Zubau der **dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung** hat nur einen geringeren Einfluss auf die Preise.
- Bei einem **verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien** können die Großhandelspreise in Verbindung mit flexiblen Gaskraftwerken gesenkt werden. Zudem kann der benötigte Zubaubedarf konventioneller Ersatzkraftwerke von 8 GW auf 6 GW reduziert werden.