

Universität Stuttgart

IER Institut für Energiewirtschaft
und Rationelle Energieanwendung

**ERREICHUNG
DER KLIMANEUTRALITÄT BIS 2045
MITTELS CO₂-BEPREISUNG
IN DEN SEKTOREN
VERKEHR UND GEBÄUDE**

**Alexander
Burkhardt**

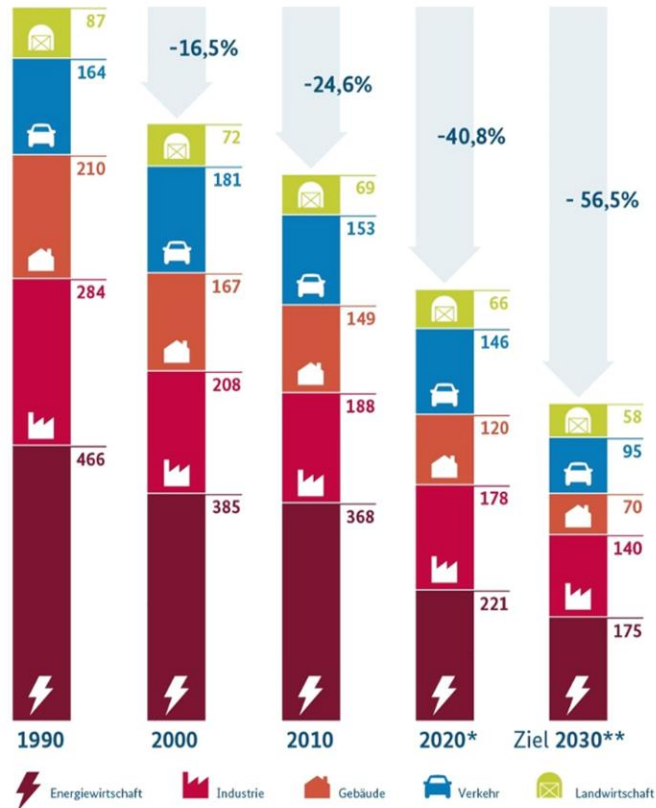
Agenda

1. Motivation und Ziel
2. Methodik
3. Ergebnisse
4. Diskussion und Ausblick

1. Motivation

2020: Mehr als 40 Prozent weniger Treibhausgasemissionen als 1990

Energiesektor halbiert seine Emissionen im Vergleich zu 1990



Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren (in Mio t CO₂-Äquivalente)

* Daten für 2020 vorläufige Zahlen

** Jahresemissionsmengen aller Sektoren für 2030 laut Klimaschutzgesetz

- Das neue Klimaschutzgesetz definiert für 2030 Ziele für die einzelnen Sektoren in Deutschland
- Dabei sind insbesondere die Ziele für die Sektoren Verkehr und Wärme recht ambitioniert, die Geschwindigkeit der CO₂-Emissionsminderung muss im Vergleich zur vergangenen Dekade deutlich beschleunigt werden
- Über 2030 hinaus sind keine konkreten Ziele definiert, jedoch ist das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 gesetzlich verankert
- Seit 2021: nationale CO₂-Bepreisung für die beiden Sektoren Verkehr und Gebäude in Deutschland eingeführt

Quelle: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Industrie/treibhausgasemissionen-deutschland-nach-sektoren.html>

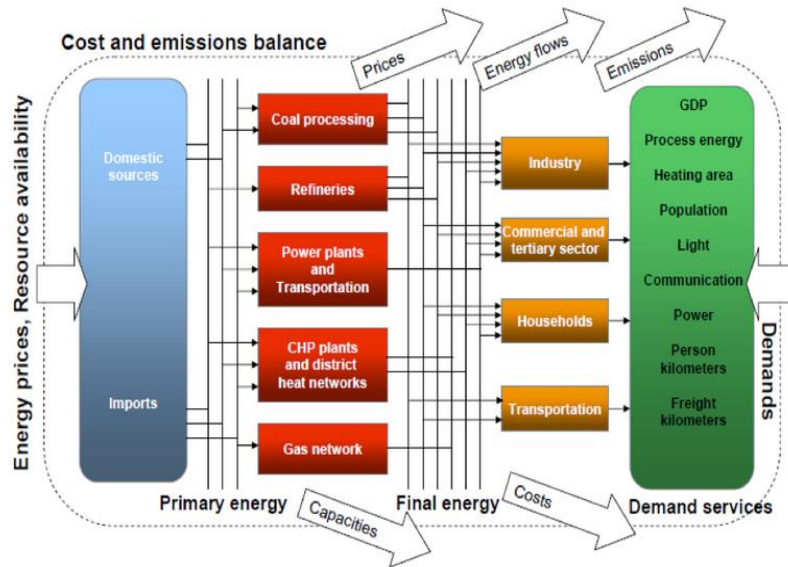
1. Motivation und Ziel

3 Forschungsfragen

1. Wie hoch müssen CO₂-Preise bzw. Preispfade sein, um das Ziel der Klimaneutralität in den Sektoren Verkehr und Gebäude zu erreichen?
2. Welchen Einfluss hat der zeitliche Verlauf der CO₂-Preispfade? Gibt es einen Vorteil für frühzeitig hohe CO₂-Preise?
3. Sind die Anforderungen an die CO₂-Bepreisung in beiden Sektoren ähnlich?

2. Methodik

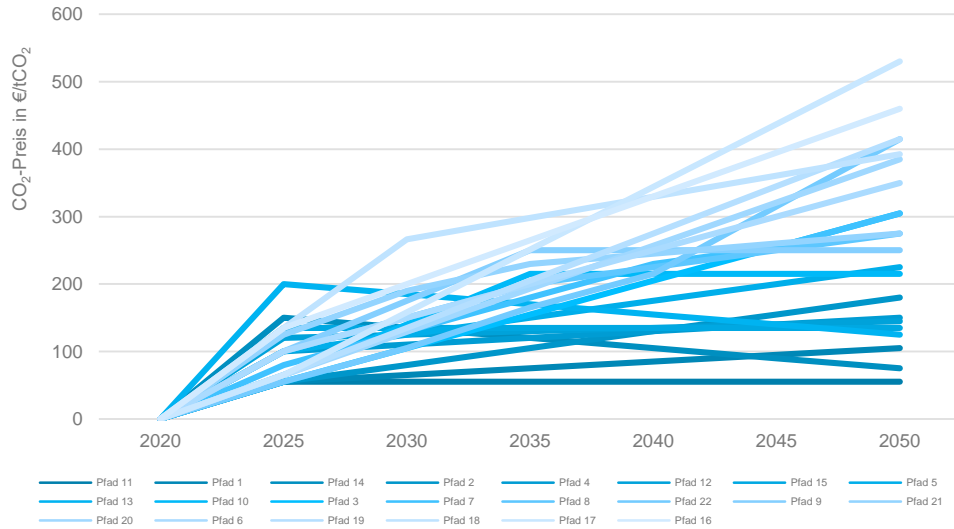
Das Energiesystemmodell TIMES PanEU



- 30 Regionen (EU27+Norwegen, Schweiz und UK)
- Zeithorizont 2010-2050
- Vollständiger Wettbewerb der Technologien
- Abbildung aller relevanten Sektoren (Bereitstellung Primärenergie, Erzeugung von Strom und Wärme, Endenergiesektoren Industrie, GHD, Haushalte, Landwirtschaft und Verkehr)
- Zielfunktion minimiert intertemporale Gesamtkosten des Energiesystem
- Lösung unter perfekter Voraussicht/Perfect Foresight

2. Methodik

Untersuchte Preispfade



Vergleich der 22 Preispfade/Szenarien mit
 Einem kostenoptimalen Referenzszenario (Ref),
 das die Klimaschutzziele einhält

€/t CO ₂	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	Durchschnitt
Pfad 11	0	55	55	55	55	55	55	55,0
Pfad 1	0	55	65	75	85	95	105	80,0
Pfad 14	0	150	135	120	105	90	75	112,5
Pfad 2	0	55	80	105	130	155	180	117,5
Pfad 4	0	100	110	120	130	140	150	125,0
Pfad 12	0	120	125	130	135	140	145	132,5
Pfad 15	0	135	135	135	135	135	135	135,0
Pfad 5	0	100	125	150	175	200	225	162,5
Pfad 13	0	200	185	170	155	140	125	162,5
Pfad 10	0	65	140	215	215	215	215	177,5
Pfad 3	0	55	105	155	205	255	305	180,0
Pfad 7	0	80	130	180	230	255	305	196,7
Pfad 8	0	100	150	200	225	250	275	200,0
Pfad 22	0	55	105	165	215	315	415	211,7
Pfad 9	0	100	175	250	250	250	250	212,5
Pfad 21	0	125	190	230	245	260	275	220,8
Pfad 20	0	65	129	193	257	321	385	225,0
Pfad 6	0	100	150	200	250	300	350	225,0
Pfad 19	0	65	135	205	275	345	415	240,0
Pfad 18	0	135	266,5	298	329,5	361	392,5	297,1
Pfad 17	0	65	158	251	344	437	530	297,5
Pfad 16	0	135	200	265	330	395	460	297,5

2. Methodik

Annahmen

- Import von grünem Wasserstoff/synthetischen Kraftstoffen auf maximal 350 TWh begrenzt
- Biomasseinsatz auf 410 TWh begrenzt
- Geologische CO₂-Speicherung begrenzt möglich (max. 50 Mt CO₂/Jahr), zusätzliche CO₂-Senken i.H.v. bis zu 60 Mt CO₂/Jahr
- Polt. Rahmenbedingungen werden als konstant angenommen (z.B. GEG)

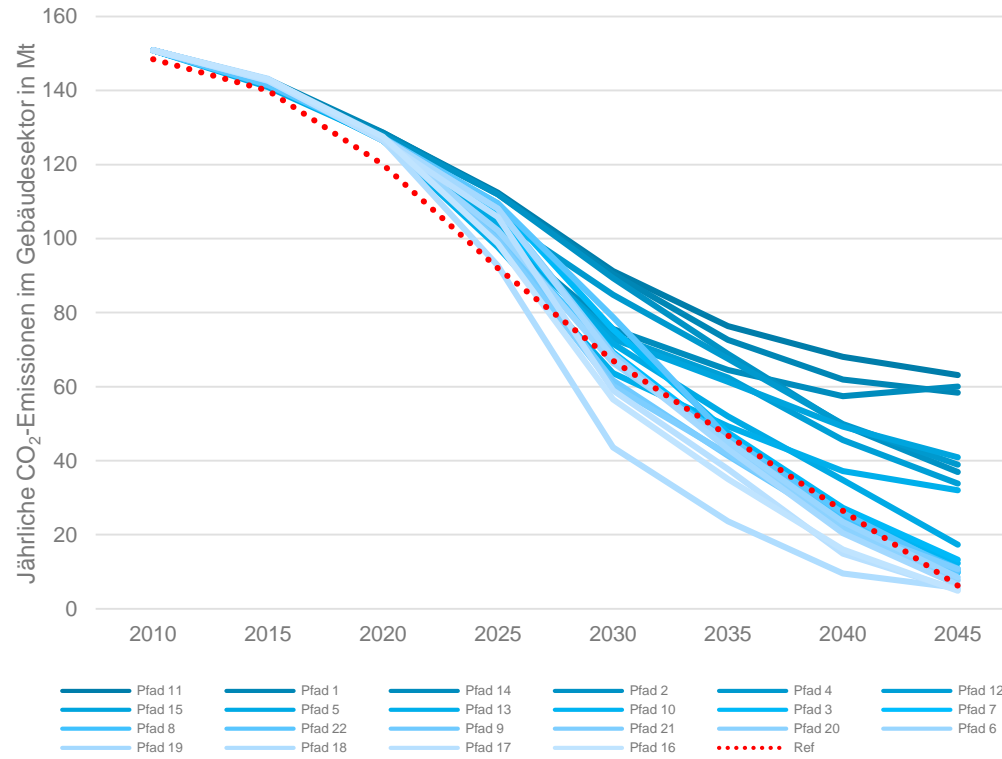
-> Annahmen gleichen stark dem Ariadne-Szenario „Technologiemixszenario“



Quelle:
<https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitat-2045-szenarienreport/>

3. Ergebnisse

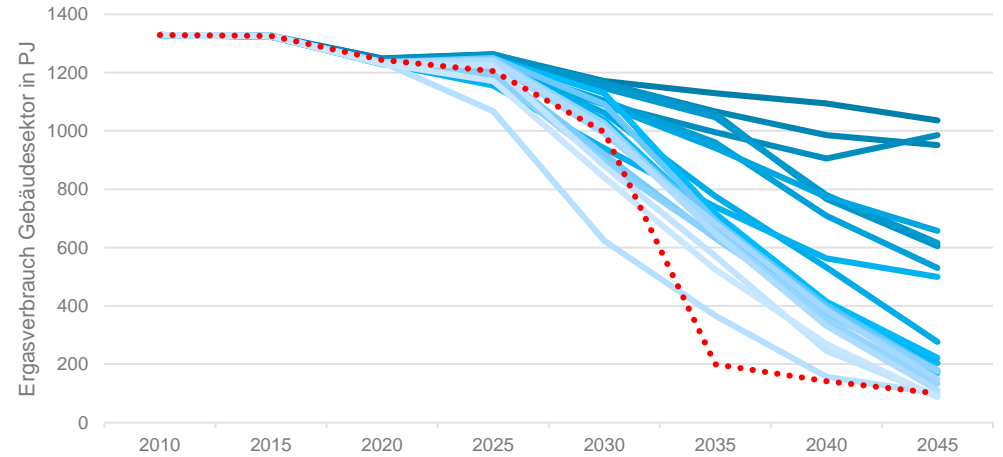
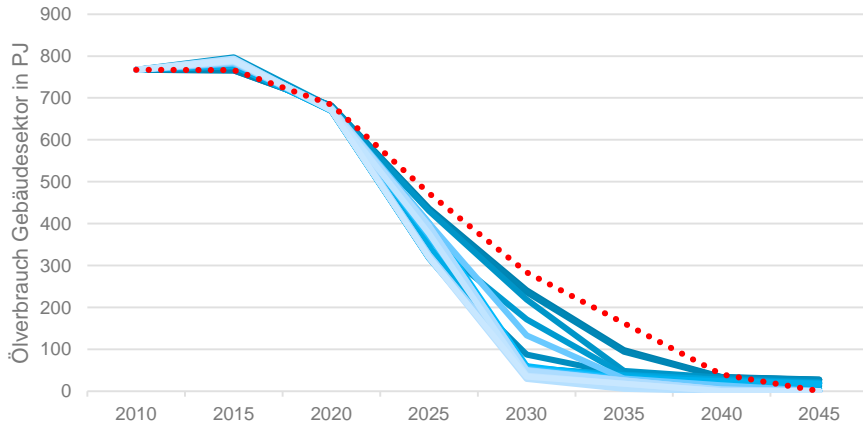
Gebäudesektor – CO₂-Emissionen im Jahresverlauf



- Kurzfristig (2025) nur sehr geringer Effekt
- Mittelfristig (2030-2040) schneiden sehr hohe CO₂-Preise sogar besser ab als das Referenzszenario
- Langfristig (2045) verringern nur 3 Preispfade die CO₂-Emissionen unter das Niveau des Referenzlaufs
- Kumuliert (2025-2050) stoßen 4 der 22 Szenarien weniger CO₂ aus

3. Ergebnisse

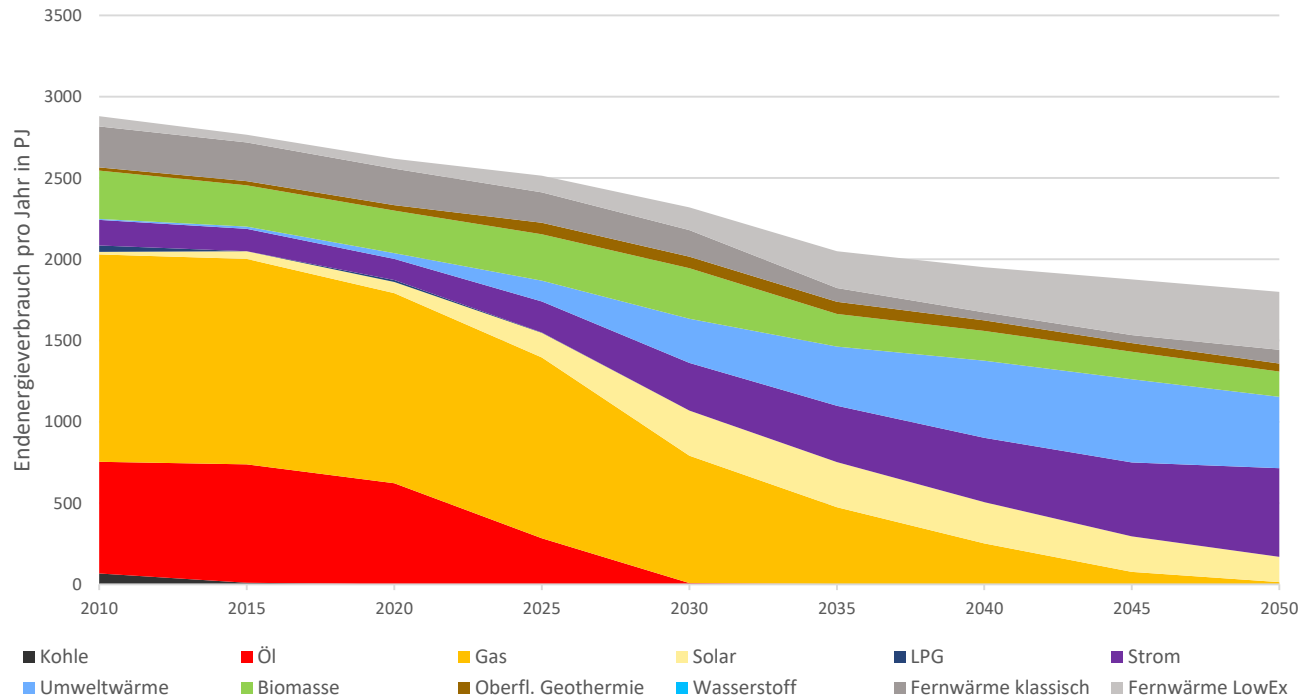
Gebäudesektor Endenergieverbrauch von Erdöl (links) und Erdgas (rechts)



- Durch die CO₂-Bepreisung entsteht ein Substitutionseffekt, Erdöl wird durch Erdgas verdrängt
- Um den Endenergieverbrauch von Erdgas signifikant zu senken sind sehr hohe CO₂-Preise notwendig

3. Ergebnisse

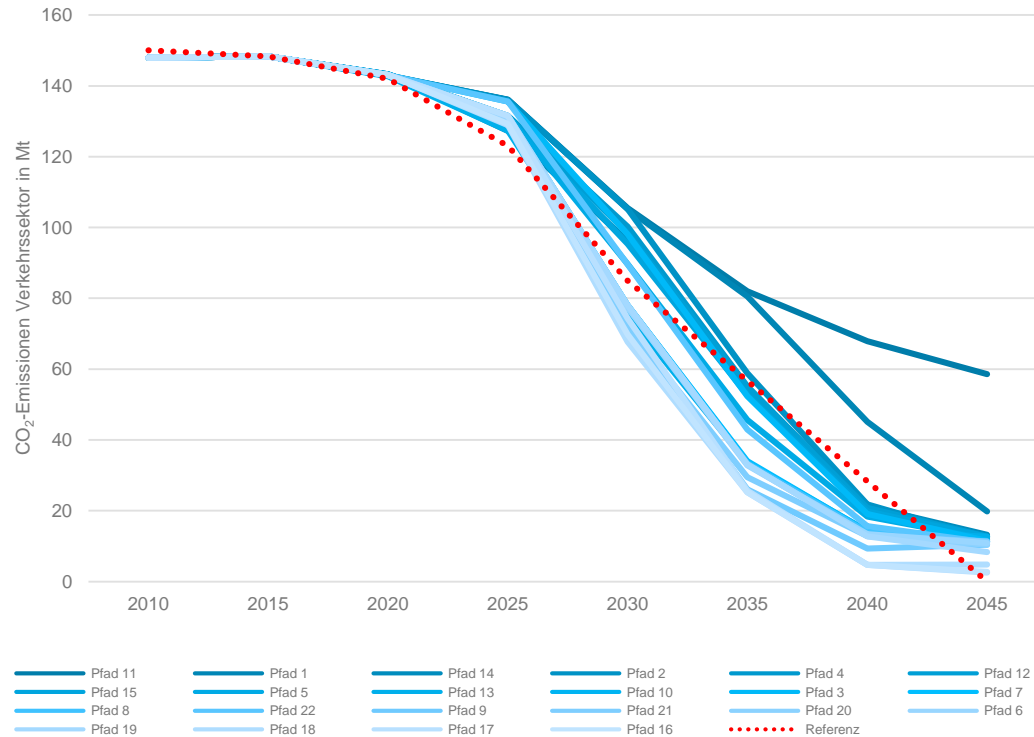
Gebäudesektor – Endenergieverbrauch Pfad 16 (höchster durchschnittlicher CO₂-Preis)



- Transformation hin zu Wärmepumpen, Fernwärme, Solarthermie und Biomasse
- Öl wird schon sehr früh aus dem System gedrängt
- Ein kleiner Rest Erdgas verbleibt auch noch 2045-2050 (Lebensdauer Heizung 18-20 Jahre)

3. Ergebnisse

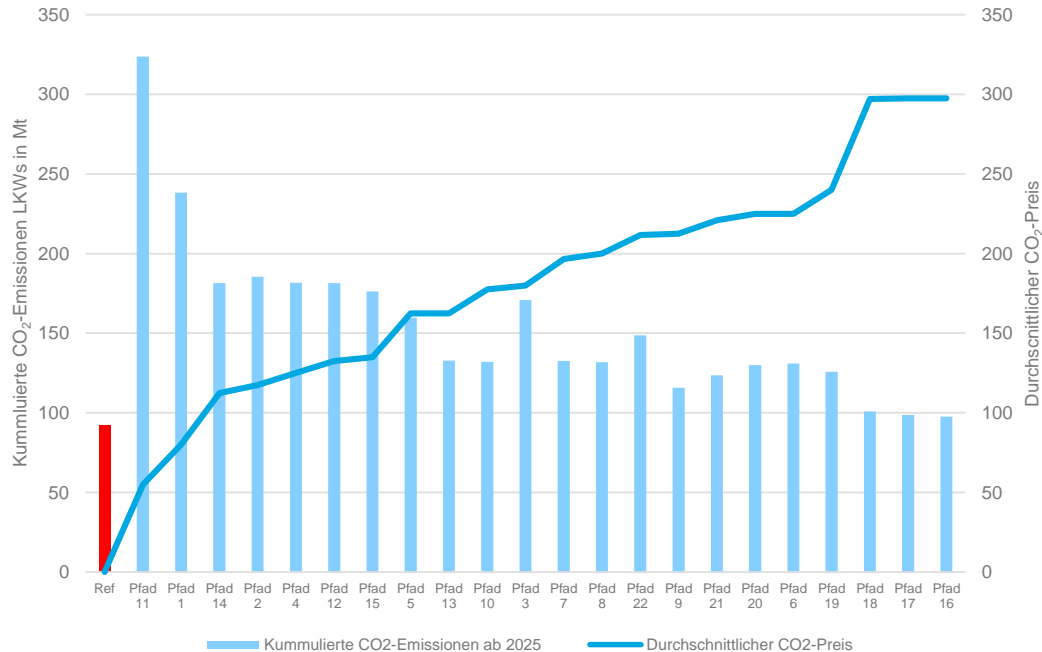
Verkehr - CO₂-Emissionen im Jahresverlauf



- Kurzfristig (2025) nur sehr geringer Effekt
- Mittelfristig (2030-2040) schneiden viele CO₂-Preispfade sogar besser ab als das Referenzszenario
- Langfristig (2045) senkt keiner der Preispfade die CO₂-Emissionen unter das Niveau des Referenzlaufs
- Kumuliert (2025-2050) stoßen jedoch 12 der 22 Szenarien weniger CO₂ aus

3. Ergebnisse

Verkehr - CO₂-Emissionen im Güterverkehr LKW



- PKWs dekarbonisieren auf Grund angenommener Kostenparität mit Verbrennern ab ca. 2030 schon bei vergleichsweise niedrigen CO₂-Preisen
- Für LKWs sind auch 2045 noch fossile und hybride Fahrzeuge Teil der Flotte, diese werden nur mit sehr hohen CO₂-Preisen unwirtschaftlich.

4. Fazit

- Sehr hohe CO₂-Preise sind notwendig, um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen
- Gerade kurz- und langfristig (tiefe Dekarbonisierung) werden die Ziele nur schwer über die CO₂-Bepreisung erreicht -> zusätzliche Politikinstrumente notwendig
- Mittelfristig werden die Ziele aus dem Referenzlauf jedoch teilweise sogar übererfüllt
- Beide Sektoren haben jeweils unterschiedliche, ideale Preisverläufe. Gerade im Verkehrssektor lohnt sich ein frühzeitig hoher CO₂-Preis. Im Gebäudesektor führen frühzeitig höhere Preise zu einer vergleichsweise höheren finanziellen Belastung, ohne die CO₂-Emissionen substantiell zu senken



Universität Stuttgart

IER Institut für Energiewirtschaft
und Rationelle Energieanwendung

Vielen Dank!



Alexander Burkhardt (M. Sc.)

E-Mail Alexander.Burkhardt@ier.uni-stuttgart.de

Telefon +49 (0) 711 685-87500

Fax +49 (0) 711 685-87500

Universität Stuttgart

Systemanalytische Methoden und Wärmemarkt

Heißbrühlstr. 49a 70565 Stuttgart