



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



»Sektorkopplung« – Potenziale und Optionen für die nächste Phase der Energiewende

Dr. Cyril Stephanos

Geschäftsstelle Energiesysteme der Zukunft, acatech

82. Jahrestagung der DPG, Arbeitskreis Energie
Erlangen, 7. März 2018

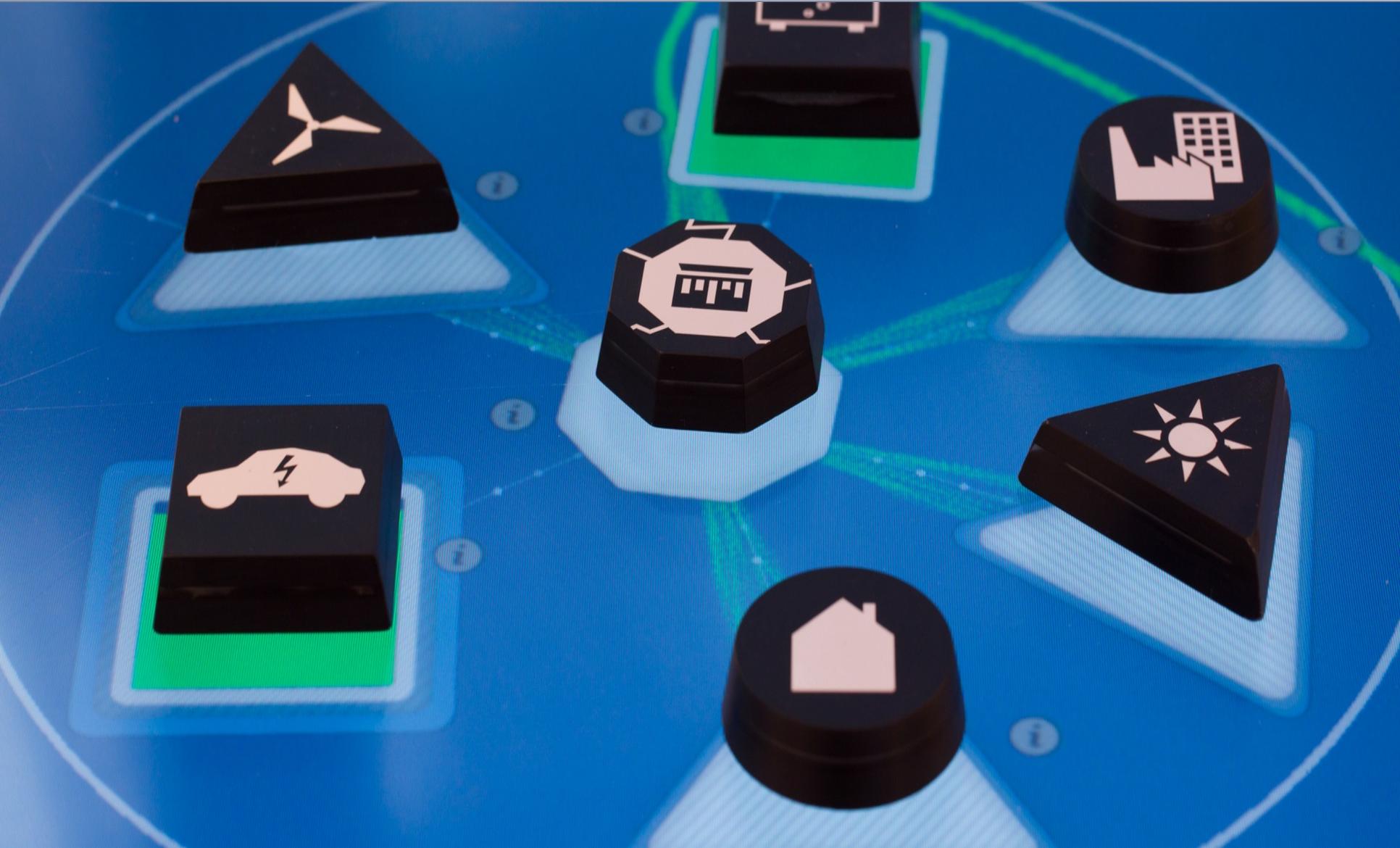
Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

acatech
DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

UNION
DER DEUTSCHEN AKADEMIEEN
DER WISSENSCHAFTEN



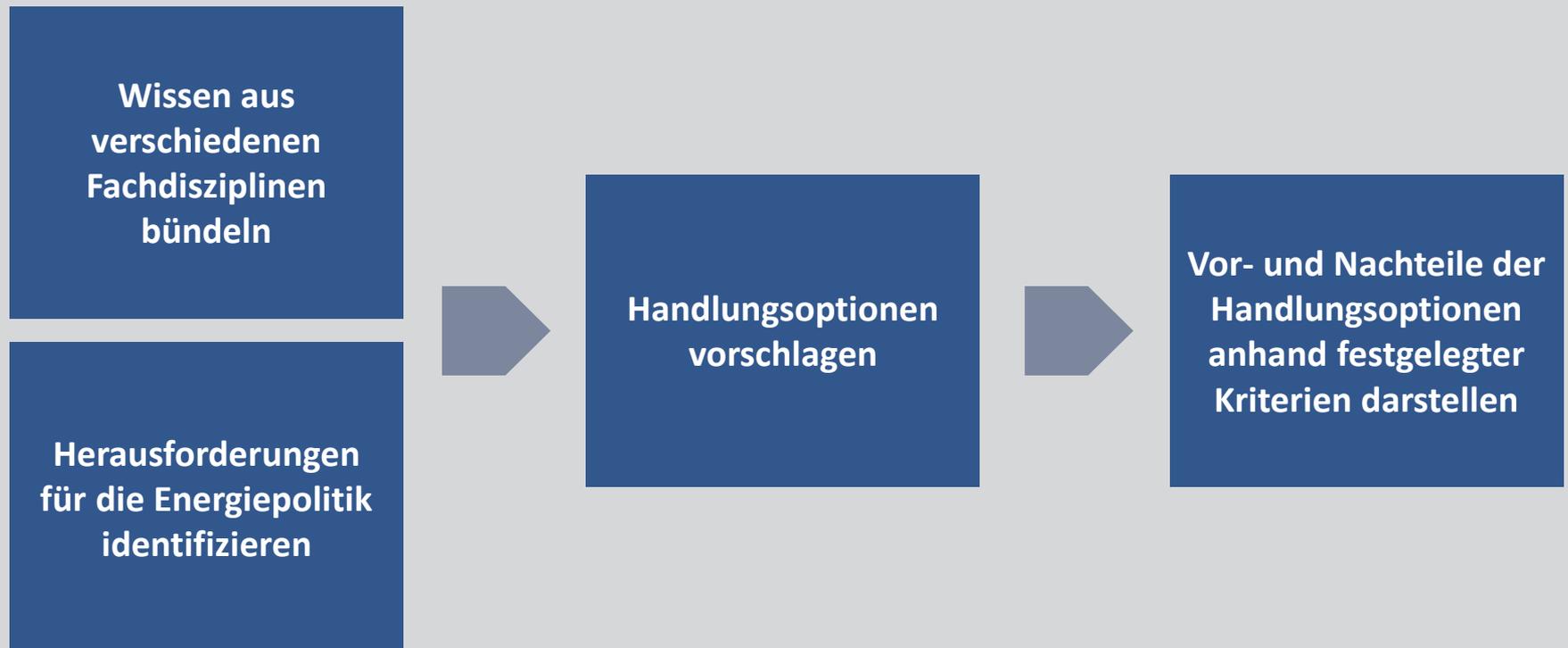


Energiesysteme der Zukunft (ESYS)

- ESYS bündelt **Expertise aus der Energieforschung in Deutschland** unter dem Dach der Wissenschaftsakademien.
- In **interdisziplinären Arbeitsgruppen** erarbeiten rund **100 Expertinnen und Experten Handlungsoptionen** für den Weg zu einer umweltverträglichen, sicheren und bezahlbaren und Energieversorgung.
- In verschiedenen **Dialogformaten** werden die Positionen von Akteuren aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft erhoben und anschließend wissenschaftlich ausgewertet.
- Projektlaufzeit:
 - Phase I 2013-2016 (Förderer: BMBF, Robert Bosch Stiftung)
 - Phase II 2016-2019 (Förderer: BMBF)



Wissenschaftsbasierte Politikberatung in ESYS



Die Arbeitsgruppe „Sektorkopplung“

- Hans-Martin Henning (FhG ISE), Sprecher
- Eberhard Umbach (acatech), Sprecher
- Frank-Detlef Drake (RWE)
- Manfred Fishedick (Wuppertal Institut)
- Justus Haucap (U Düsseldorf)
- Gundula Hübner (U Halle-Wittenberg)
- Wolfram Münch (EnBW)
- Karin Pittel (ifo Institut)
- Christian Rehtanz (TU Dortmund)
- Jörg Sauer (KIT)
- Ferdi Schüth (MPI für Kohlenforschung)
- Kurt Wagemann (DECHEMA)
- Hermann-Josef Wagner (U Bochum)
- Ulrich Wagner (TU München)
- Florian Ausfelder (DECHEMA), Referent
- Berit Erlach (acatech), Referentin
- Thilo Grau (acatech), Referent
- Christoph Kost (ISE), Referent
- Katharina Schätzler (KIT), Referentin
- Cyril Stephanos (acatech), Referent
- Stephan Stollenwerk (innogy)
- Michael Themann (RWI), Referent
- Ca. 8 weitere Autoren für Einzelthemen

Arbeitsweise der AG Sektorkopplung

- Etwa **25 AG-interne Sitzungen**, dazu **zwei Fachgespräche** sowie **ein Trialog** (in Zusammenarbeit mit der HUMBOLDT-VIADRINA Governance Plattform) mit Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft
- Arbeit basiert auf drei Ansätzen:
 - 1) **Expertendiskussion**
 - 2) **Vergleich relevanter Energieszenarien**
 - 3) **Eigene Modellrechnungen (Modell: REMod-D vom Fraunhofer ISE)**
- Ergebnisse werden veröffentlicht in:
 - **Analyse**: wissenschaftliche Grundlagen
 - **Stellungnahme**: Handlungsoptionen für die Politik





Ausgangspunkt der AG Sektorkopplung

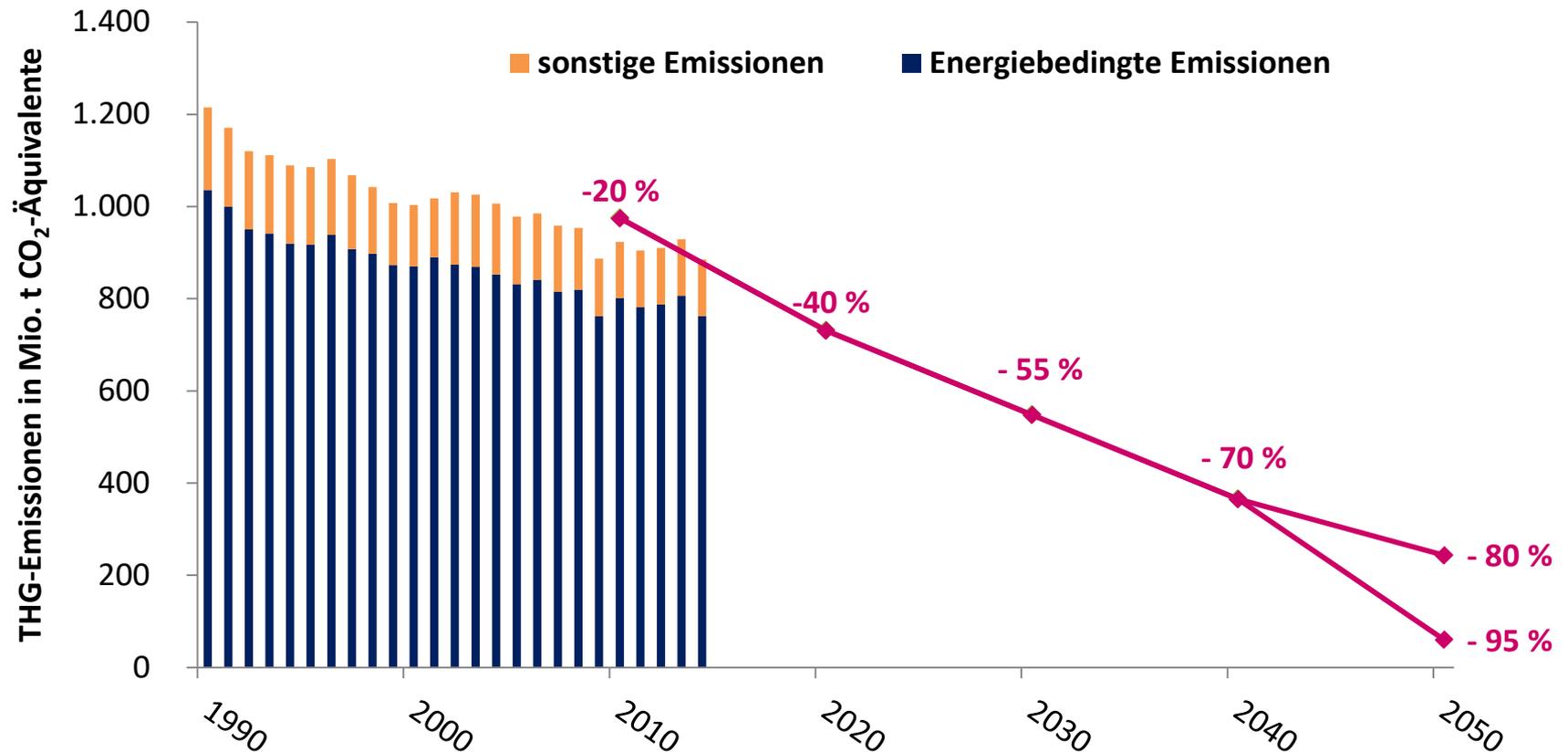
Zwei zentrale **Ziele der Energiewende**

- 1) **Ausstieg aus der Kernenergie**
- 2) **Reduktion der Treibhausgas-Emissionen**

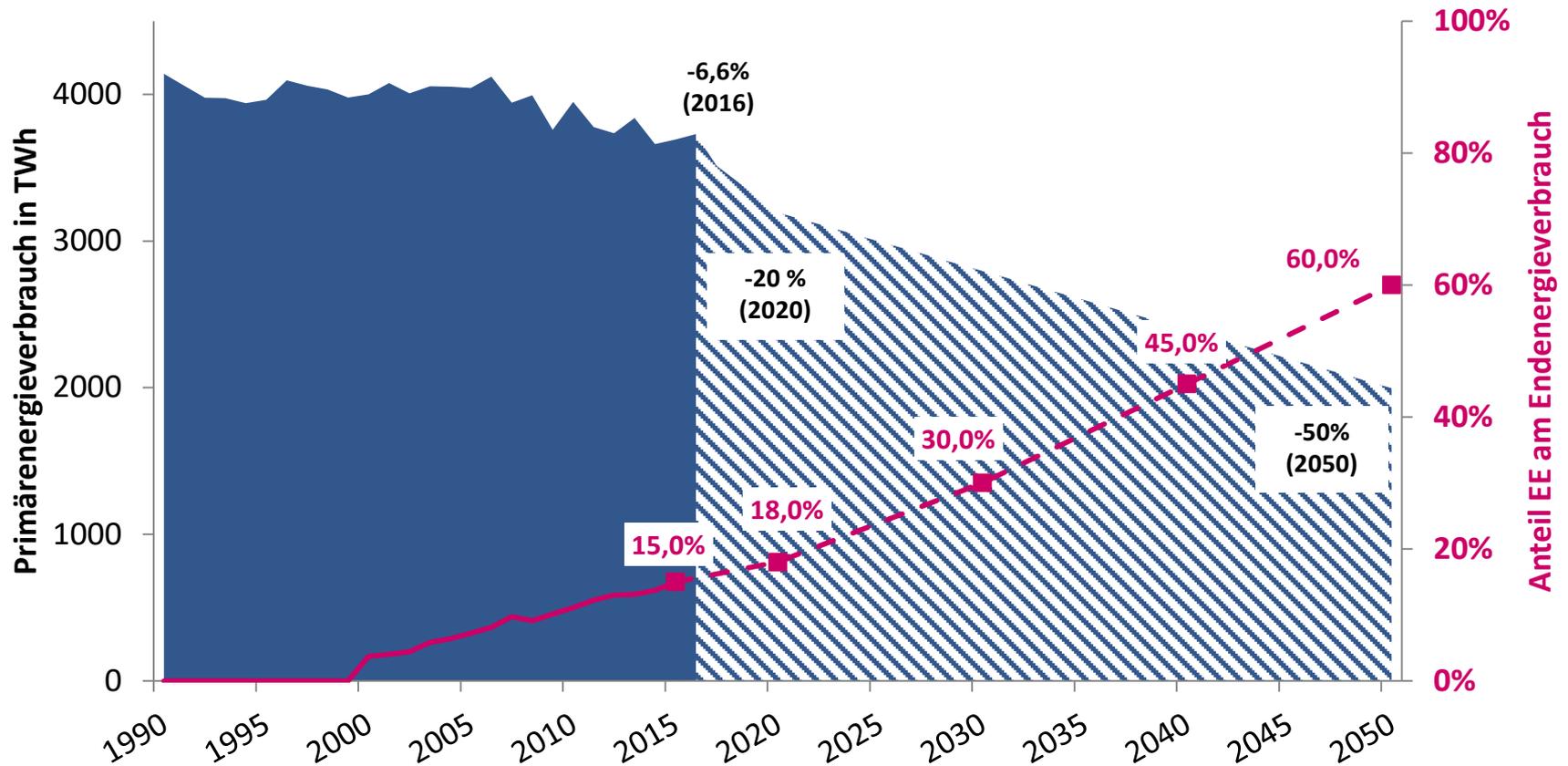
Ausgangsfrage für die AG Sektorkopplung

Wie kann unsere Energieversorgung umgebaut werden, um diese Ziele zu erfüllen?

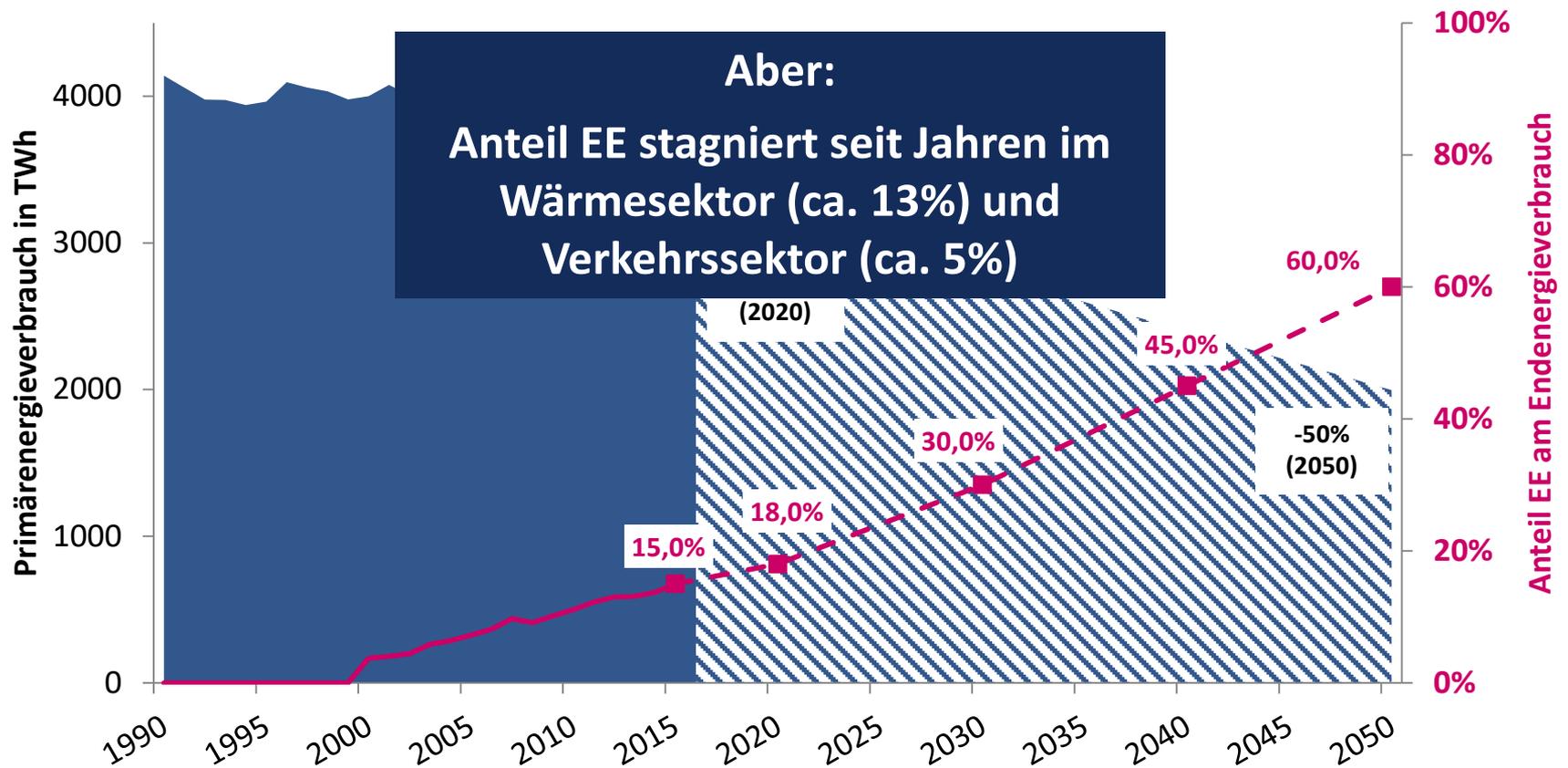
Die Herausforderung: Treibhausgasemissionen in Deutschland senken



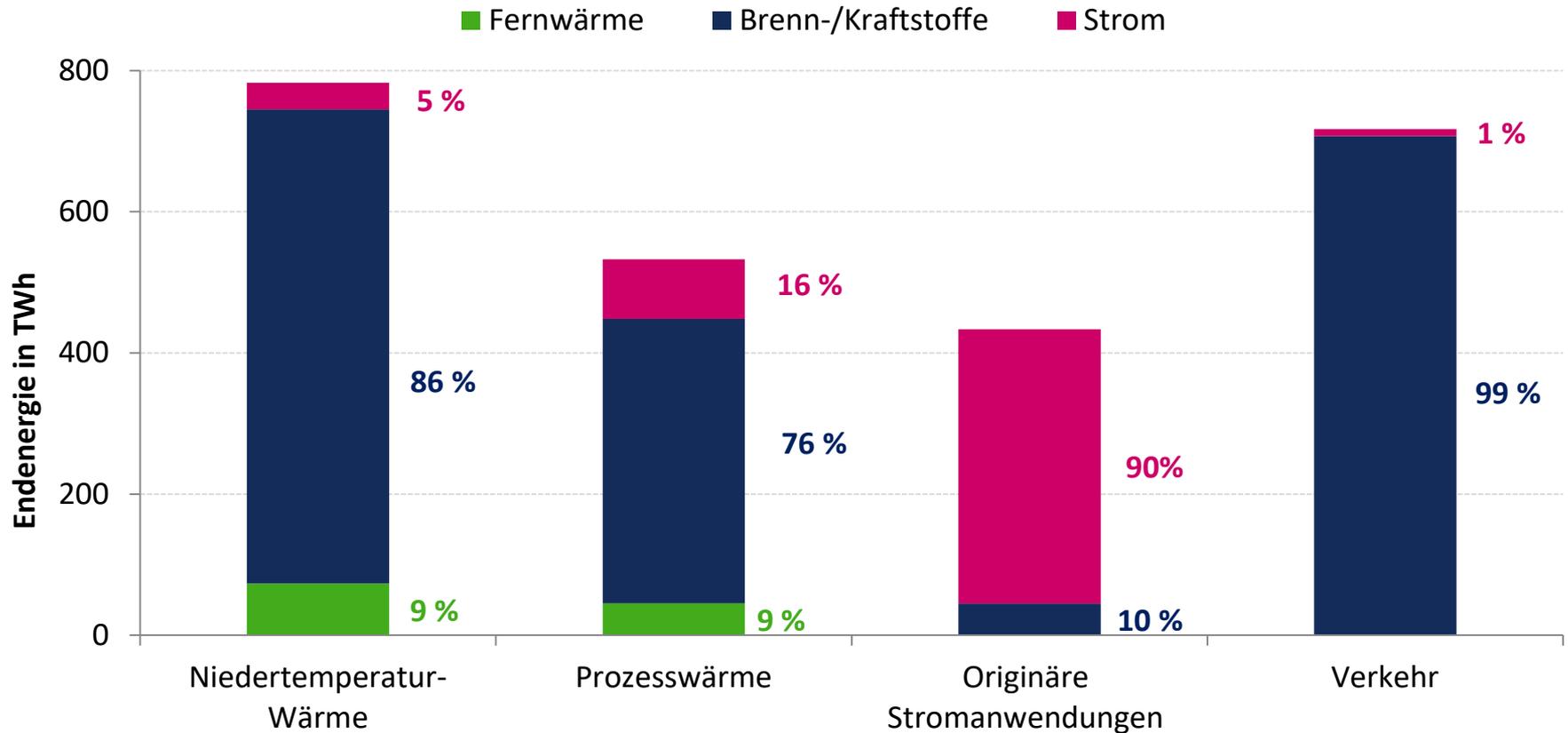
Primärenergieverbrauch und erneuerbare Energien Verlauf und Ziele



Primärenergieverbrauch und erneuerbare Energien Verlauf und Ziele



Verteilung der Energieträger in den vier Nutzungsbereichen (2016)





Sektorkopplung als Chance?



Quelle: www.inhabitat.com



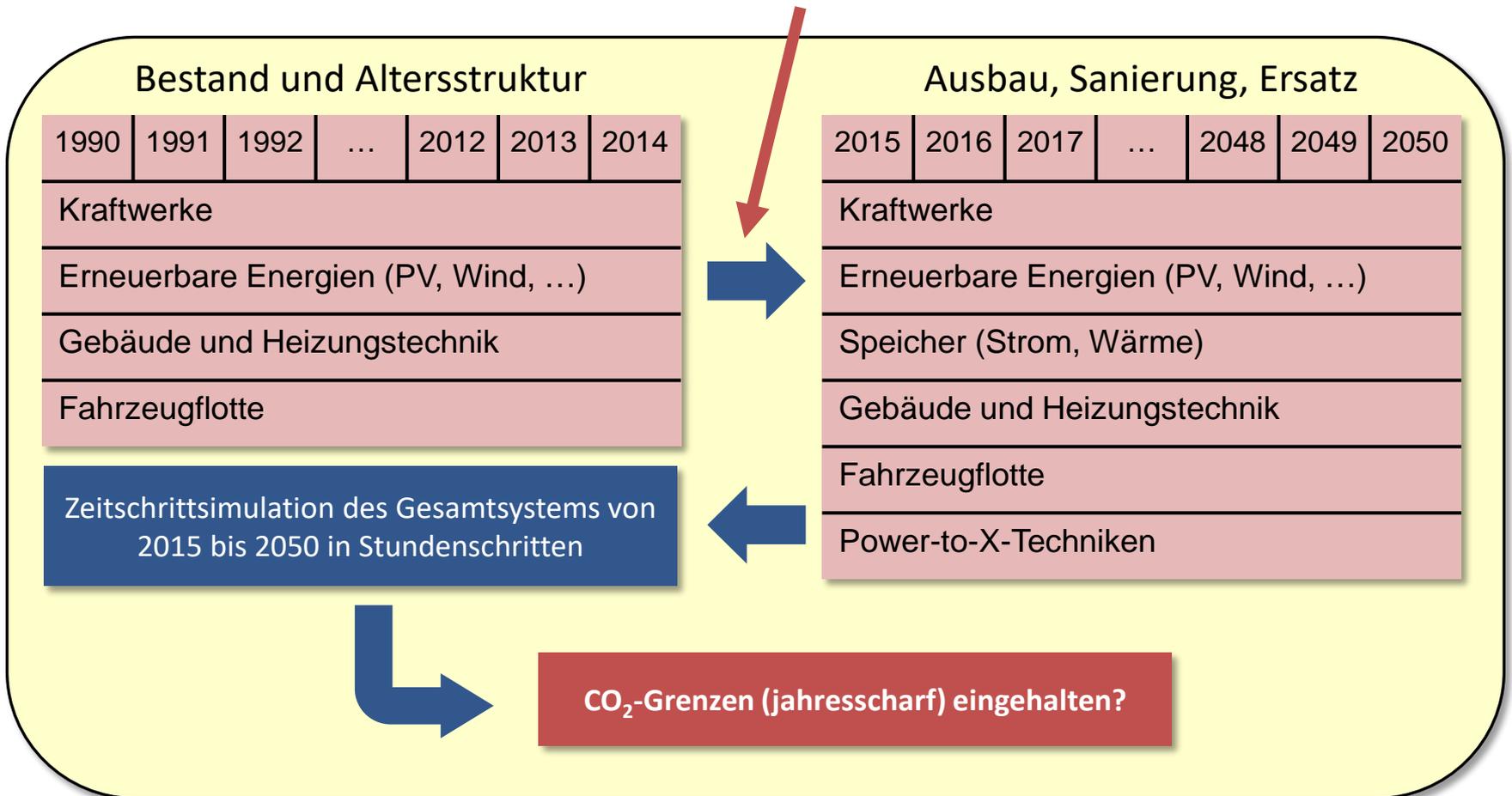
Quelle: www.ingenieur.de

Zentrale Ergebnisse

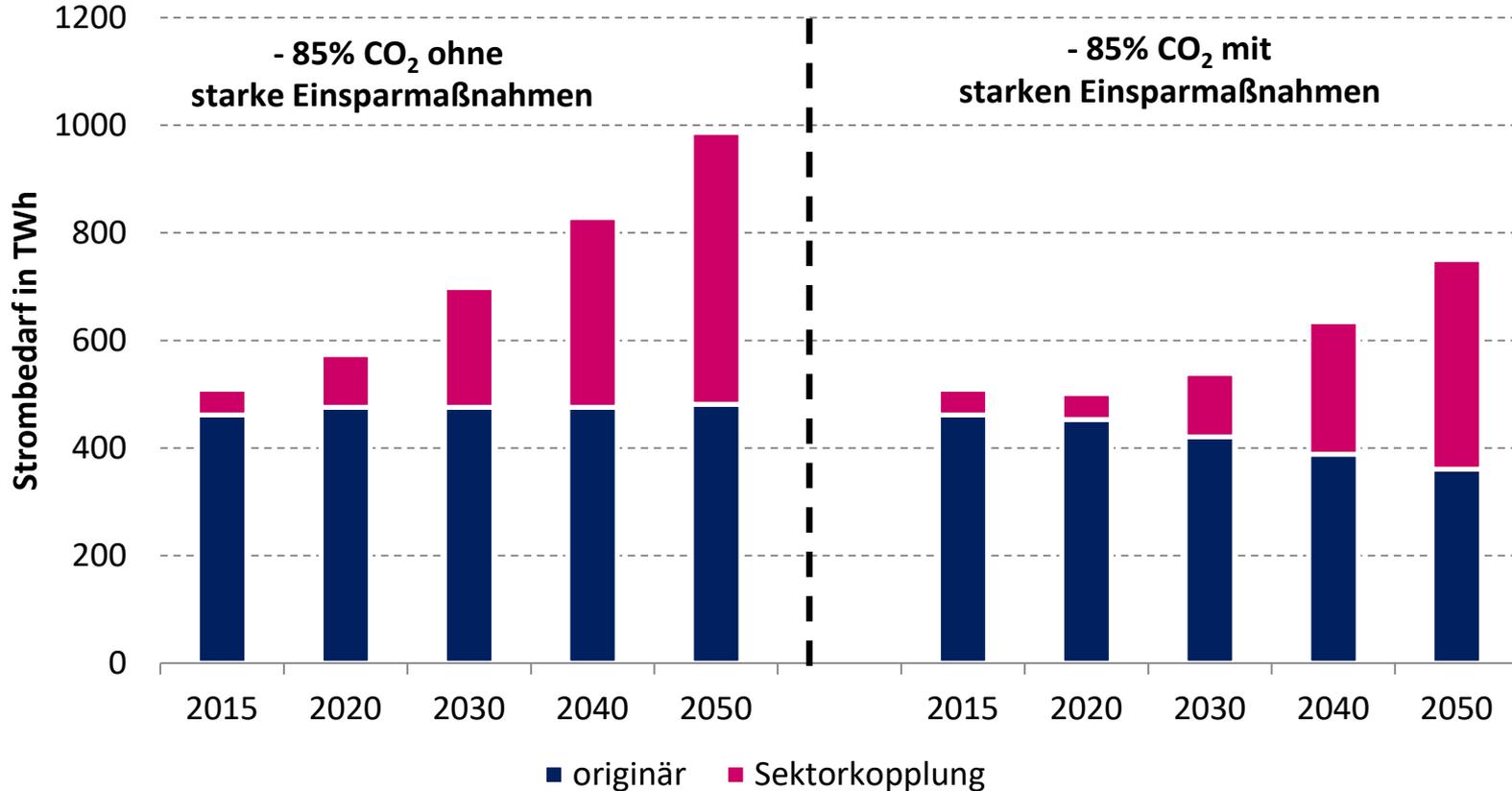
- Ein **systemübergreifender Ansatz** und eine viel stärkere **Kopplung der Sektoren** sind notwendig, um die Klimaziele zu erreichen (integriertes Energiesystem).
- **Strom** wird zum dominierenden Energieträger. Durch neue Anwendungen in den Wärme- und Verkehrssektoren wird der **Strombedarf** zukünftig voraussichtlich stark ansteigen (bis zu 1.000 TWh).
- **Wind- und Photovoltaikanlagen müssen stark ausgebaut** werden, um diesen Bedarf klimaneutral zu decken. Die **fünf- bis siebenfach Kapazität** von heute könnte dafür notwendig sein (500 – 600 GW).
- **Energieeffizienz** ist entscheidend: Die effizienten Nutzung von Energie kann helfen, den EE-Ausbau zu begrenzen und die Kosten der Energiewende einzugrenzen.
- Zentrales Steuerungselement ist ein **sektorübergreifender, einheitlicher und wirksamer CO₂-Preis**.

Modellrechnungen - Methodik

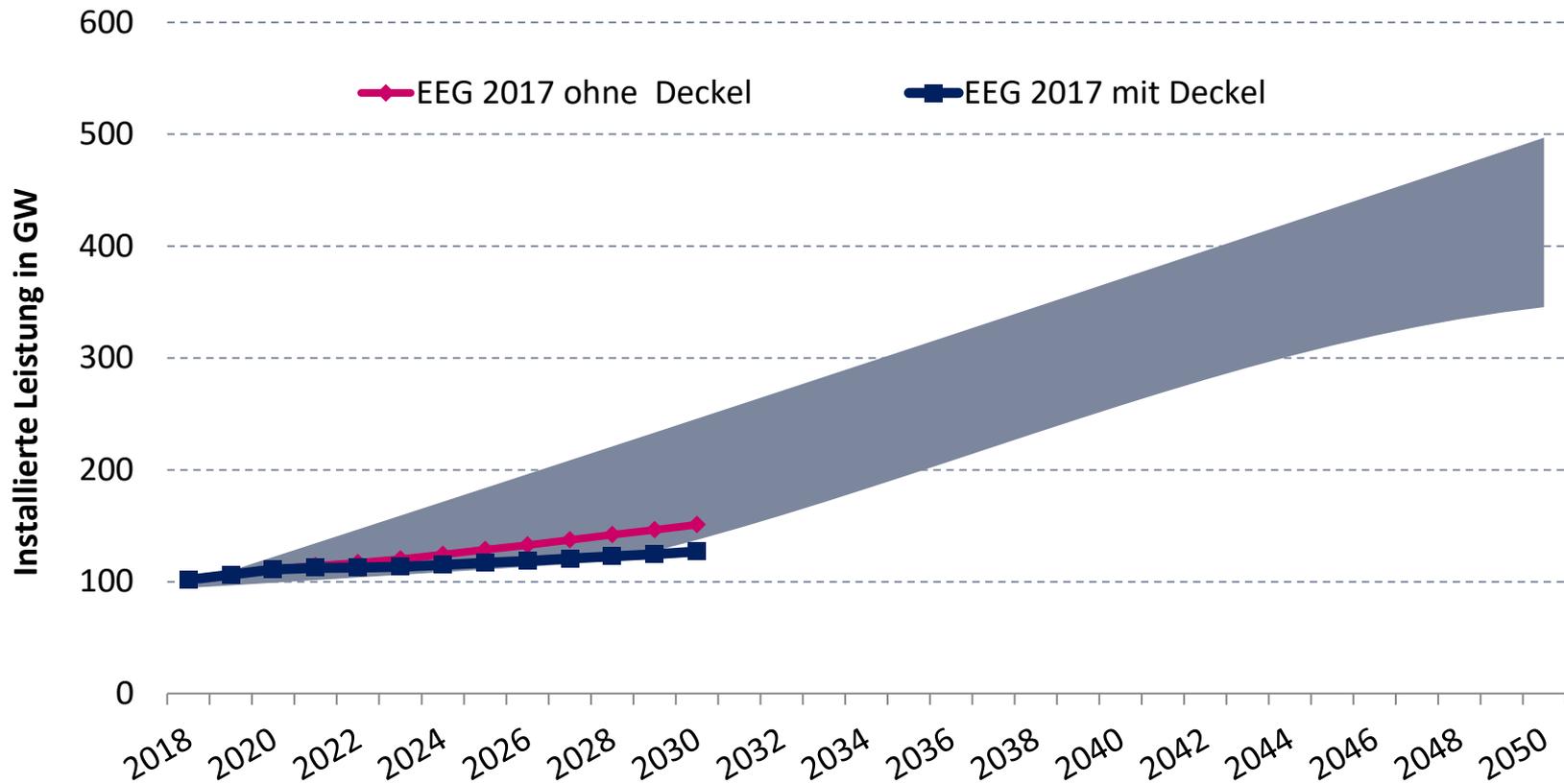
Optimierung von Ausbau, Sanierung, Ersatz
Zielfunktion: minimale kumulative Gesamtkosten 2015-2050



Zukünftiger Strombedarf (Modellrechnungen)



Notwendiger Ausbau Wind- und PV-Anlagen (Modellrechnungen)



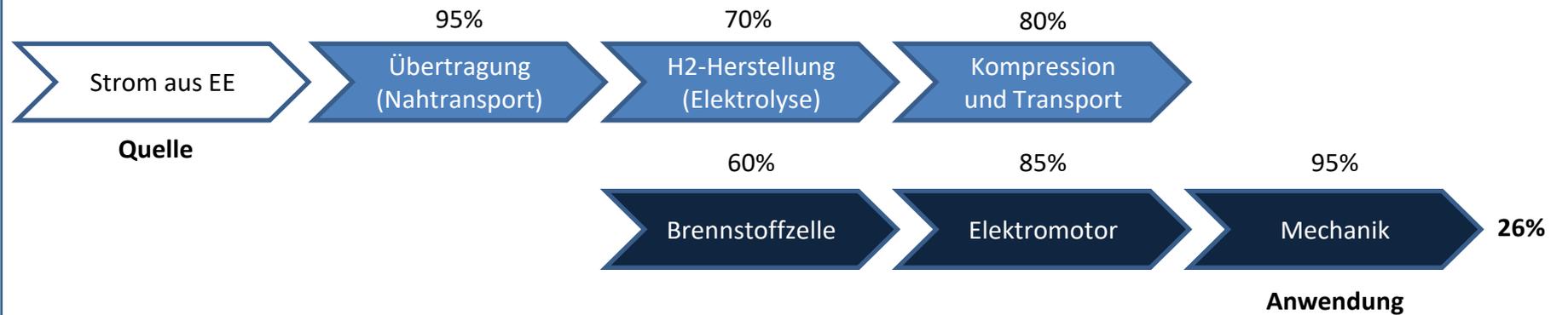
Nicht für alle Bereiche sind heute klare Lösungen absehbar

- **Industrielle Prozesswärme**
 - Technische Optionen: **Einsatz von Biogas** und **Elektrifizierung**
 - **aber:** keine *einheitlichen Lösungen* möglich
 - Wichtiges Effizienzpotenzial: Nutzung industrieller Abwärme
- **Verkehr**
 - **Elektrofahrzeuge** werden Schlüsselfunktion einnehmen
 - Für **Fern- und Schwerlastverkehr** noch **keine eindeutigen Lösungen** erkennbar. In Frage kommen: elektrische Lösungen (z.B. Oberleitungen), Wasserstofffahrzeuge, synthetische Kraftstoffe
 - Für Flug- und Schiffsverkehr sind **keine rein elektrischen Lösungen absehbar**
 - **synthetische Kraftstoffe** basierend auf EE-Strom und Biomasse notwendig

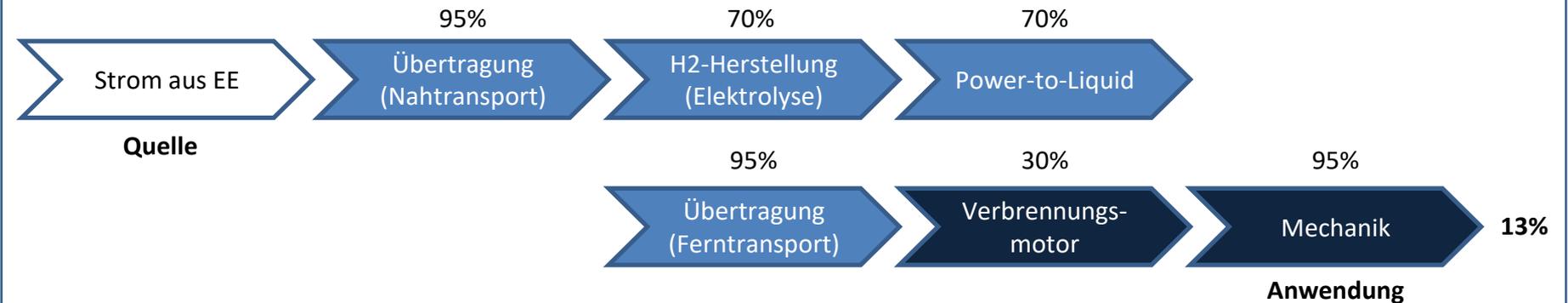
Batterie-betriebenes Elektroauto



Brennstoffzellen-betriebenes Elektroauto



Auto mit Verbrennungsmotor



Energieträger im künftigen Energiesystem

- **Strom** aus erneuerbaren Quellen wird zum dominanten Energieträger
- Der **gezielte Einsatz von Biomasse** sowie ein **Ausbau der Geo- und Solarthermie** können beitragen, den Ausbau an EE zu begrenzen und die gesellschaftliche Akzeptanz der Energiewende zu sichern.
- **Synthetische Brenn- und Kraftstoffe** werden voraussichtlich **unverzichtbar** sein (Langzeitspeicher und Versorgungssicherheit bei Dunkelflauten, Einsatz im Schiff- und Flugverkehr und in speziellen Industrieprozessen).
- **Wasserstoff** kommt aufgrund seiner vielfältigen Einsatzmöglichkeiten (Verkehr, Wärmeversorgung, Stromspeicher) eine **zentrale Rolle** zu.
- **Gas** (natürliches Erdgas, Biogas, synthetische Gase aus EE-Strom) ist **emissionsarm** und **vielseitig einsetzbar**, könnte neben Strom zum wichtigsten Energieträger werden

Speicher und Reservekapazitäten notwendig für Versorgungssicherheit

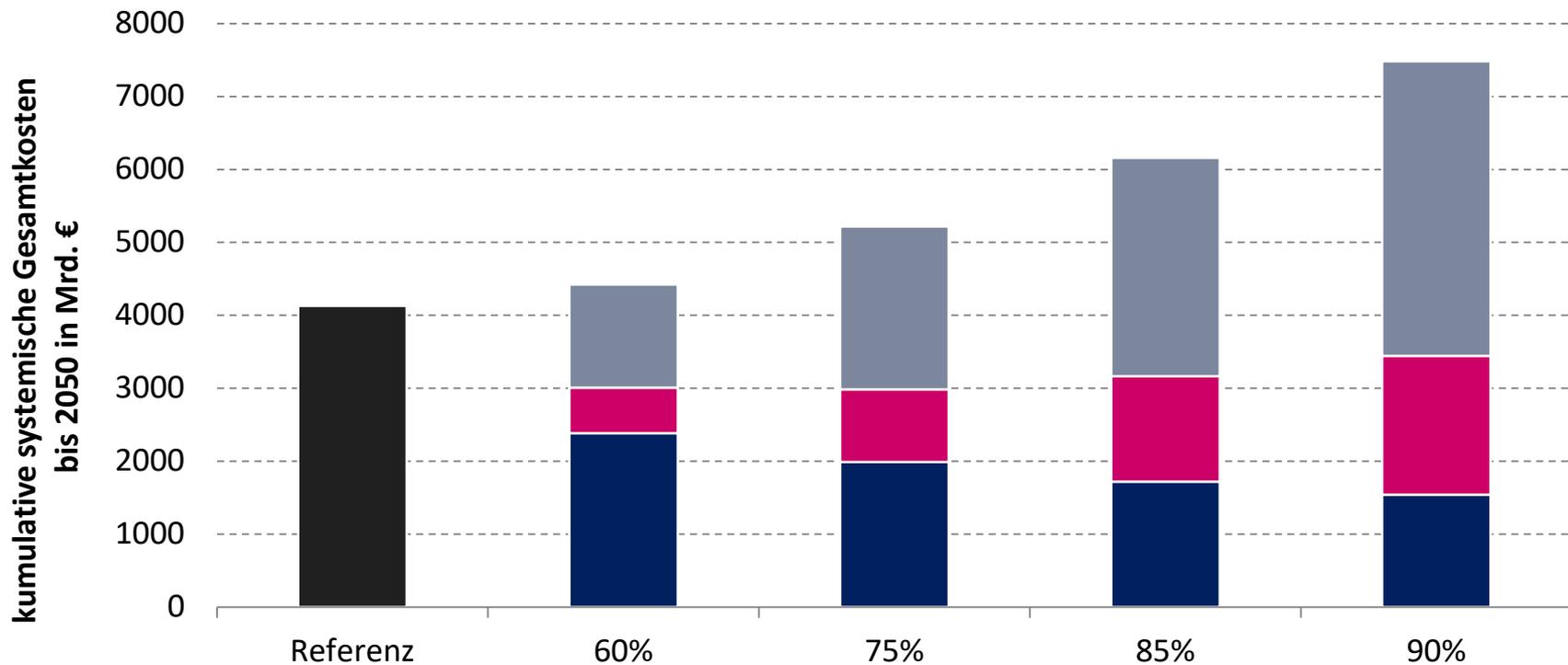
- **Flexible Reservekapazitäten**, etwa in der Größenordnung des heutigen konventionellen Kraftwerkspark (in Modellrechnungen etwa 100 GW)
 - **Aber:** Kraftwerke werden zukünftig mit teils geringen Volllaststunden betrieben
 - **Energiemarkt der Zukunft** muss betriebs- und volkswirtschaftliche Lösungen bieten
 - In Frage kommen: bspw. Gaskraftwerke und Gasturbinen (niedrige Investitionskosten, flexibler Einsatz), hochflexible gasbetriebene KWK-Anlagen, evtl. Brennstoffzellen
- **Flexible Energienutzungsmodellen** und **Lang- und Kurzzeitspeicher**, um Erzeugungsspitzen zu kompensieren
 - Batterien, Wärmespeicher, Elektrolyseanlagen

Die Energiewende verursacht „systemische“ Mehrkosten

- **Jährliche Mehrkosten:** etwa **1-2 % Prozent** des heutigen **Bruttoinlandproduktes**

Wichtig: Abschätzungen sind mit großen Unsicherheiten verbunden, geben jedoch Größenordnung an

Systemische Mehrkosten in den Modellrechnungen



■ fossile und biogene Energieträger ■ Betriebs- und Wartungskosten ■ Investitionen und Kapitalkosten

Die Energiewende verursacht systemische Mehrkosten, aber...!

- **Jährliche Mehrkosten:** etwa **1-2 % Prozent des heutigen Bruttoinlandproduktes**
Wichtig: Abschätzungen sind mit großen Unsicherheiten verbunden, geben jedoch Größenordnung an
- Bei diesen Kosten **berücksichtigt:** Investitionen für Auf- und Umbau sämtlicher Infrastrukturen (bspw. Kraftwerke, Netzen, Fahrzeugflotten, Speicher), Finanzierungskosten für Investitionen, Kosten für Energieträger, Betriebs- und Wartungskosten. Einbezogen sind auch Kosten für wichtige Effizienzmaßnahmen, insbesondere für die energetische Sanierung von Gebäuden.
- In den Kosten **nicht berücksichtigt:** volkswirtschaftliche Aspekte wie lokale Wertschöpfung, Beschäftigungseffekte, Exportchancen. **Technologiekompetenz** für das Hochtechnologieland Deutschland allerdings von großer Bedeutung.

Handlungsbedarfe

- **Kurzfristiger Handlungsbedarf**

vor allem beim Ausbau der Erneuerbaren, im Verkehrssektor (Elektrofahrzeuge) und im Wärmesektor (elektrische Wärmepumpen) sowie bei der Erforschung und Weiterentwicklung von Schlüsseltechnologien und Konzepten (bspw. Power-to-X, Wasserstoff-Technologien, Oberleitungen)

- **Mittelfristig: 2030 als kritischer Weichenpunkt.**

Denn: Aufgrund von Lebensdauern von Technologien und Infrastrukturen (Kraftwerke, Fahrzeuge, Heizkessel) sowie Planungs- und Investitionszeiten drohen langfristige „Lock-In-Effekte“

4 Phasen der Energiewende

1990

2010

2030

2050

1 – Basistechnologien

Entwicklung EE
Erster Ausbau EE
Entwicklung Effizienztechnologien



- 25 %

2 – Systemintegration

Elektrifizierung, Flexibilisierung,
Digitalisierung, Speicher
Entwicklung neuer Strommarkt



- 25 - 55 %

3 – Synthetische Kraft-/Brennstoffe

Hohe negative Residuallasten
Großskalige Elektrolyse
SBK für Verkehr und Industrie



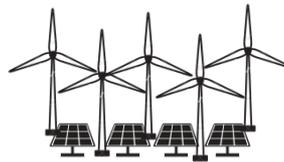
- 55 - 85 %

4 – Finale Defossilisierung

Verdrängung fossiler Energieträger
EE-Importe
Abschluss Umbau Energieversorgung



- 85 - 100 %



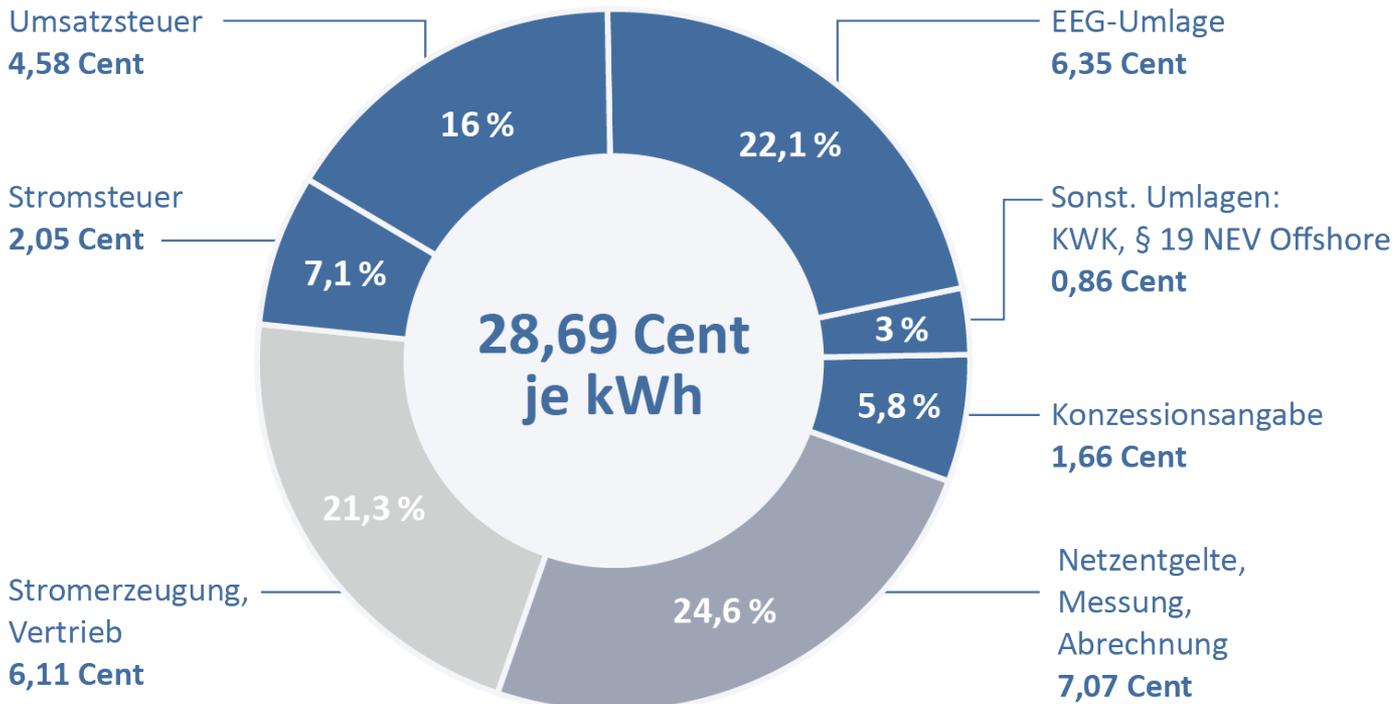
Kontinuierliche Technologieentwicklung und steigende Energieeffizienz

Zunehmende Sektorkopplung

Integriertes
Energiesystem

Hemmnisse für eine stärkere Sektorkopplung: bestehende Regularien

Zusammensetzung des Strompreises 2016 (Durchschnittlicher Strompreis für
Haushaltskunden in Deutschland, 3.500 kWh Jahresverbrauch)



Politische Steuerungsinstrumente

- Zentrales Steuerungsinstrument: **einheitlicher, sektorübergreifender CO₂-Preis**.
- Gleichzeitig muss bestehendes System an Steuern, Abgaben und Umlagen reformiert und verschlankt werden
 - *Level Playing Field* für alle Energieträger am Markt
- **Ergänzende Maßnahmen** sind teilweise erforderlich, um **Marktversagen** zu vermeiden

Dazu gehören: finanzielle Anreize (Investitionszuschüsse, Steuererleichterungen, Marktanreizprogramme), staatliche Kofinanzierung von Infrastrukturen, ordnungsrechtliche Vorgaben (bspw. Emissionsgrenzwerte im Verkehr, bei Heizungstechnologien), Forschungs- und Entwicklungsförderung, Informations- und Beratungsangebote
- Für langfristige Investitionen in klimafreundliche Technologien ist eine hohe **Planungssicherheit** entscheidend → **Verbindlichkeit der Klimaschutzziele** wichtig!

Fazit

- Energiewende ist **generationen-übergreifendes gesellschaftliches Großprojekt**
- **Ehrlichkeit zu den Kosten:** im Mittel bis 2050 rund 1-2 % des heutigen BIP;
aber:
 - **Volkswirtschaftliche Effekte** wie Schaffung lokaler Wertschöpfung und Beschäftigungseffekte
 - **Chancen für Hochtechnologie- und Exportland**, führend bei Entwicklung von Technologien zu sein, denen weltweit eine große Bedeutung zukommen wird
- Gesellschaftliche Übereinkunft zur **Priorisierung des Ziels einer drastischen Reduktion der Treibhausemissionen** → glaubwürdige Haltung der Politik
- Die notwendigen Veränderungen erfordern eine **systemische Betrachtung und ganzheitliche Optimierung** des Energiesystems
- Wirksames, alle Sektoren übergreifendes **Preissignal für CO₂-Emissionen** (bzw. Treibhausgasemissionen) ist notwendiges und adäquates Instrument für eine technologieoffene und marktwirtschaftliche Steuerung