



Fachforum 5. Elektromobilität – Fluch oder
Segen für die Stromnetze?

-

Die Elektromobilität im Kontext der langfristigen Energielandschaft Deutschlands

Gliederung

- Einleitung – Klimaziele und Sektorkopplung
- Einflussfaktoren - Stromverbrauch in zukünftigen Szenarien
- Beispiel unteres Klimaziel
- Lösungsraum 2050 – unteres/oberes Klimaziel
- Rolle Verkehr

Unsere langfristigen Klimaziele sind sehr ambitioniert

■ Klimaziele 2050
Reduktion von
-80% bis -95% der
Treibhausgase

■ COP21 Paris

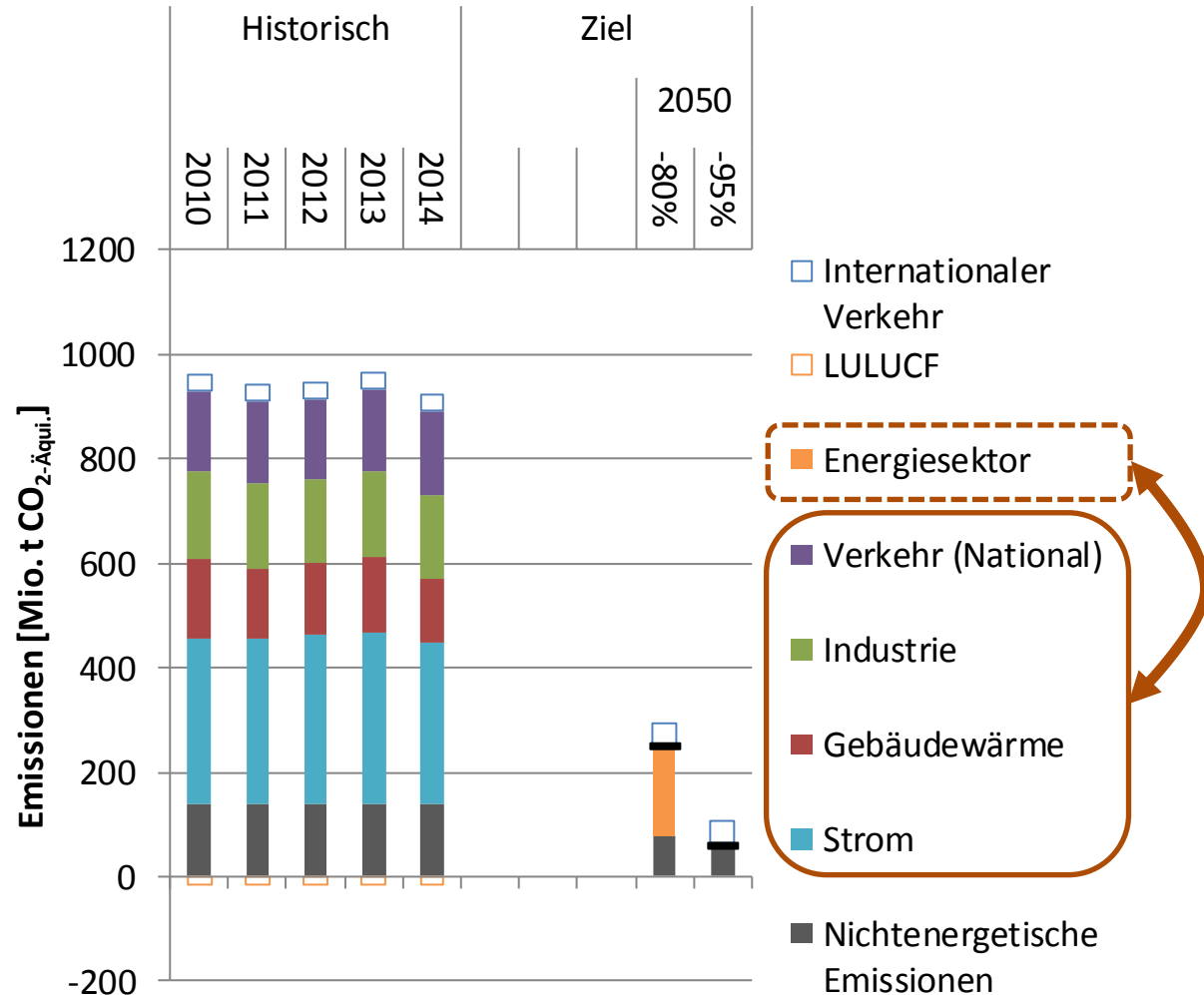
■ Konsequenzen für
Energiesektor

■ Strom

■ Wärme/Industrie

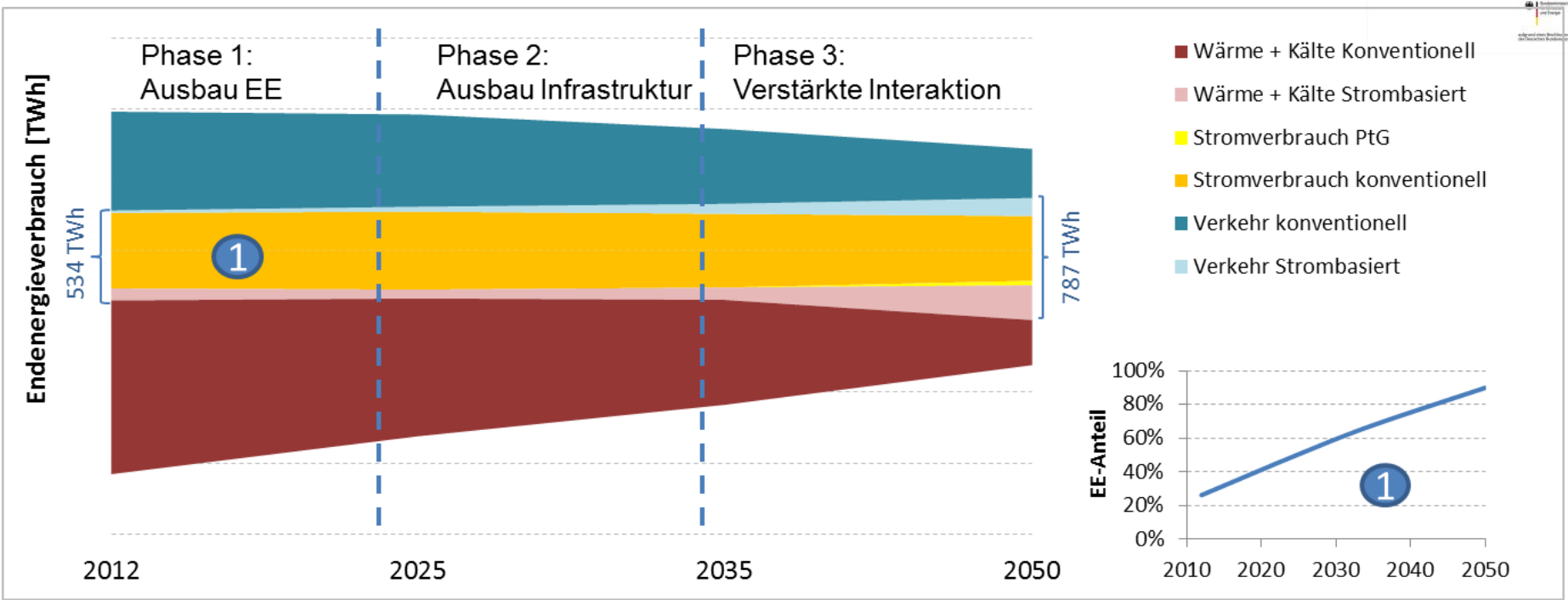
■ Verkehr

Aus: Projekt "Sektor-
übergreifende
Energiewende" für Agora
Energiewende (in
Bearbeitung)



Was ist eigentlich Sektorkopplung?

- Power → X oder Verkehr ← → Strom ↔ Wärme ?
- Roadmap Gesamtsystem (Projektbeispiel)



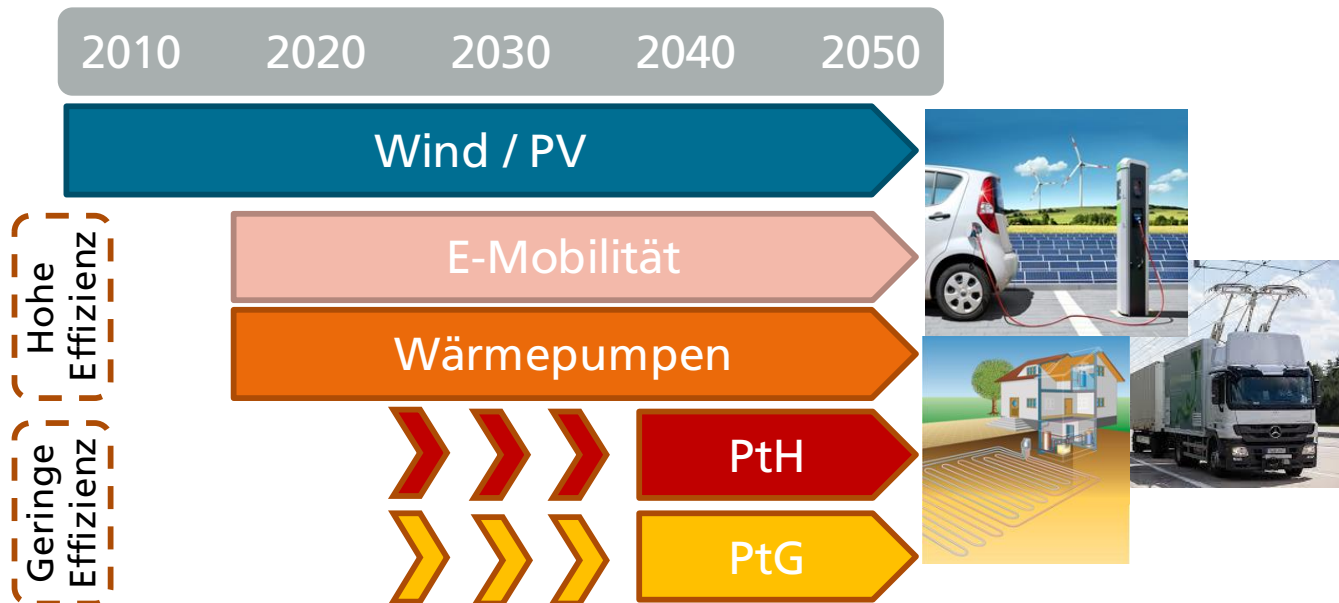
- EE-Strom als zukünftiger Primärenergieträger und Haupttreiber!

Welche Schlüsseltechnologien sind erforderlich?

■ Große Vielfalt an Technologien – aber zwei grundsätzliche Einteilungen:

1. E-Mobilität und Wärmepumpen
auch unter Graustrommix

2. PtH und PtG:
Verfügbarkeit von Stunden mit 100% EE-Strom

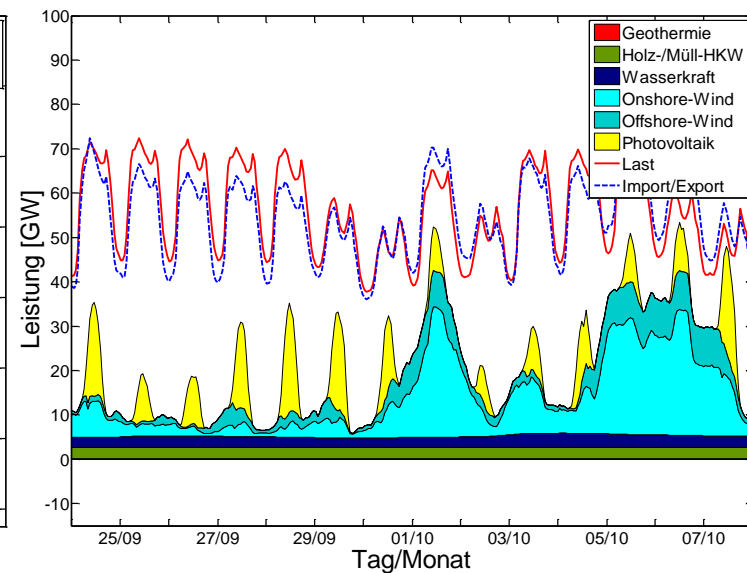
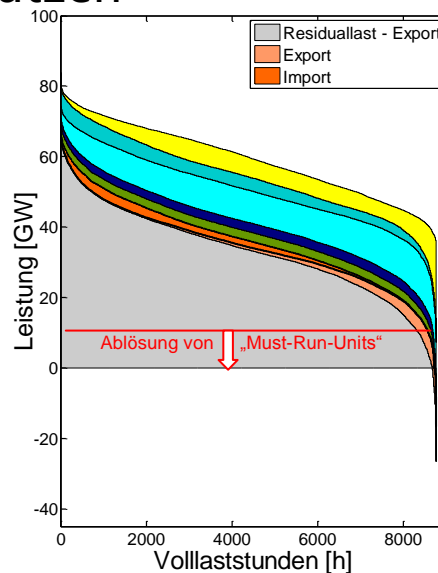


These 1: Wir können doch den „Überschussstrom“ des Stromsektors nutzen?

- In den vergangenen Jahren Diskussion zu
 1. Ziele im Stromsektor einen EE-Anteil zu erreichen
 2. Ausbau von Wind- und PV um diese Stromsektor-Ziele zu erreichen
 3. Negative Residuallast → „Überschussstrom“ als Abfallprodukt in anderen Sektoren nutzen

- Aber EE-Strom muss extra für Verkehr und Wärme/Industrie zugebaut werden
→ Es gibt keinen Überschuss
→ andere Sektoren müssen auch die Kosten tragen.

- Sonderfälle
EinsMan-Strom und negative Preise



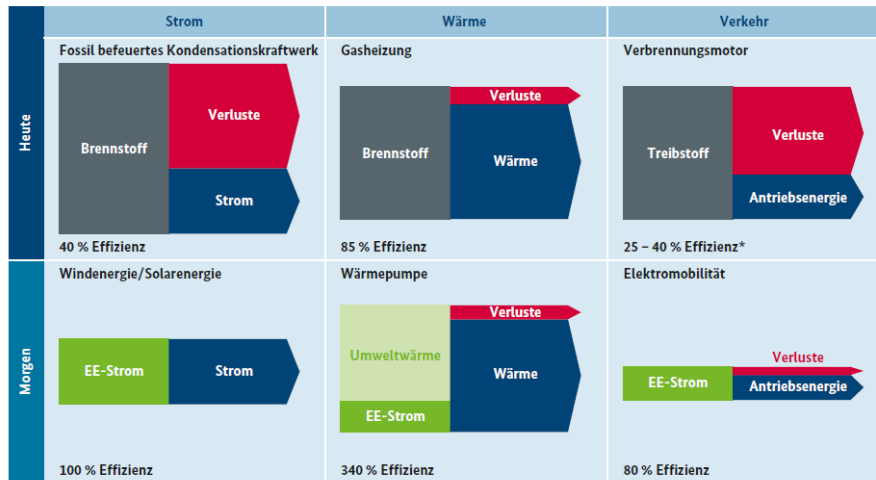
These 2: EE-Strom ist doch im Überfluss verfügbar?

■ Technisches EE-Potenzial:

- PV Dachflächen + Freiflächen: ca. 260 + 180 GW
- Offshore 49 – 69 GW
- Onshore 180 – 290 GW

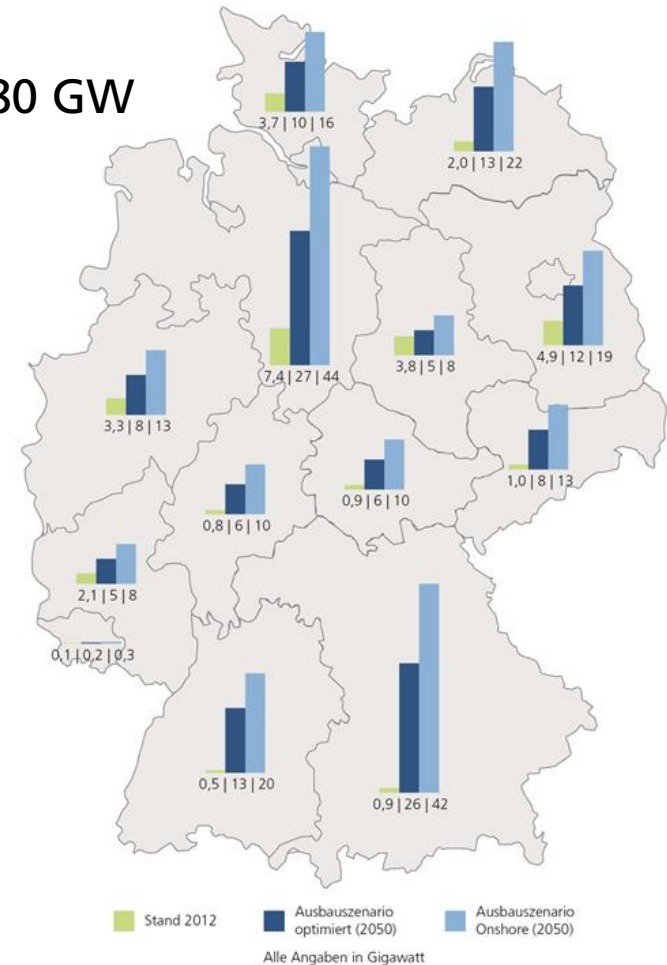
➔ Hohes Potenzial – aber Akzeptanz

Abbildung 18: Wärmepumpen und Elektromobilität steigern die Energieeffizienz und ersetzen Brennstoffe



* Die Effizienz von Verbrennungsmotoren in anderen Anwendungen (z. B. Seeverkehr, Motorkraftwerke) kann über 50 % liegen.

Quelle: Eigene Darstellung nach Fraunhofer IWES (2015a)



■ EE-Strom → hohe Effizienz in der Nutzung wesentlich

These 3: Alle Anwendungen sind zukünftig strombasiert?

■ Andere EE-Optionen?

- Biomasse (begrenzttes Potenzial)
 - Fokussierung auf nicht-elektrifizierbare Bereiche
- Solarthermie (Dachanlagen in Konkurrenz zu PV-Wärmepumpen-Kombination)
 - Freiflächenanlagen für Wärmenetze
- Tiefengeothermie
 - Dekarbonisierung von bestehenden Hochtemperatur-Fernwärmenetze

→ EE-Strom als Treiber, aber effiziente Nutzung

→ Andere EE-Optionen als Ergänzung

Gliederung

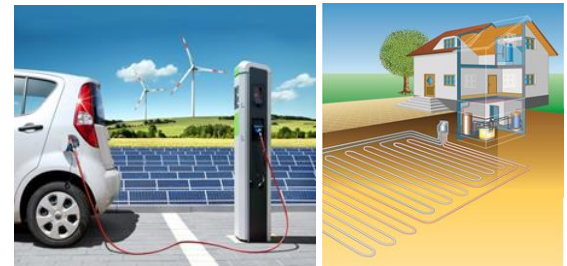
- Einleitung – Klimaziele und Sektorkopplung
- Einflussfaktoren - Stromverbrauch in zukünftigen Szenarien
- Beispiel unteres Klimaziel
- Lösungsraum 2050 – unteres/oberes Klimaziel
- Rolle Elektromobilität

Wieviel Strom brauchen wir zukünftig?

Neue Stromverbraucher?

Bisheriger Bestandteil der Szenarien:

- Elektromobilität und dez. Wärmepumpen
- Power-to-Gas (H_2 / CH_4)



Was kommt alles noch?

- Oberleitungs-Lkw
- Wärmepumpen in der Industrie und Fernwärme
- Power-to-Heat in verschiedenen Anwendungen
- Elektrische Verfahren in der Industrie



Wieviel Strom brauchen wir zukünftig?

Neue Stromverbraucher?

Bestandteil der Szenarien:

und dez. Wärmepumpen

http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Stromverbrauch_in_der_Energiewende/086_IWES_Szenarienvergleich_WEB.pdf

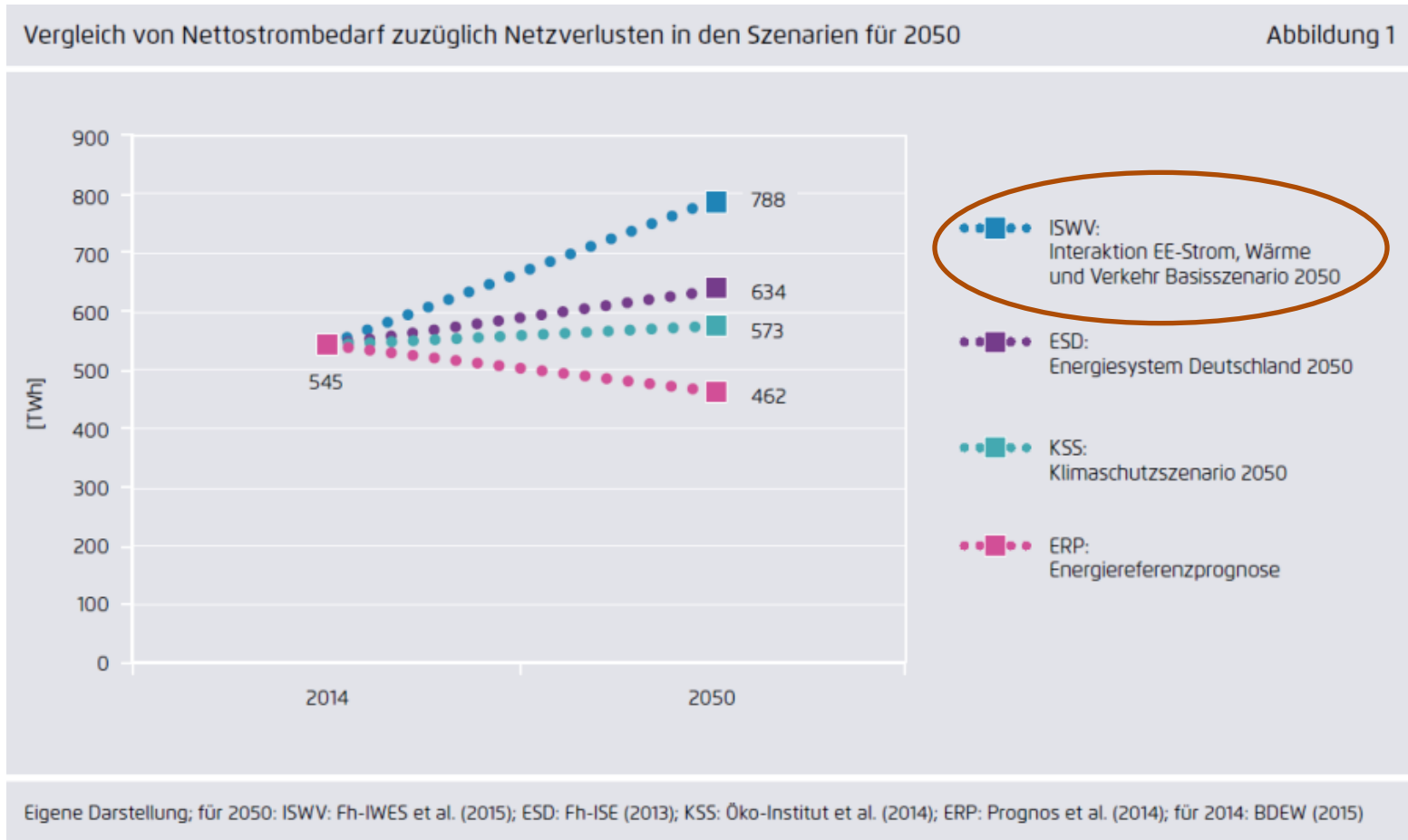
Was kommt alles noch?

- Oberleitungs-Lkw
- Wärmepumpen in der Industrie und Fernwärme
- Power-to-Heat in verschiedenen Anwendungen
- Elektrische Verfahren in der Industrie



Vergleich von 4 Zielszenarien 2050 mit „-80% Treibhausgase“

- Sehr große Bandbreite des Strombedarfs zur Zielerreichung → Gründe?

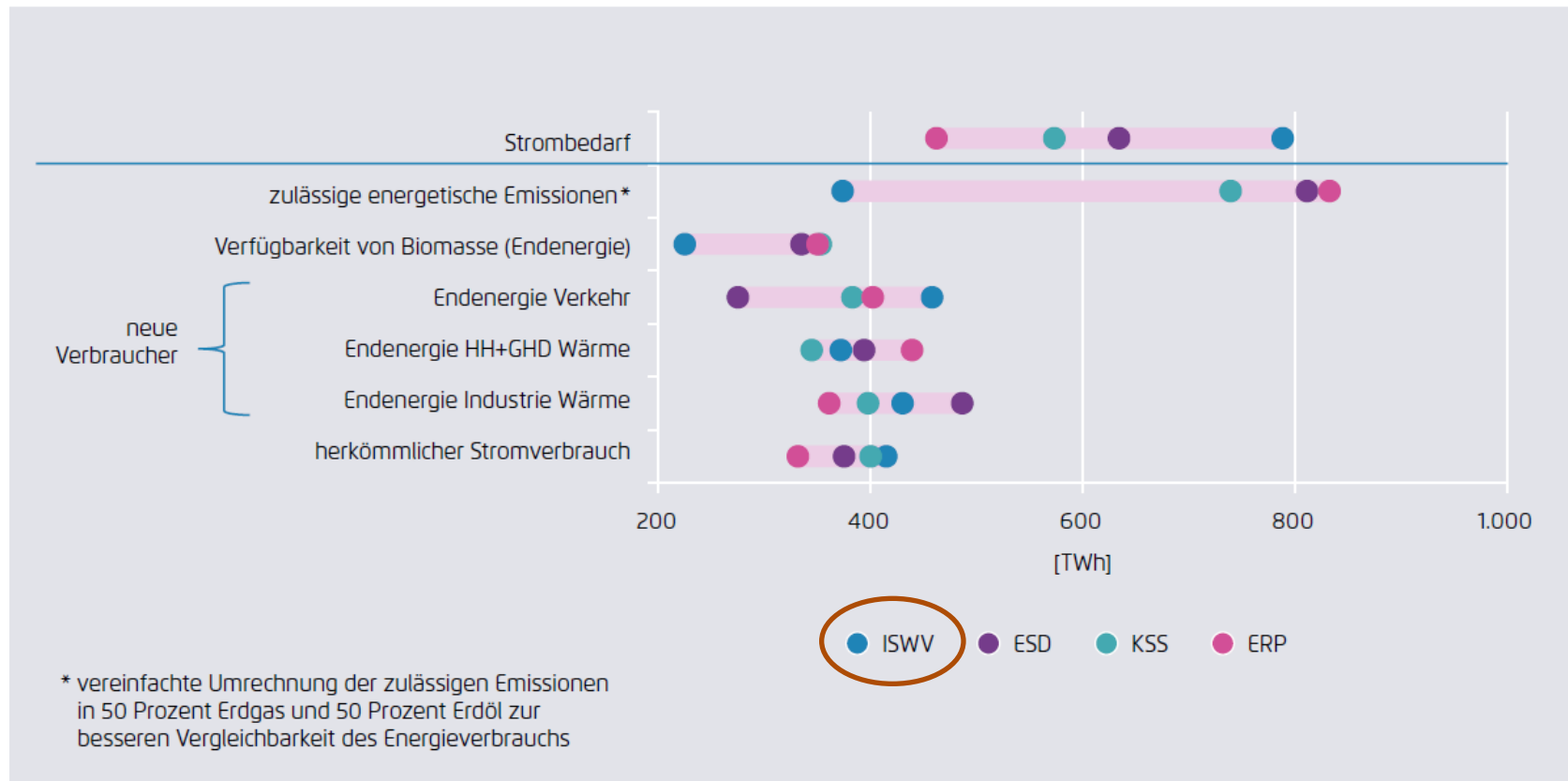


Treiber für die Höhe des Strombedarfs

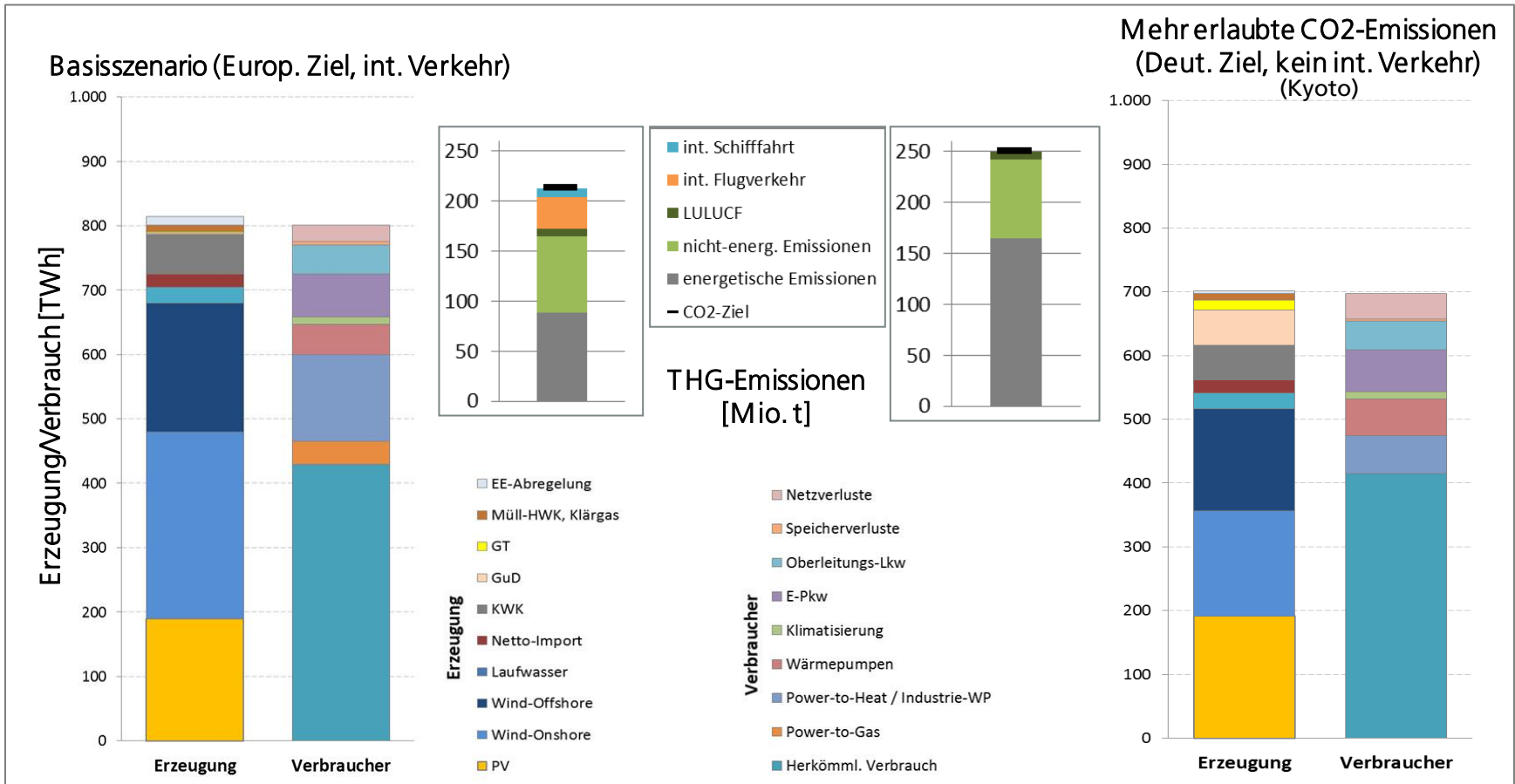
■ Definition „-80% Treibhausgase“ / Biomasse / Effizienz

Einordnung der Szenarien für 2050 in das Spektrum der identifizierten Treiber

Abbildung 4



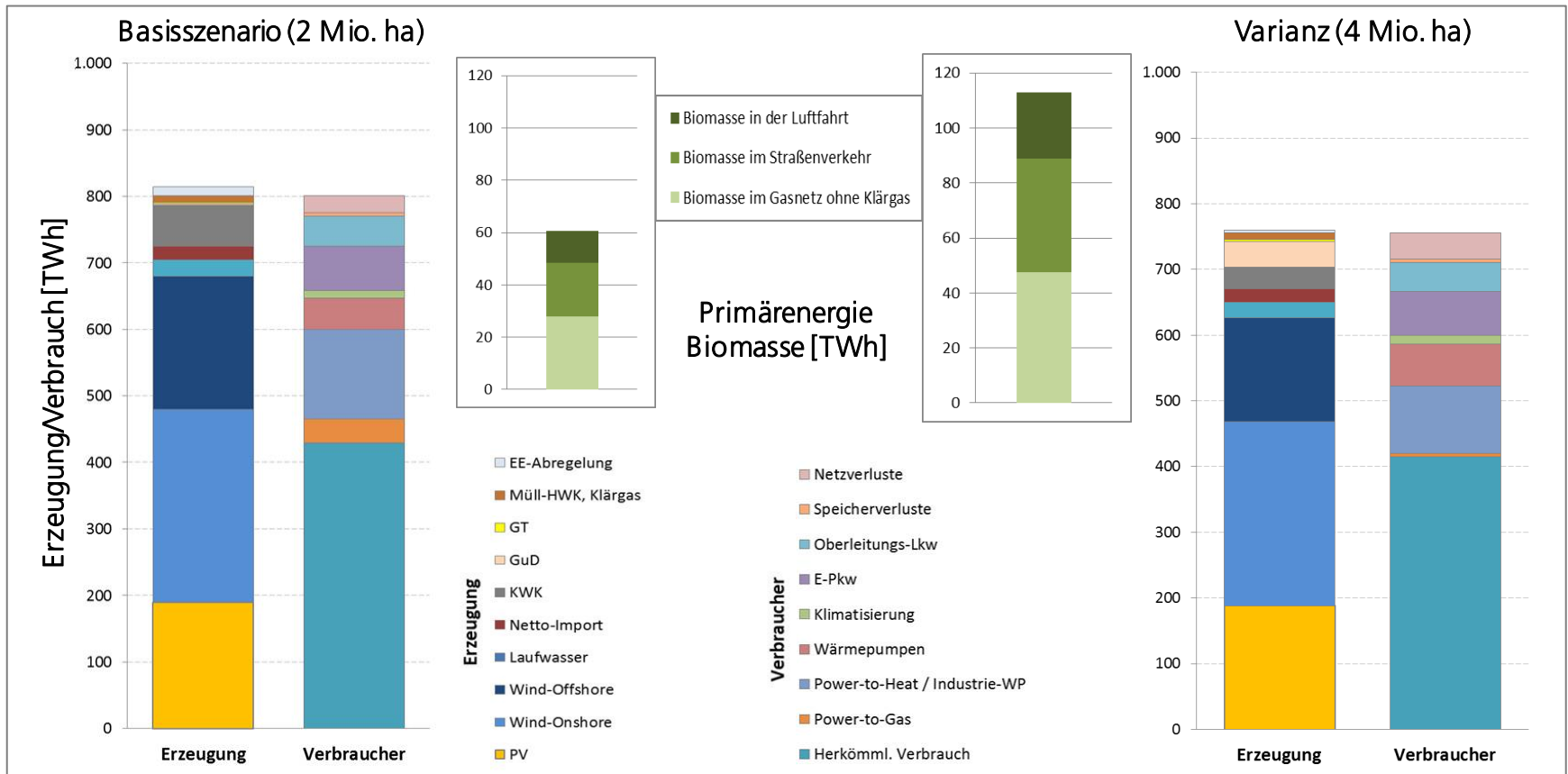
Einfluss auf Strombedarf



■ Beispielrechnung IWES-Modell

- Erhöhung der freien energetischen Emissionen um **77 Mio. t THG**
→ Reduktion des Strombedarfs um **96 TWh_{el}**

Einfluss Biomasse auf Strombedarf

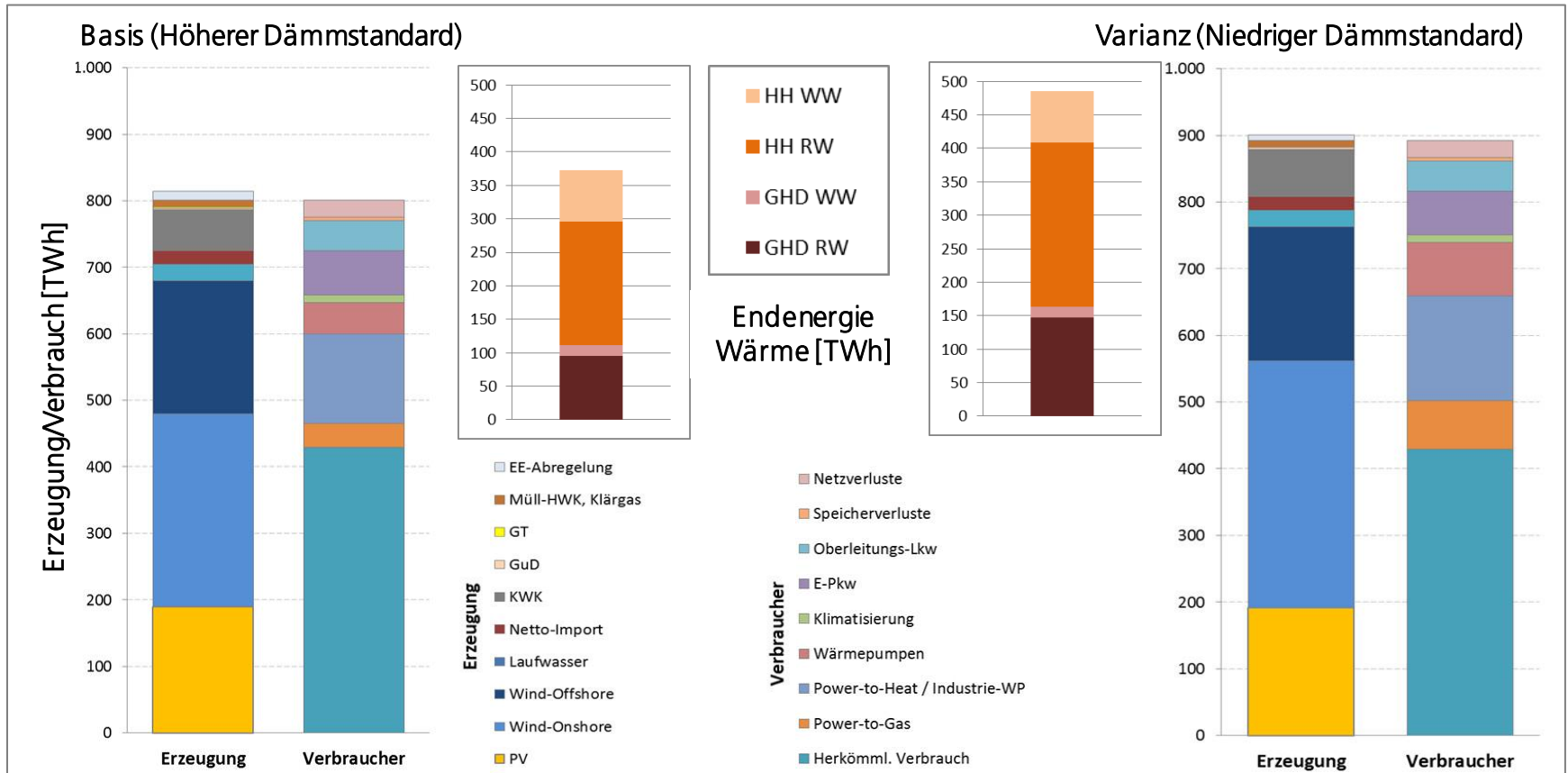


■ Beispielrechnung IWES-Modell

■ Erhöhung des Primärenergiepotentials Biomasse um **53 TWh**

→ Reduktion des Strombedarfs um **37 TWh_{el}**

Einfluss Dämmstandard auf Strombedarf

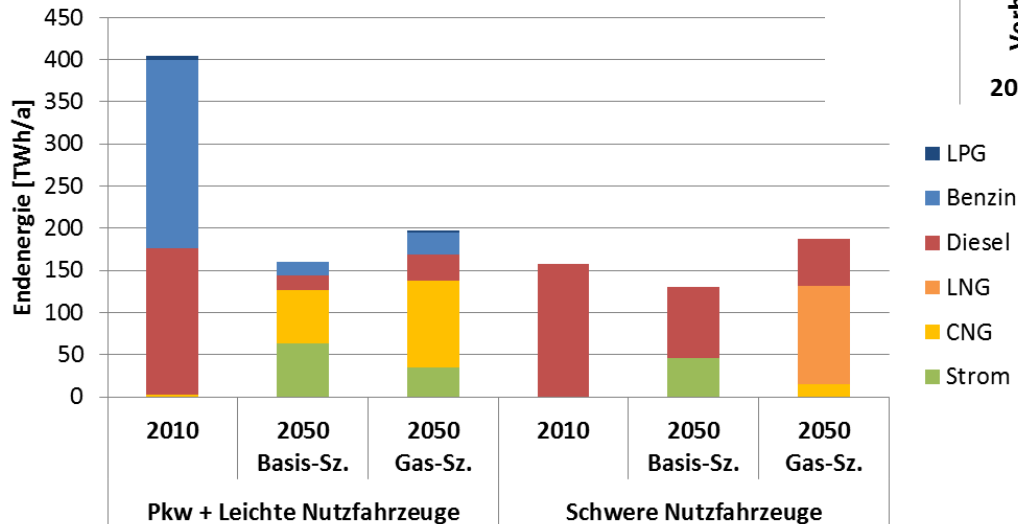


- Bessere Dämmung: Einsparungen beim Wärmebedarf + höheren JAZ bei WP → Beispielrechnung IWES-Modell:
- Erhöhung des Endenergiebedarfs Wärme um 112 TWh → Erhöhung des Strombedarfs um 99 TWh_{el}

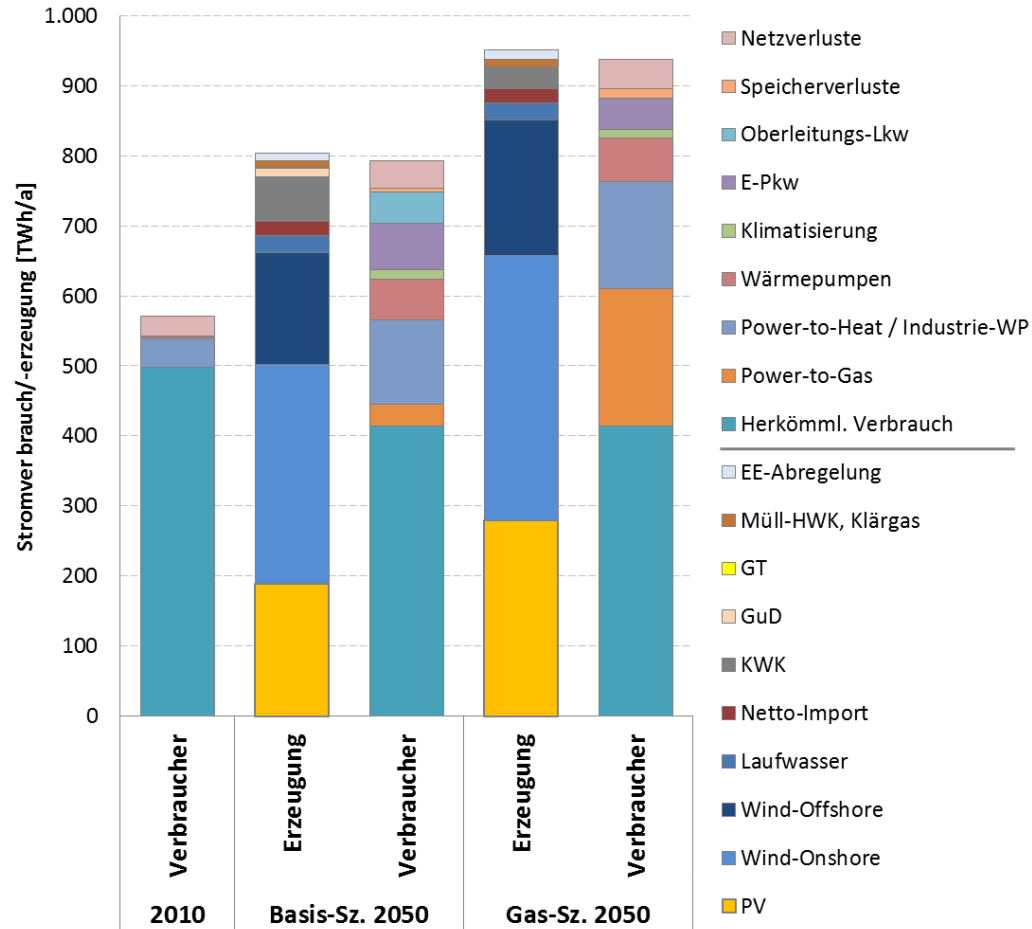
Einfluss Verkehr-Technolog.

- Zentrale Rolle E-Mobilität
- Bei mehr Anteil von Verbrennungsmotoren bei gleichen Klimaziel hohe Steigerung des Stromverbrauchs

Endenergie Straßenverkehr



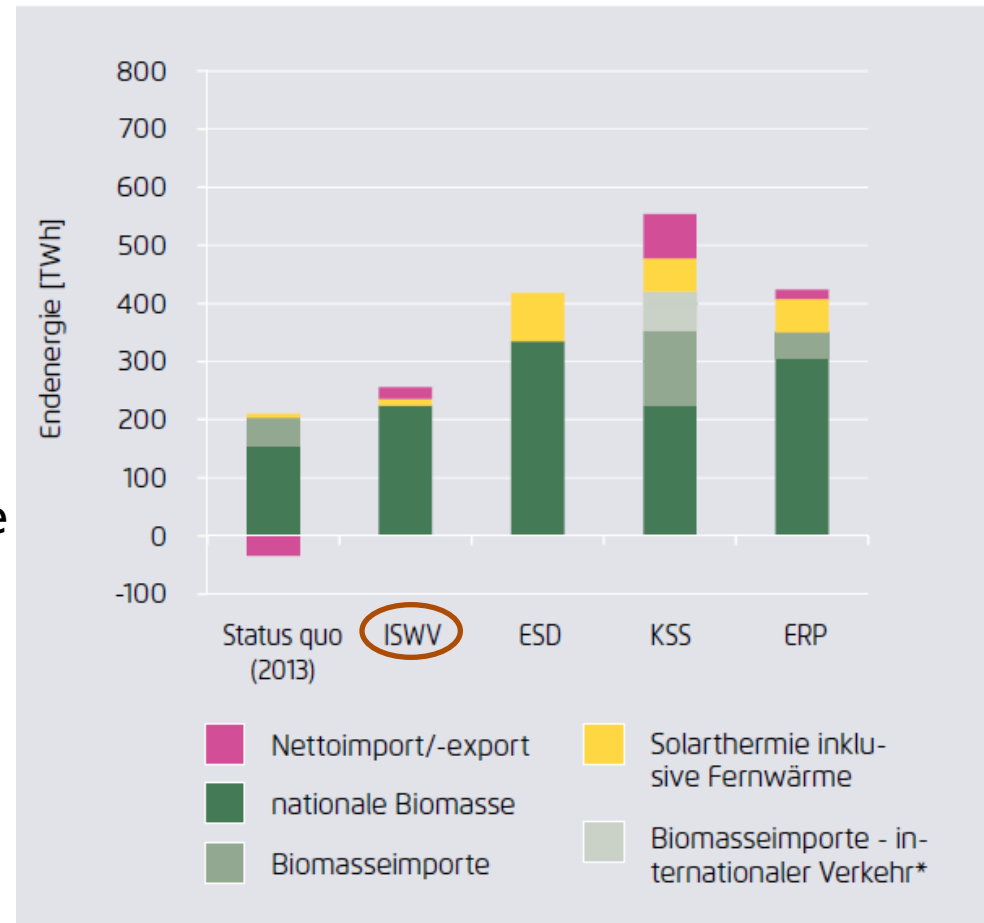
Strombilanz



www.energieversorgung-elektromobilitaet.de/

Alternativen zu EE-Strom?

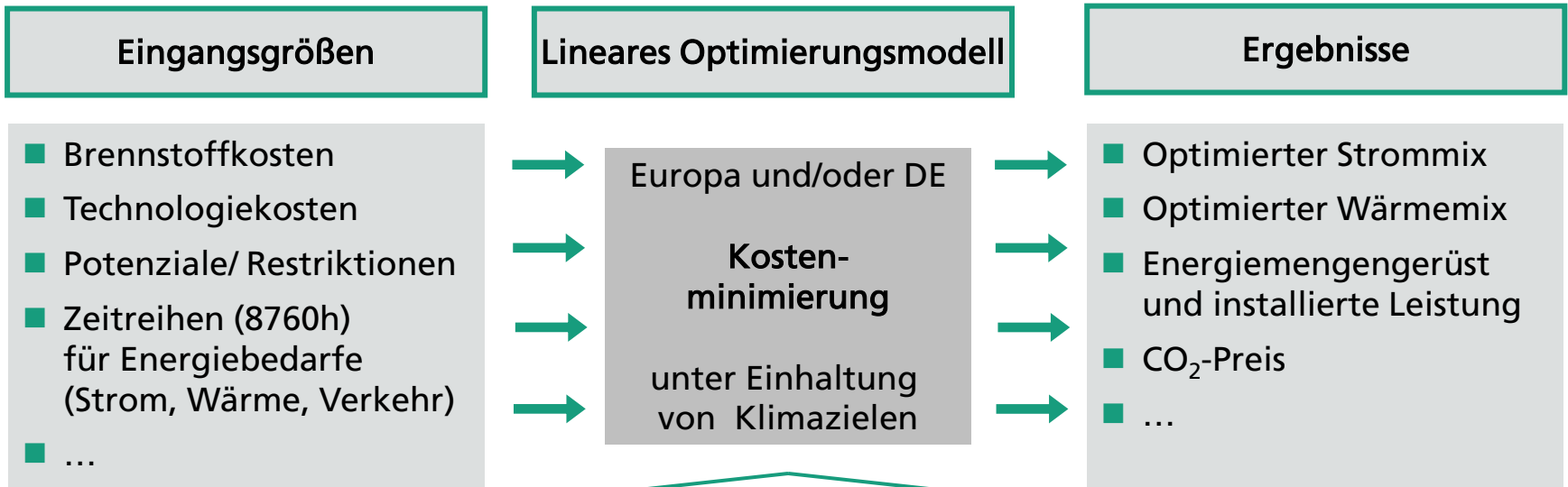
- Begrenzte Alternativen zu einer nationalen Erzeugung auf Basis von Windkraft und PV
- Große Bandbreiten des Treibers „Verfügbarkeit von Biomasse“
- Langfristige Rolle der Biomasseimporte?
- Begrenzttes technisch-ökonomisches Potenzial für Solarthermie
- Rolle Geothermie-Fernwärme
- Rolle Stromimporte?
- Rolle PtX-Importe?
- Je weniger Alternativen verfügbar ist, um so mehr Windkraft und PV müssen ausgebaut werden



Gliederung

- Einleitung – Klimaziele und Sektorkopplung
- Einflussfaktoren - Stromverbrauch in zukünftigen Szenarien
- **Beispiel unteres Klimaziel**
- Lösungsraum 2050 – unteres/oberes Klimaziel
- Rolle Elektromobilität

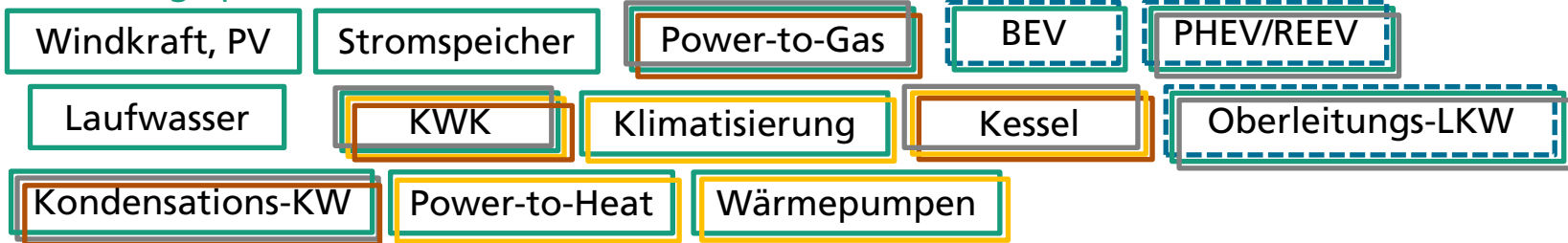
Schematische Modelldarstellung - SCOPE



-Märkte:



Technologieportfolio:



**INTERAKTION
 EE-STROM, WÄRME UND VERKEHR**

Analyse der Interaktion zwischen den Sektoren Strom, Wärme/Kälte und Verkehr in Deutschland in Hinblick auf steigende Anteile fluktuierender Erneuerbarer Energien im Strombereich unter Berücksichtigung der europäischen Entwicklung

Ableitung von optimalen strukturellen Entwicklungspfaden für den Verkehrs- und Wärmesektor



gefördert durch
 Bundesministerium für Klimaschutz und Energie
 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

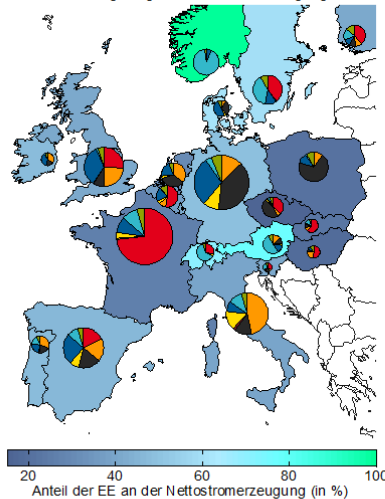
Interaktion EE-Strom-Wärme und Verkehr

- Fokus 2050, sowie Entwicklung dahin und Konsequenzen
- Randbedingungen
- Wir kann Europa und Deutschland kostenminimal seine Mindestklimaziele (-80% CO₂) erreichen?
- Was heißt das für den Wärmemarkt, Verkehrssektor und den Technologiemarkt?

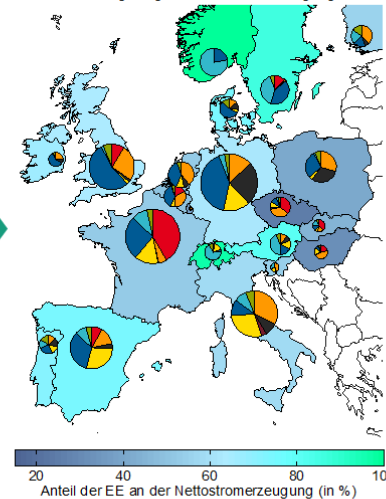
Zeitliche Entwicklung der EE-Ausbau in Europa
 2025 2035 2050

Kurzfassung: <http://s.fhg.de/hiD>
 Endbericht: <http://s.fhg.de/hj5>

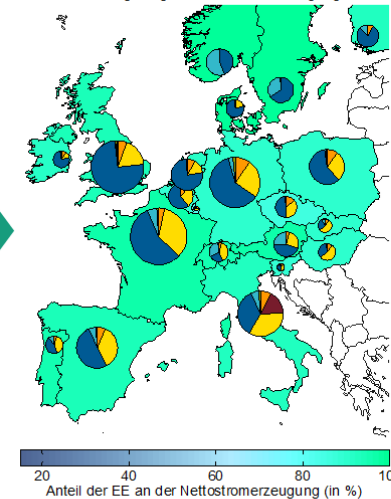
Anteile der Energieträger an der Stromversorgung in 2025



Anteile der Energieträger an der Stromversorgung in 2035

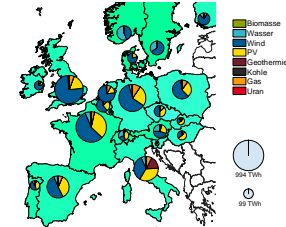


Anteile der Energieträger an der Stromversorgung in 2050

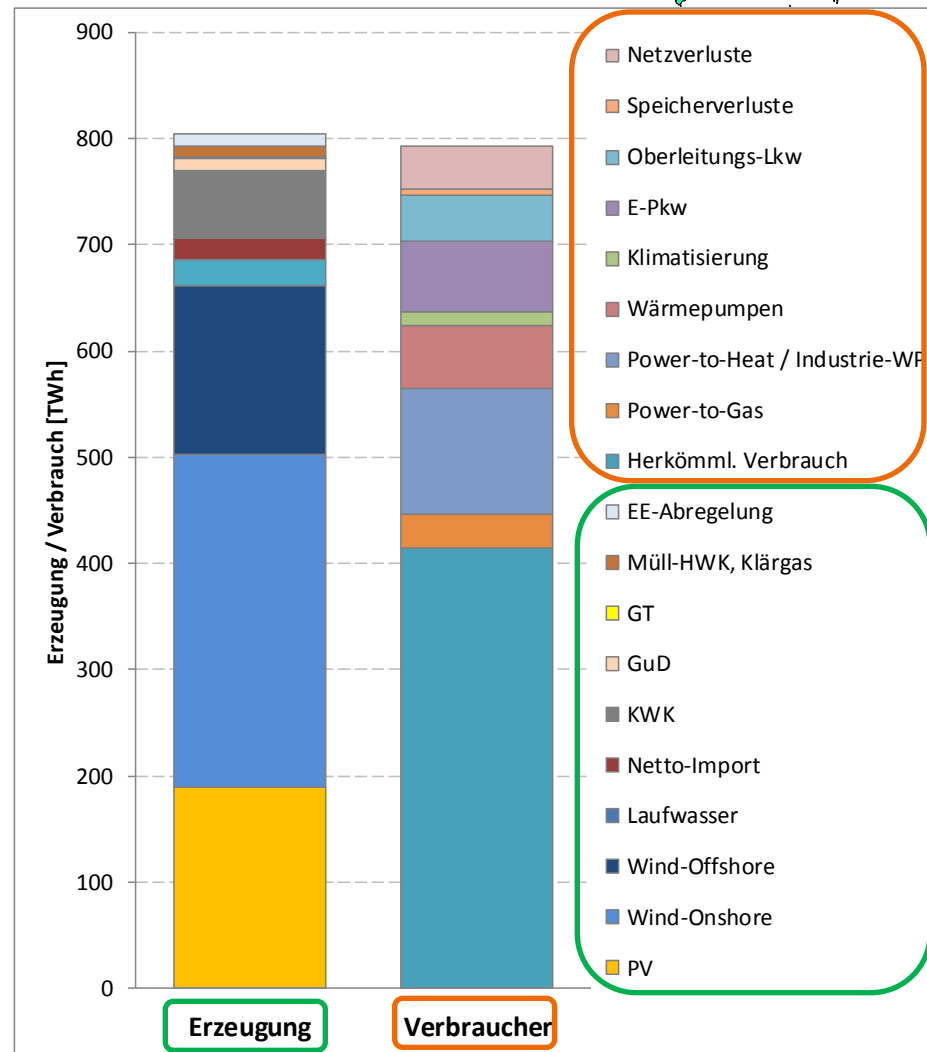


- Biomasse
- Wasser
- Wind
- PV
- Geothermie
- Kohle
- Gas
- Uran

Deutschland 2050 - Stromverbrauch und -erzeugung

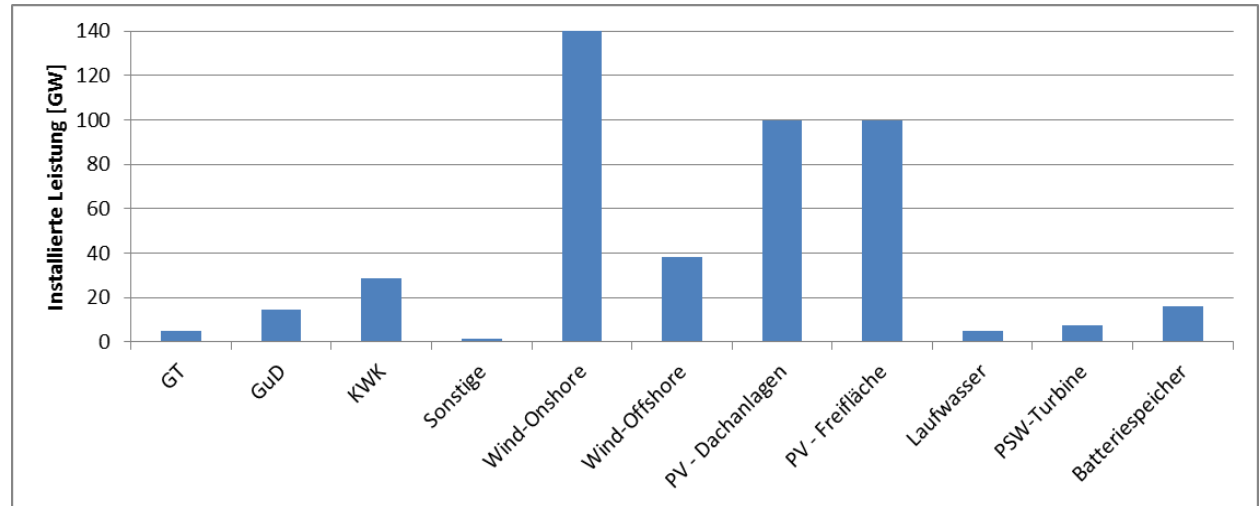


- THG-Minderungsziel von -83% (europäischer Lastenausgleich)
 - Begrenzte Biomasse
2 Mio. ha NaWaRo unterstellt
 - Hoher Anteil E-Mobilität
 - Optimale Strombilanz 2050:
Steigerung Nettostromverbrauch von
 - Heute 557 TWh
 - auf 793 TWh in 2050
 - Rückwirkungen auf den EE-Ausbau
 - Langfristig hoher PV-Anteil aufgrund wirtschaftlich darstellbar
 - Sehr hohe EE-Leistungen für eine flukt. EE-Stromerzeugung von 673 TWh
- Effizienz ist sehr wichtig um EE-Ausbaubedarf im Rahmen zu halten



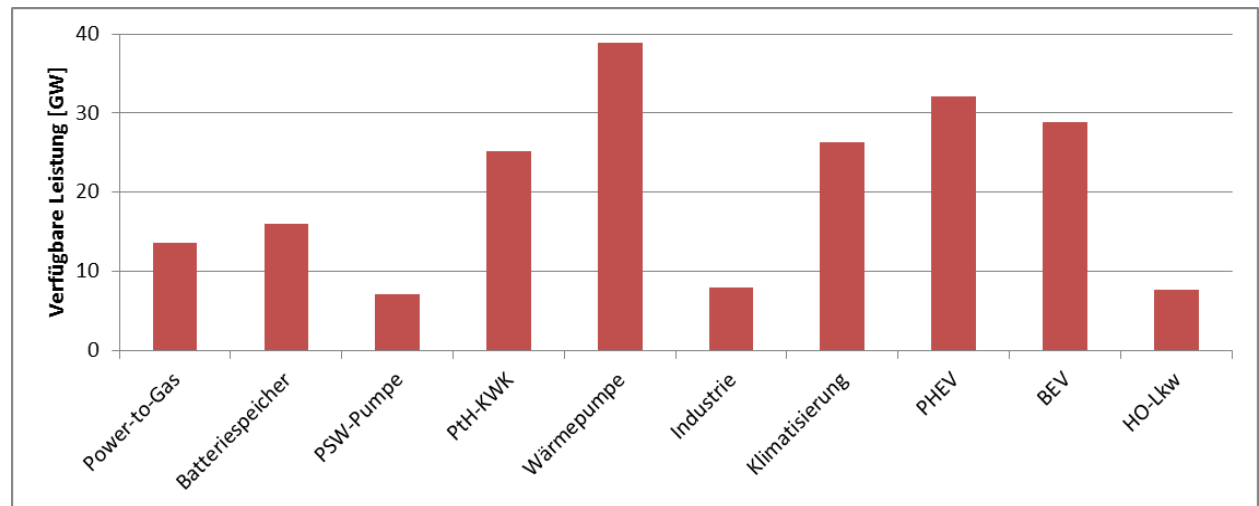
Beispiel: Deutschland 2050 – Installierte Leistung

■ einer hohen fluktuierenden **Erzeugungsleistung**



■ steht ein flexibler **Stromverbrauch** gegenüber

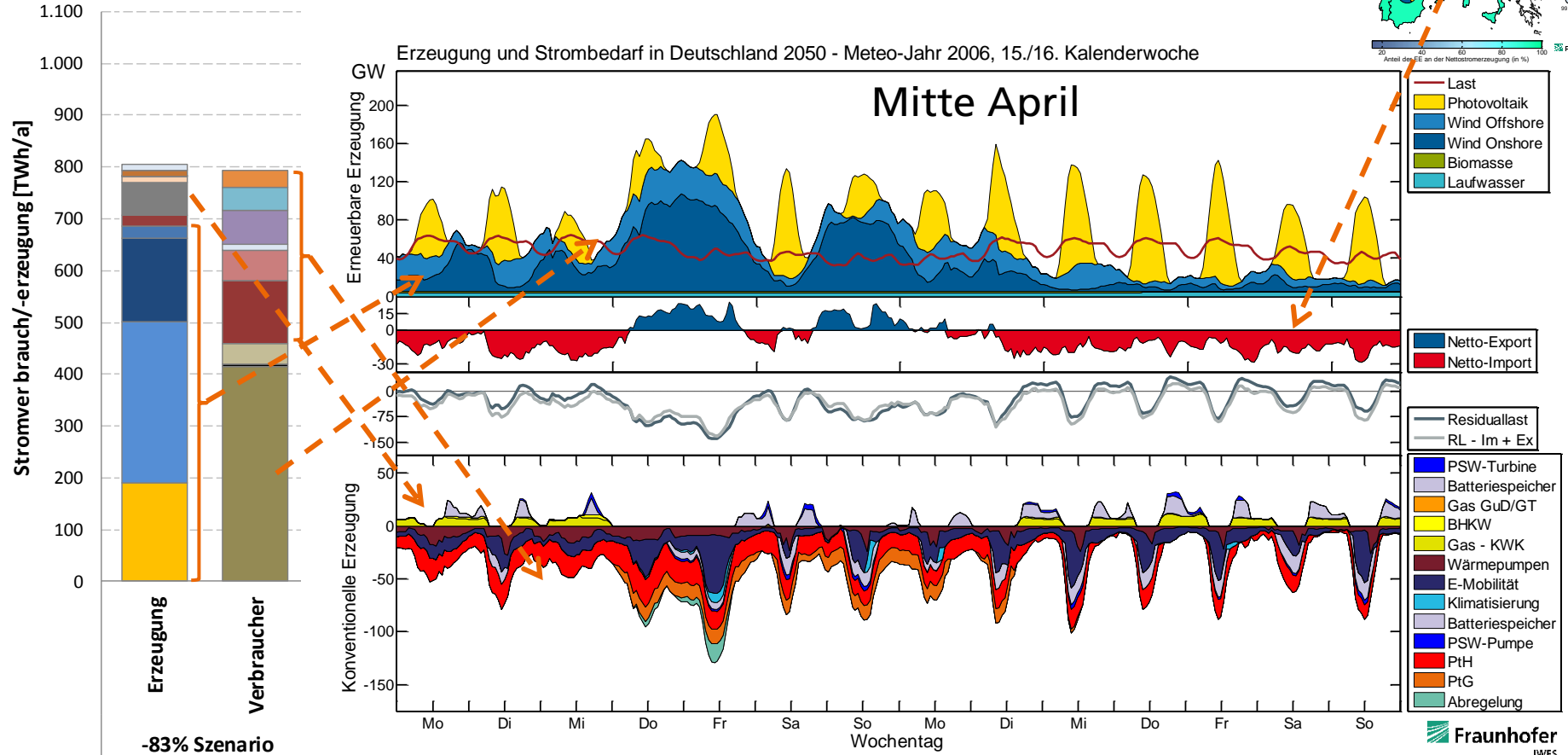
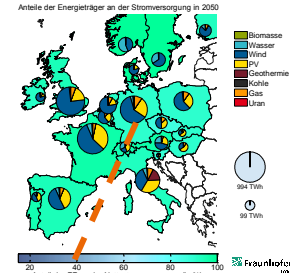
→ Wind- und PV können effizient ins System integriert werden



→ Insbesondere das Potenzial dezentraler Flexibilität muss gehoben werden

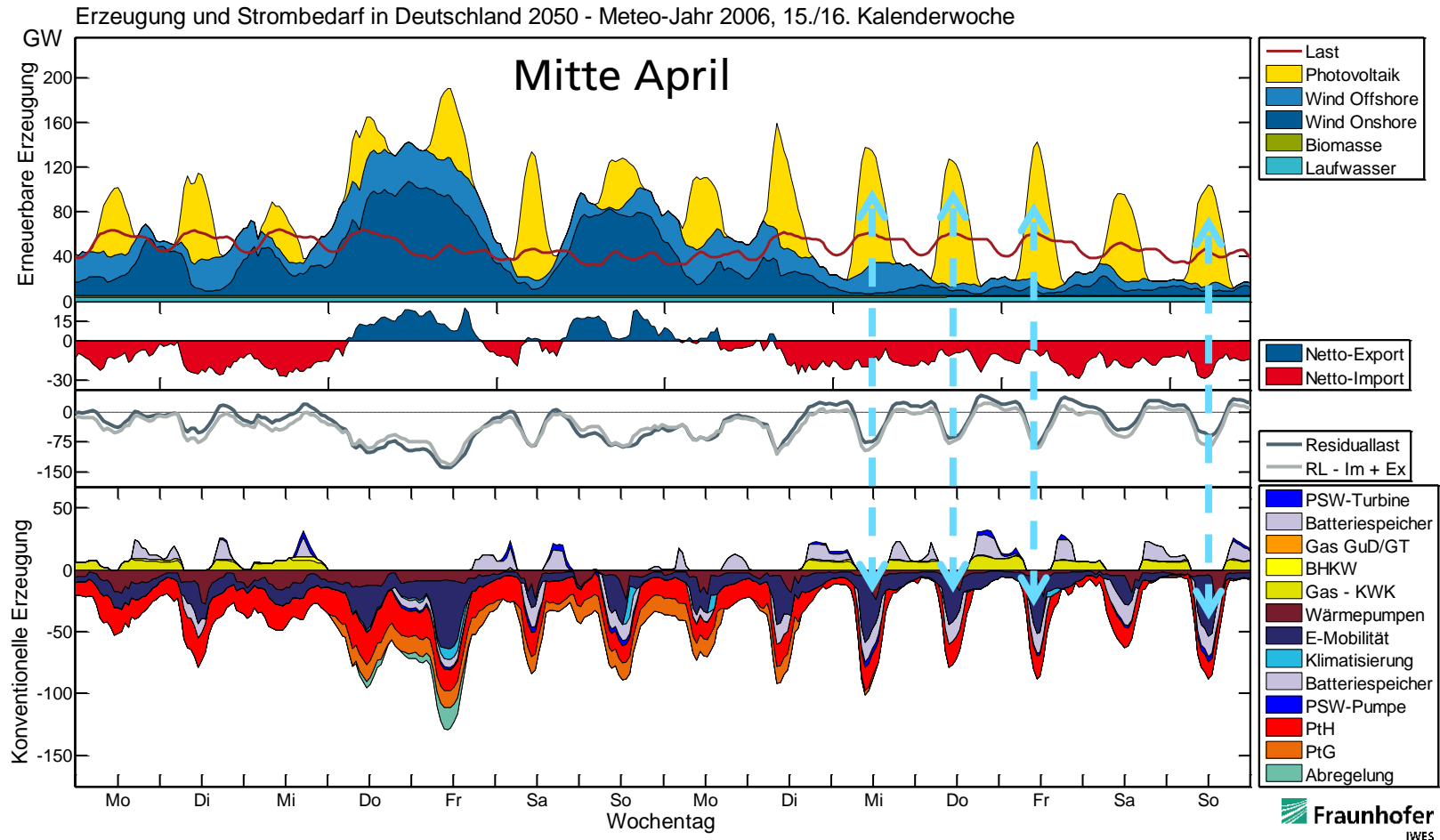
Wie sieht eine von fluktuierender EE-Einspeisung dominierte Welt aus?

■ 2 Wochen in 2050 im 83%-Szenario



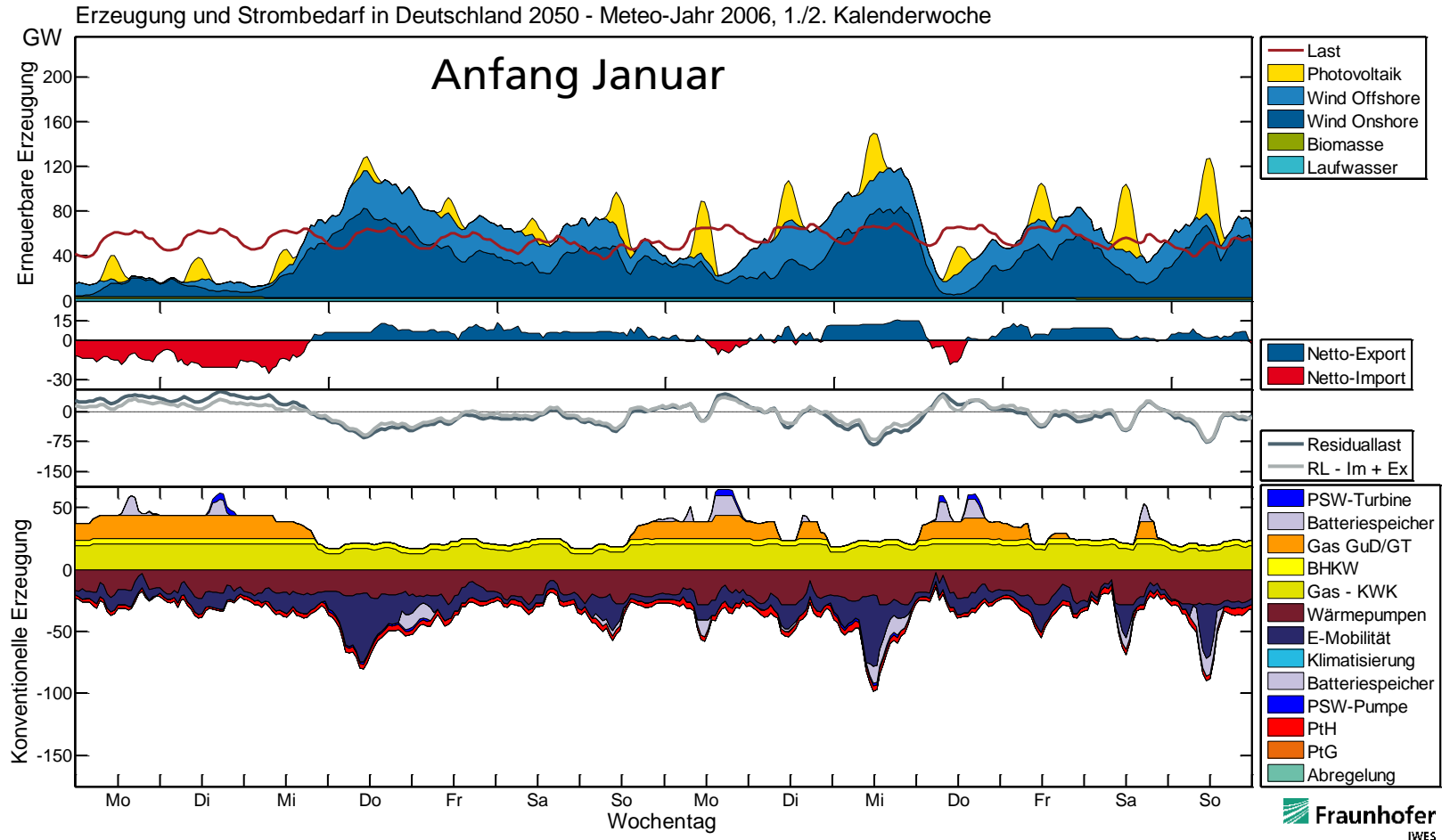
Hohe Bedeutung von neuen flexiblen bzw. hybriden Verbrauchern zur Aufnahme des fluktuierenden EE-Stromangebotes

■ Übergangszeit /Sommer – DSM E-Mobilität zur Nutzbarmachung von PV



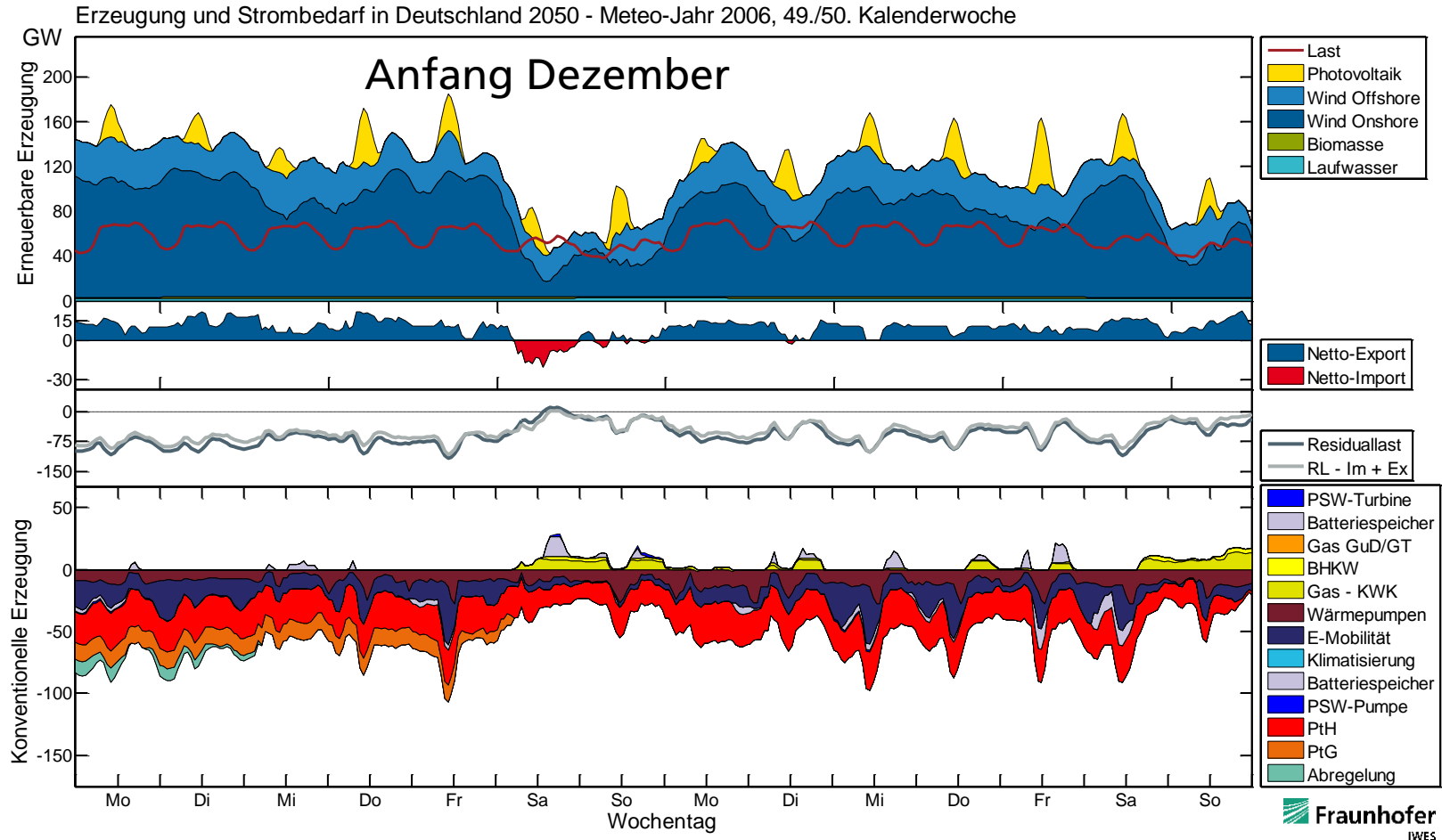
Beispielwochen

■ Winter – teilweise viel KWK-Potenzial



Beispielwochen

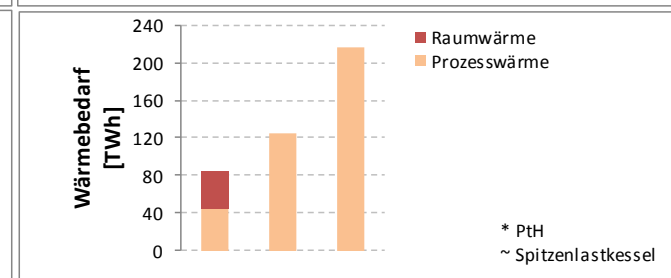
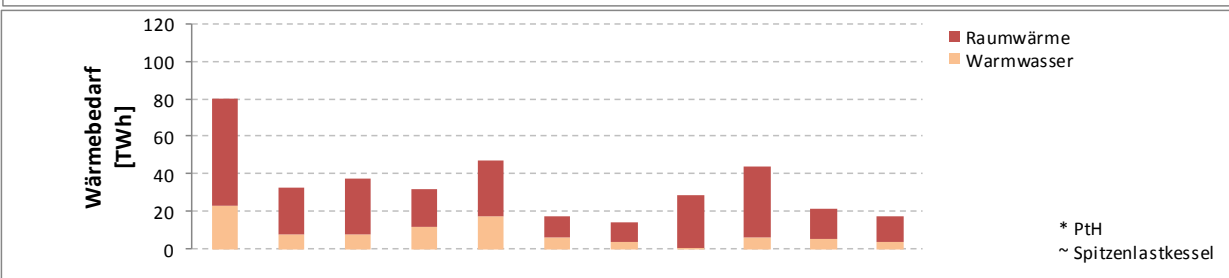
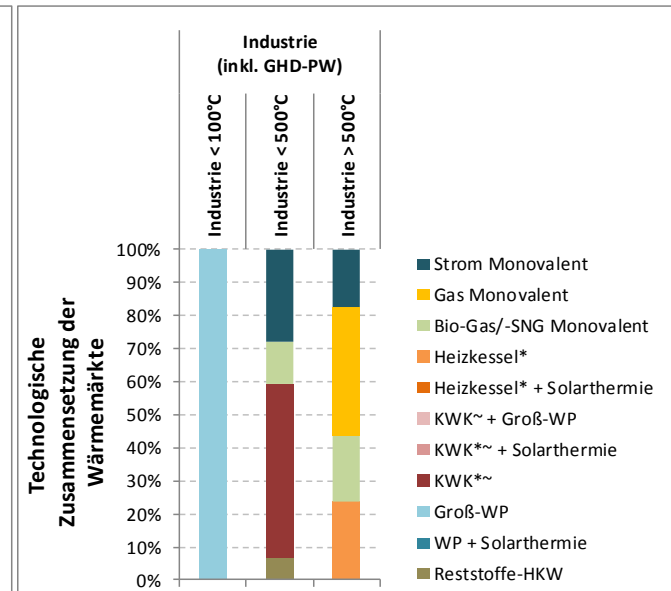
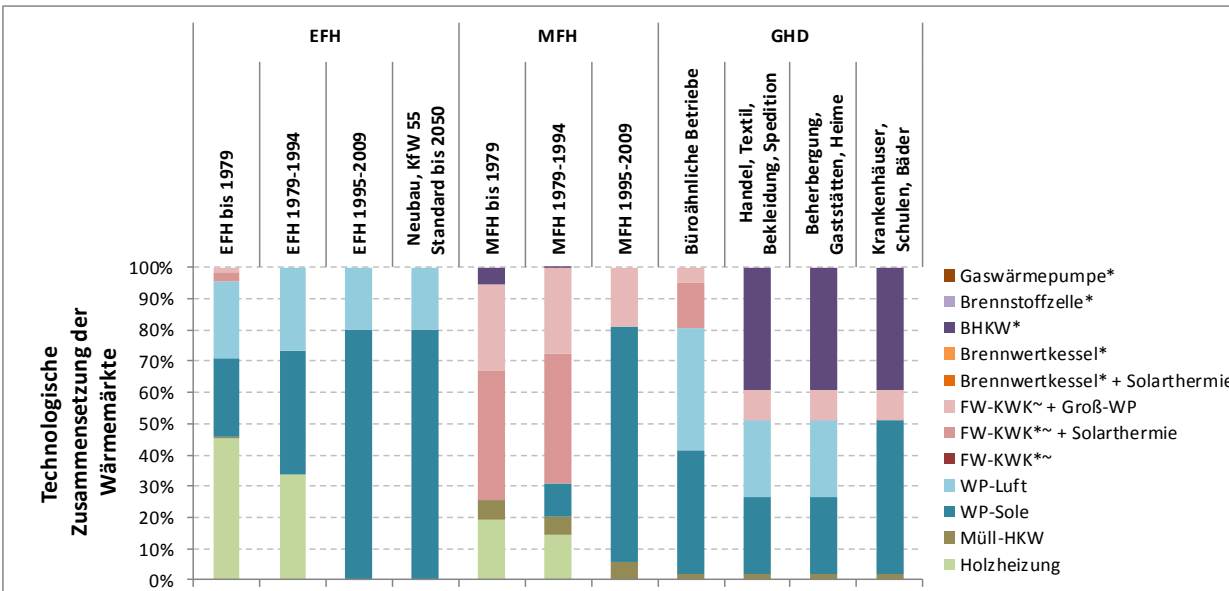
■ Winter – teilweise kein KWK-Potenzial



Deutschland 2050 - Wärmemarkt

■ Jahresbilanz – Deckungsanteile und Technologie (Effizienzzenario)

Haushalte und Gewerbe ← → Industrie



➔ **Bedeutung von Wärmepumpen und im 83%-Szenario KWK-Systemen**

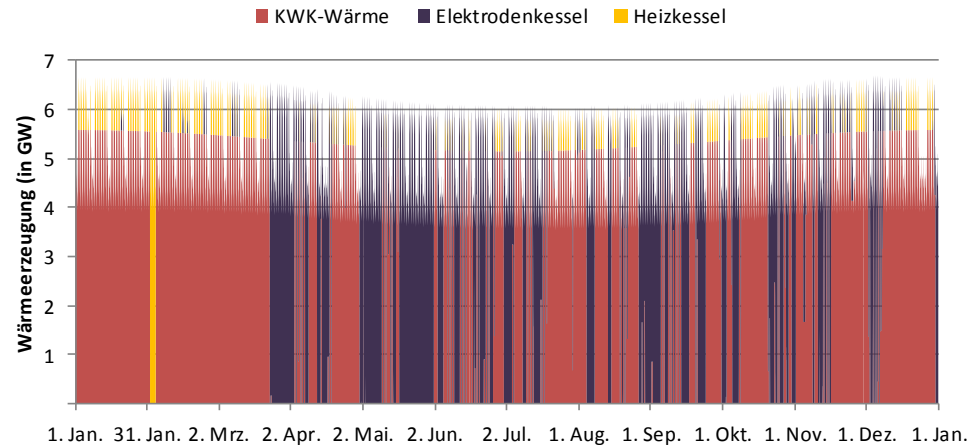
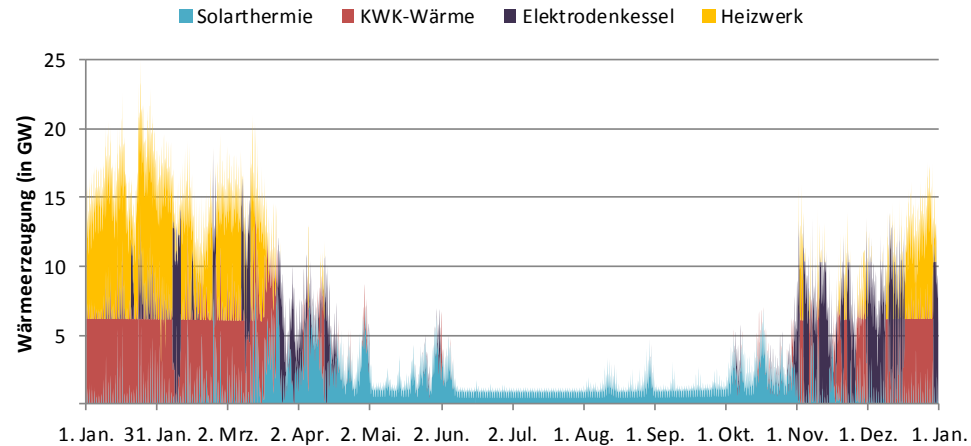
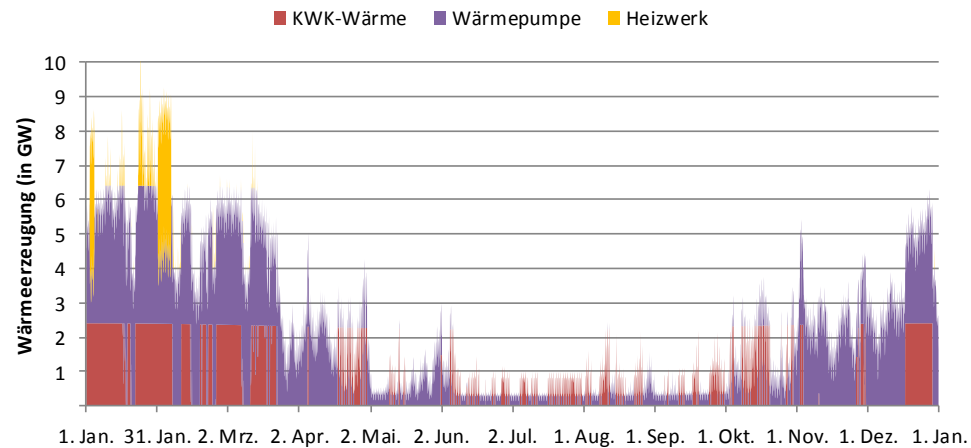
Hybride Wärmesysteme

■ Fernwärme:
KWK
+ Groß-WP (z.B. Abwasser)

■ Fernwärme:
KWK
+ Solarthermie
+ Elektrokessel

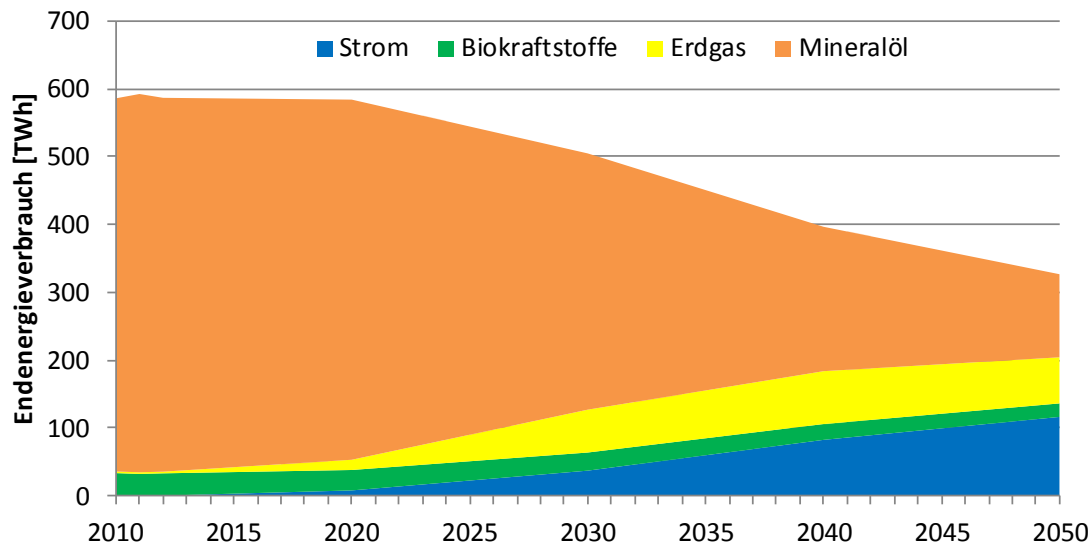
■ Industrie:
KWK
+ Elektrokessel

→ Flexible
Stromerzeugung und -verbrauch

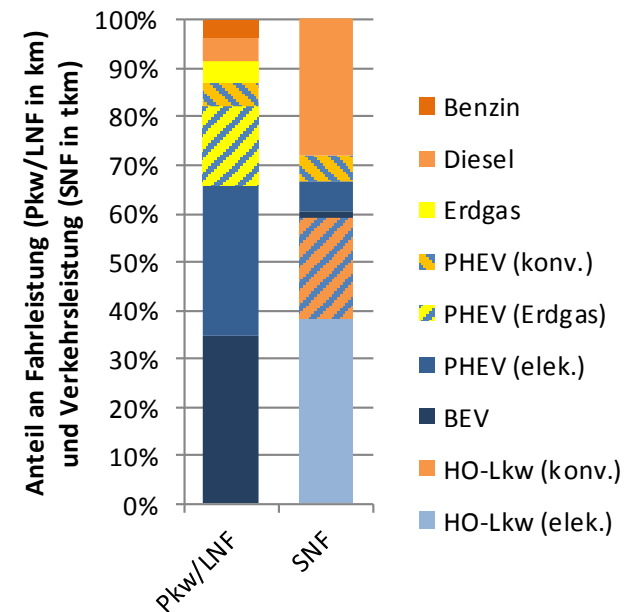


Entwicklung Verkehr

- Sehr hoher Anteil E-Pkw
- Oberleitungs-Lkw
- Im 83%-Szenario
 - Kombination von Plug-In-Hybrid (PHEV) und Erdgas (CNG)
 - Biomasse – Fokus Biokraftstoffe



Verkehrsleistung 2050

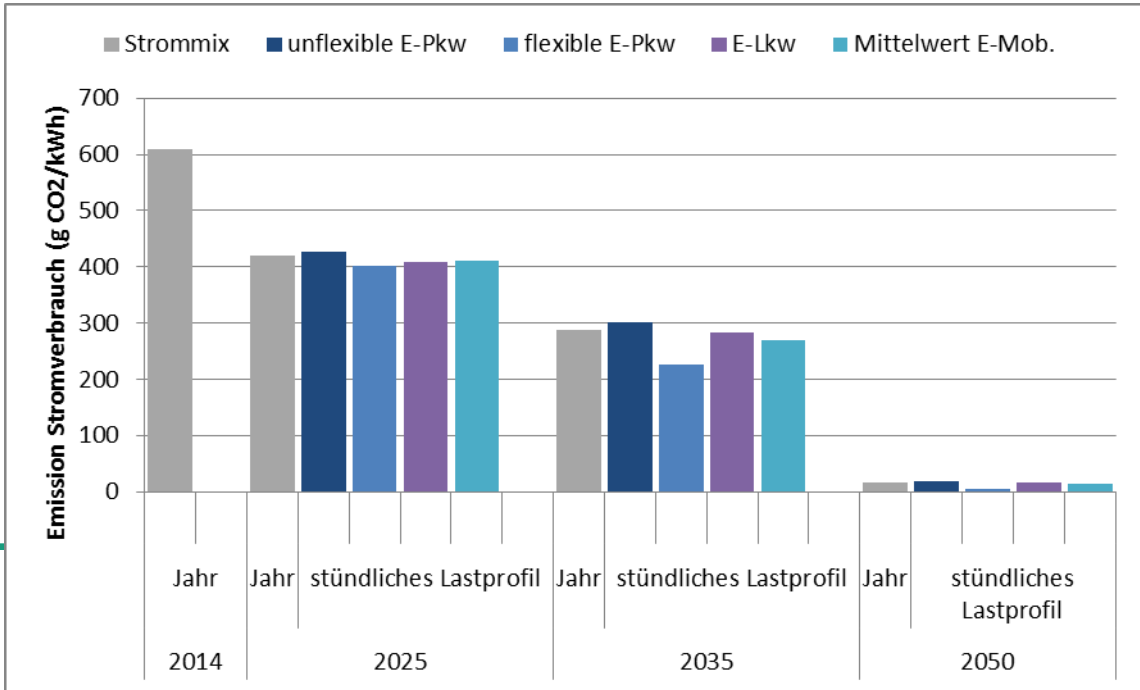
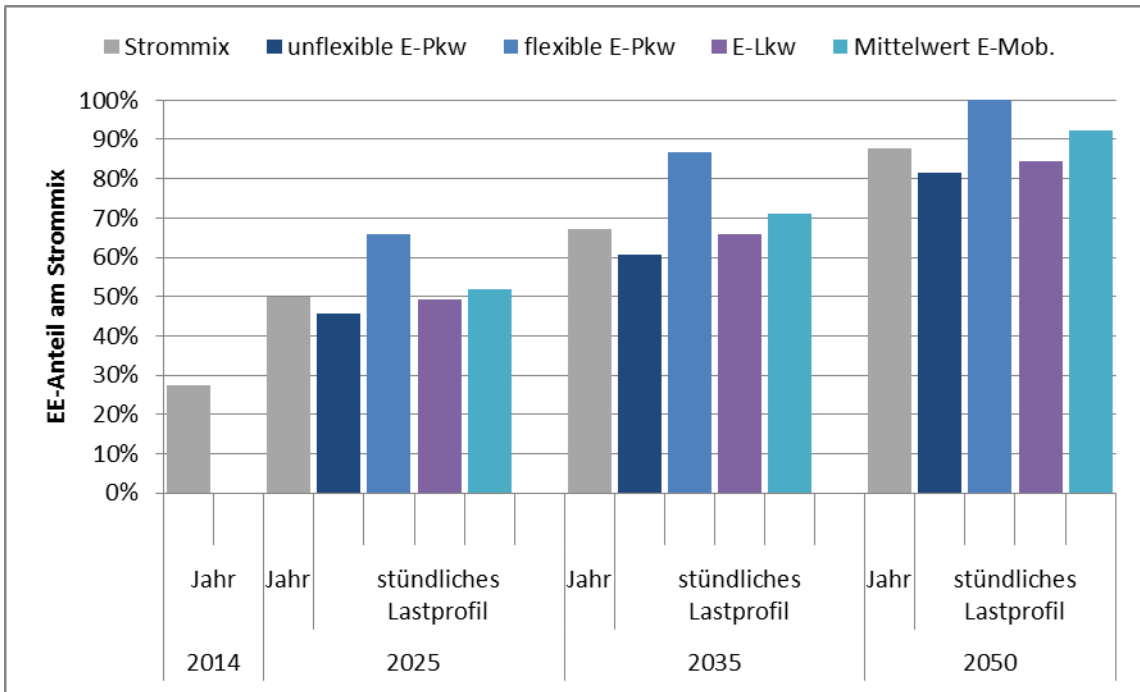


Flexibilität Verkehr

- EE-Anteil am Strommix
- Pkw flexibel/unflexibel
- OH-Lkw

→ Flexibilität wichtig zur EE-Integration

- Emissionen Stromverbrauch

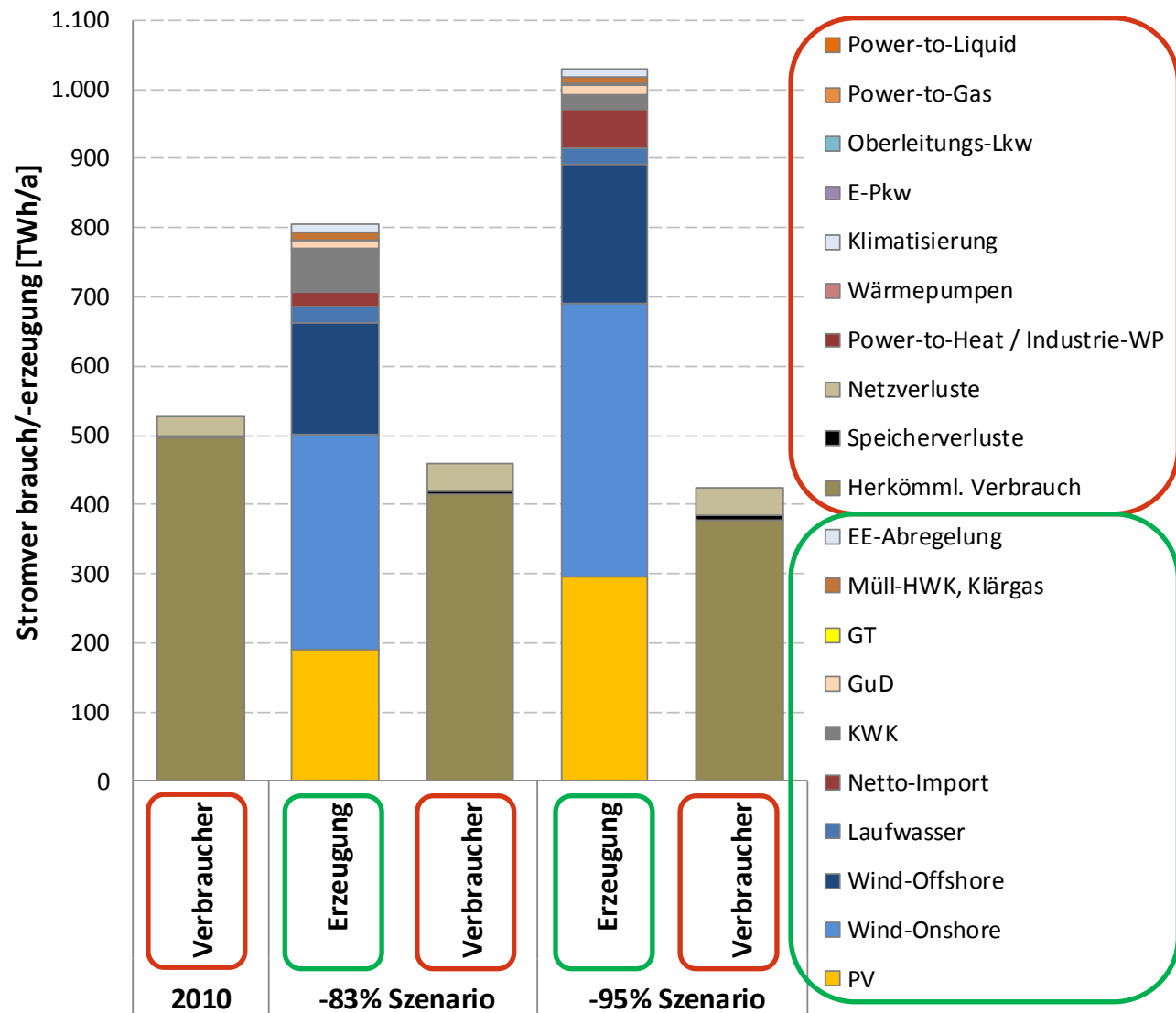


Gliederung

- Einleitung – Klimaziele und Sektorkopplung
- Einflussfaktoren - Stromverbrauch in zukünftigen Szenarien
- Beispiel unteres Klimaziel
- Lösungsraum 2050 – unteres/oberes Klimaziel
- Rolle Elektromobilität

Bedeutung neuer Stromverbraucher?

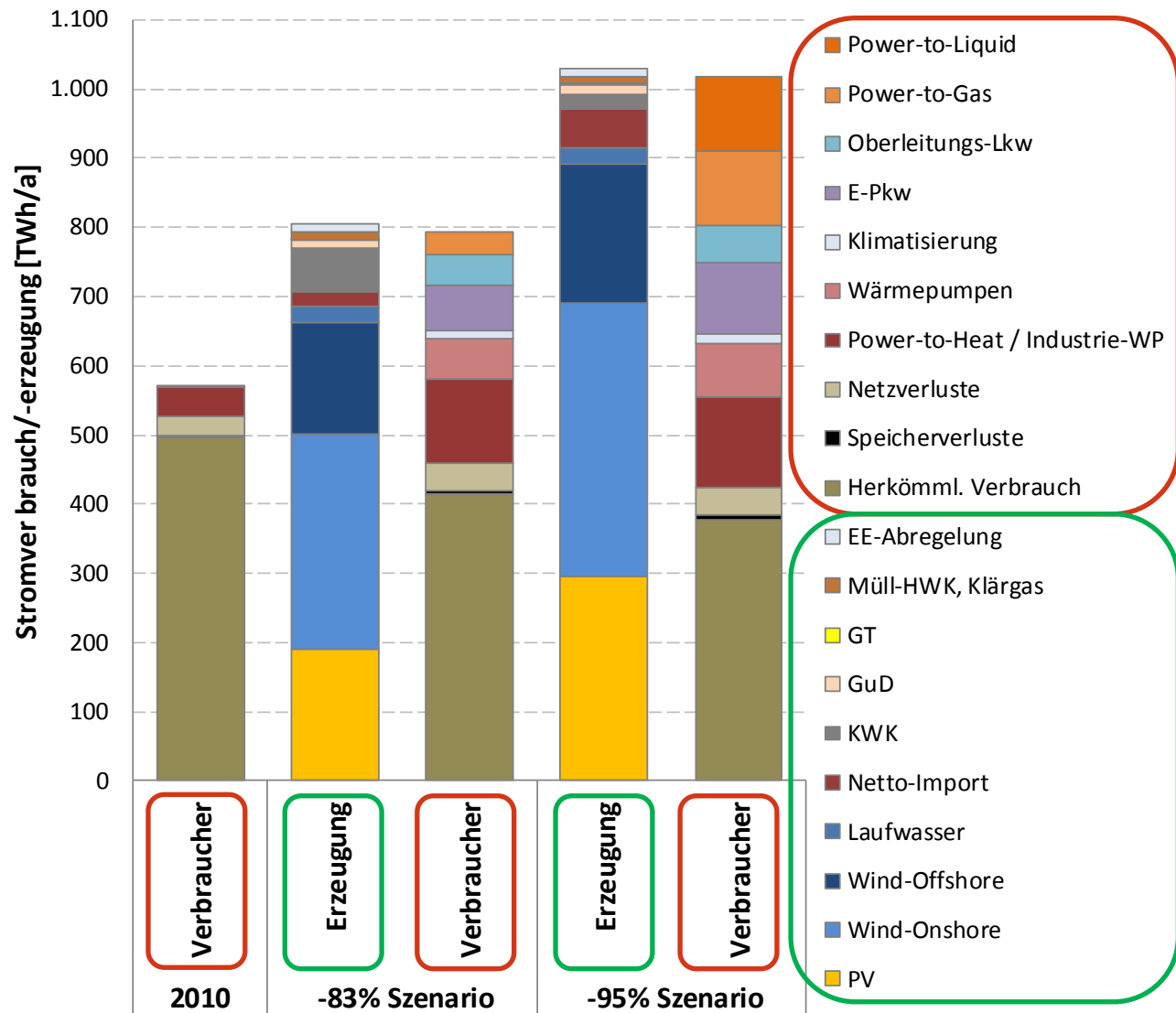
- Strombilanz: Bandbreite von zwei IWES-Klimaschutz-szenarien (DE)
- Unterscheidung in Alte ...



Aus: Projekt "Sektor-übergreifende Energiewende" für Agora Energiewende (in Bearbeitung)

Bedeutung neuer Stromverbraucher?

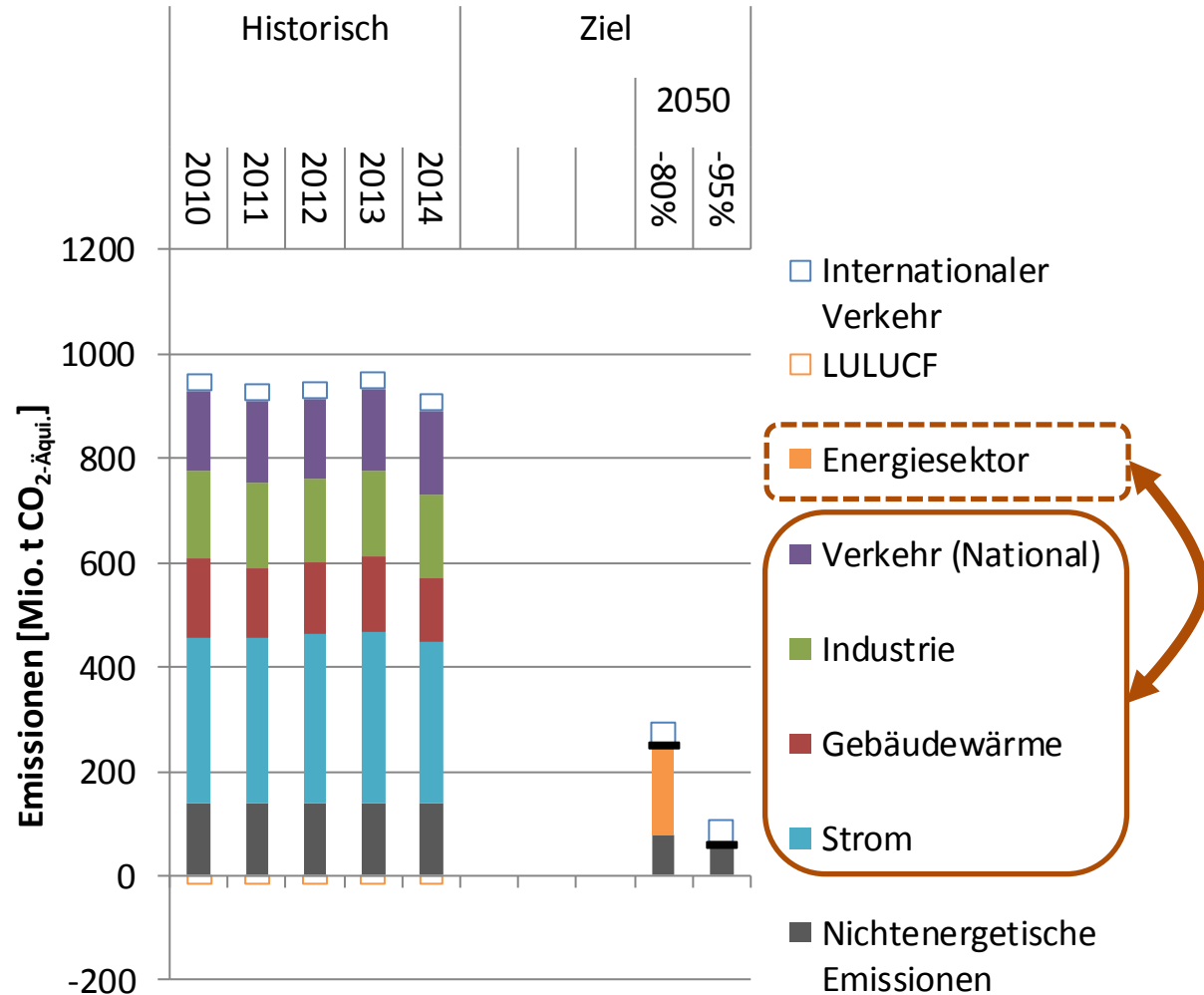
- Strombilanz: Bandbreite von zwei IWES-Klimaschutz-szenarien (DE)
- Unterscheidung in Alte und Neue Verbraucher



Aus: Projekt "Sektor-übergreifende Energiewende" für Agora Energiewende (in Bearbeitung)

Schlussfolgerungen - Emissionen der Sektoren

- Konsequenzen für Energiesektor
- Maximale Effizienz
- Maximale direkte elektrische Stromnutzung
- Weitestgehende Dekarbonisierung Strom und Wärme
- Hohe Anforderungen in Industrie und Teile Verkehr
- ➔ Zentrale Rolle E-Pkw
- ➔ Zentrale Rolle OH-Lkw

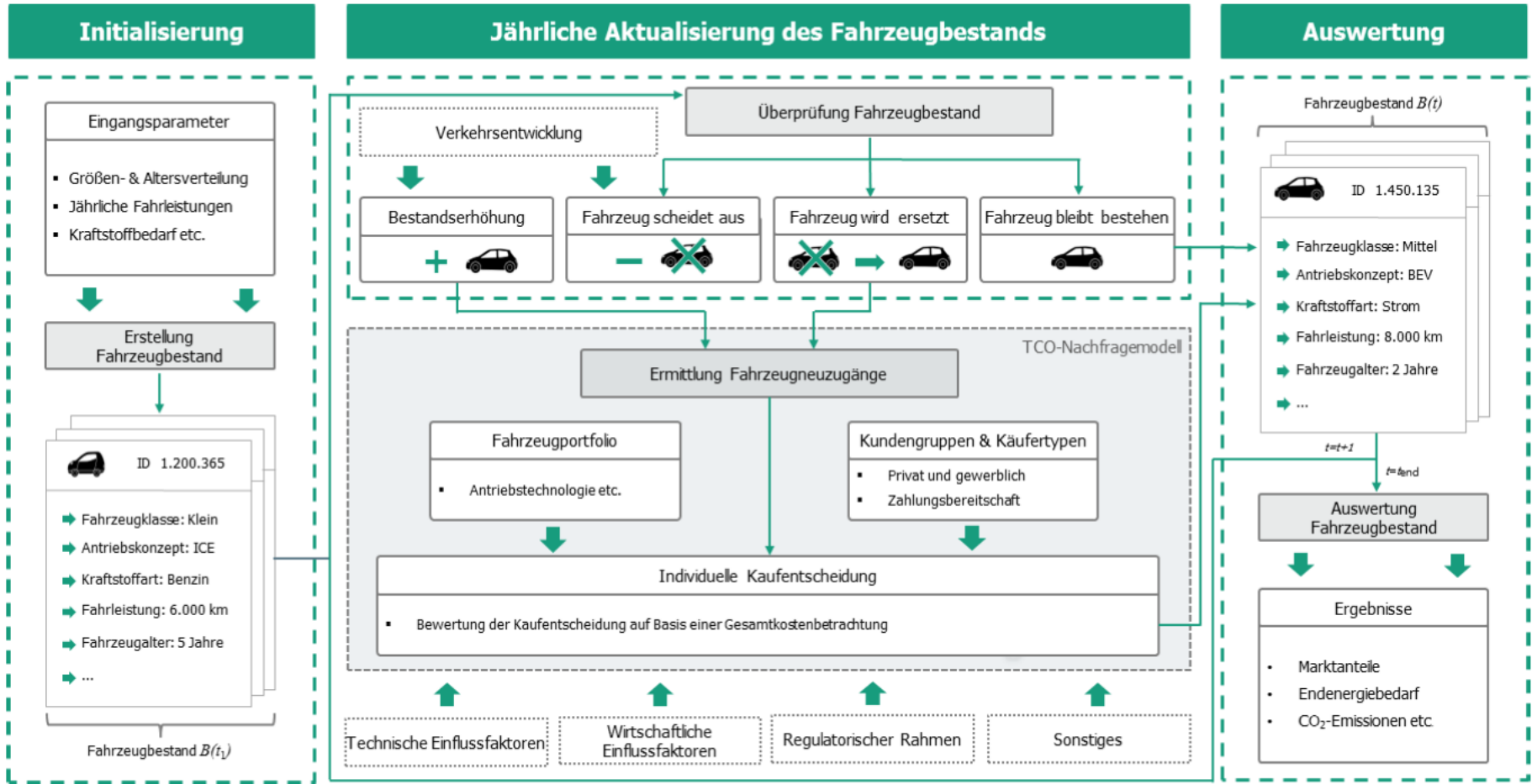


Gliederung

- Einleitung – Klimaziele und Sektorkopplung
- Einflussfaktoren - Stromverbrauch in zukünftigen Szenarien
- Beispiel unteres Klimaziel
- Lösungsraum 2050 – unteres/oberes Klimaziel
- **Rolle Elektromobilität**





TCO – Fahrzeugbestandsmodell

Schematischer Modellaufbau und -ablauf



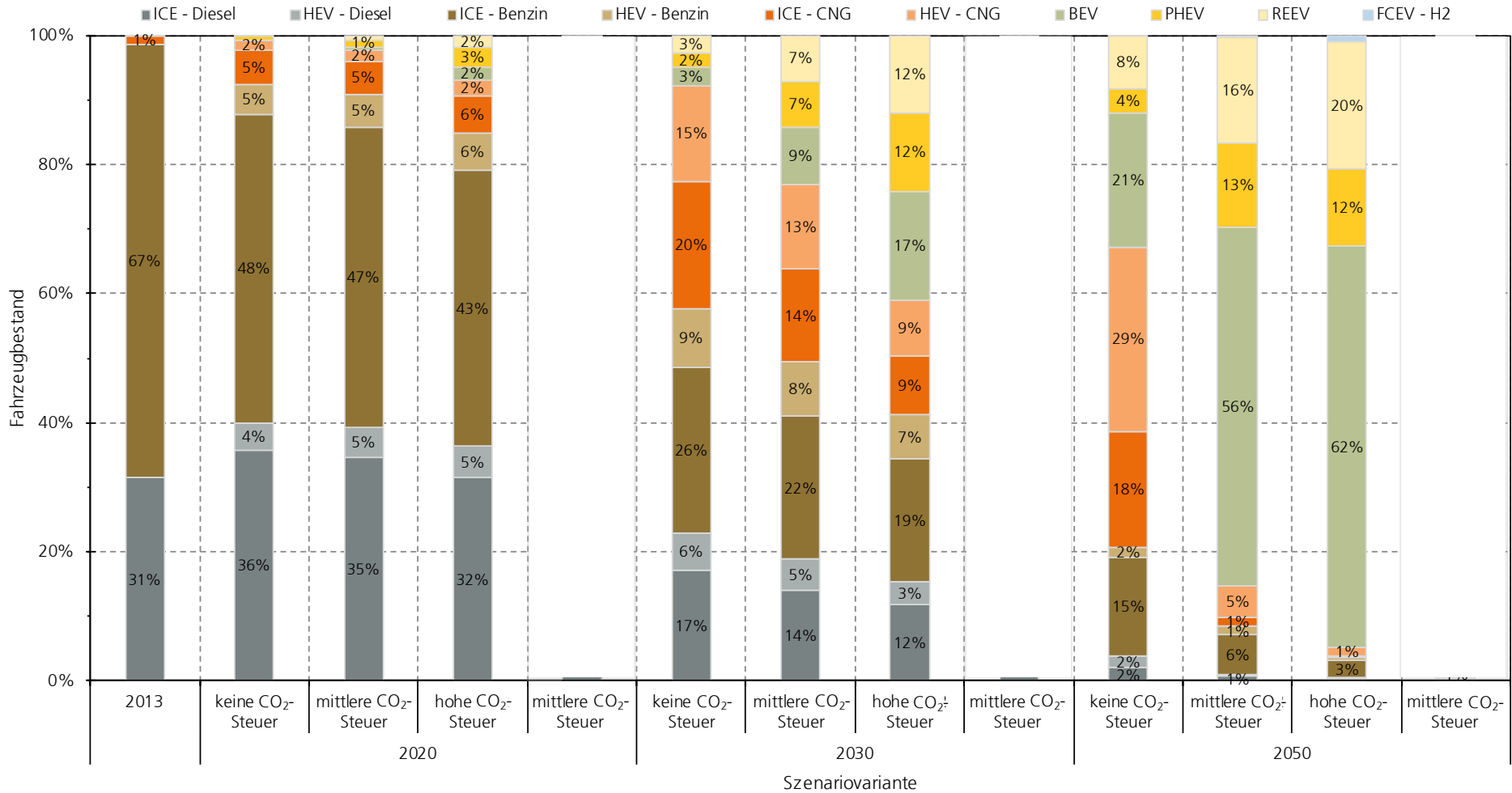
TCO – Technologiedatenbank

Relevante Antriebs-Kraftstoff-Kombinationen

Antriebstechnologien und Kraftstoffe	Fahrzeuggrößenklasse	KBA Fahrzeugsegment	Typische Klassenvertreter
<p>Konventionelle Fahrzeuge (ICE) / Voll-Hybride (HEV)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Benzin ▪ Diesel ▪ CNG ▪ PtG-Methan <p>Plug-in Hybridelektrofahrzeuge (PHEV) / Elektrofahrzeuge mit Range Extender (REEV)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Benzin und Strom ▪ Diesel und Strom ▪ CNG und Strom ▪ PtG-Methan und Strom <p>Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Strom <p>Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wasserstoff (reformiert) ▪ PtG-Wasserstoff 	<p>Klein</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minis ▪ Kleinwagen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VW Up, Smart Fortwo ▪ Opel Corsa, Ford Fiesta
	<p>Mittel</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kompaktklasse ▪ Mittelklasse ▪ Vans (Mini- und Großraum-Vans) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VW Golf, Opel Astra ▪ Audi A4, BMW 3er ▪ Opel Zafira, Seat Leon
	<p>Groß</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Obere Mittelklasse ▪ Oberklasse ▪ Geländewagen ▪ SUVs ▪ Sportwagen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ BMW 5er, Audi A6 ▪ Mercedes CLS, BMW 7er ▪ BMW X3, Audi Q5 ▪ Mercedes GLK, BMW X1 ▪ Porsche 911, Mercedes SLK
	<p>Leichte Nutzfahrzeuge (LNF)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pkw Utilities bzw. ▪ Leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5 t 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VW Caddy, Citroën Berlingo ▪ Fiat Scudo, Škoda Praktik

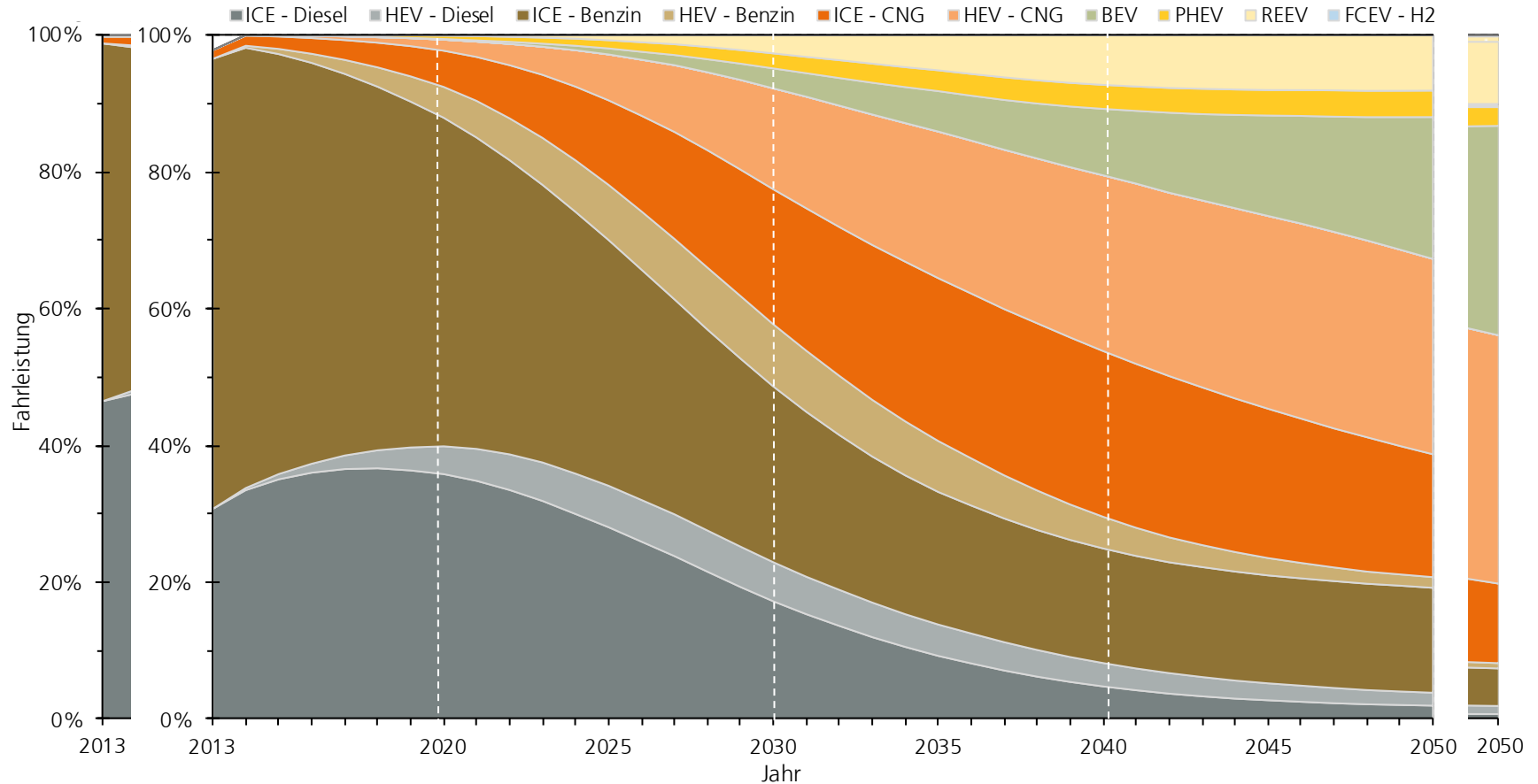
Fahrzeugbestandsentwicklung

3 Szenarien zur CO₂-Besteuerung



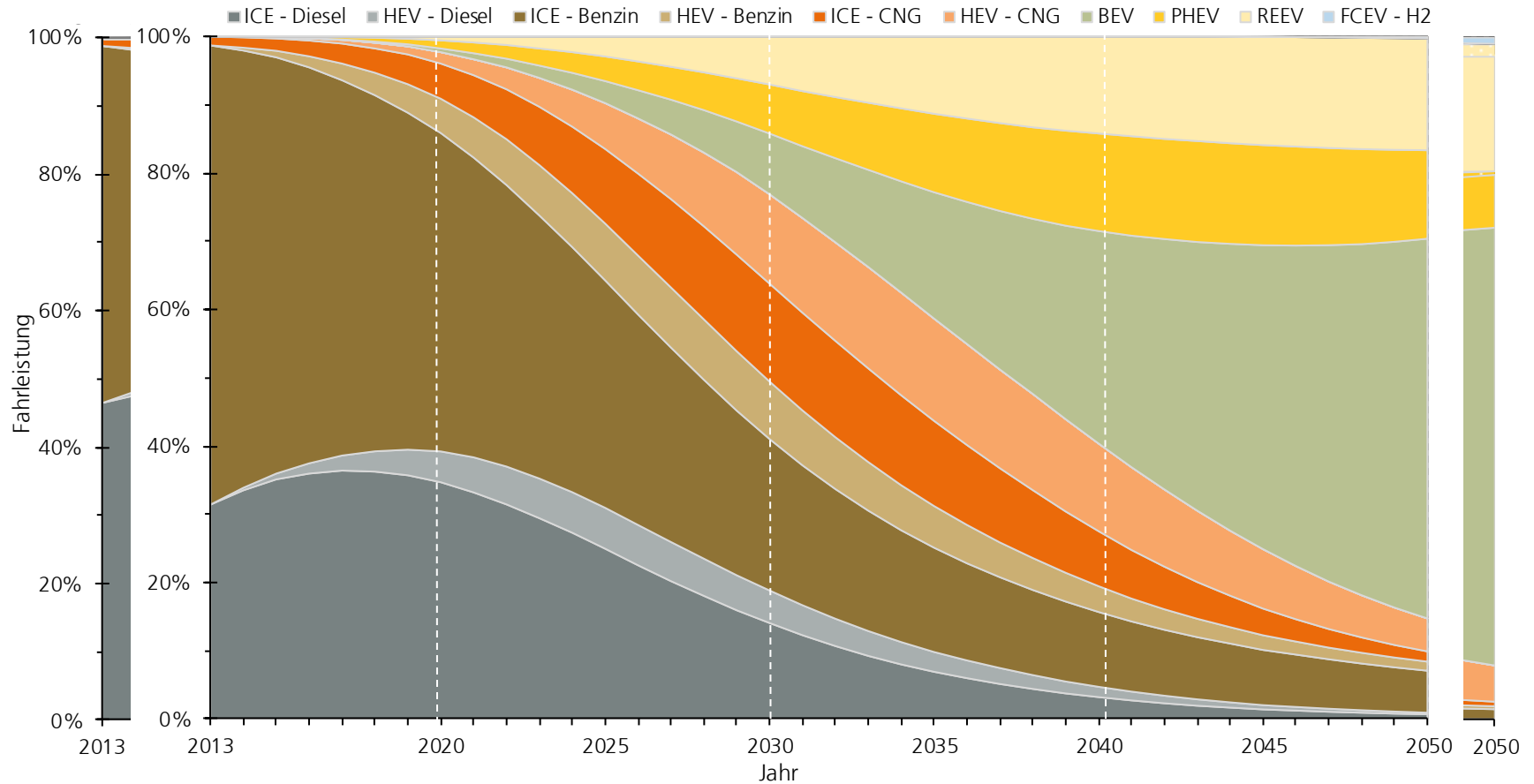
Bestandsentwicklung – keine CO₂-Steuer (Status Quo ohne Kaufprämie)

- 2050: 44% der Fahrleistung und 32% des Fahrzeugbestand E-Mobilität
- Hohe Bedeutung von Erdgas



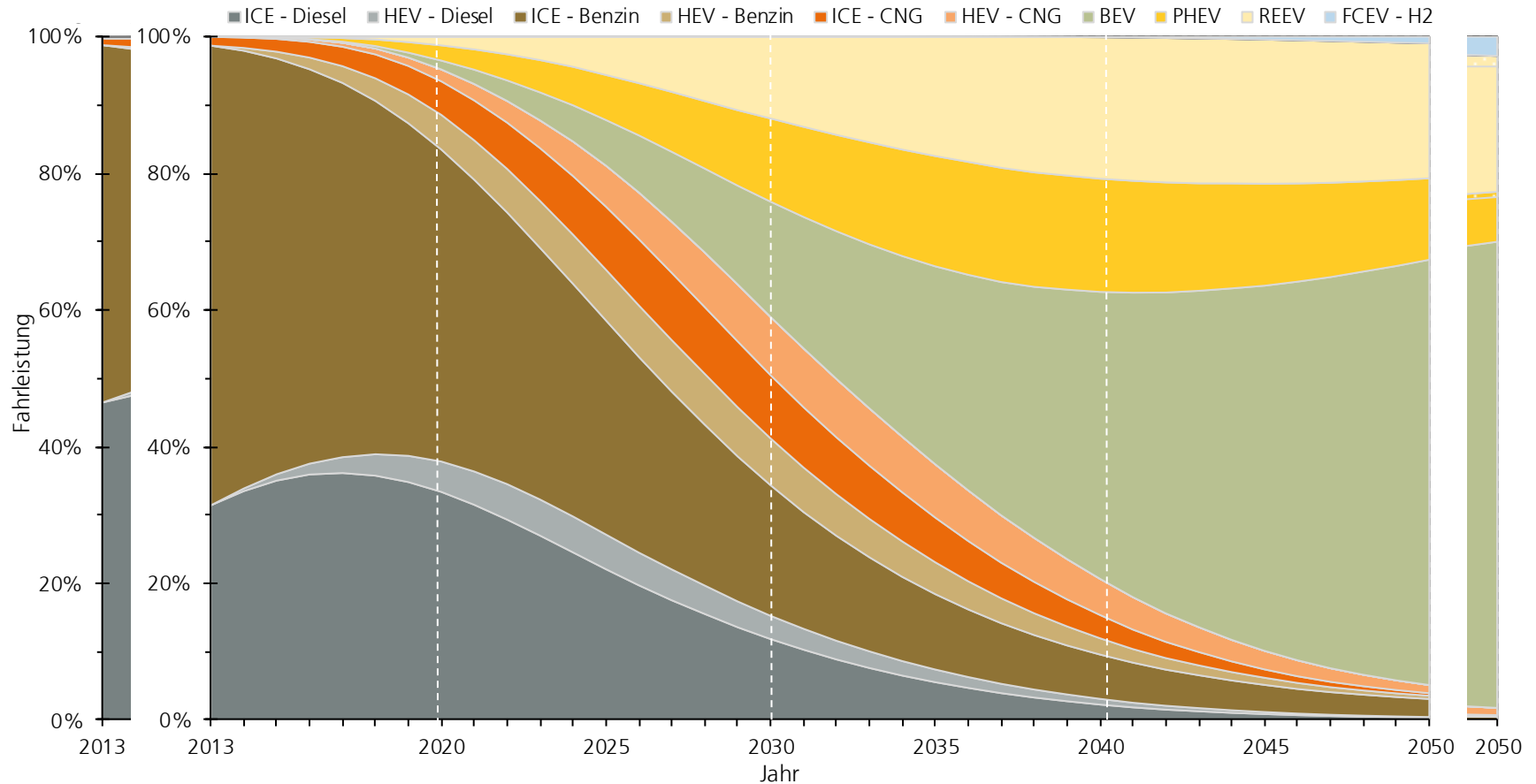
Bestandsentwicklung – mittlere CO₂-Steuer

- 2050: 92% der Fahrleistung und 85% des Fahrzeugbestand E-Mobilität
- Erdgas als Brückentechnologie



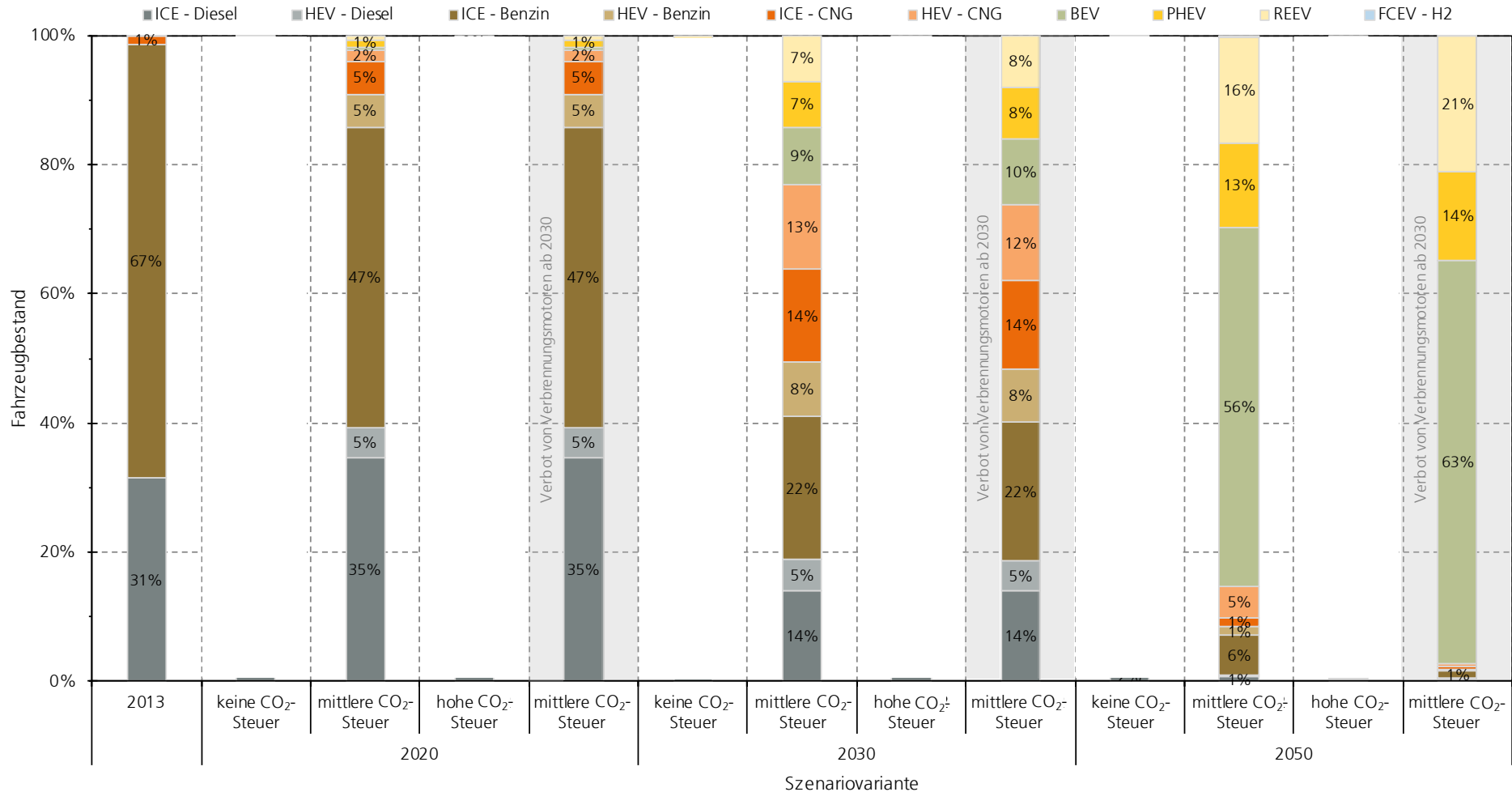
Bestandsentwicklung – hohe CO₂-Steuer

- 2050: 98% der Fahrleistung und 95% des Fahrzeugbestand E-Mobilität
- Dominanz BEV



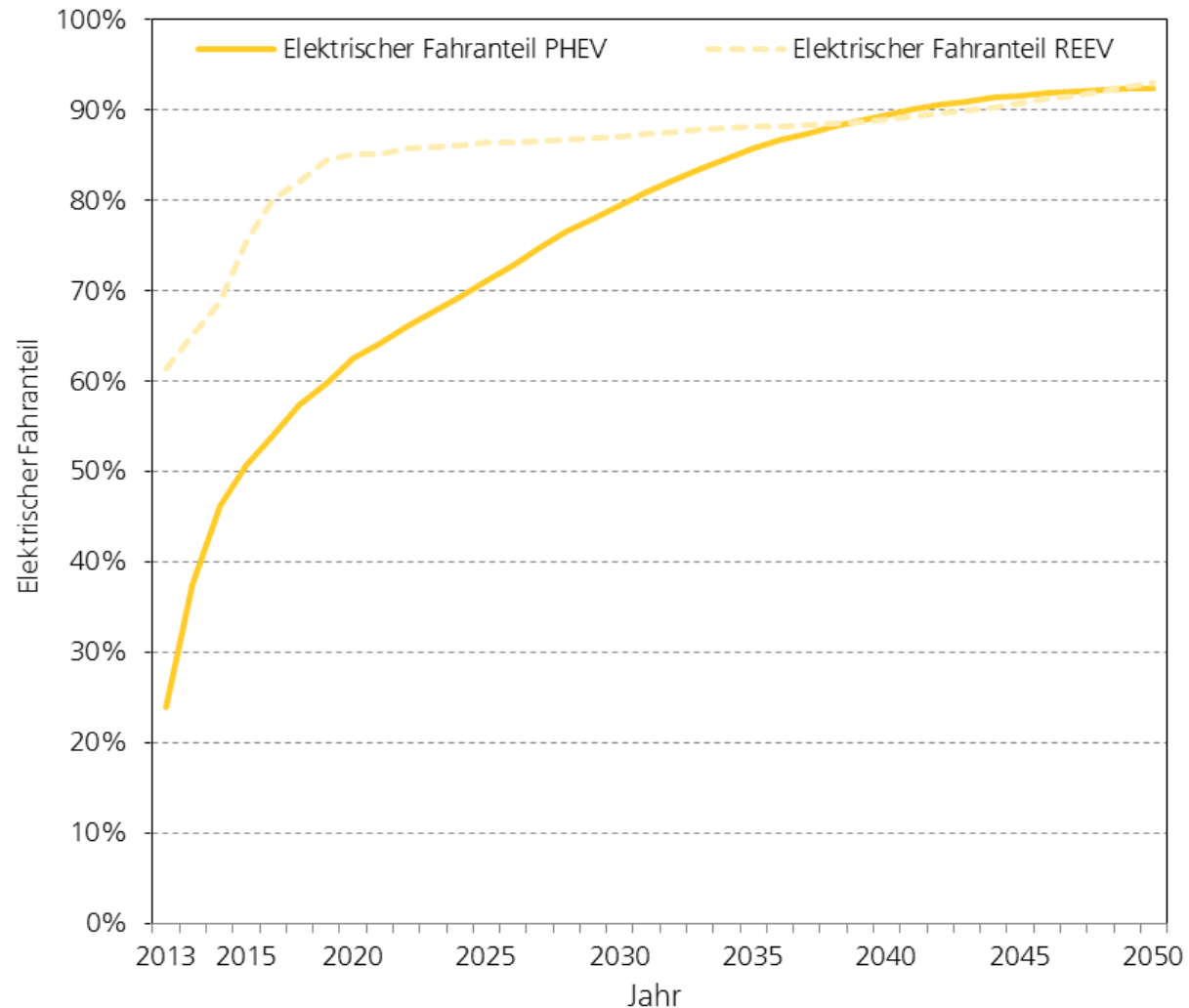
Einfluss von Ordnungsrecht ? – Bundesrat: Verbot von Verbrennungsmotoren ab 2030

■ Kombiniert mit mittlerer CO₂-Steuer → langfristig vergleichbar mit hoher



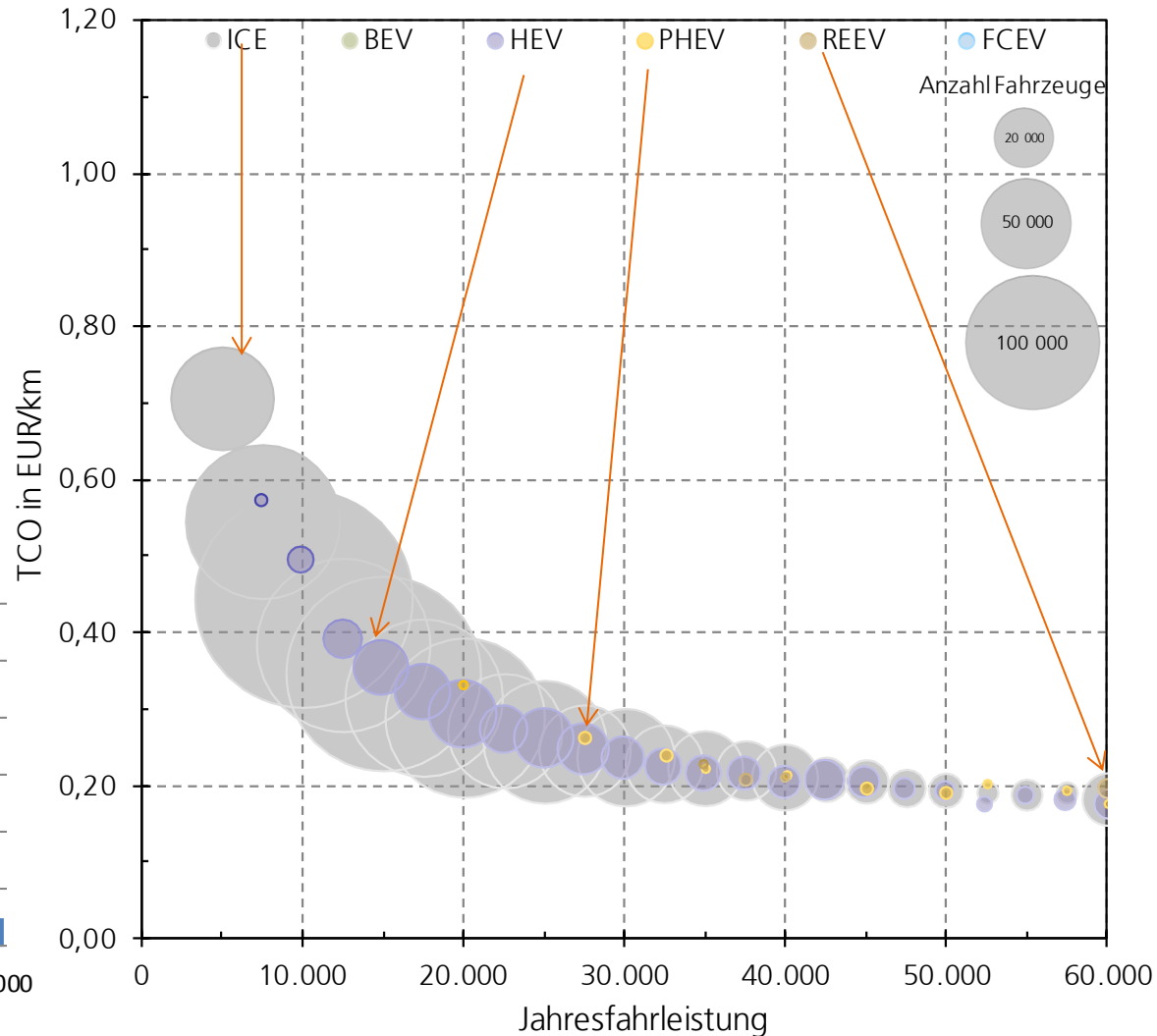
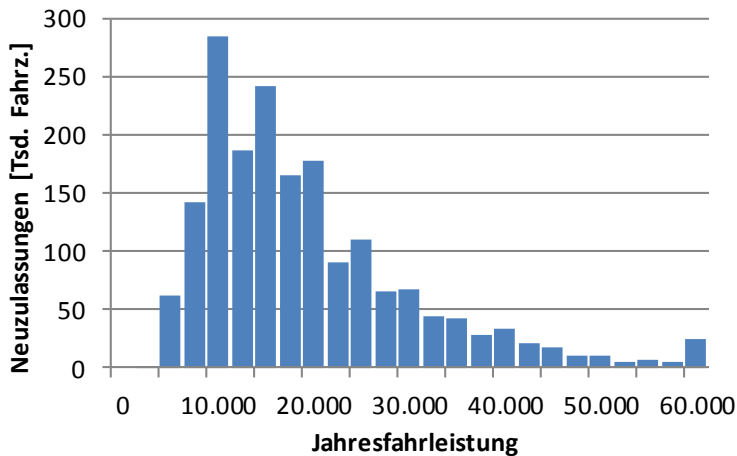
Elektrischer Fahranteil (bei Beispiel hohe CO₂-Steuer)

- Auch bei konserv. Batteriegrößen sind theoretisch langfristig sehr hohe elektr. Fahranteile möglich
 - REEV früher
 - PHEV später
- Voraussetzung:
 - Öffentliche Ladeinfrastruktur
 - Schnellladung
 - Effizienzsteigerung



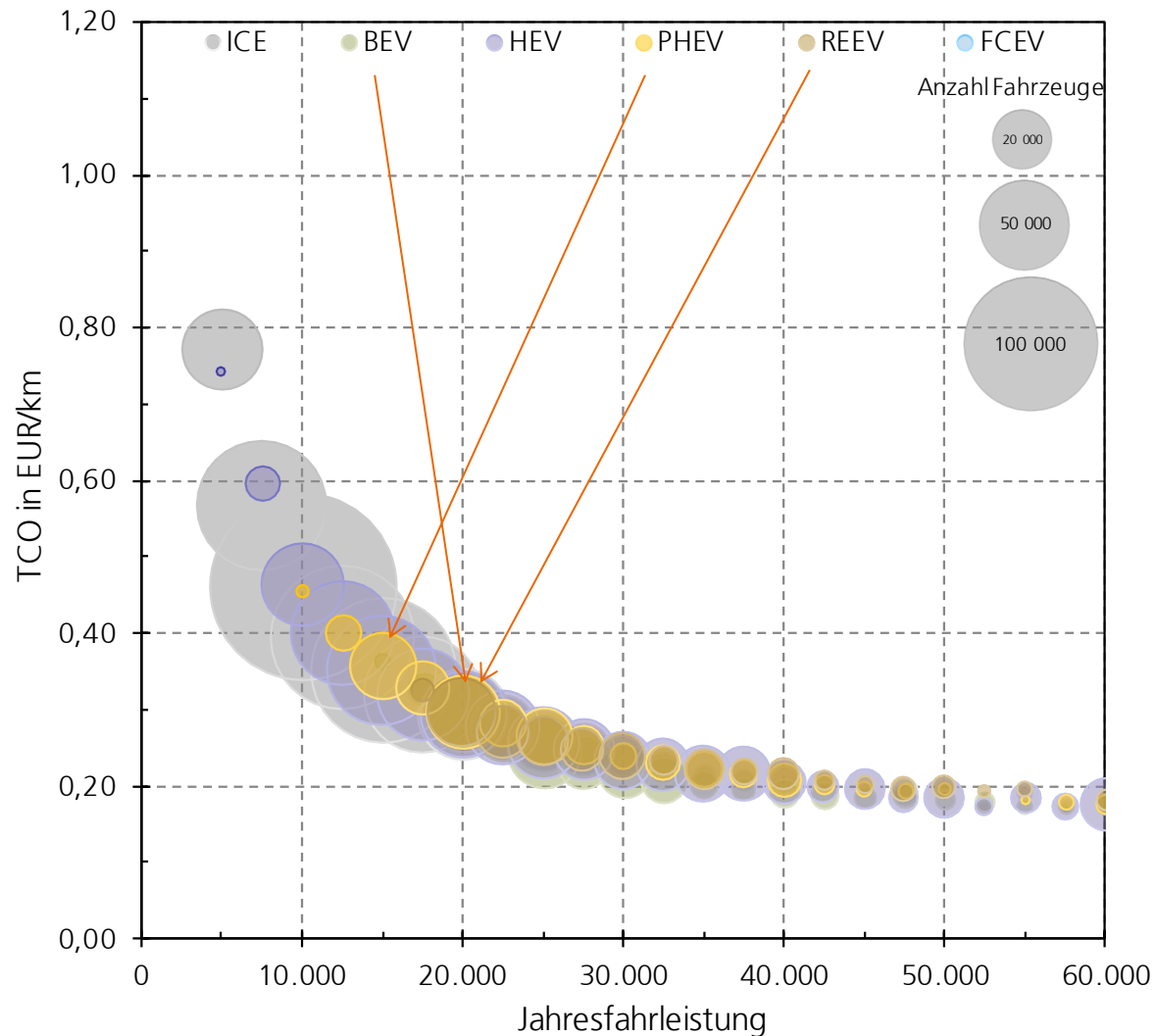
TCO am Beispiel Mittelklasse – hohe CO₂-Steuer

- 2014 – Staus Quo
- Hybridisierung
- PHEV nur bei hohen Jahresfahrleistungen



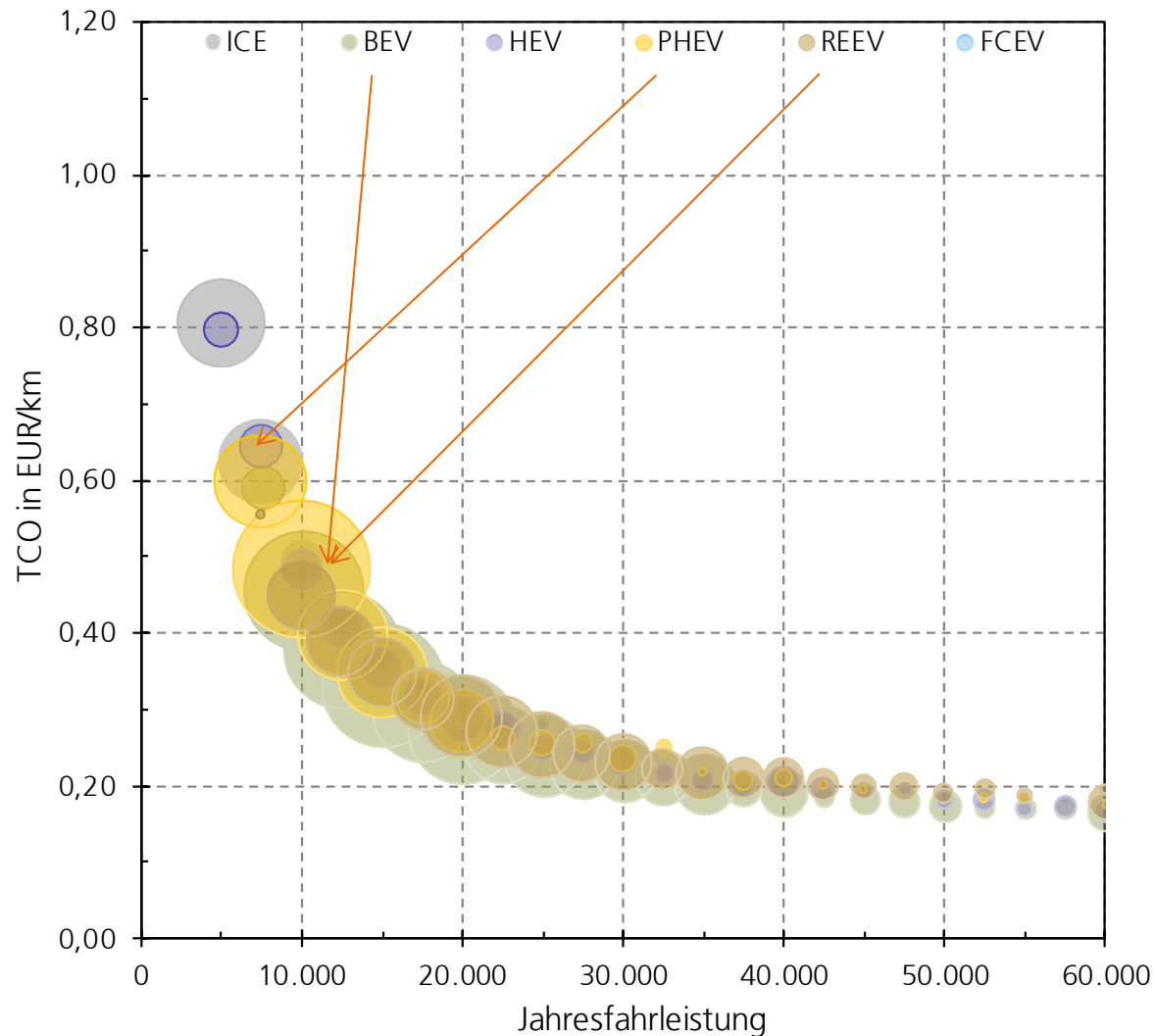
TCO am Beispiel Mittelklasse – hohe CO₂-Steuer

- 2020
- Marktanteil von
 - 9% BEV
 - 9% PHEV
 - 7% REEV
- PHEV auch bei moderaten Jahresfahrleistungen
- BEV und REEV bei relativ hohen Jahresfahrleistungen



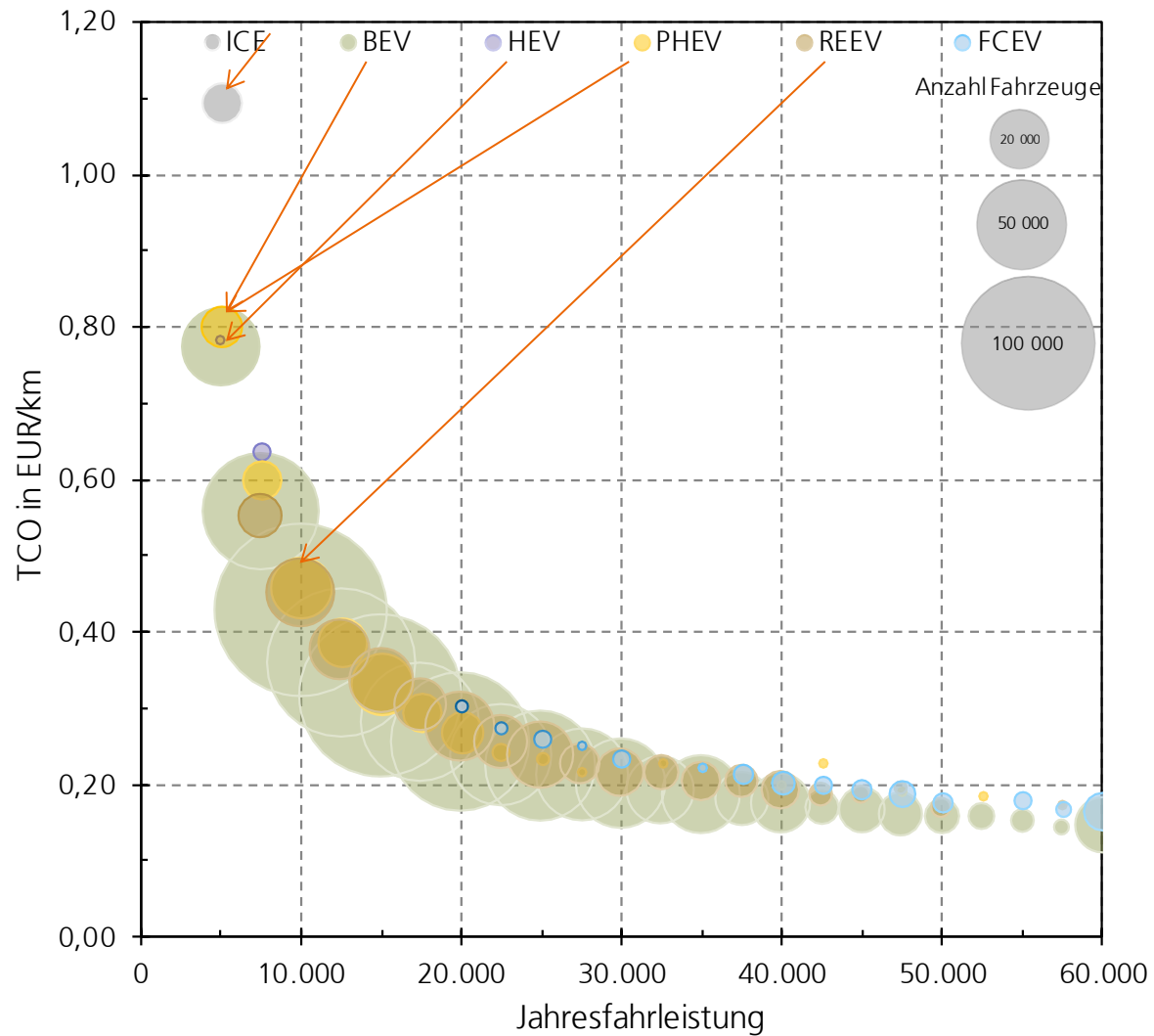
TCO am Beispiel Mittelklasse – hohe CO₂-Steuer

- 2030
- Marktanteil von
 - 42% BEV
 - 22% PHEV
 - 21% REEV
- PHEV auch bei geringen Jahresfahrleistungen
- BEV und REEV fast in der gesamten Bandbreite an Jahresfahrleistungen



TCO am Beispiel Mittelklasse – hohe CO₂-Steuer

- 2050
- Marktanteil von
 - 75% BEV
 - 7% PHEV
 - 15% REEV



Schlussfolgerungen

■ Neue Innovationen ?

- autonomes Fahren
- 400 km-Batterie
- Schnellladung

→ Höhere Anteile vollelektrische BEV, höhere elektrische Fahranteile

■ In Anbetracht äußerst ambitionierter Klimaziele

- Möglichst direkter und effizienterer Stromverbrauch

→ Geringerer EE-Ausbaubedarf / Robustheit der Erreichbarkeit ambitionierter Ziele bzw. Vermeidung von Lock-Ins

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!



Norman Gerhardt
Leiter Energiewirtschaft und Systemanalyse

E-Mail: norman.gerhardt@iwes.fraunhofer.de

Tel.: 0561 7294-274

Fraunhofer IWES

Königstor 59

34119 Kassel