

# ELEKTRONEN UND MOLEKÜLE

Die Energiewende im Spannungsfeld zwischen Elektrifizierung und stofflichen Energieträgern



Prof. Dr. Hans-Martin Henning

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Parlamentarischer Abend  
VDI Landesverband Baden-Württemberg

Stuttgart, 20. Oktober 2021

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

# Übersicht

Ausgangssituation

Elektrifizierung vs. stoffliche Energieträger

Ergebnisse aus der Systemanalyse

Fazit

# Übersicht

→ **Ausgangssituation**

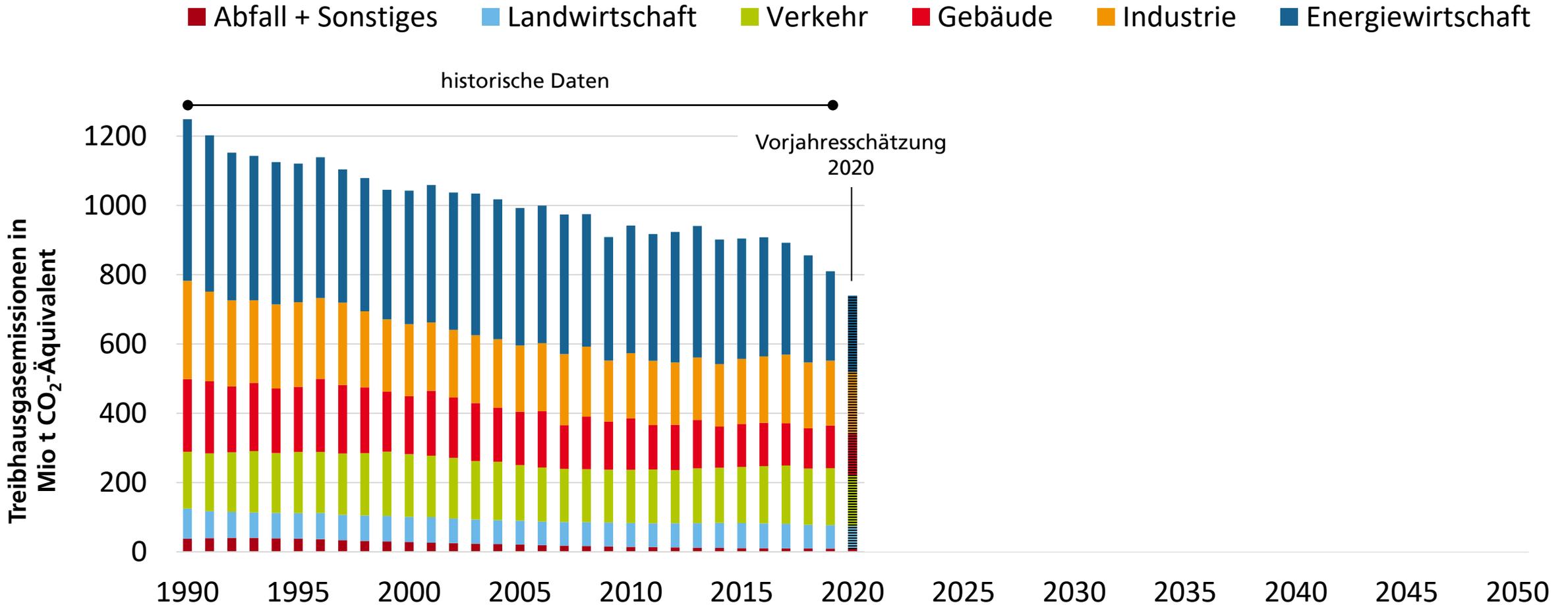
Elektrifizierung vs. stoffliche Energieträger

Ergebnisse aus der Systemanalyse

Fazit

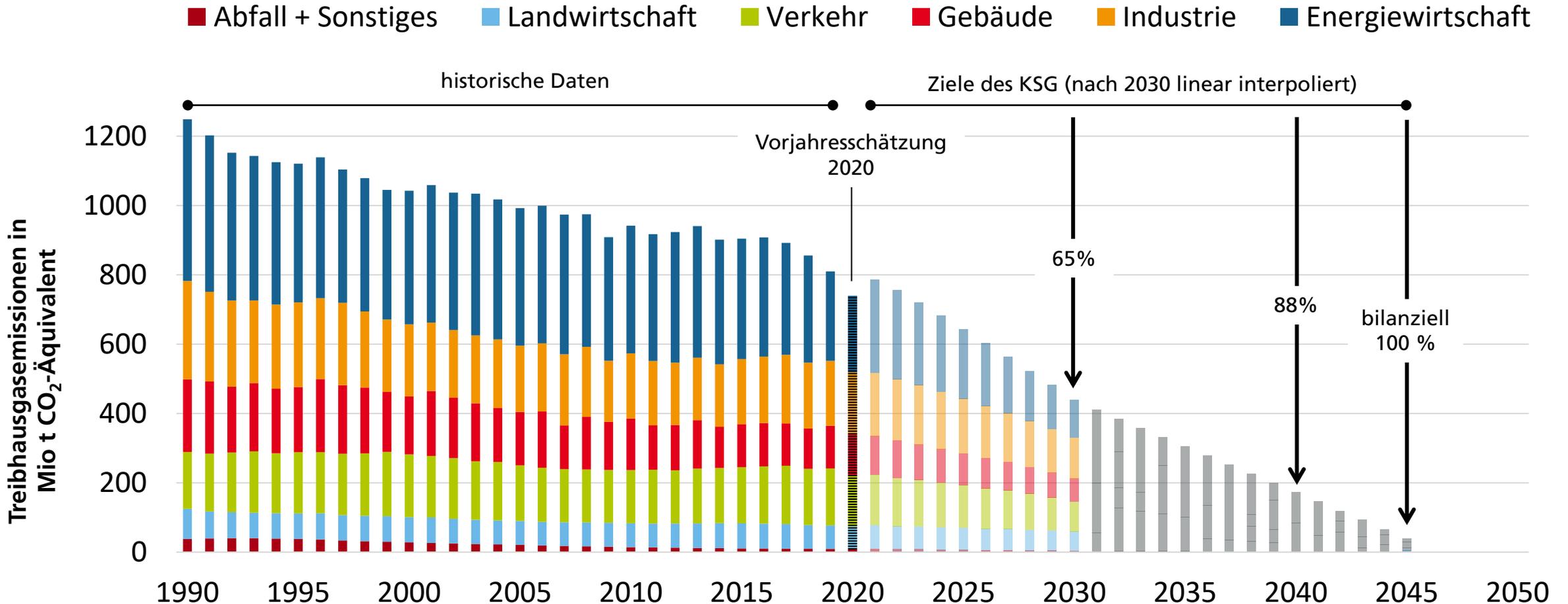
# Ausgangslage

## THG-Emissionen Deutschlands – Historie



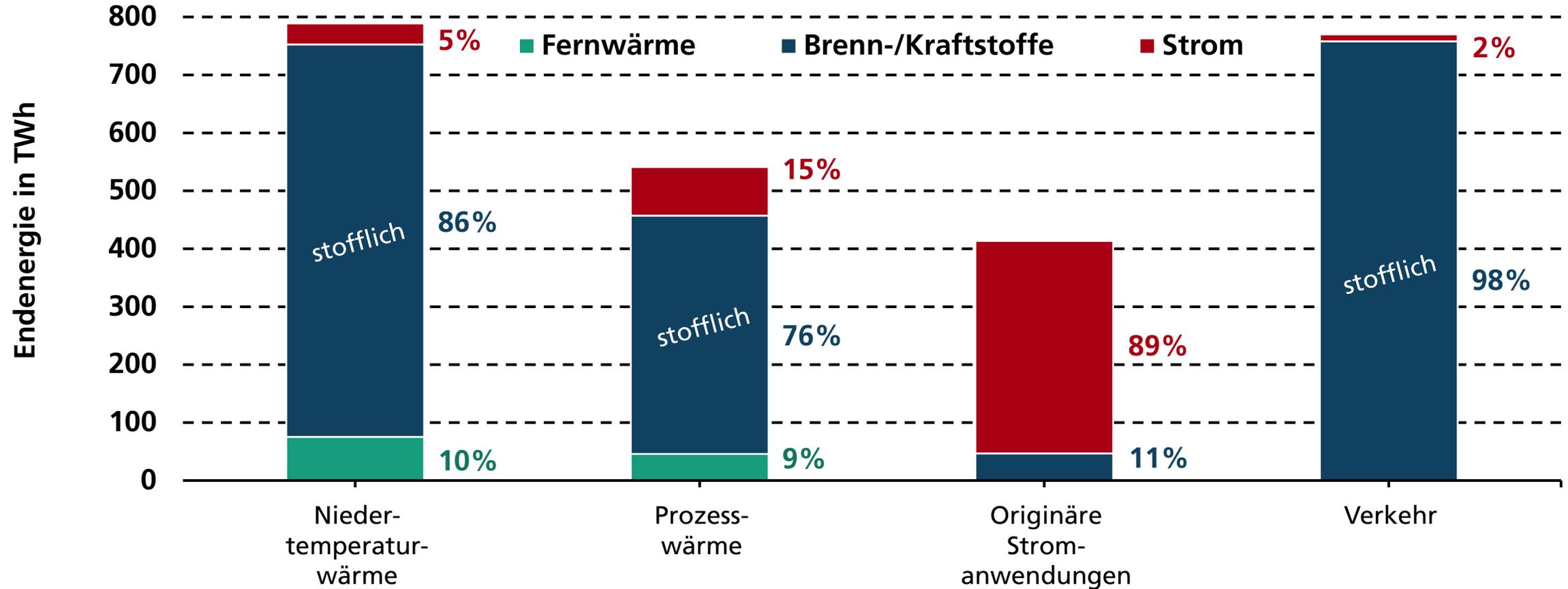
# Ausgangslage

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



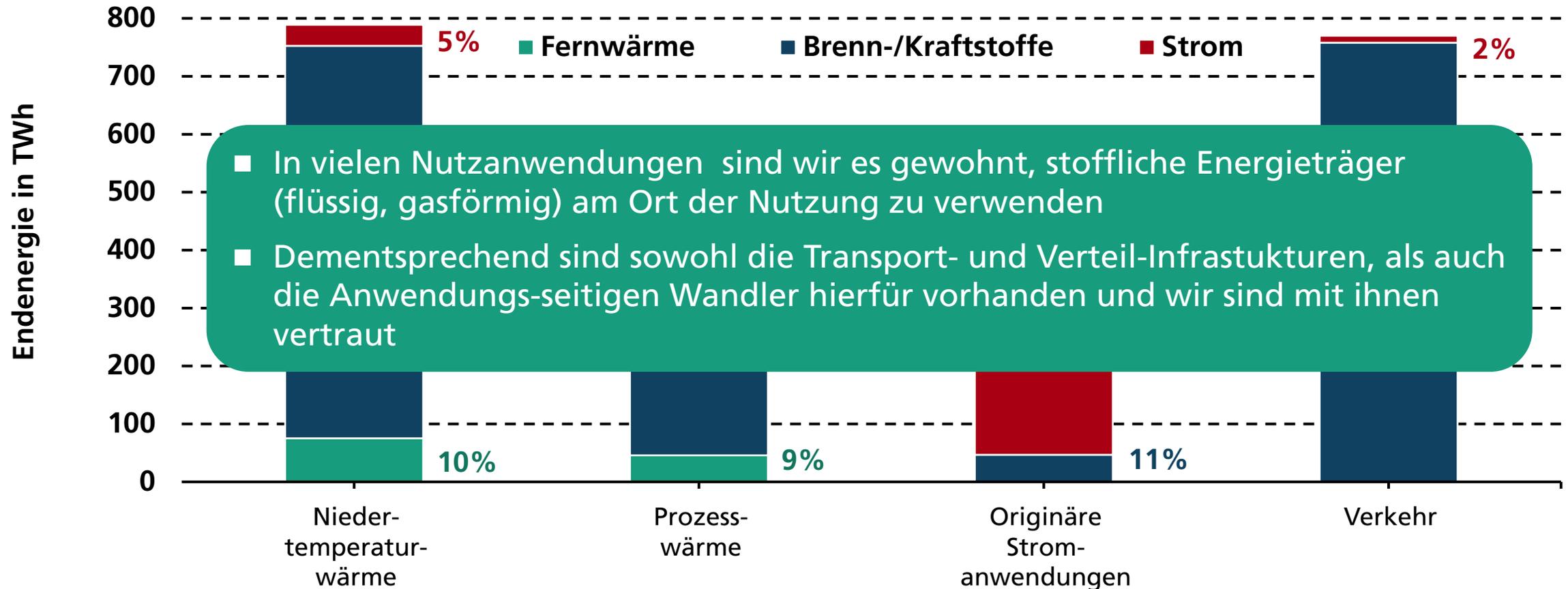
# Ausgangslage

## Endenergie heute – Zusammensetzung nach Nutzananwendungen



# Ausgangslage

## Endenergie heute – Zusammensetzung nach Nutzanwendungen



# Übersicht

Ausgangssituation

→ **Elektrifizierung vs. stoffliche Energieträger**

Ergebnisse aus der Systemanalyse

Fazit

# Elektrifizierung vs. stoffliche Energieträger

## Worum dreht sich die Debatte?

- Es besteht eine breite Übereinstimmung über die zentrale Rolle von **Strom aus erneuerbaren Quellen als tragende Säule der Energiewende**
- Eine offene und **kontrovers geführte Debatte** betrifft aber die **Anteile der direkten und der indirekten Nutzung dieses Stroms**
- Eine **direkte Nutzung** bedeutet eine verstärkte Elektrifizierung der Nutzenergieanwendungen in den Verbrauchssektoren Gebäude, Verkehr und Industrie
- Eine **indirekte Nutzung** bedeutet dagegen die verstärkte Herstellung von Wasserstoff und/oder synthetischen Energieträgern, um diese Verbrauchssektoren zu defossilisieren
- Damit verknüpft ist die Frage, in welchem **Umfang erneuerbarer Strom vor Ort und im Ausland an sonnen- und windreichen Standorten** zur Versorgung in Deutschland beiträgt
- Weitgehender Konsens wiederum besteht, dass es Sektoren gibt, die eine **indirekte Stromnutzung in Form stofflicher Energieträger** erfordern, wie etliche **Industrieprozesse oder der Luft- und Schiffsverkehr**

# Elektrifizierung vs. stoffliche Energieträger

## Die Spannweite der Einschätzungen



Auch Wasserstoff als Energieträger spielt eine große Rolle in den Überlegungen - allerdings nicht da, wo Strom direkt eingesetzt werden kann wie beim Heizen oder beim Straßenverkehr. **"Der Wasserstoff ist der ganz teure Champagner der Energiewende"**, sagte Rainer Baake, Direktor der Stiftung Klimaneutralität. Strombasierte Kraftstoffe, brauche es vor allem im Flug- und Schiffsverkehr, aber etwa auch in der Stahlproduktion und anderen Industrien.

ntv, 22. Oktober 2020



*Robert Schlögl und Anja Karliczek*

Handelsblatt: Es macht also gar nichts, wenn bei uns Windräder blockiert werden?

Schlögl: Das ist ein sinnloser gesellschaftlicher Abnutzungskampf, denn wir werden hier ohnehin niemals autark sein. **Wenn es die Regierung schafft, den heutigen Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch auf Dauer stabil bei 15 Prozent zu halten, wäre das schon ein Riesenerfolg.**

Handelsblatt, 6.2.2020: **„Hinter dem Wasserstoff-Thema verbirgt sich die größte Gelddruckmaschine“**

# Elektrifizierung vs. stoffliche Energieträger

## Optionen Endenergie – Wichtige Gesichtspunkte

Kriterium	Hoher Anteil direkte Stromnutzung	Hoher Anteil Wasserstoff	Hoher Anteil sonstige stoffliche Energieträger
Erzeugung – benötigte Menge EE-Strom	Niedrig	Mittel	Hoch
Erzeugung – Herstellort	Vorrangig D und Europa	Stärker International	Ausgeprägt international
Erzeugung – Bedarf Flexibilisierung	Am höchsten	Mittel	Am niedrigsten
Erzeugung – Sonstiges	Vor-Ort-Erzeugung (Gebäude-PV)	Elektrolyse trägt zu Flexibilisierung bei	Kohlenstoffquelle erforderlich
Transportinfrastruktur in D	Ausbau Übertragungs- und Verteilnetze Strom; Ladeinfrastruktur	Aufbau Infrastruktur	Infrastruktur vorhanden
Transportinfrastruktur international	Ausbau Übertragungsnetz Europa	Aufbau Infrastruktur (Pipelines, Seefahrt)	Infrastruktur vorhanden
Verbrauchsseite	Elektrifizierung Nachfrageseite (z.B. Wärmepumpen, E-Mobilität)	Unterschiedlich aufwändig (z.B. Kessel einfach, Mobilität aufwändig)	Geringe Änderungen notwendig
Speicherung	Kurzzeit möglich, Langzeit nur über stoffliche Energieträger	Auch Langzeit möglich	Auch Langzeit möglich und etabliert
Import-Abhängigkeit	Am geringsten	Mittel	Am höchsten

# Übersicht

Ausgangssituation

Elektrifizierung vs. stoffliche Energieträger

→ **Ergebnisse aus der Systemanalyse**

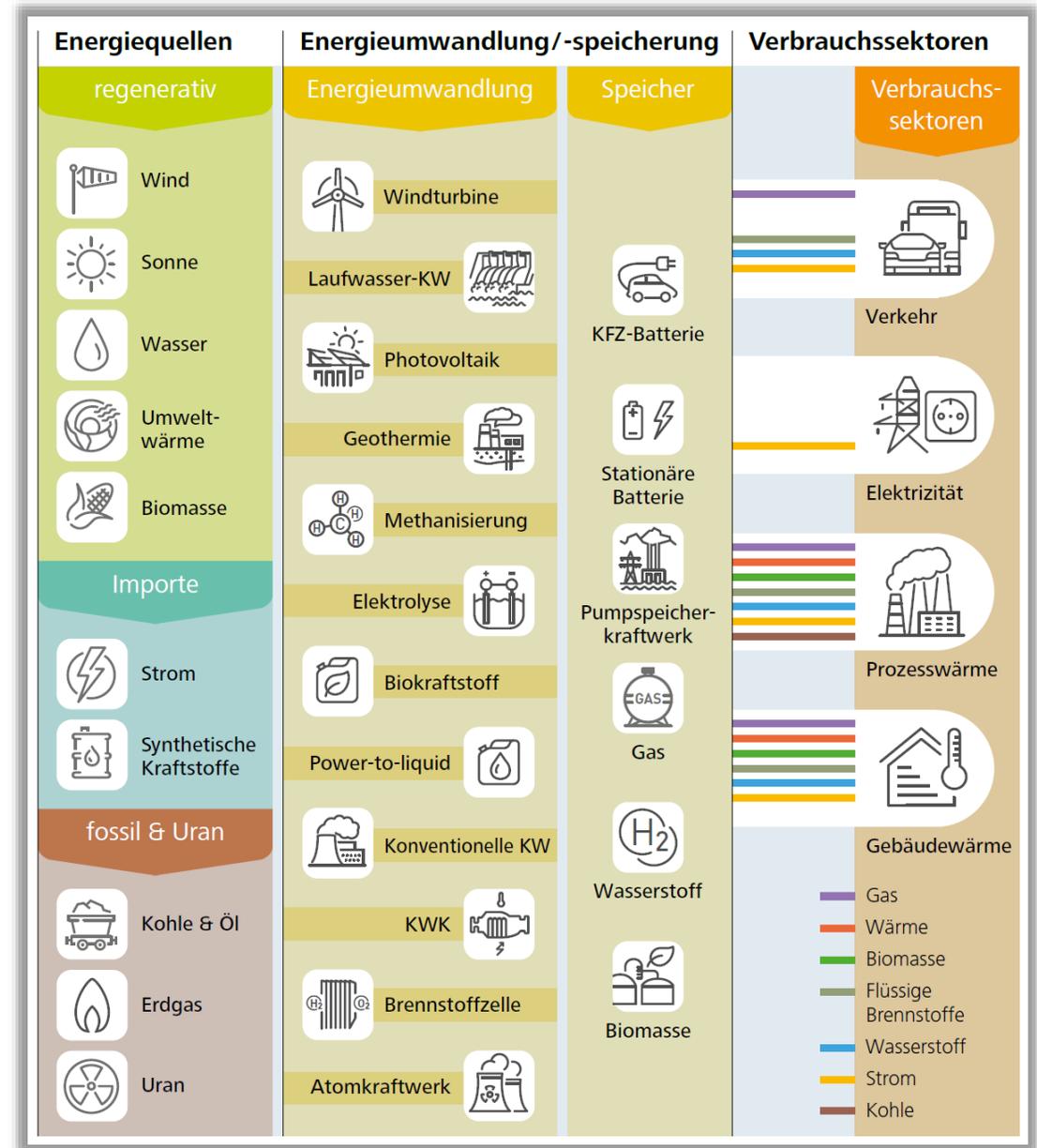
Fazit

# Systemanalyse – Methodik

## Regenerative Energien Modell REMod

### Modell zur Simulation und Optimierung der Entwicklung nationaler Energiesysteme

- Einbeziehung aller Verbrauchssektoren und Energieträger
- Einhalten der Emissionsziele nach Bundes-Klimaschutzgesetz (Weg und Ziel, Klimaneutralität 2045)
- Minimierung der Transformationskosten
- Stundengenaue Modellierung von heute bis zum Zieljahr 2045



# Systemanalyse

## Betrachtete Szenarien

### »Referenz«

- Keine spezifischen Vorgaben
- Systementwicklung folgt Gesamtkostenoptimum unter Einhaltung der Klimaschutzziele

Kosten-  
optimaler  
Pfad

### »Beharrung«

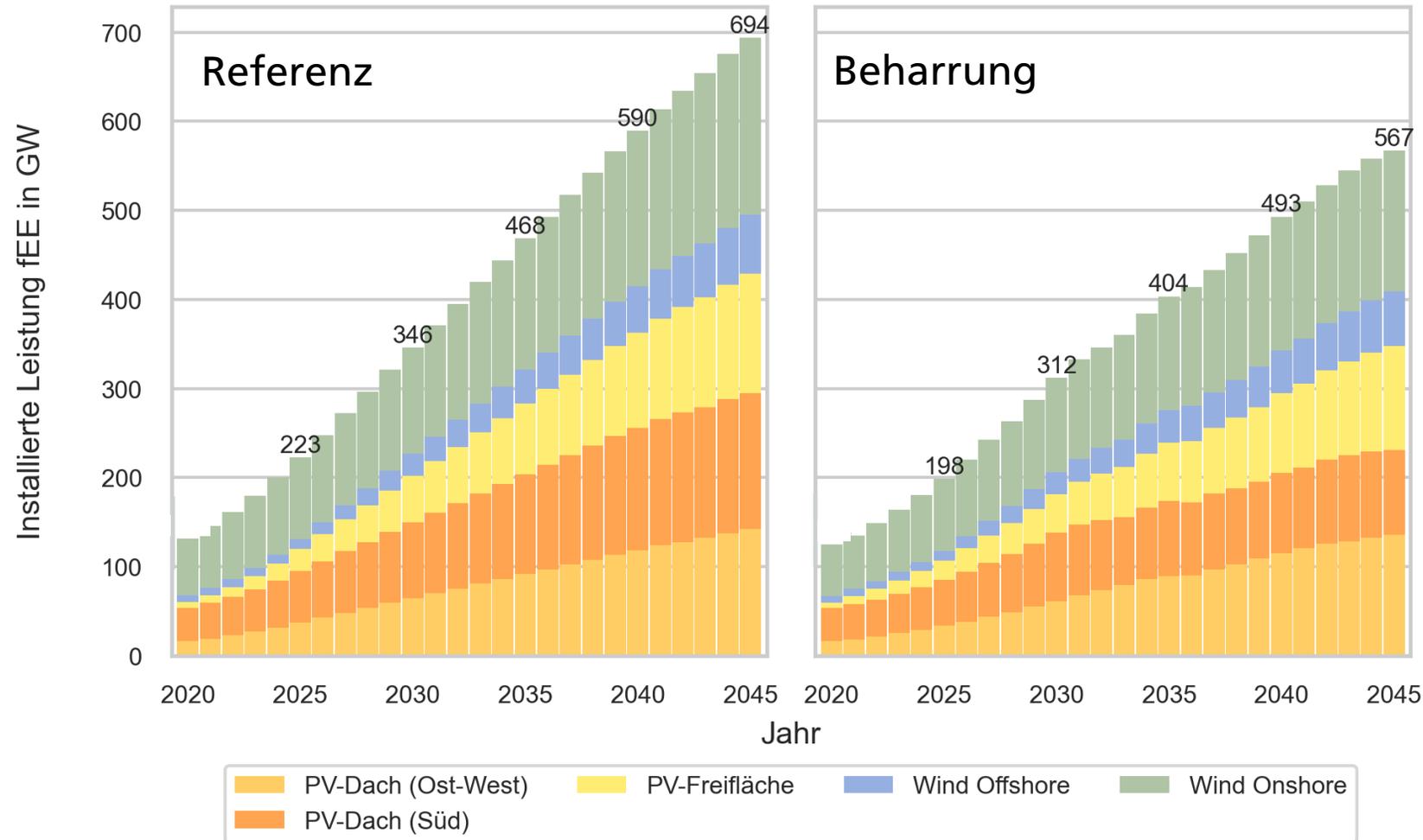
#### Vorgaben

- Transport: hoher Anteil Verbrennungsmotoren
- Gebäude: hoher Anteil Heizkessel, weniger Wärmepumpen und langsame Sanierung Gebäude
- Mehr Import synthetischer Kraftstoffe notwendig

Beharrung auf  
konventionellen  
Technologien

# Ergebnisse Systemanalyse

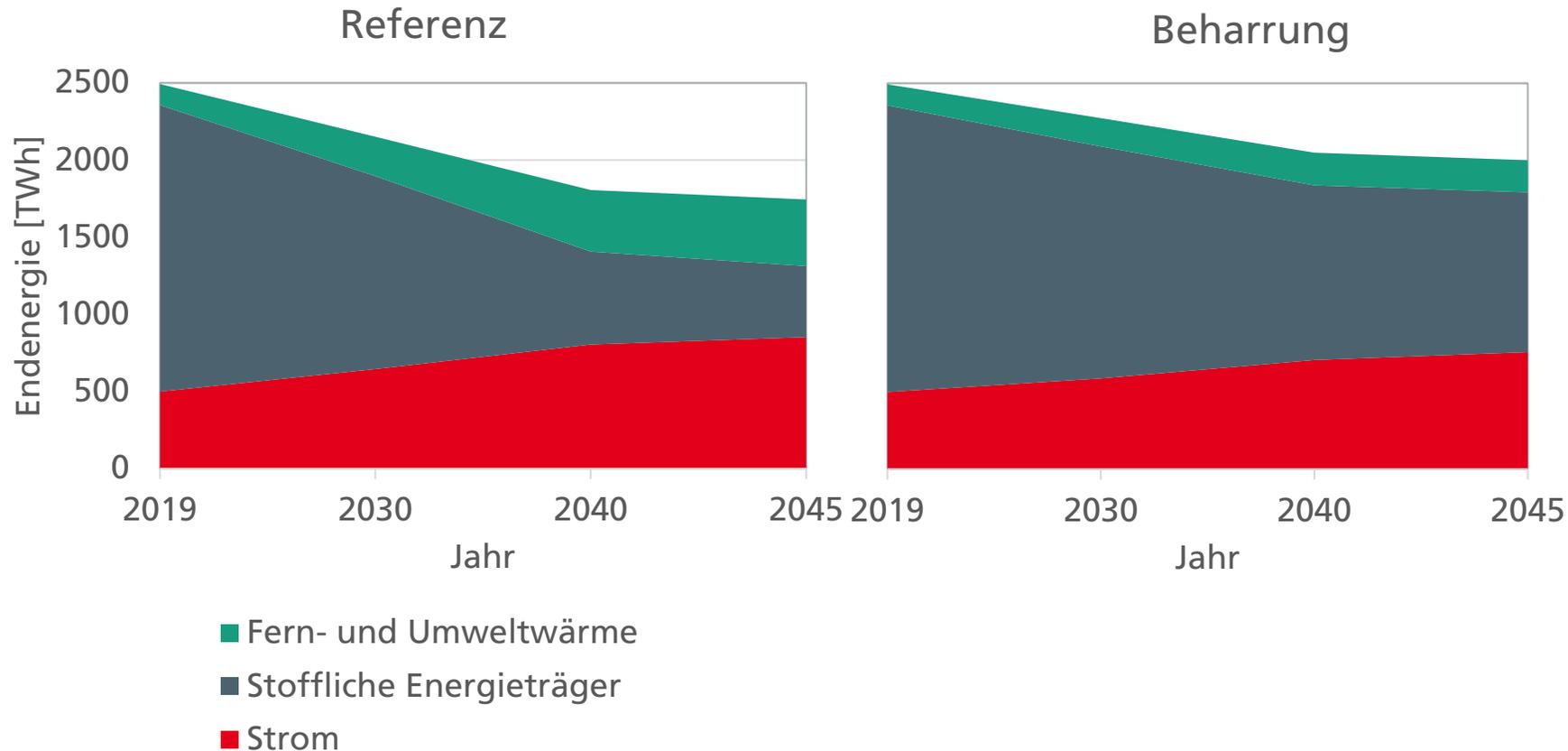
## Ausbau Solar und Wind



Bei »Beharrung«  
geringerer Ausbau Wind  
und Solar in Deutschland

# Ergebnisse Systemanalyse

## Zusammensetzung Endenergie nach Energieträgern

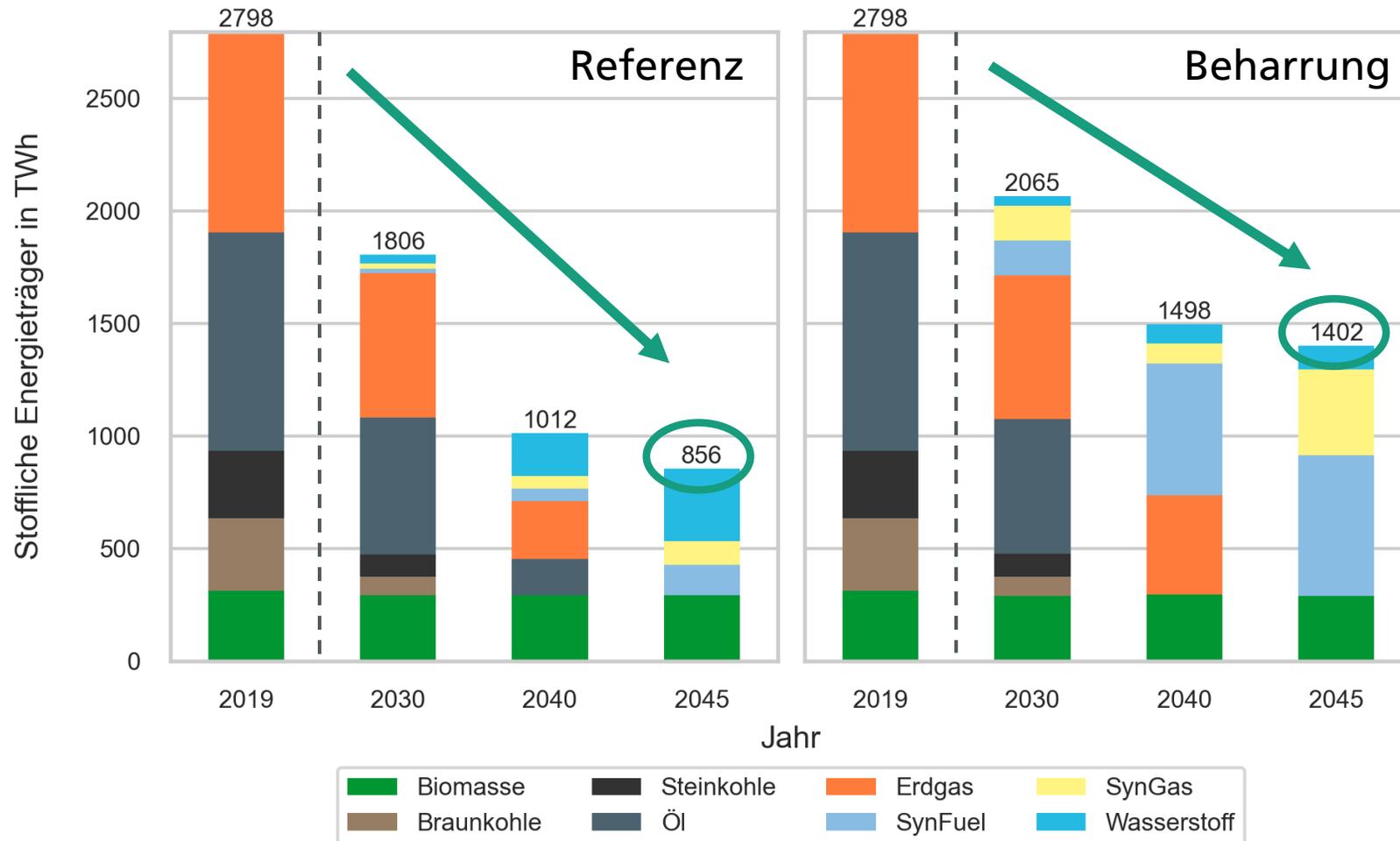


Endenergiebedarf sinkt bei beiden Entwicklungen (höhere Systemeffizienz)

Bei »Beharrung« auch zukünftig erhebliche Mengen stofflicher Energieträger und ein insgesamt höherer Bedarf an Endenergie

# Ergebnisse Systemanalyse

## Bedarf stofflicher Energieträger (einschließlich Biomasse)

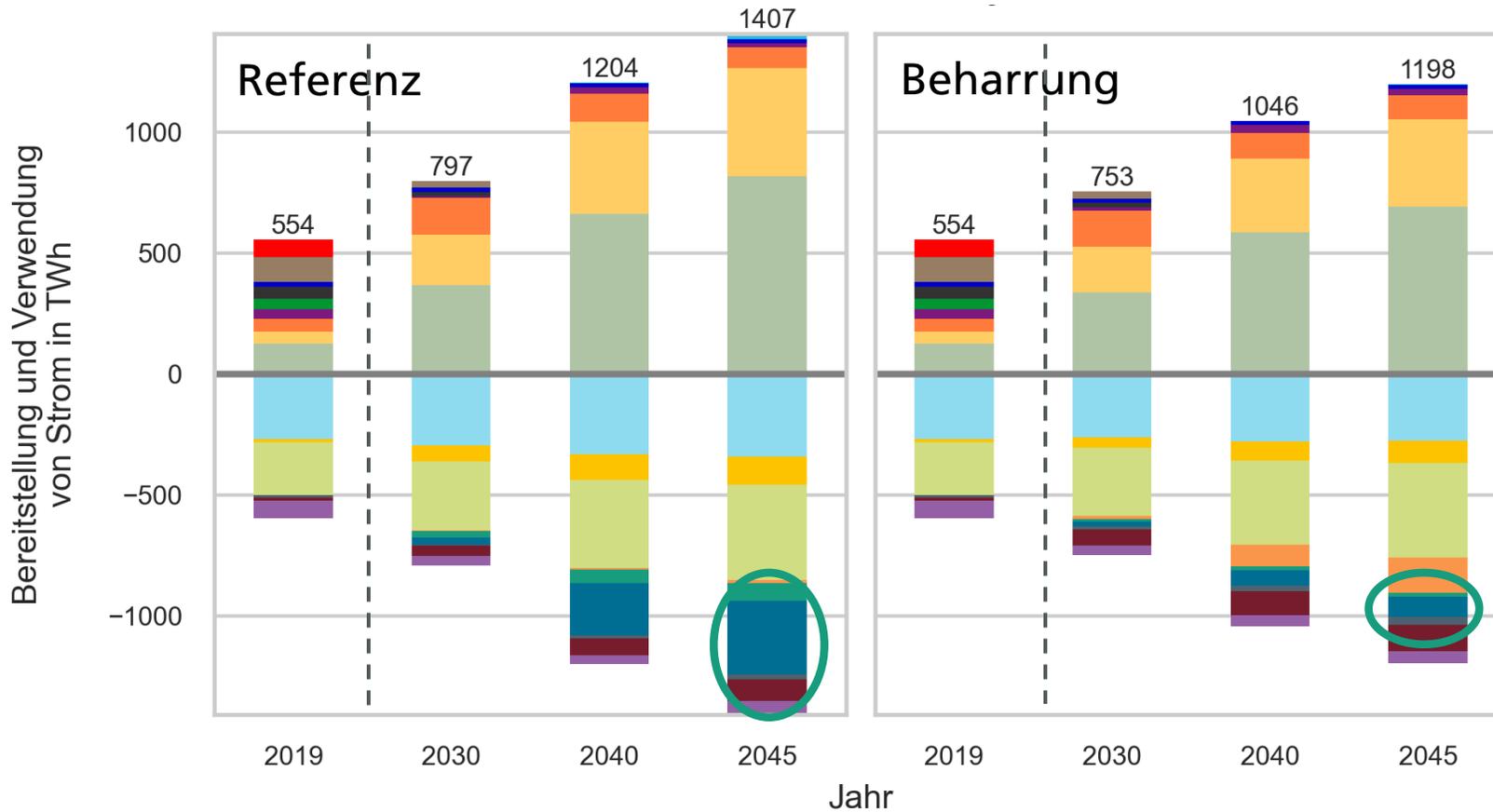


Bei beiden Entwicklungen sinkt der Anteil stofflicher Energieträger substantziell, bei »Beharrung« allerdings weniger stark

Der Importanteil beträgt bei »Beharrung« im Jahr 2045 975 TWh (70 %) und bei »Referenz« 347 TWh (40 %)

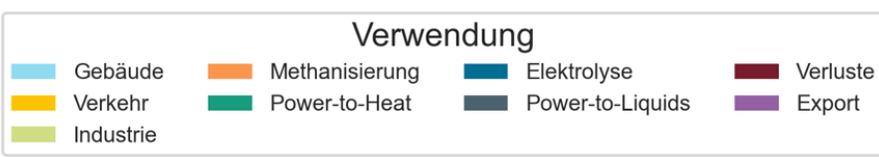
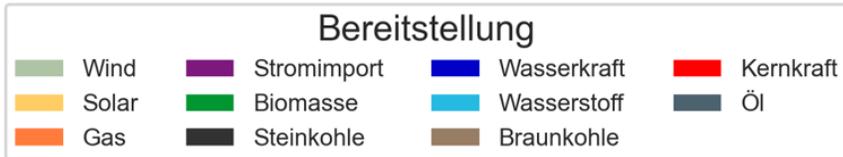
# Ergebnisse Systemanalyse

## Stromerzeugung und Verwendung



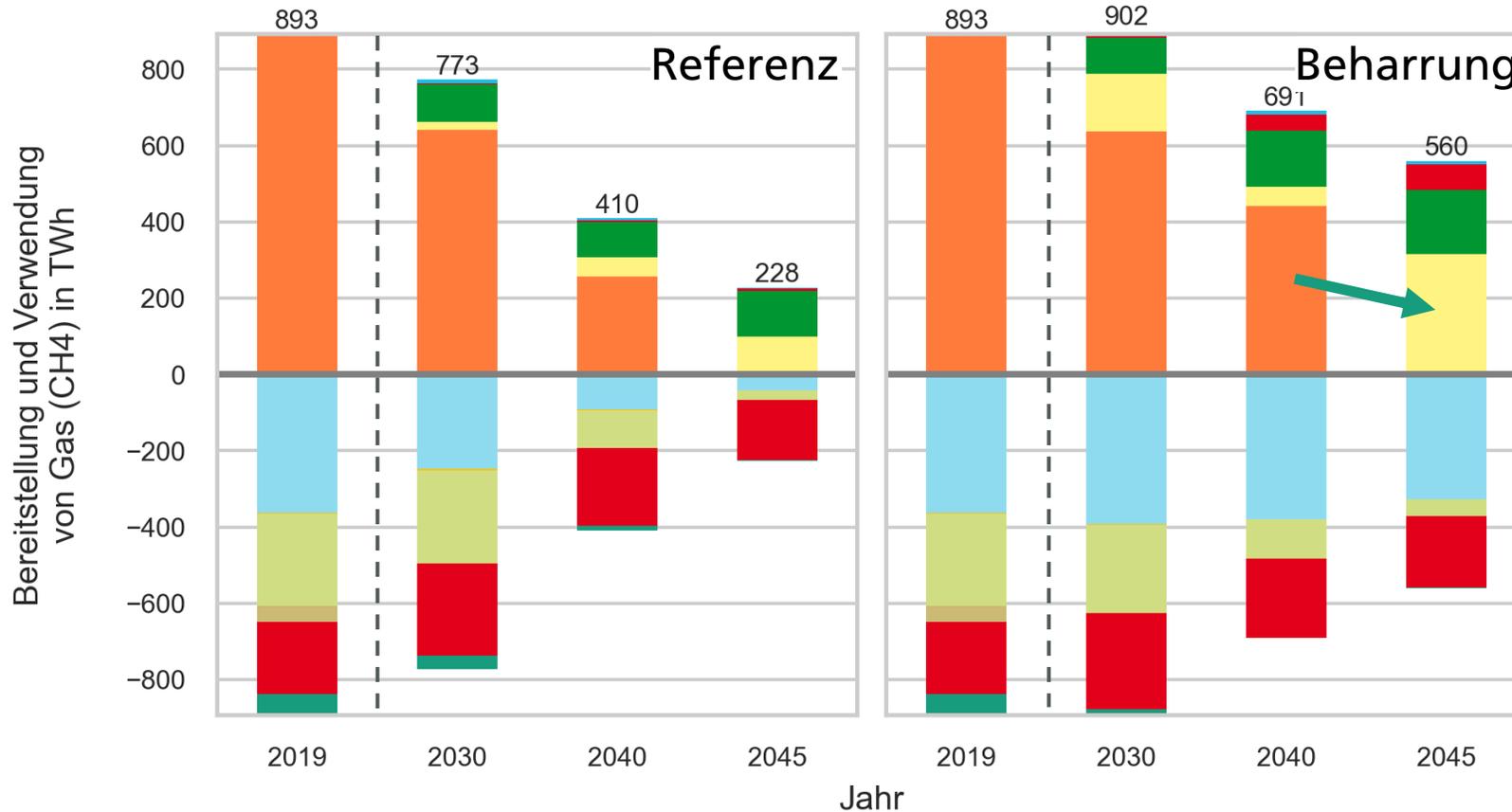
Bei beiden Entwicklungen steigt der Strombedarf substantziell, bei »Beharrung« allerdings weniger stark

Nur bei »Referenz« werden große Mengen Wasserstoff auch in Deutschland hergestellt



# Ergebnisse Systemanalyse

## Bereitstellung und Verwendung von gasförmigen Energieträgern

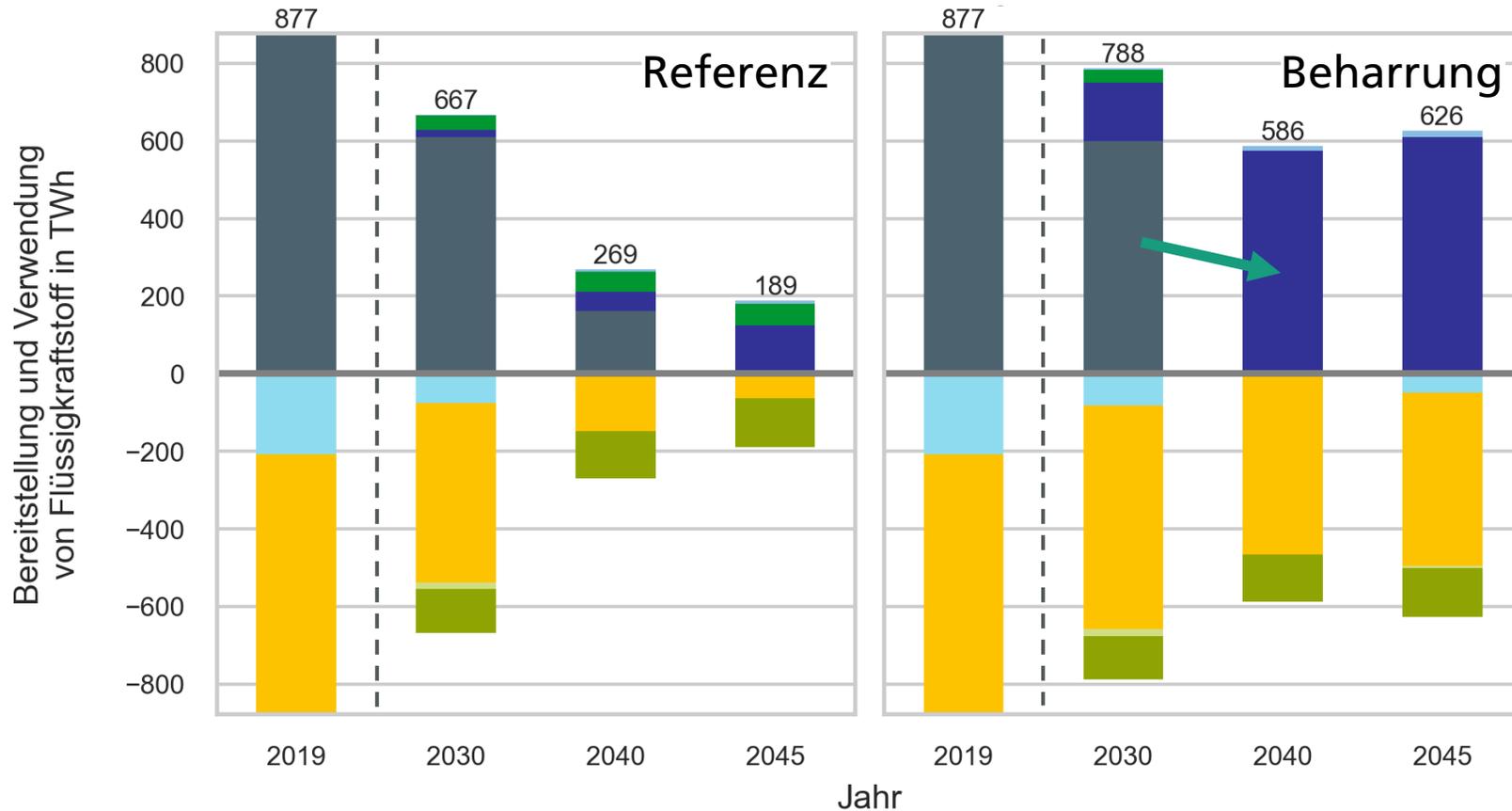


Bei »Beharrung« bleibt Erdgas lange relevant und wird letztlich durch importiertes SynGas ersetzt



# Ergebnisse Systemanalyse

## Bereitstellung und Verwendung von flüssigen Kraftstoffen

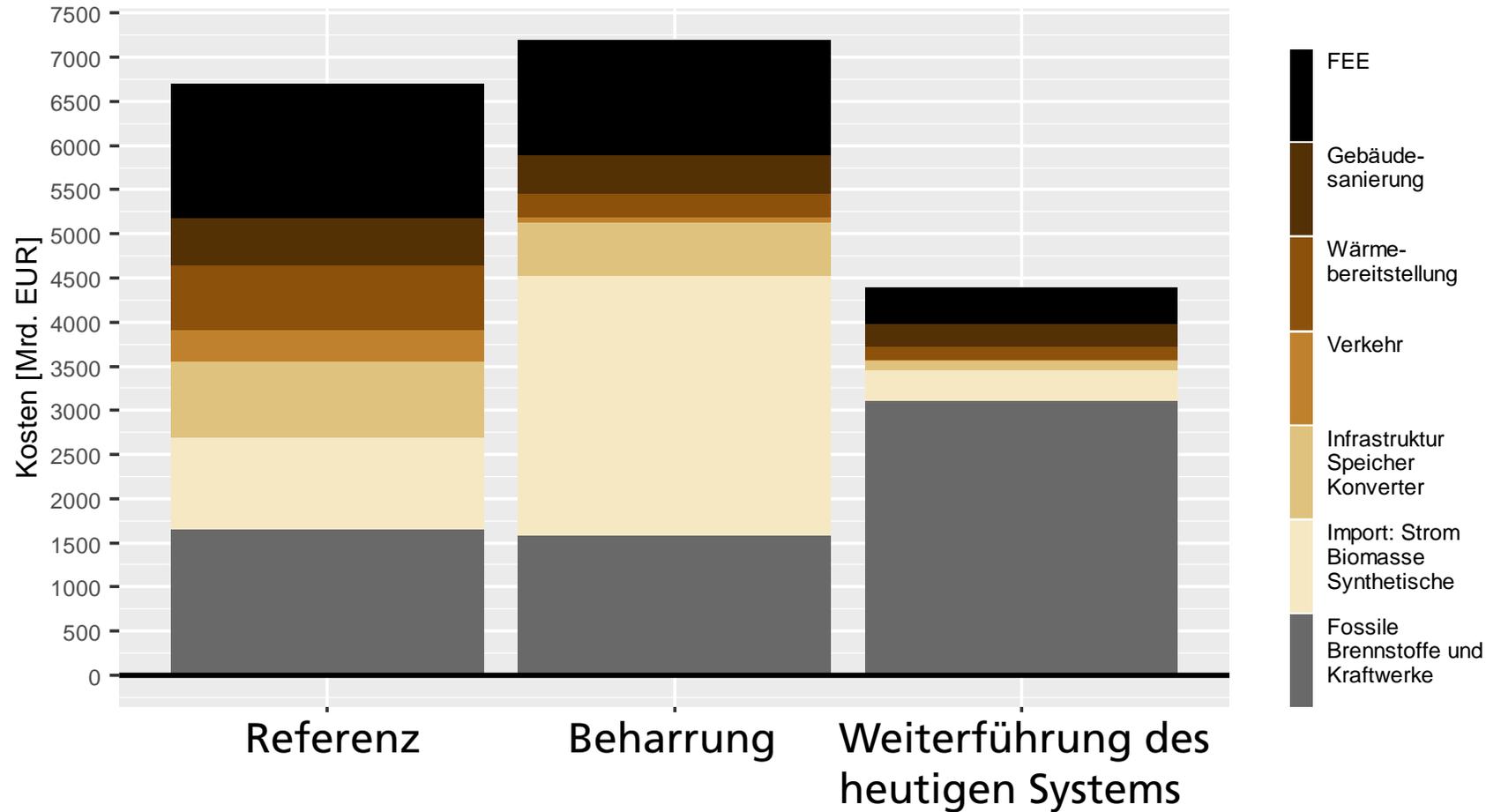


Bei »Beharrung« deutlich mehr flüssige Energieträger  
 Fossiles Erdöl wird durch synthetische Flüssigkraftstoffe ersetzt



# Ergebnisse Systemanalyse

## Kostenvergleich der Szenarien



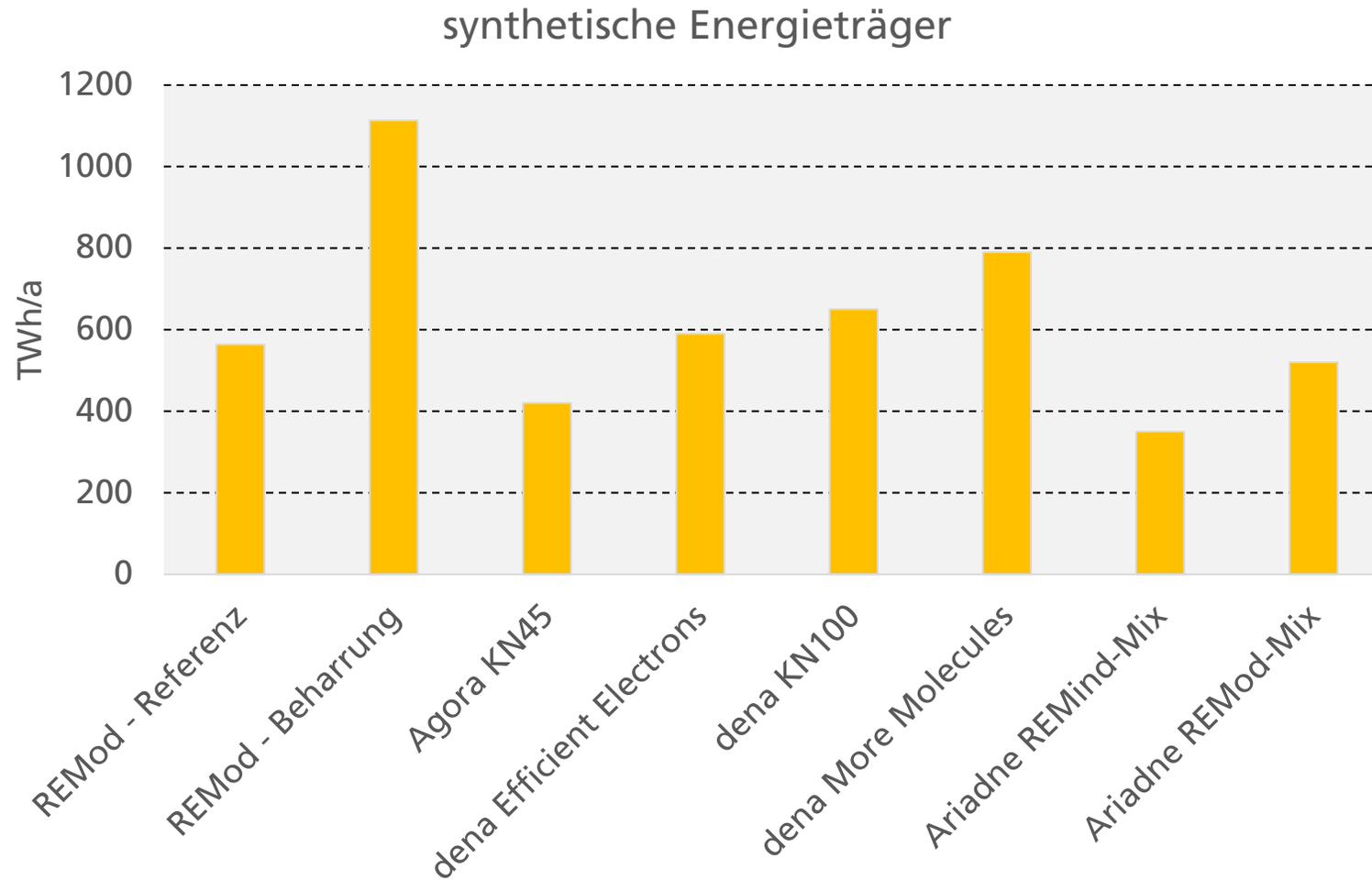
Mehrkosten der untersuchten Entwicklungen

»Beharrung«  
rund 2800 Mrd. €  
(211 € pro eingesparter Tonne CO<sub>2</sub>)

»Referenz«  
rund 2310 Mrd. €  
(175 € pro eingesparter Tonne CO<sub>2</sub>)

# Ergebnisse Systemanalyse

## Vergleich aktueller Studien (neue Klimaschutzziele)



Schwankungsbreite stofflicher Energieträger (ohne Biomasse) zwischen knapp unter 400 TWh und rund 1100 TWh

Schwerpunkt im Bereich 400-600 TWh

»Beharrung« stellt Extrem-szenario dar

# Übersicht

Ausgangssituation

Elektrifizierung vs. stoffliche Energieträger

Ergebnisse aus der Systemanalyse

→ Fazit

# Elektronen und Moleküle

## Fazit

- Eine erfolgreiche Energiewende erfordert eine **deutliche Senkung des stofflichen Anteils der Endenergieträger** auf 400 – 1300 TWh – je nach Entwicklung (heute: knapp 2500 TWh)
- Im Gegenzug steigt der Strombedarf erheblich – **Strom wird die wichtigste Primärenergie**
- Es bestehen **Gestaltungsspielräume im Hinblick auf die Zusammensetzung der Endenergie** in Bezug auf die Anteile von elektrischer Energie – **Elektronen** - und stofflichen Energieträgern – **Moleküle** (Wasserstoff, aus Wasserstoff hergestellte komplexere Energieträger und Chemieprodukte)
- Ein hoher Anteil stofflicher Energieträger erfordert einen umso größeren und schnelleren Hochlauf bei der **globalen Produktion synthetischer Energieträger und Chemierohstoffe**
- Deshalb empfiehlt sich ein **Pfad der direkten Stromnutzung** dort, wo dies vergleichsweise einfach gelingt
- **Wasserstoff und weitere stoffliche Energieträger** zunächst insbesondere im Bereich der No-Regret-Anwendungen aufbauen (Chemie- und Grundstoffindustrie, Transportsektor)
- Wir benötigen **Elektronen und Moleküle**, um alle Sektoren unserer Wirtschaft zu defossilisieren

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Foto © Fraunhofer ISE

Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE, [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

Prof. Dr. Hans-Martin Henning, [hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de](mailto:hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de)