

CO₂-Mindestpreise im Instrumentenmix einer Kohle-Ausstiegsstrategie für Deutschland

Studie im Auftrag des WWF Deutschland

**Dr. Felix Chr. Matthes, Charlotte Loreck, Hauke Hermann,
Dr. Sylvie Ludig**

Berlin, März 2018

- **Das übergeordnete Ziel des Klimaschutz-Abkommens von Paris (globale Erwärmung „deutlich unter 2°C“ halten)**
 - Budget-Konzept rückt in den Fokus: *kumulierte* Emissionen über die Zeit sind die entscheidende Metrik (für DE ca. 10 Mrd. t CO₂ bis 2050)
 - für Staaten mit hohen THG-Emissionen sind *frühzeitige* Minderungen essentiell: *Verlauf* der Emissionsminderungspfade ist genauso wichtig wie das Erreichen von Langfristzielen
- **Schnelle Minderung der CO₂-Emissionen des Stromsektors (= Niveau der Kohleverstromung) ist für Deutschland entscheidend**
 - mit Abstand die größte Einzelquelle von CO₂-Emissionen
 - nicht das einzige, aber das größte Potenzial für schnelle CO₂-Emissionsminderungen (lange Sanierungszyklen im Gebäudesektor, Innovationsvorlauf im Verkehrssektor)
 - entscheidende Voraussetzung für (klimapolitisch sinnvolle) Sektorintegration („Sektorkopplung“)

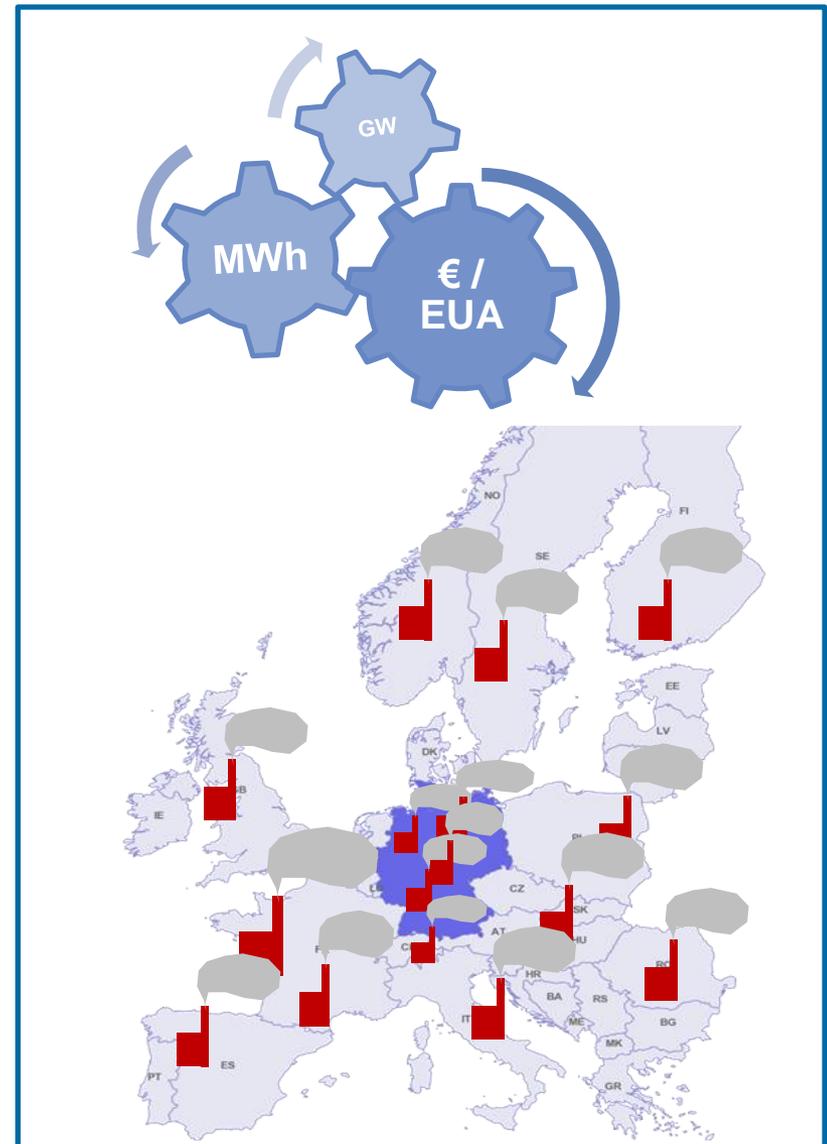
- **Neuordnung von Steuern, Abgaben und Umlagen ist (aus vielen Gründen) auf der politischen Tagesordnung**
- **Auch in diesem Kontext: Interesse an CO₂-Bepreisungsansätzen (für unterschiedliche / alle Sektoren) steigt – aus vielen guten Gründen**
- **Der zentrale CO₂-Bepreisungsansatz für den Stromsektor, der EU ETS, wird sich nach den Maßnahmen zur strukturellen Reform nur sehr langsam von der Überschuss-Krise erholen**
 - bis zur zweiten Hälfte der 2020er Jahre Preis von um / unter 10 €/EUA
 - kein / nur unzureichender Beitrag zu den notwendigen schnellen CO₂-Emissionsminderungen im Kraftwerkssektor
- **Im grenzüberschreitend stark integrierten Stromsektor entsteht durch CO₂-Bepreisung eine Vielzahl von Wechselwirkungen**
 - klimapolitische und Verteilungs-Effekte unilateraler Ansätze können sich als problematisch erweisen (dies ist relevant für alle Staaten mit ambitionierten Klimaschutz-Strategien, z.B. DE, FR, NL)
 - grenzüberschreitende Aktivitäten der CO₂-Bepreisung sind (sehr) vorteilhaft und stehen auf der politischen Agenda

- **Das Instrumenten-Portfolio für deutliche (und relativ zeitnahe) CO₂-Emissionsminderungen im Stromsektor ist breit**
 - Kapazitätsmanagement (z.B. Sicherheitsbereitschaft),
 - Betriebsbeschränkungen (z.B. *Emission Performance Standards*)
 - selektive Bepreisungs-Instrumente (z.B. Klimabeitrag)
 - CO₂-Bepreisung (nationale Mindestpreise, allgemeine Mindestpreise im EU ETS, Mindestpreise in europäischen Teilregionen)
- **Die verschiedenen Instrumente haben unterschiedliche Implikationen**
 - CO₂-Emissionsminderungen (insgesamt, in unterschiedlichen Ländern)
 - Kosten und Verteilungsmechanismen (Strompreise, Kompensationen)
 - Versorgungssicherheit
 - Strom-Import-Export-Bilanz
- **Erinnerung: Mit der aktuellen Reform des EU ETS ist die Zusätzlichkeit der CO₂-Emissionsminderungen gesichert (Marktstabilitätsreserve, Lösungsmechanismen und deren Zusammenwirken)**

- **Numerische Analyse der unterschiedlichen Facetten verschiedener Varianten eines CO₂-Mindestpreises für den Stromsektor**
 - nur für Deutschland
 - in einem regionalen Verbund: Deutschland, Frankreich, Belgien, Niederlande, Luxemburg, Österreich, Dänemark
 - jeweils für unterschiedliche Preisniveaus
- **Vergleich mit den Effekten der bisher in Deutschland dominierenden Instrumentierungsdiskussionen**
 - politisch induzierte Stilllegung von Kohlekraftwerken
 - in unterschiedlichen Varianten
- **Vergleich mit den Effekten von Kombinationsstrategien**
 - CO₂-Mindestpreise auf unterschiedlichen Niveaus und
 - politisch induzierte Kraftwerksstilllegungen in verschiedenen Varianten

Methodik und Szenarien

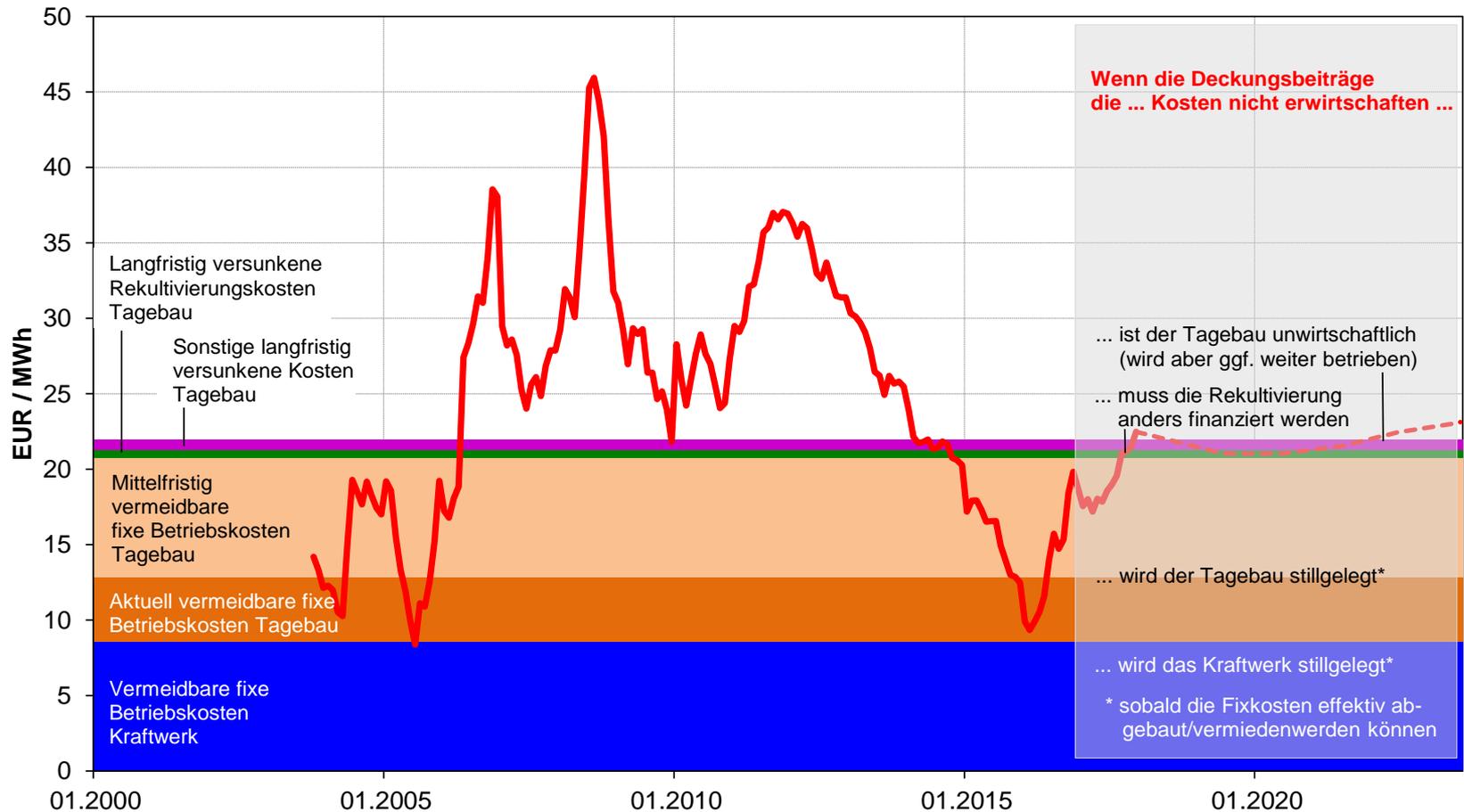
- **Stundenscharfe *Dispatch-Modellierung* mit dem Strommarktmodell PowerFlex Europe**
- **modellendogene *Stilllegung von Kraftwerksblöcken* für den Fall, dass die Stromerlöse nicht ausreichen, um die fixen Betriebskosten (Personal, Wartung & Instandhaltung, Revisionen) dauerhaft zu erwirtschaften**
- **(Exemplarischer) Analysehorizont 2020**



- **Referenz**
 - 5,6 € / t CO₂
- **Mindestpreis in Deutschland**
 - 15 € / t CO₂ (also 9,4 € / t CO₂ zusätzlich zur Referenz)
 - 25 € / t CO₂ (also 19,4 € / t CO₂ zusätzlich zur Referenz)
 - 35 € / t CO₂ (also 29,4 € / t CO₂ zusätzlich zur Referenz)
- **Mindestpreis im Regionalmarkt**
 - Deutschland, Frankreich, Belgien, Niederlande, Luxemburg, Österreich, Dänemark
- **Politik-induzierte Kraftwerksstilllegungen**
 - Stilllegung von 7 GW Braunkohlekraftwerken (Jamaika-Sondierungen)
 - Stilllegung von allen Kraftwerksblöcken mit einer Inbetriebnahme vor 1990 (8,4 GW Braunkohle und 11 GW Steinkohle) basierend auf der Studie „Zukunft Stromsystem – Kohleausstieg 2035“.
- **Entsprechende Kombinationen**

CO₂-Effekte jenseits des Brennstoffwechsels

Deckungsbeiträge als Kriterium für Stilllegungsentscheidungen

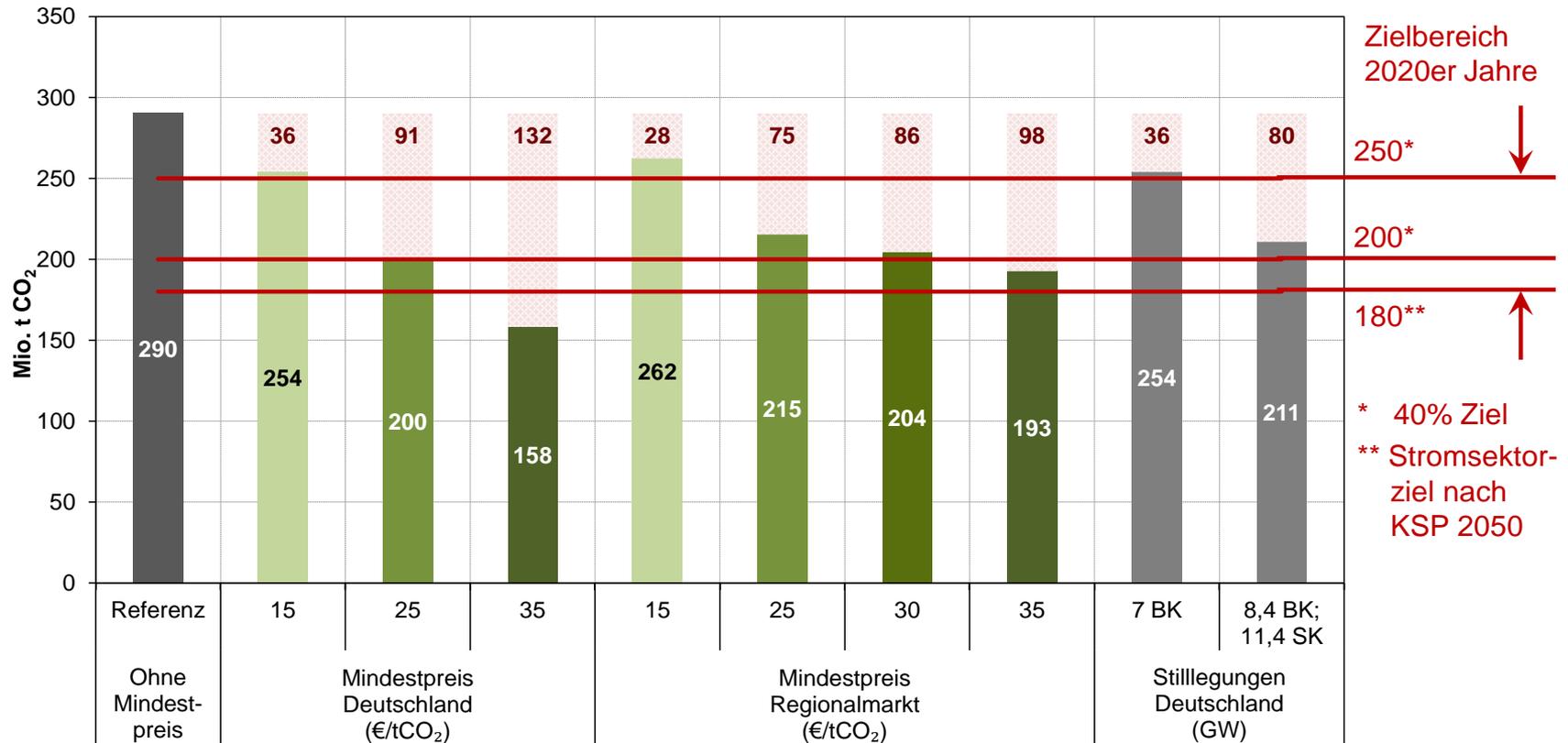


- CO₂-Preise haben im absehbaren Umfeld signifikante Effekte für die Deckungsbeiträge von Braunkohle-Kraftwerken und -Tagebauen
- die oft postulierten „Dominoeffekte“ können nur auftreten, wenn fixe Betriebskosten eines Tagebaus nur in Gänze und nicht modular abgebaut werden können; das ist nicht zu erwarten

Ergebnisse

Absolute CO₂-Emissionen und Minderungen der Kraftwerke in DE

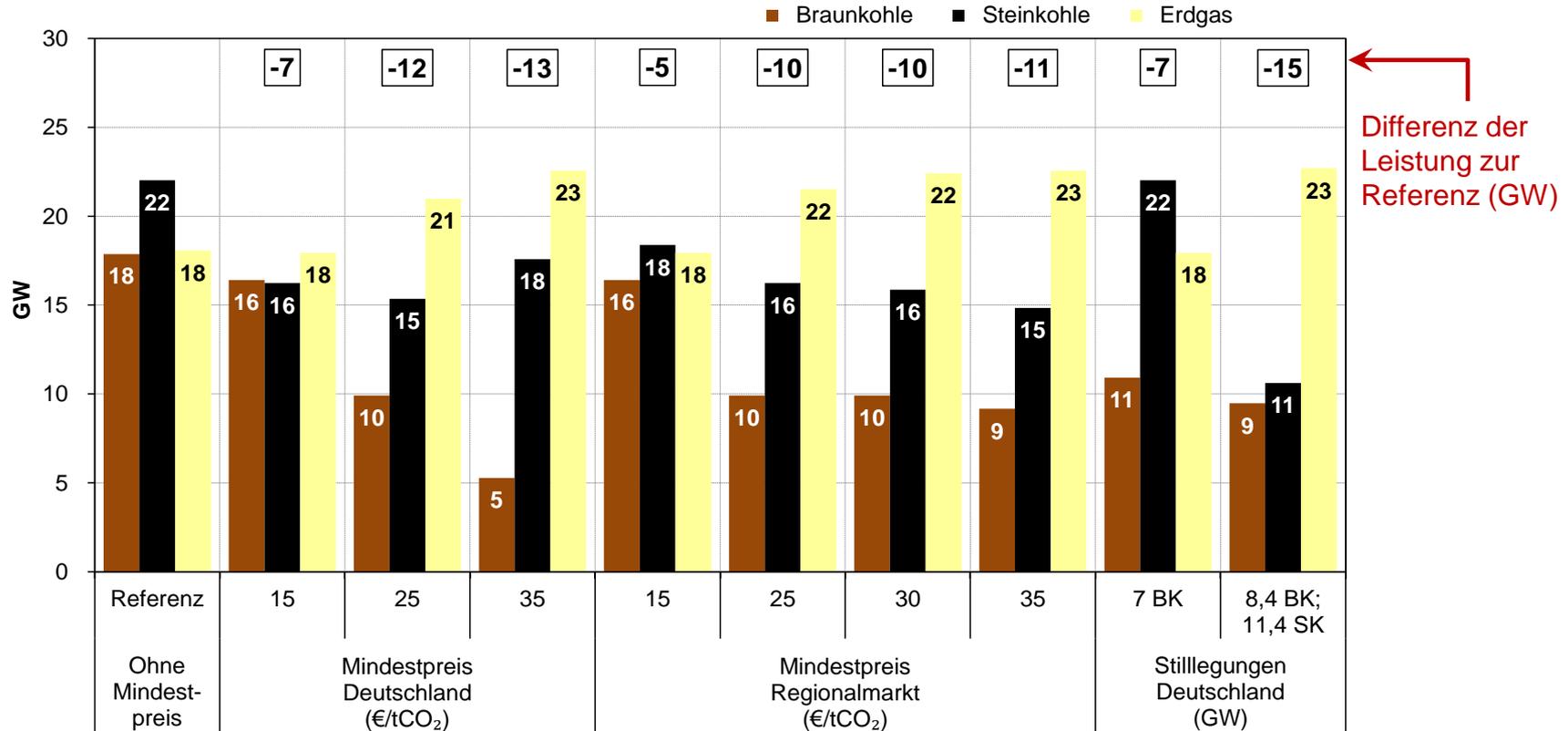
CO₂-Mindestpreise und politik-induzierte Stilllegungen



- 40%-Zielerreichung für den Stromsektor ist ab ca. 25 €/t CO₂ in DE bzw. 30 €/t CO₂ im europäischen Regionalmarkt oder durch signifikante Stilllegungen von Braunkohle (>8 GW) und Steinkohle (>11 GW) möglich
- Stromsektor-Ziel des KSP 2050 für 2030 wird bei CO₂-Preisen von über 30 € (unilateral DE) bzw. ab 35 € (Regionalmarkt) bzw. bei Stilllegungen >>8 GW (BK) und >>11 GW (SK) erreicht

Installierte Leistungen Kraftwerke (ohne Zubau)

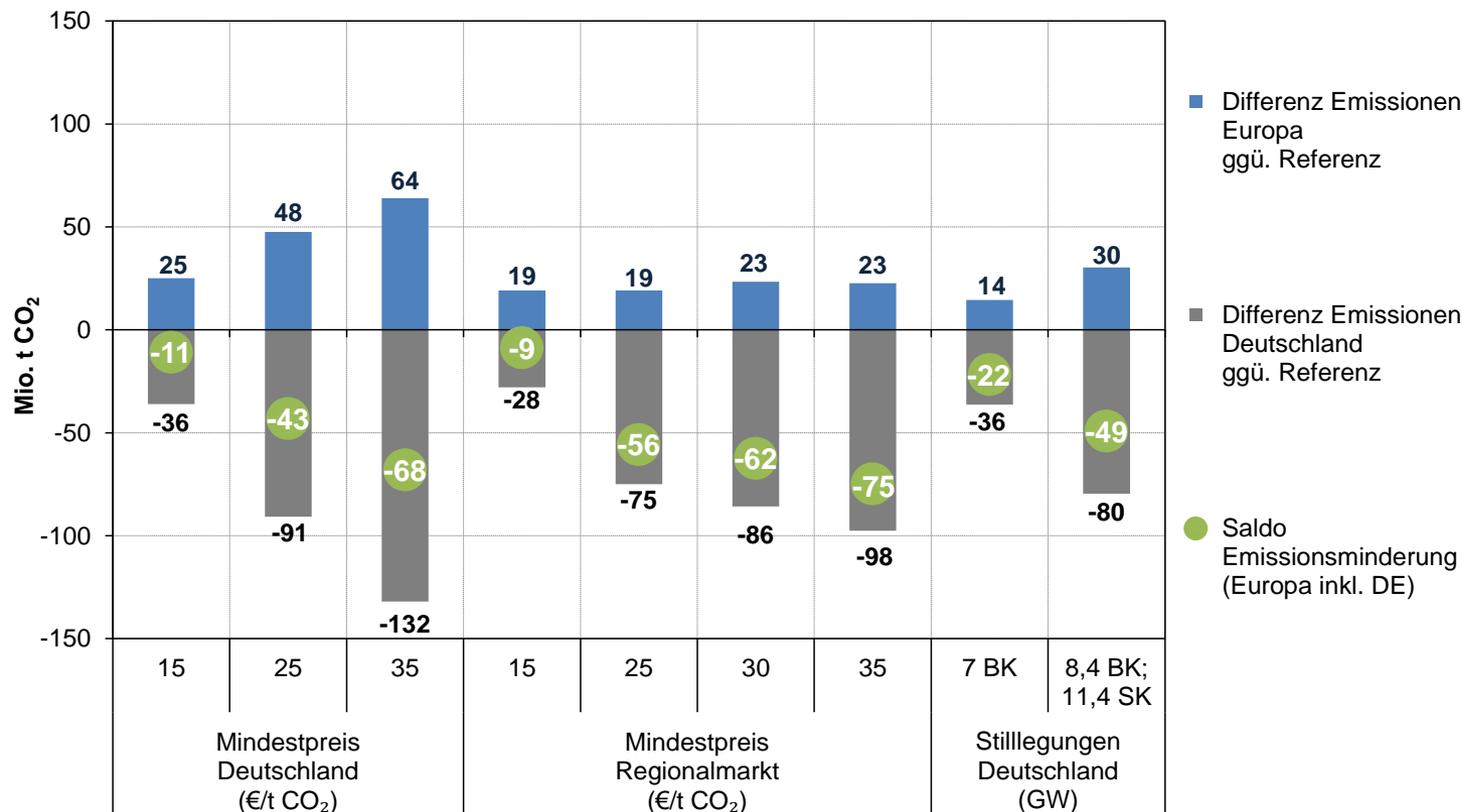
CO₂- Mindestpreise und politik-induzierte Stilllegungen



- Mindestpreis bis ca. 15 € reduziert ggü. Referenz v.a. SK-Leistung
- ... bis ca. 25 €/EUA reduziert zus. BK-Leistung, Erdgas (EG-) Stilllegungen werden vermieden
- ... bis ca. 35 €/EUA: Mindestpreise DE / Regionalmarkt wirken unterschiedlich auf deutsche Kohle
- politik-induzierte Stilllegungen exklusiv bei BK vermeiden SK-Stilllegungen, aber nicht bei EG
- Stilllegungen bei BK und SK vermeiden Stilllegungen von EG-Kraftwerken

CO₂-Minderung ggü. Referenzlauf in DE / Europa / im Saldo

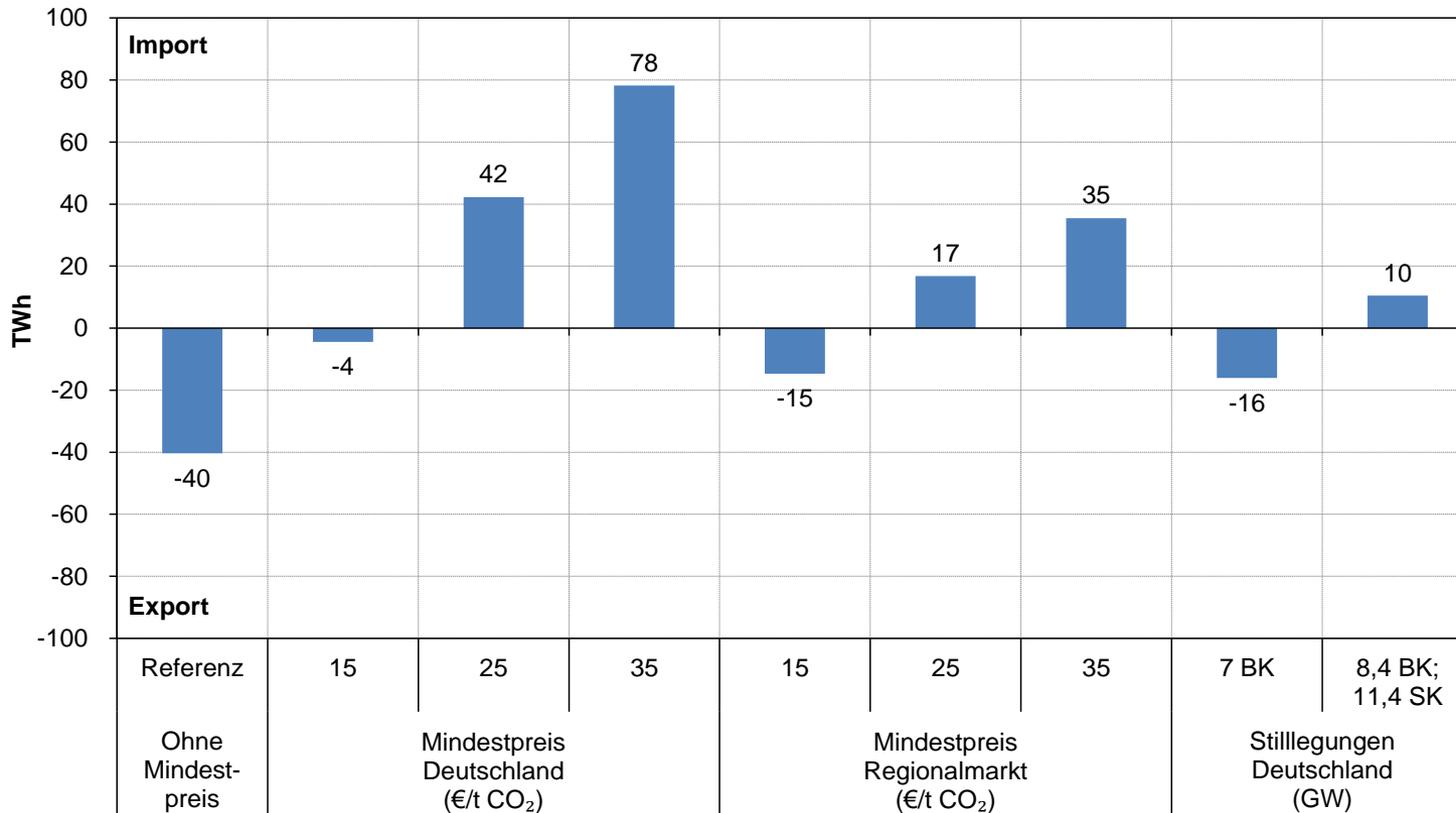
CO₂- Mindestpreise und politik-induzierte Stilllegungen



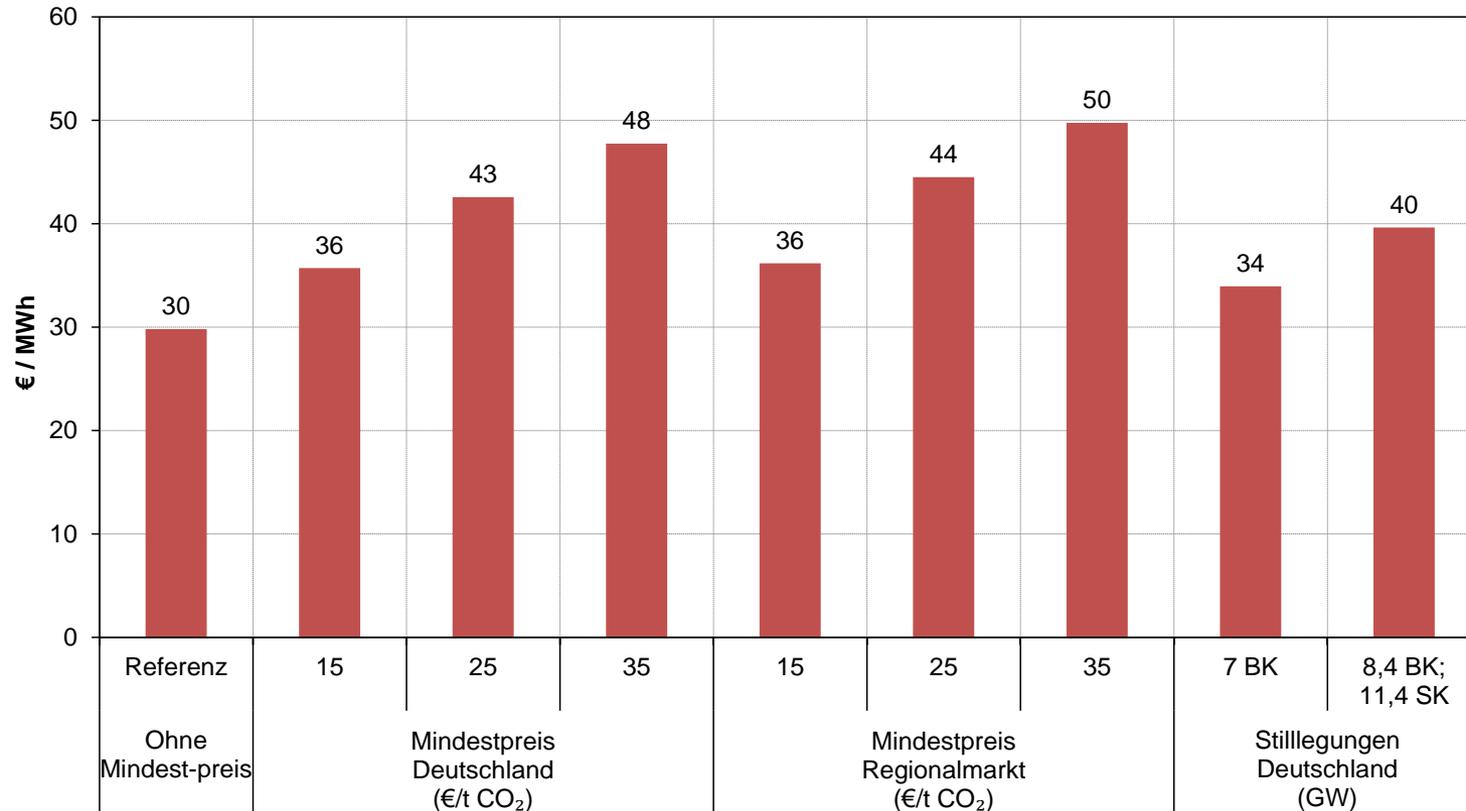
- Mindestpreis nur in DE hat stärkste CO₂-Emissions-Minderung in DE, aber größten Reboundeffekt im Regionalmarkt (außerhalb DE)
- Mindestpreis größer 15 €/t CO₂ im europäischen Regionalmarkt bewirkt größten CO₂-Emissionsminderung im Regionalmarkt (inkl. DE)
- politik-induzierte Stilllegungen >8 GW BK und >11 GW SK bewirken ähnliche Emissionsminderung wie Mindestpreise von 25 €/t CO₂ (DE oder Regionalmarkt)

Import-Export-Saldo

CO₂- Mindestpreise und politik-induzierte Stilllegungen



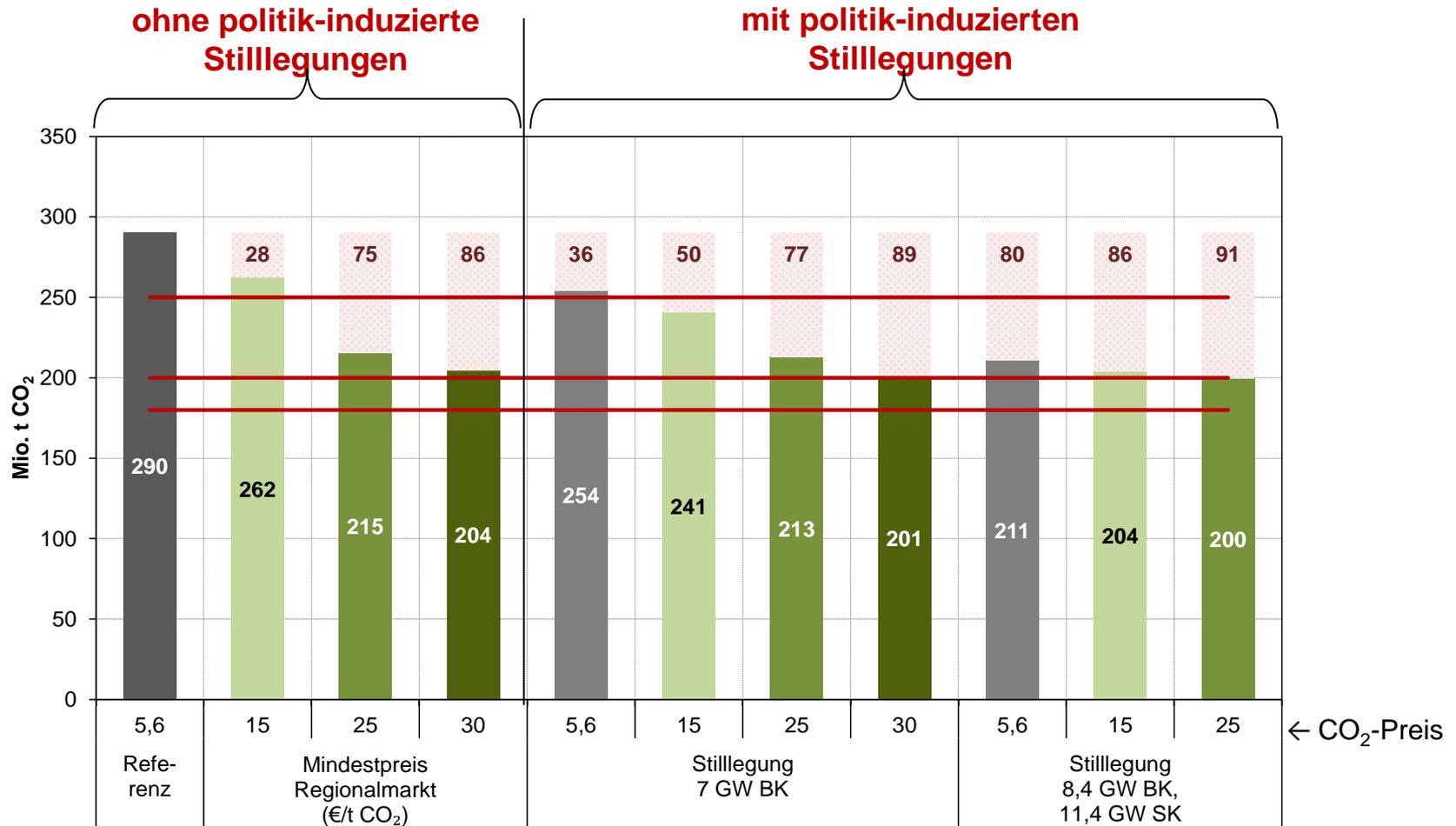
- Mindestpreis DE bewirkt die stärkste Verschiebung in Richtung signifikanter Stromimporte
- Mindestpreis Regionalmarkt bewirkt bei 15 bis 25 €/t CO₂ Ausgleich des deutschen Importsaldos
- politik-induzierte Stilllegungen erhalten positives Stromexport-Saldo oder bewirken maximal sehr niedrige Importe
- Stilllegungen bauen den Exportüberschuss Deutschlands langsamer ab als ein CO₂-Mindestpreis



- Mindestpreise in DE und im Regionalmarkt wirken sehr ähnlich auf Börsenstrompreis (35 €/t CO₂ statt 5,6 €/EUA führt zu Anstieg um ca. 20 €/MWh)
- Effekte politik-induzierter Stilllegungen auf Börsenstrompreis sind sehr gering (mögliche Kompensationszahlungen und ggf. höhere Knappheitspreise: erwartbare Höhe X €/MWh)
- EEG-Umlagezahler: EEG-Umlage sinkt bei steigenden Strompreisen -> Dämpfung von über 50%
- stromintensive Industrien (EU-Abgrenzung): Kompensation indirekter CO₂-Kosten ermöglichen

Zwei Perspektiven:

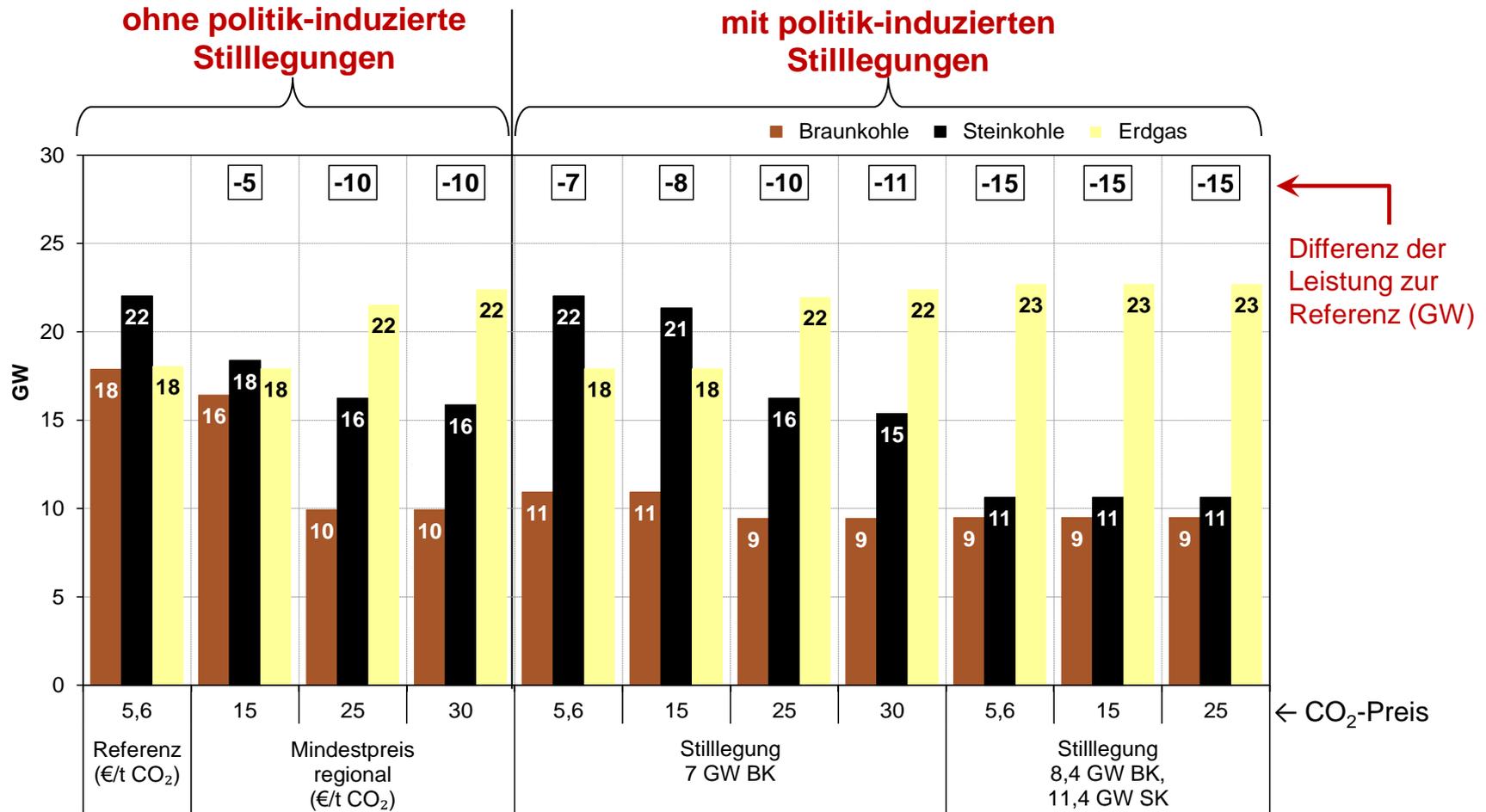
- **Was ist der Mehrwert von einem zusätzlichen Mindestpreis im europäischen Regionalmarkt bei beschlossenen politik-induzierten Stilllegungen?**
- **Was ist der Mehrwert von zusätzlichen politik-induzierten Stilllegungen bei gleichzeitigem Mindestpreis im europäischen Regionalmarkt?**



→ Kombinationen politik-induzierter Kraftwerks-Stilllegungen mit CO₂-Mindestpreisen bewirken ... relevante zusätzliche Emissionsminderungen bei geringeren Stilllegungsumfang (z.B. 7 GW (Braunkohle) und CO₂-Preisen (Regionalmarkt) bis ca. 25/30 €
 ... kaum zusätzliche Emissionsminderungen bei großvolumigen politik-induzierten Stilllegungen

Installierte Leistungen Kraftwerke in DE

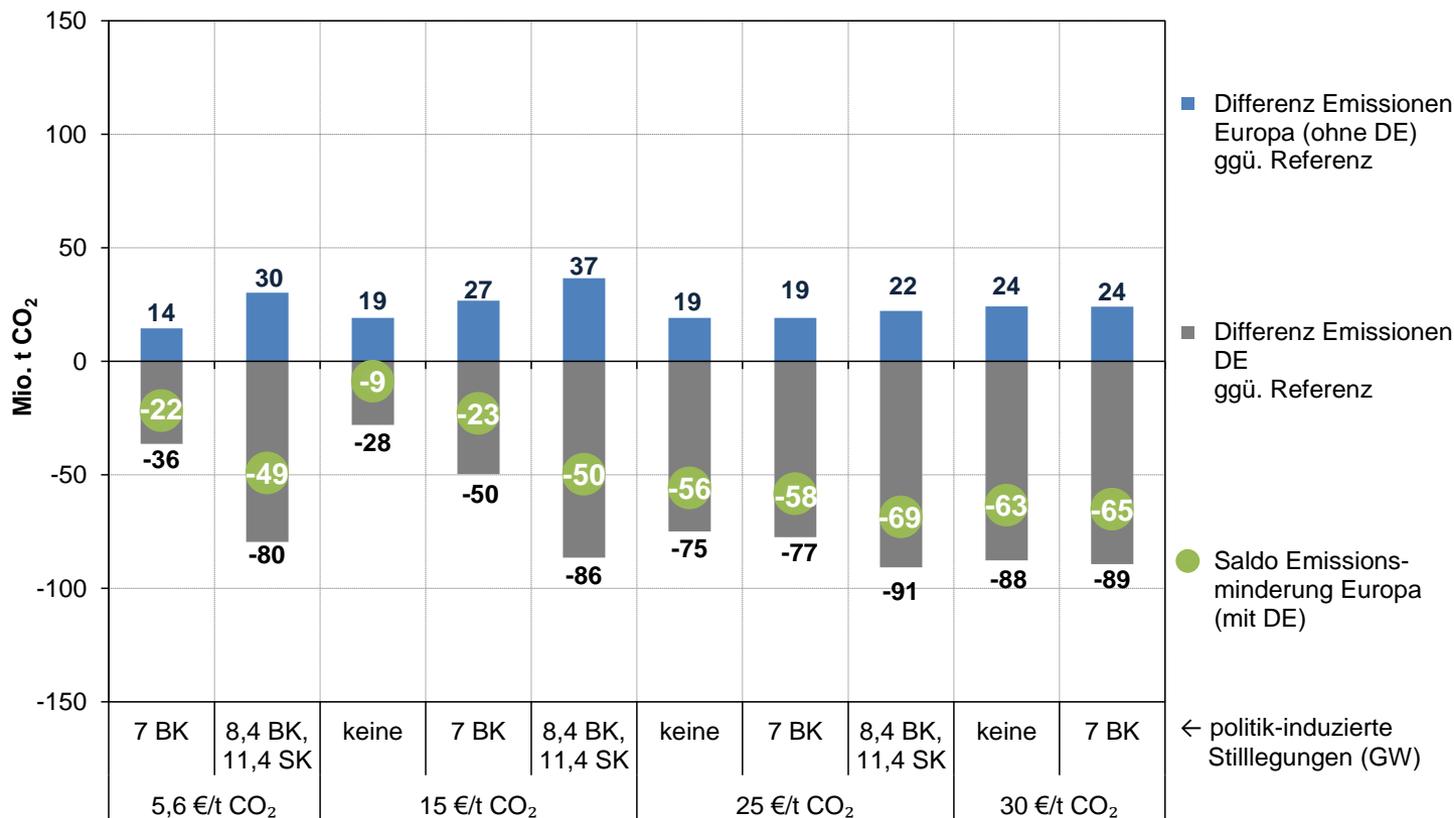
CO₂- Mindestpreisen, politik-induzierte Stilllegungen sowie Kombinationen



→ bei gleichzeitig erfolgenden politik-induzierten Stilllegungen von Braunkohle-Kraftwerken
 ... werden Steinkohle-Kraftwerke erst bei CO₂-Preisen (Regionalmarkt) von ca. 25 € stillgelegt
 ... werden Stilllegungen von Erdgas-Kraftwerken bei Mindestpreisen (Regionalmarkt) von ca. 25 € vermieden

CO₂-Minderung ggü. Referenzlauf in DE / Europa / im Saldo

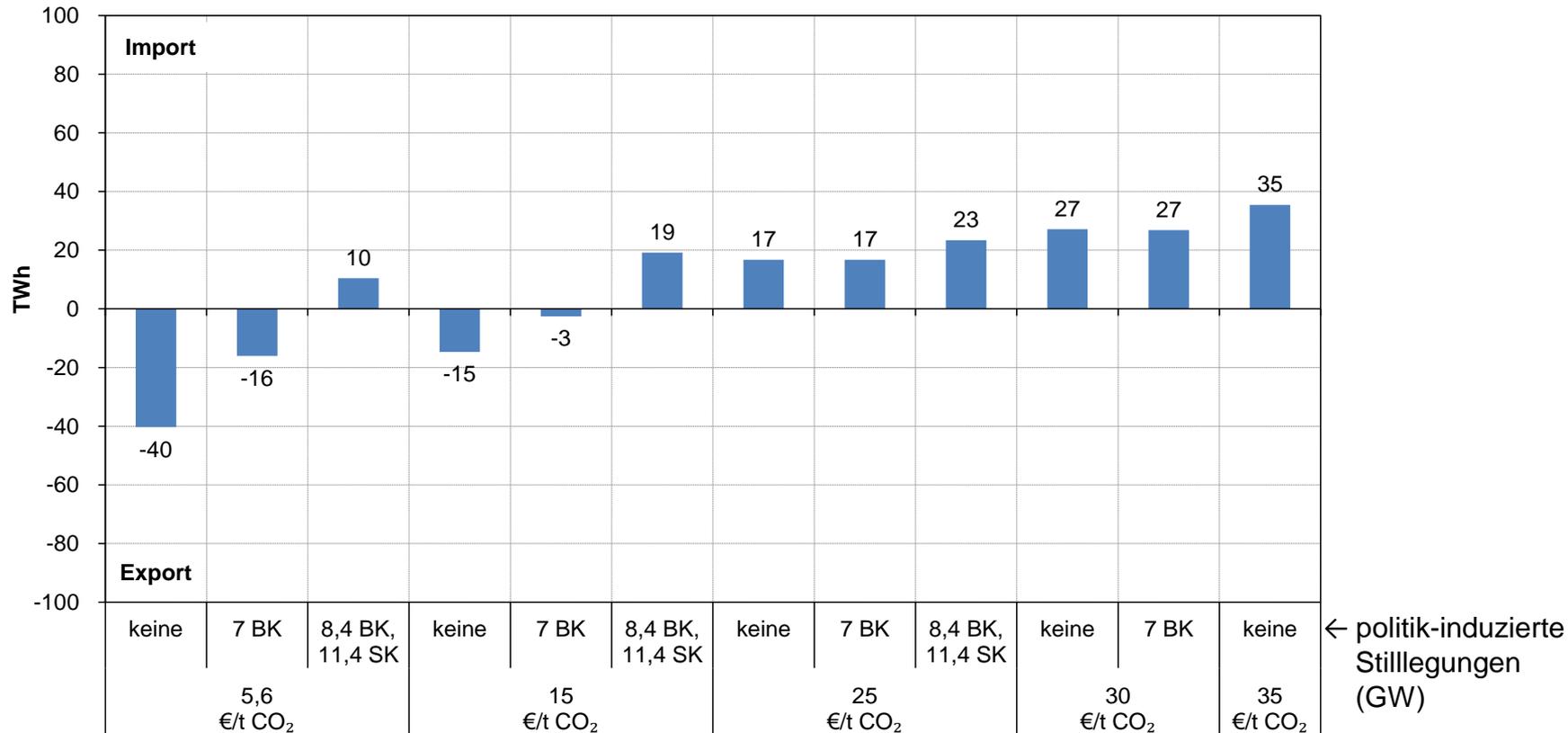
CO₂- Mindestpreise , politik-induzierte Stilllegungen sowie Kombinationen



- bei CO₂-Mindestpreisen von 15 € (Regionalmarkt) entstehen durch politik-induzierte Stilllegungen von Braukohle- und Steinkohle-Kraftwerken in DE zusätzliche CO₂-Emissionsminderungen für DE und für Europa
- bei CO₂-Mindestpreisen von 25 € (Regionalmarkt) entstehen nur durch politik-induzierte Stilllegungen von Steinkohle-Kraftwerken zusätzliche CO₂-Emissionsminderungen für DE und für Europa

Strom-Import-Export-Saldo

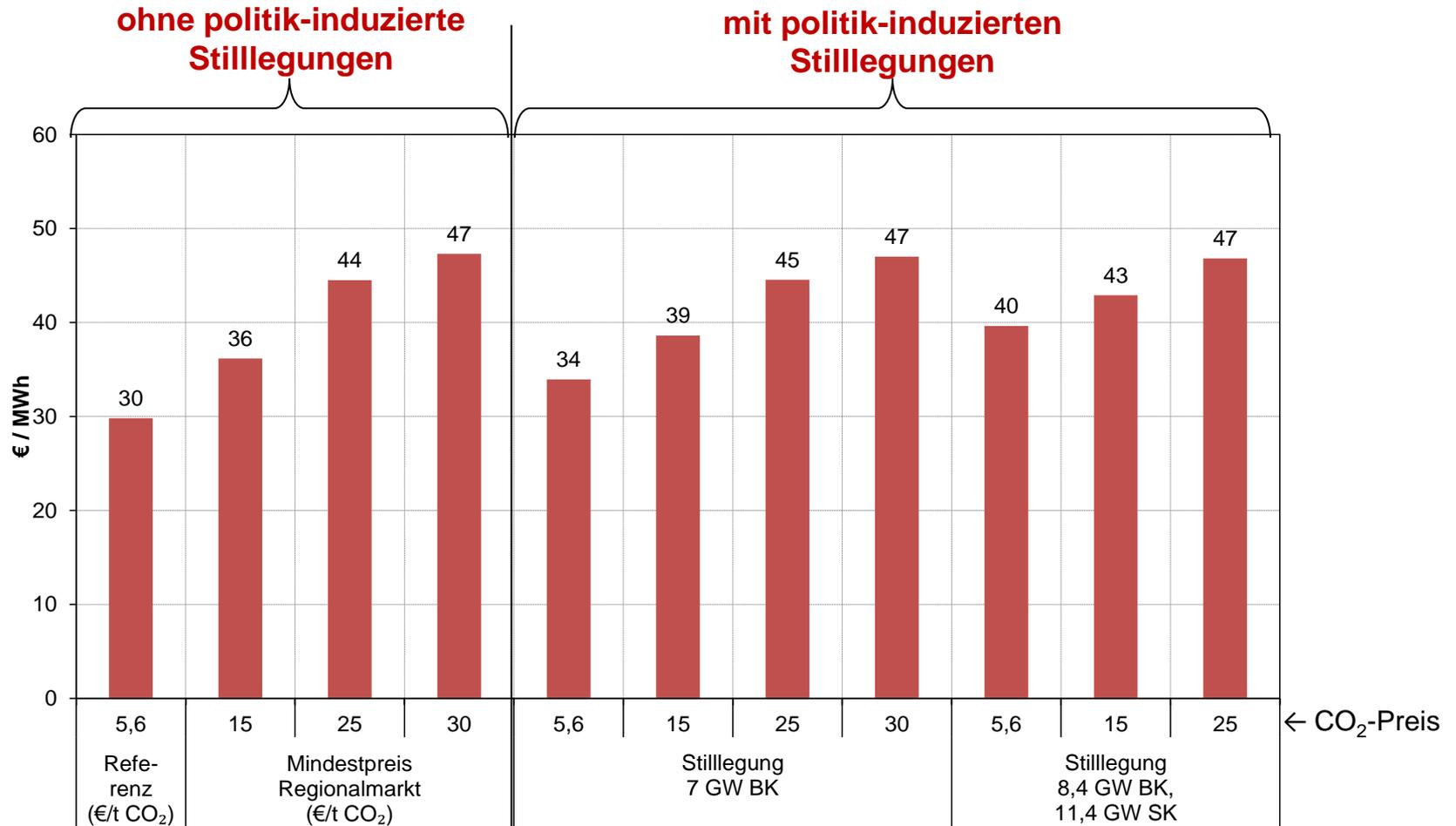
CO₂- Mindestpreise , politik-induzierte Stilllegungen sowie Kombinationen



- Höhere CO₂-Preise (auch im Regionalmarkt) führen zu einem Abbau der Netto-Stromexporte bzw. zu höheren Netto-Stromimporten
- Erinnerung: Dies gilt nur unter der Voraussetzung, dass in Deutschland keine neuen (Erdgas-) Kraftwerke errichtet werden

Börsenstrompreise

CO₂- Mindestpreise, politik-induzierte Stilllegungen sowie Kombinationen



→ CO₂-Preise dominieren die Strompreiseeffekte im Großhandelsmarkt

**(Differenz-) Einnahmen
aus dem CO₂-Mindestpreis und
Kosteneffekte für ausgewählte
Verbrauchergruppen**

Fiskalische Effekte

Einnahmen aus der Differenz zwischen Mindest- und EUA-Preis

		CO ₂ -Mindestpreis	Differenzpreis	CO ₂ -Mindestpreis in Deutschland		CO ₂ -Mindestpreis im Regionalmarkt		
				mindestpreis-pflichtige Emissionen	zusätzliche Einnahmen	mindestpreis-pflichtige Emissionen	zusätzliche Einnahmen	
		€/t CO ₂	€/t CO ₂	Mio. t CO ₂	Mrd. €	Mio. t CO ₂	Mrd. €	
CO ₂ -Mindestpreise		15	9.4	212	2.0	220	2.1	
		25	19.4	157	3.1	173	3.4	
		30	24.4			160	3.9	
		35	29.4	116	3.4	150	4.4	
Kombinationen CO ₂ -Mindestpreise und Stilllegungen		15	9.4			198	1.9	
		7 GW Braunkohle	25	19.4			170	3.3
			30	24.4			158	3.9
		8,4 GW Braunkohle, 11,4 GW Steinkohle	15	9.4			161	1.5
		25	19.4			157	3.0	

- Einnahmen aus einem CO₂-Mindestpreis im Regionalmarkt sind für Deutschland höher als beim nationalen Modell (wegen der geringeren Verlagerung von Stromerzeugung und Emissionen in das benachbarte Ausland)
- Die Einnahmen bei Kombinationslösungen aus CO₂-Mindestpreis und staatlich induzierten Kraftwerksstilllegungen liegen nur wenig unter denen reiner CO₂-Bepreisungsansätze
- Einnahmen aus CO₂-Mindestpreisen im Regionalmarkt = ca. 1/3 bis 2/3 des StromSt-Aufkommens

Kosteneffekte für die Verbraucher

Stromintensive Industrie mit Kompensation der indirekten CO₂-Kosten

	Effektiver CO ₂ -Preis €/t CO ₂	Börsen- strompreis	Kompensation indirekter CO ₂ -Kosten			Effektive Kosten
			EU ETS	Mindestpreis €/MWh	gesamt	
Referenz	5,60	30	3	0	3	27
CO ₂ -Mindestpreis						
national	15,00	36	3	5	9	27
	25,00	43	3	11	14	28
	35,00	48	3	17	20	28
Regionalmarkt	15,00	36	3	5	9	28
	25,00	44	3	11	14	30
	30,00	47	3	14	17	30
	35,00	50	3	17	20	30
Politisch induzierte Stilllegungen						
5 GW Steinkohle	5,60	31	3	0	3	28
5 GW Braunkohle	5,60	33	3	0	3	29
7 GW Braunkohle	5,60	34	3	0	3	31
8,4 GW Braunkohle	5,60	35	3	0	3	32
8,4 GW Braunkohle & 11,4 GW Steinkohle	5,60	40	3	0	3	36

- Zusatzkosten eines CO₂-Mindestpreises für stromintensive Industrie sind wegen der Kompensation indirekter CO₂-Kosten (hier parametrisiert mit den 2020 geltenden Regelungen) gering
- Die Kosten der CO₂-Mindestpreis-Modelle (inkl. der Kombinationsmodelle) sind bei vergleichbarer Emissionsminderung immer niedriger als bei einer Emissionsminderungsstrategie, die ausschließlich auf politische induzierte Kraftwerksstilllegungen abstellen
- Kompensation indirekter CO₂-Kosten ist eine wichtige Determinante der konkreten Ausgestaltung

Kosteneffekte für die Verbraucher

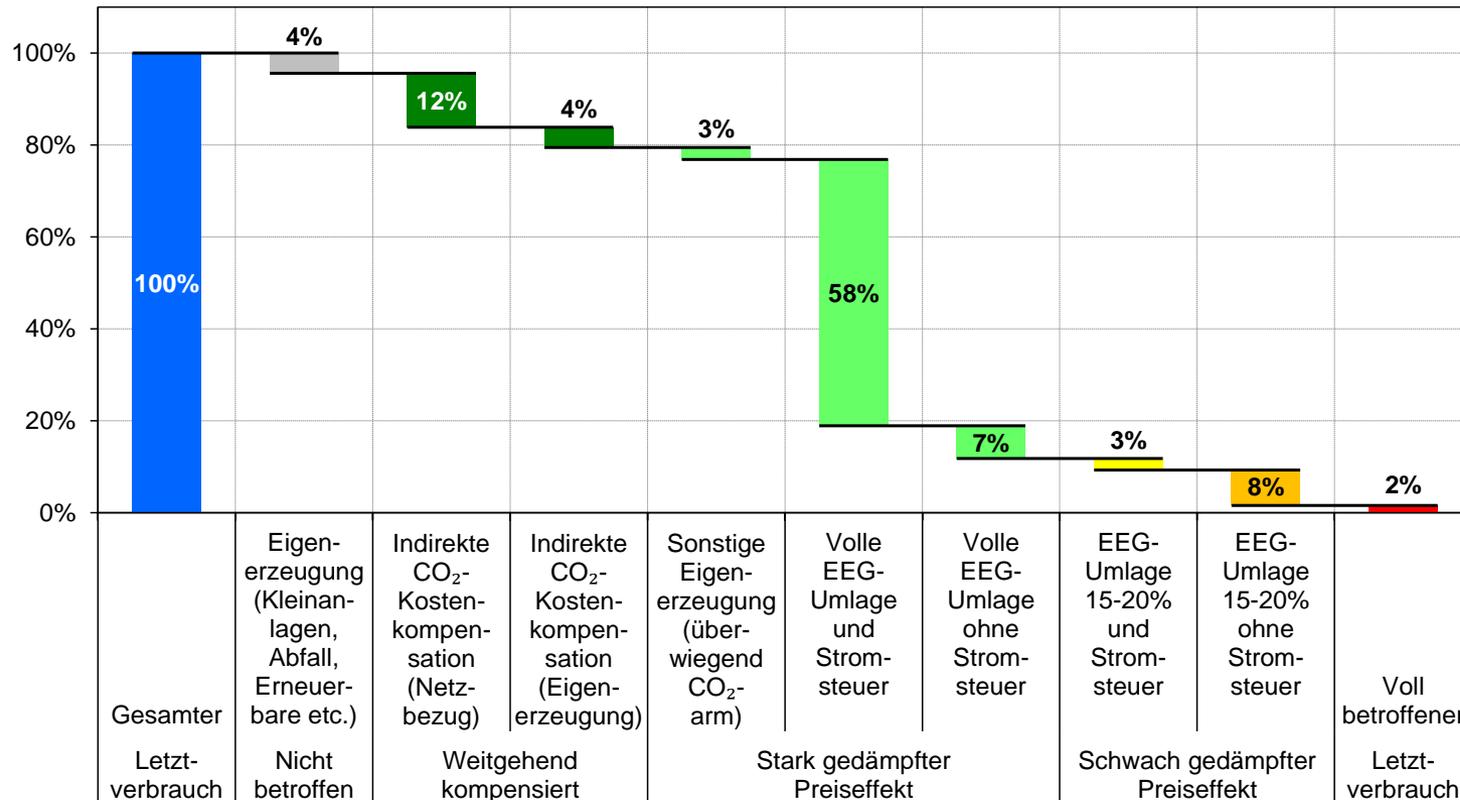
EEG-umlagepflichtige Verbraucher

	Effektiver CO ₂ -Preis	Börsen- strompreis	Anstieg Börsenstrompreis ggü. Referenz	Senkung der EEG-Umlage ggü. Referenz	Kostendämpfung
	€/t CO ₂	€/MWh	ct/kWh	ct/kWh	%
Referenz	5,60	30			
CO ₂ -Mindestpreis					
national	15,00	36	0,60	-0,35	58%
	25,00	43	1,30	-0,76	58%
	35,00	48	1,80	-1,05	58%
Regionalmarkt	15,00	36	0,60	-0,35	58%
	25,00	44	1,40	-0,82	58%
	30,00	47	1,70	-0,99	58%
	35,00	50	2,00	-1,17	58%
Politisch induzierte Stilllegungen					
5 GW Steinkohle	5,60	31	0,10	-0,06	58%
5 GW Braunkohle	5,60	33	0,30	-0,18	58%
7 GW Braunkohle	5,60	34	0,40	-0,23	58%
8,4 GW Braunkohle	5,60	35	0,50	-0,29	58%
8,4 GW Braunkohle & 11,4 GW Steinkohle	5,60	40	1,00	-0,58	58%

- Veränderungen bei CO₂-Preisen verändern gleichgerichtet die Preise im Strom-Großhandelsmarkt
- Höhere Großhandels- (Börsen) Preise senken bei gleichbleibendem EEG-Vergütungsvolumen die EEG-Umlage
- Bei den im Jahr 2020 erwartbaren EEG-Vergütungsvolumina wird ein Anteil der Strompreisänderungen im Großhandelsmarkt von deutlich über 50% über die Wechselwirkungen mit der EEG-Umlage abgepuffert

Kosteneffekte für die Verbraucher

Letztverbrauchs-Segmente nach Betroffenheit



- Für 88% des deutschen Strom-Letzverbrauchs werden die Strompreiseffekte eines CO₂-Mindestpreises für die Letztverbrauchspreise (sehr) weitgehend abgedämpft
- Das Aufkommen aus dem CO₂-Mindestpreis wird etwa hälftig für die Kompensation indirekter CO₂-Kosten benötigt, die verbleibende Hälfte ist für zielgerichtete weitere Kompensation verfügbar

Schlussfolgerungen

- **Kurzfristiges Zielniveau von 250 Mio. t CO₂ für den Stromsektor**
 - CO₂-Mindestpreis (national oder im Regionalmarkt) in der Größenordnung von 15 bis 20 € notwendig
 - oder Stilllegung von 7 bis 8 GW Braunkohlekraftwerken
 - oder die Kombination einer moderaten Stilllegung von ~5 GW Braunkohlekraftwerken mit einem CO₂-Mindestpreis von ca. 15 € im Regionalmarkt
- **Kurzfristiges Zielniveau von 200 Mio. t CO₂ für den Stromsektor**
 - CO₂-Mindestpreis von ca. 25 € (national) oder 30 € (im Regionalmarkt) notwendig
 - oder Stilllegung von etwas mehr als 8 GW Braunkohle und 11 GW Steinkohle
 - oder die Kombination von 7 GW Stilllegung mit 25 bis 30 €/t CO₂ im Regionalmarkt

- **Langfristiges Zielniveau von 180 Mio. t CO₂ für den Stromsektor**
 - CO₂-Mindestpreis in der Größenordnung von ca. 30 € (national) oder ca. 35 € (Regionalmarkt) notwendig
 - oder Stilllegung von deutlich mehr als 8 GW Braunkohle und 11 GW Steinkohle
 - oder die Kombination etwas moderaterer politik-induzierter Stilllegung (ca. 8 GW Braunkohle und 11 GW Steinkohle) mit CO₂-Mindestpreisen von 30 € im Regionalmarkt
- **Kombinationslösungen führen bei anspruchsvollen CO₂-Mindestpreisen vor allem zu einer erhöhten Robustheit der Emissionsminderungen und Kapazitätsentwicklungen (wichtig für regionale Anpassungsstrategien)**

- **Positiver Gesamteffekt für die CO₂-Emissionsminderungen**
 - in allen betrachteten Szenarien ist die CO₂-Emissionsminderung in Deutschland deutlich höher als der Anstieg der Emissionen in den Nachbarländern
- **Inländische und ausländische Rebound-Effekte (= Emissionserhöhungen in den Kraftwerken, die die Stromerzeugung aus Kraftwerken mit verminderter Produktion übernehmen) können durch CO₂-Mindestpreise im Regionalmarkt effektiv begrenzt werden**
 - Mindestpreise im Regionalmarkt von ca. 25 €/t CO₂ reduzieren den Rebound-Effekt sowohl in den europäischen Nachbarländern als auch in Deutschland deutlich
- **Höhere Emissionsminderungen bei Kombination eher niedriger CO₂-Mindestpreise mit Kraftwerksstillegungen**
 - bei CO₂-Preisen <25 €/EUA werden durch Kombination mit politik-induzierten Kraftwerksstillegungen (in Deutschland) höhere Reduktionen bei den CO₂-Emissionen erreicht

- **Börsenstrompreise**

- bei politik-induzierten Stilllegungen geringer als bei CO₂-Mindestpreis
- aber politik-induzierte Stilllegungen können Kompensationszahlungen nach sich ziehen (inkl. Knappheitspreisen jedoch nur bei X €/MWh)
- Effekte für Endverbraucher
 - Erhöhung der Großhandelspreise wird für Endverbraucher, die die (volle) EEG-Umlage zahlen, zu über 50% über die verringerte EEG-Umlage aufgefangen
 - Effekte für stromintensive Industrien, die sich wie bisher für die Kompensation indirekter CO₂-Kosten qualifizieren, können über entsprechende Kompensationen entlastet werden (hängt wesentlich von der rechtlichen Ausgestaltung ab, ist aber möglich: CO₂-Mindestpreis in UK)
 - Verknüpfung mit anderen Veränderungen im Steuer-, Abgaben und Umlagensystem (z.B. Teil-Reduzierung der Stromsteuer) kann ebenfalls zur Minderung von Verteilungseffekten beitragen

- **Versorgungssicherheit**
 - umfangreichere Kraftwerksstilllegungen erfordern Ergänzungsmaßnahmen zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit: Demand Response, Gaskraftwerke, ggf. Speicher
- **Strom-Außenhandelsbilanz (für Deutschland)**
 - ein CO₂-Mindestpreis hat tendenziell größere Effekte auf die Strom-Außenhandelsbilanz als (die hier betrachteten) politikinduzierten Kraftwerks-Stilllegungen
 - bei ca. 20 €/EUA im Regionalmarkt ist der deutsche Import-Export-Saldo ausgeglichen, bei höheren CO₂-Preisen beginnen Nettoimporte
 - letzteres gilt nur unter der Maßgabe, dass es in Deutschland nicht zum Bau von Gaskraftwerken kommt, was mit Blick auf die Versorgungssicherheit ohnehin notwendig werden könnte
 - die reduzierten Stromexporte aus Deutschland erhöhen die Produktion von Steinkohle- (wenn die CO₂-Preise unter ca. 20 € bleiben) und Erdgas-Kraftwerken in den europäischen Nachbarländern

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit

**Dr. Felix Chr. Matthes
Charlotte Loreck
Hauke Herrmann
Dr. Sylvie Ludig**

**Energy & Climate Division
Büro Berlin
Schicklerstraße 5-7
D-10179 Berlin**

www.oeko.de