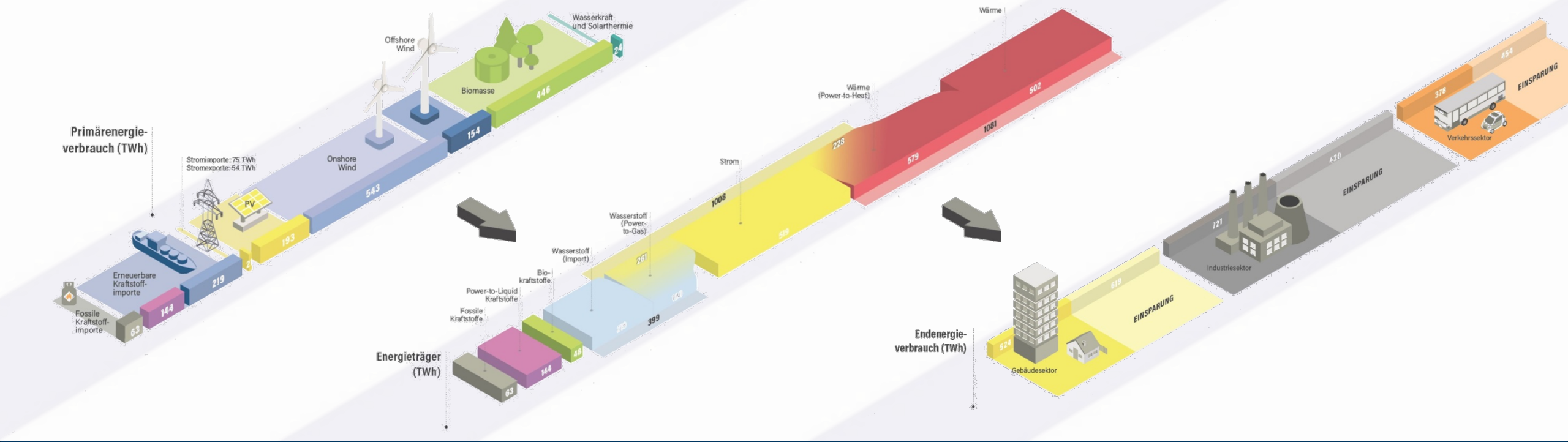


KLIMAGASREDUKTIONSSTRATEGIEN FÜR DEUTSCHLAND

Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien bis zum Jahr 2050

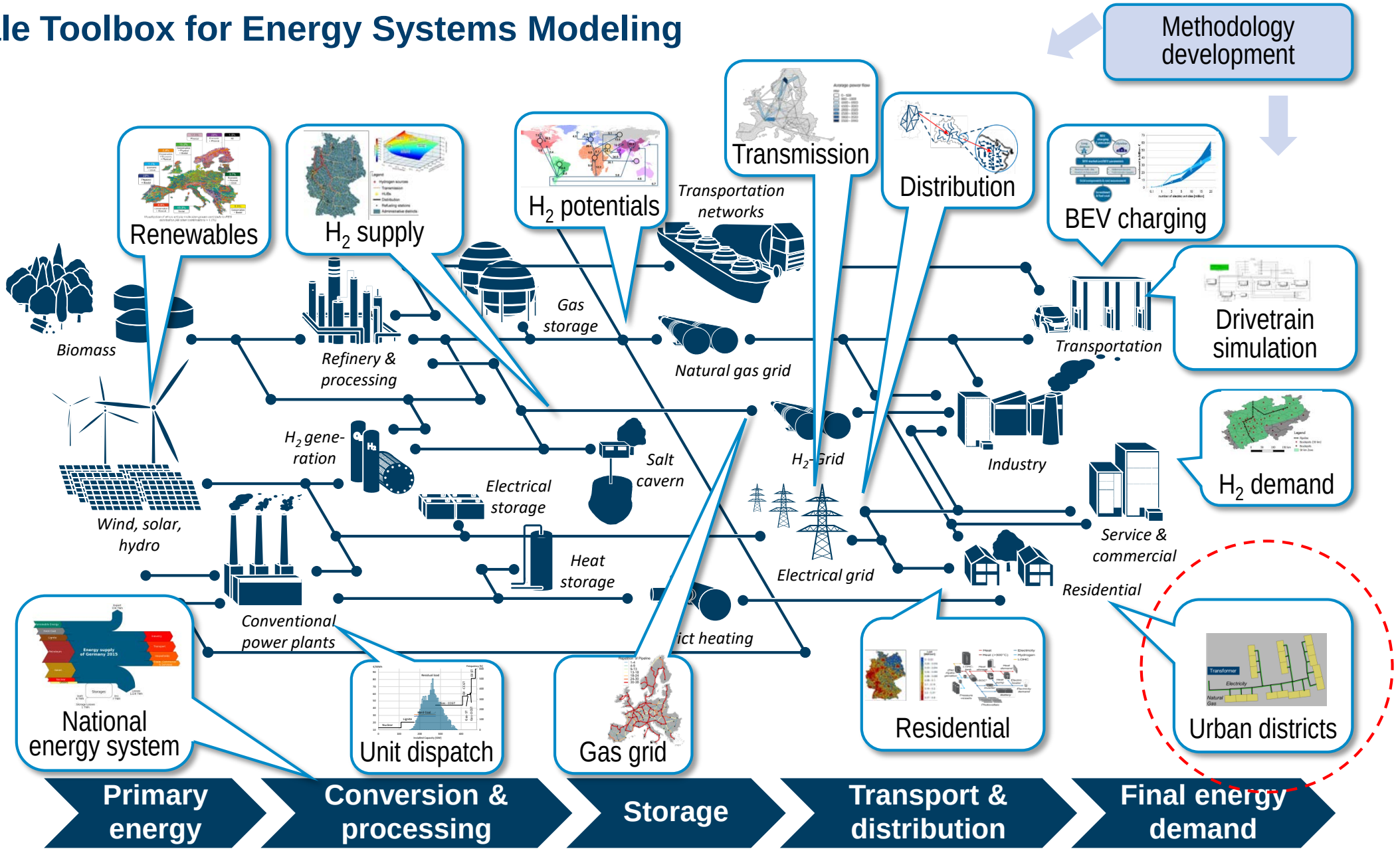
Tagung „Kommunale Sektorkopplung und Infrastrukturen“, TU Berlin

06.12.2019 I **P. MARKEWITZ**, P. LOPION, D. STOLTEN, M. ROBINIUS p.markewitz@fz-juelich.de

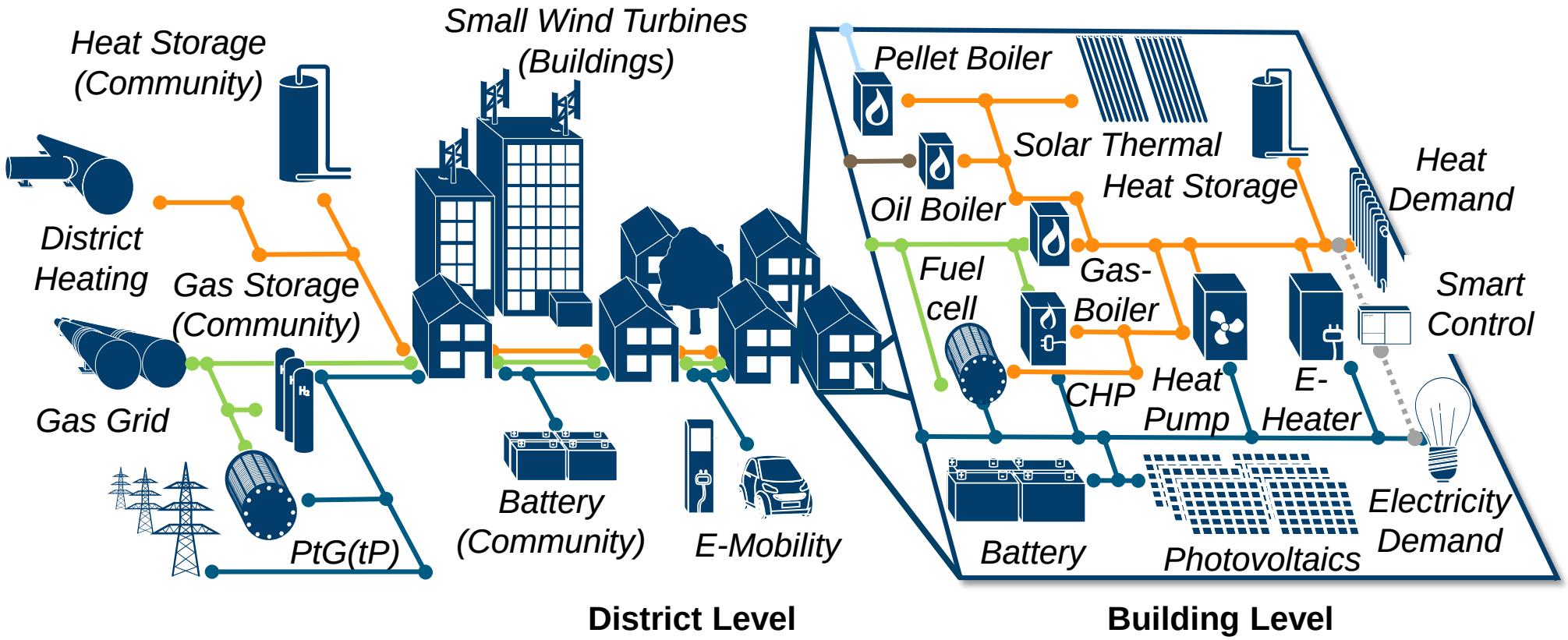
Agenda

- Institutsvorstellung
- Motivation
- Szenarien, Annahmen und Methoden
- Ergebnisse

Multiscale Toolbox for Energy Systems Modeling



Urban and Industrial Energy Systems



- Design and operation optimization for cost optimal energy supply systems on different scales
- Bottom-up modeling of future load profiles / energy demand

Based on open source python packages FINE[1] and tsib[2]

[1] FINE - Framework for Integrated Energy System Assessment; https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/FINE
[2] tsib - Time Series Initialization for Buildings; https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/tsib

Motivation

… Reduktion der deutschen Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 Prozent

… kostenoptimale Transformationsstrategien für die Energiewende

… Herausforderung Komplexität: Neue Modelle aus der Wissenschaft

… unvoreingenommen (möglichst wenig Vorgaben)

… keine Prognose sondern Antworten im Sinne von „Was wäre, wenn…“

… Handlungswissen für Entscheidungsträger aus Gesellschaft, Politik und Wirtschaft

Szenariorahmen

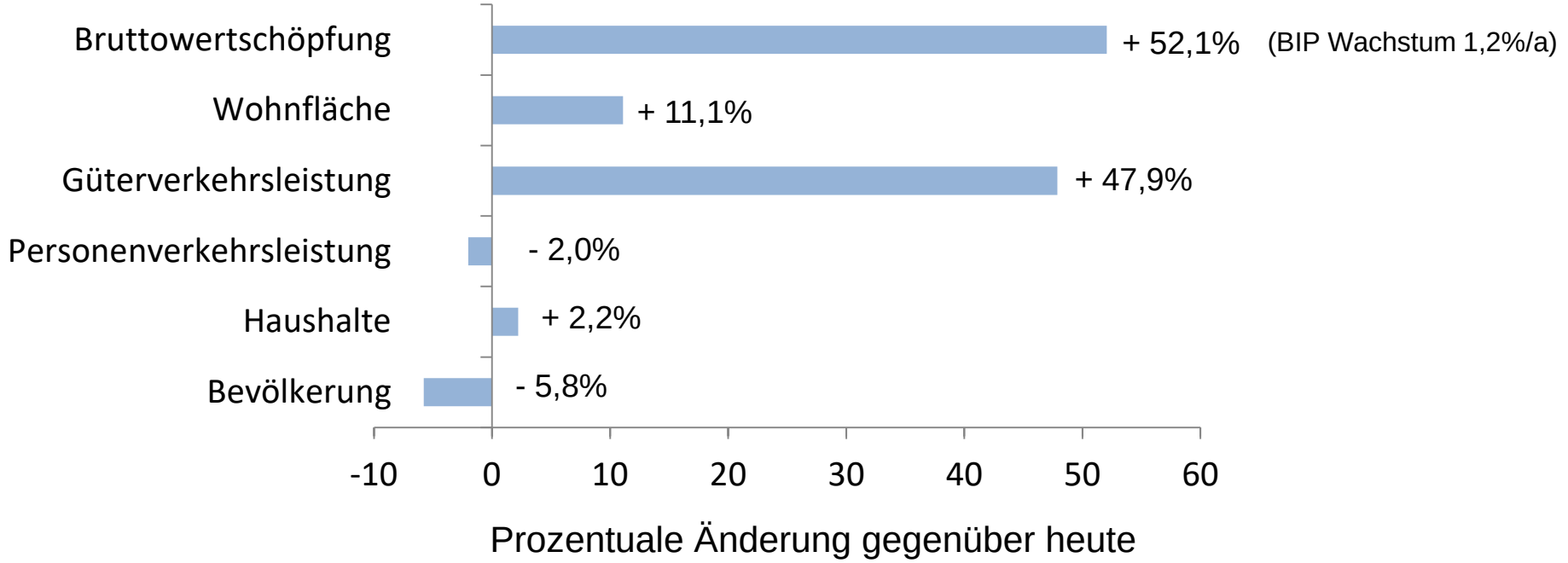
- Zwei Szenarien:
  → Klimagasreduktionsziele entsprechend den Beschlüssen der Bundesregierung
- Kohleausstieg entsprechend den Empfehlungen der Strukturkommission
- Kernenergieausstieg berücksichtigt
- Deutschland: Stromnetzausbau gemäß Netzentwicklungsplan 2030
- Europa: Entwicklung nach ENTSO-E TYNDP 2016 (Vision 4 – European Green Revolution)[1] und E-Highway Szenario (Large Scale RES)[2]
- Rahmendaten nach BDI-Studie „Klimapfade für Deutschland“[3]:
  Jährliches BIP Wachstum von 1,2%, moderat steigende Energiepreise, …

80 SZENARIO 80 95 SZENARIO 95

Keine Prognose, sondern „wenn dann“ Kausalitäten

[1] ENTSO-E (2015), TYNDP 2016 Scenario Devolopment Report
[2] Sancis et al. (2016), Energy Magazine 13(1), 38-51
[3] Klimapfade für Deutschland, Studie im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI), Januar 2018

Ausgewählte Rahmendaten – Exogene Annahmen[1]



[1] Angelehnt an: Klimapfade für Deutschland, Studie im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI), Januar 2018

Modelle - Interaktion

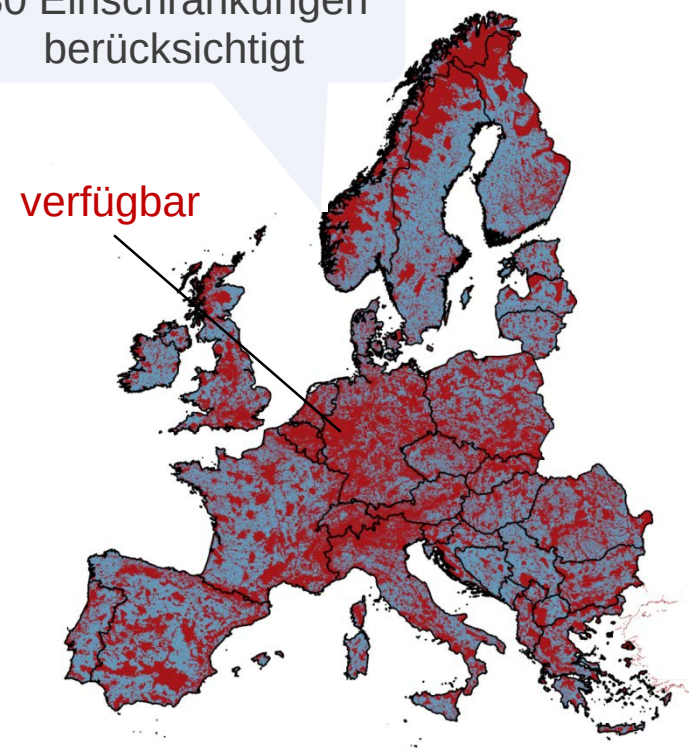
Modelle - Interaktion

Potenziale erneuerbare Energien:

Beispiel Onshore-Windenergie

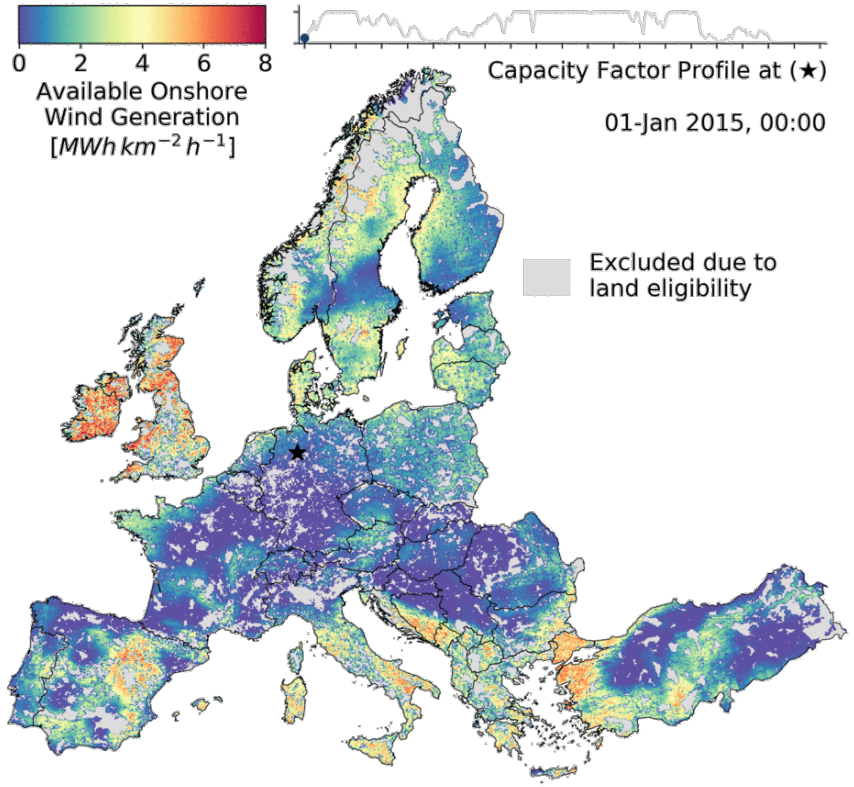
Modellierung der erneuerbaren Energien am Beispiel Onshore-Wind

30 Einschränkungen berücksichtigt



Wind-Einspeisezeitreihen:

- Berücksichtigt 37 Wetterjahre
- Windgeschwindigkeiten an Standort und Turbinenhöhe der Windenergieanlage angepasst
- Luftdichte an der Turbinenhöhe berechnet
- Abschattungseffekte berücksichtigt
- Validierung mittels Ist-Zeitreihen von Windparks



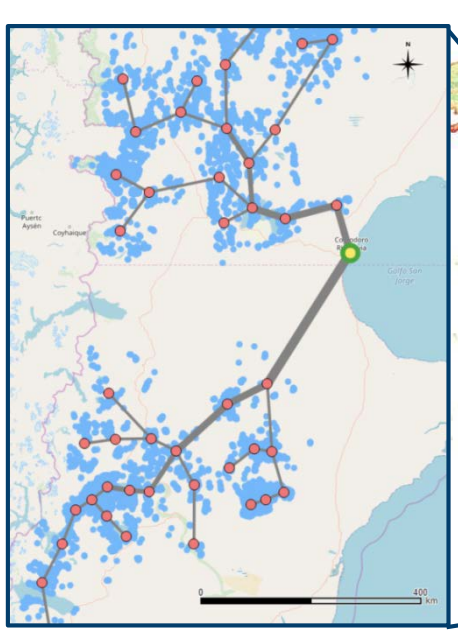
- Berücksichtigt sozio-techno-ökonomische Restriktionen (bspw. Mindestabstände zu Häusern)
- Zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Einspeisezeitreihen

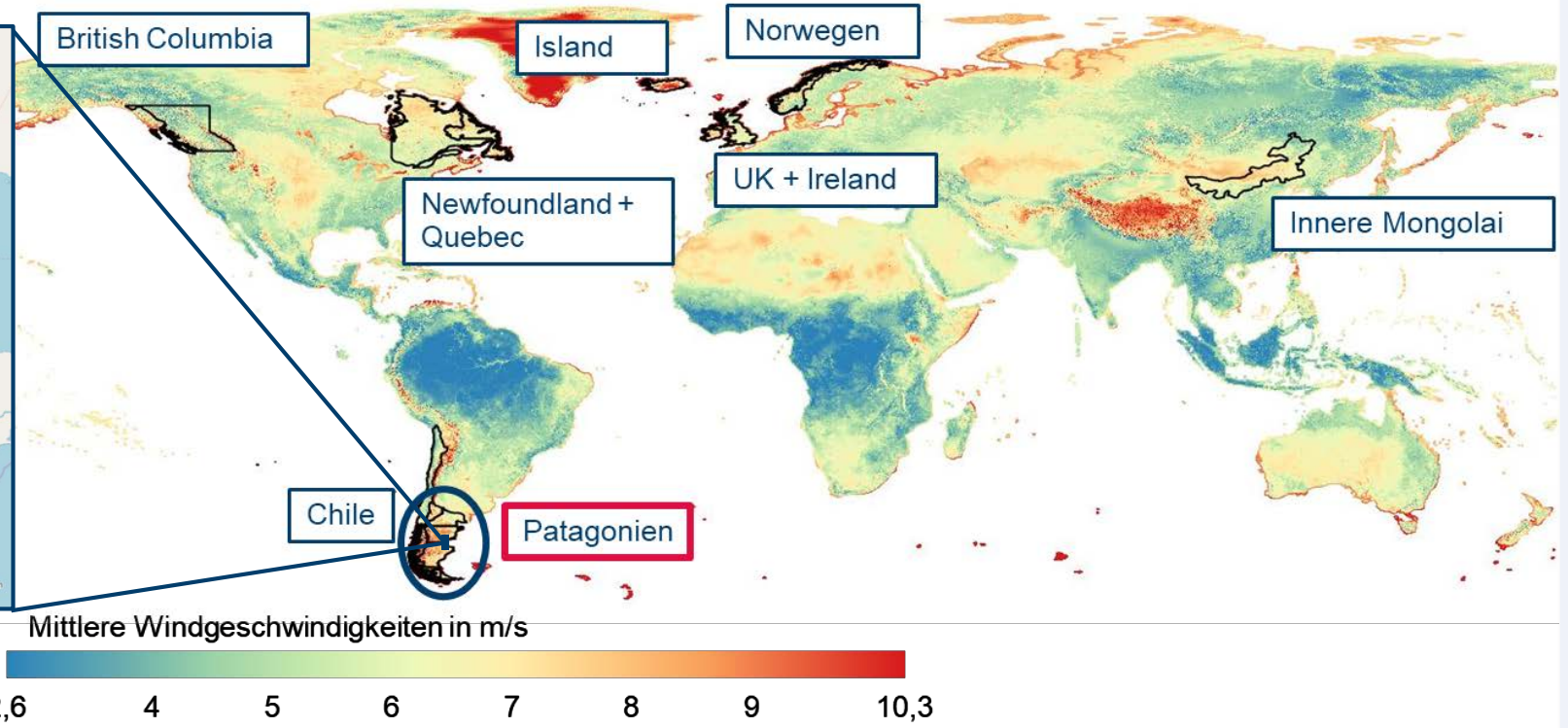
Modelle - Interaktion

Globale Handelspotenziale für erneuerbare Energieträger:

Beispiel Patagonien

Import von erneuerbaren Energien am Beispiel Patagonien (Onshore-Wind)





Wind- & Solarenergie

Elektrolyse

Inländ. Pipeline

Konversion (LH_2)[1]

Puffer-speicher

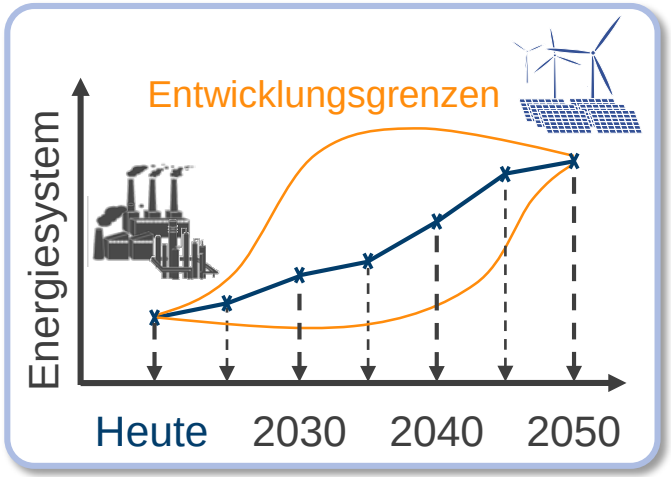
Schiffs-transport

- Detaillierte weltweite Analyse von 10 Wind- und 15 PV-Regionen
- Weltweite kostenoptimale Handelsbeziehungen

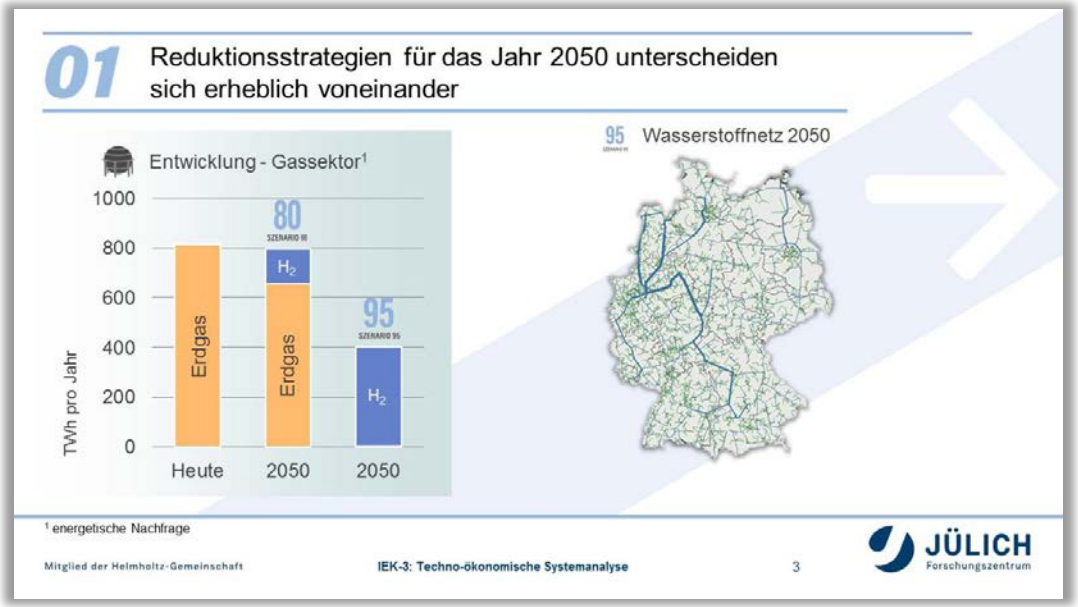
[1] Flüssigwasserstoff

Sektorenübergreifende Optimierung

über 2000 Verknüpfungen

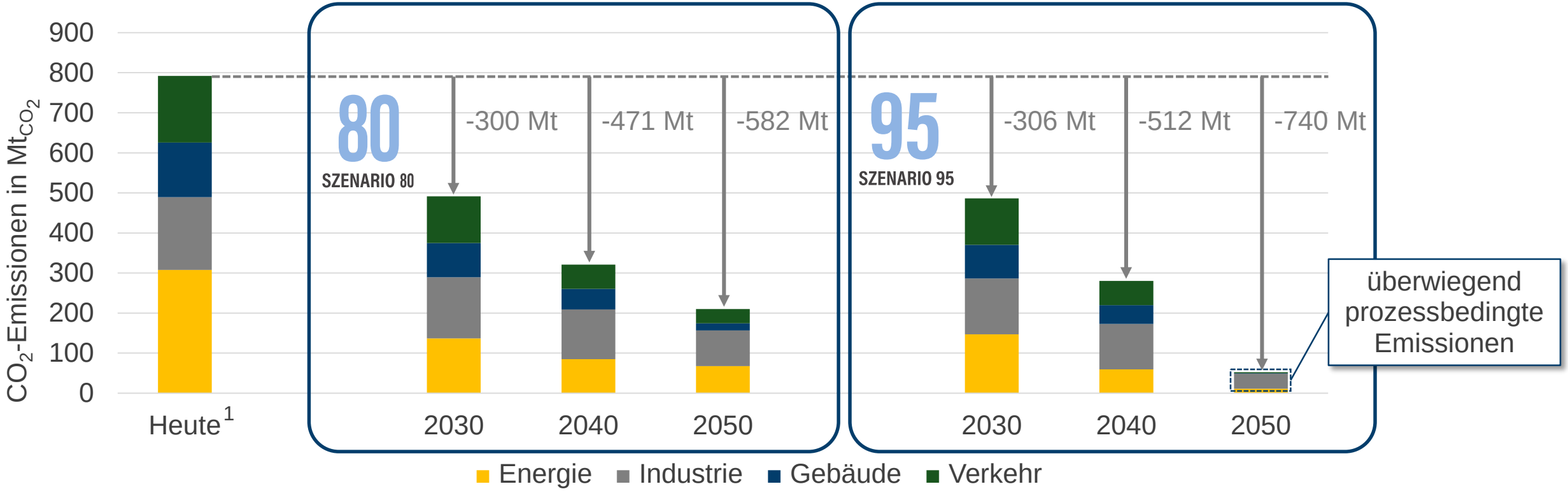


Ganzheitliche, technologisch unvoreingenommene & kostenoptimale Transformations-strategie



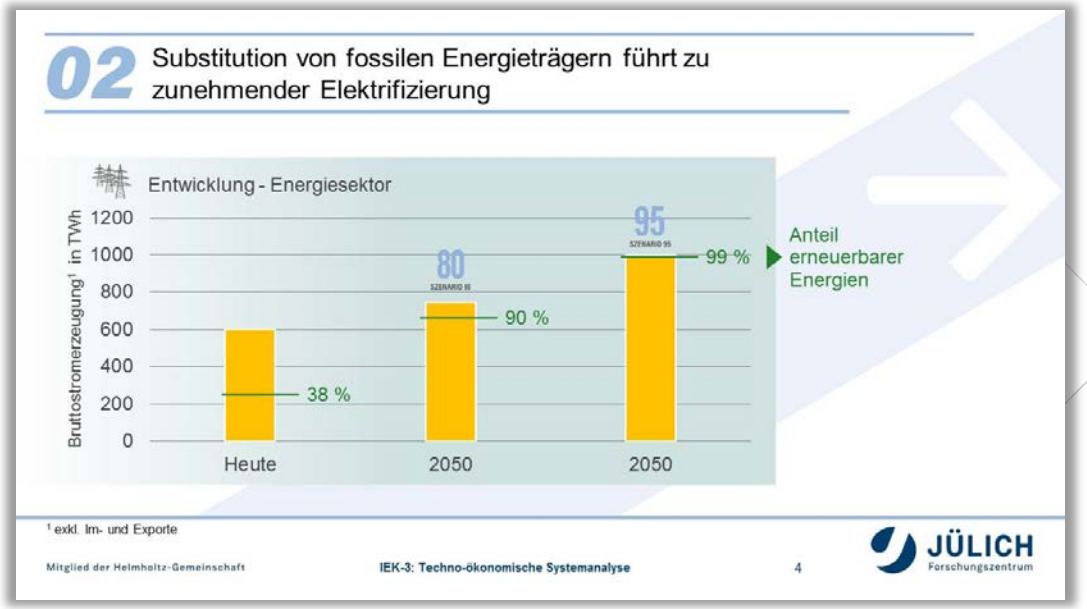
01 Reduktionsstrategien für das Jahr 2050 unterscheiden sich erheblich voneinander

CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2050



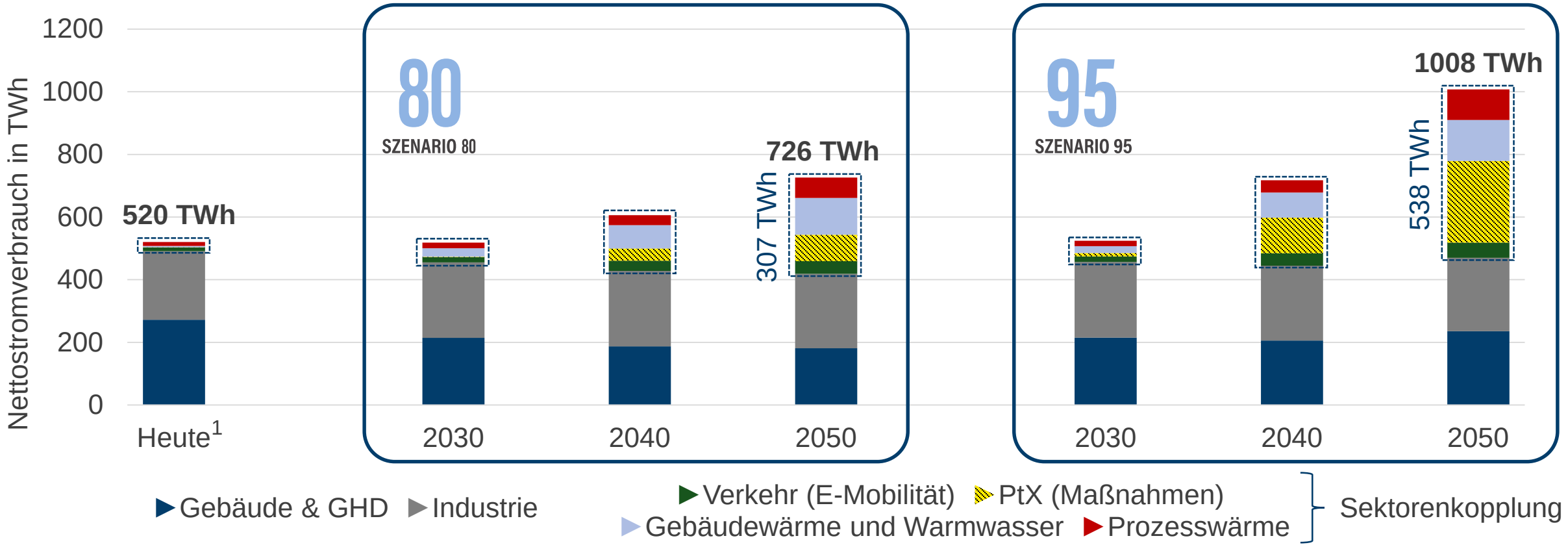
- Transformationsstrategien für eine 80 %- bzw. 95 %-Reduktion sind nicht kompatibel
- Pariser Klimaabkommen erfordert eine Treibhausgasreduktion von **mindestens** 95 %

[1] Umweltbundesamt 2019. https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland



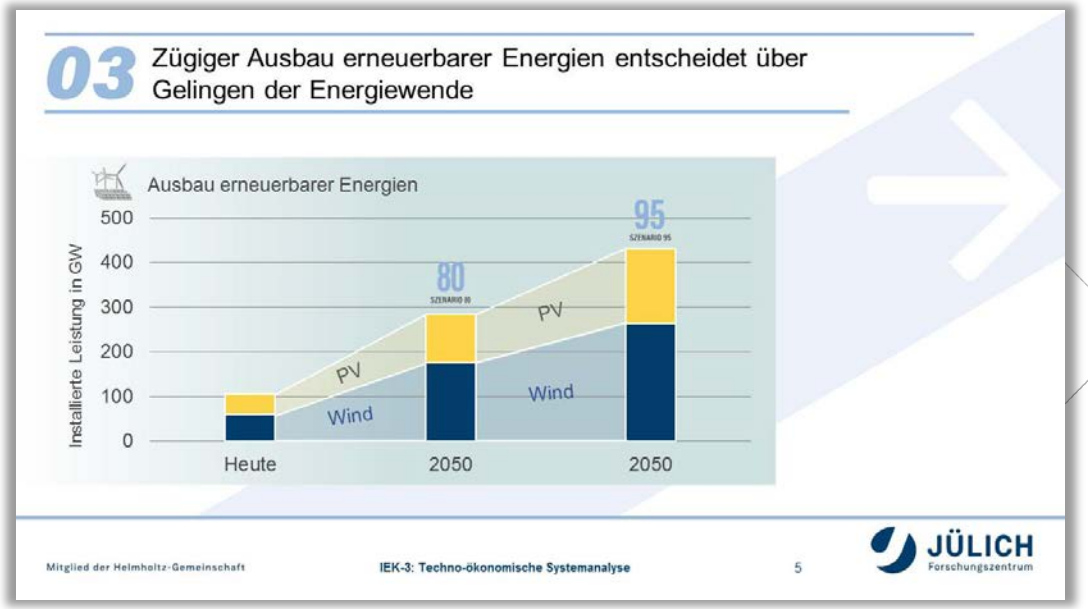
02 Substitution von fossilen Energieträgern führt zu zunehmender Elektrifizierung

Stromverbrauch bis zum Jahr 2050



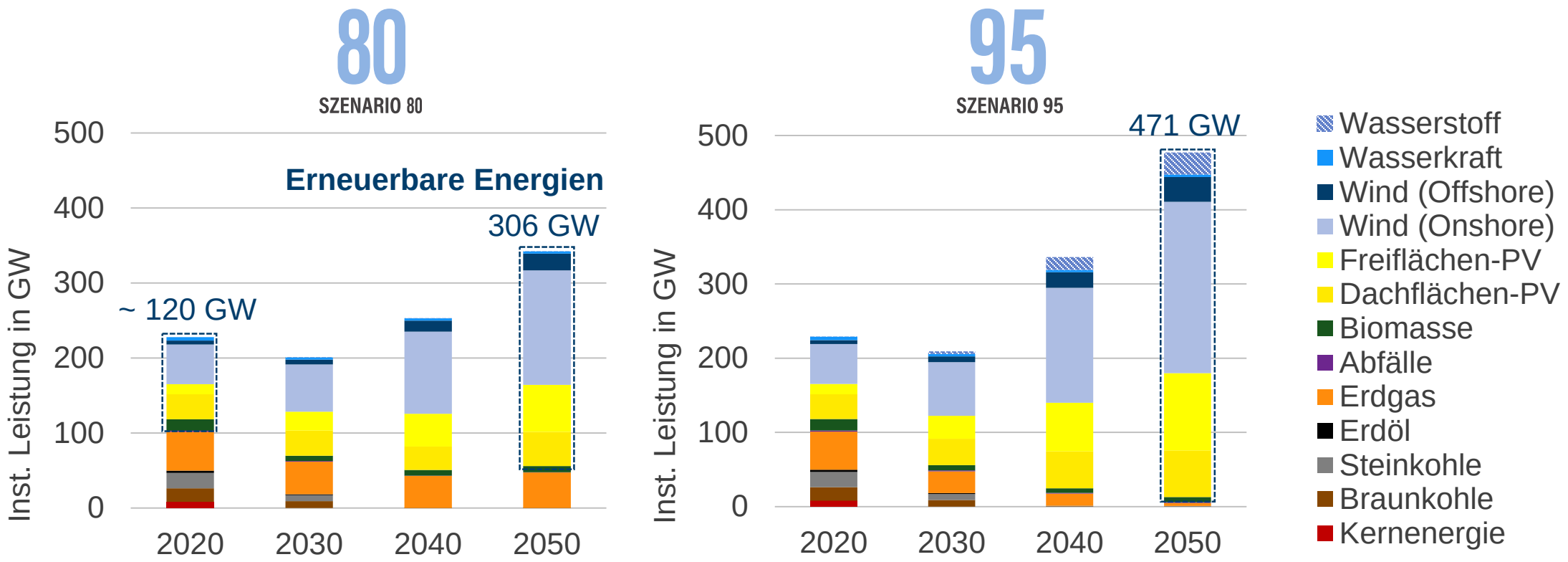
- Substitution von fossilen Energieträgern führt zu einer zunehmenden Elektrifizierung
- PtX-Maßnahmen sind die Voraussetzung für eine erfolgreiche Sektorenkopplung

[1] Umweltbundesamt 2019. https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/stromverbrauch



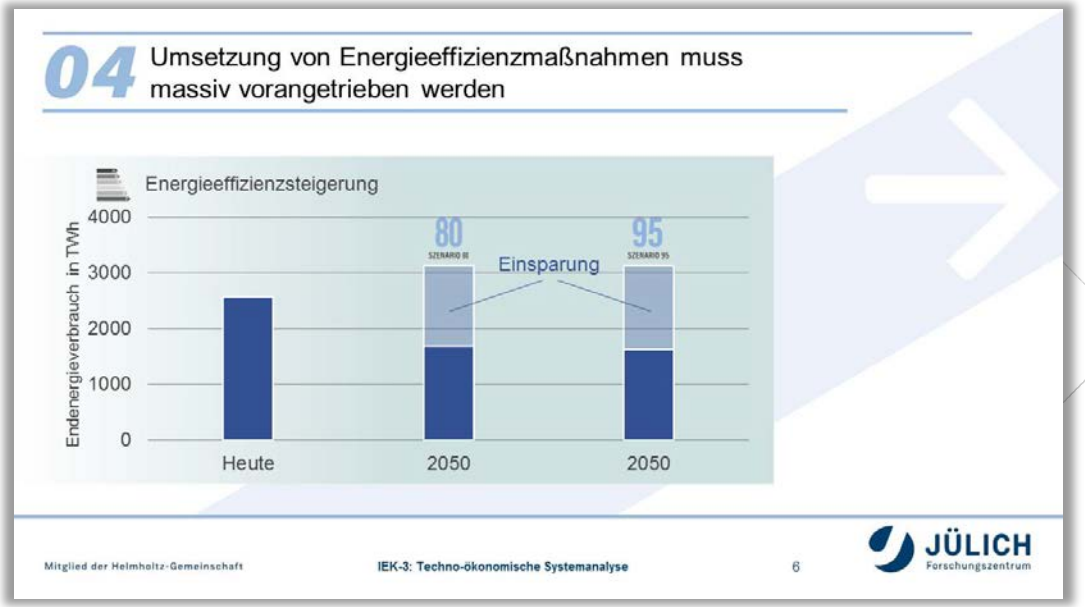
03 Zügiger Ausbau erneuerbarer Energien entscheidet über Gelingen der Energiewende

Energiesektor – Installierte Leistung



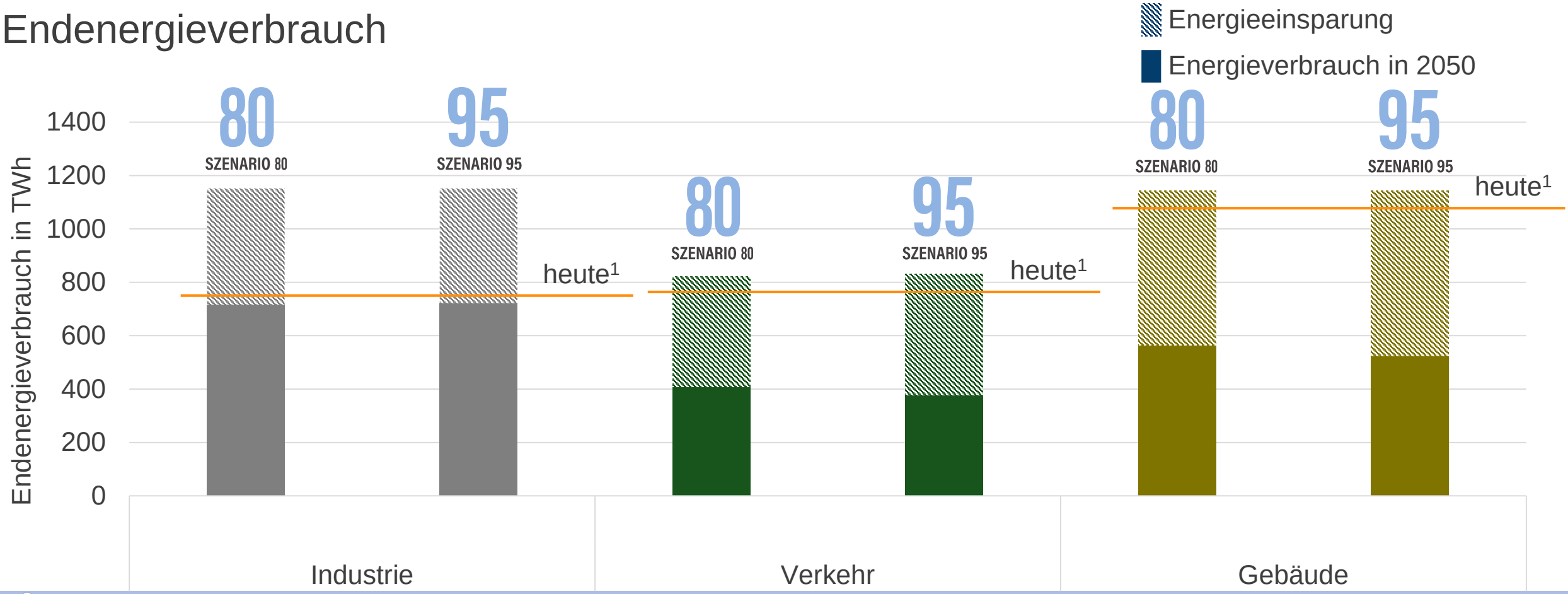
- Der Ausbau erneuerbarer Energien **entscheidet** über das Gelingen der Energiewende
- Onshore Wind: Im Schnitt 5,6 GW Zubau bis 2050 (Zubau 2018: 2,2 GW[1])

[1] https://www.windbranche.de/windenergie-ausbau/deutschland



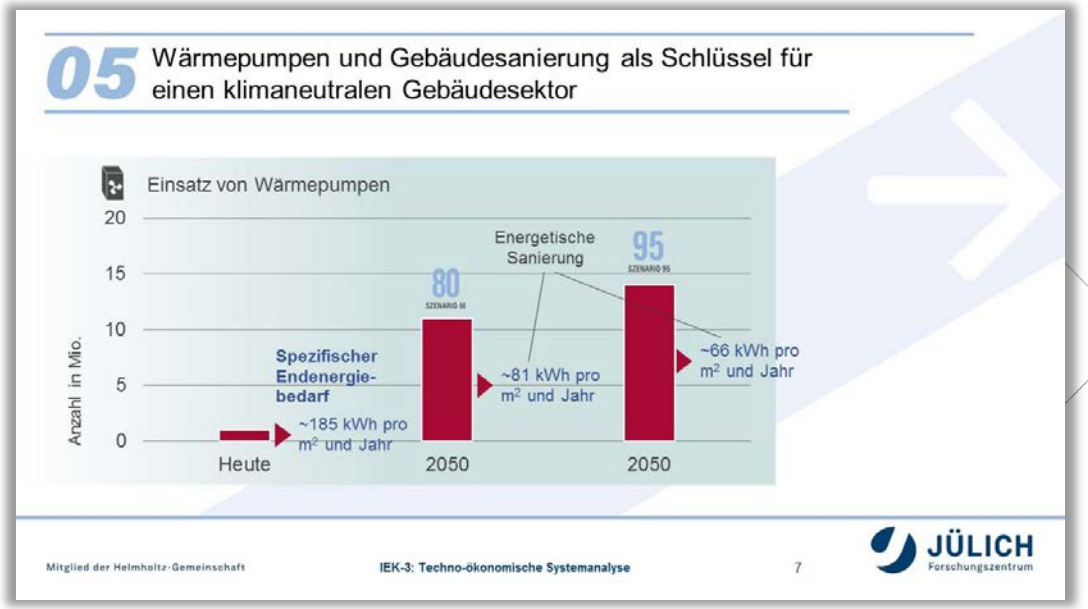
04 Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen muss massiv vorangetrieben werden

Endenergieverbrauch



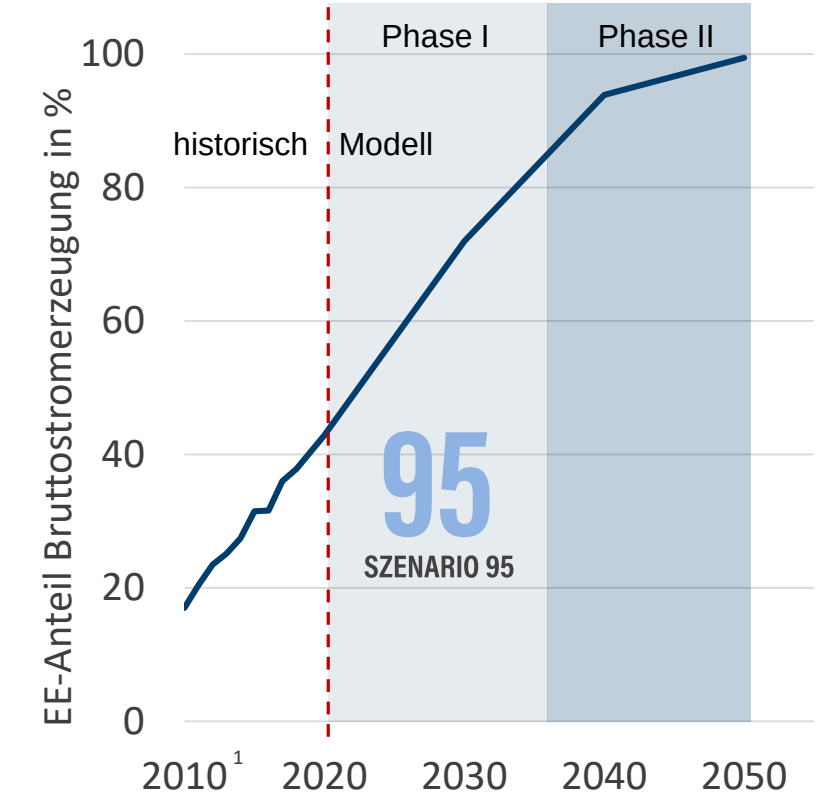
Energieeffizienzmaßnahmen haben **in beiden Szenarien** eine herausragende Bedeutung

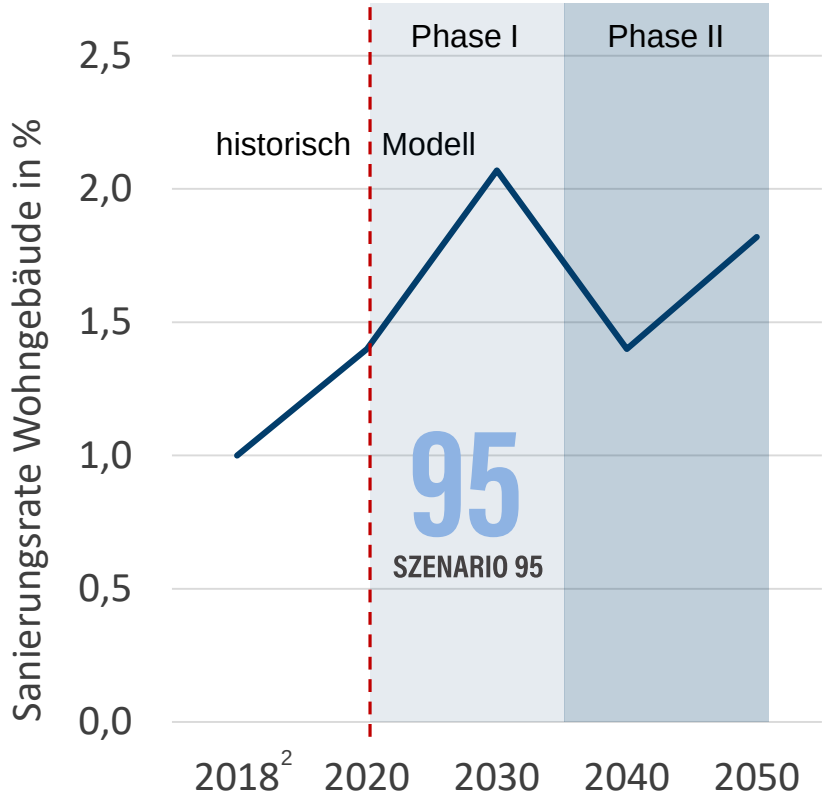
[1] Quelle: Umweltbundesamt auf Basis AG Energiebilanzen, Stand 07/2018

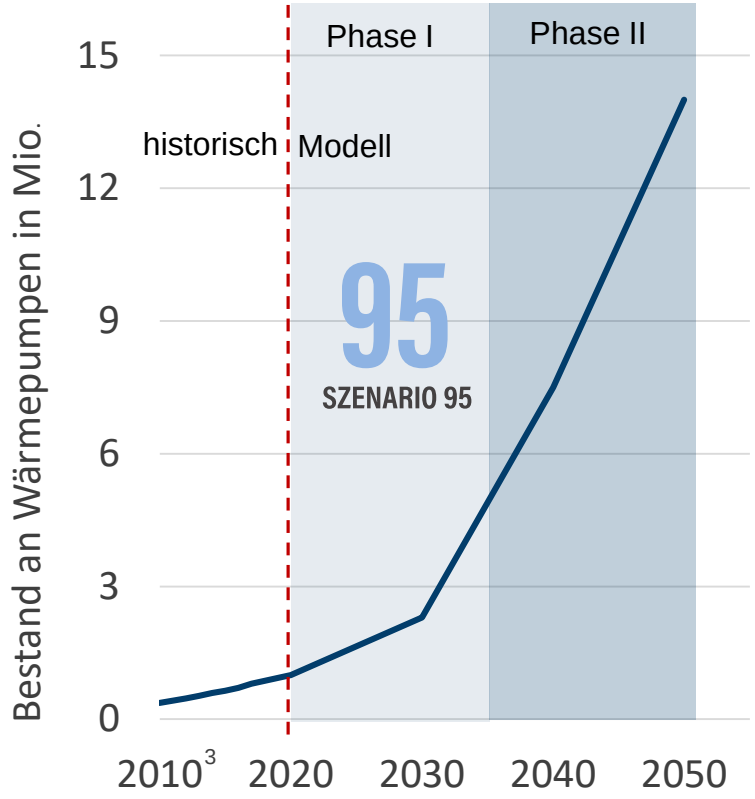


05 Wärmepumpen und Gebäudesanierung als Schlüssel für einen klimaneutralen Gebäudesektor

Entwicklungen im Gebäudesektor

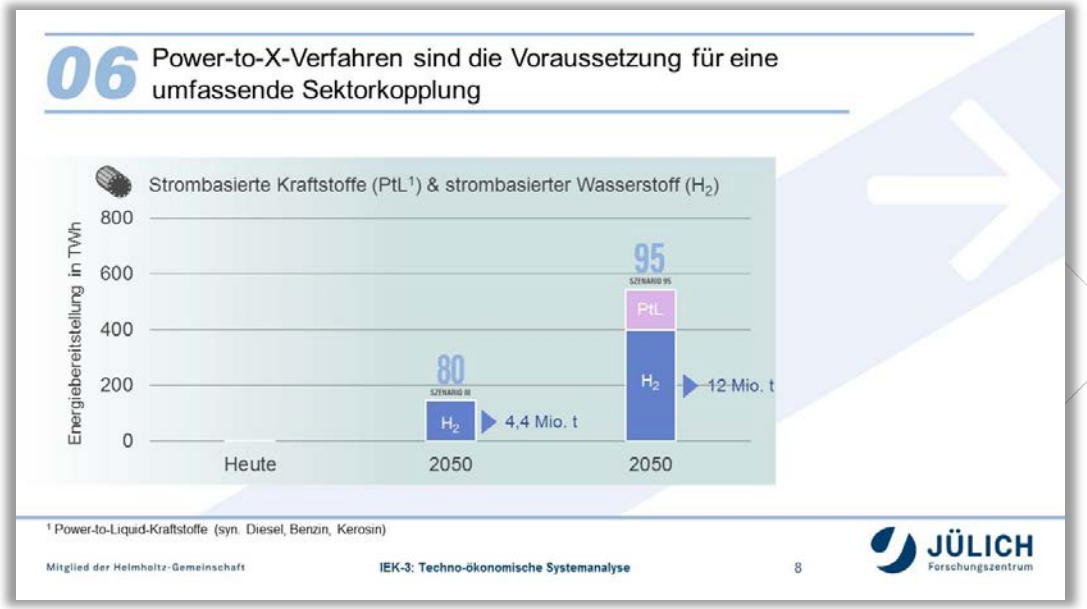






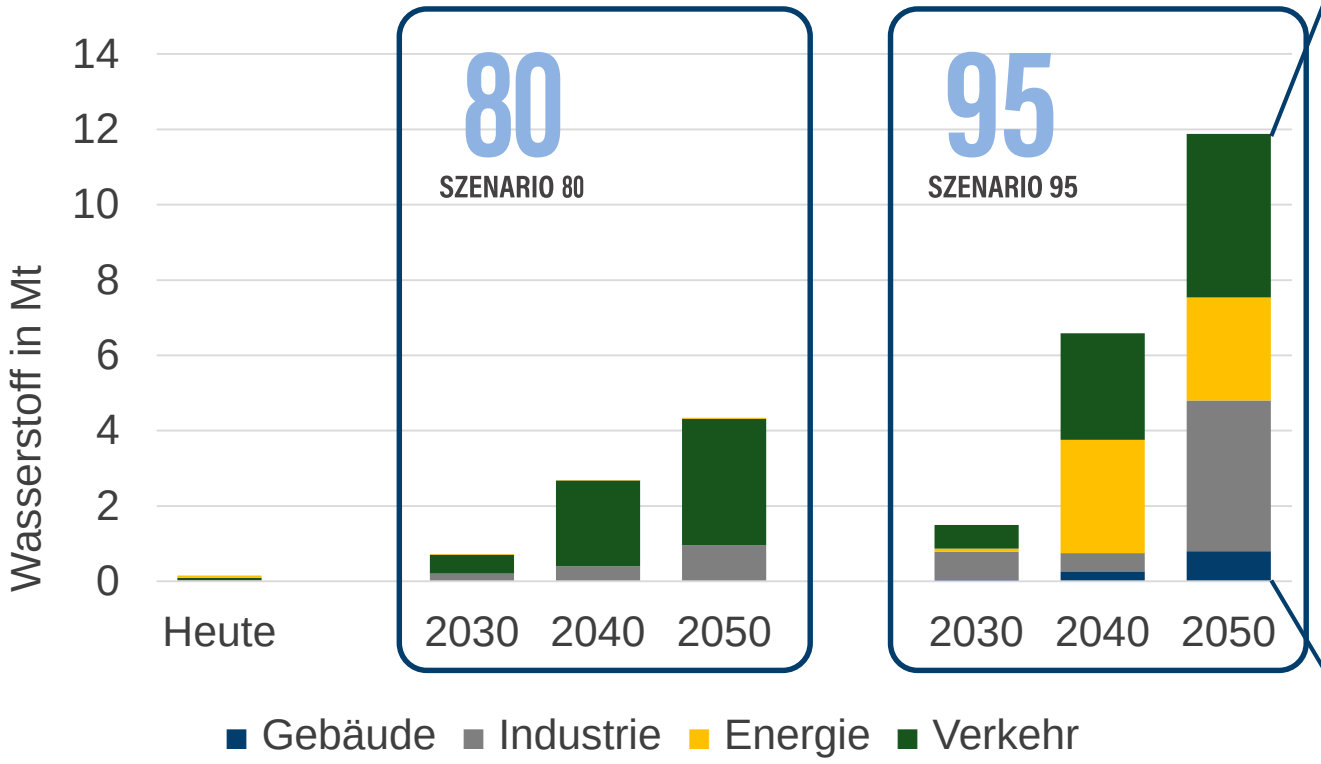
- Phase I: Fokus auf energetische Gebäudesanierung (2020 – 2035)
- Phase II: Aufstieg der Wärmepumpe zur wichtigsten Heiztechnik (2035 – 2050)

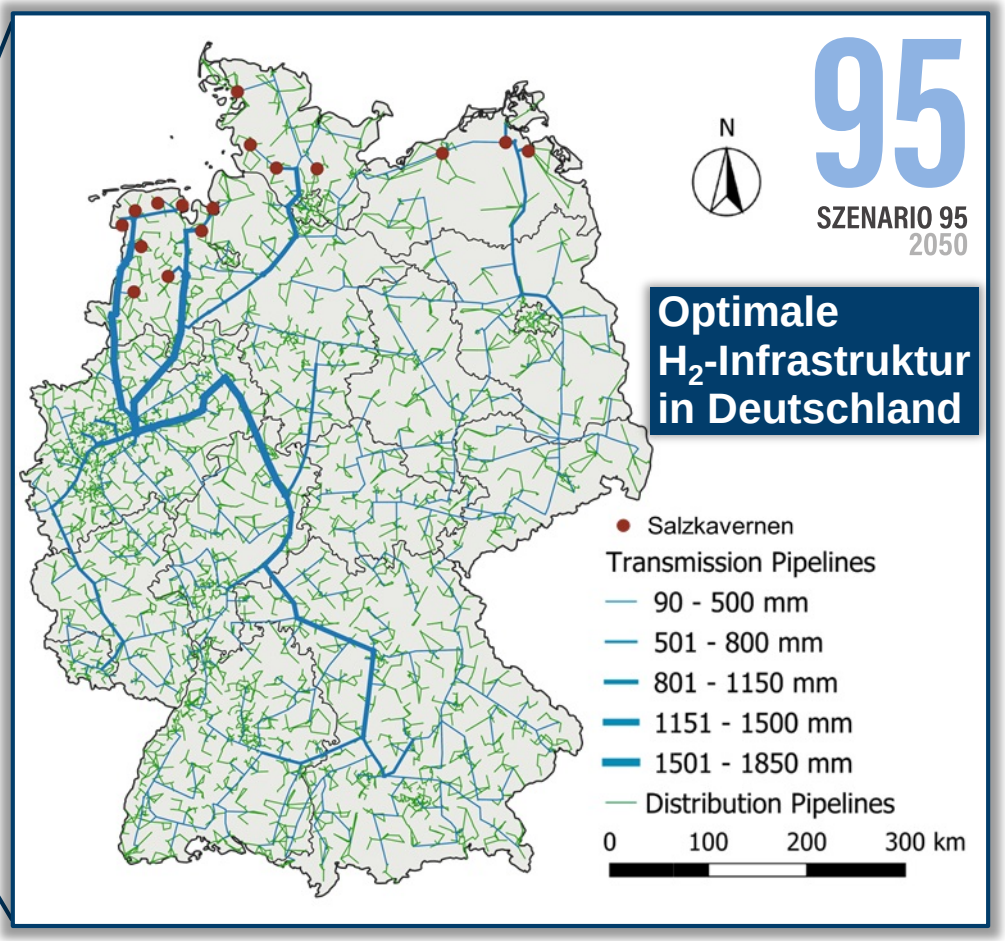
[1] Quelle: BMWi, Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, Stand August 2019
[2] Quelle: dena, dena-Gebäudereport Kompakt 2018
[3] Quelle: Bundesverband Wärmepumpen e.V.: BWP Marktzahlen 2018, Stand Januar 2019



06 Power-to-X-Verfahren sind die Voraussetzung für eine umfassende Sektorkopplung

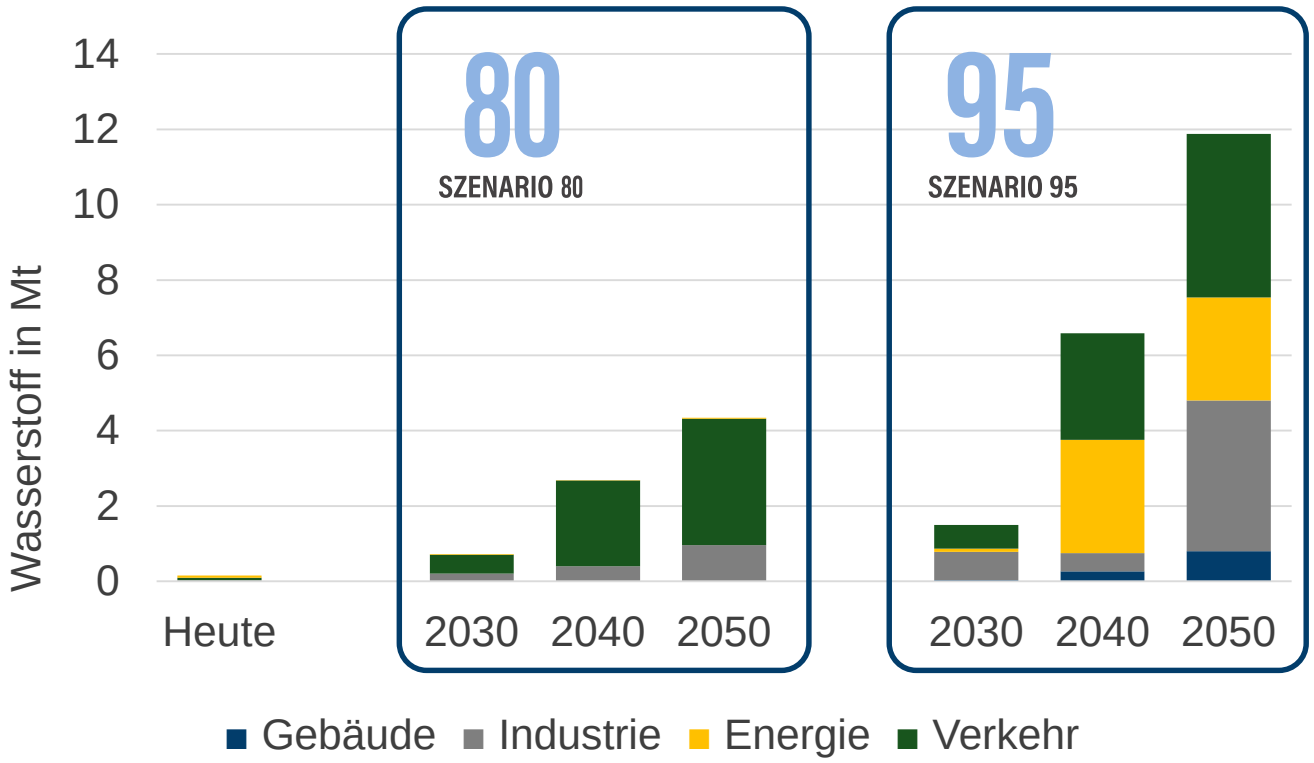
Wasserstoffbedarf und -infrastruktur

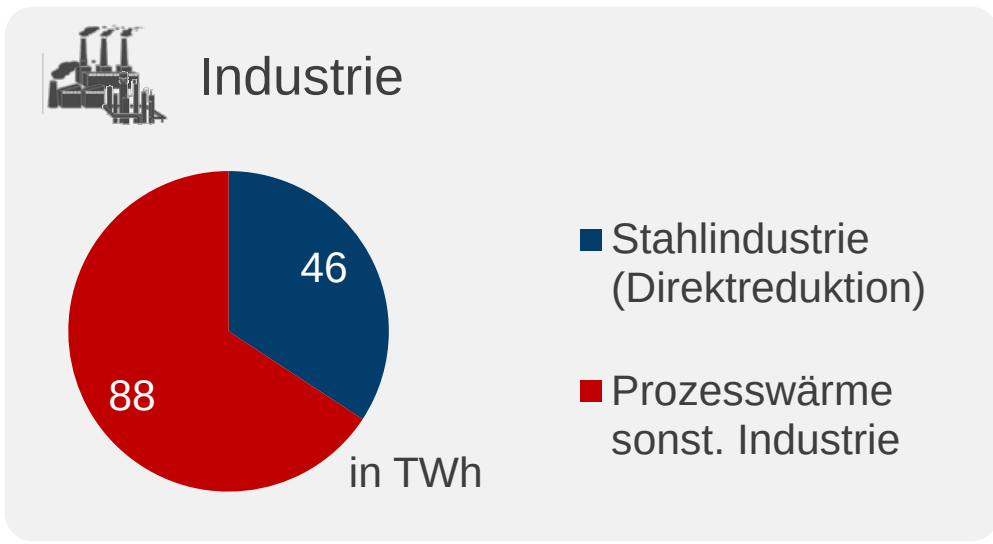




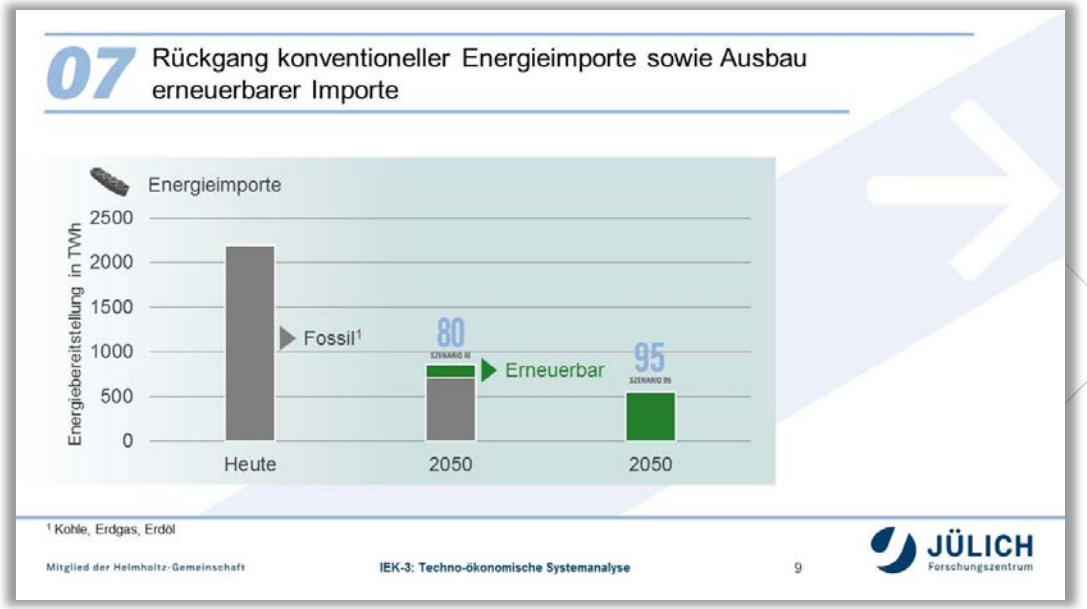
- Wasserstoffpipeline kostenoptimale Infrastruktur → Erdgaspipelineumwidmung
- Salzkavernen im Norden Deutschlands zur Langzeitspeicherung

Wasserstoffbedarf und -infrastruktur



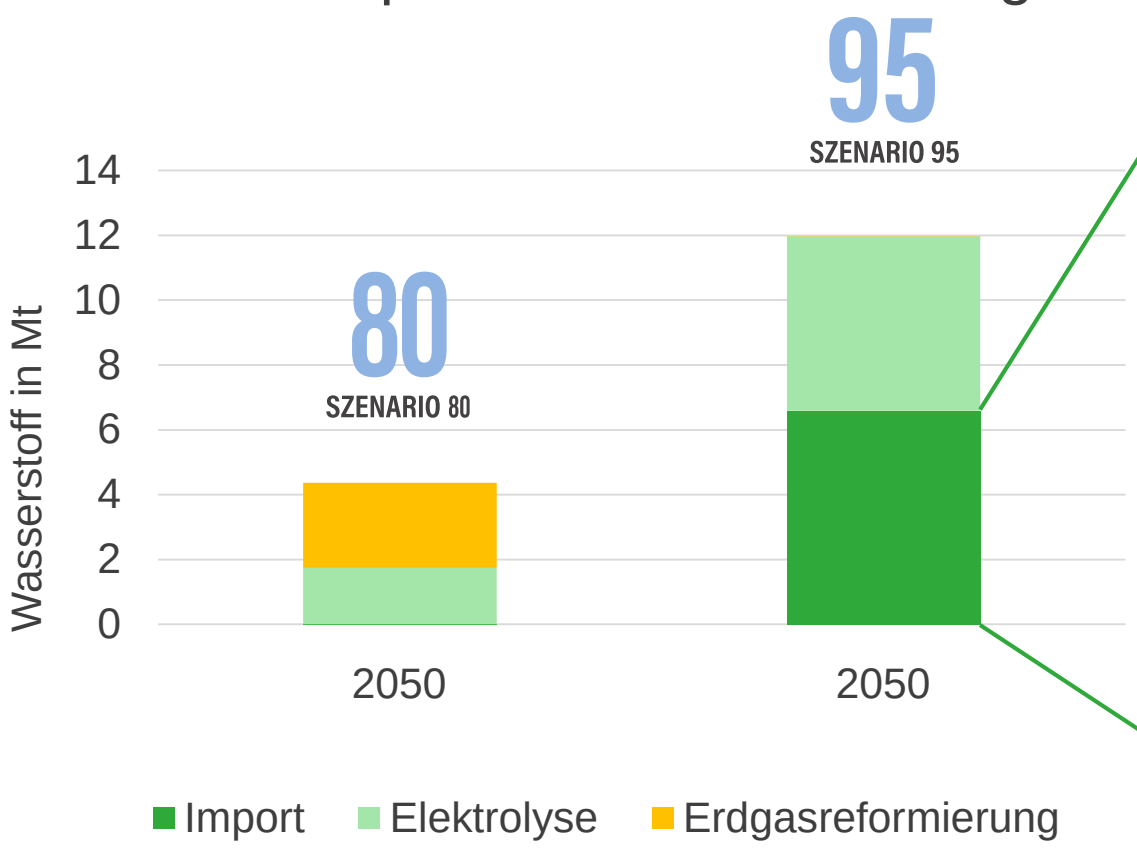


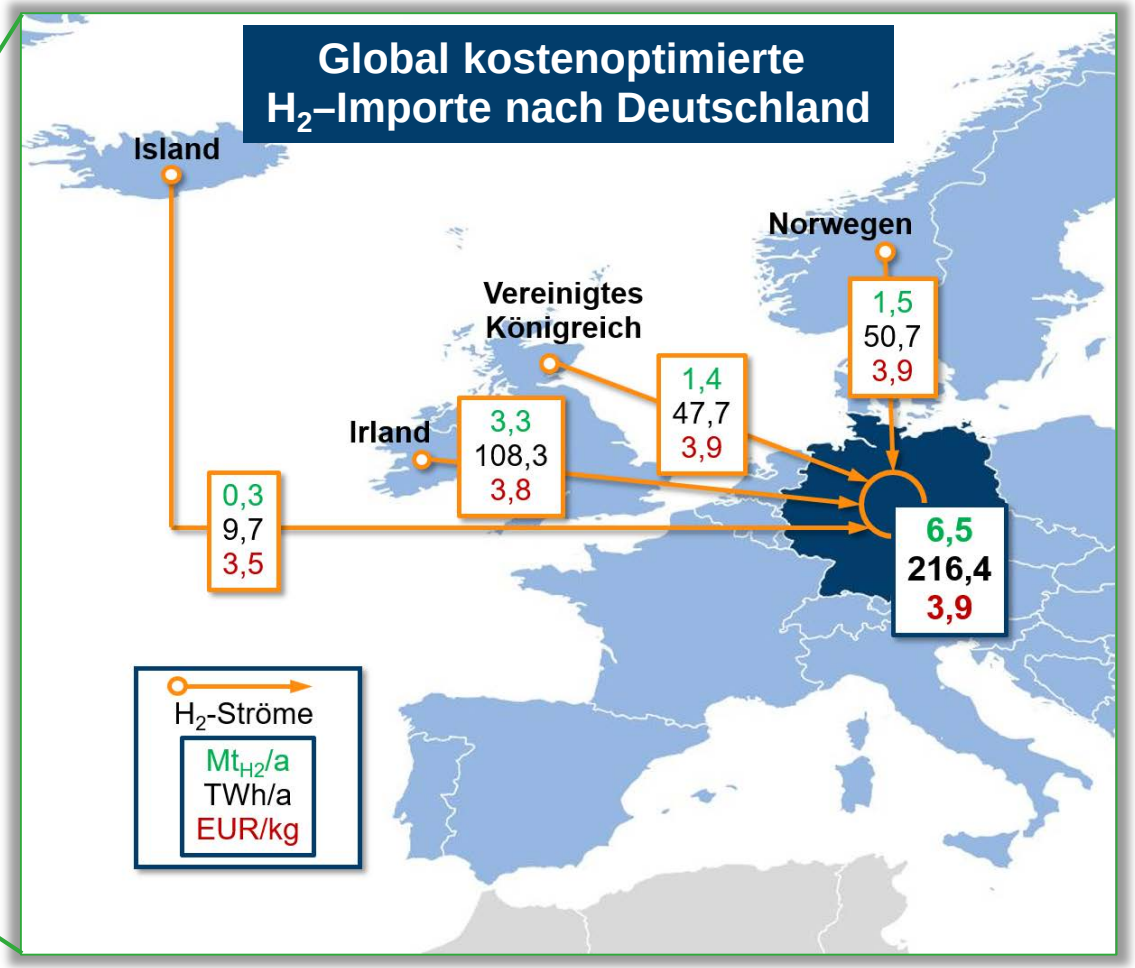
- Szenario 80 Wasserstoffverbrauch mit 4 Millionen t (besonders im Verkehr & in Industrie)
- Szenario 95 Wasserstoffverbrauch bei 12 Millionen t in allen Sektoren



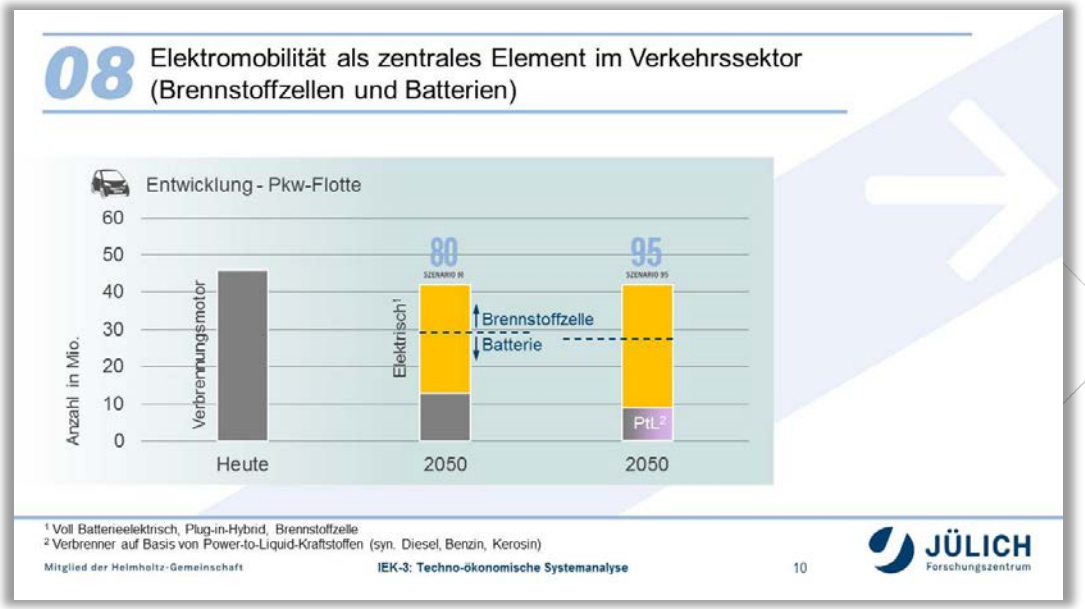
07 Rückgang konventioneller Energieimporte sowie Ausbau erneuerbarer Importe

Wasserstoffimport und -bereitstellung



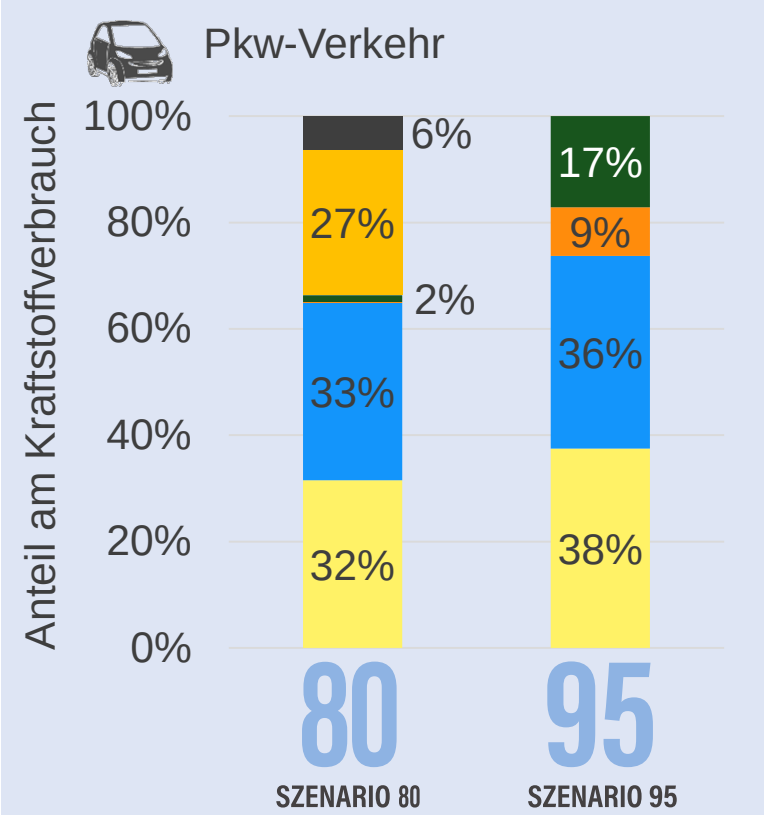


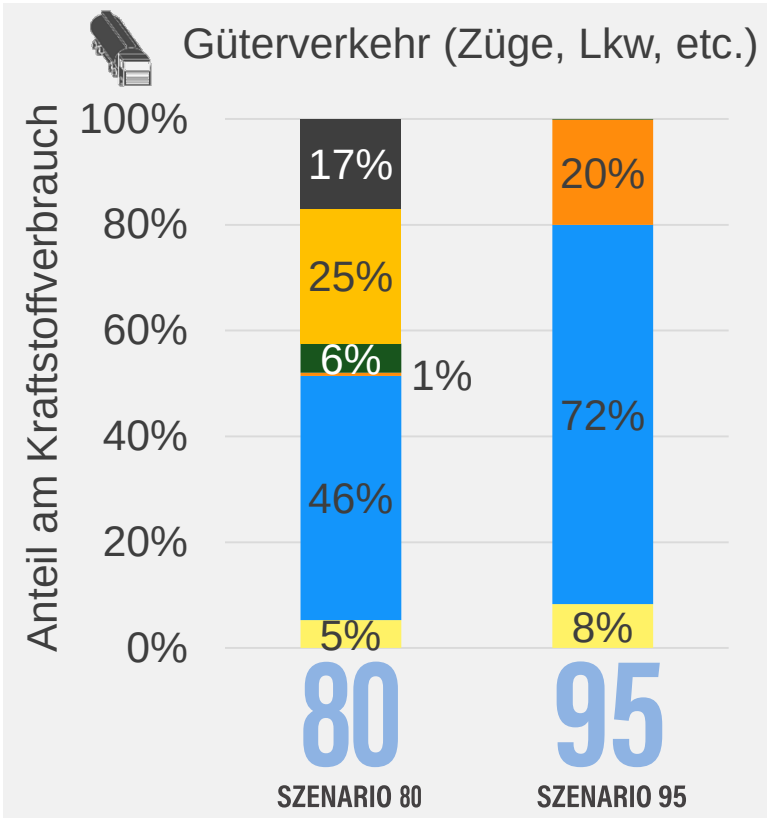
- Ziele des Szenario 95 nur mit Energieimporten kostenoptimal erreichbar
- Inländische Wasserstoffproduktion zum Teil selbst im weltweiten Vergleich wettbewerbsfähig



08 Elektromobilität als zentrales Element im Verkehrssektor (Brennstoffzellen und Batterien)

Kraftstoffnutzung im Verkehrssektor im Jahr 2050





Kraftstoff

- Strom
- Wasserstoff
- Power-to-Liquid-Kraftstoffe
- Bio-Kraftstoffe
- CNG[1]/LNG[2]/SNG[3]
- Fossile Kraftstoffe

Verkehrsentwicklung

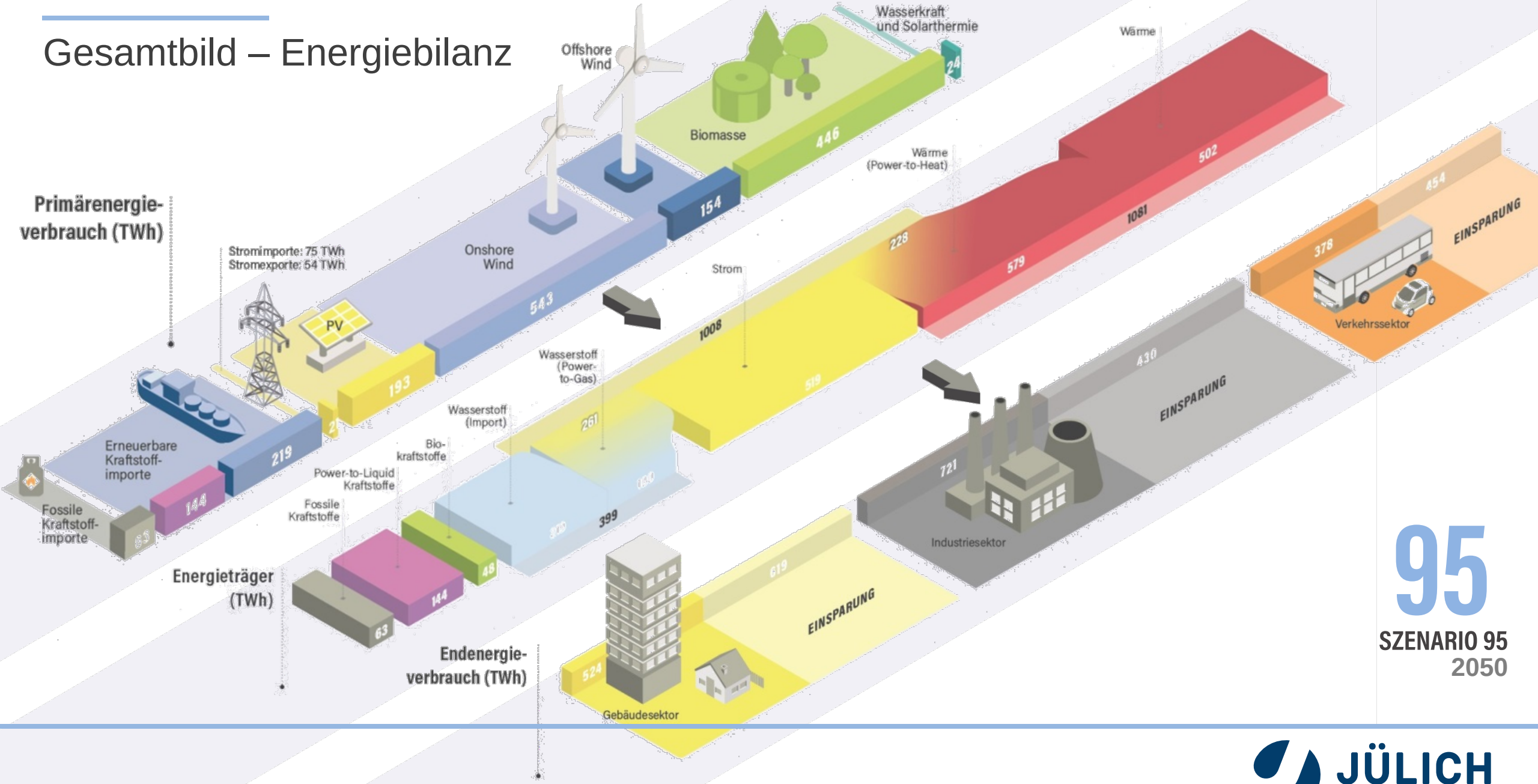
	heute[6]	2050[7]
Mrd. pkm[4]	950 ↘	867
Mrd. tkm[5]	678 ↗	945

- CO_2-freie Elektrizität Basis für den zukünftigen Kraftstoffmix des PKW-Verkehrs
- Güterverkehr größtenteils über Wasserstoff und Power-to-Liquids

[1] komprimiertes Erdgas, [2] Flüssigerdgas, [3] Synthetisches Erdgas, [4] Personenkilometer, [5] Tonnenkilometer

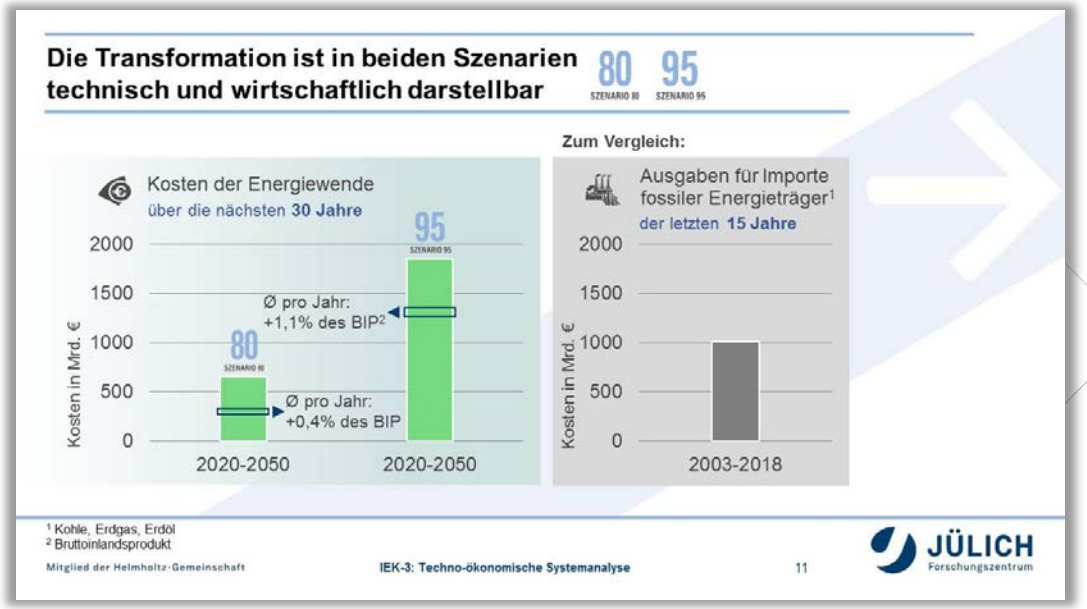
[6] https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr, [7] Gerbert et al. Klimapfade für Deutschland. BDI (2018)

Gesamtbild – Energiebilanz



95

SZENARIO 95
2050



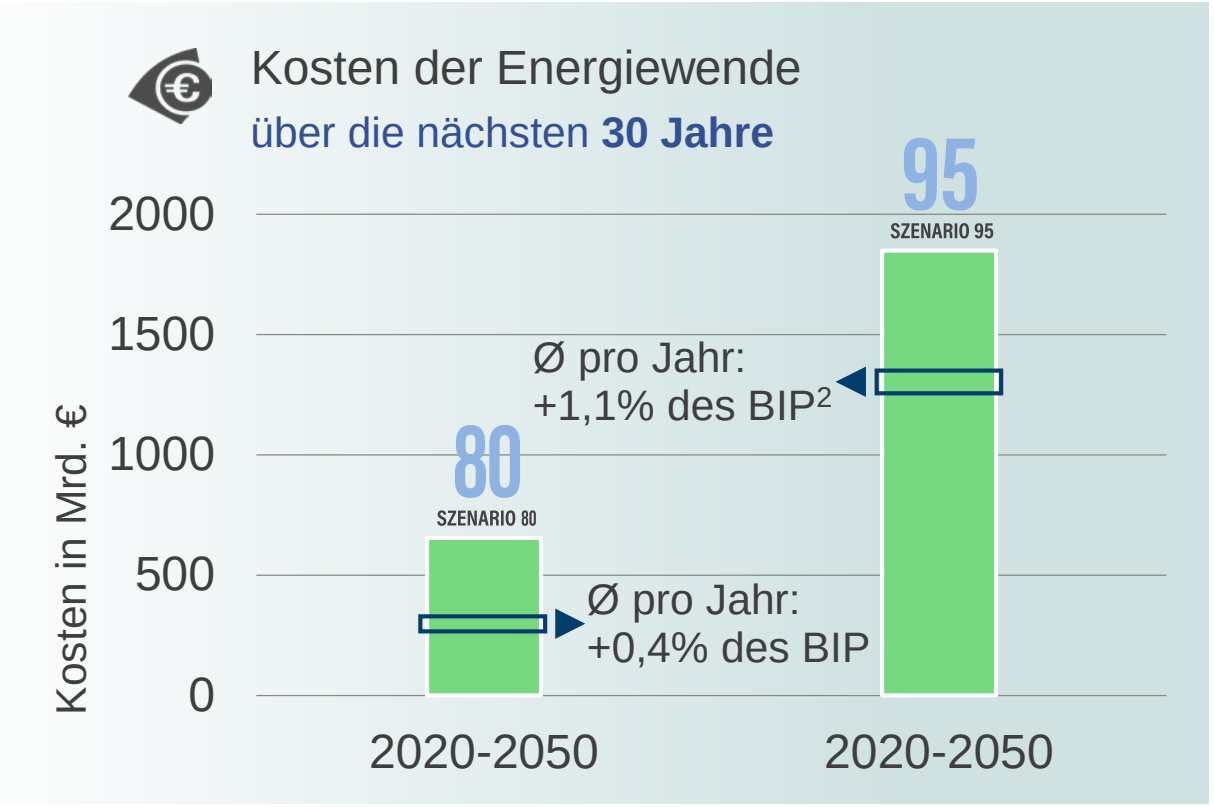
Die Transformation ist in beiden Szenarien technisch und wirtschaftlich darstellbar

80 SZENARIO 80

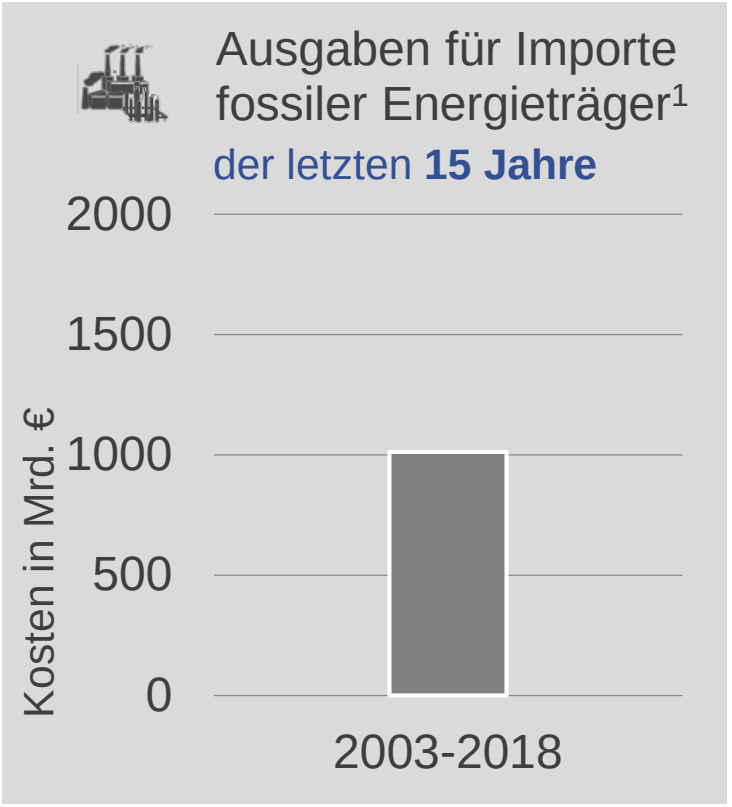
95 SZENARIO 95

Die Transformation ist in beiden Szenarien technisch und wirtschaftlich darstellbar

80 SZENARIO 80 95 SZENARIO 95

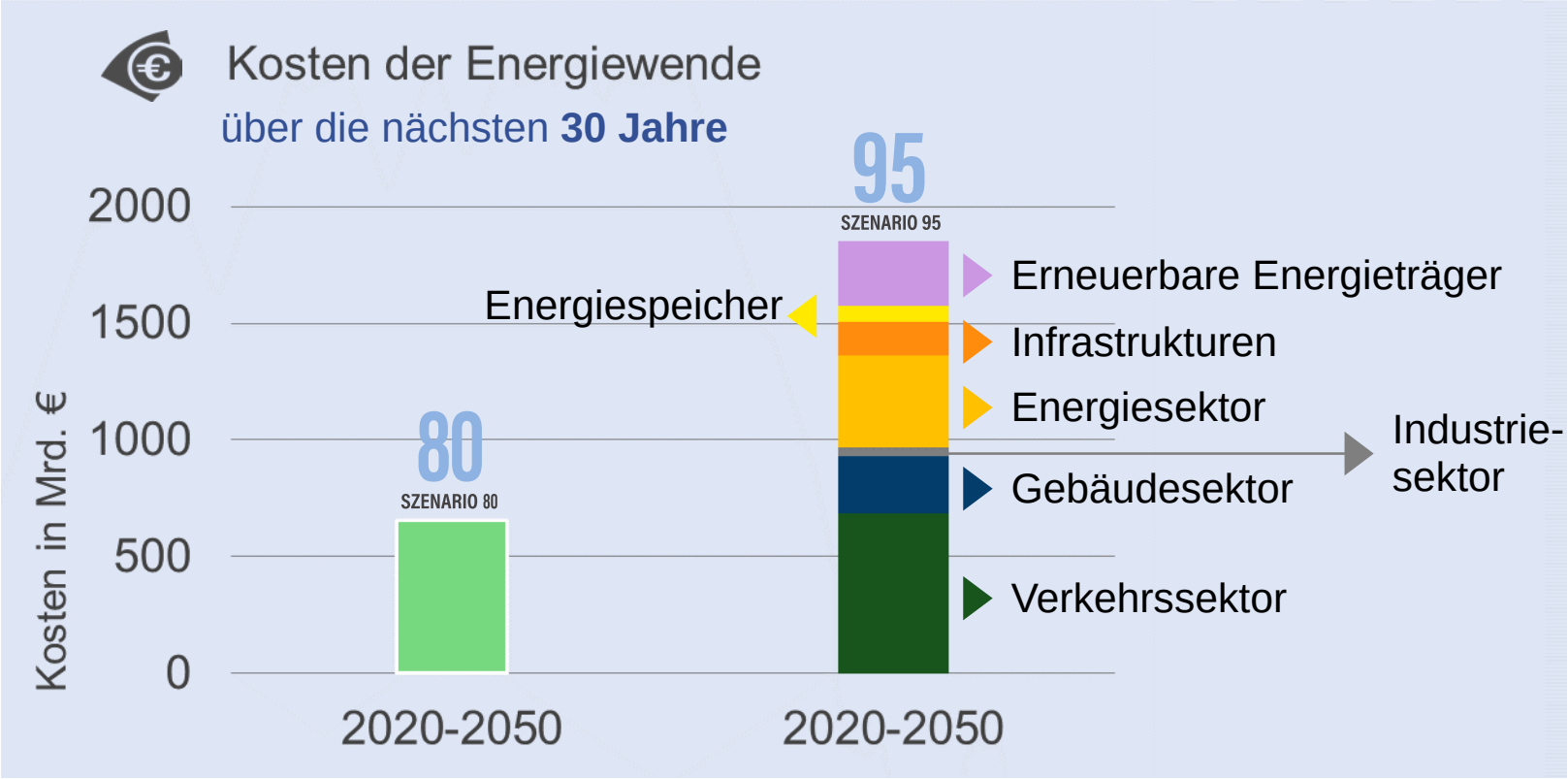


Zum Vergleich:



[1] Kohle, Erdgas, Erdöl
[2] Bruttoinlandsprodukt

Kosten der Energiewende aufgeschlüsselt



- Verkehrssektor mit den höchsten Kosten (Anreize für Suffizienz)
- Infrastrukturen und Speicher essentiell, aber Kosten überschaubar

Kernergebnisse

01 Reduktionsstrategien für das Jahr 2050 unterscheiden sich erheblich voneinander

02 Substitution von fossilen Energieträgern führt zu zunehmender Elektrifizierung

03 Zügiger Ausbau erneuerbarer Energien entscheidet über Gelingen der Energiewende

04 Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen muss massiv vorangetrieben werden

05 Wärmepumpen und Gebäudesanierung als Schlüssel für einen klimaneutralen Gebäudesektor

06 Power-to-X-Verfahren sind die Voraussetzung für eine umfassende Sektorkopplung

07 Rückgang konventioneller Energieimporte sowie Ausbau erneuerbarer Importe

08 Elektromobilität als zentrales Element im Verkehrssektor (Brennstoffzellen und Batterien)

Die Transformation ist in beiden Szenarien technisch und wirtschaftlich darstellbar

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit

Auf dieser Seite finden Sie unsere
Studie zum Download
sowie weitere Informationen:

Institut für Energie- und Klimaforschung
Techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3)
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich
Fon +49 (0)2461 61 5147
www.fz-juelich.de

Bei weiteren Fragen zur Studie wenden Sie sich bitte an:

Prof. Dr. Detlef Stolten
+49(0)2461 61 5147
d.stolten@fz-juelich.de

Dr. Martin Robinius
+49(0)2461 61 3077
m.robinius@fz-juelich.de

Dr. Peter Markewitz
+49(0)2461 61 6119
p.markewitz@fz-juelich.de