



# **Wirtschaftliche Grundlagen**

## **im Sommersemester 2021**

### **Klimawandel & Energie**

Prof. Tom Brown  
Fachgebiet „Digitaler Wandel in Energiesystemen“ / TU Berlin  
E-Mail: [WiGr.Team@ensys.tu-berlin.de](mailto:WiGr.Team@ensys.tu-berlin.de)

Beim Investitionsvergleich müssen die betrachteten Zeiträume gleich lang sein.

Z.B. Projekt A hat eine Lebensdauer von 5 Jahren und einen Kapitalwert von  $NPV_A$ , Projekt B von 10 Jahren und  $NPV_B$ . Nicht direkt vergleichbar!

Der Vergleich mit der Kapitalwertmethode geht davon aus, dass die Projekte dieselbe Lebensdauer haben.

Lösung: **Kettenkapitalwert**: annehmen, dass nach dem Ende der geplanten Nutzungsdauer, das Projekt durch Nachfolgeprojekte ersetzt wird.

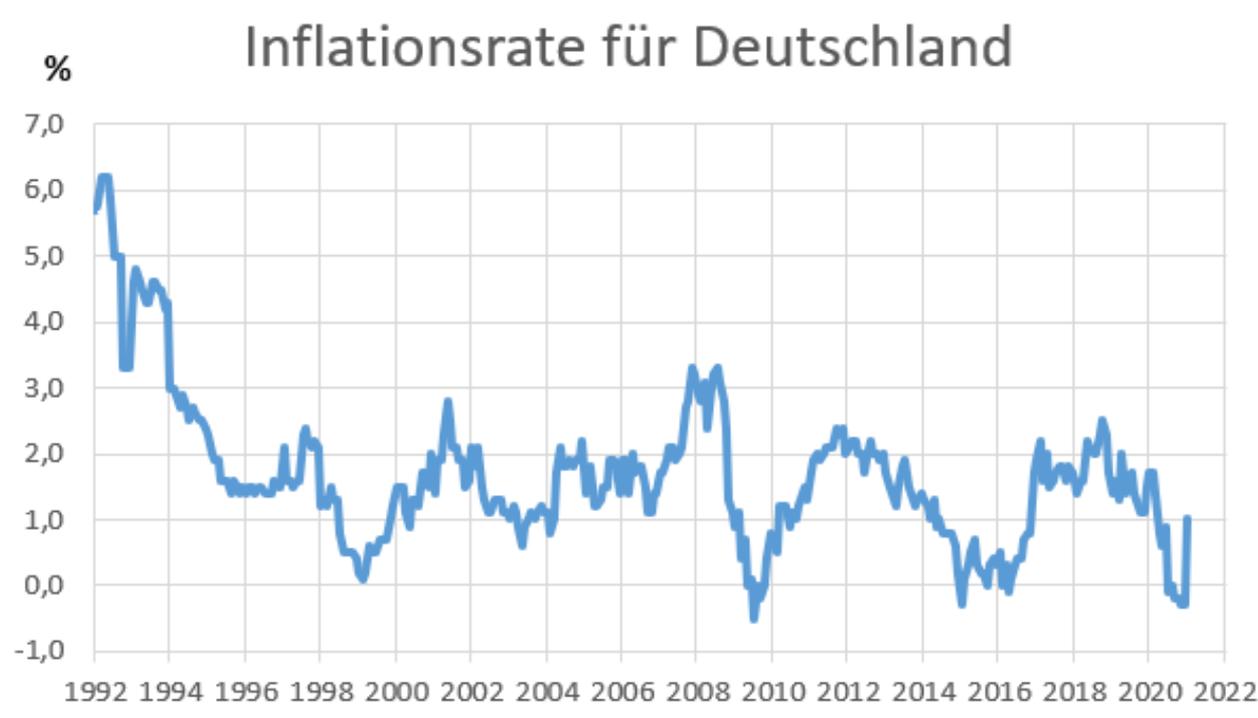
Z.B. eine einmalige identische Reinvestition zum Zeitpunkt  $T$ :

$$NPV_{0+1} = NPV_0 + NPV_1 = NPV_0 + \frac{NPV_0}{(1+i)^T}$$

In unserem Beispiel: vergleichen Sie  $NPV_B$  (Lebensdauer 10 Jahre) mit  $NPV_A + \frac{NPV_A}{(1+i)^5}$  (Lebensdauer 5 Jahre, Reinvestition nach 5 Jahren für die folgenden 5 Jahre).

# Inflation und Kaufkraft

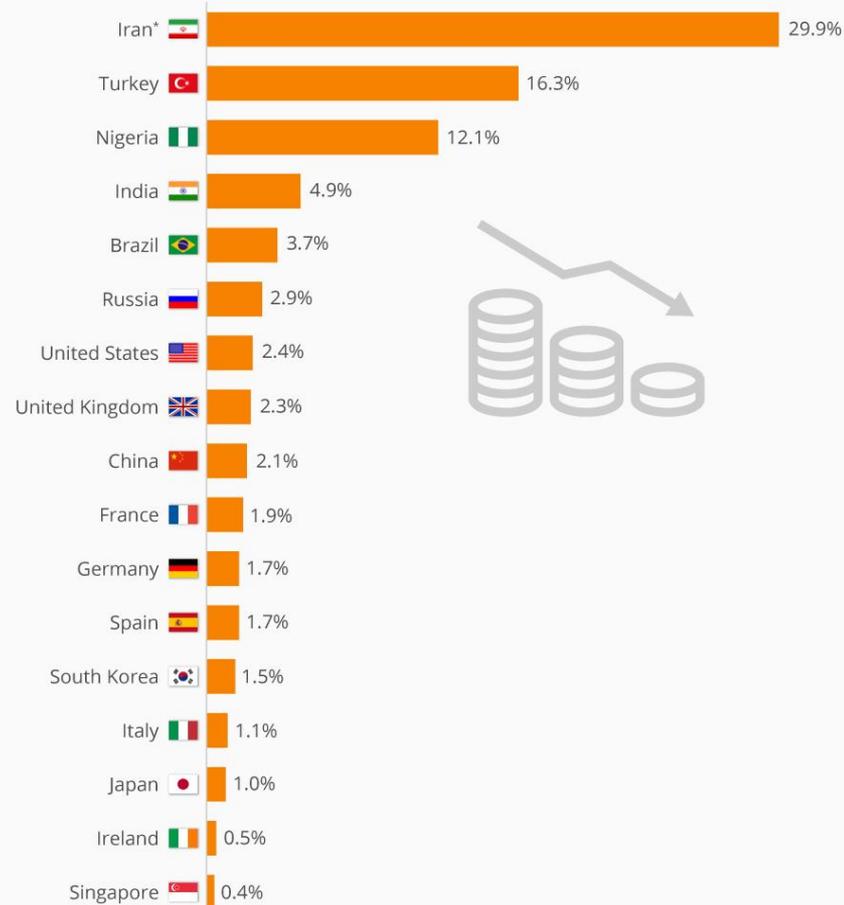
- **Inflation** oder **Teuerung** ist die Erhöhung von den Preisen von Gütern und Dienstleistungen, gemessen z.B. durch jährliche Preisänderungen von Gütern und Dienstleistungen bestimmter Warenkörbe.
- Inflation bedeutet eine **Minderung der Kaufkraft** des Geldes.
- Für Investitionen kann man um Inflation korrigieren (Inflationsbereinigung):
- **Realzins** = Nominalzins - Inflation



# Inflation weltweit

## Where Inflation is Highest and Lowest Around the World

Annual inflation rate based on consumer prices in selected countries (2018)



## Kaufkraft: Weniger Arbeit für den Konsum

So lange musste ein Beschäftigter im Schnitt für ... arbeiten

	Menge	1948		2007	
		Preis in Euro	Stunden/Minuten	Preis in Euro	Stunden/Minuten
Mischbrot	1 kg	0,20	0:22	2,36	0:10
Milch	1 l	0,18	0:21	0,77	0:03
Bier	1 l	0,59	1:05	1,32	0:06
Butter	250 g	0,65	1:13	1,10	0:05
Kartoffeln	2,5 kg	0,20	0:22	2,97	0:13
Kaffee	500 g	10,66	19:57	4,42	0:20
Herrenanzug	1 St.	62,09	1:16:12	233,74	17:15
Kleiderschrank	1 St.	110,90	2:07:34	498,85	36:49

© 25/2008 Deutscher Instituts-Verlag



## Klimawandel & Energie: Fragen

Klimawandel und Energie vereinen viele Themen der Wirtschaftswissenschaften.

- Was sind die wirtschaftlichen Folgen des Klimawandels?
- Können wir uns als Gesellschaft eine Energiewende leisten, ohne große wirtschaftliche Einbußen?
- Können Märkte helfen, Anreize für saubere Energie und die nötigen neuen Technologien zu schaffen?
- Wie finanzieren wir die Investitionen für die Energiewende?
- Welche Rolle spielt Innovation?
- Wie gehen wir mit den Risiken um, dass das Klima gefährliche Kipppunkte erreicht?

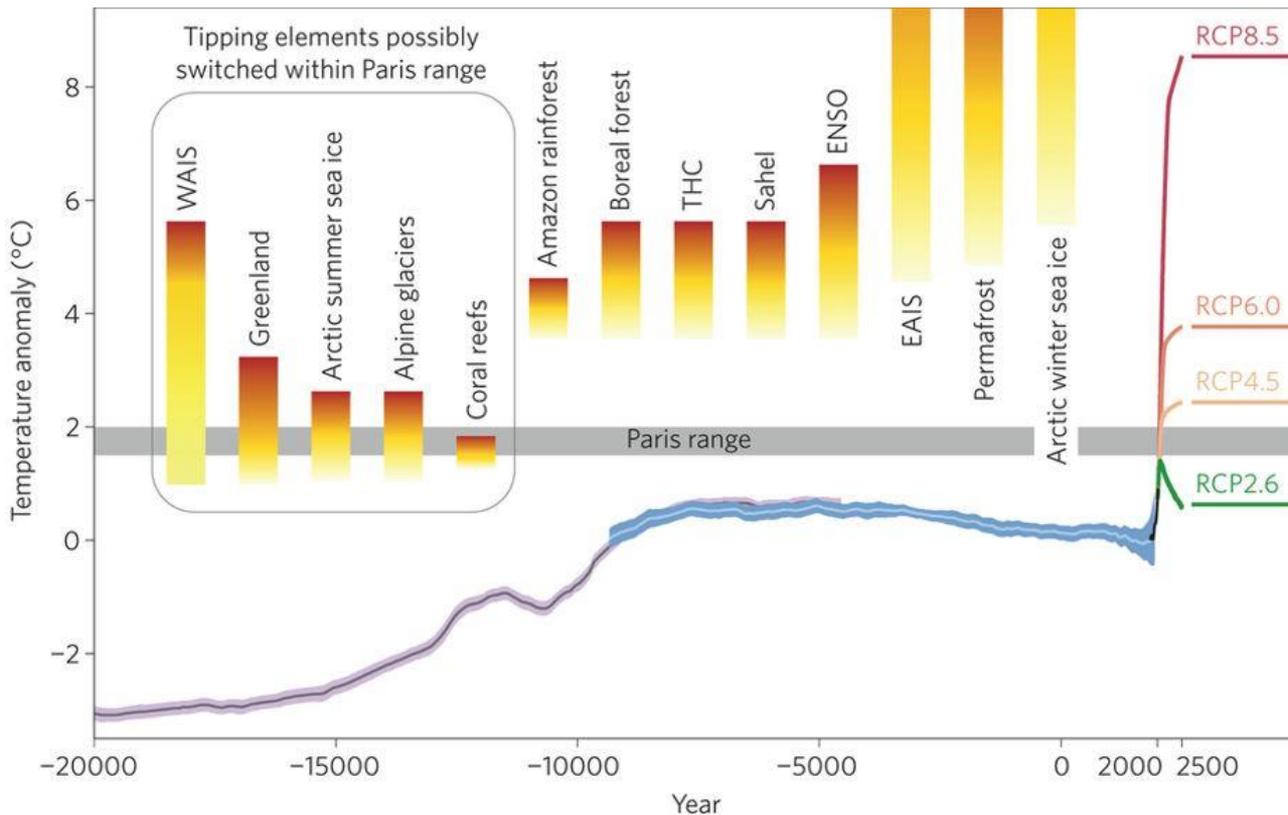


## Klimawandel: Was sind die Gefahren?

Das **Pariser Klimaabkommen** vom 12. Dezember 2015 wurde von 196 Staaten plus der Europäische Union vereinbart mit dem Ziel, die Erderwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter **auf deutlich unter zwei Grad Celsius** zu begrenzen, **möglichst sogar auf unter 1,5 Grad**.

Durch die Eindämmung des Klimawandels unterhalb dieses Temperaturniveaus sollen Umweltfolgen wie Naturkatastrophen, Dürren und ein Anstieg der Meeresspiegel wirksam begrenzt werden.

# Klimawandel: Was sind die Gefahren?



## Kipppunkte:

- WAIS: West Antarctic Ice Sheet ( $\Rightarrow$  5m Meeresspiegelanstieg)
- Grönland (7m)
- EAIS: East Antarctic Ice Sheet (> 50 m)
- THC: thermohaline circulation (wärmt Europa)
- ENSO: El Niño–Southern Oscillation (nimmt zu, führt zu Extremwetterereignissen)

# Klimawandel: Was sind die Kosten?

Was sind die Kosten, die der Gesellschaft durch Treibhausgasemissionen und dem daraus resultierenden Klimawandel entstehen?

## Direkte Kosten

- Wetterextreme (Hurrikane, Hitzeperioden, Dürren, Hochwasser, Waldbrände)
- Erhöhung des Meeresspiegels
- Ernteauffälle
- Rückgang des verfügbaren Trinkwassers
- Verlust der biologischen Vielfalt
- Ausbreitung von Wüsten

## Anpassungskosten

- Deiche
- Klimaanlage
- Anpassung von Ackerkulturen



# Klimaschäden: Was kostet der Gesellschaft eine ausgestoßene Tonne CO<sub>2</sub>?

Hier kann der Diskontierungszinssatz eine große Rolle spielen!

## 1 Bewertung von Klimafolgeschäden

### 1.1 Kostensatz für Kohlendioxid- und andere Treibhausgasemissionen

Wir empfehlen die Verwendung eines Kostensatzes von 195 €<sub>2020</sub> / t CO<sub>2 äq</sub> für das Jahr 2020 bei einer Höhergewichtung der Wohlfahrt heutiger gegenüber zukünftigen Generationen und eines Kostensatzes von 680 €<sub>2020</sub> / t CO<sub>2 äq</sub> bei einer Gleichgewichtung der Wohlfahrt heutiger und zukünftiger Generationen.<sup>1</sup> Zusätzlich empfehlen wir eine Sensitivitätsanalyse mit dem jeweils anderen Wert.

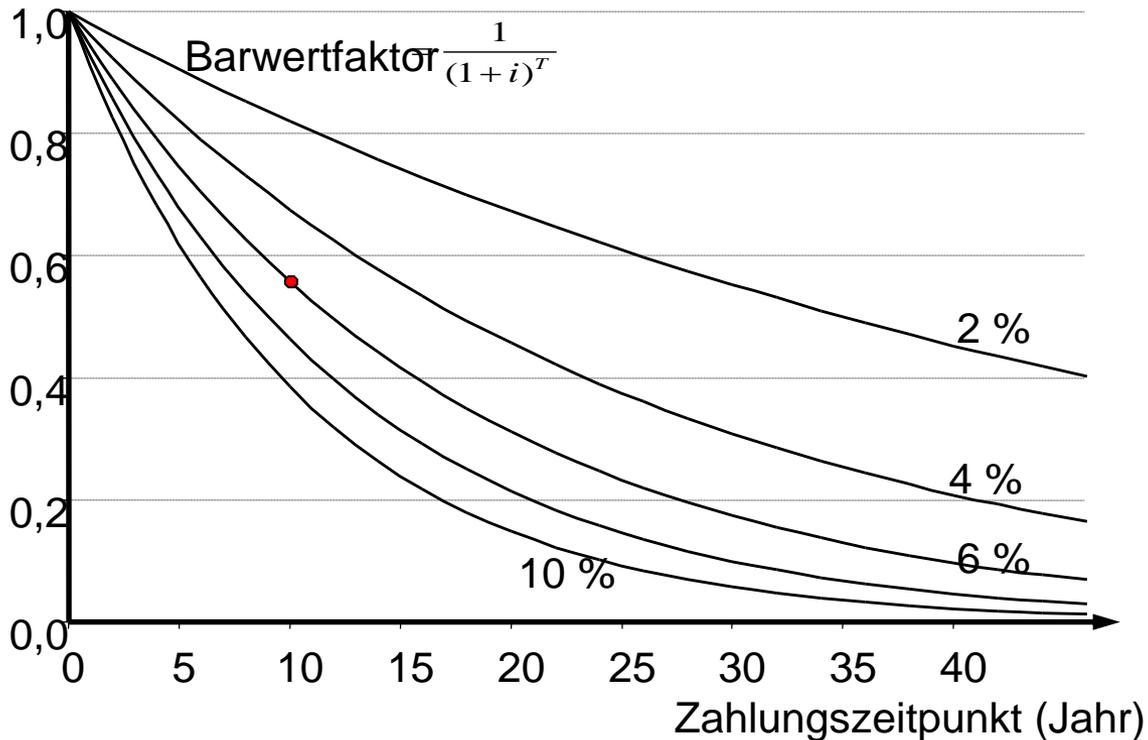
**Tabelle 1: UBA-Empfehlung zu den Klimakosten in €<sub>2020</sub> / t CO<sub>2 äq</sub>**

	Klimakosten in € <sub>2020</sub> / t CO <sub>2 äq</sub>		
	2020	2030	2050
1% reine Zeitpräferenzrate	195	215	250
0% reine Zeitpräferenzrate	680	700	765

Quelle: Eigene Darstellung.

## Warnung: Diskontierung über lange Zeiten

Über lange Zeithorizonte kann die Diskontierung einen großen Effekt haben.

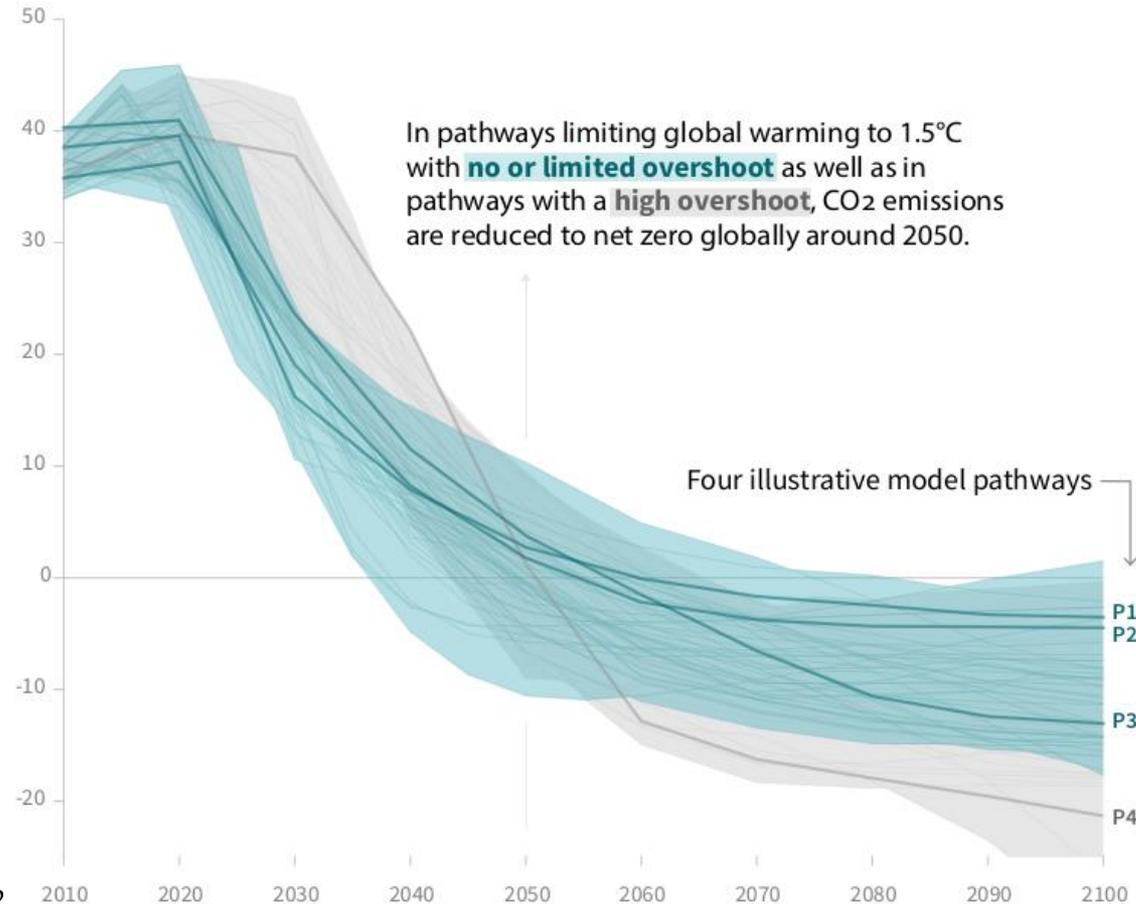


- Langfristige Vorteile werden nicht gesehen, z.B. Einnahmen von langlebigen Kraftwerken oder Effizienzmaßnahmen
- Langfristige Kosten werden auch verborgen, z.B. Rückbau, Entsorgung, Klimaschäden
- **Umstrittenes Thema!**

# Wie viel dürfen wir noch ausstoßen, um mit Paris konsistent zu bleiben?

## Global total net CO<sub>2</sub> emissions

Billion tonnes of CO<sub>2</sub>/yr



Um das 1,5C Ziel zu erreichen, müssen wir bis ungefähr 2050 aufhören, CO<sub>2</sub> auszustößen, und andere Treibhausgase (wie Methan, Lachgas) auch reduzieren. Nach 2050 müssen wir sogar CO<sub>2</sub> aus der Luft holen (Negative Emission Technologies).

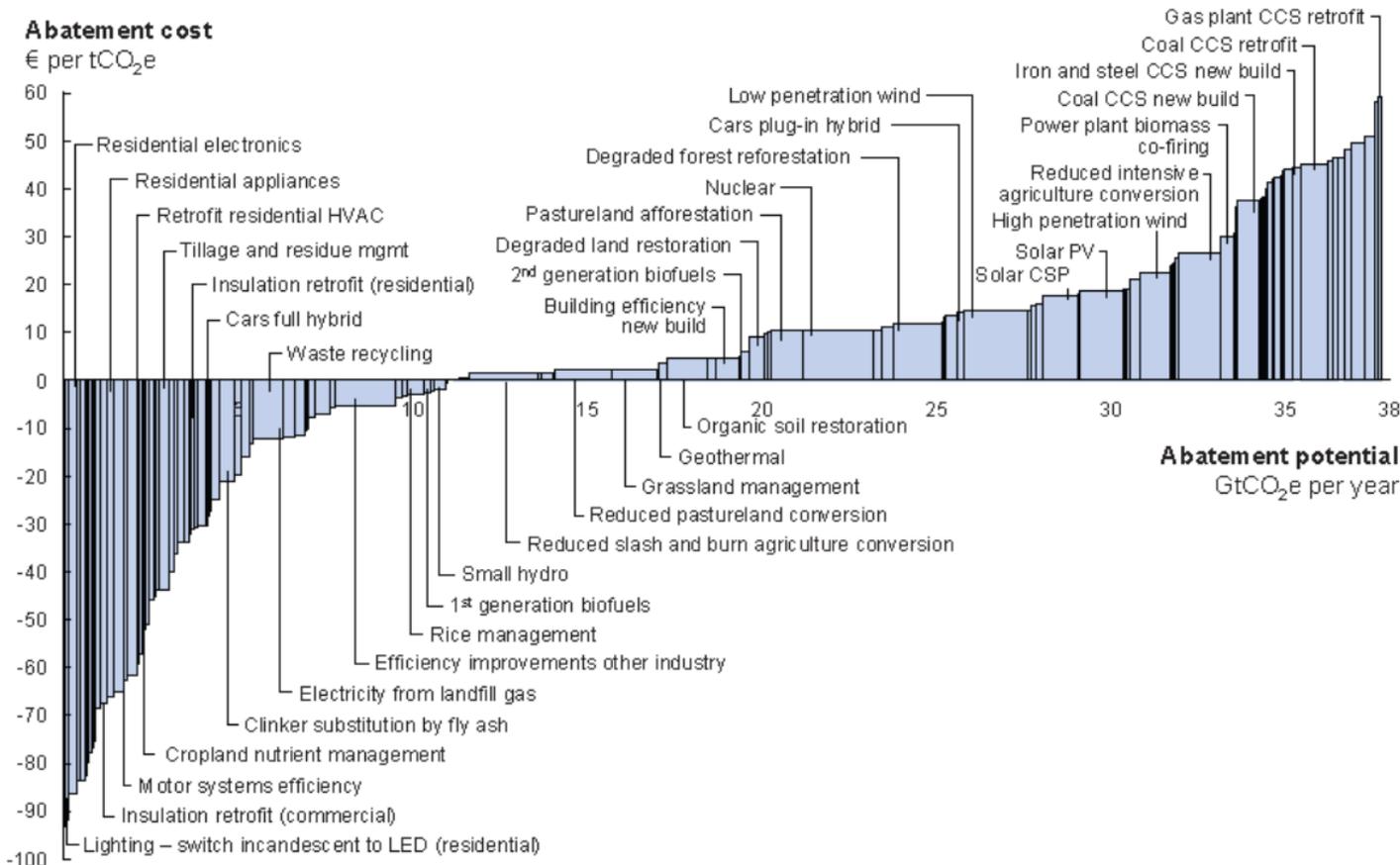


## Merkmale des Treibhausproblems

- **Globalität:** Der Ort der Emissionen spielt keine Rolle.
- **Zeitliche Verschiebung der Konsequenzen:** Schäden betreffen künftige Generationen, die verursachende Generation bleibt weitgehend ohne Beeinträchtigungen.
- Lösungen nur bei international koordiniertem Vorgehen:  
Wer soll welche Beiträge liefern?

# Was sind die Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen?

FIG. 1: MCKINSEY'S GLOBAL COST CURVE FOR THE YEAR 2030



Spezifische Kosten (€/tCO<sub>2</sub>-äquivalent) und Potenziale (Volumen) für die Vermeidung von globalen Treibhausgasemissionen in 2030, die mehr als 60 €/tCO<sub>2</sub>-äq kosten.

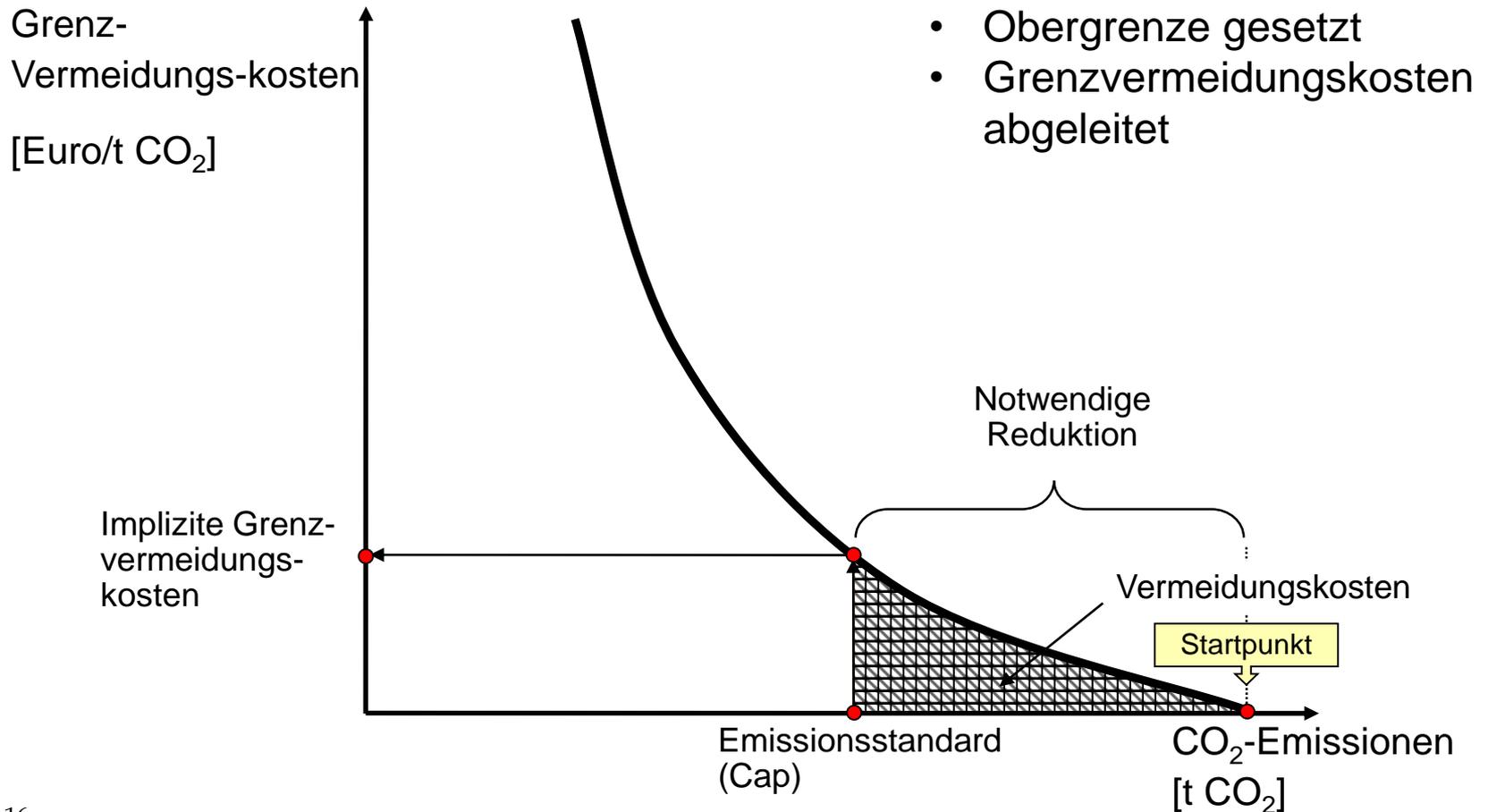
Vergleichen Sie die Vermeidungskosten mit den Kosten von Klimawandel.

Note: The curve presents an estimate of the maximum potential of all technical GHG abatement measures below €60 per tCO<sub>2</sub>e if each lever was pursued aggressively. It is not a forecast of what role different abatement measures and technologies will play.

# Instrumente zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung - Steuern oder anderes Instrument?

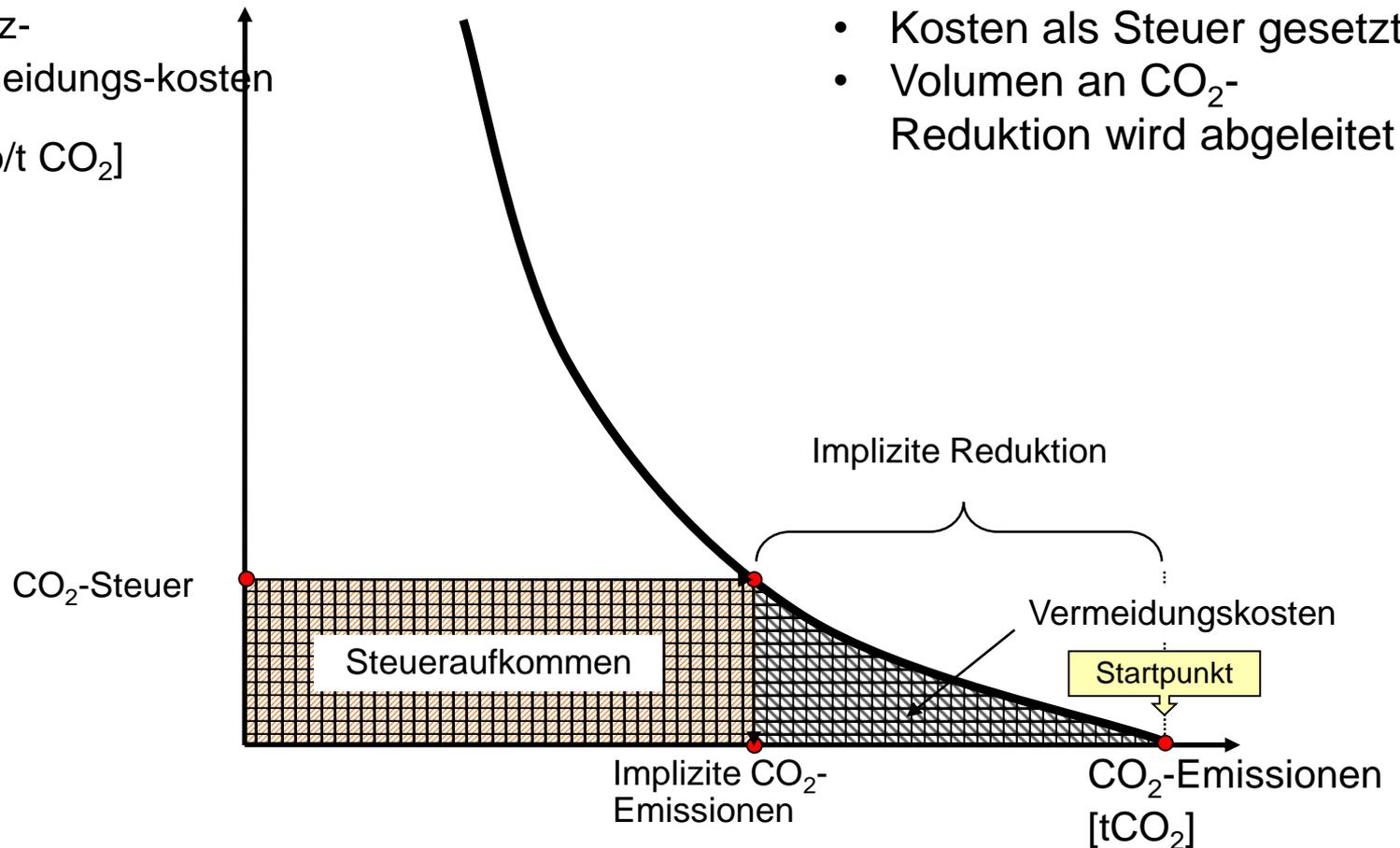
- **Emissionsstandard/Normen** (Cap = Obergrenze)
  - Beispiel: Die EU-Verordnungen zur Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Straßenfahrzeugen: Seit 2020 (vollumfänglich ab 2021) gilt ein Flottengrenzwert für Pkw von 95 gCO<sub>2</sub>/km
- **CO<sub>2</sub>-Steuer** (Pigou-Steuer)
  - Ziel: Lenkung des Verhaltens (weniger ein Fiskalzweck) zur Internalisierung externer Effekte (Soziale Kosten werden von den Verursachern getragen)
  - Beispiel: Seit 2021 deutsche CO<sub>2</sub>-Steuer auf Öl und Gas
- **Cap-and-Trade-System** (Handelsystem)
  - Beispiel: Europäisches Emissions Trading System (ETS) für ~40% aller europäischer Emissionen (Energiewirtschaft, Flugverkehr innerhalb Europas und Industrie)

# CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten Emissionsstandard/Normen



# CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten Pigou-Steuer

Grenz-  
Vermeidungs-kosten  
[Euro/t CO<sub>2</sub>]

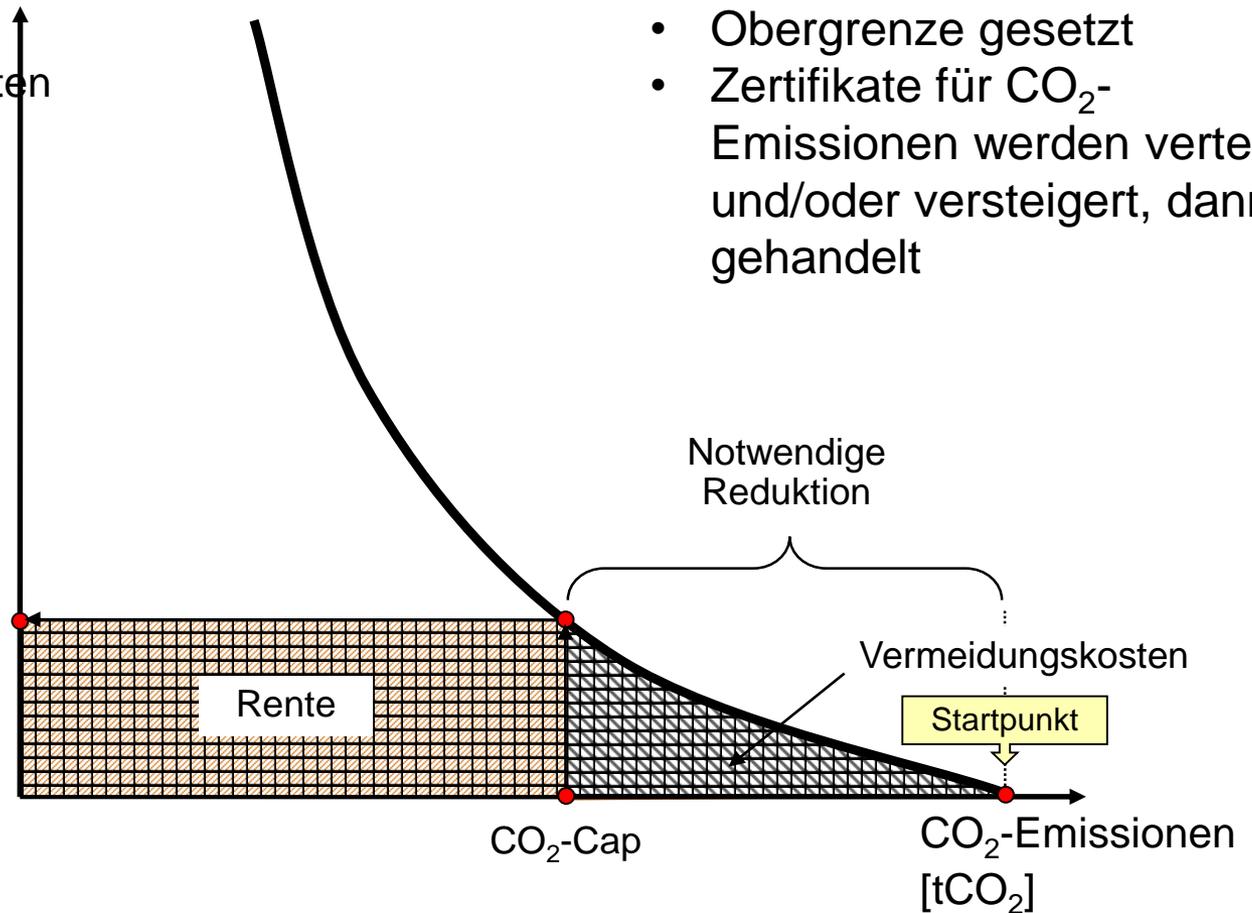


- Kosten als Steuer gesetzt
- Volumen an CO<sub>2</sub>-Reduktion wird abgeleitet

# CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten Cap-and-Trade-System

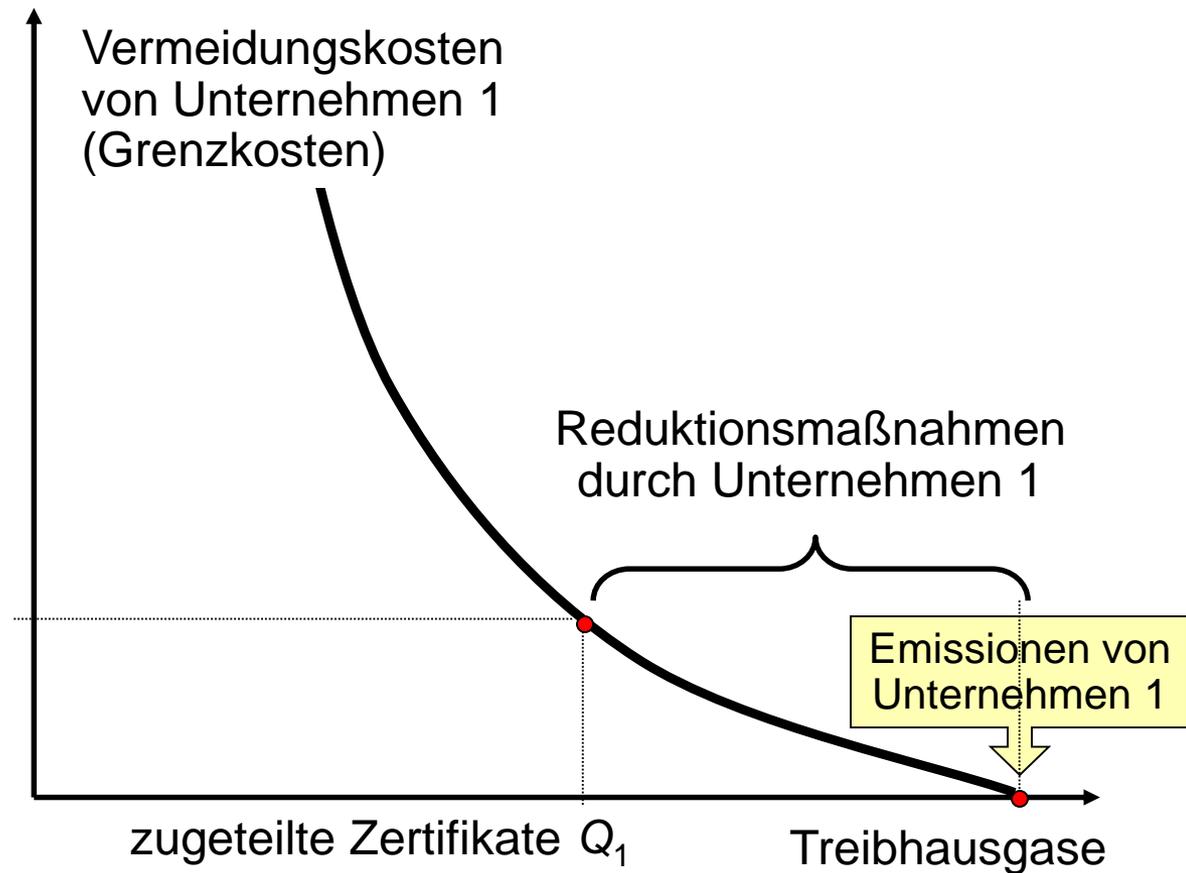
Grenz-  
Vermeidungs-kosten  
[Euro/t CO<sub>2</sub>]

Impliziter  
Zertifikate-preis

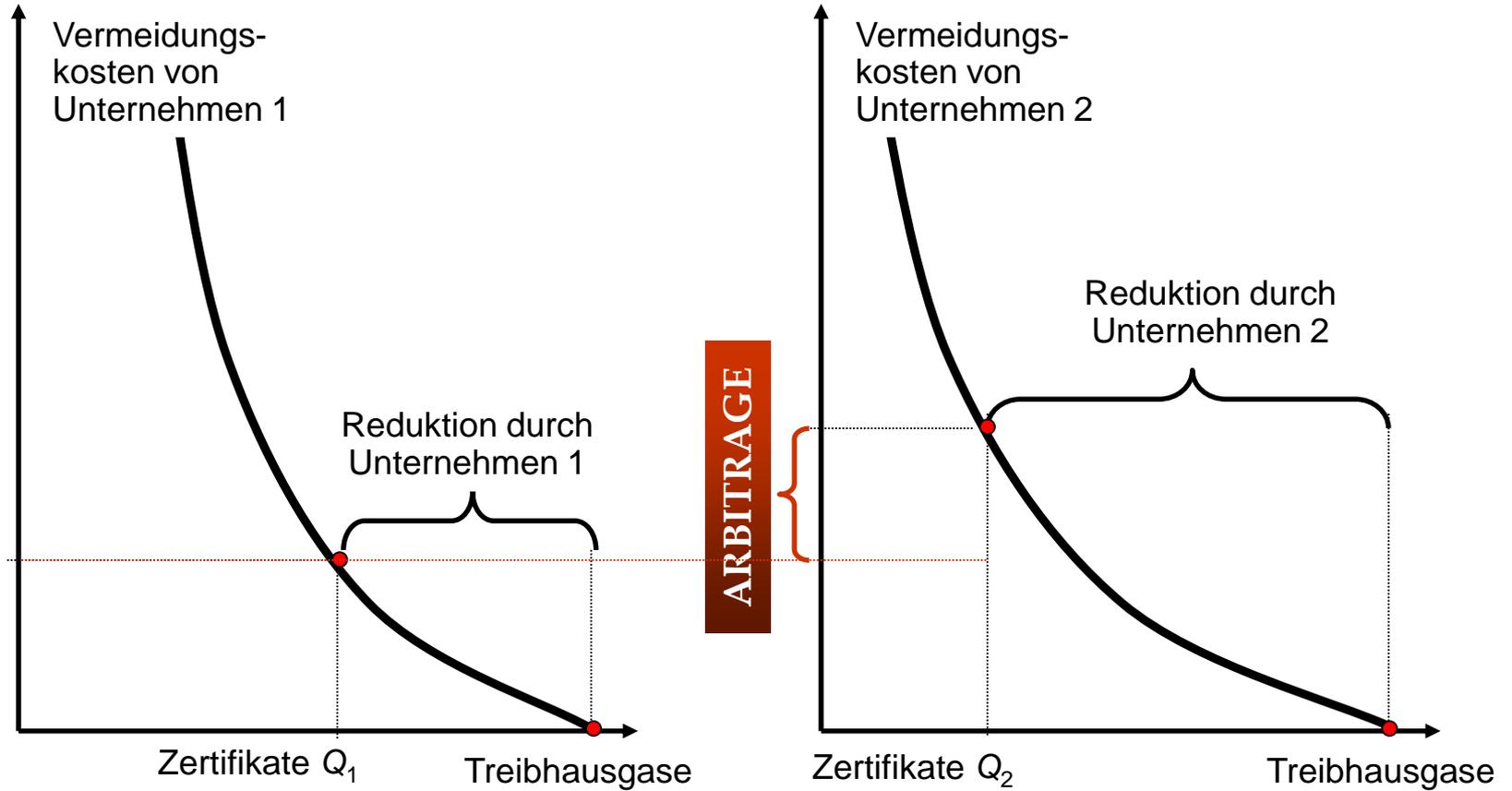


- Obergrenze gesetzt
- Zertifikate für CO<sub>2</sub>-Emissionen werden verteilt und/oder versteigert, dann gehandelt

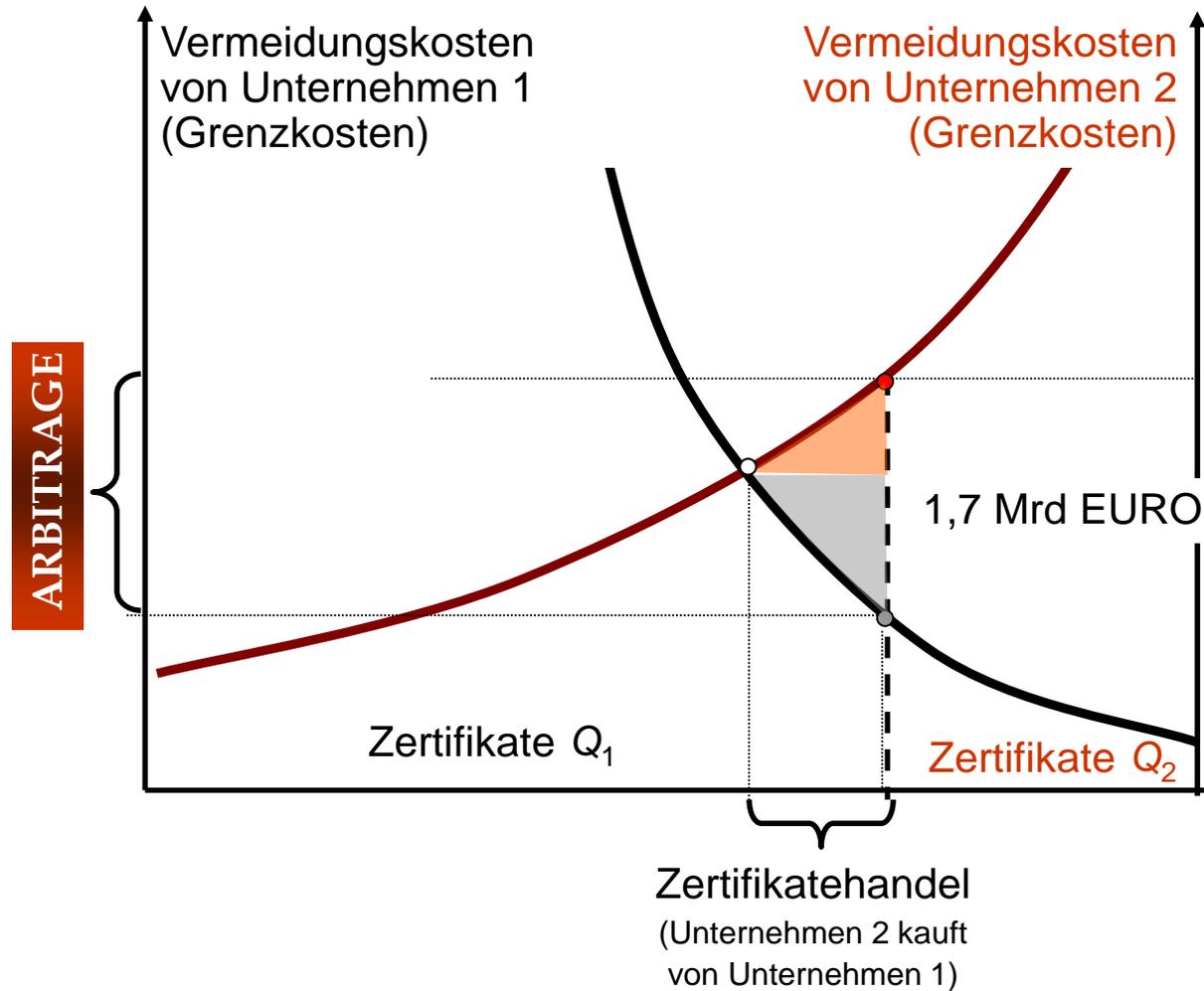
# Unternehmenssicht -Zertifikate und Vermeidungskosten



# Prinzip des Zertifikatehandels



# Prinzip des Zertifikatehandels



# Aktuelle CO<sub>2</sub>-Preise

In 2021 sind die ETS-Zertifikat-Preise auf €50/tCO<sub>2</sub> gestiegen. Wohin jetzt?

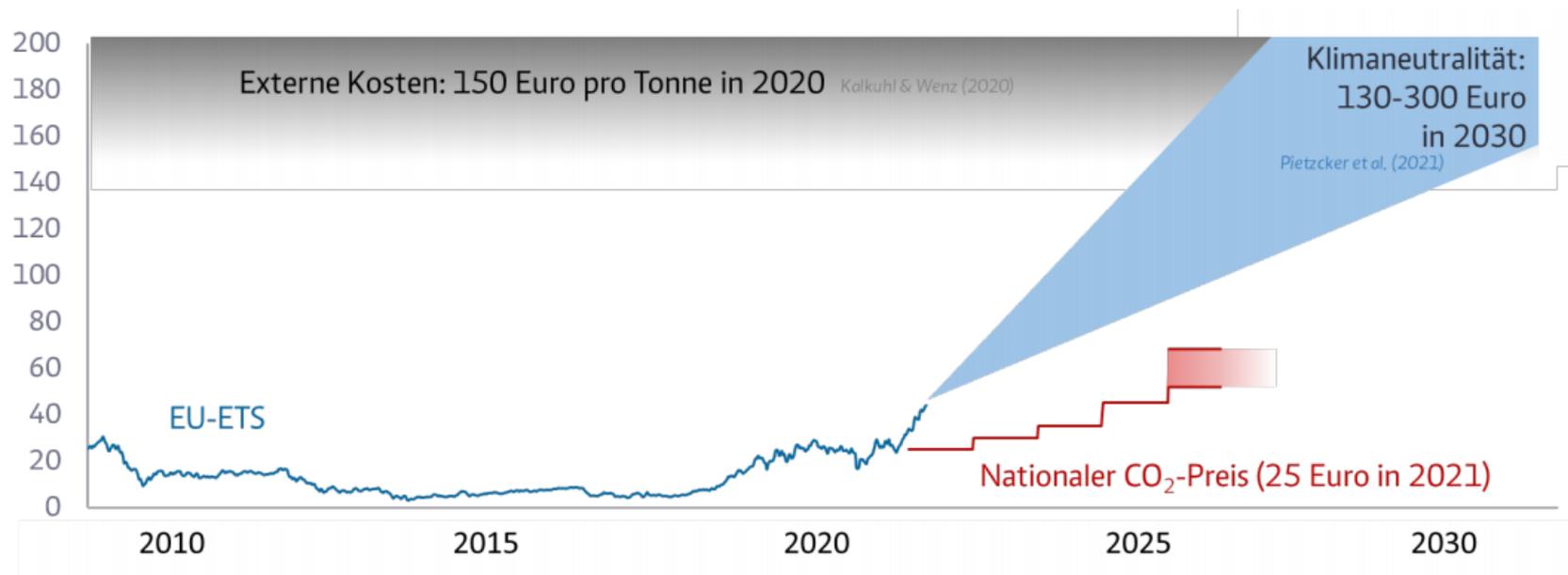
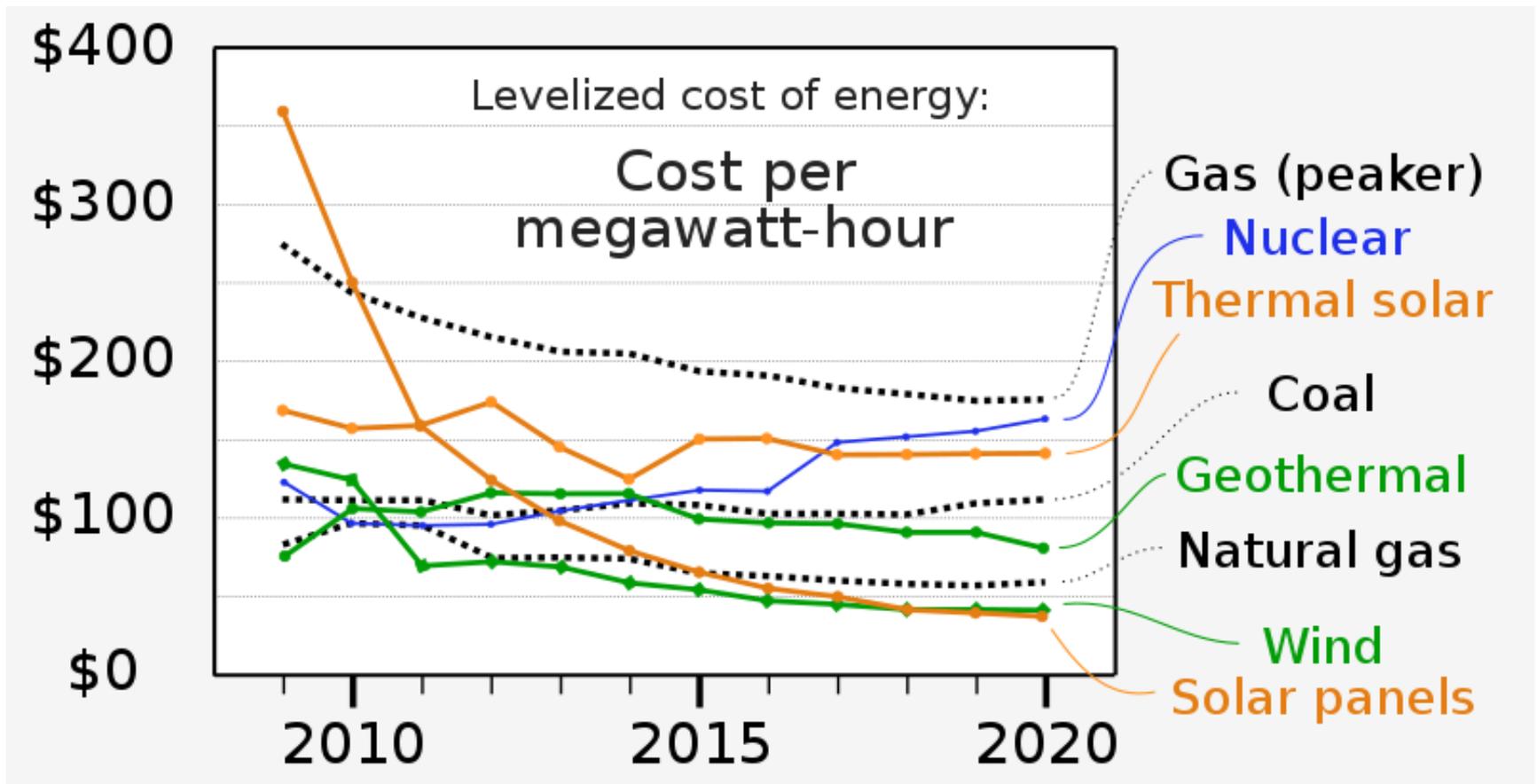


Abbildung 2: Aktuelle und nötige CO<sub>2</sub>-Preise im Europäischen Emissionshandelssystem (EU-ETS, in blau) für die Sektoren Energiewirtschaft und Teile der Industrie und im nationalen Brennstoffemissionshandel (in rot) für die Sektoren Verkehr und Wärme und Teile der Industrie. Eigene Darstellung basierend auf sandbag.org, Kalkuhl & Wenz (2020)<sup>2</sup> (externe Kosten) und Pietzcker et al. (2021)<sup>3</sup> (CO<sub>2</sub>-Preise für EU Green Deal).



## Andere Strategie: Innovation fördern

Technologie-Förderung hat neue Märkte geschaffen, Produktionsvolumen erhöht, was zu Kostenreduktionen geführt hat (Lerneffekt = Learning-By-Doing)

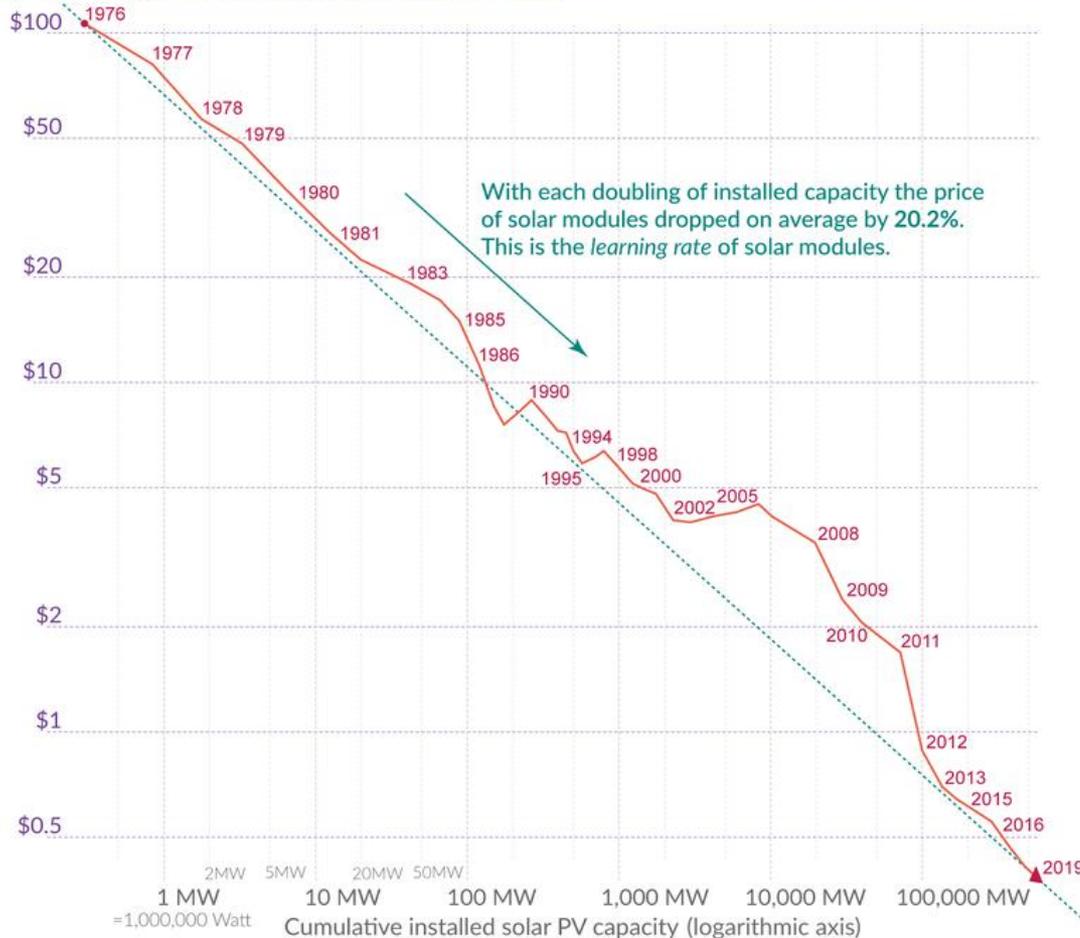


# Lerneffekte und Lernkurven

The price of solar modules declined by 99.6% since 1976



Price per Watt of solar photovoltaics (PV) modules (logarithmic axis)  
The prices are adjusted for inflation and presented in 2019 US-\$.



Lernkurven: je mehr gebaut wird, desto mehr lernt man, wie man Kosten reduzieren kann (effizienter, weniger Material, andere Materiale, bessere Herstellungsverfahren)

Kosten reduzieren in Abhängigkeit von der kumulativen Produktionsmenge Q:

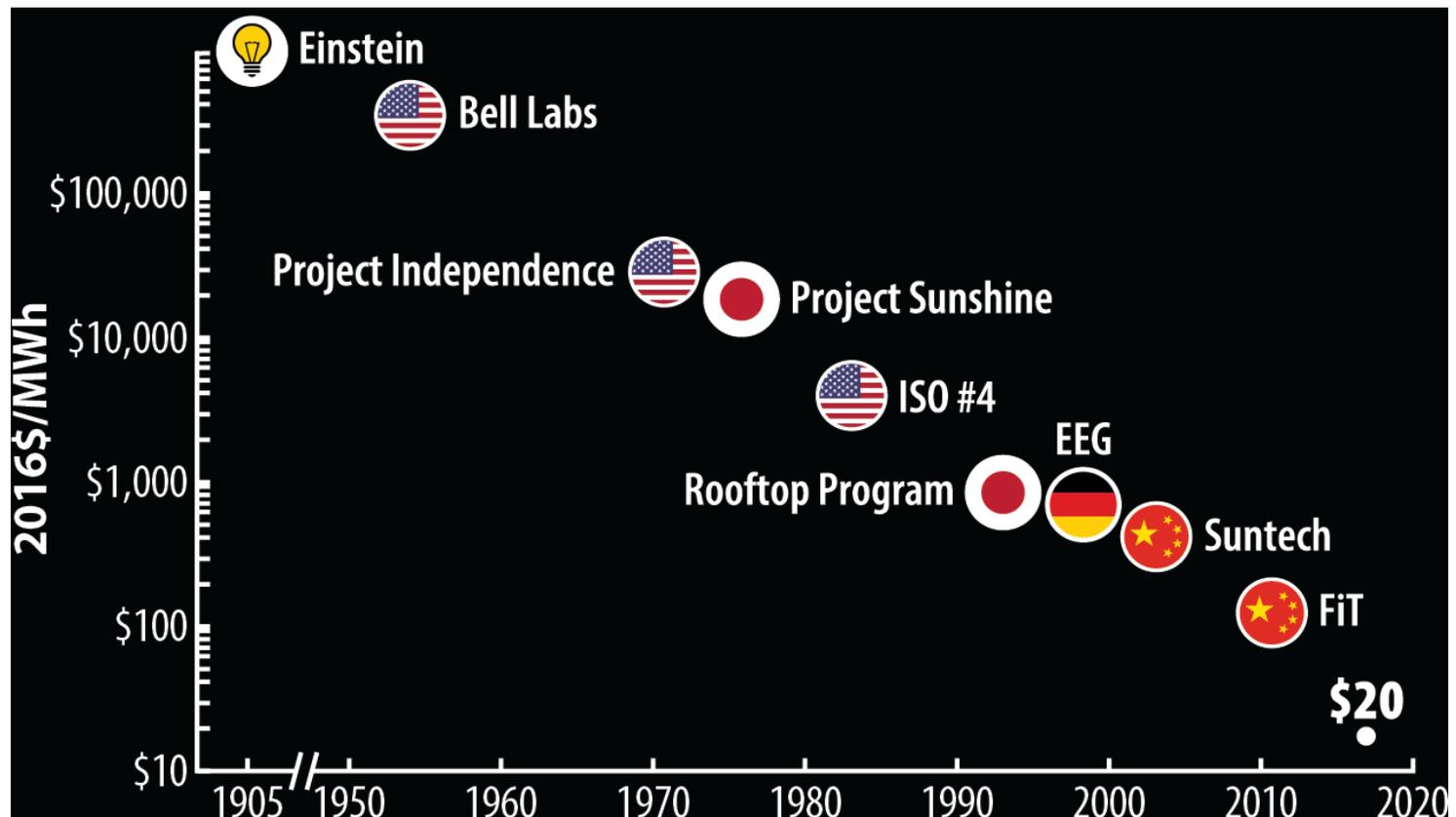
$$K = Q^{-\gamma}$$

Für Solar-PV:  $\gamma = 0.3$ .

Ähnliche Effekte in Auto-Industrie, Flugzeuge, usw.

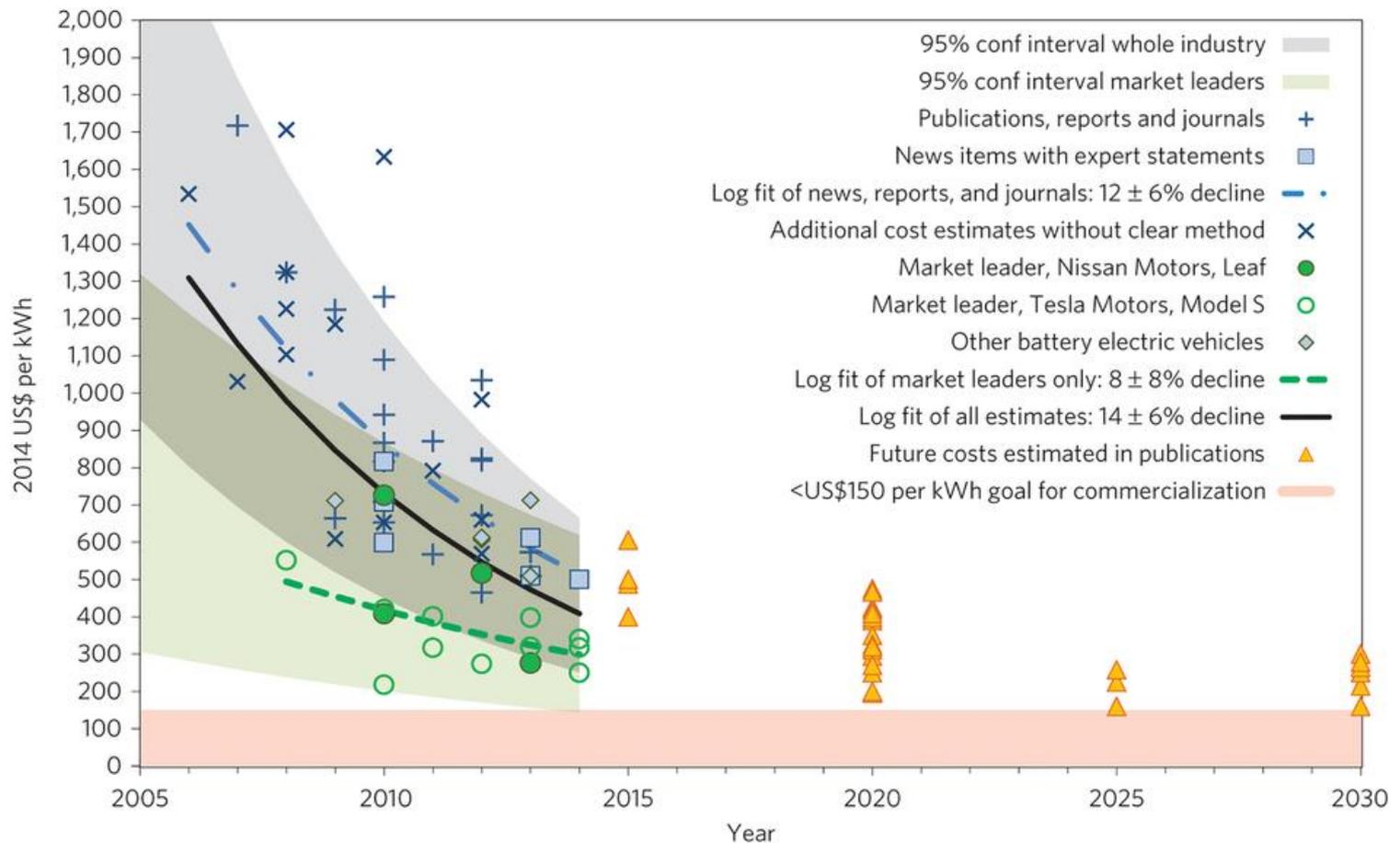
## Lerneffekte und Lernkurven

Viele Länder haben dazu beigetragen, darunter auch Deutschland mit dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG, 2000).



# Lerneffekte und Lernkurven

Ähnliche Effekte sieht man auch bei Batterien für Elektro-Autos und erwartet man für andere wichtige Technologien wie Wasserstoff-Elektrolyse.



## Klimawandel: Steuern, Innovation und Regulierung

In der Tat werden alle Instrumente benötigt und eingesetzt. Die richtige Mischung wird heftig umstritten (Debatte um Deployment versus Innovation).

- **Steuern / Cap-Trade:** Erfolge: Ausstieg aus Kohle in Großbritannien und bald in Europa; Sulfurdioxidreduktion, um sauren Regen zu bekämpfen
- **Normen und Standards:** Erfolge: Auto-emissionen, Effizienzmaßnahmen für Kühlschränke, Gebäudesanierung, usw.
- **Technologie-Förderung:** Erfolge: Solarenergie, Windenergie, Batterien, Elektro-Autos, Kernenergie, Wasserstoff?

## Literatur-Empfehlungen

