



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



Überlegungen zur Optimierung eines integrierten Energiesystems

Prof. Dr. Hans-Martin Henning
Prof. Dr. Eberhard Umbach

FVEE Jahrestagung
08. November 2017

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



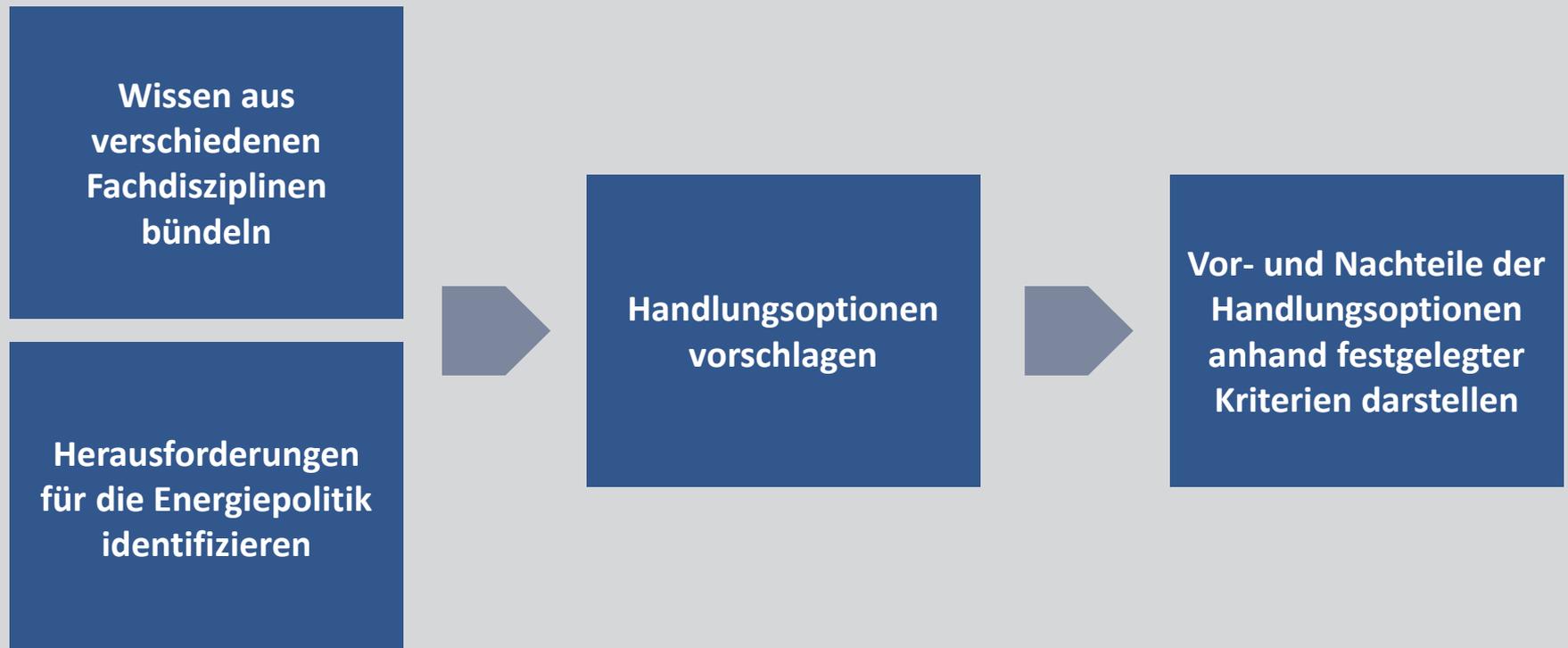
Energiesysteme der Zukunft

Ziele und Aufgaben

- Das Projekt 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 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





ESYS in der zweiten Projektphase



Die Arbeitsgruppe „Sektorkopplung“ in ESYS

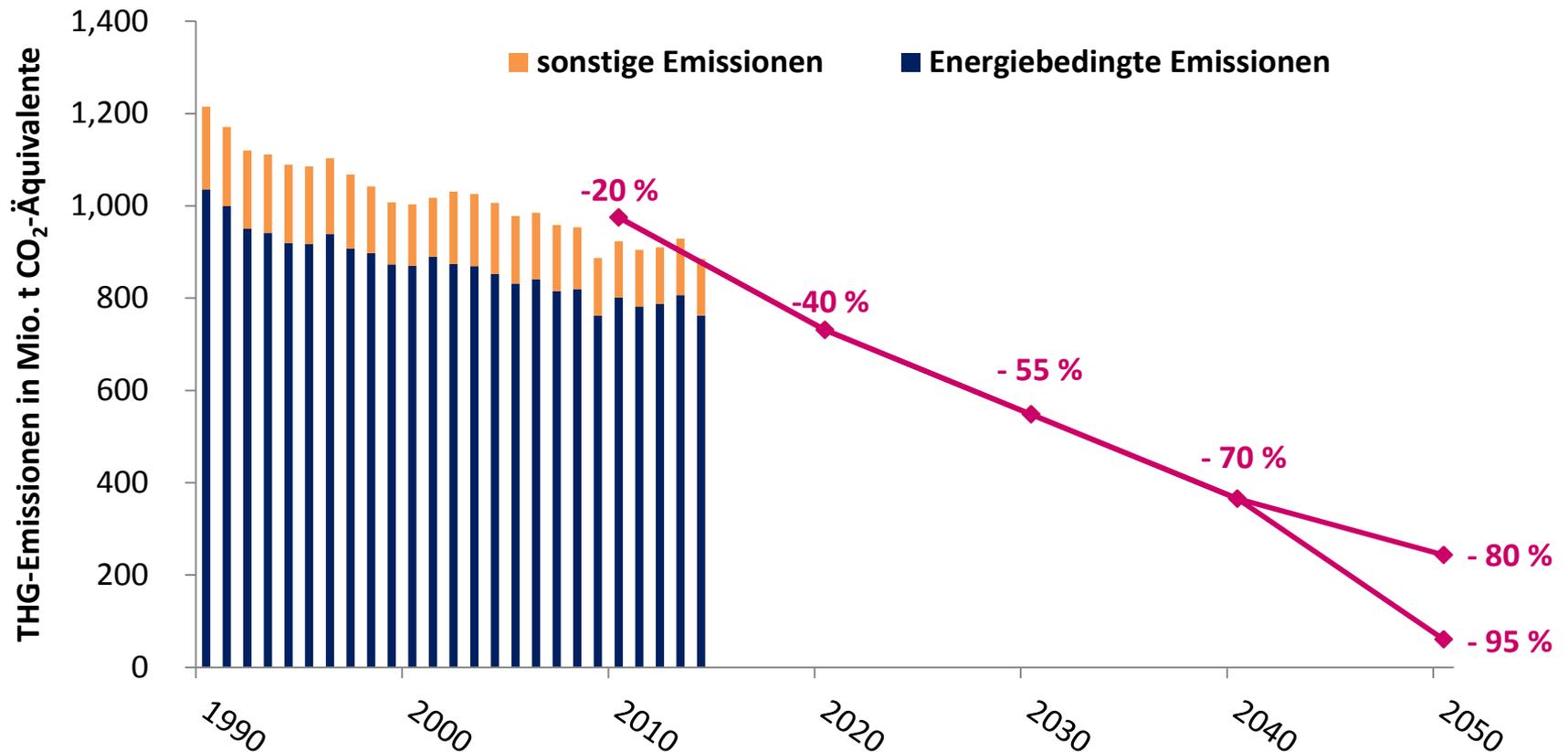
- Hans-Martin Henning (FhG ISE), Sprecher
- Eberhard Umbach (acatech), Sprecher
- Frank-Detlef Drake (RWE)
- Manfred Fishedick (Wuppertal Institut)
- Justus Haucap (U Düsseldorf)
- Gundula Hübner (U Halle-Wittenberg)
- Wolfram Münch (EnBW)
- Karin Pittel (ifo Institut)
- Christian Rehtanz (TU Dortmund)
- 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
- 8 weitere Autoren für Einzelthemen

Arbeitsweise der AG Sektorkopplung

- Interdisziplinärer Ansatz: Wissenschaftler/innen aus Naturwissenschaft, Ingenieurwissenschaft, Ökonomie und Sozialwissenschaft aus Forschung und Industrie
- 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 (u.a. Bottom-Up Betrachtung der Einzelsektoren)**
 - 2) Vergleich relevanter Energieszenarien**
 - 3) Eigene Modellrechnungen (Modell REMod-D)**
- Ergebnisse werden veröffentlicht in:
 - **Analyse:** wissenschaftliche Grundlagen
 - **Stellungnahme:** Handlungsoptionen für die Politik



Ausgangslage: Klimaziele bis 2050

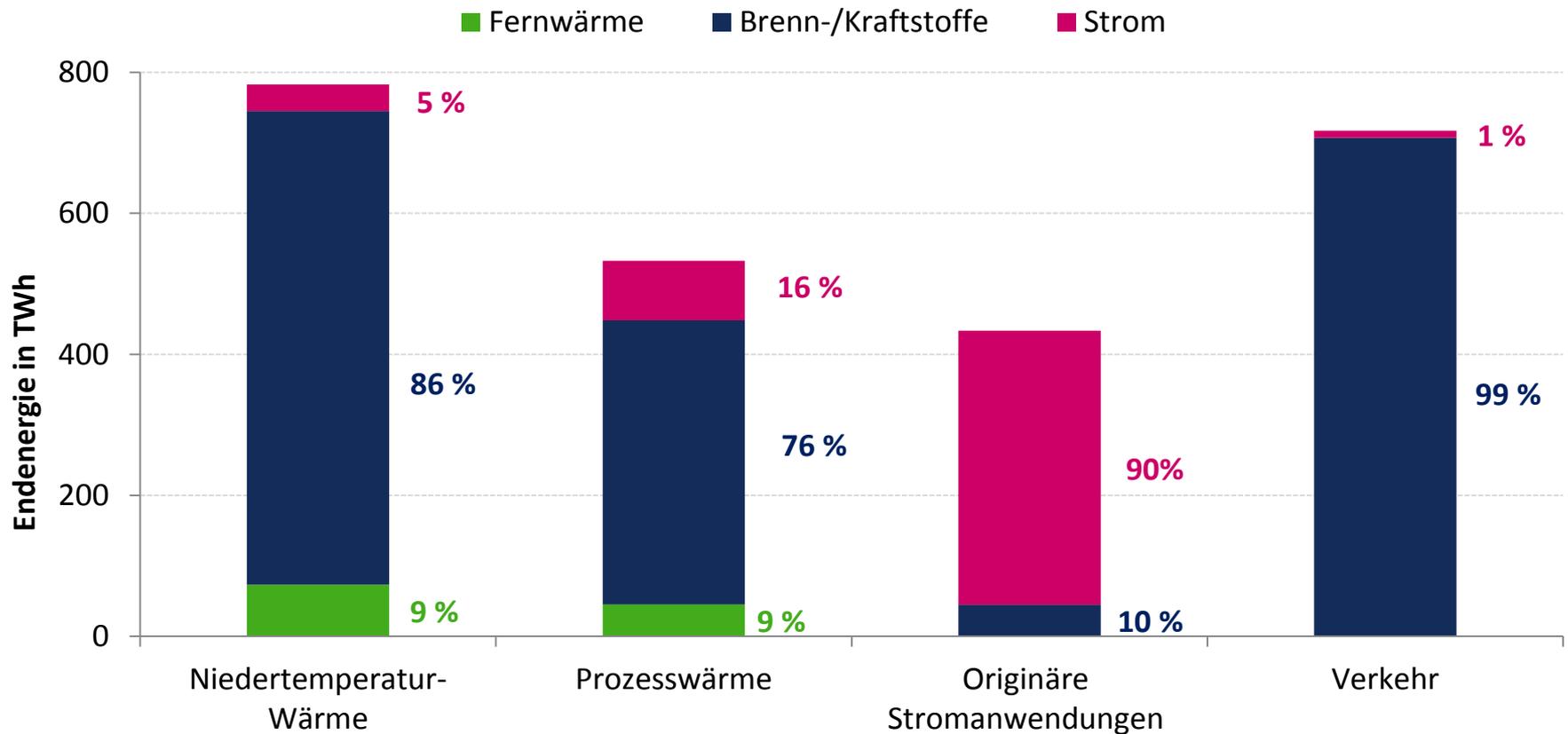




Ausgangsbeobachtungen und -fragen

- Bei einem „Weiter So“ werden die **Klimaschutzziele dramatisch verfehlt**
- Während bei der **Stromerzeugung** der Anteil erneuerbarer Energien **signifikant zugenommen** hat, sind im Bereich **Wärme (Gebäude, Industrieprozesse) und Verkehr keine oder viel zu kleine Fortschritte** sichtbar
- Wie kann eine Trendwende bei der **Wärmeversorgung des Gebäudebereichs** gelingen, wo heute immer noch überwiegend fossile Energieträger – Erdgas und Heizöl – eingesetzt werden?
- Und wie **Mobilitätssektor**, der dominant auf fossilen Kraftstoffen basiert?
- Welche Möglichkeiten bieten sich in der **Industrie**, wo ebenfalls heute die meisten Prozesse fossile Energieträger nutzen?
- Gibt es für all dies **übergreifend wirkende Entwicklungen und Rahmenbedingungen**?

Verteilung der Energieträger in den vier Nutzungsbereichen (2016)



Wege zu einer klimaneutralen Energieversorgung

Bisher: Energiewende vor allem auf Stromerzeugung fokussiert

zukünftig: Um die Klimaziele zu erreichen, ist die Betrachtung einzelner Bereiche nicht zielführend, sondern eine **systemische Herangehensweise** und die **Optimierung des Gesamtsystems** notwendig

Zwei zentrale Hebel:

- 1) **Einsparungen** und **Steigerung der Effizienz**
- 2) Nutzung von **erneuerbaren Energien in allen Anwendungsbereichen**

Ansatz: **Sektorkopplung / Sektorenkopplung**

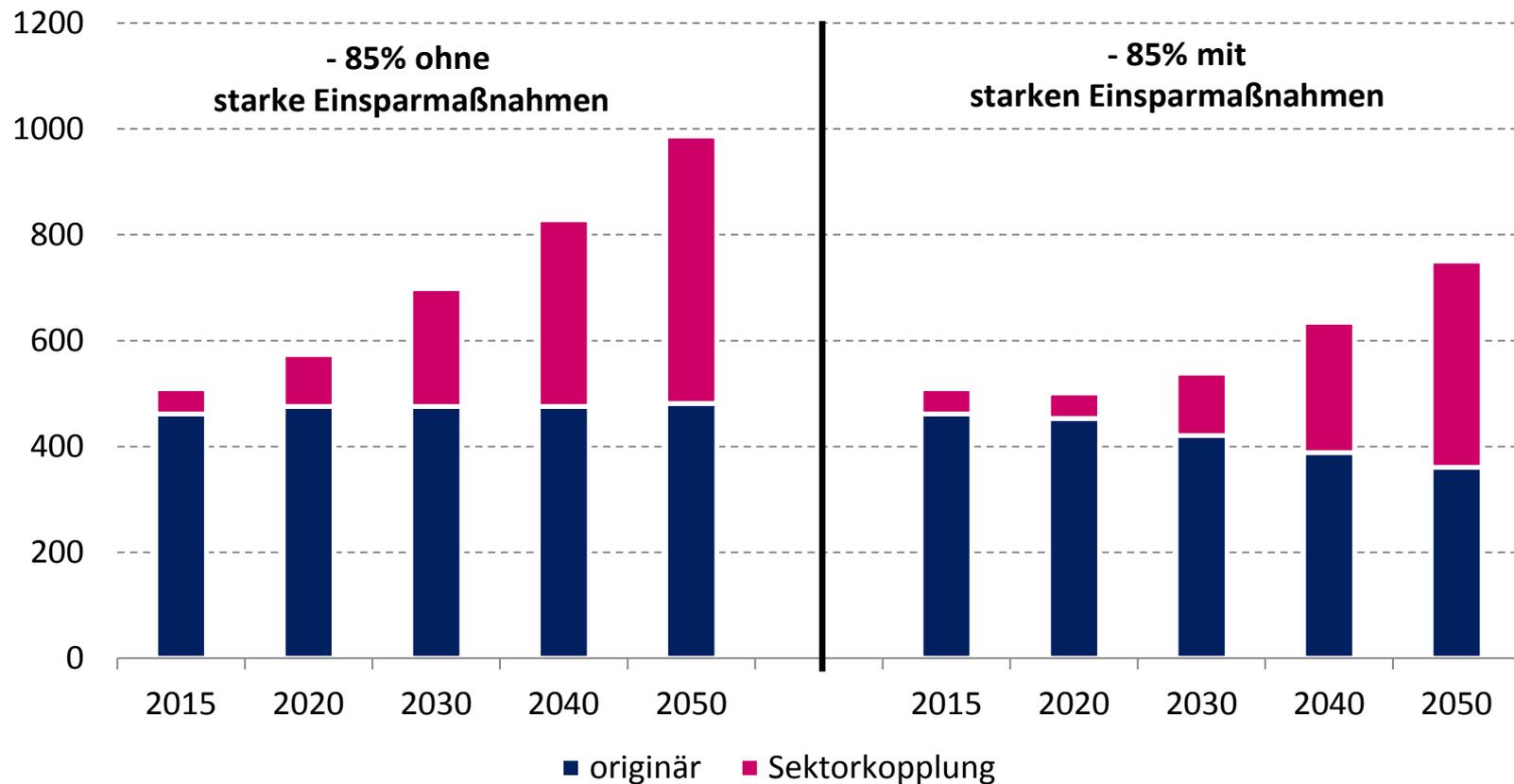
➔ **viel stärkere Vernetzung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr**

Vorteile: Synergieeffekte (bspw. Einsatz EE-Strom in verschiedenen Sektoren), Effizienzpotenziale, neue Flexibilitäten, Gesamtoptimierung

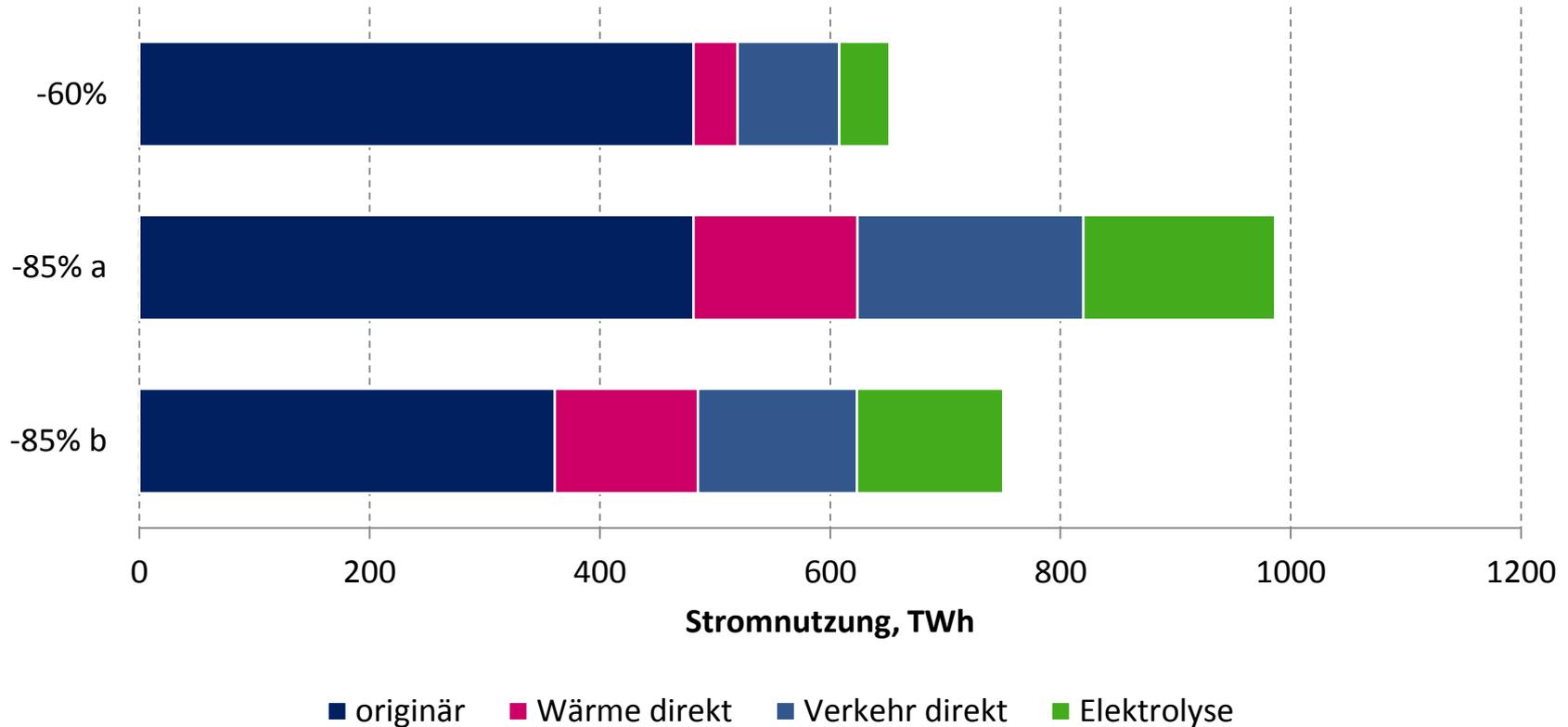
Sektorkopplung und Strombedarf

- Eine viel stärkere **Kopplung der Sektoren (integriertes Energiesystem)** ist ein zentraler Baustein, um die Klimaziele zu erreichen.
- Durch neue Anwendungen vor allem 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. Eine **fünf- bis siebenfach höhere Kapazität an Erneuerbaren** als heute könnte dafür notwendig sein (500 – 600 GW).
- Maßnahmen zur **effizienten Nutzung von Energie** spielen eine entscheidende Rolle, u.a. auch um diesen Ausbau zu begrenzen.
- Zugleich wird – trotz Kurzzeitspeichern und Maßnahmen der flexiblen Stromnutzung – ein bereit stehende **Reserveleistung** in ähnlicher Größe wie der heutige Kraftwerkspark benötigt („kalte Dunkelflauten“).

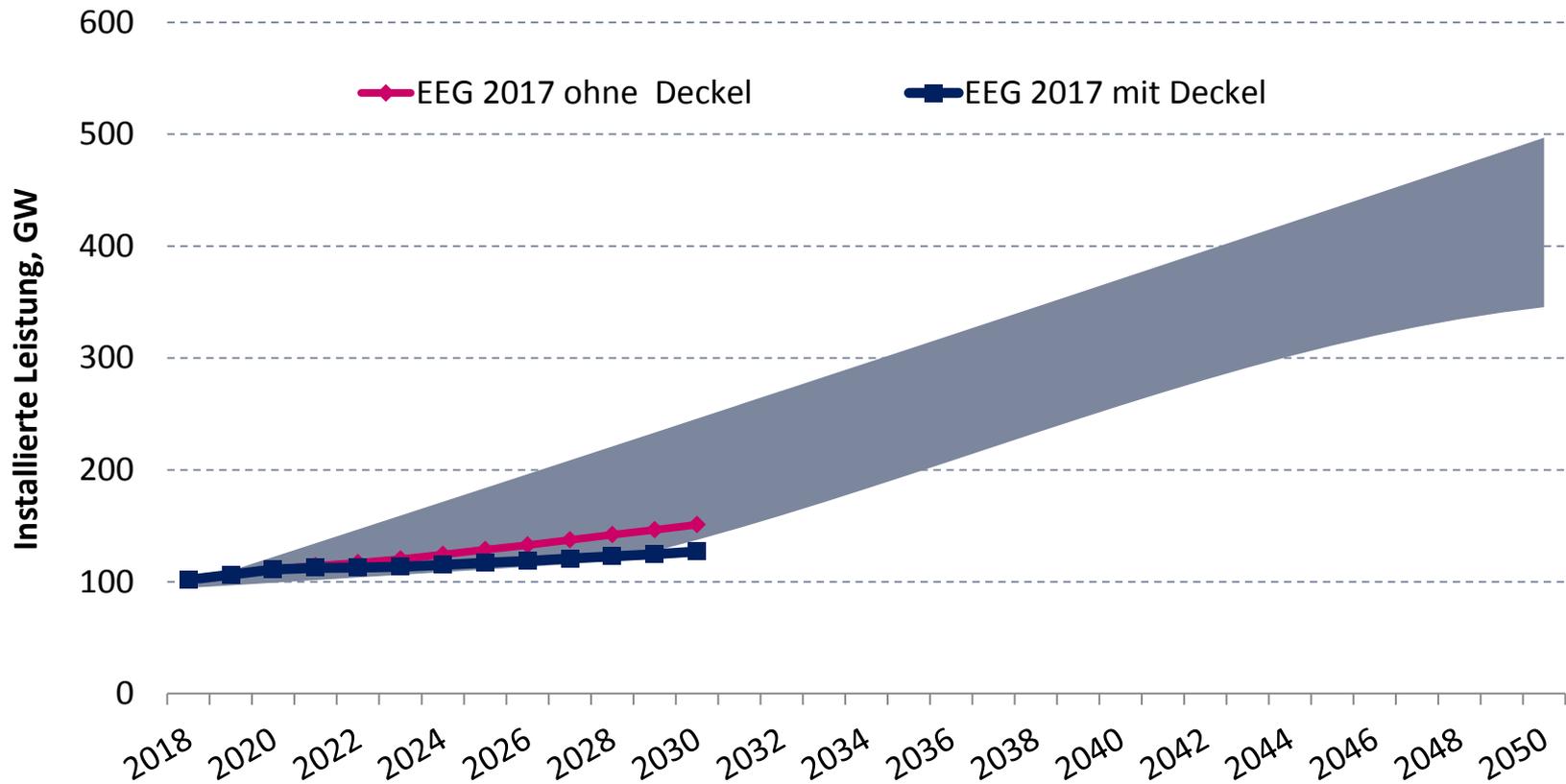
Entwicklung Strombedarf (Modellrechnungen)



Stromnutzung im Jahr 2050 (Modellrechnungen)



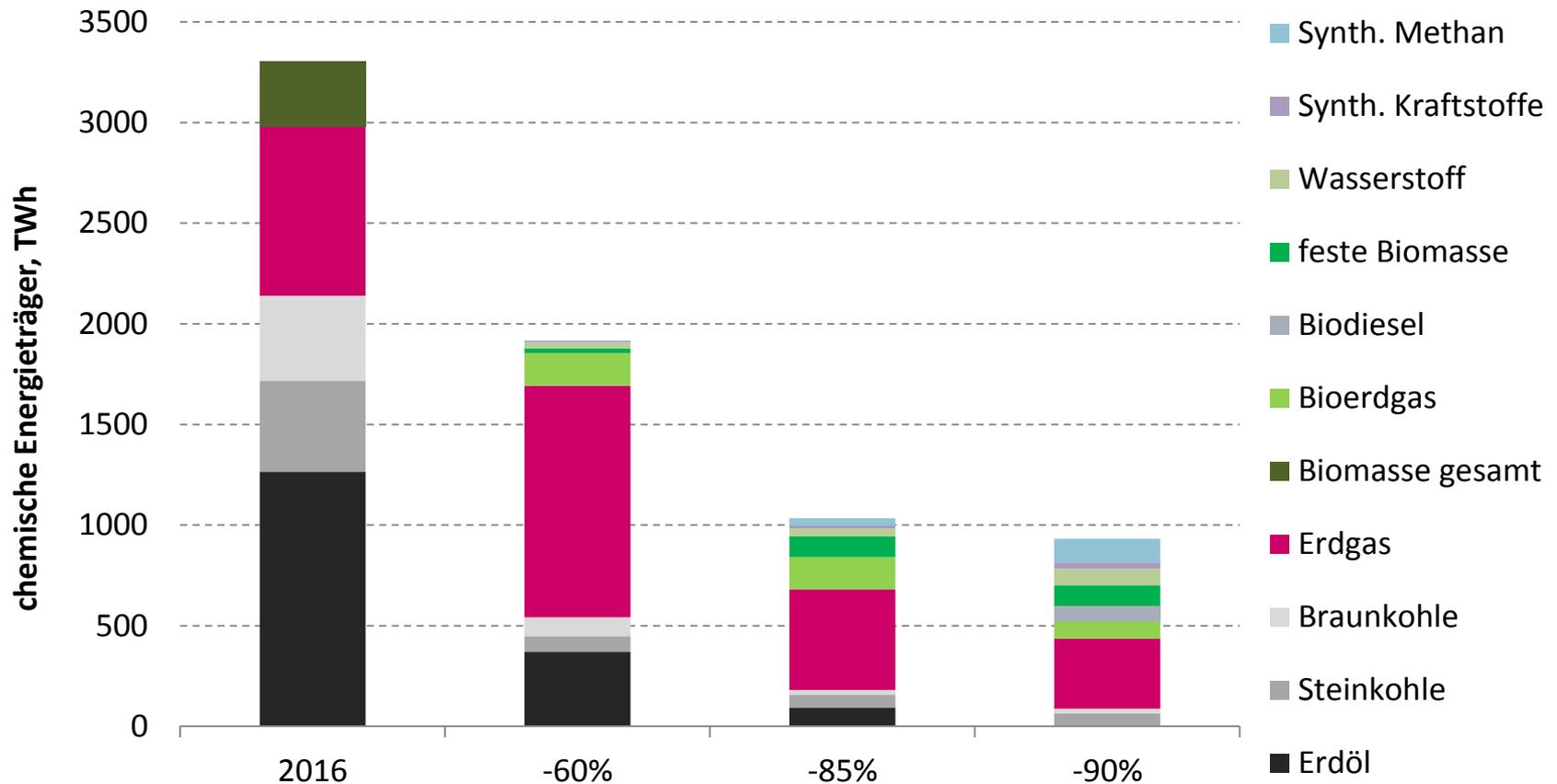
Korridor des notwendigen Ausbaus für Wind und PV



Energieträger

- **Strom** aus erneuerbaren Quellen wird zum dominanten Energieträger der Zukunft
- Der **gezielte Einsatz von Biomasse** in den Wärme- und Verkehrssektoren sowie ein **Ausbau der Geo- und Solarthermie** können beitragen, den Ausbau an Wind und PV zu begrenzen und die gesellschaftliche Akzeptanz der Energiewende zu sichern.
- **Gas** wird noch lange eine wichtige Rolle spielen (fossiles Erdgas; zunehmend Anteile von Bioerdgas und u.U. synthetischen Gasen aus EE-Strom).
- **Wasserstoff** kommt aufgrund seiner vielfältigen Einsatzmöglichkeiten (Nutzungsoptionen in Verkehr, Wärmeversorgung, Stromerzeugung, Nutzung in Industrie, Weiterkonversion zu Kohlenwasserstoffen) eine zentrale Rolle zu.
- **Synthetische Brenn- und Kraftstoffe** werden voraussichtlich **unverzichtbar** sein (Langzeitspeicher und Versorgungssicherheit bei Dunkelflauten, Einsatz im Schiff- und Flugverkehr und in speziellen Industrieprozessen).

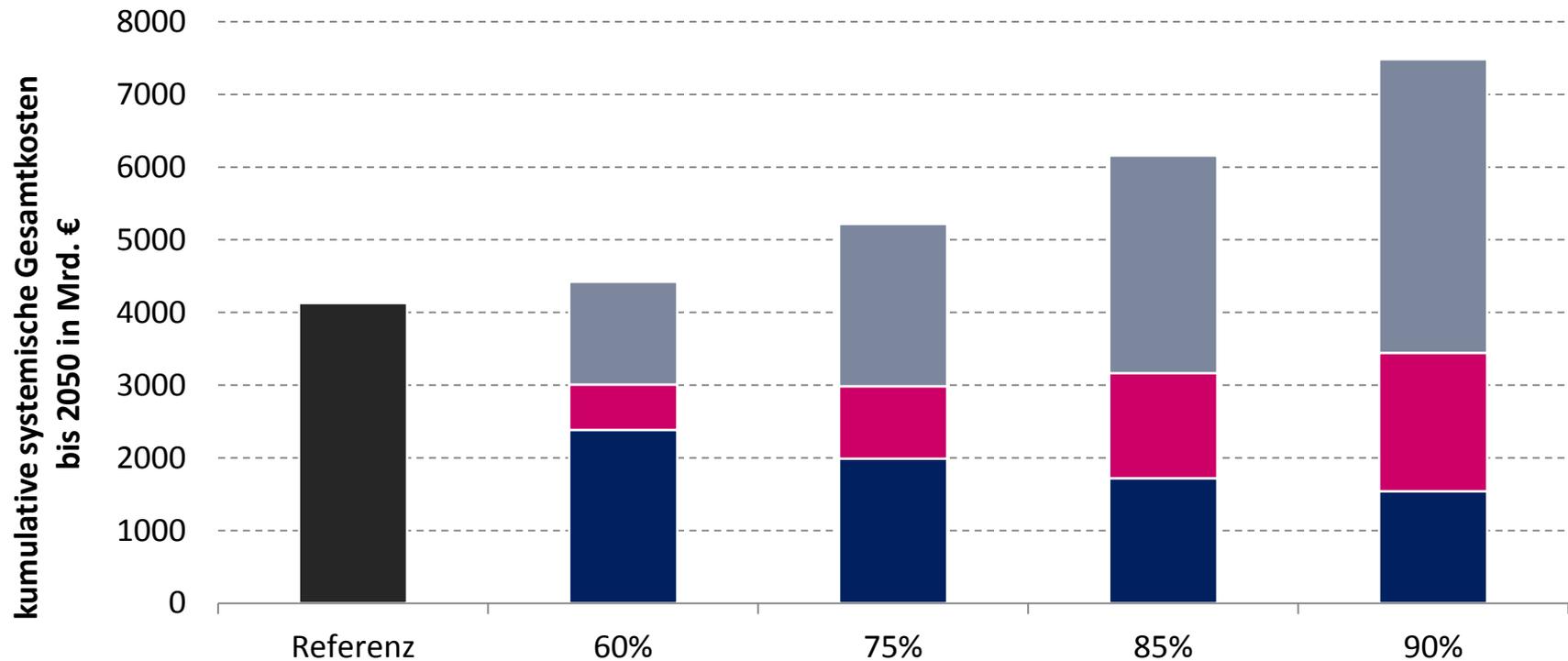
Chemische Energieträger in den Modellrechnungen



Zentrale Ergebnisse – Systemische Mehrkosten der Energiewende

- Durch den Umbau der Energieversorgung entstehen **systemische Mehrkosten**
- Die **jährlichen Mehrkosten** liegen bei **ein bis mehr als zwei Prozent des heutigen Bruttoinlandproduktes** (bei allen Unsicherheiten derartiger Projektionen).
- Dabei **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.

Systemische Gesamtkosten in Abhängigkeit der Reduktionsziele



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

Zentrale Ergebnisse – Handlungsbedarfe

- Einführung von Konzepten der **direkten Stromnutzung** (E-Mobilität, Wärmepumpen)
- Kontinuierlicher Ausbau der **Erneuerbaren und der Netze**
- Erforschung, Weiterentwicklung und Erprobung von **Schlüsseltechnologien der indirekten Stromnutzung** (Wasserstoff, Anwendung in Industrie Power-to-Kohlenwasserstoffe, Kohlenstoffkreisläufe)
- **Kritisch:** aufgrund der Lebensdauer 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

Flexibilisierung, Digitalisierung
Direkte Stromnutzung, Speicher
Entwicklung neuer Strommarkt



- 25 - 55 %

3 – Synthetische Kraft-/Brennstoffe

Hohe negative Residuallasten
Großskalige Elektrolyse
SBK für Verkehr und Industrie



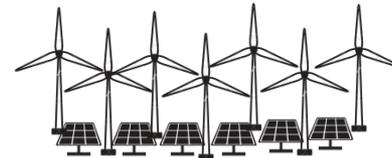
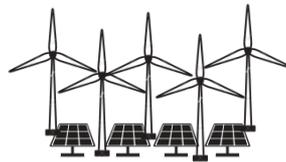
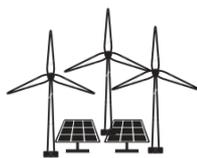
- 55 - 85 %

4 – Finale Defossilierung

Verdrängung fossiler Energieträger
EE-Importe
Abschluss Umbau Energieversorgung



- 85 - 100 %



Kontinuierliche Technologieentwicklung und steigende Energieeffizienz

Zunehmende Sektorkopplung

Integriertes
Energiesystem

Zentrale Ergebnisse – politische Steuerungsinstrumente

- Zentrales Steuerungsinstrument:
ein **einheitlicher, wirksamer, sektorübergreifender CO₂-Preis**. Gleichzeitig sollte das bestehende System an Steuern, Abgaben und Umlagen reformiert und verschlankt werden. So können preisliche Verzerrungen zwischen den Sektoren abgebaut und ein **Level Playing Field** erreicht werden
- Diskutierte Optionen
 - 1) **Ausweitung des EU ETS** auf alle Sektoren und Einführung eines Preiskorridors
 - 2) Einführung einer **europaweiten oder nationalen CO₂-Steuer**
 - 3) **Reform des bestehenden Umlagen- und Abgabensystems** inkl. der EE-Förderungen zur Schaffung eines Level Playing Fields zwischen den Energieträgern

Zentrale Ergebnisse – politische Steuerungsinstrumente

- Gleichzeitig sind **ergänzende Maßnahmen** erforderlich, wenn das CO₂-Preissignal aufgrund von **Marktversagen** nicht die gewünschte Wirkung zeigt.
 - Mögliche Gründe: Informationsdefizite, fehlende Anreize für privatwirtschaftliche Investitionen in öffentliche Güter, Differenzen zwischen langfristigem Nutzen und kurzfristiger Rentabilität.
 - Mögliche ergänzende Maßnahmen, die einer ständigen Evaluierung unterliegen sollten: 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 bis >2 % des heutigen BIP
- Gesellschaftliche Übereinkunft zur **Priorisierung des Ziels einer drastischen Reduktion der Treibhausemissionen**, um einen Klimawandel mit dramatischen Folgen zu vermeiden → glaubwürdige Haltung der Politik
- **Volkswirtschaftliche Effekte** wie die Schaffung lokaler Wertschöpfung und Beschäftigungseffekte
- **Chancen für Hochtechnologie- und Exportland**, führend bei der Entwicklung von Technologien zu sein, denen weltweit eine große Bedeutung zukommen wird
- 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



Strom, Wärme, Verkehr – koppeln, was zusammengehört

Diskussionsforum Energie.System.Wende.

Dienstag, 14. November 2017

dbb forum berlin
Friedrichstraße 169
10117 Berlin

- 17:30 **Einlass**
- 18:00 **Eröffnungsrunde**
Dirk Uwe Sauer
Sprecher des Akademienprojekts ESYS &
Lehrstuhl für elektrochemische Energiewandlung und
Speichersystemtechnik am ISEA der RWTH Aachen
Dieter Spath
Präsident acatech
- 18:15 **Grußwort**
Georg Schütte
Staatssekretär im Bundesministerium für Bildung
und Forschung (BMBF)
- 18:30 **Moderiertes Gespräch**
„Sektorkopplung: Optionen für die nächste Phase
der Energiewende“
Hans-Martin Henning
Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energie-
systeme ISE
Eberhard Umbach
Mitglied des acatech Präsidiums
- 18:50 **Fishbowl-Diskussion**
„Integrieren, finanzieren, akzeptieren: Wie gelingt
die Sektorkopplung in der Praxis?“
Hans-Martin Henning
Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energie-
systeme ISE
Jochen Kreusel
Market Innovation Manager der Division Power Grids
bei ABB
Karen Pittel
Leiterin des ifo Zentrums für Energie, Klima und
erschöpfbare Ressourcen
Julia Verlinden (angefragt)
Sprecherin für Energiepolitik der Bundestagsfraktion
Bündnis 90/Die Grünen
Freier Stuhl für wechselnde Gäste aus dem Publikum
- 20:00 **Empfang**
Moderation: Volker Gustedt

14. November 2017 Erscheinungsdatum von
Analyse und Stellungnahme



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**

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