

CO₂-neutrale Prozesswärmeerzeugung in heterogenen Anwendungen

–

Ein Diffusionsmodell mit hoher Auflösung

Matthias Rehfeldt, Lisa Neusel, Marius Neuwirth

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI

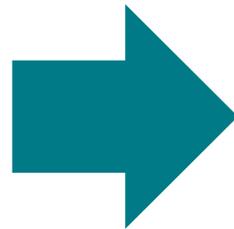
Ansätze zum Verständnis von Dekarbonisierungsoptionen der Industrie

Nationale Ebene

- Modellierung von Sektoren
- Kalibrierung auf Energiebilanzen
- Nutzung aggregierter Daten
- Oft Fokus auf emissionsintensive Prozesse (Stahl, Chemie, Zement)

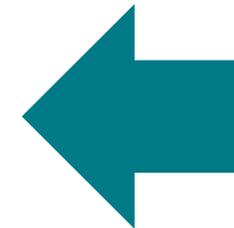


https://de.wikipedia.org/wiki/Mitgliedstaaten_der_Europ%C3%A4ischen_Union (bearbeitet)



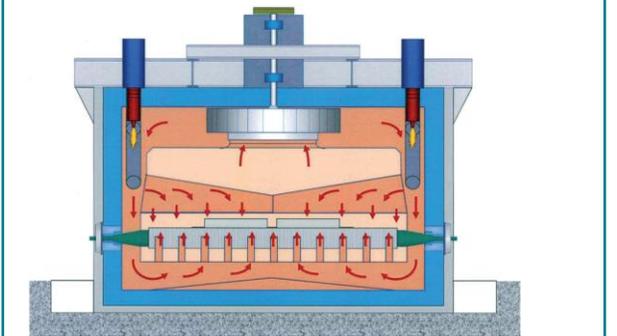
Anwendungsebene

- Untersuchung von Gruppen mit ähnlichen Eigenschaften
- Definition von repräsentativen Anlagen
- Abbildung breiter Bereiche
- Anknüpfung an gesamtwirtschaftliche Rahmendaten
- Berücksichtigung individueller Eigenschaften
- Handlungsoptionen für die Dekarbonisierung



Standortebene

- Untersuchung von Einzelanlagen oder Systemen
- Messdaten oder typisierte Datensätze
- Oft unklare Übertragbarkeit/Verallgemeinerung



(Pfeifer et al. 2011a)

AGENDA

1. Einordnung / Motivation
2. Methodik
 1. Terminologie
 2. Modellaufbau
 3. Maßnahmenpaket
3. Ergebnisse
 1. Kostenstrukturen
 2. Marktdiffusion
4. Schlussfolgerung

Motivation

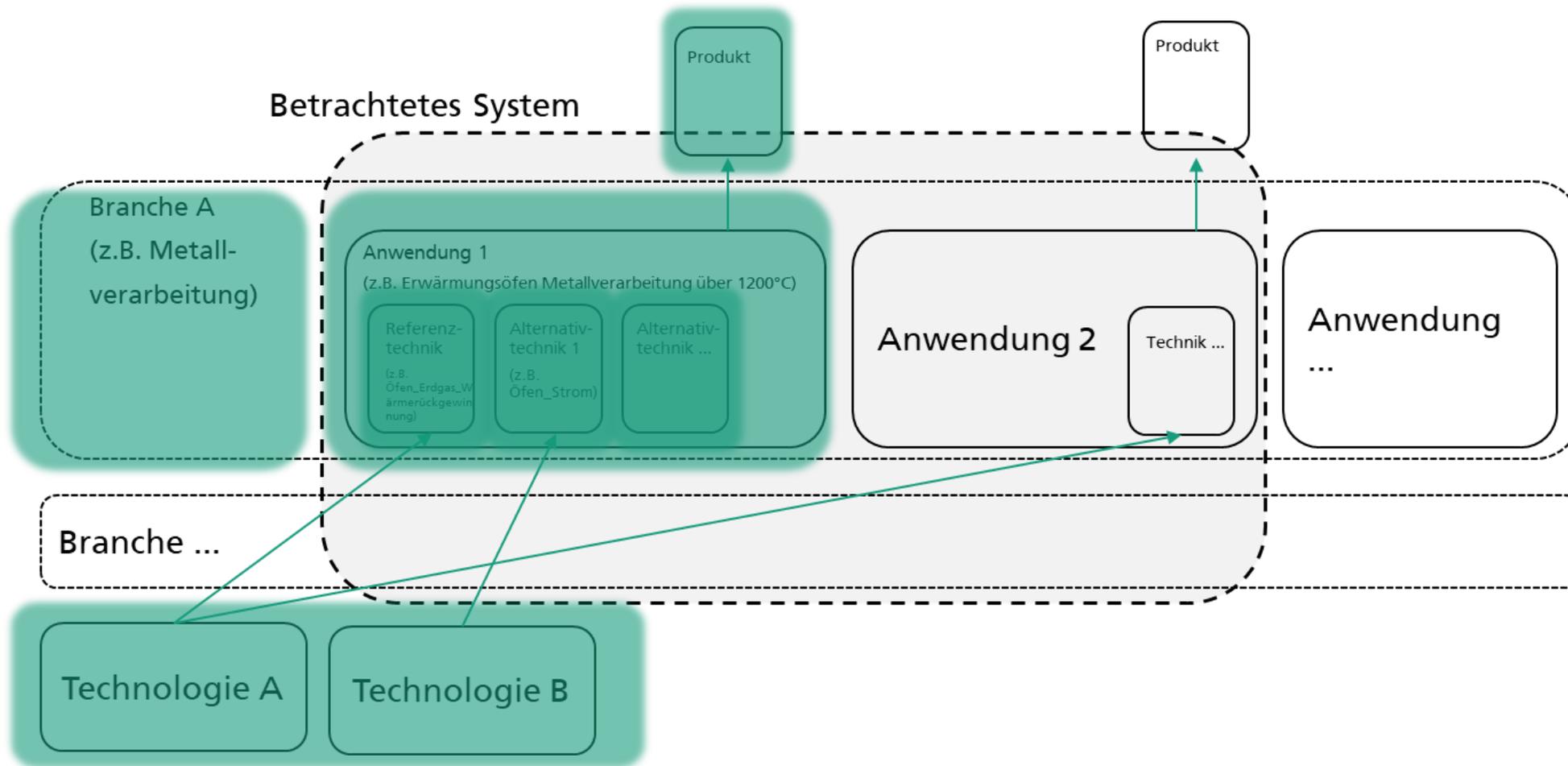
- Energieintensive Prozesse sind wichtiges Handlungsfeld
 - Basis ganzer Wertschöpfungsketten
 - Hohe Wirkung
 - Technische und wirtschaftliche Herausforderungen
- Fokus vieler Untersuchungen
- Aber: weitere Handlungsfelder existieren und verbrauchen relevante Mengen fossiler Energie

Subsektor	Produkt	Brennstoffbedarf [GJ/t]	Produktionsmenge 2020 [Mt]			Brennstoffbedarf 2020 [TWh]		
			EU27	DE	AT	EU27	DE	AT
Chemie	Ammoniak	11,3	13,5	2,4	0,4	42,2	7,4	1,2
	Olefine	35,9	18,7	4,5	0,5	186,4	44,8	4,7
	Methanol	10,0	1,4	1,0	0,0	3,8	2,7	0,0
Eisen/Stahl	Rohstahl	11,6	84,7	26,9	5,7	273,7	87,1	18,3
	Koks	3,2	33,9	8,5	1,2	30,1	7,5	1,1
	Sinter	2,2	99,9	24,1	3,4	62,2	15,0	2,1
NM-	Zementklinker	3,5	123,9	25,2	3,3	120,4	24,5	3,3
Mineralien	Kalk	3,7	38,3	7,1	0,9	39,4	7,3	0,9
Summe Prozesse						758,3	196,3	31,6
Prozesswärmebedarf gesamt						1734,2	412,4	56,4
Anteil ausgewählter Prozesse an Gesamtbedarf						44%	48%	56%

Fraunhofer ISI/Eurostat Energiebilanzen

Methodik

Terminologie



Ausgewählte Anwendungen

Modell

Milchpulverherstellung
Papiertrocknung
Papiertrocknung (inkl. Biomasse)
Chemiepark-Dampfversorgung
Kontinuierliches Erwärmen Flach-/Langstahl
Kontinuierliche Wärmebehandlung Flachstahl
Diskontinuierliche Wärmebehandlung Flachstahl
Kontinuierliches Schmelzen Gusseisen (hohe Kapazität)
Kontinuierliches Schmelzen Gusseisen (mittlere Kapazität)
Kontinuierliches Schmelzen Gusseisen (geringe Kapazität)
Kontinuierliches Schmelzen Aluminium Formguss
Diskontinuierliches Schmelzen/Warmhalten Halbzeugguss Aluminium
Kontinuierliches Homogenisieren/Erwärmen Alu Band/Profile
Diskontinuierliches Homogenisieren/Erwärmen Alu Band/Profile
Kontinuierliche Wärmebehandlung Alu Band
Kontinuierliches Schmelzen Kupfer Gießwalzdraht
Kontinuierliches Erwärmen Kupfer-Halbzeug für Warmumformung (geringe Kapazität)
Kontinuierliches Erwärmen Kupfer-Halbzeug für Warmumformung (hohe Kapazität)
Diskontinuierliche Wärmebehandlung Kupfer-Halbzeug (geringe Kapazität)
Diskontinuierliche Wärmebehandlung Kupfer-Halbzeug (hohe Kapazität)
Kontinuierliche Erwärmung Schmiedebauteile
Diskontinuierliche Erwärmung Schmiedebauteile
Kontinuierliche Erwärmung Stahlblechzuschnitte
Kontinuierliches Aufkohlen und Austenitisieren (Lohnhärtereien)
Kontinuierliches Aufkohlen und Austenitisieren (Betriebshärtereien)
Diskontinuierliches Aufkohlen und Austenitisieren
Kontinuierliches Schmelzen Behälterglas
Kontinuierliches Schmelzen Flachglas
Kontinuierliches Brennen Kalk mit niedriger Reaktivität
Kontinuierliches Brennen Kalk mit mittlerer/hoher Reaktivität
Kontinuierliches Brennen Kalk mit hohem Durchsatz
Kontinuierliches Brennen Zementklinker
Kontinuierliches Brennen Ziegel
Kontinuierliches Brennen Feuerfeststeine
Diskontinuierliches Brennen Feuerfeststeine

Beitrag IEWT

Milchpulverherstellung
Papiertrocknung
Papiertrocknung (inkl. Biomasse)
Chemiepark-Dampfversorgung

Präsentation

Chemiepark-Dampfversorgung



Einfluss ausgewählter
Politikmaßnahmen

Maßnahmenstufen

Modellparameter	Referenz	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Reduktion Investition (jährlich)	Mittel 0,01->0,01	Mittel 0.01->0.01	Mittel 0.01->0.01	Mittel 0.01->0.01
Zinssatz	Mittel_0,05->0,05	Mittel_0.05->0.05	Mittel_0.05->0.05	Mittel_0.05->0.05
Energieeffizienzfortschritt (jährlich)	Mittel_0,005->0,005	Mittel_0.005->0.005	Mittel_0.005->0.005	Mittel_0.005->0.005
Preisfaktor Eigenversorgung Strom	80 %	80%	80%	80%
Kompensation von Strompreiskomponenten	Mittelwert Eurostat	Mittelwert Eurostat	EEG+Stromsteuer+Netzentgelt+Weitere	EEG+Stromsteuer+Netzentgelt+Weitere
Preiskomponenten Erdgas	Spitzenausgleich (2,068EUR/MWh)	Spitzenausgleich (2,068EUR/MWh)	Regulärer Satz (5.5EUR/MWh)	Regulärer Satz (5.5EUR/MWh)
Effektive CO₂-Preisüberwälzung Strom	100 %	100%	0%	0%
CO₂-Preise (EUR/tCO₂)	Mittel_55->150	Hoch_55->300	Hoch_55->300	Hoch_55->300
Preisvoraussicht	Keine 0->0 Jahre	Keine 0->0 Jahre	Keine 0->0 Jahre	Gering 5->5 Jahre
Energieträgerpreisentwicklung nach 2050	Trend 2030-2050	Trend 2030-2050	Trend 2030-2050	Trend 2030-2050
CO ₂ -Preisentwicklung nach 2050	Trend 2030-2050	Trend 2030-2050	Trend 2030-2050	Trend 2030-2050
Altersverteilung im Startjahr	Gleichverteilung	Gleichverteilung	Gleichverteilung	Gleichverteilung
Ausfallrate	Bestandserhaltend	Bestandserhaltend	Bestandserhaltend	Bestandserneuerung
Markthomogenität	Mittel	Mittel	Mittel	Hoch
Anteil Modernisierung	50 %	50%	50%	50%
Ersatzrate Gesamtkapazität	Kapazitätserhaltung	Kapazitätserhaltung	Kapazitätserhaltung	Kapazitätserhaltung



■ Eskalation der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen

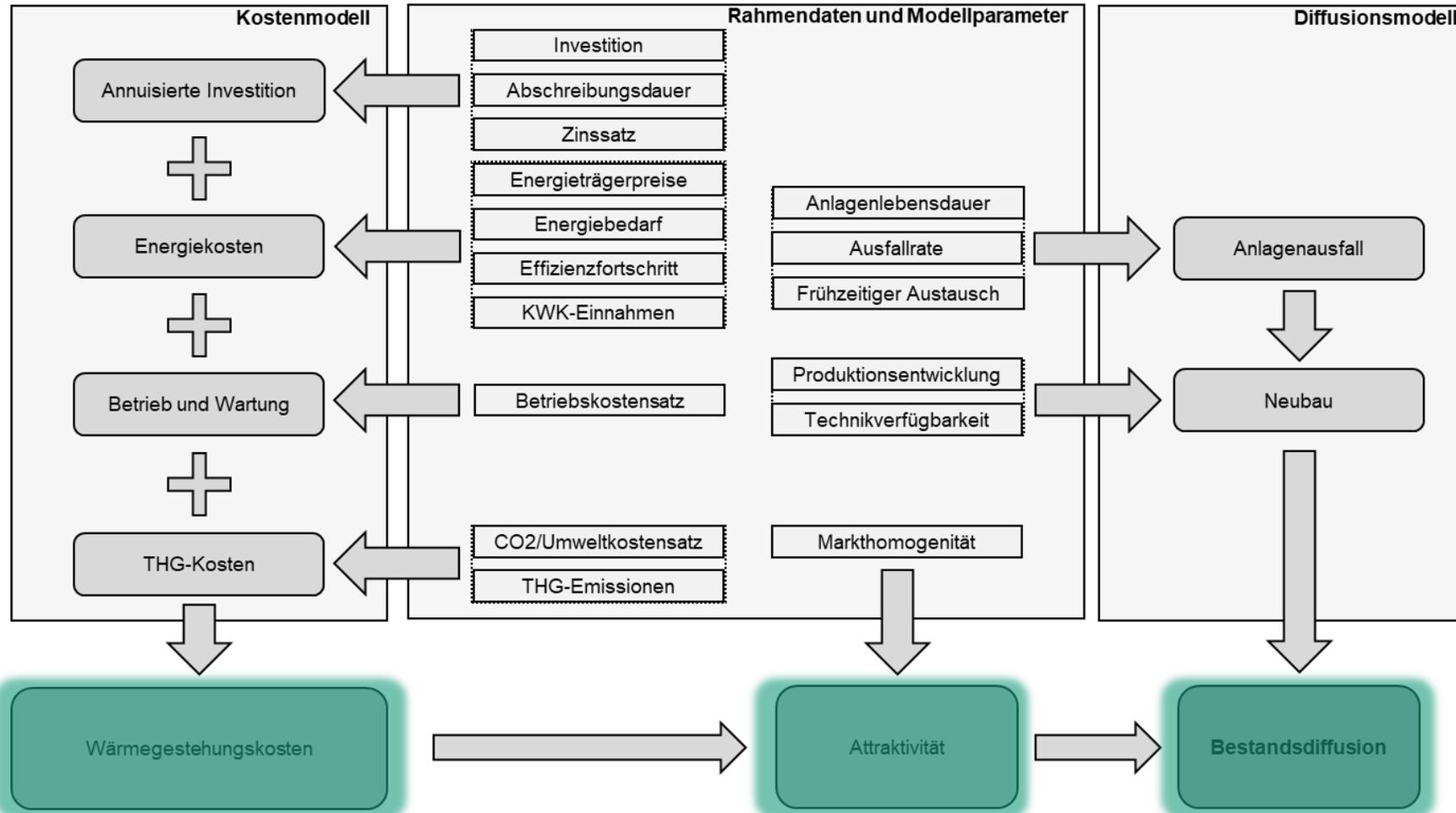
- CO₂-Preis
- Strompreis
- Subventionsabbau

■ Änderung von Investitionsverhalten

- Schnellerer Anlagenaustausch
- Rationalere Entscheidung
- Preisvoraussicht

Stufe 4
Neubauverbote
Betriebsverbote

Modellaufbau



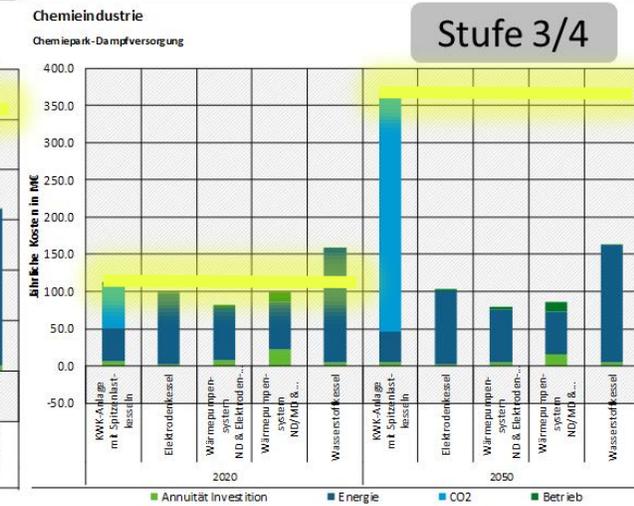
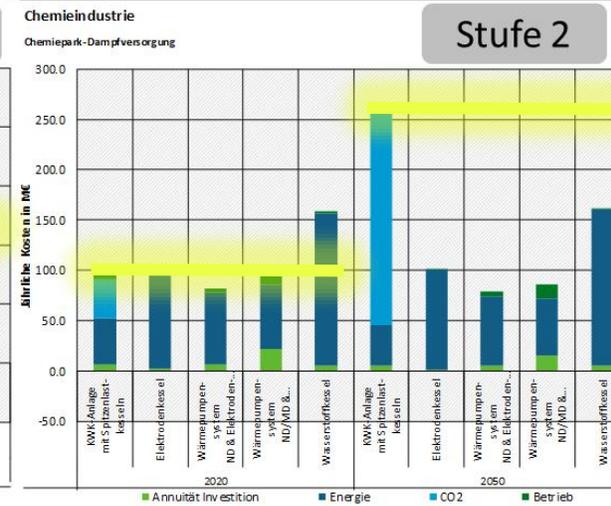
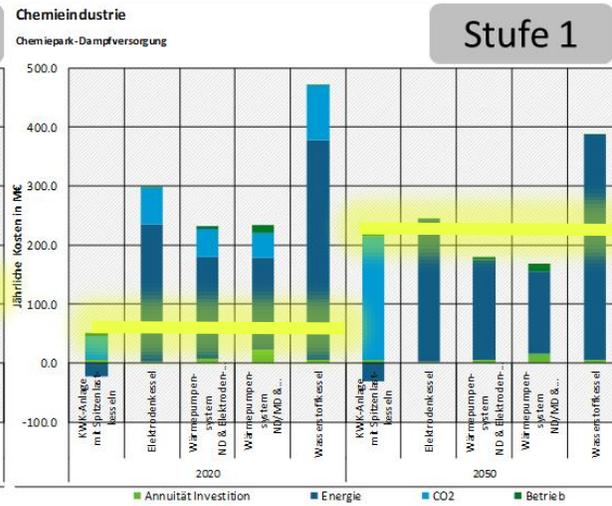
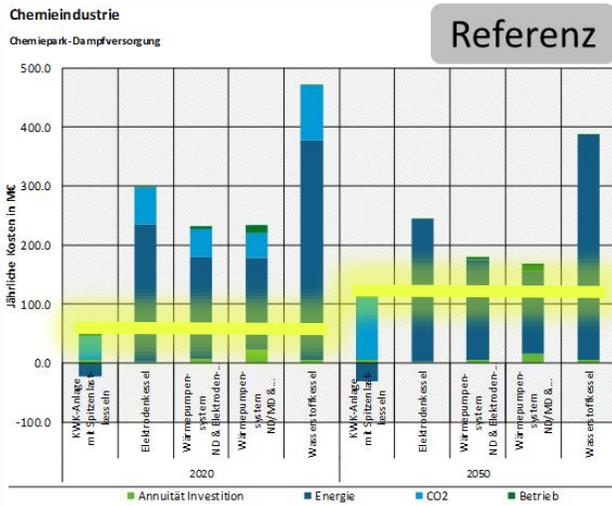
- 3-stufiges Modell
 - Wärmegestehungskosten
 - Technikattraktivität
 - Diffusion
- Jeweils eigene Modellteile



Ergebnisse spiegeln diese Struktur

Ergebnisse

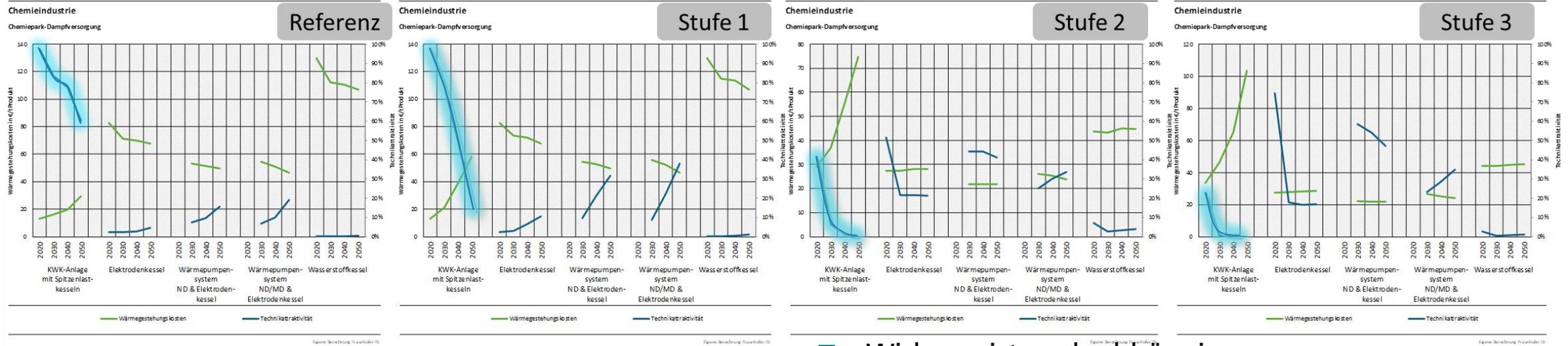
Entwicklung der Wärmegestehungskosten



- Wärmegestehungskosten nach Komponenten zeigen Handlungsfelder
 - Gas-KWK ist billig (Eigenerzeugung Strom)
 - Energiekosten der Alternativen sind hoch
 - Investition, O&M spielen kaum eine Rolle
 - Auch 2050 ist KWK die attraktivste Technik

- Maßnahmen schließen die Lücke
 - CO2-Preis verteuert Fossile
 - Strompreissenkung vergünstigt Alternativen UND reduziert den Eigenerzeugungsnutzen der KWK
- Herausforderung: Preissignale früh genug setzen

Entwicklung der Technikattraktivität

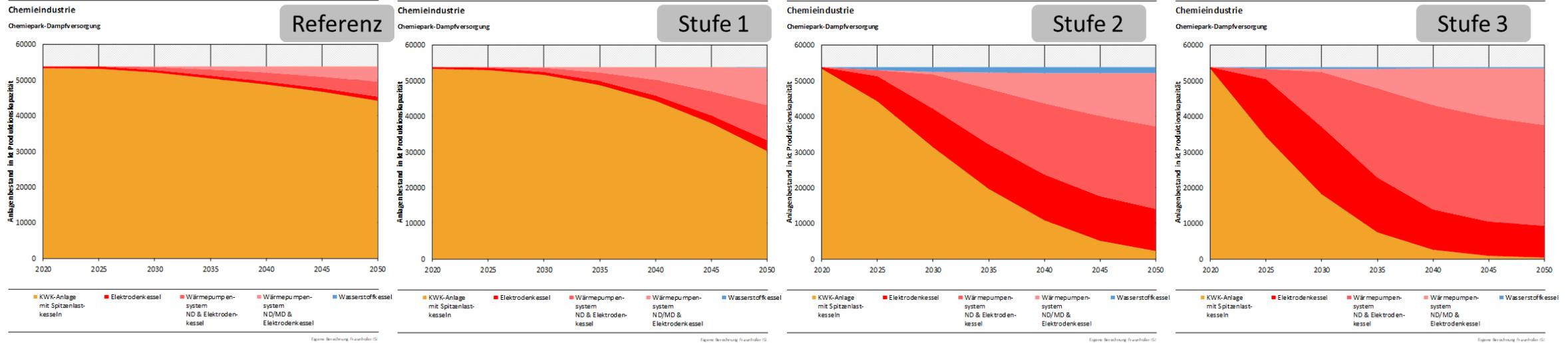


- Technikattraktivität
 - Basiert auf Wärmegestehungskosten
 - Konkurrenzsituation von Techniken
- Zwei Ziele
 - Fossile sind unattraktiv
 - Sie sind es früh genug, um auch im Bestand bis 2045 keine Rolle zu spielen

- Wirkung ist auch abhängig von Modernisierungszyklus
 - hier: 20 Jahre
 - 2030 gebaute Anlagen sind 2045 noch überwiegend in Betrieb
- Auswirkung auf Bestand?

Stufe 4
Neubauverbote
Betriebsverbote

Entwicklung der Diffusion

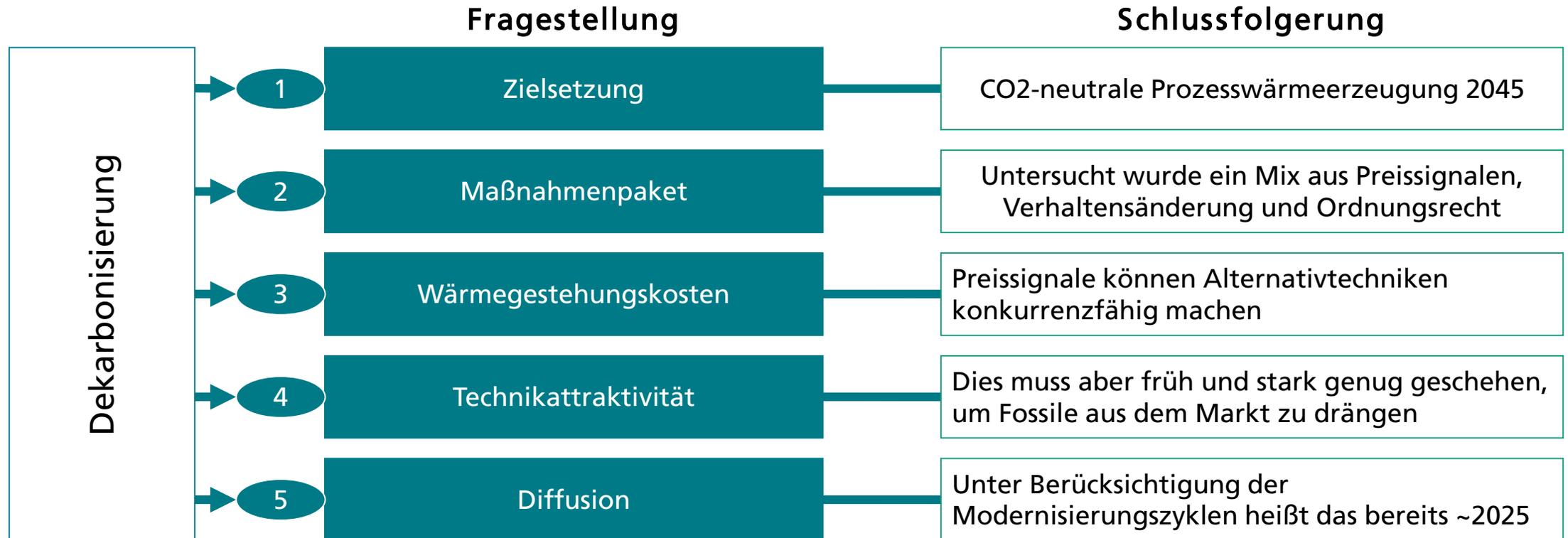


- Diffusion entsteht durch Ersatz von alten Anlagen mit dem jeweils attraktiven Technikmix
 - Referenz: Alternativtechniken werden spät konkurrenzfähig
 - Stufe 1: Alternativtechniken verdrängen Fossile zu spät

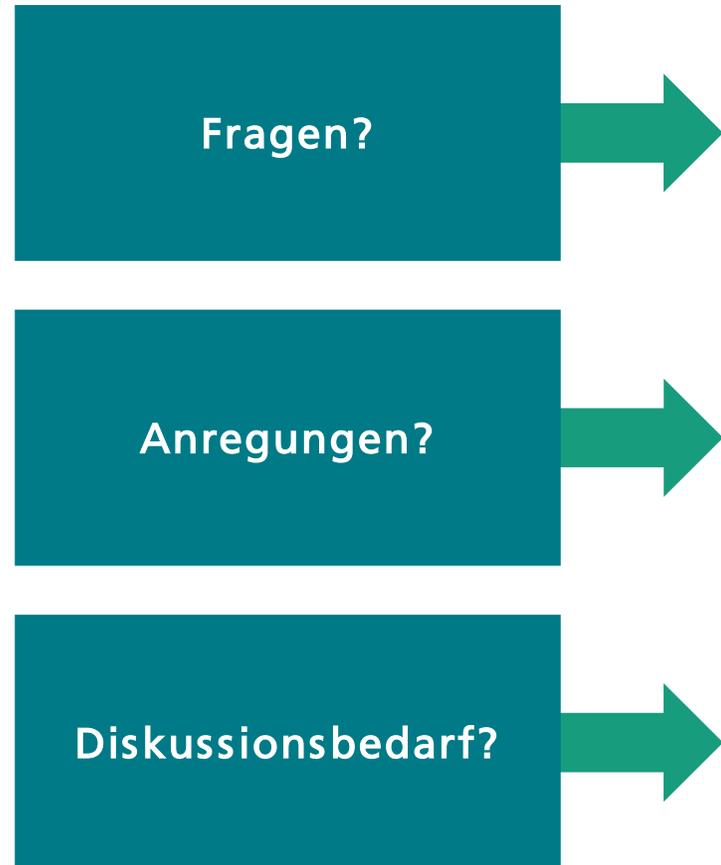
- Erfolgreiche Maßnahmen setzen früh an
 - Stufe 2: Frühe Reduktion des Strompreises sorgt für schnelle Diffusion
- Ergänzend: Schnellerer Austausch von verbleibenden Fossilen
 - Stufe 3: Bestandsträgheit wird durch Austauschratenerhöhung adressiert

Stufe 4
Neubauverbote
Betriebsverbote

Schlussfolgerung



Kontaktieren Sie mich bei Fragen, Anregungen oder Diskussionsbedarf



Kontakt



FORECAST | **eLOAD**
FORecasting Energy Consumption Analysis and Simulation Tool | energy LOad curve ADjustment tool

<http://www.forecast-model.eu/forecast-en/index.php>

Name:	Matthias Rehfeldt
Abteilung:	CCE, Geschäftsfeld Nachfrageanalysen und -projektionen
Telefon:	+49 721 6809-412
E-Mail:	matthias.rehfeldt@isi.fraunhofer.de