

Trends der Forschung zu Energieeffizienz in der chemischen Industrie

22.11.2021 / Perspektiven für eine energieeffiziente und CO₂-arme Chemieproduktion

Jörg Sauer, Philipp Haltenort



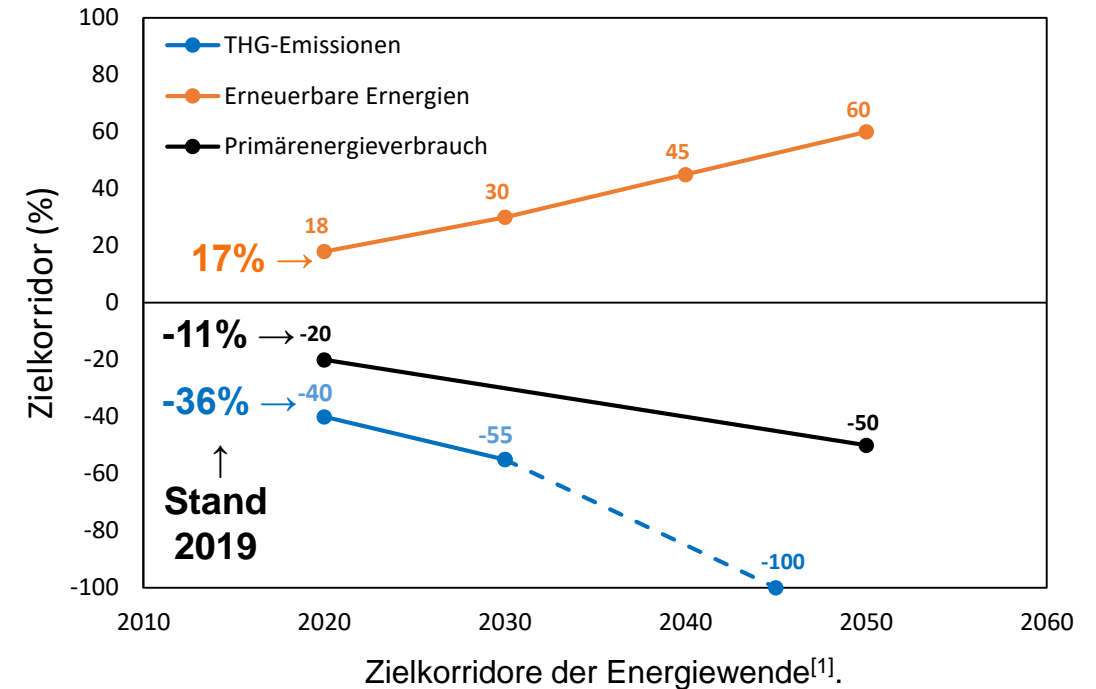
Agenda

- Einführung
- Trends der chemischen Industrie
- Effizienztechnologien
- Ausblick

Einführung – Zielkorridore der Energiewende

- Zielkorridore der Energiewende:
 - Absenkung der THG-Emissionen
 - Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien
 - Reduzierung des Primärenergieverbrauchs

- Stand 2019:
 - 2020- Ziele der THG-Emissionen und der erneuerbare Energien realisierbar
 - Große Abweichung im Bereich der Primärenergie



Die Einhaltung der Zielkorridore bleibt eine herausfordernde Aufgabe!

[1] BMU, Klimaschutz in Zahlen (2020).

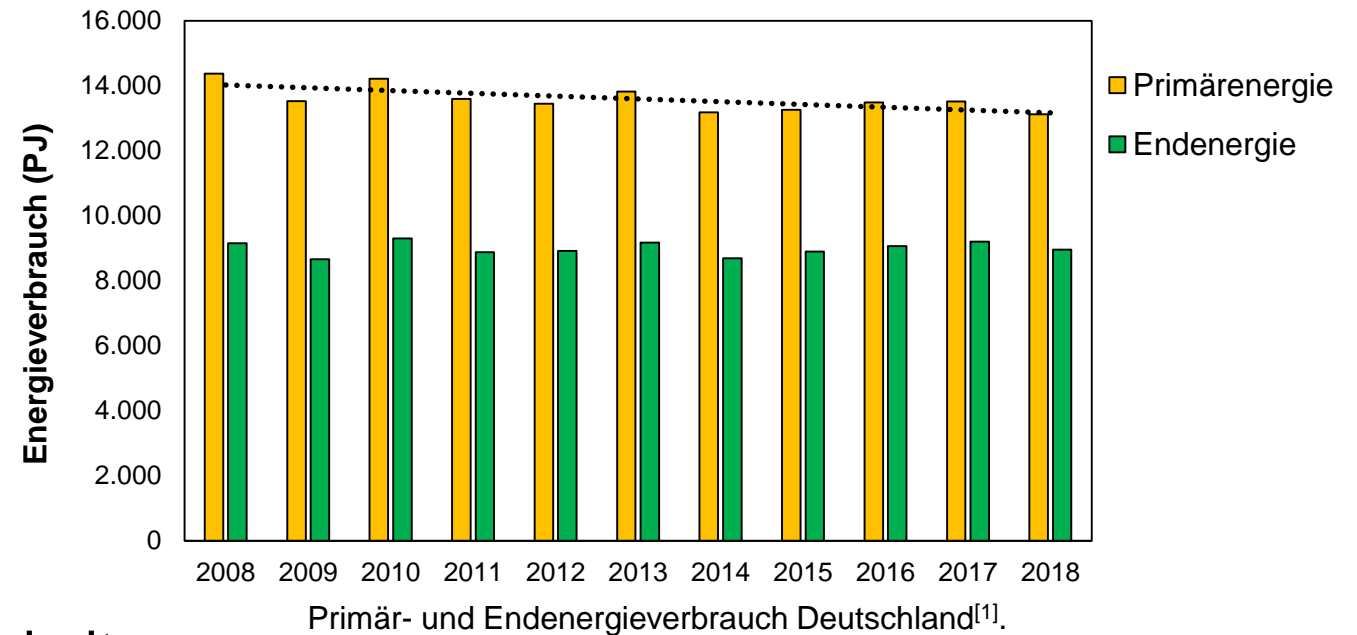
[2] AGEBA (Hg.) Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland (2020).

Einführung - Energieverbrauch

- Energieverbrauch für Deutschland 2018:
 - Primärenergie: 13.129 PJ/a
 - Endenergie (EE): 8.963 PJ/a

- Primärenergie abnehmend bei konstantem EE-Bedarf
 - Effekt der erneuerbaren Energien

- Herausforderung: Absenkung des EE-Bedarfs – Industrie:
 - Ohne Verlust der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie



➔ **Effizienz als wichtiges Werkzeug!**

[1] AGEb (Hg.) Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland (2020).

Projekt EE4InG



- Energieeffizienz für Industrie und Gewerbe
 - Begleitforschungsvorhaben des Forschungsnetzwerks Energie in Industrie und Gewerbe
- Forschungsschwerpunkte:
 - Technologiebetrachtung neuer Techniken für den Einsatz in Industrie und Gewerbe
 - Abschätzung von Energieeinsparpotentials
 - Analyse von Stärken, Schwächen und Hemmnissen
 - Erfassung des deutschen und internationalen Innovationssystems für diese Technologien



Abschlusssitzung von EE4InG am 29.09.2021,
<https://www.forschungsnetzwerke-energie.de/>

Partner:



ETA-Solutions GmbH



Technische Universität Darmstadt - Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen



Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Katalysatorforschung und -technologie

Gefördert durch:

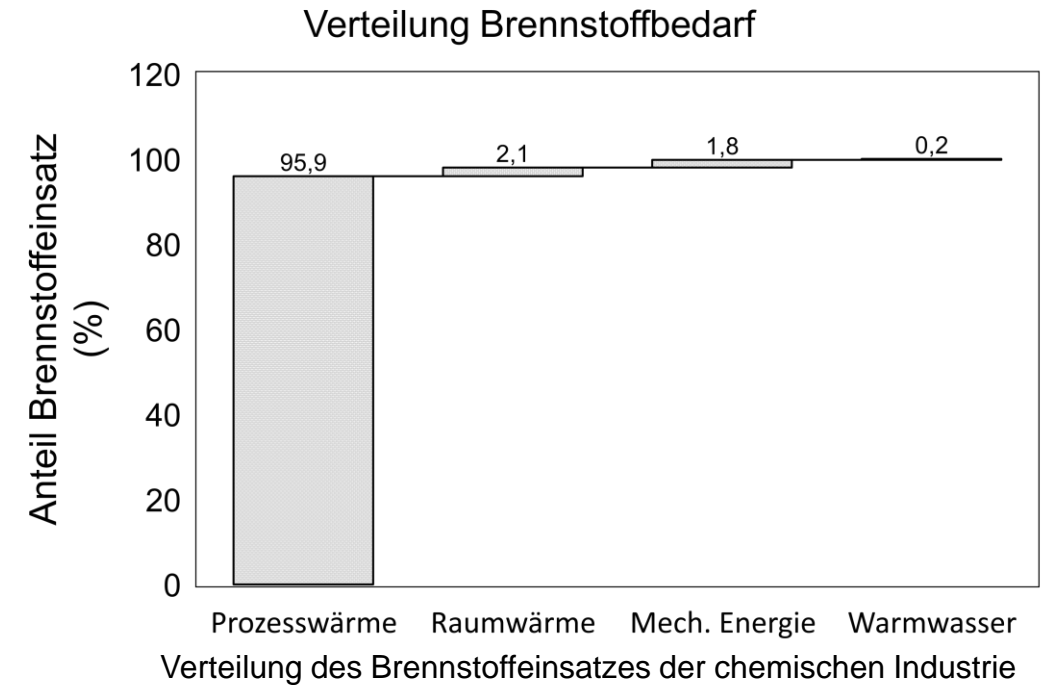


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Einführung – Chemische Industrie

- EE-Verbräuche 2018^[1,2]:
 - Industrie: 2651 PJ/a
 - Chemische Industrie: 654 PJ/a
 - 71 % Brennstoffe
 - 29 % Strom

- 68,1 % des EE-Verbrauchs der chem. Industrie für Prozesswärme
 - 64% des Wärmebedarfs muss oberhalb von 540 °C zugeführt werden^[3]
 - Wärmebereitstellung: Verbrennungen und elektrische HT-Heizer



Technologieauswahl muss anwendungsorientiert erfolgen!

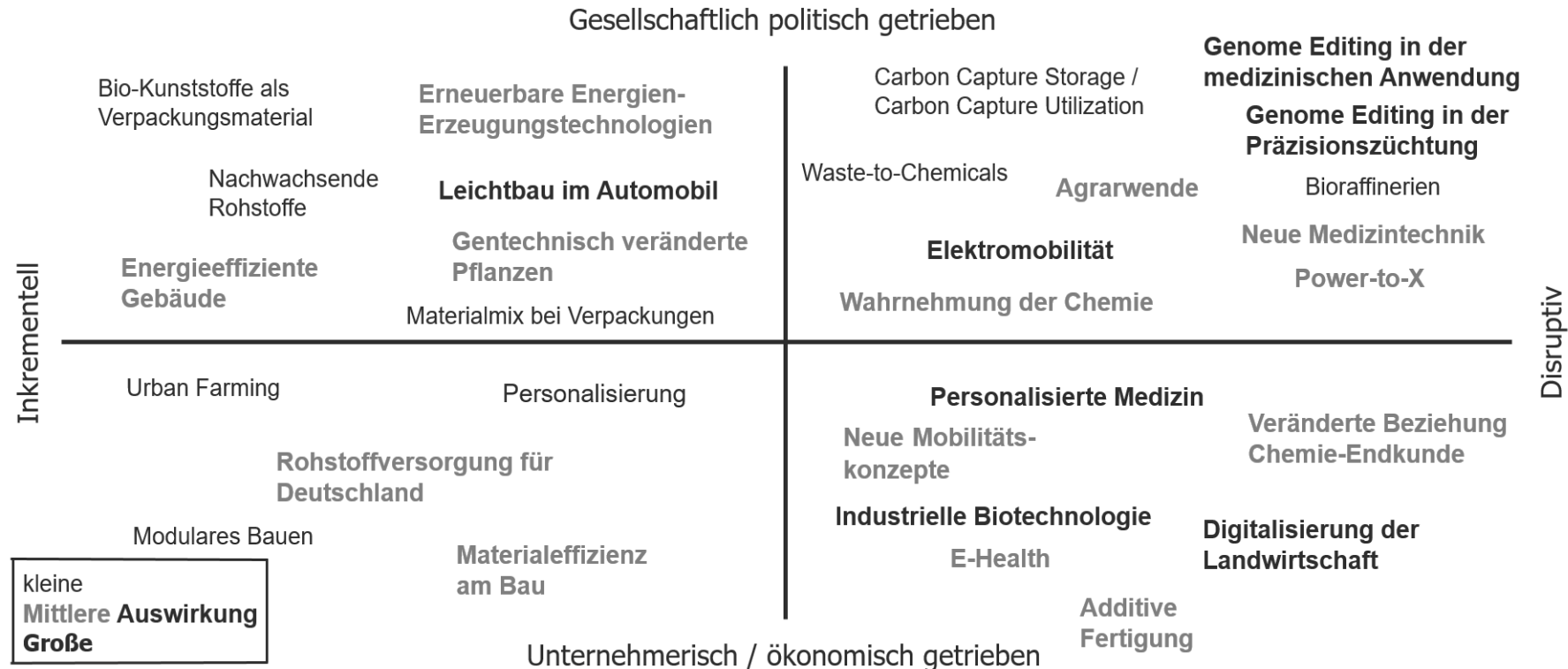
[1] AGEB (Hg.) Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland (2020).

[2] Fraunhofer ISI (Hg.) Anwendungsbilanzen 2018-2020 (2019).

[3] Blesl, M., Kessler, A.(2018): Energieeffizienz in der Industrie, Springer.

Trends der chemischen Industrie

■ Umfeldtrends der chemischen Industrie

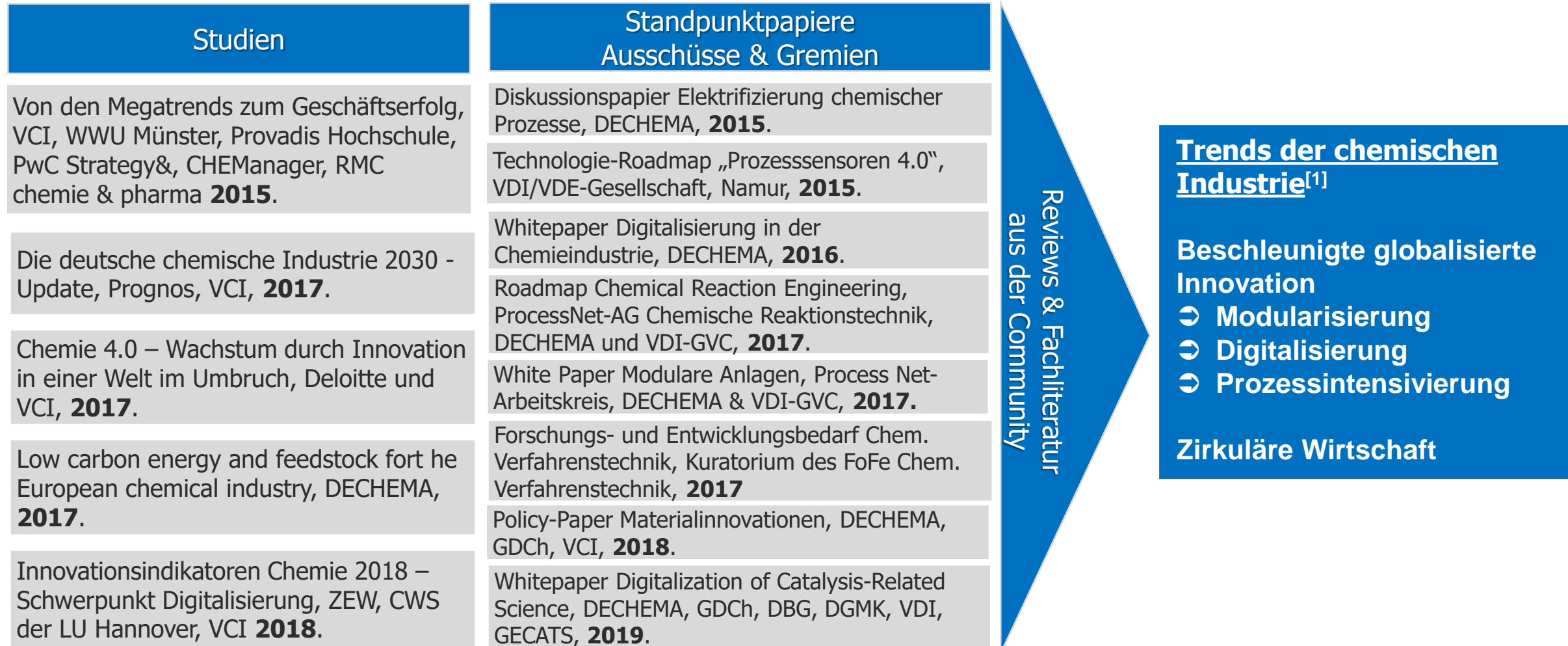


Die chemische Industrie muss sich in einer gesamtgesellschaftlichen Transformation neu erfinden!

der Umfeldtrends der Chemieindustrie [1].

Sauer, J. (2020): *Chemie Ingenieur Technik* 92 (3), 183–191.

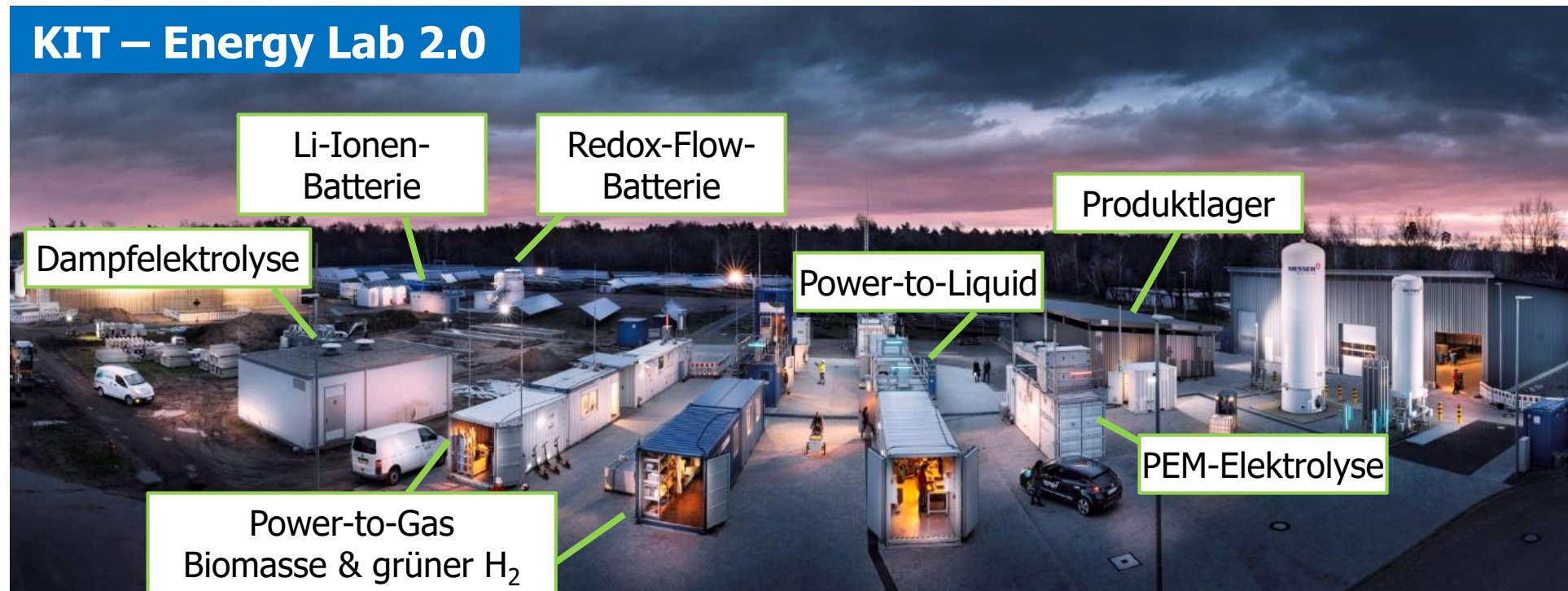
Trends der chemischen Industrie



[1] Frensch, A.C. et al.; Analyse von Trends und Megatrends in der Industrie, www.ee4ing.de.

Modularisierung

- Entwicklung schneller, flexibler und effizienter Lösungen für die chemische Industrie^[1]

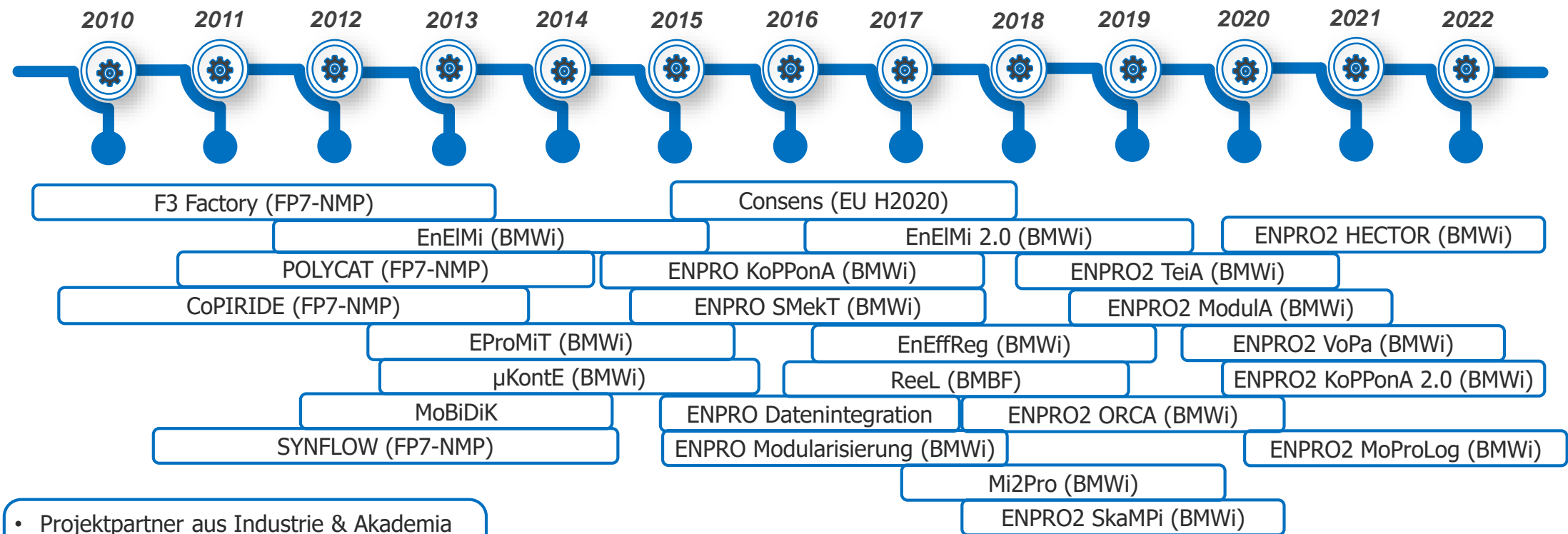


- Beispiel: KIT – Energy Lab 2.0

[1] Schäfer, B.; Sauer, J. (2020): *Chemie Ingenieur Technik* 92 (3), 183–191.

Modularisierung - Forschung

Ausgewählte Projekte zur Modularisierung in der chemischen Industrie^[1]:

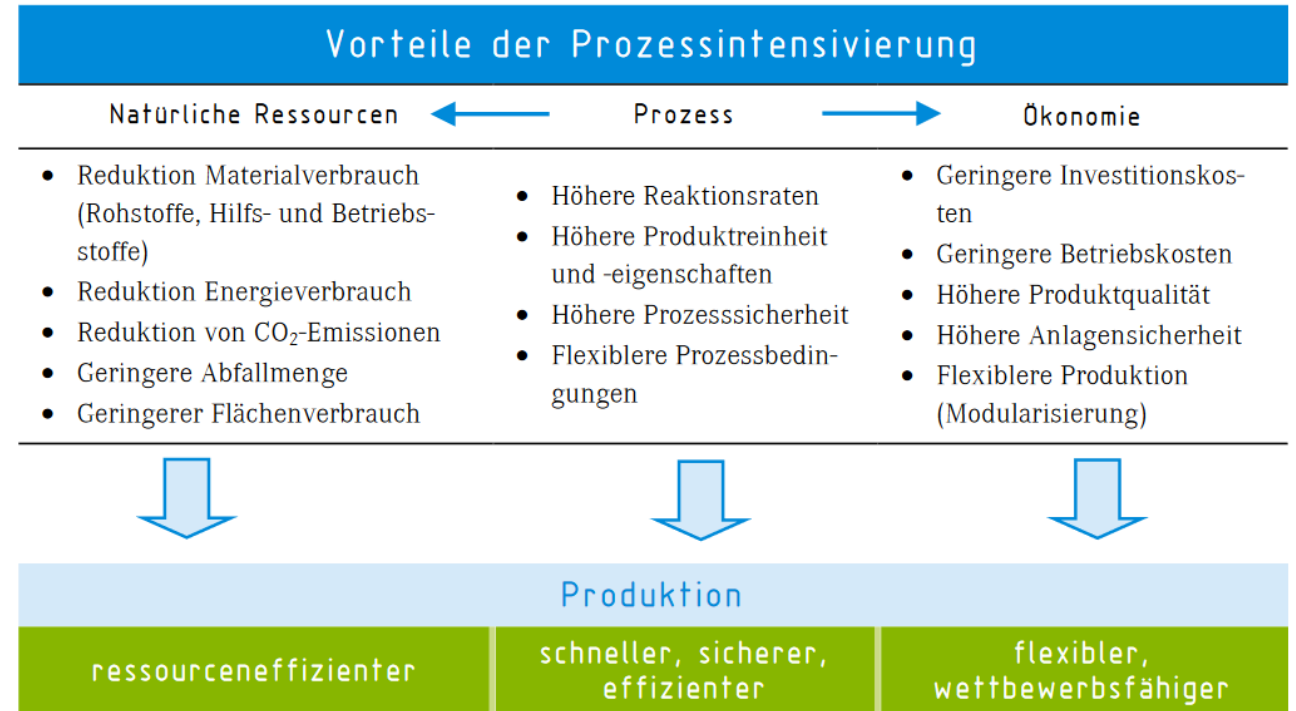


- Projektpartner aus Industrie & Akademia in über 64 Förderprojekten
- Fördersumme: 85,6 M€

[1] Schäfer, B.; Sauer, J. (2020): *Chemie Ingenieur Technik* 92 (3), 183–191.

Prozessintensivierung

- Durch Prozessintensivierung werden:
 - ...geringere Apparatevolumina bei gleichbleibender Produktionsmenge benötigt.
 - ...eine Effizienzsteigerung von Prozessen oder Prozessketten erzielt.
 - ...innovative Technologien und Apparate entwickelt.



Ressourcen-, prozess- und wirtschaftsbezogene Vorteile der Prozessintensivierung^[1].

Energieeffizienz als wichtiger Zielkorridor der Prozessintensivierung

[1] VDI ZRE (2019) Ressourceneffizienz durch Prozessintensivierung.

Effizienztechnologien – Additive Fertigung

- Metallische & keramische Fertigungssysteme
- Ansätze:
 - Neue Reparaturstrategien
 - Maßgeschneiderte Apparate und Bauteile
 - Funktionalisierung und Mechatronisierung



Siemens – Reparatur von Brennerspitzen

AM-Reparatur

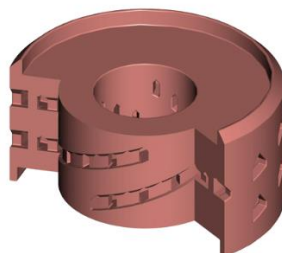
Zusätzlich konv. Reparatur

Walachowicz, F.; et al. (2017) *Journal of Industrial Ecology* 21 (S1), 203-215.

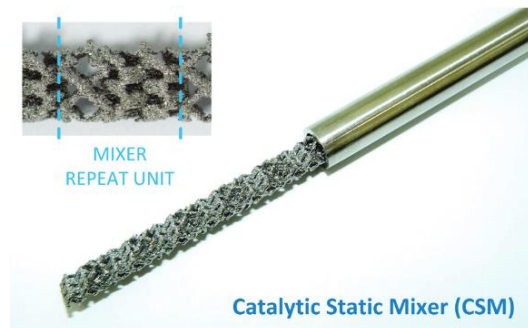
BASF – Statische Mischer und Wärmetauscher



Arca-Ventile – Mehrstufige Drosselventilpackungen.



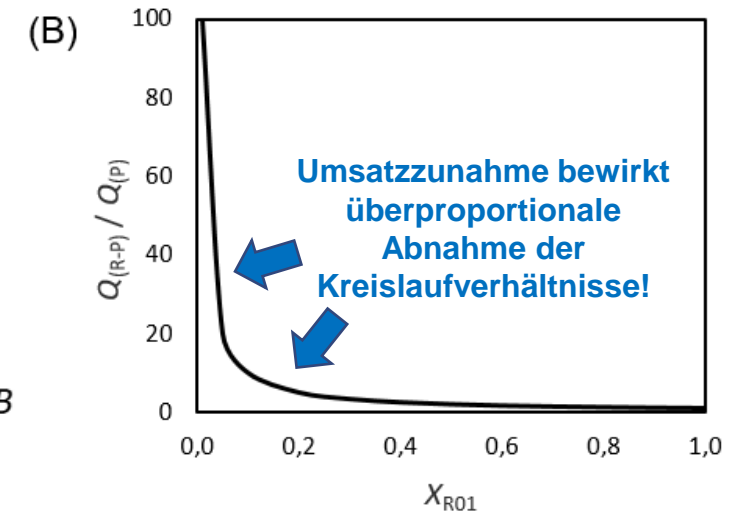
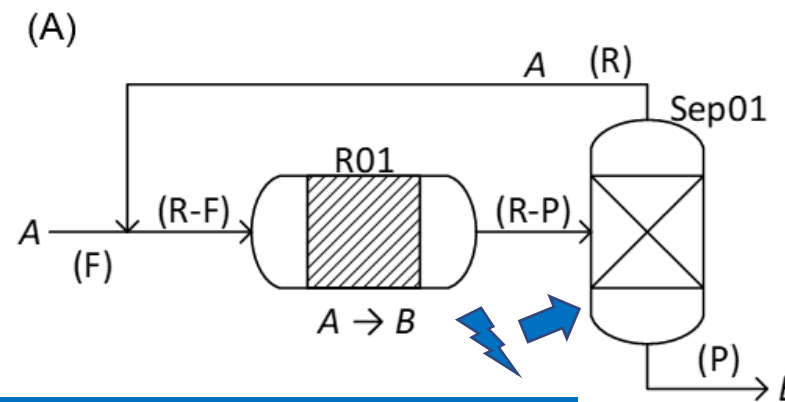
CSIRO – katalytisch beschichtete statische Mischer.



Effizienztechnologien – Additive Fertigung

- Effizienzpotential für die Basis- und Feinchemie:
 - Kreislaufführungen von Stoffströmen mit thermischen Trennverfahren
 - Destillation & Rektifikation: 180 PJ/a Deutschland (2018, Schätzung nach [1,2])

- Energiebedarf der Trenntechnik ist maßgeblich abhängig von der Performance der Reaktionsapparate



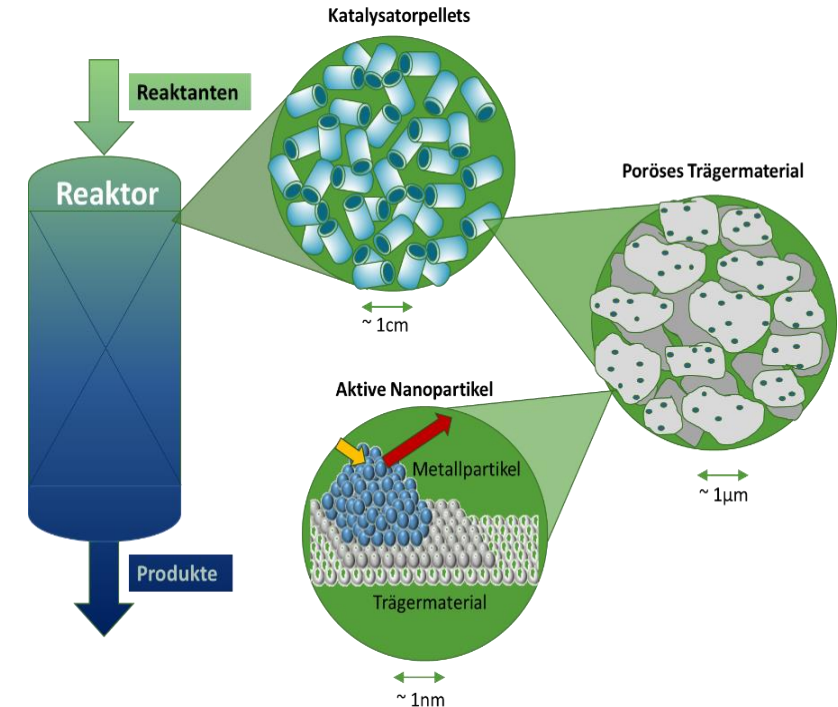
AM-basierte Optimierungen von Reaktionsapparaten besitzen ein relevantes Energieeinsparpotential!

[1] Fraunhofer ISI (Hg.) Anwendungsbilanzen 2018-2020 (2019).

[2] Humphrey, J. L. Fair, J.R., Separation Science and Technology 1983, 18 (14-15), 1765 – 1789.

Technische Nanokatalysatoren

- Definition: Katalytisch aktive nanoskalige Materialien (1 bis 100 nm) als Komposite komplexer technischer Katalysatoren oder Elektroden
- Chemische Unterscheidung der aktiven Nanostrukturen vom Träger
- Unabhängig von der Morphologie der Nanostrukturen (Partikel, Nadeln, Schichten, Texturen,...)
- Ansatz: Gezielte Nanostrukturierung oder Einsatz von Nanomaterialien zur Steigerung der katalytischen Performance. Damit können Verfahren effizienter werden!



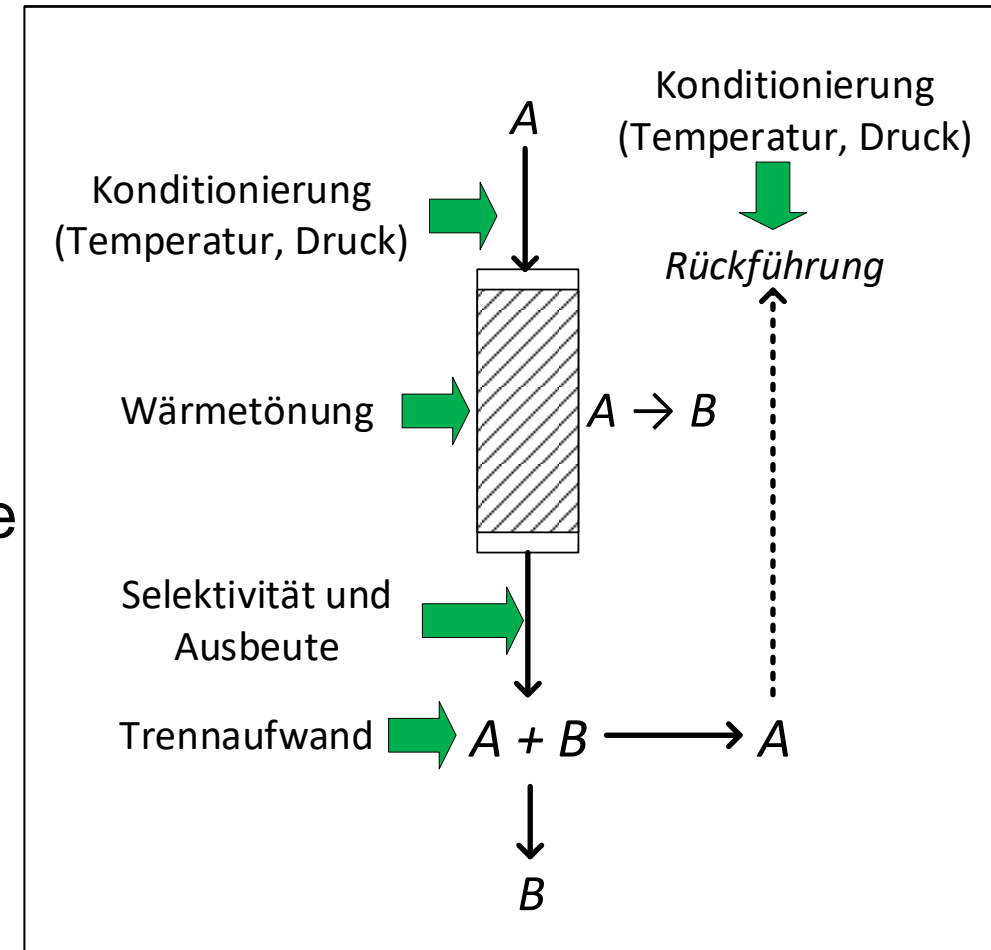
Technische Nanokatalysatoren

- Katalyse und Effizienz
 - Katalyse wirkt indirekt auf den Energieverbrauch
 - Katalyse verbindet Energie- und Materialeffizienz

- Destatis - Kostenstruktur 2018:
 - WZ 20*: Herstellung chemischer Erzeugnisse
38,4% Material und 3,7% Energiekosten

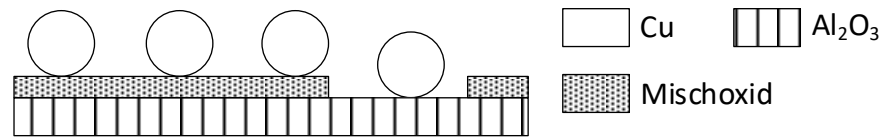
- Materialeffizienz ist der „Türöffner“ für effiziente Prozesskatalyse

*...gemessen an Bruttowertschöpfung

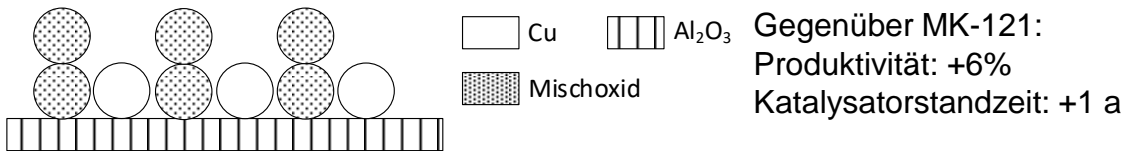


Technische Nanokatalysatoren

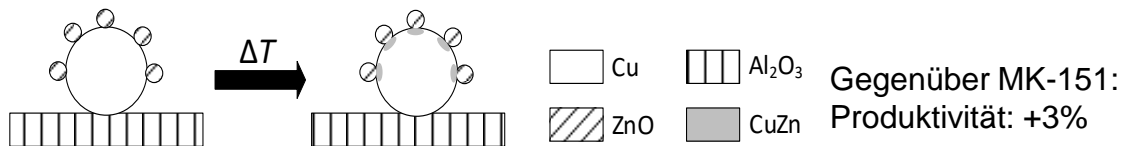
- Inkrementelle Effizienzsteigerung, aus [1]:
 - Methanolkatalysator ($\text{CO} + 2 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$)
 - 2000: MK-121 ($\text{Cu}/\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$)



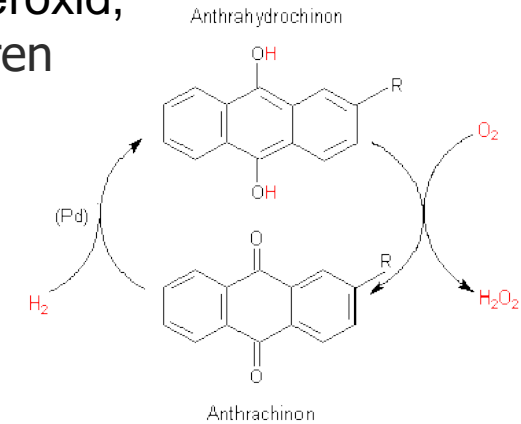
- 2009: MK-151 (FENCE-Technologie)



- 2020: MK-181 (PRIME-Technologie)



- Neue Verfahrensführungen, aus [1]:
 - Herstellung von Wasserstoffperoxid, klassisch: Antrachinon-Verfahren



Direktsynthese: $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$

- Absenkung des spezifischen Energiebedarfs (> 10%)
- Absenkung der Investitionskosten um 50 %

ABER: Keine Durchsetzung der Direktsynthese

- Integration von Antrachinon-Verfahren in Folgeprozesse
- Hydrogen-Peroxide-to-Propylene-Oxide (HPPO): BASF und Dow Chemical → 35 % weniger Energiebedarf
- Verbundvorteile reduzieren den Einfluss individueller Optimierungen einzelner Unit-Operations.

Energieeinsparpotential ($\approx 11 \text{ PJ/a}$) [1] innerhalb von 10 Jahren realisierbar.

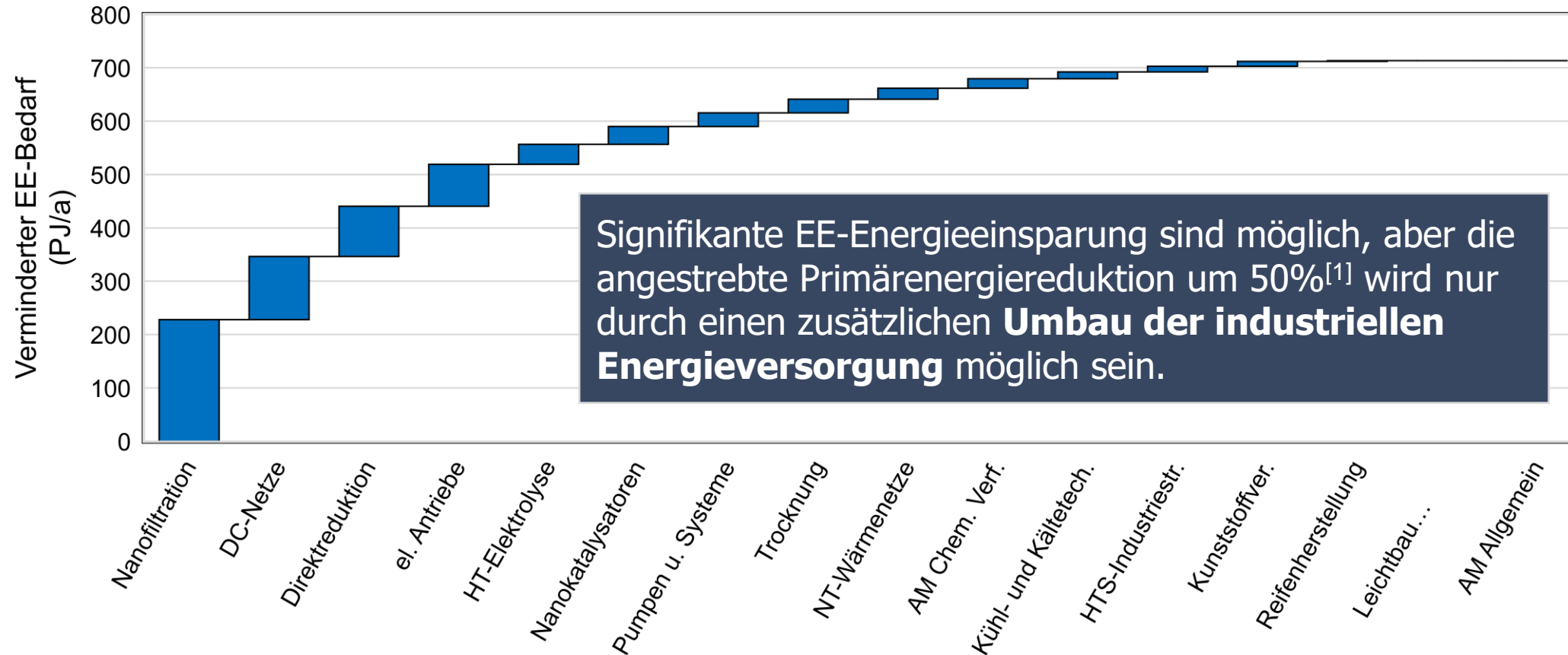
[1] Haltenort, P., et al. (2021) Eduard-Analyse: Technische Nanokatalysatoren, www.ee4ing.de.

Technische Nanokatalysatoren

- Übergeordnete Empfehlungen:
 - Katalysatoren für Rohstoffwandel (Biomasse, CO₂, Polymerabfällen) und zirkuläre Ökonomie (Polymerabbau zu Monomerbausteinen)
 - Besserer Übergang von der akademischer Grundlagenforschung in die industrielle Katalysatorentwicklung
 - Standardisierung von Datenformaten, experimentellen Methoden, Entwicklung von Benchmark-Systemen
 - Bessere Verfügbarkeit von Forschungsdaten durch digitalen Plattformen (No-Effect-Studien, Stoffdaten, elektronische Laborbücher)
 - Katalysatorentwicklung aus der Perspektive kritischer Materialverfügbarkeiten (Edelmetalle und seltene Erden)

[1] Workshop - Technische Nanokatalysatoren in Industrie und Gewerbe (2021) 07.05.2021, online.

Ausblick (I)



- Projekt EE4InG: 16 Technologien mit einem Einsparpotential von 700 PJ/a, entspricht 27 %^[2] des industriellen Energiebedarfs

[1] BMWi (2010) Energiekonzept 2050. [2] AGEb (Hg.) Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland (2020).

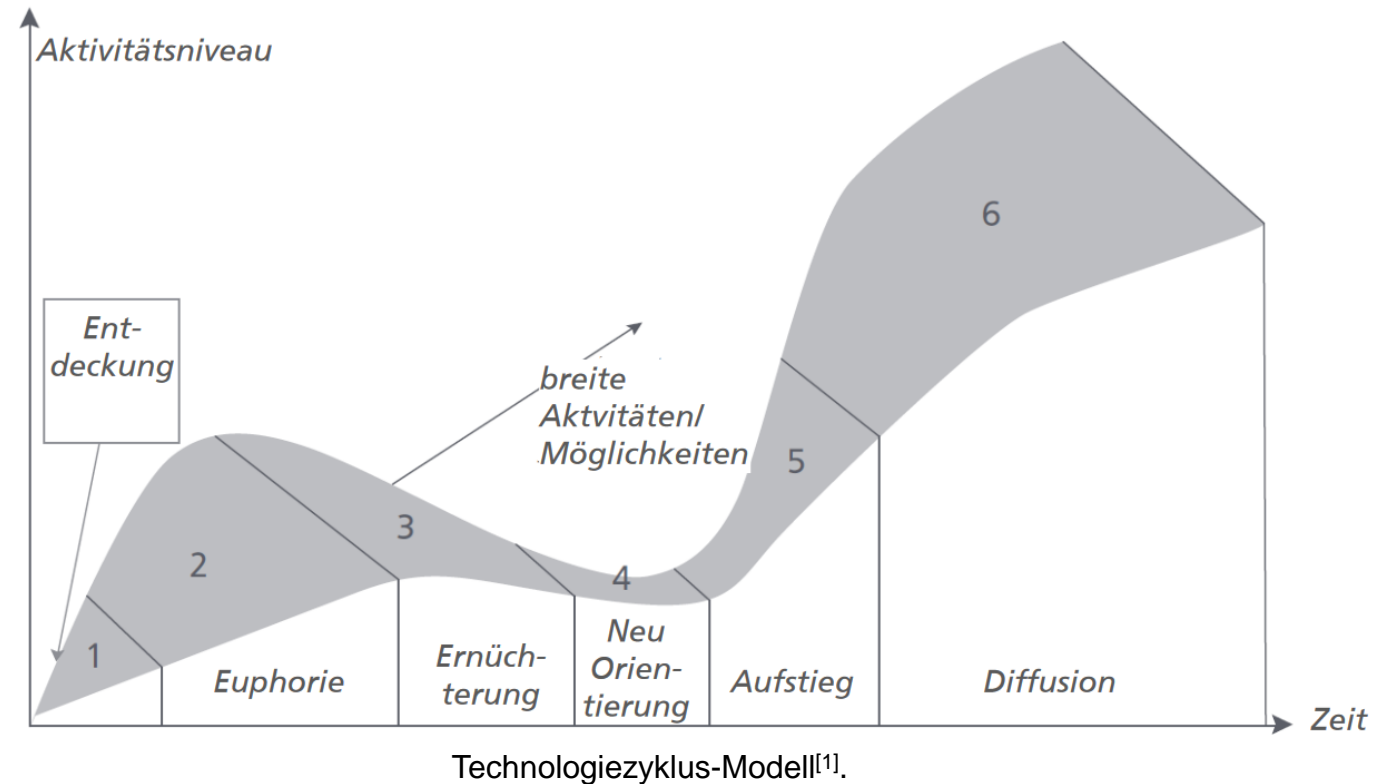
Ausblick (II)

■ Aktuelle Situation:

- Viele Effizienztechnologien im Bereich 3 bis 5
- Wirksamkeit (energetisch und emissionstechnisch) erst im Bereich der Diffusion

■ Deshalb:

- Beschleunigtes F&E im Bereich der Effizienztechnologien mit Fokus auf die Markterschließung und -diffusion



[1] Spath D., Renz K.C. (2005) Technologiemanagement, Springer.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Besuchen Sie uns: <https://ee4ing.de>



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages