

# So geht Klimaneutralität 2045 – Was der erste Modellvergleich für Deutschland zeigt



Dr. Christoph Kost

Gruppenleiter Energiesysteme und  
Energiewirtschaft

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

VEA - Wie die Dekarbonisierung gelingen kann:  
Einsatz alternativer Energien und Technologien  
im Unternehmen

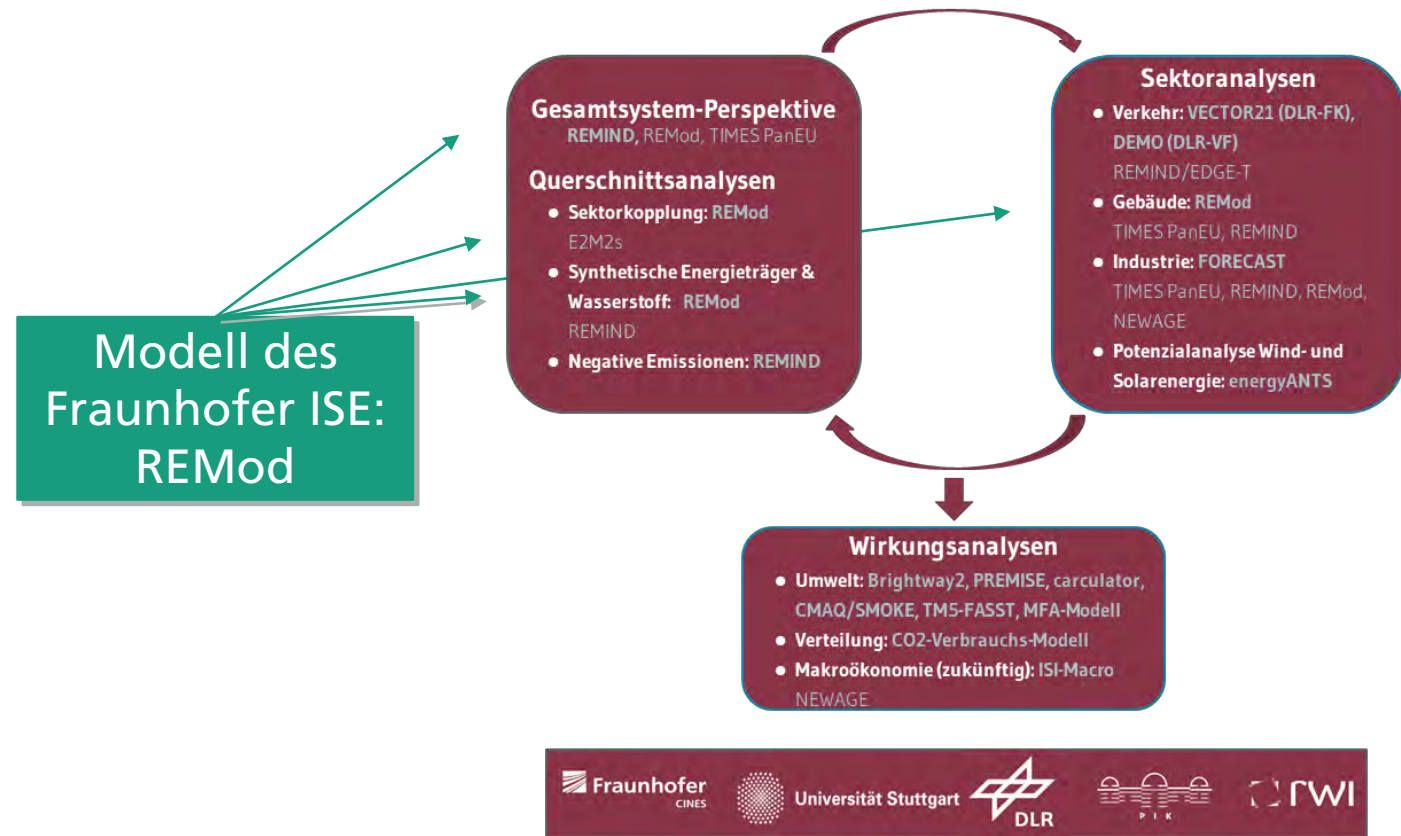
Dienstag, 5. April 2022

[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

# Vorstellung von Ergebnissen des Ariadne Reports



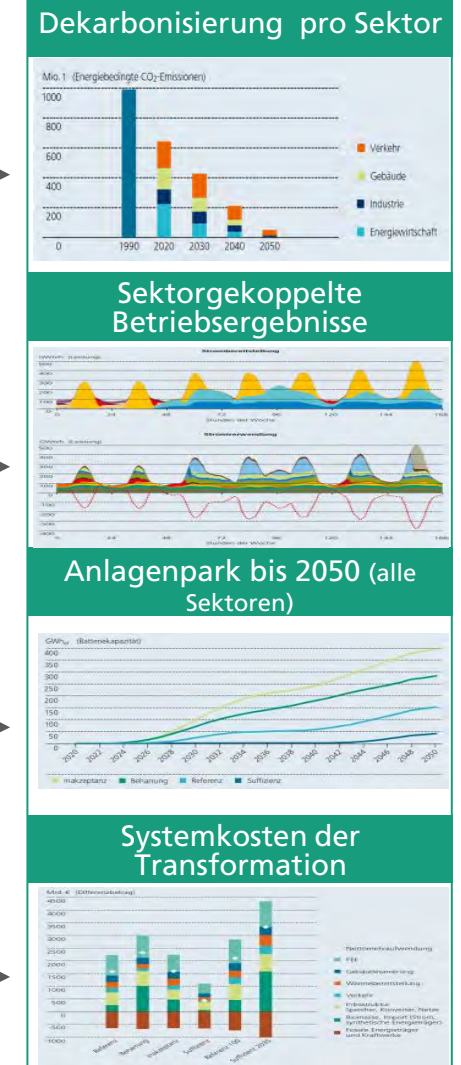
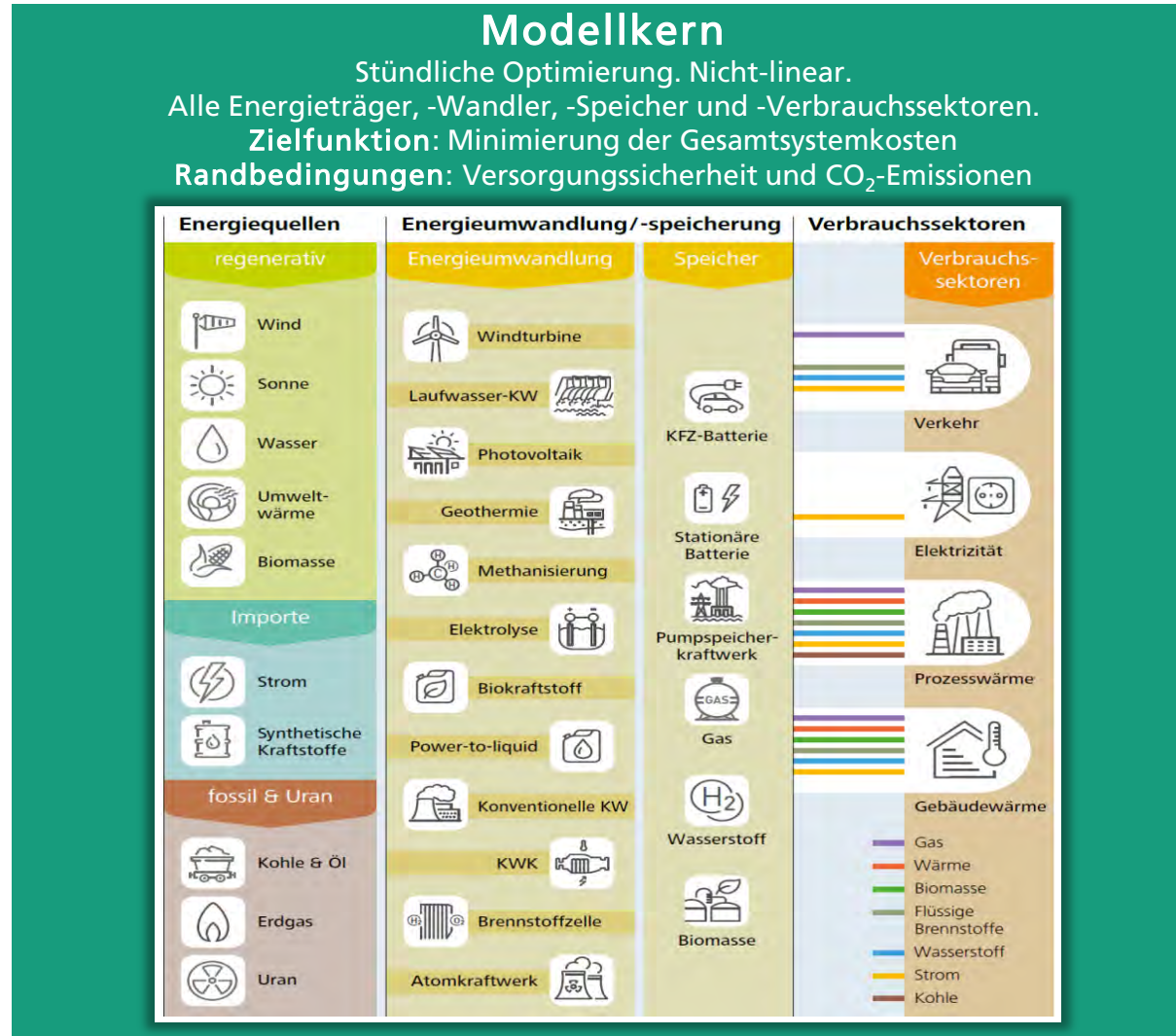
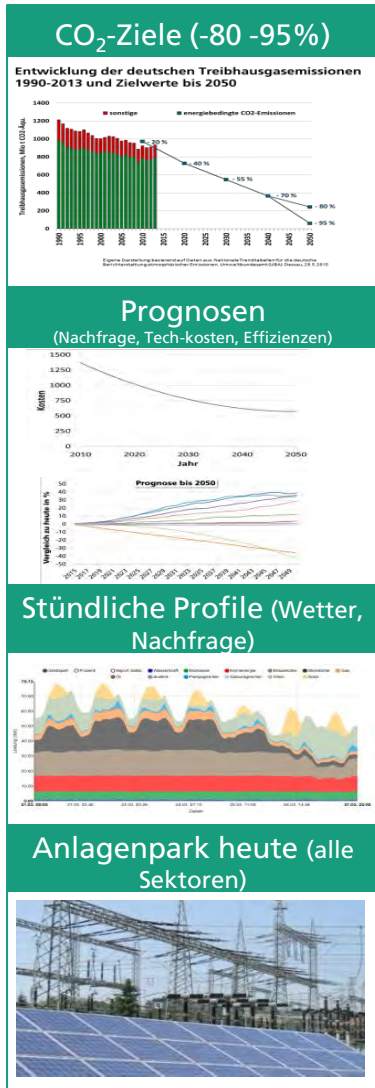
- 3 Gesamtsystemmodelle
- 3 Sektormodelle
- Wirkungsanalysen Umwelt & Verteilung



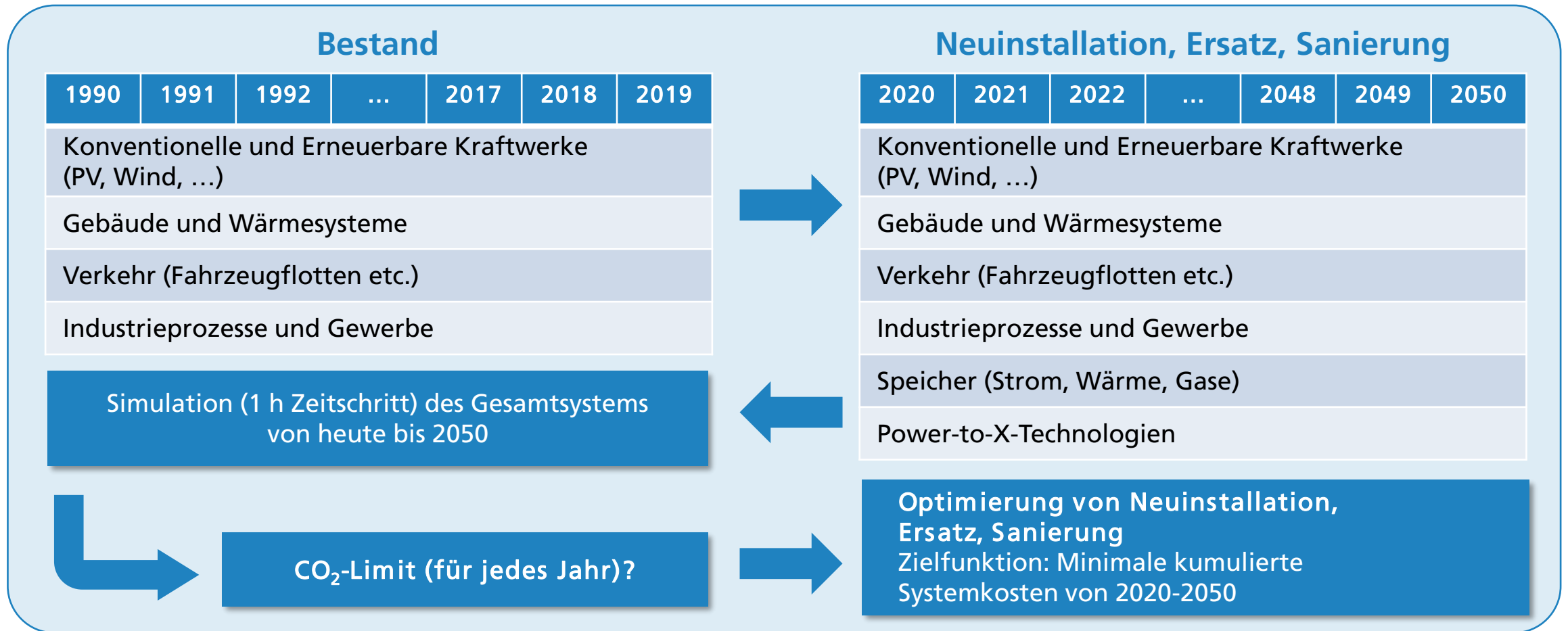
# Einführung in die Energiesystemanalyse



# REMod – Sektorenübergreifendes Energiesystemmodell

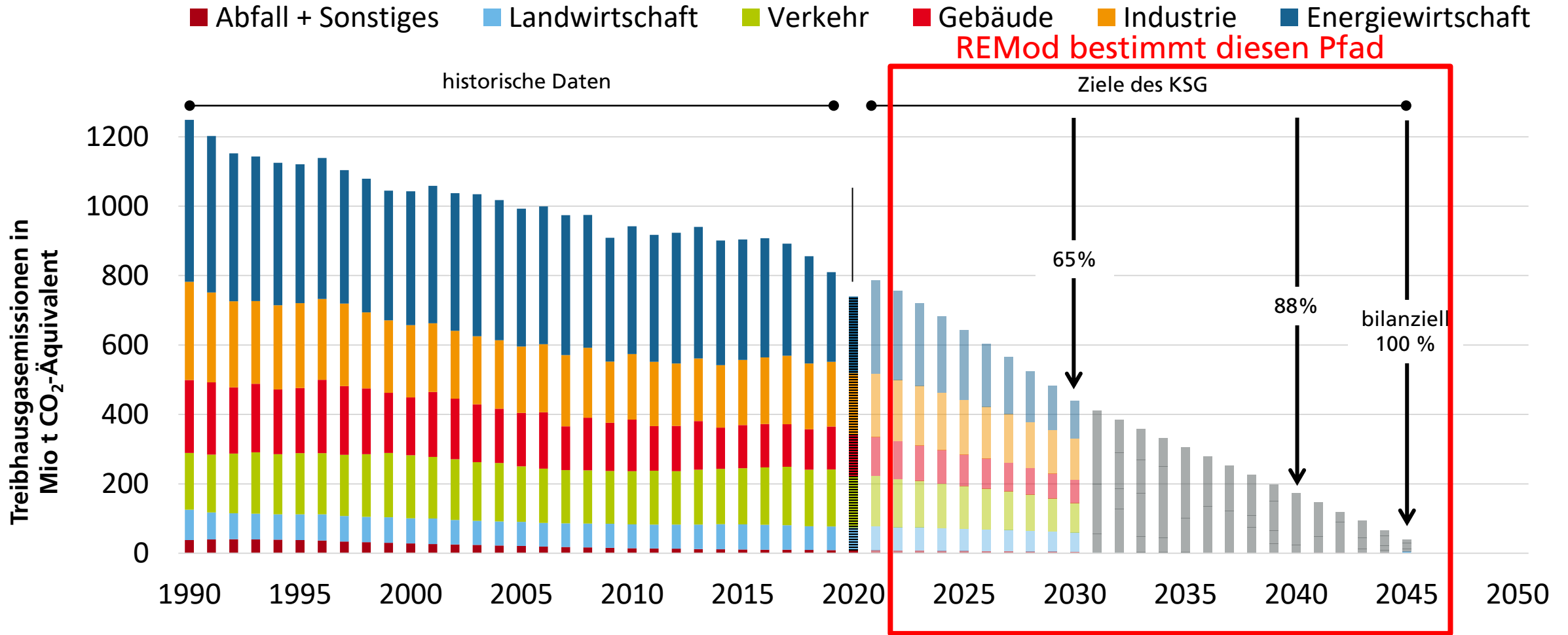


# Systemanalyse – Methodik



# Ausgangslage

## THG-Emissionen Deutschlands – Historie und Ziele nach Klimaschutzgesetz



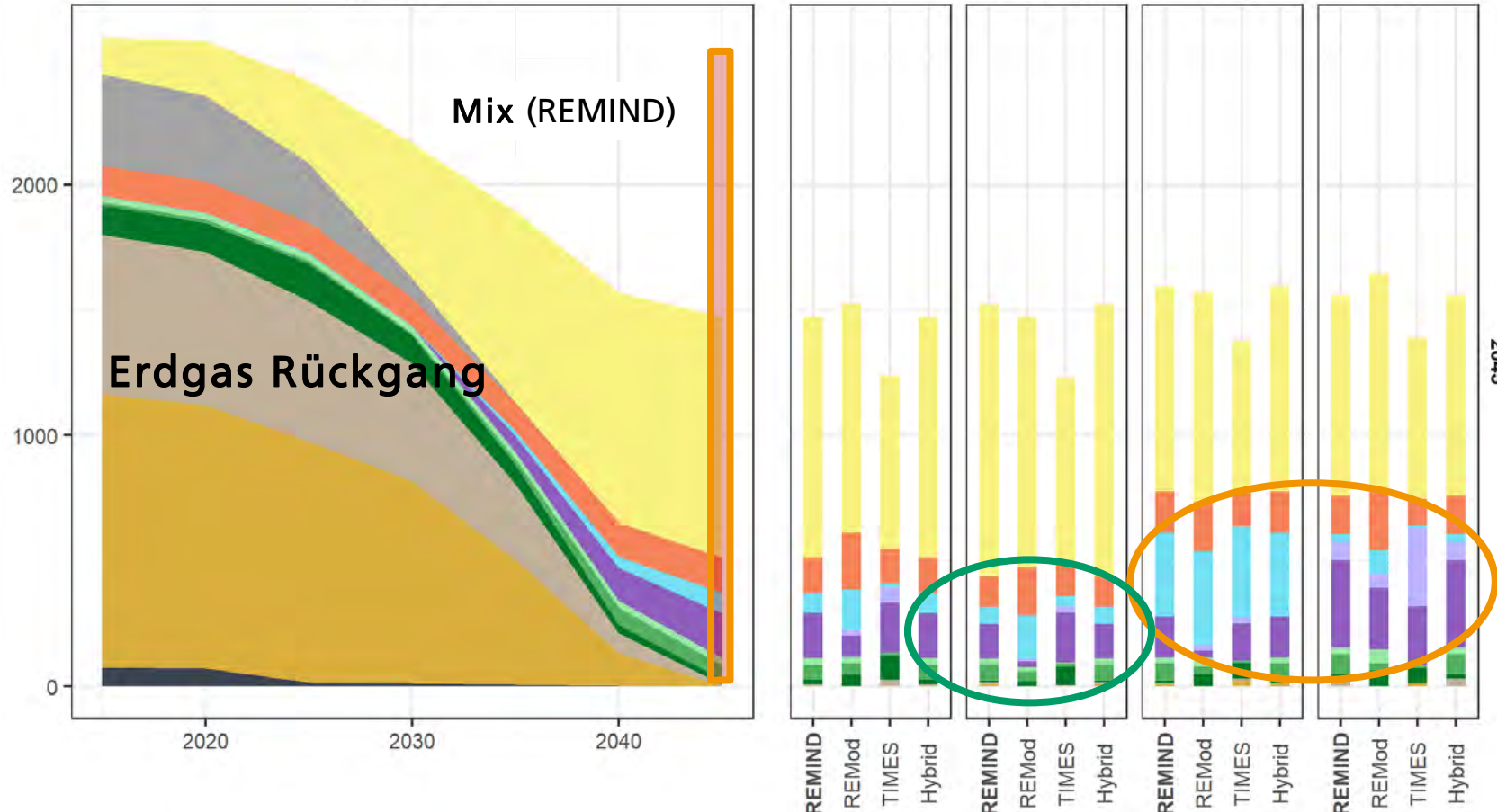
# Vorstellung von Ergebnissen des Ariadne Reports

1. Ergebnisse Gesamtsystem
2. Ergebnisse Industrie



# Modellvergleich: Endenergie

Endenergiebereitstellung [TWh/a]

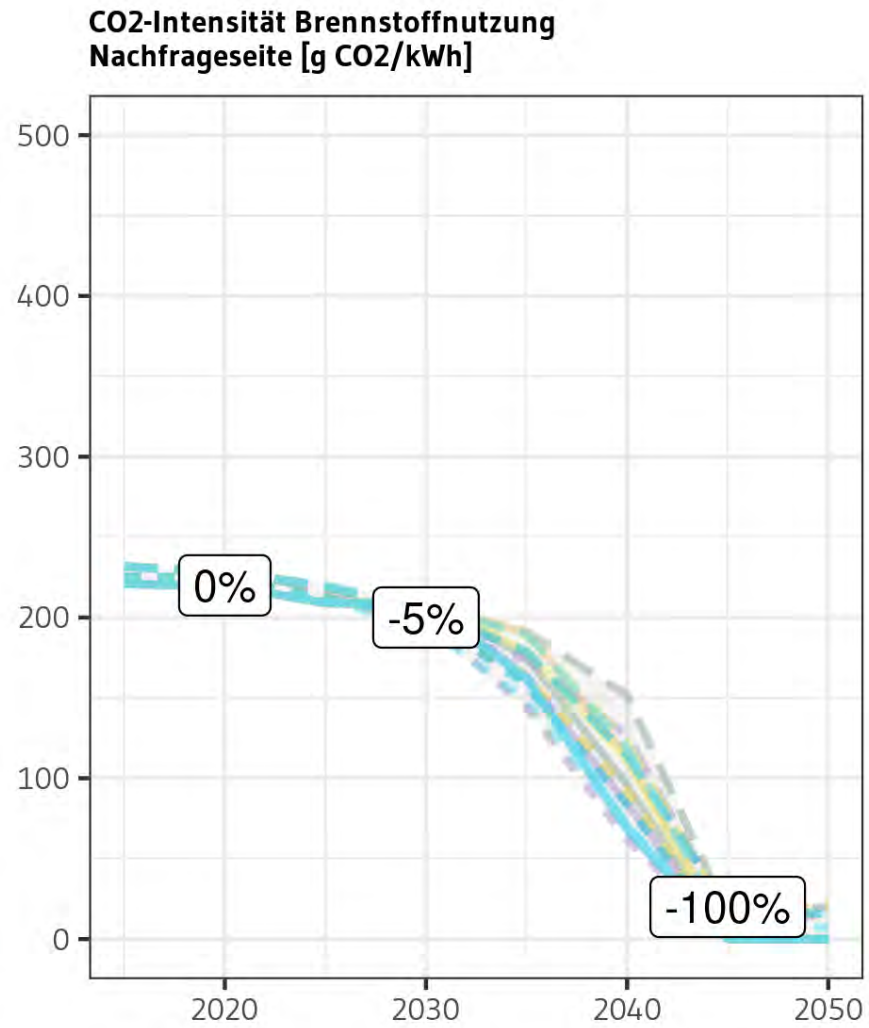
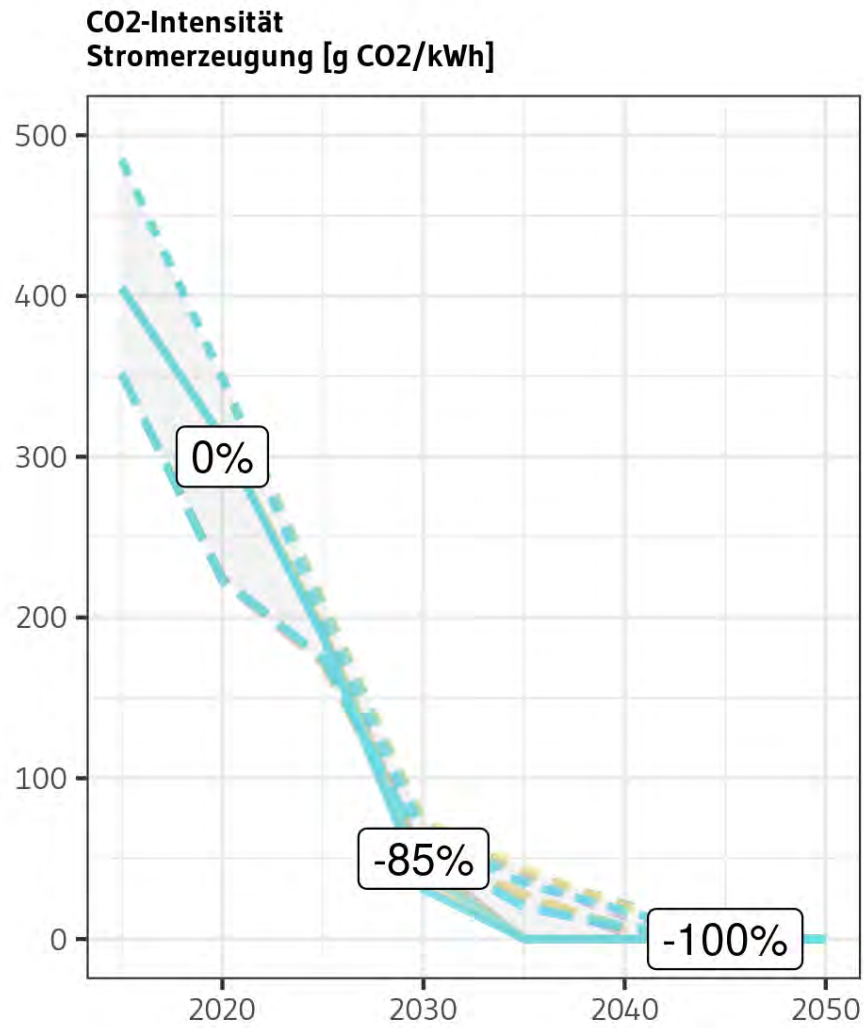


## Zieljahr 2045

- Anteil Fossile an der Endenergie (inkl. stoffliche Nutzung): <3%
- Endenergienachfrage: – 34-59% ggü. 2019
- Anteil Strom an der Endenergie: 40-69%
- Anteil Wasserstoff und E-Fuels: 8-37%



# CO<sub>2</sub>-Intensität Elektrische vs. Nicht-elektrische Energiebereitstellung

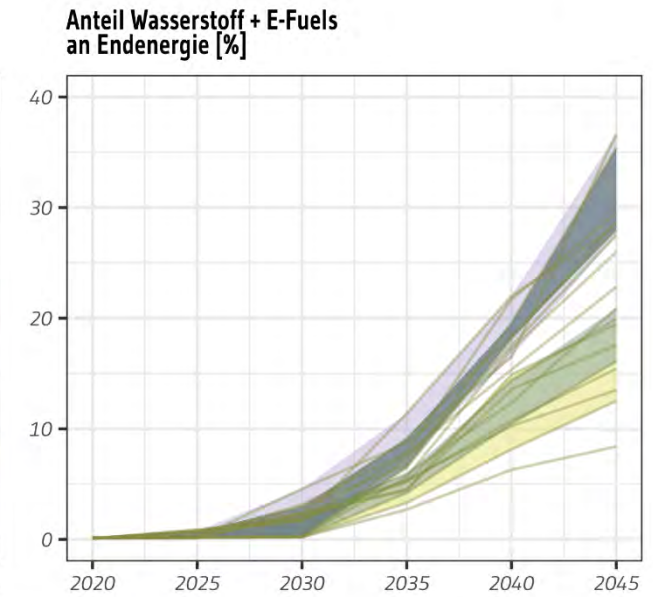
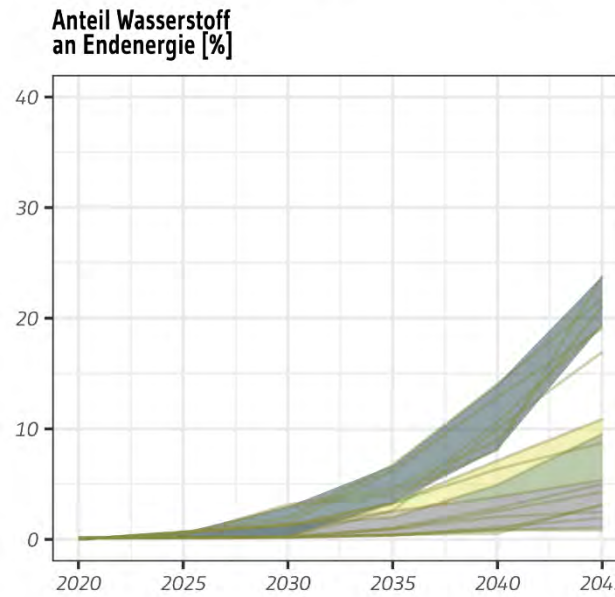
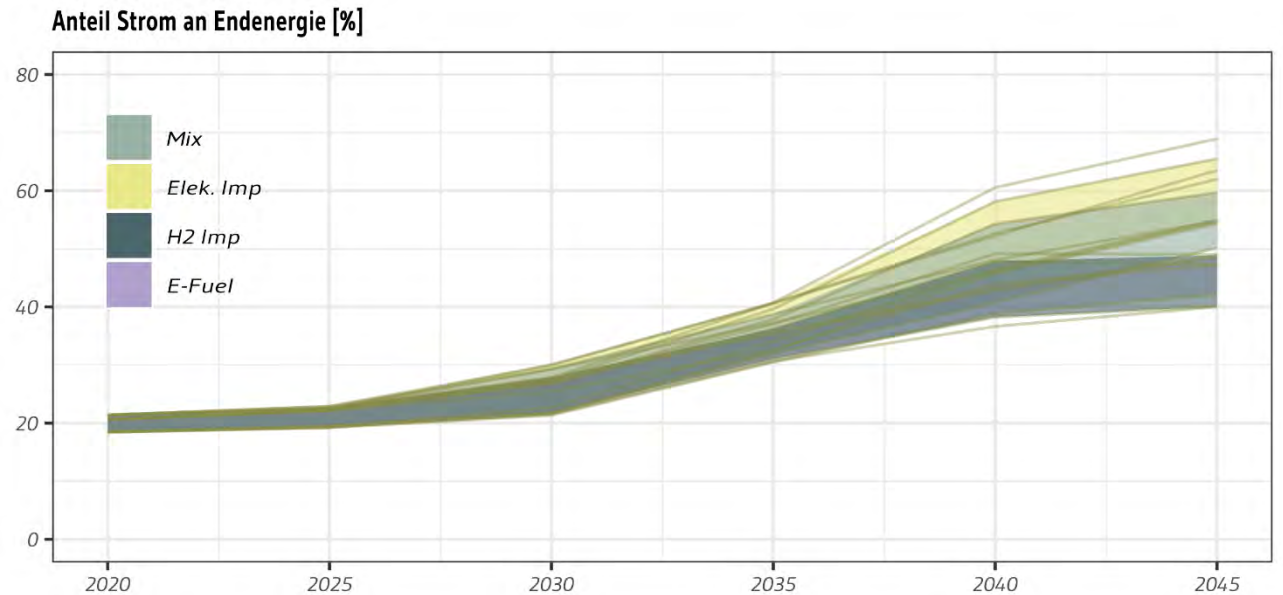


- Technologiemix
- Elektrifizierung (inländisch)
- Elektrifizierung (Import)
- Wasserstoff (inländisch)
- Wasserstoff (Import)
- E-Fuels
- REMIND
- REMod
- TIMES

# Direkte und indirekte Elektrifizierung

## Zieljahr 2045

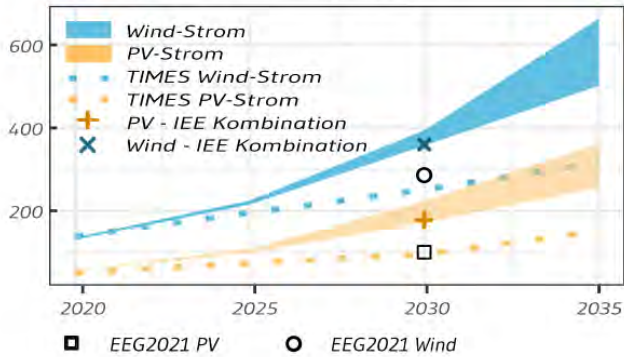
- Anteil Strom: 40-69% der Endenergie
- Anteil Wasserstoff/E-Fuels: 8-37% der Endenergie
- 300-400 TWh H2/E-Fuels auch in Elektrifizierungsszenarien



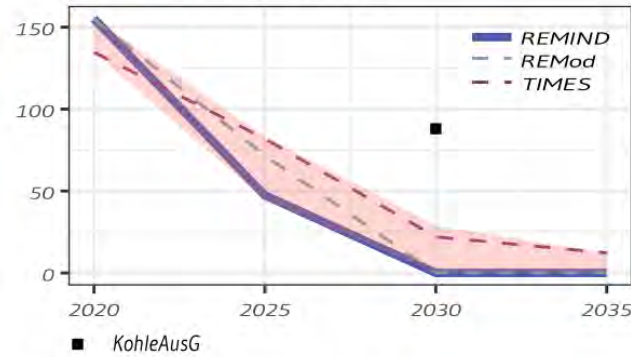


# Transformationsmeilensteine bis 2030

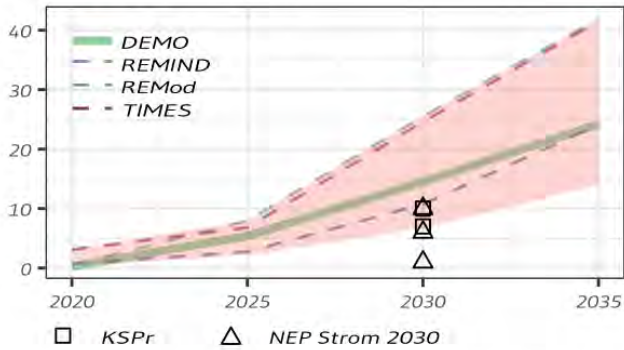
Stromerzeugung Wind + PV [TWh/a]



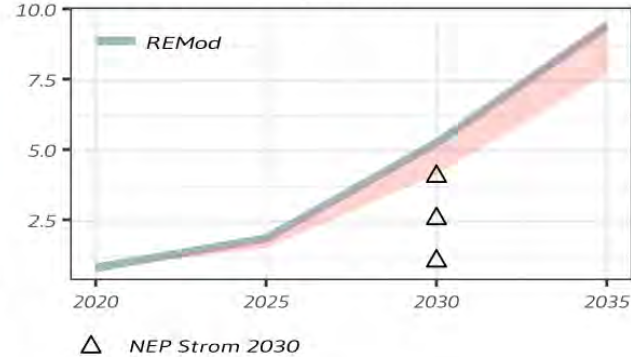
Stromerzeugung Kohle [TWh/a]



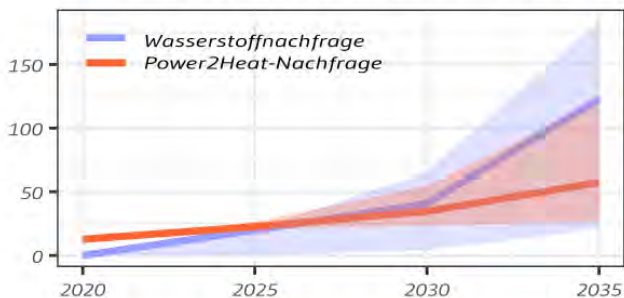
Bestand an E-Pkws [Mio]



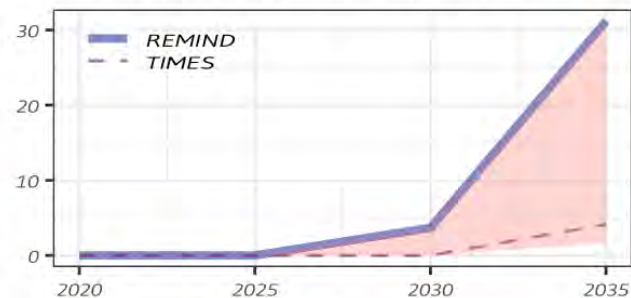
Bestand an Wärmepumpen [Mio]



Wasserstoff- und P2Heat-Nachfrage Industrie [TWh/a]



CO2-Abscheidung und Speicherung [MtCO2/a]



- Stromnachfrage steigt in den meisten Szenarien um 23-34% bis 2030
- Verdreifachung der Stromerzeugung aus Wind + PV
- (Nahezu) vollständiger Ausstieg aus der Kohleverstromung
- Neubeschaffungen und Investitionen in den Nachfragesektoren Verkehr, Industrie, Gebäude an der Kompatibilität der mit Klimaneutralität orientieren
- Ausbau von Infrastrukturen: Stromnetze, Wasserstoffnetze, Ladeinfrastruktur E-Mobilität, CO2-Speicherung



# Vorstellung von Ergebnissen des Ariadne Reports



1. Ergebnisse Gesamtsystem
2. Ergebnisse Industrie

*Ariadne-Report*

Deutschland auf dem Weg  
zur Klimaneutralität 2045  
Szenarien und Pfade im  
Modellvergleich

**KOPERNIKUS**  
Ariadne >>> **PROJEKTE**  
Die Zukunft unserer Energie

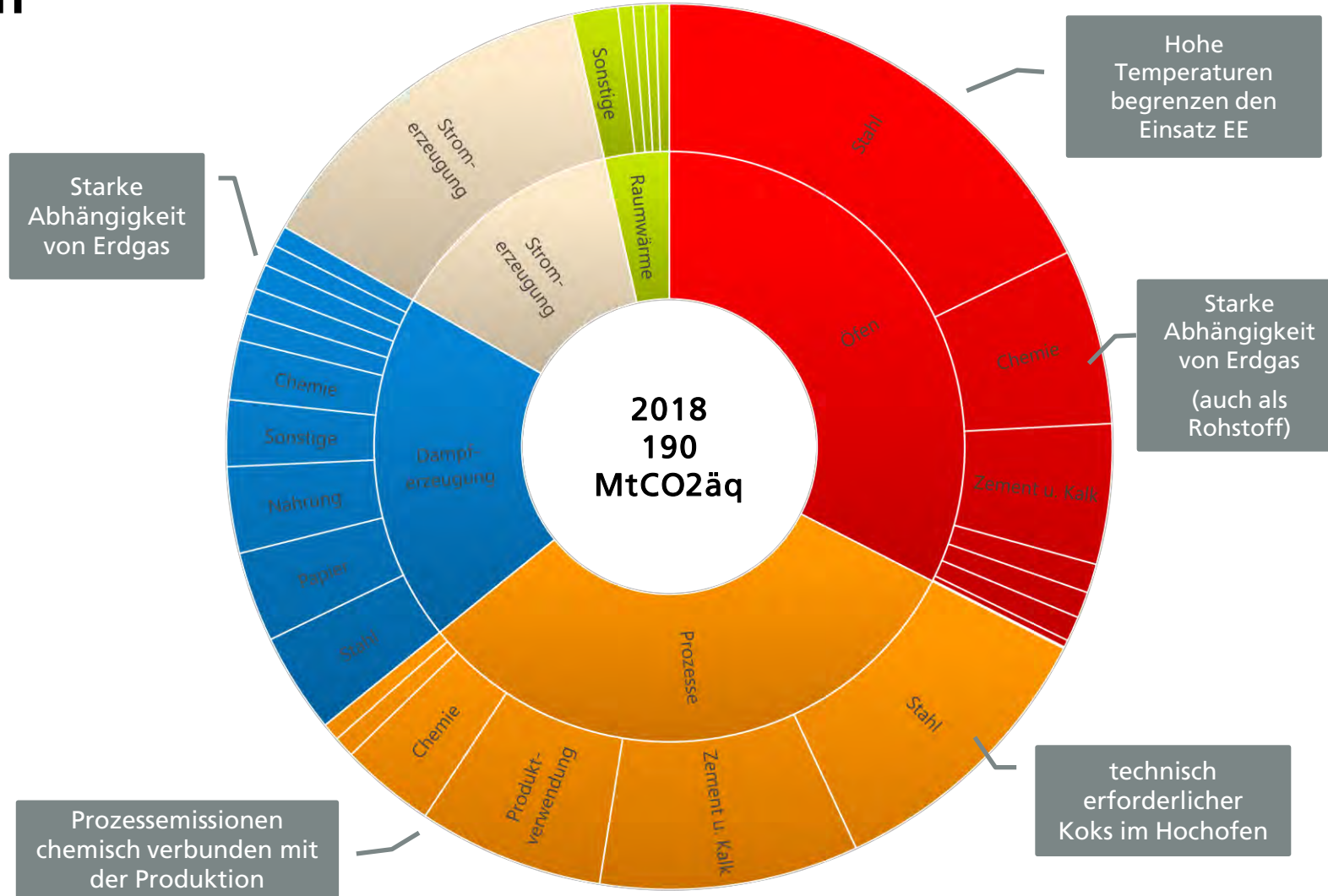
GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

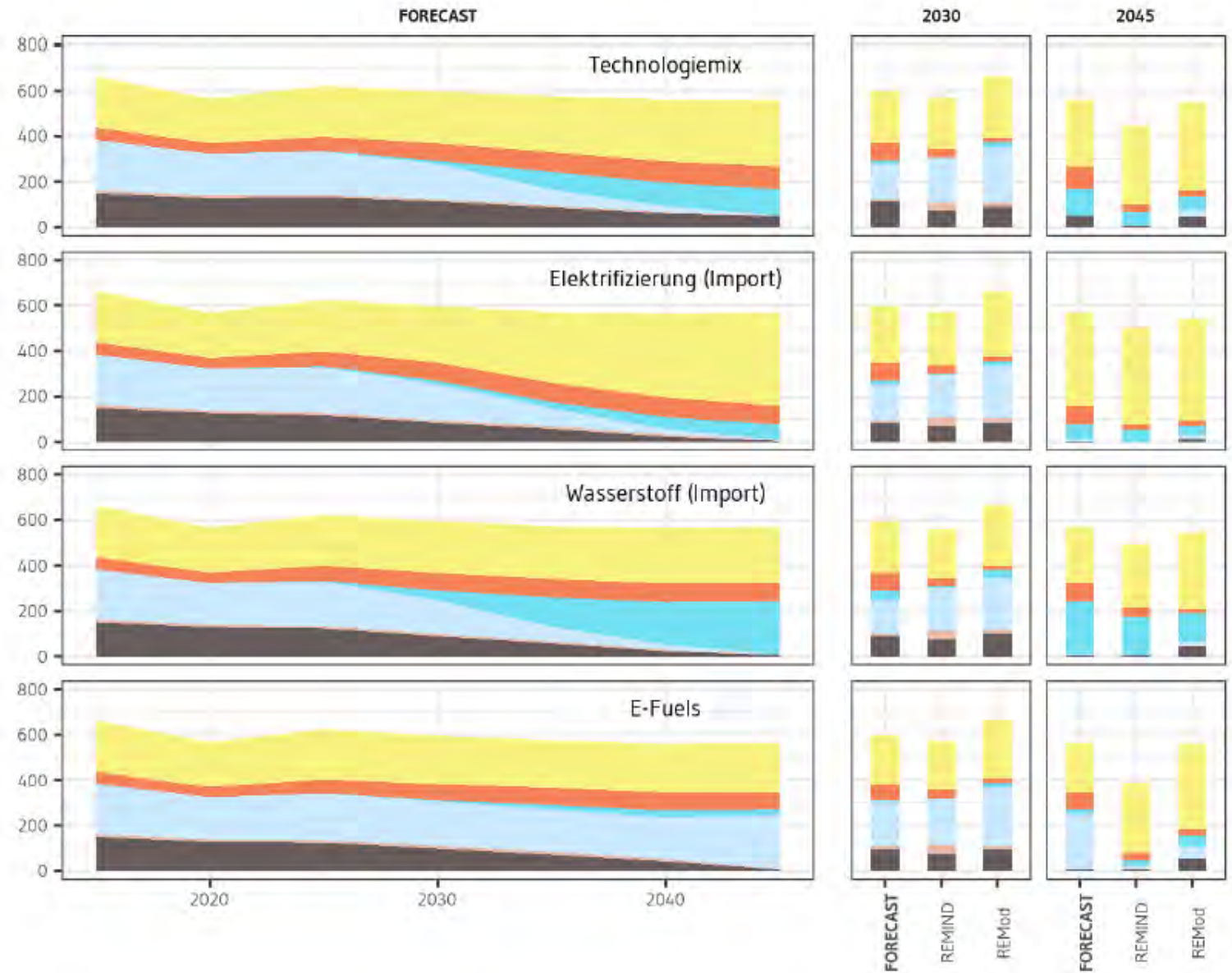
# Klimaneutralität in 2045 erfordert einen tiefgreifenden Wandel in den Grundstoffindustrien

- › **Vielfältige Herausforderungen** über alle Anwendungsbereiche
- › **Neue CO2-neutrale Produktionsverfahren** adressieren wichtige Emissionsquellen (Stahlindustrie, Grundstoffchemie)
- › **Aber auch in anderen Bereichen** muss gehandelt werden



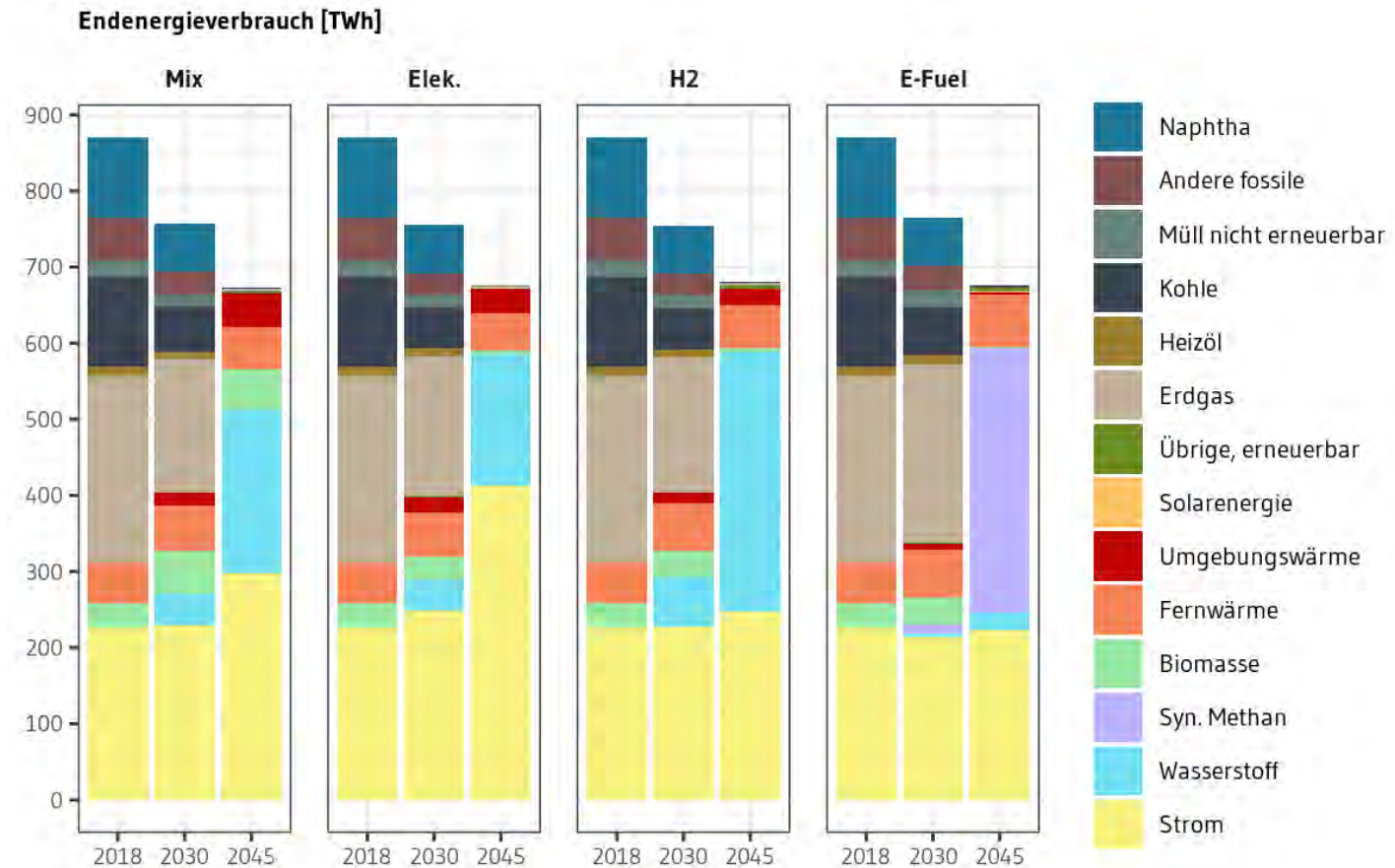
# Entwicklung der Endenergie im Industriesektor

Endenergie im Industriesektor [TWh/a]



# Die INDUSTRIEWENDE benötigt hohe Mengen an CO2-neutralen Energieträgern, aber auch weitere Maßnahmen

- › Zusätzlich zu Energie- u. Materialeffizienz, Kreislaufwirtschaft und CCU/S
- › Neue CO2-neutrale Verfahren:
  - › Stahl, Ammoniak, Methanol/Olefine
  - › ~170 TWh H2-Bedarf in 2045 auf wenige Standorte verteilt
- › Umfassender Einsatz CO2-neutraler Energieträger in der restlichen Prozesswärme (Strom, Wasserstoff, synthetisches Methan)
- › Erzeugung von CO2-neutralem H2 u. PtG außerhalb des Industriesektors ändert das Bild



Industrielle Energienachfrage (energetisch und stofflich) (2018-2045, TWh).

Quelle: Fraunhofer ISI - FORECAST Modell.

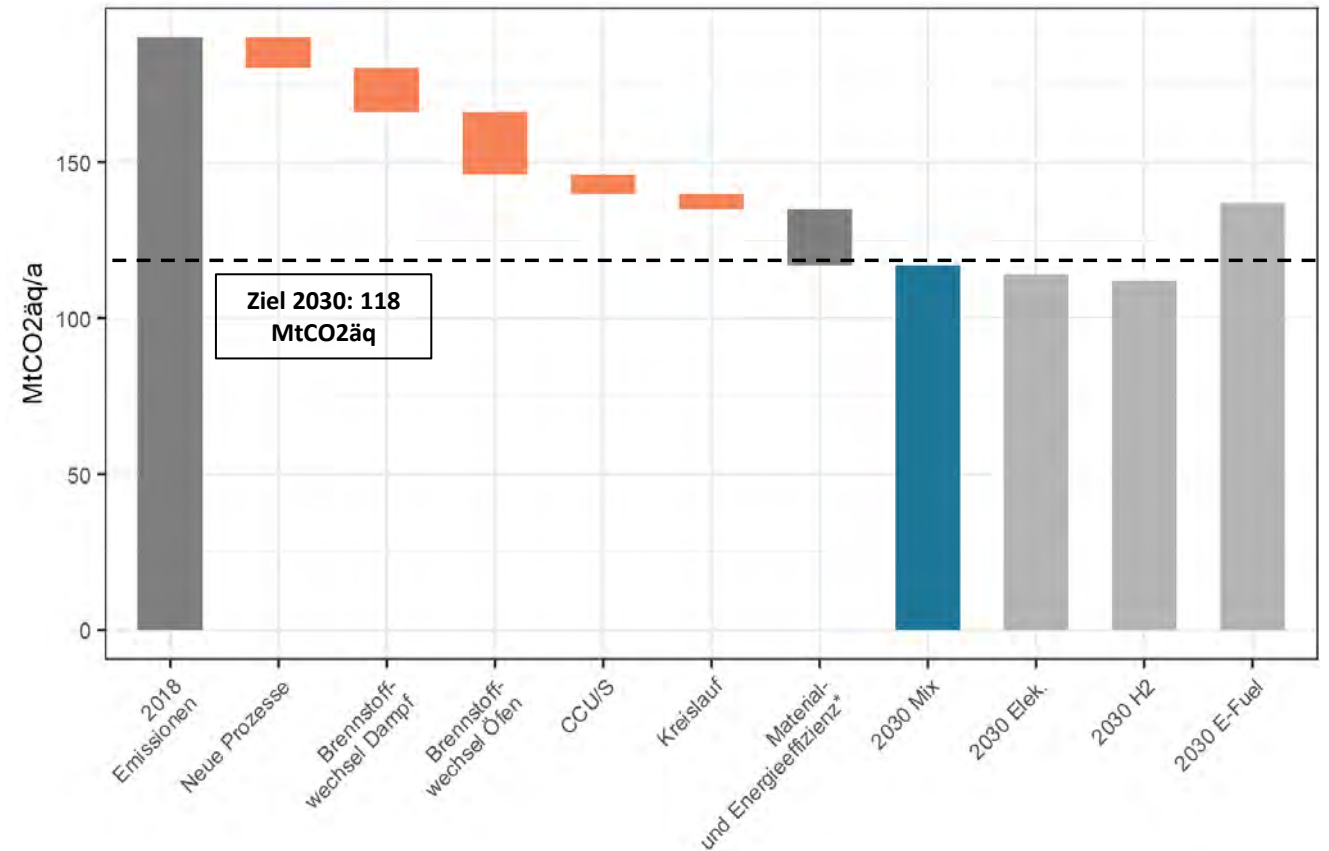


# Wasserstoff und Elektrifizierungsoptionen

Subsektor	Prozess/ Produkt	Konventionelle Technologie	H <sub>2</sub> -Alternative	TRL	Elektrische Alterna- tive	TRL
<b>Rohstoffliche Verwendung</b>						
<b>Grundstoff- chemie</b>	Ammoniak	Dampfrefor- mierung	Synthesegas- bereitstellung aus H <sub>2</sub>	8-9	-	
	Methanol	Dampfrefor- mierung	Synthesegas- bereitstellung aus H <sub>2</sub> und CO <sub>2</sub>	8-9	-	
	Olefine (HVC)	Steam Cracker	Methanol-to Olefins	8-9	Elektr. Cracker	5-6
<b>Raffinerien</b>	Rohölverar- beitung	Dampfrefor- mierung	H <sub>2</sub> aus Elektro- lyse	8-9	-	
<b>Bereitstellung von Prozesswärme</b>						
<b>Metalle</b>	Rohstahl	Hochofen	Eisenerz-Direk- treduktion (H <sub>2</sub> -DRI)	5-7	Elektrolyse	4
	Nicht-Eisen Metalle Gießerei	Erdgas-befeu- erter Ofen (Teilweise be- reits elektris- che Öfen)	H <sub>2</sub> -befeuertes Ofen	4-5	Elektr. Ofen	5-7
	Walzen / Weiterver- arbeitung					
<b>Glas</b>	Behälter- glas	Erdgas-befeu- erte Glas- schmelzwanne	H <sub>2</sub> -befeuerte Glasschmelz- wanne	4-5	Elektr. Glasschmelz- wanne	6-8
	Flachglas					
<b>Zement und Kalk</b>	Zement	Erdgas-befeu- erter Ofen	H <sub>2</sub> -befeuertes Ofen	4-5	Elektr. Ofen	4-5
	Kalk					
<b>Alle</b>	Dampfer- zeugung	Erdgas-betrie- bener Dampf- erzeuger	H <sub>2</sub> -betriebener Dampferzeu- ger	9	Elektr. Dampferzeu- ger (<500°C)	9
					Elektr. Wärmepumpe (<150°)	8

# Für eine erfolgreiche Transformation ist insbesondere der Zeithorizont bis 2030 entscheidend

- › Skalierung und wirtschaftlicher Betrieb CO<sub>2</sub>-neutraler Verfahren von Pilot- u. Demonstrations-Maßstab auf industrielles Niveau
- › Brennstoffwechsel zu CO<sub>2</sub>-armen Energieträgern das wirksamste Handlungsfeld bis 2030
- › Benötigt Um- und Ausbau von Transportinfrastrukturen für H<sub>2</sub> und Strom
- › Energie- u. Materialeffizienz/ Kreislaufwirtschaft werden ambitioniert gesteigert
- › Begleitet durch Erweiterung des regulatorischen Rahmens

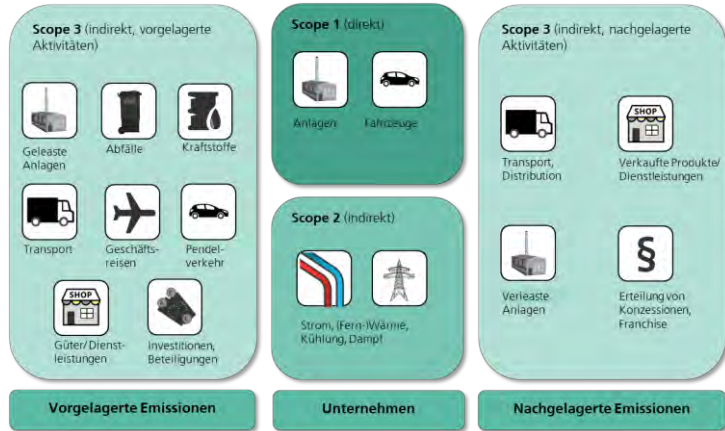


Beitrag einzelner Vermeidungsoptionen zur Emissionsminderung bis zum Jahr 2030 gegenüber 2018 im Szenario Technologiemit. Quelle: Fraunhofer ISI – FORECAST Modell.

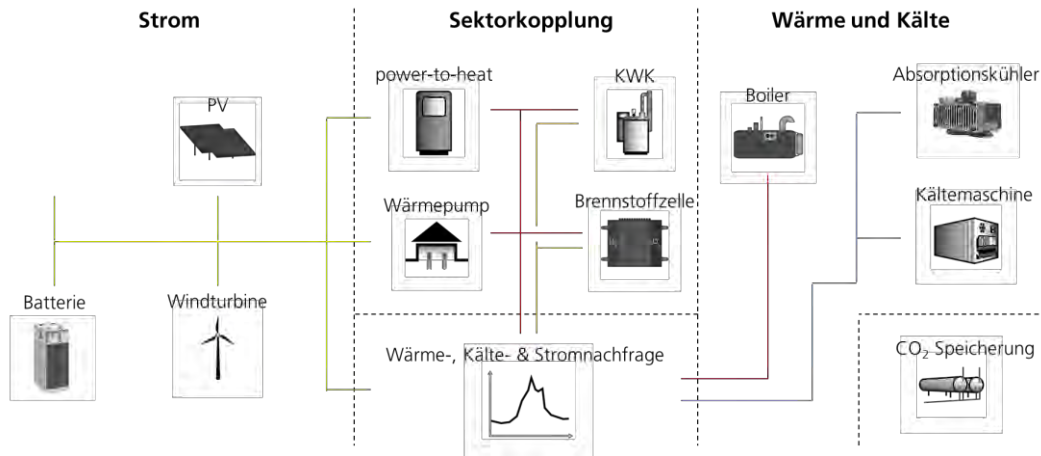
\*als Restgröße geschätzt– Effekt könnte höher liegen, da Effizienzfortschritte das Wirtschaftswachstum im gleichen Zeitraum kompensieren

# Was erarbeiten wir gerade mit Industriekunden?

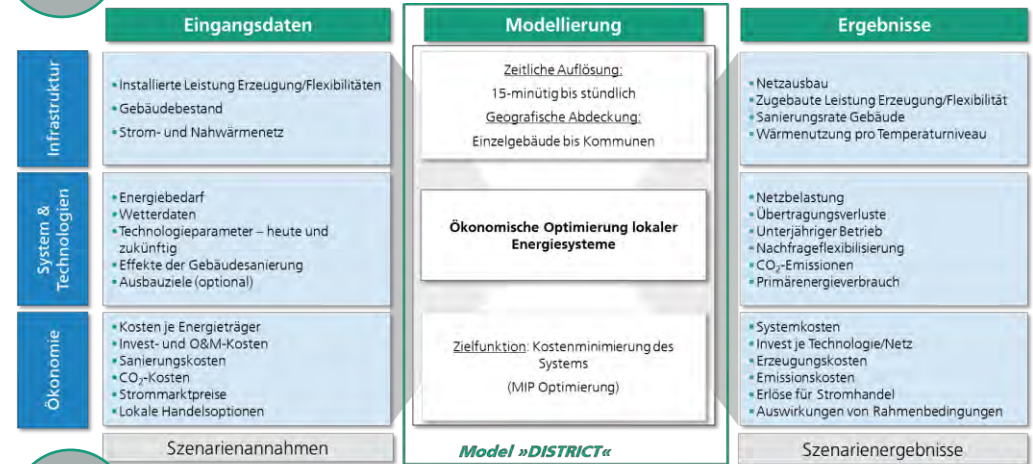
## 1 Emissionen entdecken



## 2 Ist-Zustand aufarbeiten



## 3 System abbilden



## 4 System transformieren

