Faktoren für eine erfolgreiche Transformation des Energieversorgungssystems

BAG Energie

Kassel, 01.04.2017

Prof. Dr. Kurt Rohrig

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

- Einleitung
- Motivation, Herausforderung
- Technologische Aspekte
- Wirtschaftliche Aspekte
- Politische Aspekte
- Akzeptanz und Beteiligung

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik

Forschungsspektrum:

- Windenergie von der Materialentwicklung bis zur Netzoptimierung
- Energiesystemtechnik für die erneuerbaren Energien

- **Fraunhofer IWES | Kassel**

  Direktor: Prof. Dr. Clemens Hoffmann

- **Fraunhofer IWES | Nordwest**

  Direktor: Prof. Dr. Andreas Reuter

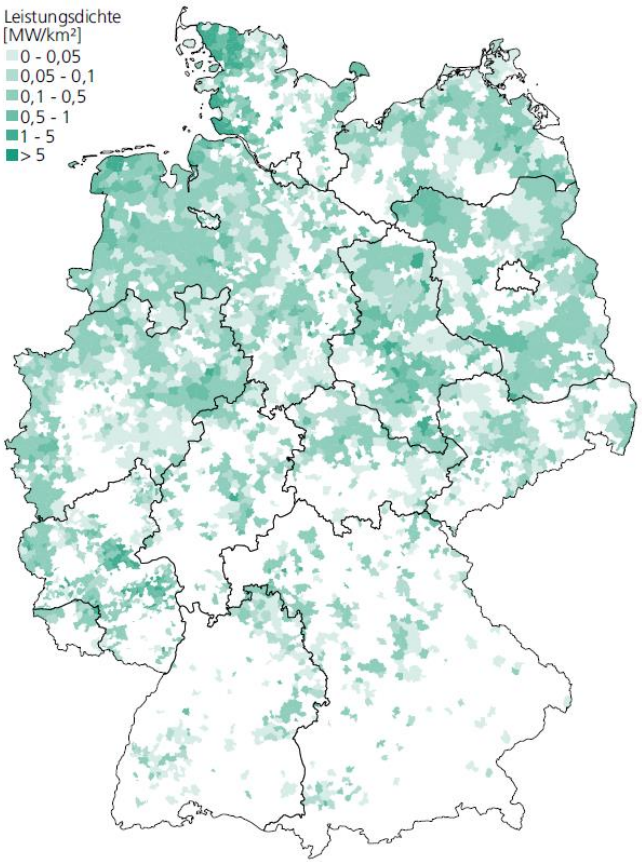
- **Jährliches Budget:** ca. 32 Mio. Euro

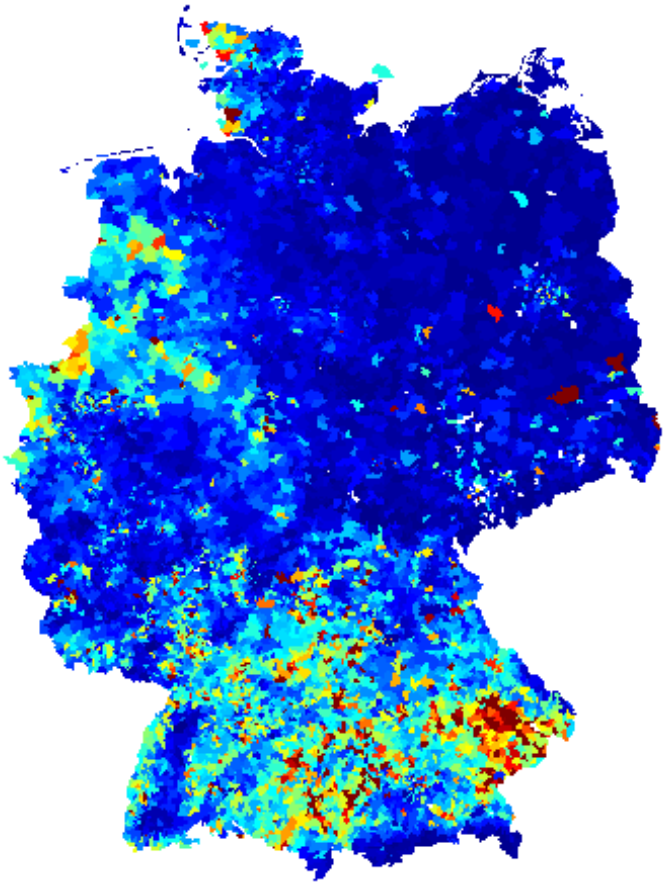
- **Personal:** ca. 500

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Entwicklung der Erneuerbaren Energien





Erstmals lieferten die EE in Summe den größten Anteil am Bruttostromverbrauch (32.6 %) und somit mehr als die Atom- und Braunkohlekraftwerke!!!

© Fraunhofer IWES

Entwicklung der Erneuerbaren Energien

Erstmals lieferten die EE in Summe den größten Anteil am Bruttostromverbrauch (32.6 %) und somit mehr als die Atom- und Braunkohlekraftwerke!!!

© Fraunhofer IWES

Einleitung

Die Energiewende befindet sich in der Phase II

- Die EE Leistung hat eine systembestimmende Größenordnung erreicht (100GW)
- Die generelle Transformation des gesamten Energieversorgungssystems (Strom, Wärme, Verkehr) hat begonnen
- Der weitere Zubau und die Sektorkopplung bestimmen diese Phase

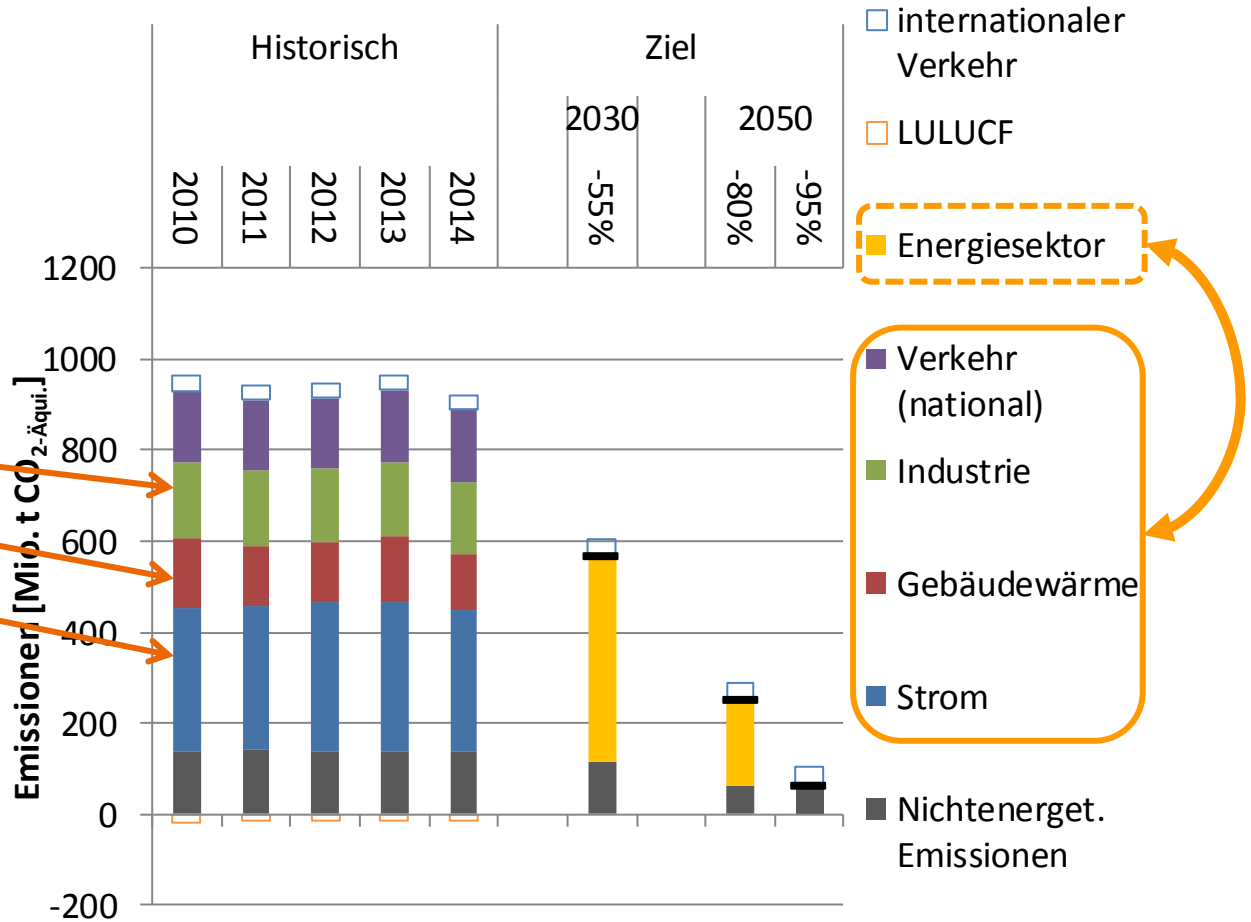
Erforderliche Maßnahmen für die weitere (erfolgreiche) Transformation

- Technologische Entwicklung
- Wirtschaftlichkeit
- Politische Stabilität
- Akzeptanz und Partizipation

© Fraunhofer IWES

Unsere langfristigen Klimaziele sind sehr ambitioniert

- Klimaziele 2050: Reduktion von -80% bis -95% der Treibhausgase
- COP21 Paris
- Ansatzpunkte für KWK?
  - Industrie
  - Gebäudewärme
  - Stromerzeugung

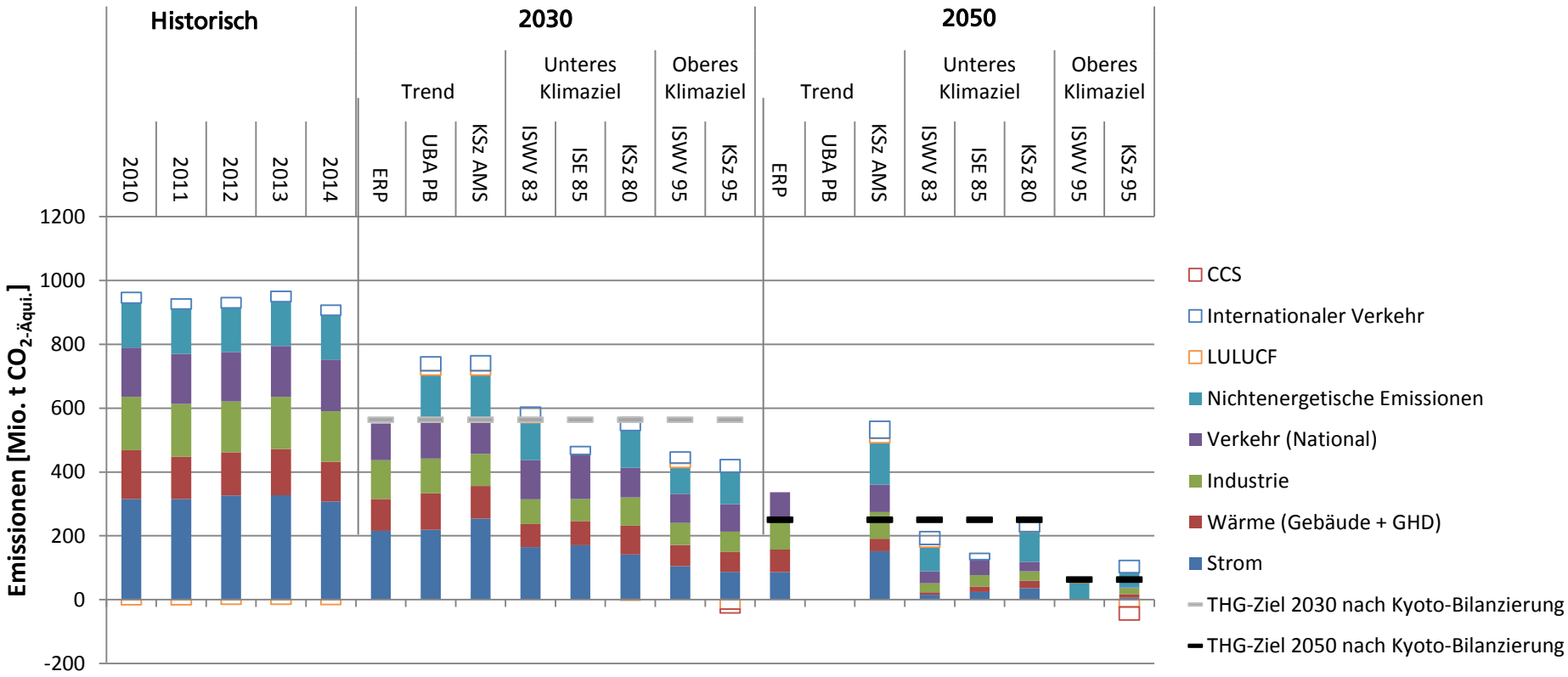


Aus: Projekt "Sektor-übergreifende Energiewende" für Agora Energiewende (unveröffentlicht)

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Wie prioritär ist die Dekarbonisierung der einzelnen Energiesektoren aus Gesamtsystemsicht?



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

- Ziele des Energiekonzeptes
  - 2030er Ziel -55% THG (Kyoto) im Gesamtsystem (gegenüber 1990)
  - 2050er Ziel -80% -95% THG (Kyoto) im Gesamtsystem (gegenüber 1990)

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Interaktion EE-Strom-Wärme und Verkehr

Fraunhofer IBP
Stiftung Umweltenergierecht
Fraunhofer IWES

INTERAKTION
EE-STROM, WÄRME UND VERKEHR

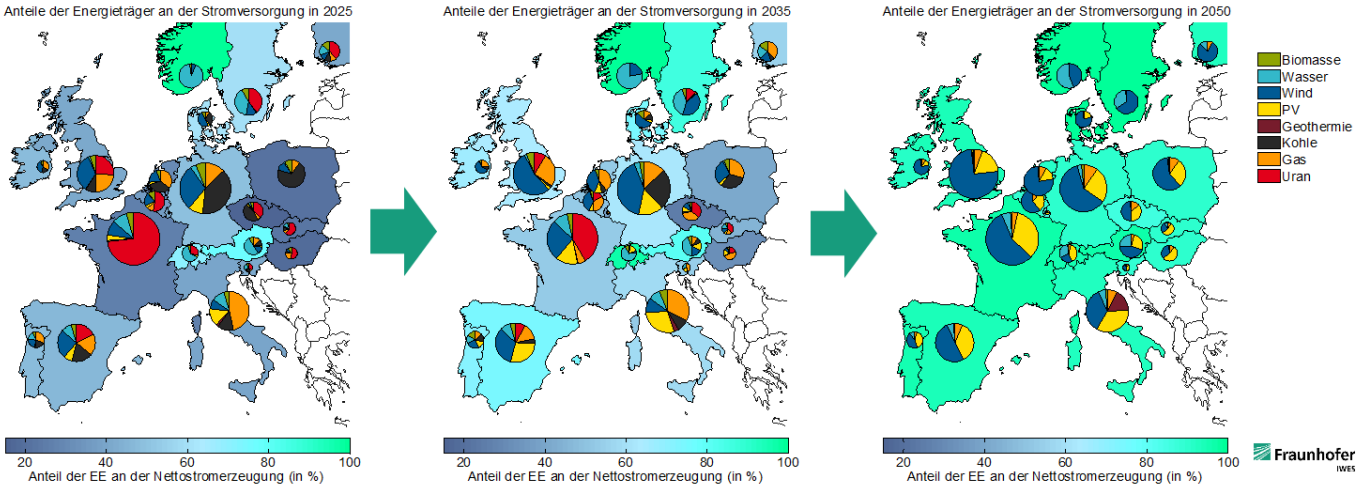
Analyse der Interaktion zwischen den Sektoren Strom, Wärme/Kälte und Verkehr in Deutschland in Hinblick auf steigende Anteile fluktuierender Erneuerbarer Energien im Strombereich unter Berücksichtigung der europäischen Entwicklung

Ableitung von optimalen strukturellen Entwicklungspfaden für den Verkehrs- und Wärmesektor

- Wie kann Europa und Deutschland kostenminimal seine Mindestklimaziele (-80% CO_2) erreichen?
- Was heißt das für den Wärmemarkt, Verkehrssektor und den Technologiemix?
- Was ergeben sich für Konsequenzen für den Wind- und PV-Ausbau

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

Zeitliche Entwicklung der EE-Ausbaus in Europa



→ Simulationsmodell – Minimierung der volkswirtschaftlichen Kosten

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

IWES-Modell SCOPE für kostenoptimale Energieversorgung
→ Erfasst die Rückkopplungen in komplexen Systemen

Eingangsgrößen

- Brennstoffkosten
- Technologiekosten
- Potenziale/ Restriktionen
- Zeitreihen für Energiebedarfe (Strom, Wärme, Verkehr)
- …

Lineares Optimierungsmodell

Europa und/oder DE

Vollkosten-minimierung

unter Einhaltung von Klimazielen

Ergebnisse

- Optimale Strommix
- Optimaler Wärmemix
- Energiemengengerüst und installierte Leistung
- CO_2-Preis
- …

–Märkte:

Strommarkt | Wärmemärkte | Gasmarkt | Mobilität | CO_2-Markt

Technologieportfolio:

Windkraft, PV | Stromspeicher | Power-to-Gas | BEV | PHEV/REEV

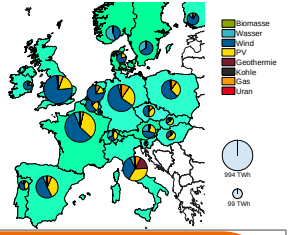
Laufwasser | KWK | Klimatisierung | Kessel | Oberleitungs-LKW

Kondensations-KW | Power-to-Heat | Wärmepumpen | Solarthermie | Geothermie

© Fraunhofer IWES

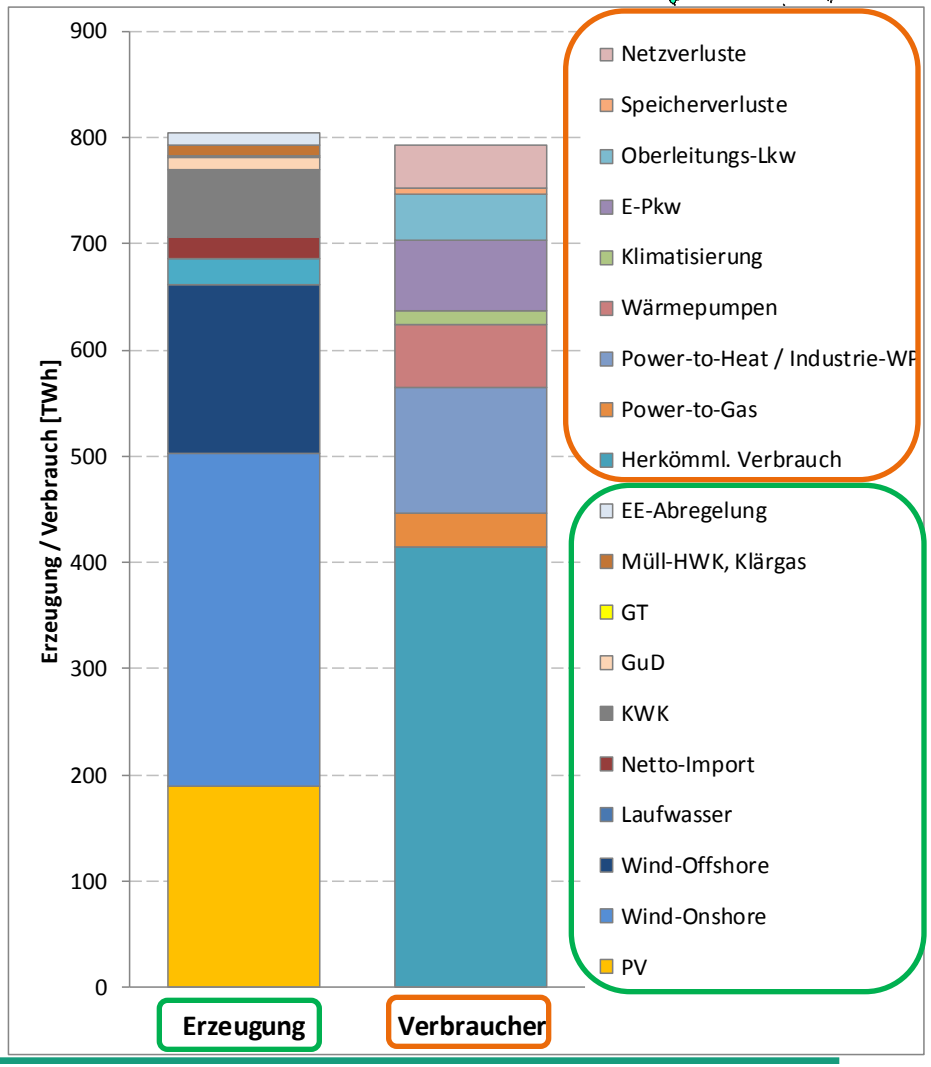
Fraunhofer IWES

Deutschland 2050 - Stromverbrauch und -erzeugung



- THG-Minderungsziel von -83% (europäischer Lastenausgleich)
- Begrenzte Biomasse
  2 Mio. ha NaWaRo unterstellt
- Inkl. internationaler Verkehr
- Optimale Strombilanz 2050: Steigerung Nettostromverbrauch von
  - Heute 560 TWh
  - auf ca. 800 TWh in 2050
- Rückwirkungen auf den EE-Ausbau
  - Langfristig hoher PV-Anteil wirtschaftlich
  - Sehr hohe EE-Leistungen für eine flukt. EE-Stromerzeugung von 670 TWh

→ **Effizienz ist sehr wichtig um EE-Ausbaubedarf im Rahmen zu halten**



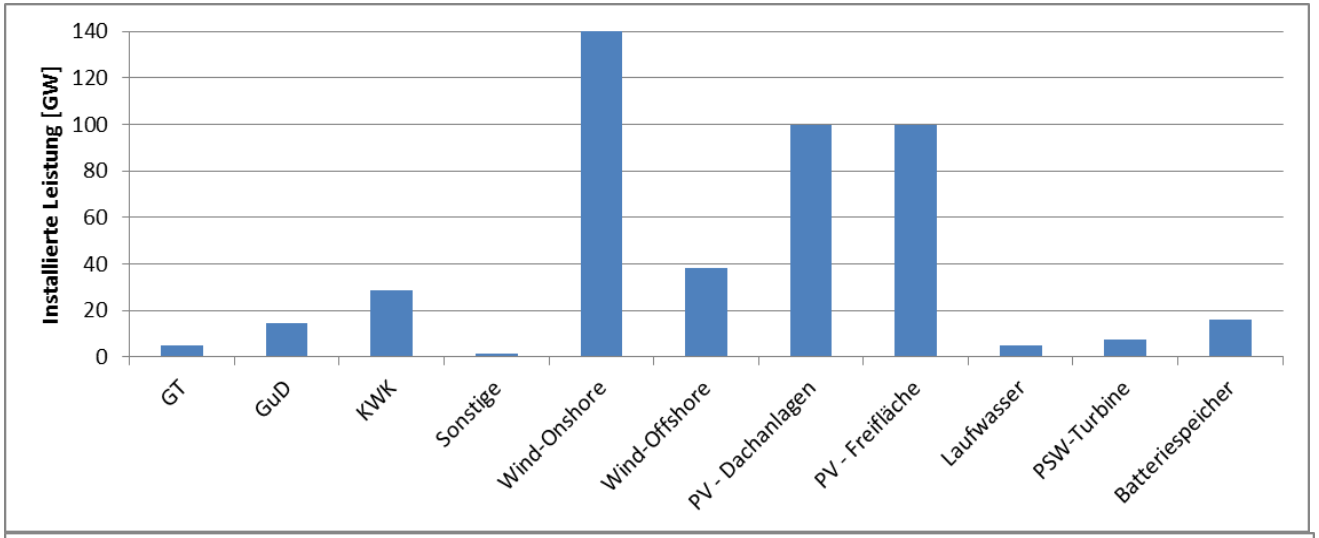
© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

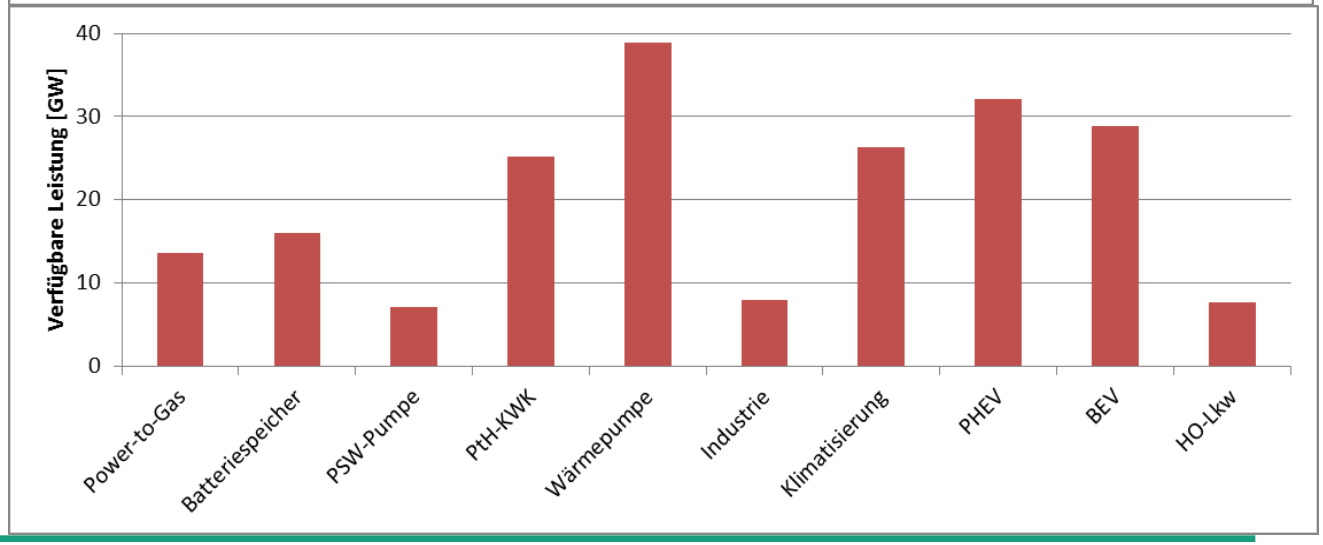
Insbesondere das Potenzial dezentraler Flexibilität muss gehoben werden!

Leistungen 2050:

- einer hohen fluktuierenden **Erzeugungs-leistung**



- steht ein flexibler **Stromverbrauch** gegenüber



→ Wind- und PV können effizient ins System integriert werden

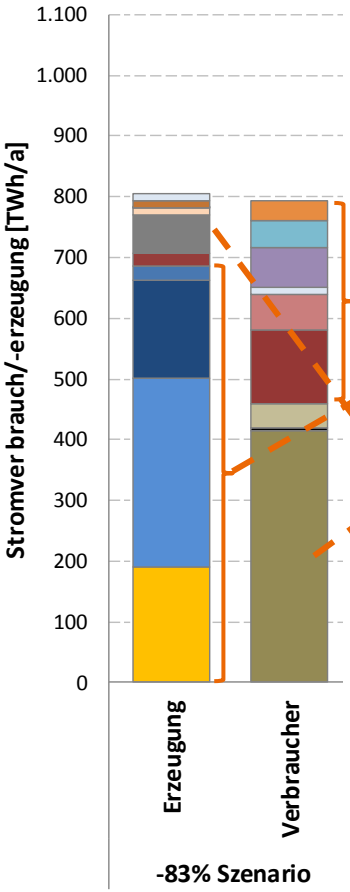
© Fraunhofer IWES

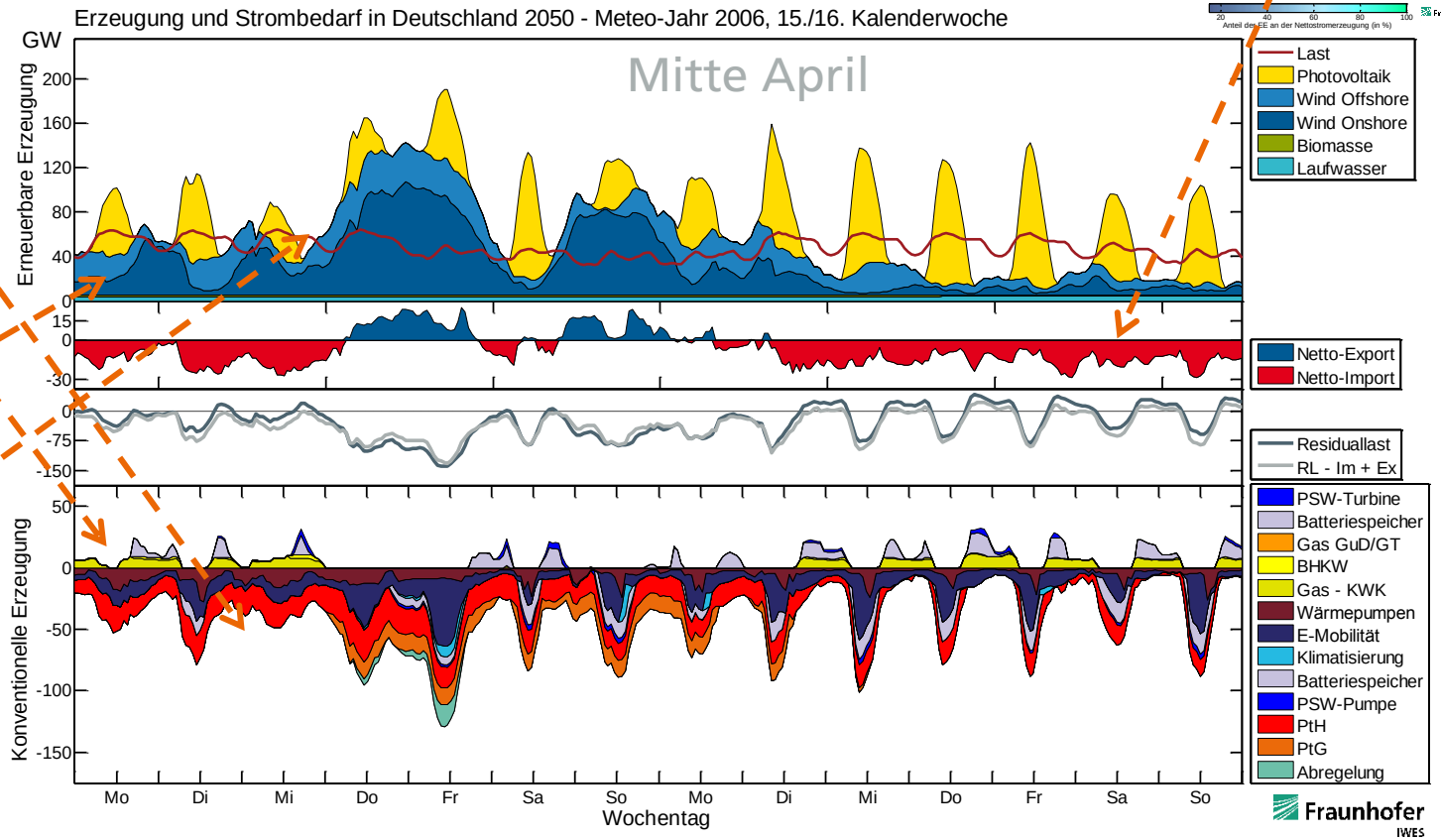
Fraunhofer IWES

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

- 2 Wochen in 2050

www.energieversorgung-elektromobilitaet.de/

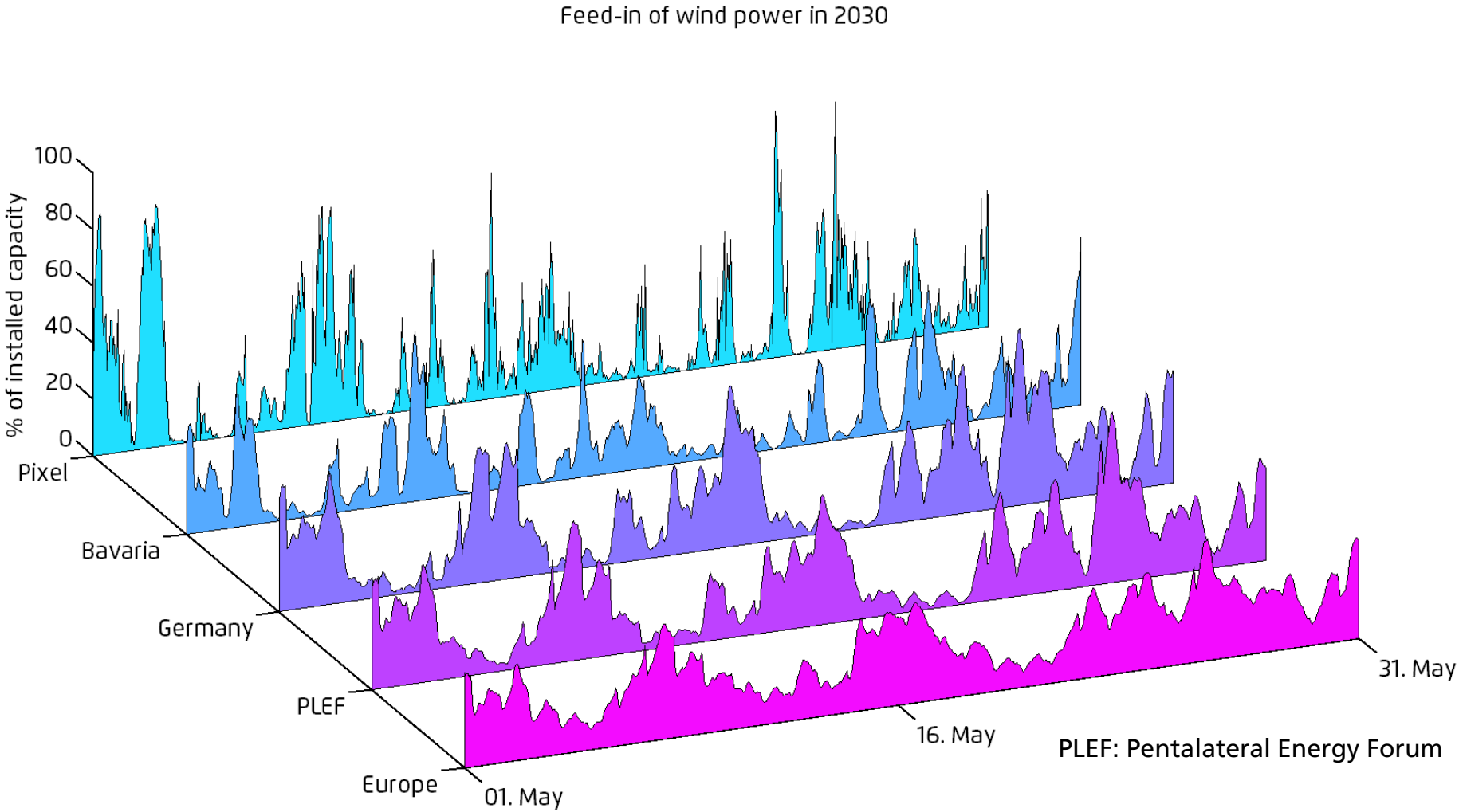




© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Glättung von Windschwankungen in Europa



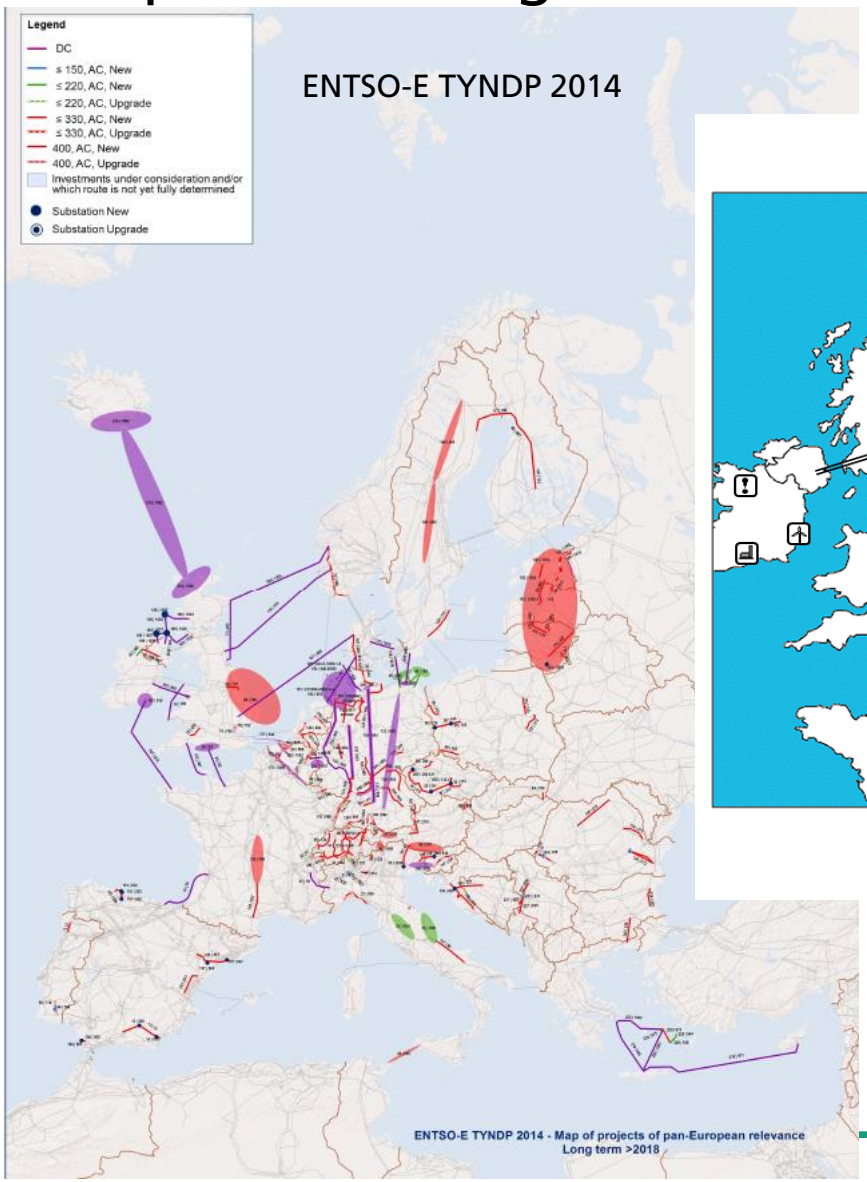
PLEF: Pentalateral Energy Forum

Großräumiger Ausgleich reduziert Flexibilitäts- und Speicherbedarf

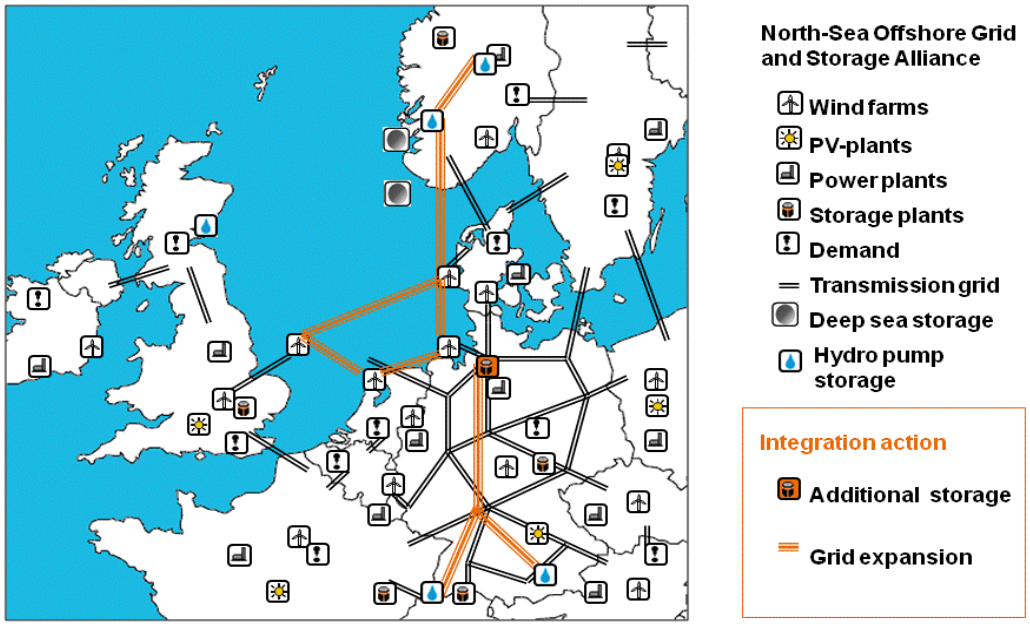
© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Europäische Energie-Szenarien - Netze



North Sea Offshore Network

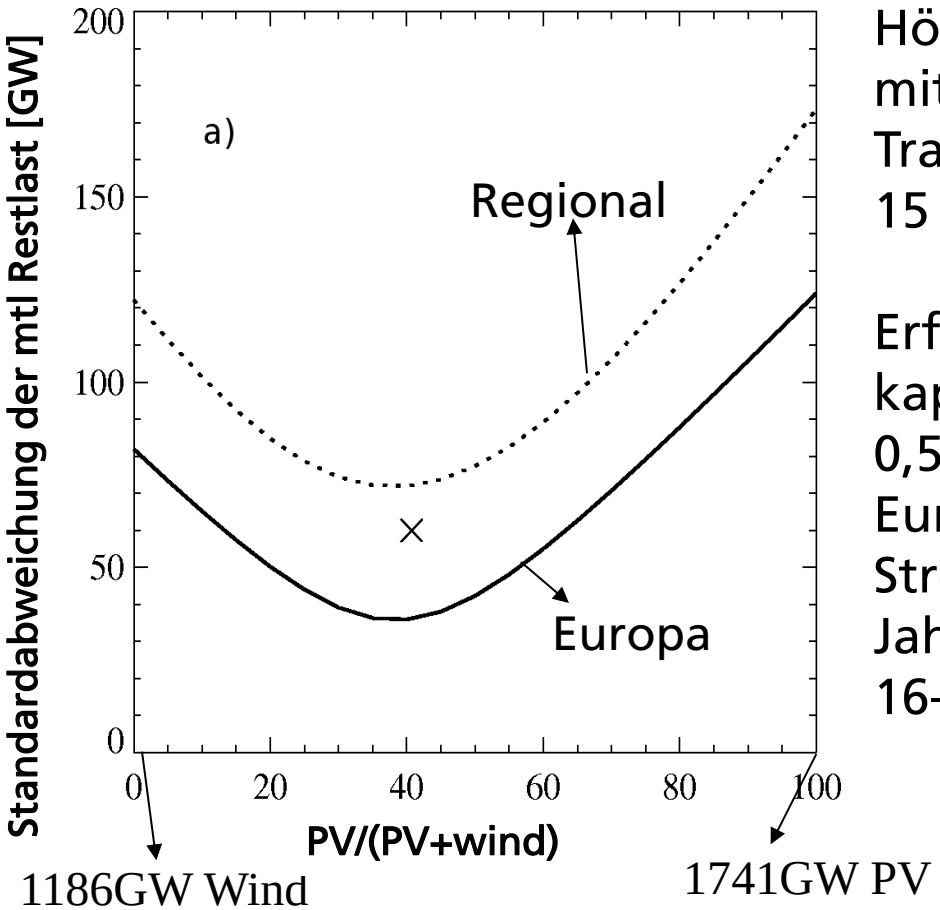


Europäische Energieszenarien bauen auf großräumigen Austausch und Stromtransport

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Optimales Verhältnis zwischen PV und Windenergie



Höchste erforderliche mittlere Transportkapazität:
15 GW (in D) – Max. >>>

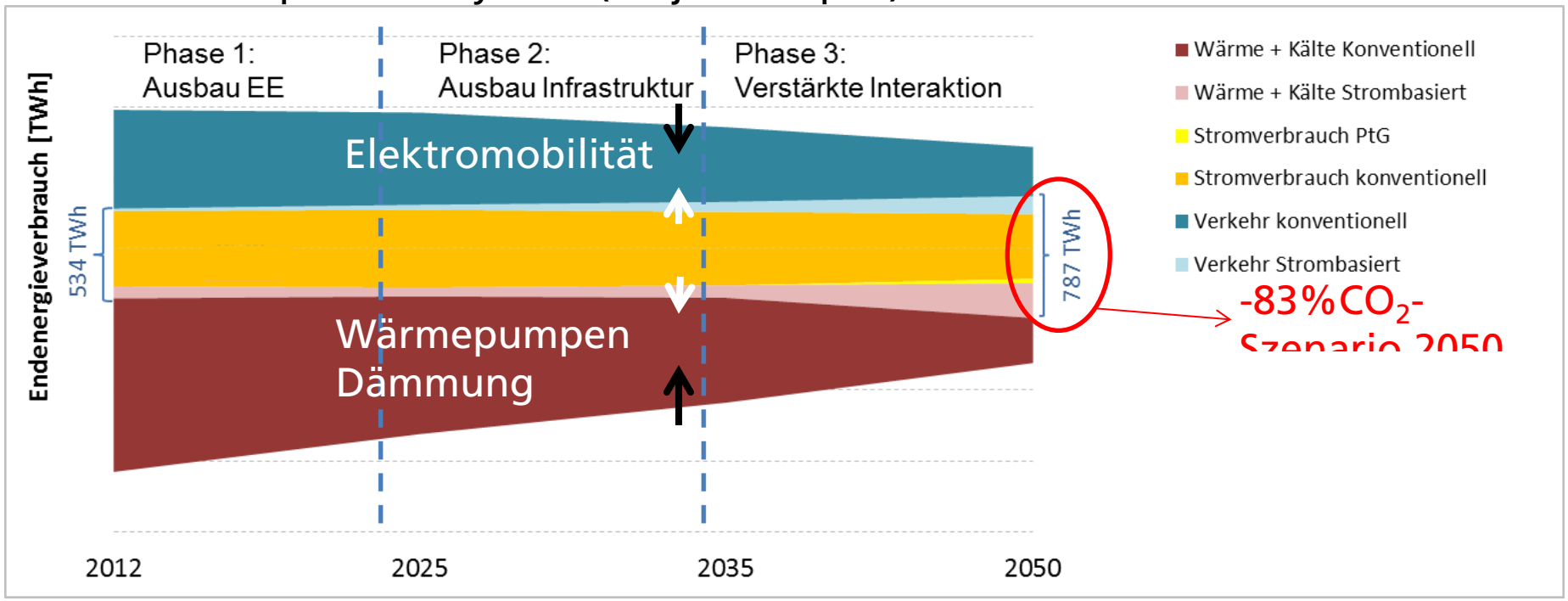
Erforderliche Speicher-kapazität:
0,5% - 8% des mittleren Europäischen Stromverbrauchs pro Jahr
16-260 TWh/a

Minimierung von Speicherkapazität durch Stromtransport

Sektorkopplung in der Entwicklung bis 2050?

- **Power ➡ X** zur Dekarbonisierung anderer Energiesektoren

- Roadmap Gesamtsystem (Projektbeispiel):



→ EE-Strom als zukünftiger Primärenergieträger und Haupttreiber!

→ Effizienz als Kombination von Verbrauchsreduktion und Elektrifizierung

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Motivation für Sektorkopplung

- Notwendigkeit der Sektorkopplung ist nicht von der Stromerzeugung getrieben

- Es geht nicht darum „überschüssigen Wind- und PV-Strom“ zu nutzen bzw. Flexibilitätsoptionen für den Strommarkt zu finden

→ <u>Sektorkopplung</u> dient der Dekarbonisierung und geht von den Sektoren aus, die Strom brauchen um CO_2-Ziele zu erreichen!

→ Für diese Sektoren muss zusätzlicher Wind- und PV-Strom ausgebaut werden!

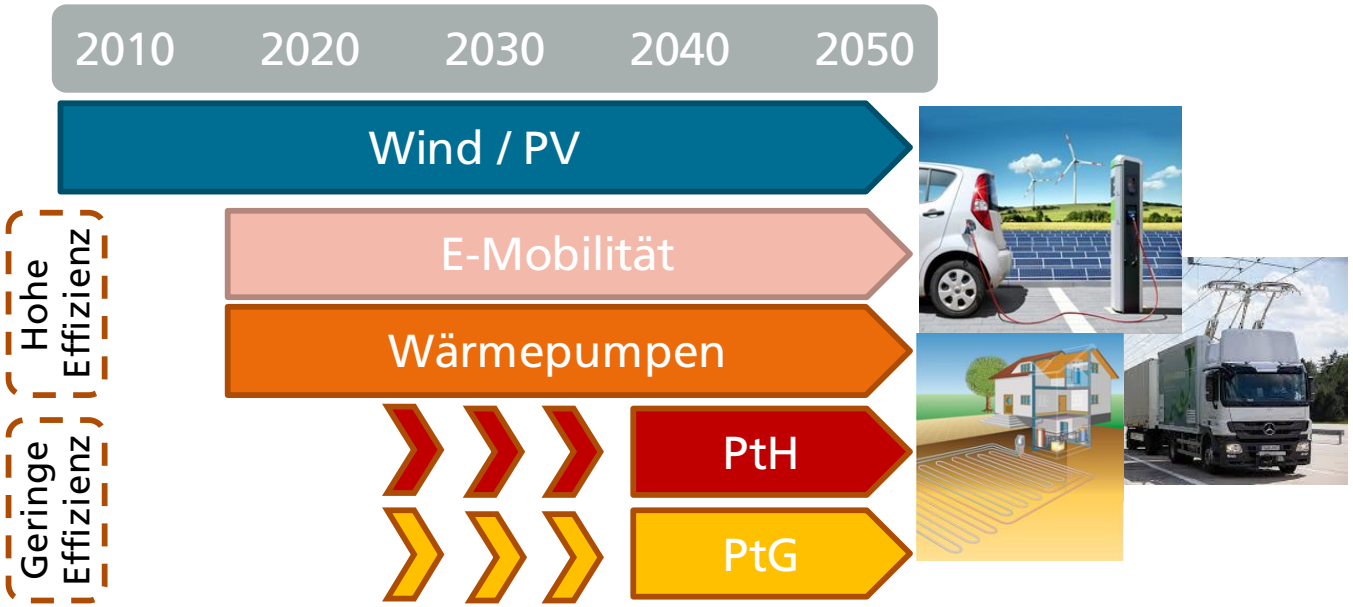
→ <u>Flexibilitä</u>t aus der Sektorenkopplung ist dabei eine zusätzliche Anforderung für ein effizientes Gesamtsystem!

© Fraunhofer IWES

Welche Schlüsseltechnologien sind erforderlich?

- Große Vielfallt 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



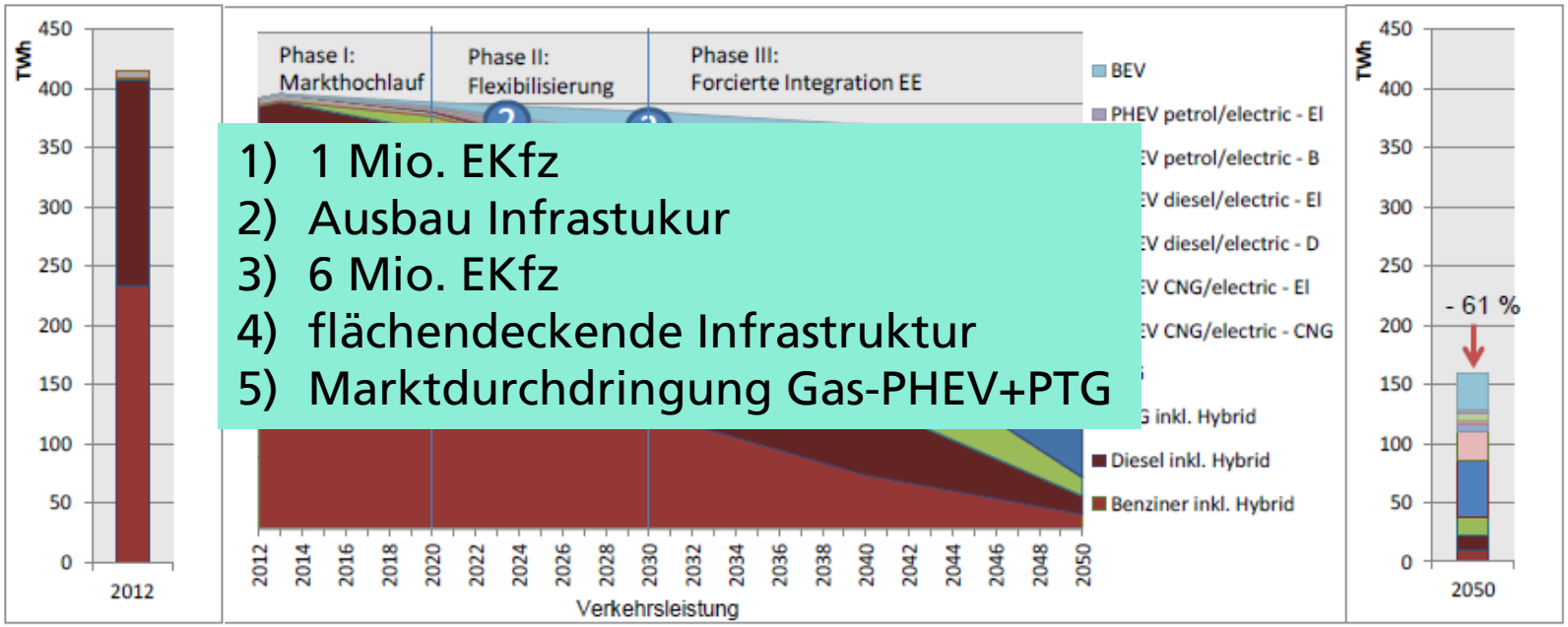
- Pkw: BEV, PHEV, REEV; OH-Lkw, E-Bus …
- Dezentral. Luft-WP, Sole-WP; Groß-WP in der Industrie und in Wärmenetzen, …
- Elektrodenkessel in der Industrie und in Wärmenetzen; dezentral Heizstäbe, …
- H_2, PtG, PtL, …
- Neue el. Verfahren in der Industrie

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Roadmap Elektromobilität

- Motorisierter Individualverkehr (s.u.) kann großteils auf Elektroautos, Hybride und Plug-In-Hybride, vor allem mit Gas, umgestellt werden
- Straßengüterverkehr kann teilweise mit Oberleitungs-LKW elektrifiziert werden, es verbleibt aber ein großer Einsatz von Diesel
- Einsparungen von ca. 61%



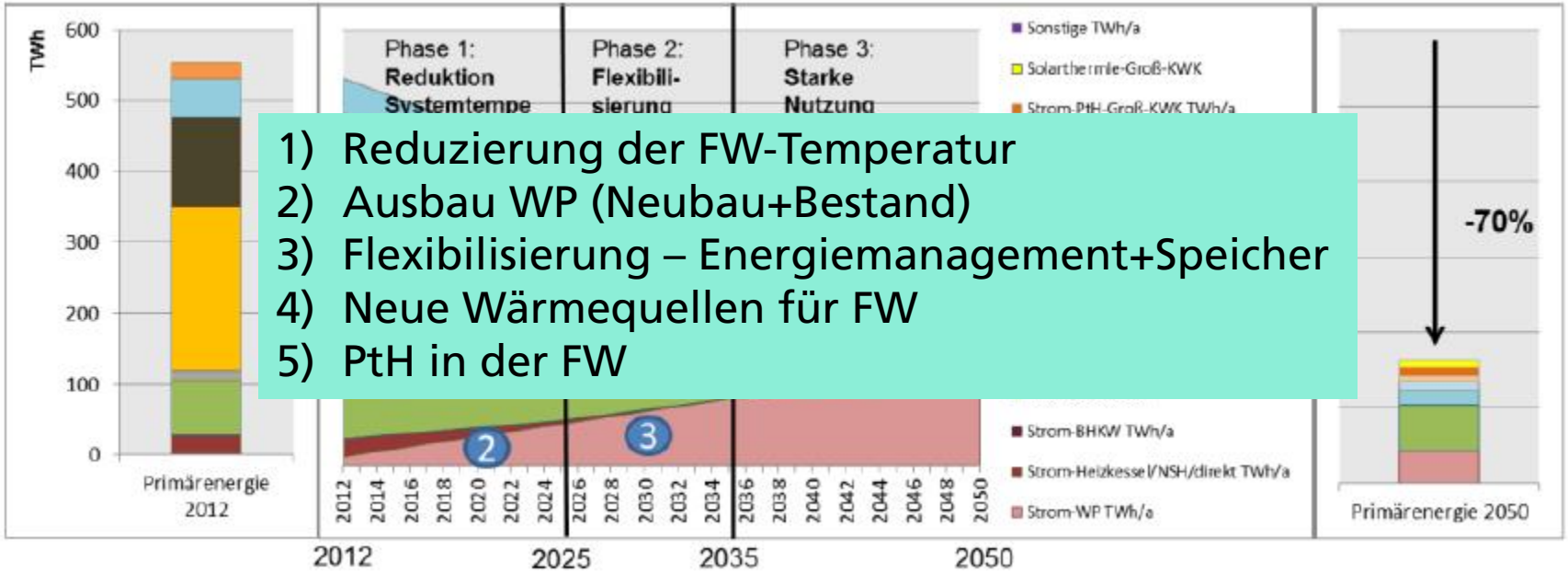
© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Roadmap Wärmepumpen und Power-to-Heat

Bereich Wohnen

- Gebäude (Wohnen (s.u.) sowie Handel, Gewerbe und Dienstleistung) können überwiegend mit Wärmepumpen und Biomasse beheizt werden
- Power-to-Heat, Gase und große KWK-Kraftwerke werden vor allem für höhere Prozesstemperaturen in der Industrie benötigt
- Einsparungen von ca.70% (Wohnen) bzw. 74% (GhD)



1) Reduzierung der FW-Temperatur
2) Ausbau WP (Neubau+Bestand)
3) Flexibilisierung – Energiemanagement+Speicher
4) Neue Wärmequellen für FW
5) PtH in der FW

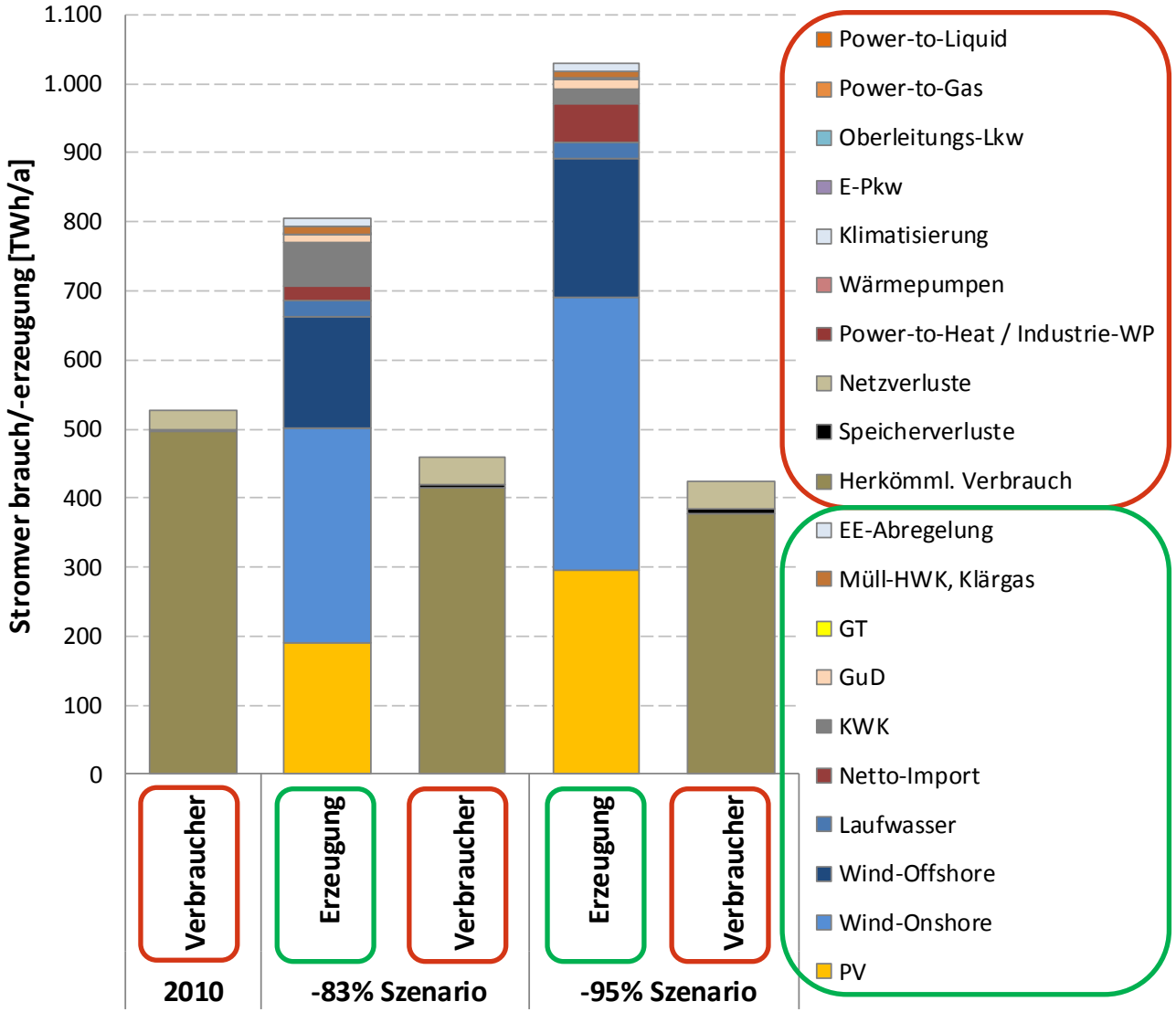
© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Unterschied -80% / -95% Treibhausgase?

- Anstieg Power-to-Gas (PtG) Power-to-Liquid (PtL)
- Max. Effizienz
- Max. direkte Stromnutzung
- Frage: Wie viel nationaler Wind- und PV-Ausbau für PtG/PtL oder Importe?

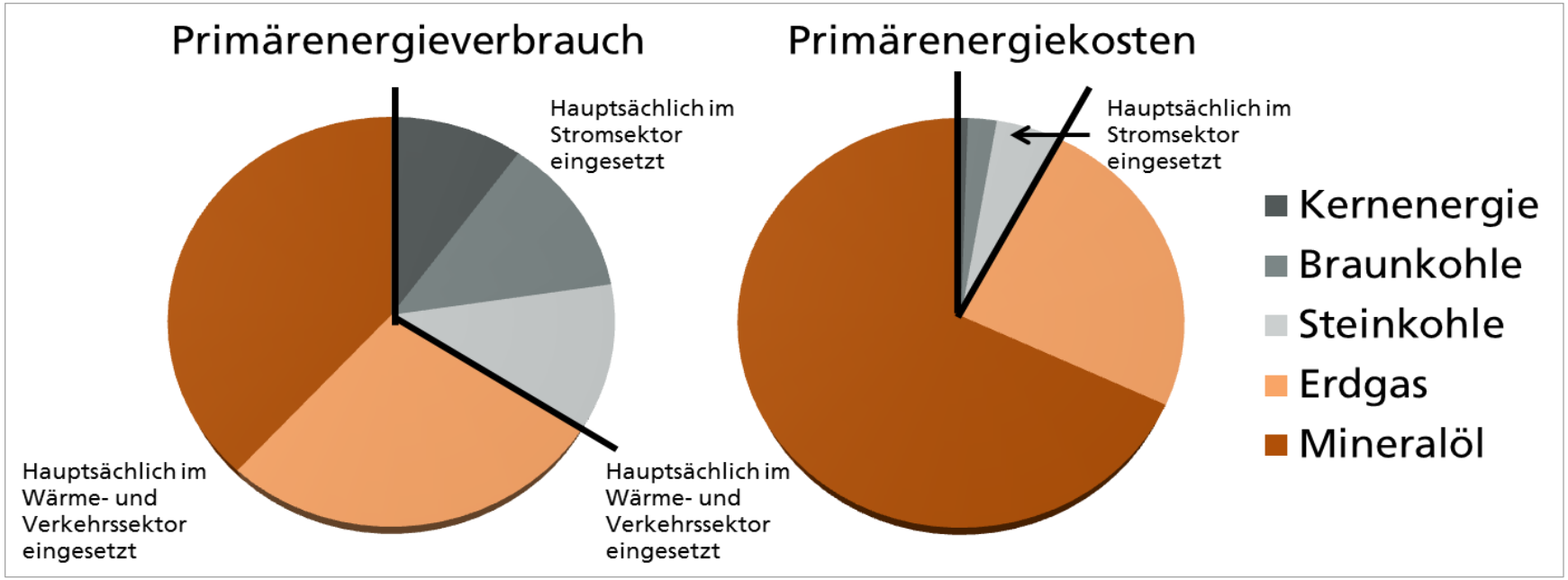
Aus: Projekt "Sektor-übergreifende Energiewende" für Agora Energiewende (in Bearbeitung)



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Primärenergie aufgeteilt nach Energieträgern

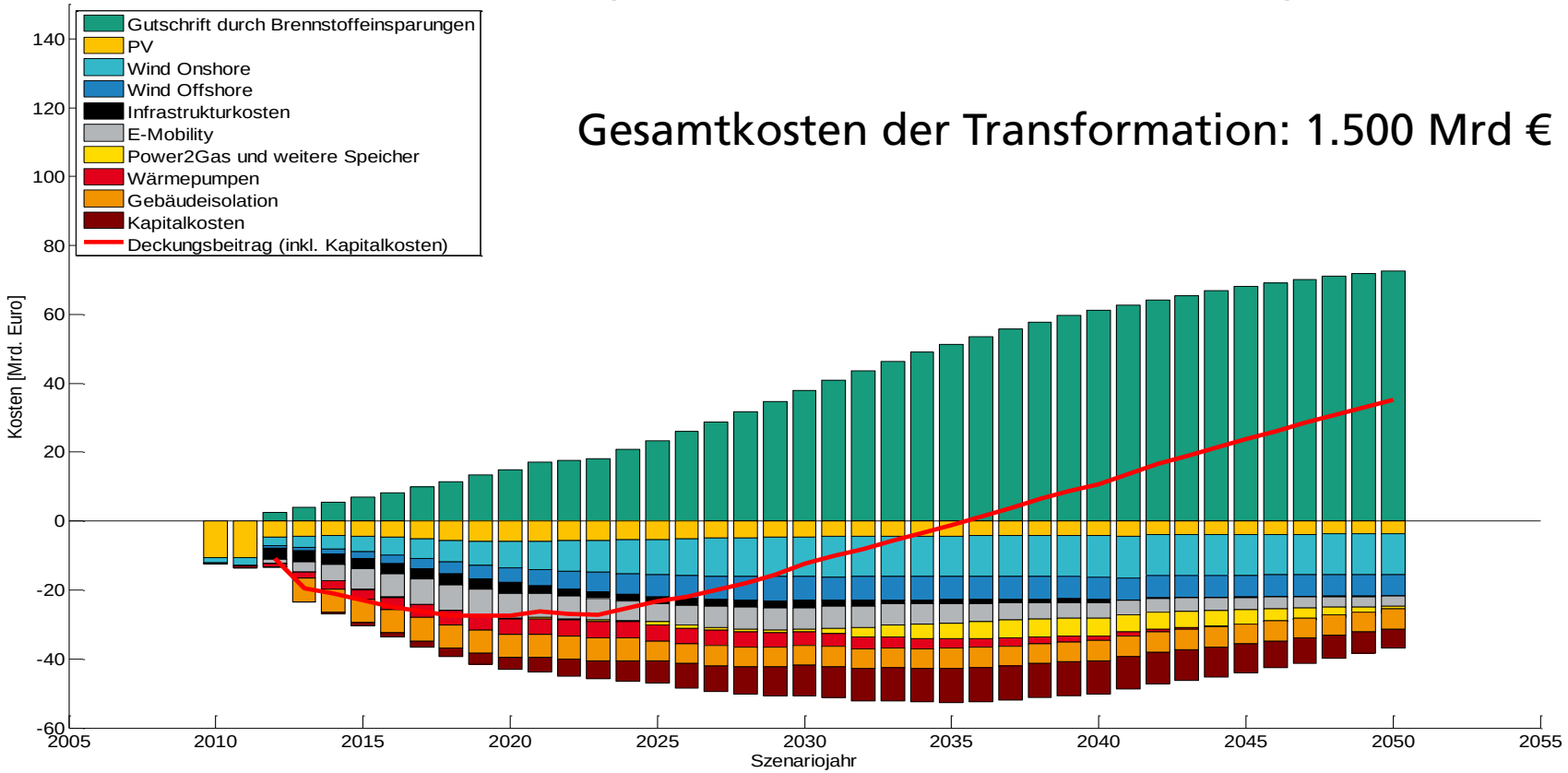


Stromerzeugung: Hoher Anteil für Primärenergie
→ aber Beschaffungskosten dafür sind relativ gering.
Öl und Gas: Teuer und schwer substituierbar
→ Werden vor allem im Verkehrs- und Wärmesektor eingesetzt.

Gesamtkosten für Primärenergieimporte ca. 90 Mrd. Euro pro Jahr

© Fraunhofer IWES

Vermiedene Primärenergieimporte zur Finanzierung



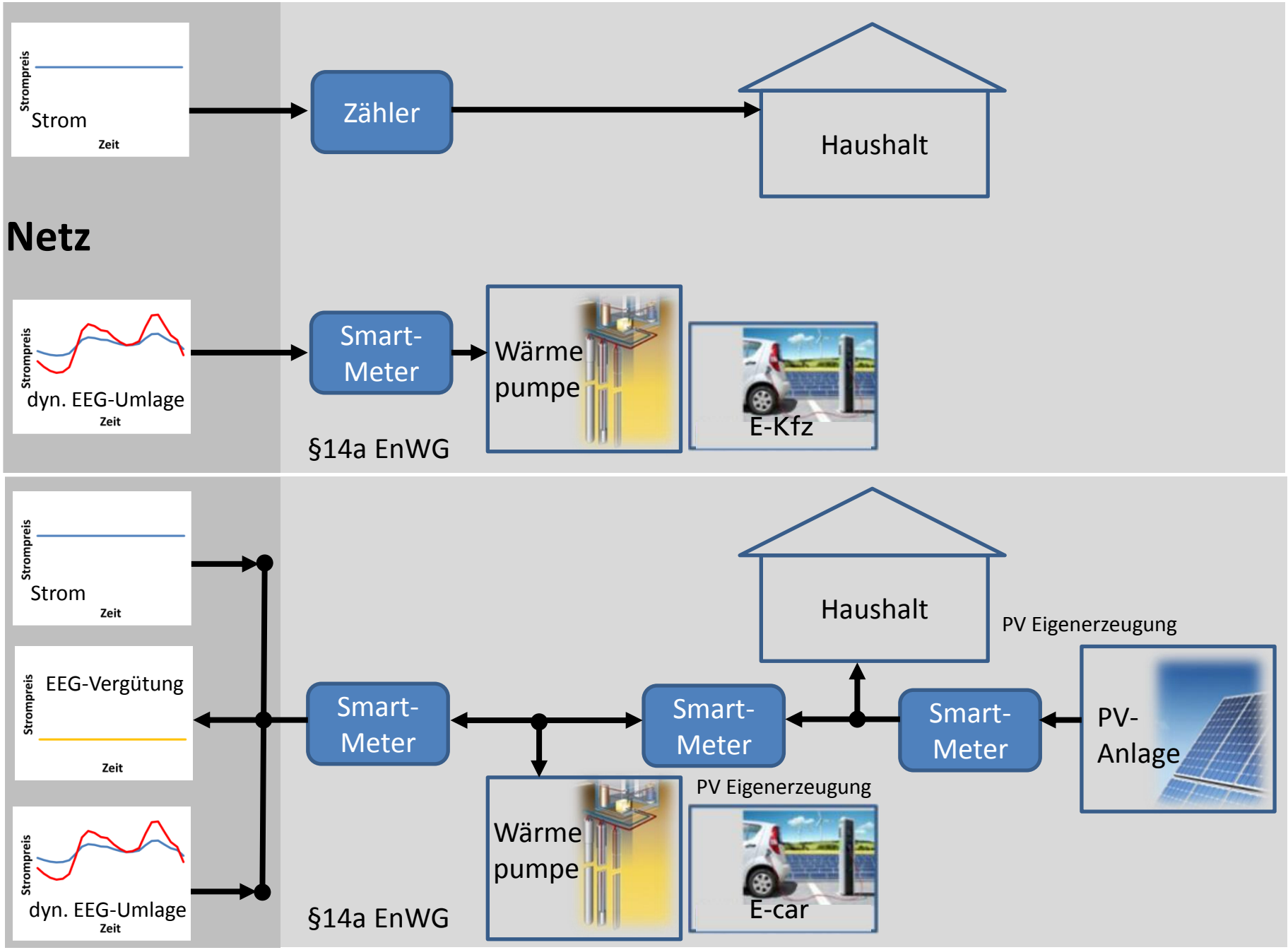
Gesamtkosten der Transformation: 1.500 Mrd €

- Als Untergrenze ergibt sich eine Verzinsung der gesamten Investitionen von **2,3% (inflationsbereinigt)**
- Geringes Risiko für Investitionsvorhaben
- Bei steigenden Kosten für Primärenergie stellt sich das Gesamtprojekt deutlich lukrativer dar (**6,7% inflationsbereinigt**)

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Sektorkopplung: Anreize



Netz- und Systemstabilität mit 100% Erneuerbaren Energien

Netzstabilität

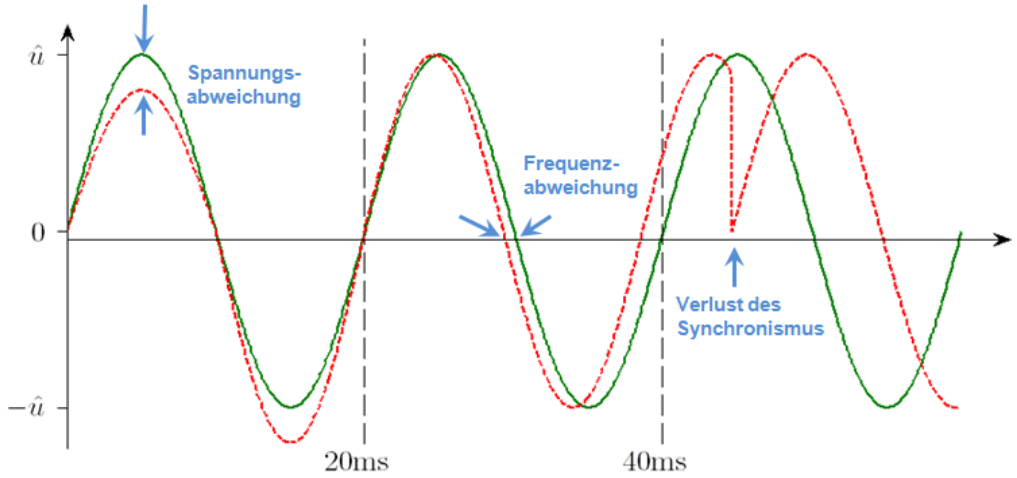
- Spannungsstabilität
- Frequenzstabilität
- (Polradwinkelstabilität)

Systemdienstleistung:

- Spannungsstabilität → Spannungshaltung
- Frequenzstabilität → Frequenzhaltung

Spannungshaltung:
- Spannungsregelung
- Bereitstellung von Blindleistung
- Kompensationsanlagen
- Trafostufenstellung

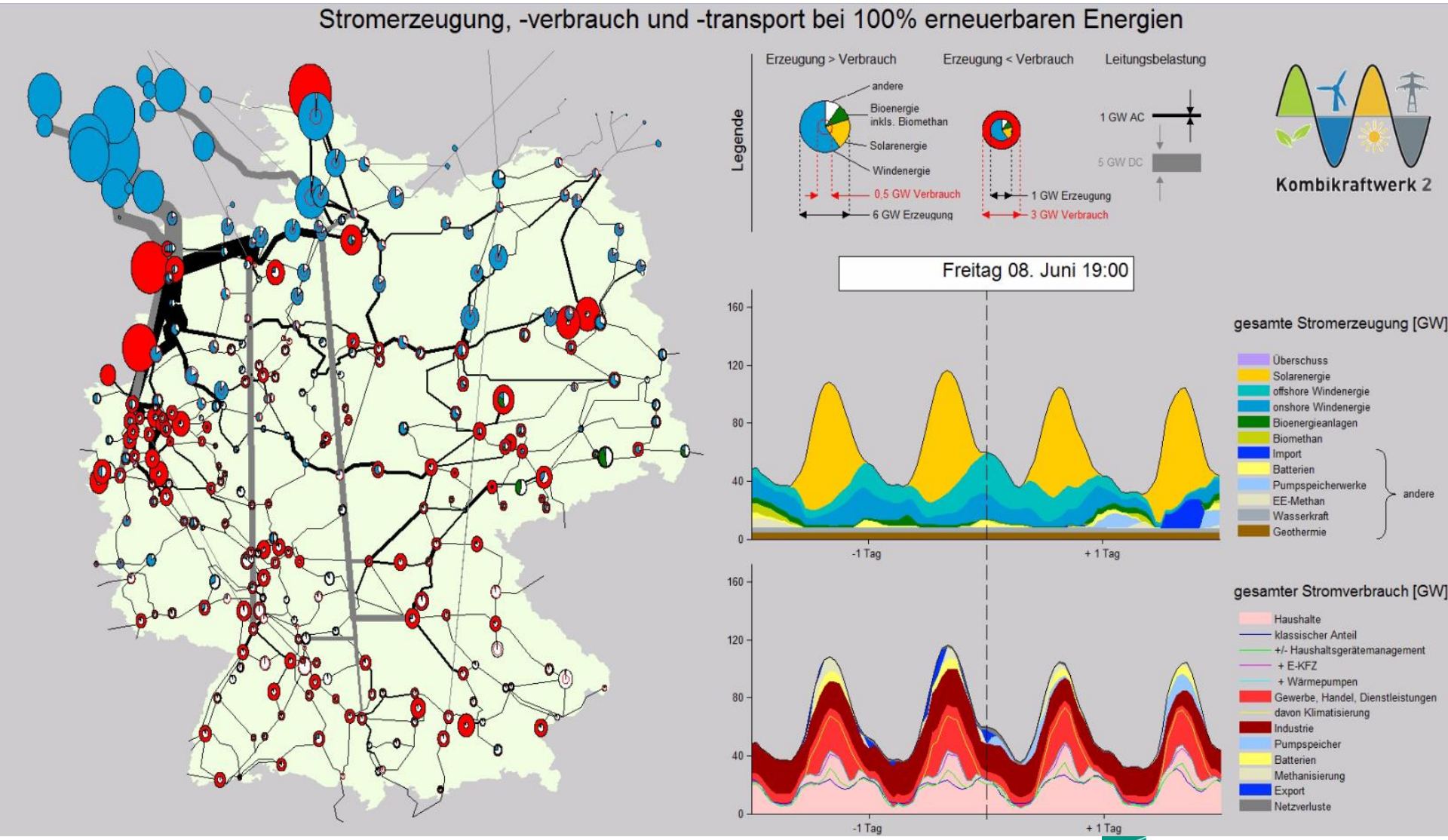
Frequenzhaltung:
- Erbringung von Regelleistung
- Existenz von Momentanreserve



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

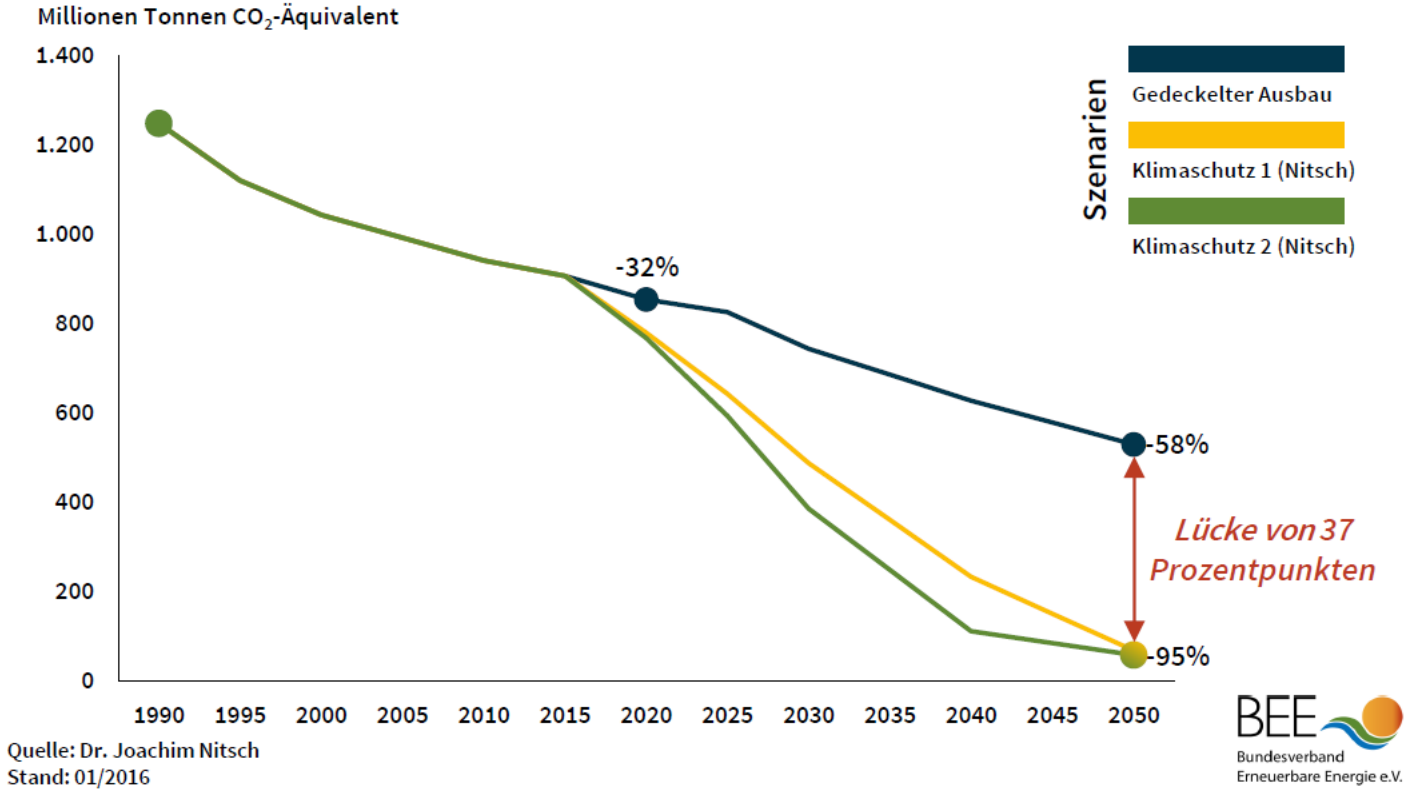
Netz- und Systemstabilität mit 100% Erneuerbaren Energien



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

EEG2017: EE Ausbau Deutschland: Kohlendioxid Emissionen

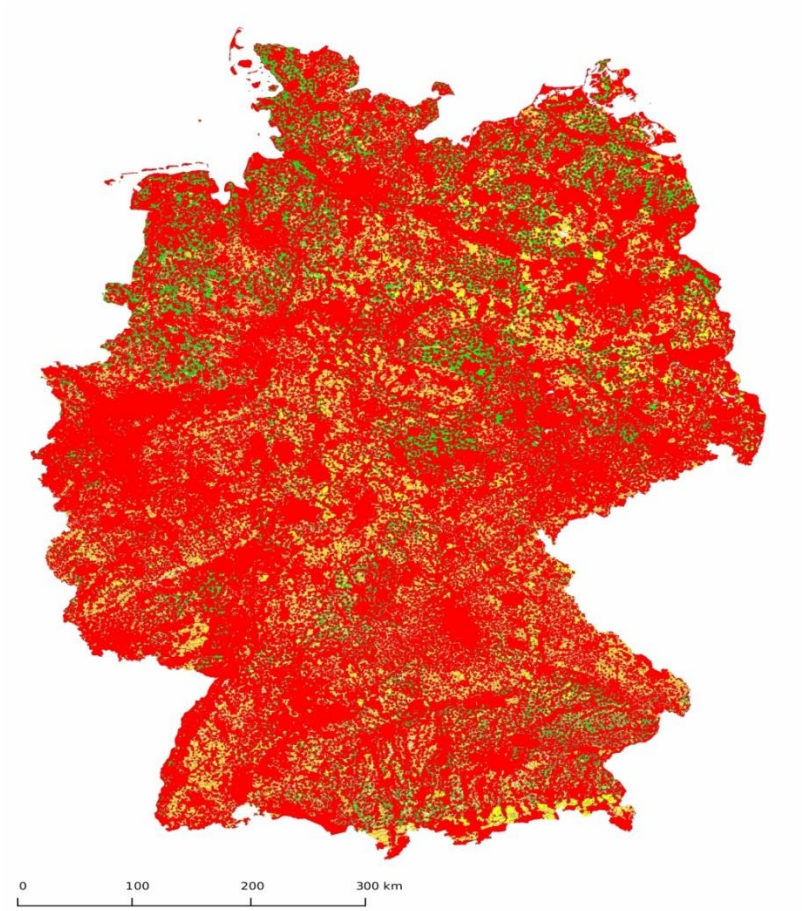


Überprüfung nationaler Ziele bzgl. COP 21

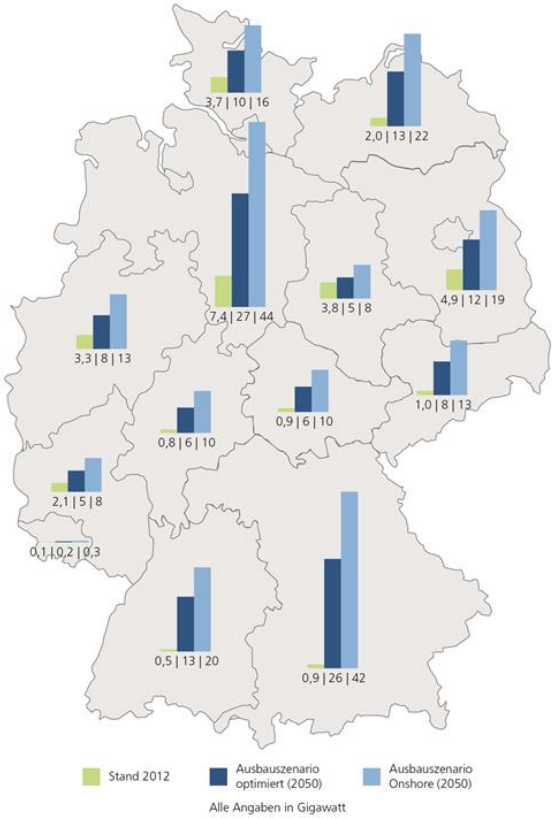
© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Landnutzungskonflikte



Bei Nutzung von 2% der jeweiligen Bundeslandfläche ergeben sich 198 GW installierbare Leistung



Fluktuierede EE mit 673 TWh benötigen :

- 200 GW PV
- 140 GW Wind onshore
- 38 GW Wind offshore

Effiziente Nutzung und Offshore Wind reduziert Flächenbedarf für Windenergie

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Partizipation: Stadtwerke Union Nordhessen – SUN

- SUN Partner versorgen ca. **290.000 Menschen** in der Region mit ca. **1.300 GWh Strom** p. a.
- SUN Partner beschäftigen ca. **1.300 Personen**.
- **Partizipation und regionale Wertschöpfung:** eigene EE Stromerzeugung spart **300 Mio. € / a**
- **SUN und Bürgerenergie-genossenschaften**

Nachhaltige städtische Energiekonzepte mit EE

Struktur des Energie-Systems Frankfurt/M 2050

Basiert auf 95% Anteil EE - erzeugt in der Region

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Zusammenfassung I

- Die Entwicklung nationaler Energiesysteme ist eingebettet in die Europäische Energieversorgungsstruktur
- Europa fördert die Kopplung von Märkten und den Ausbau der Übertragungsnetze
- Die Transformation des Energieversorgungssystems erfordert ein koordiniertes Zusammenspiel der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr
- Die Sektorkopplung erhöht die Flexibilität des Systems und reduziert die Kosten (Mengen) für fossile Primärenergieträger
- Die Kopplung von Strom und Wärme erfordert die massive Einführung von Wärmepumpen, Power-to-Heat Anwendungen und KWK sowie große Anstrengungen für die Wärmedämmung von Gebäuden
- Systemdienstleistungen (auch für die HöS-Ebene) werden vermehrt durch EE auf Hoch-, Mittel- und Niederspannungsebene angeboten

© Fraunhofer IWES

Zusammenfassung II

- Die weitere Entwicklung erfordert ein neues Marktdesign und angepasste Geschäftsmodelle/Anreize für Erzeuger, Verbraucher und Prosumer
- Die Einhaltung/Umsetzung der COP 21 Beschlüsse, erfordert eine Revision der nationalen Ziele in Deutschland, Europa und weltweit
- Höhere CO_2 Steuern sind eine Voraussetzung
- Soziale Aspekte und Akzeptanz sind bestimmende Faktoren bei der weiteren Transformation
- Nachhaltige Panung, Energieeffizienz und Offshore Wind reduzieren Landnutzungskonflikte
- Partizipation und regionale Energieversorgungsstrukturen fördern die Akzeptanz
- Urbane Energiekonzepte fördern die Sektorkopplung und steigern die Effizienz

© Fraunhofer IWES

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Fraunhofer
IWES

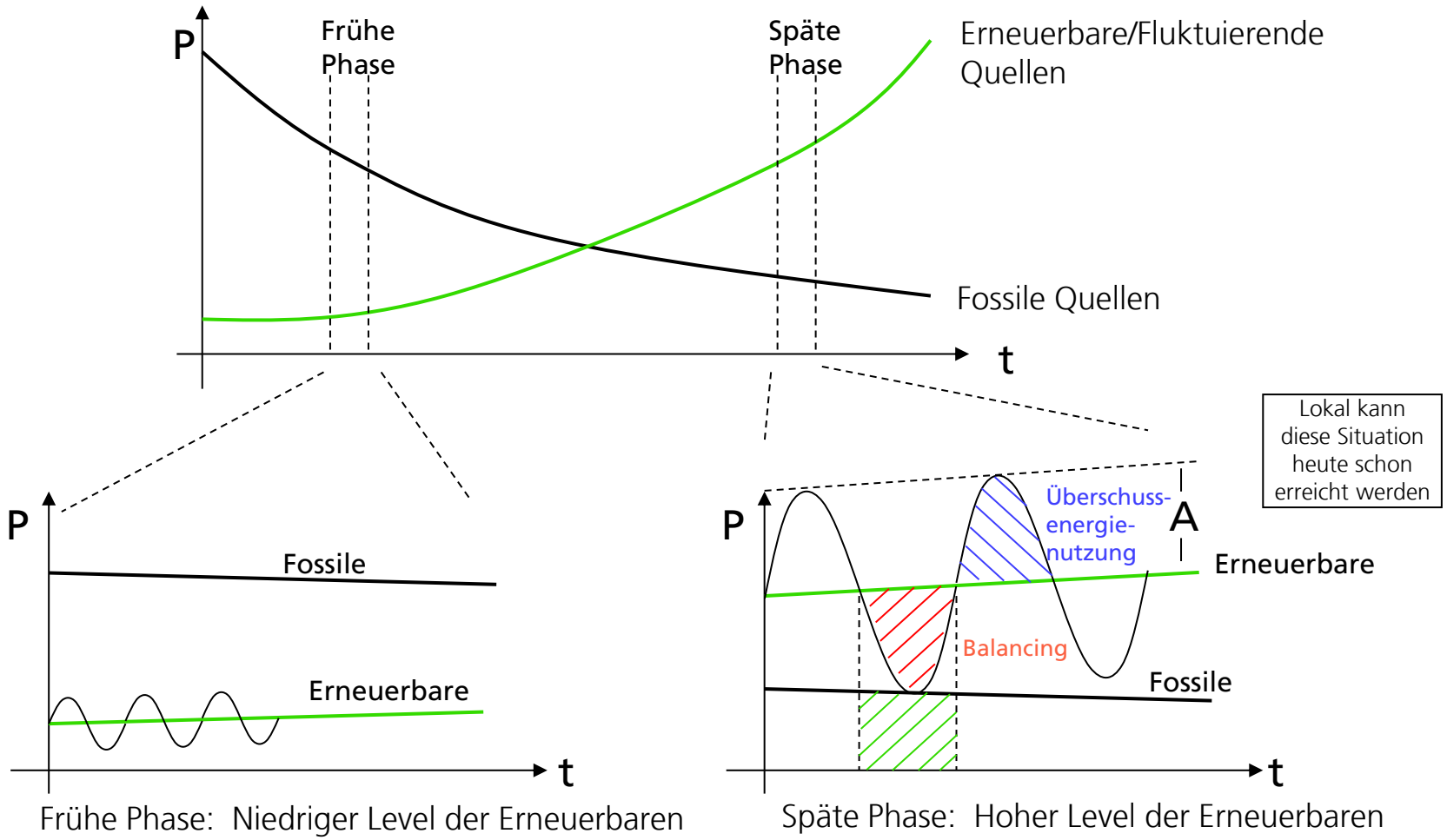
Prof. Dr.-Ing.
Kurt Rohrig

Deputy Director
Division Director Energy Economy and Grid Operation
Fraunhofer Institute for Wind Energy
and Energy System Technology IWES

Königstor 59 | 34119 Kassel | Germany
Phone: +49 561 7294 330
Kurt.rohrig@iwes.fraunhofer.de

© Fraunhofer IWES

Schwelle zum Zeitalter von Stromtransport und -speicher



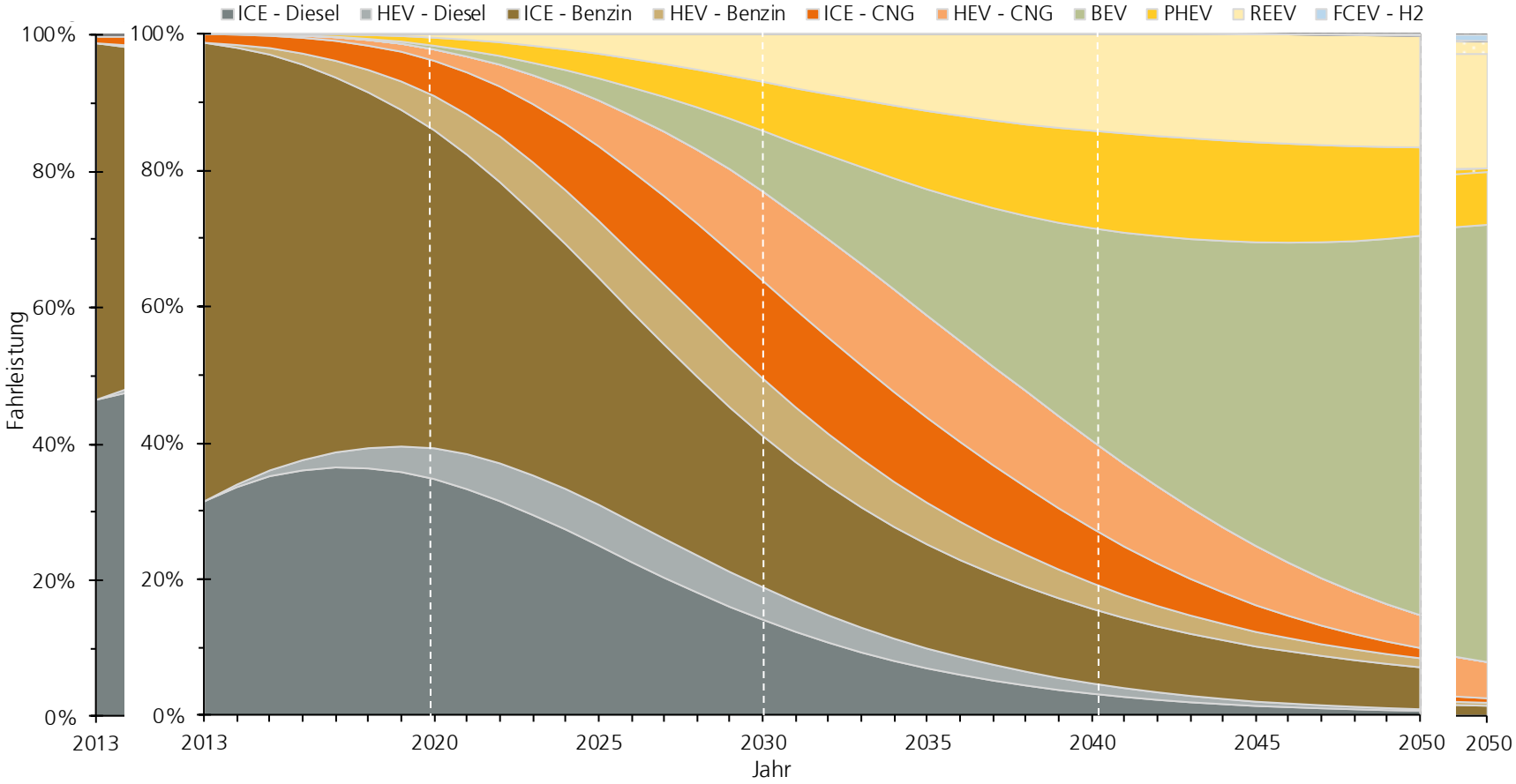
Überschüsse und Defizite bestimmen die Energieversorgung

© Fraunhofer

Fraunhofer IWES

Bestandsentwicklung E-Kfz – ambitioniert

- Hoher E-Mobilitätsanteil
- Erdgas als Brückentechnologie

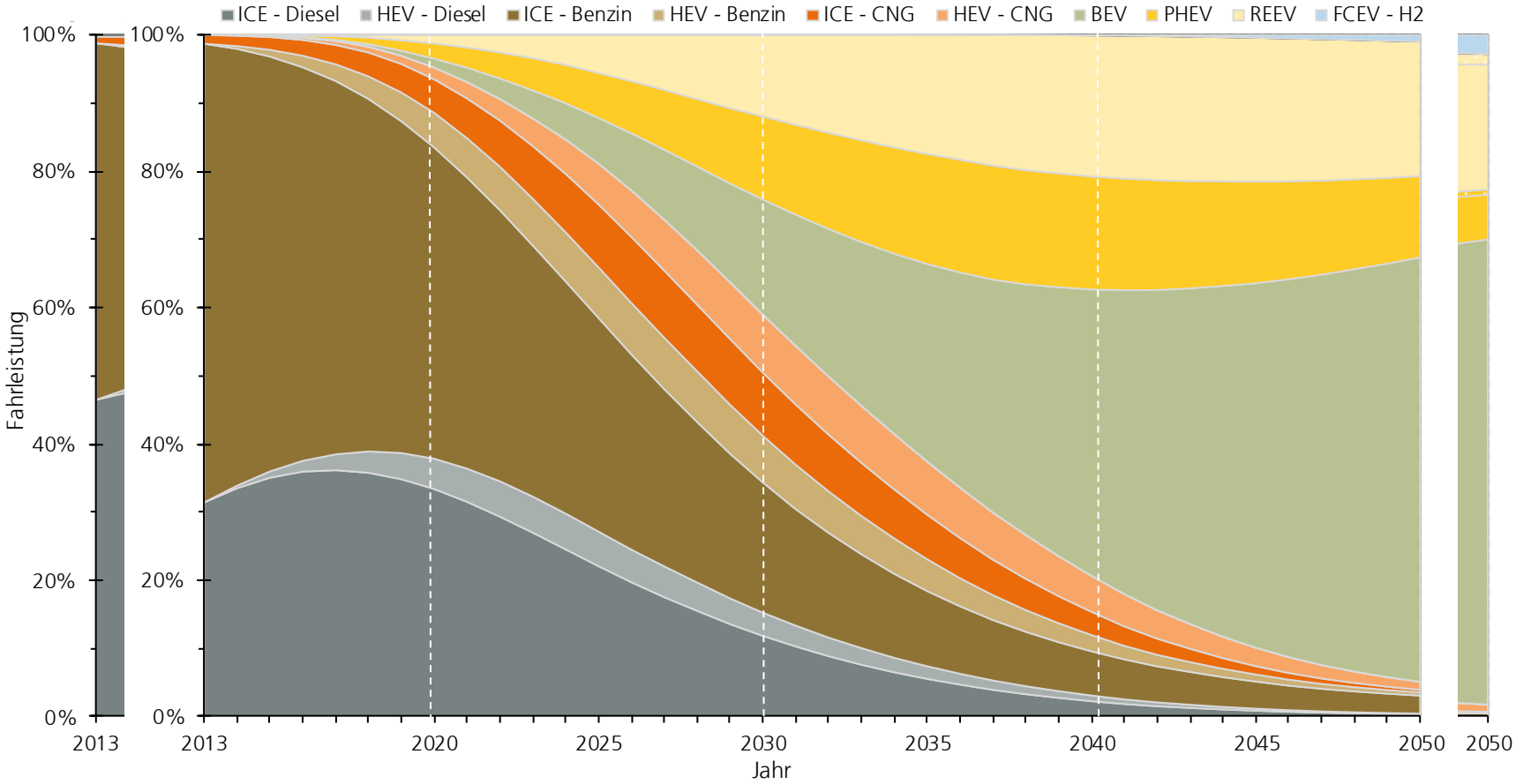


© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Bestandsentwicklung E-Kfz – 95%-Szenario → weitere Steigerung

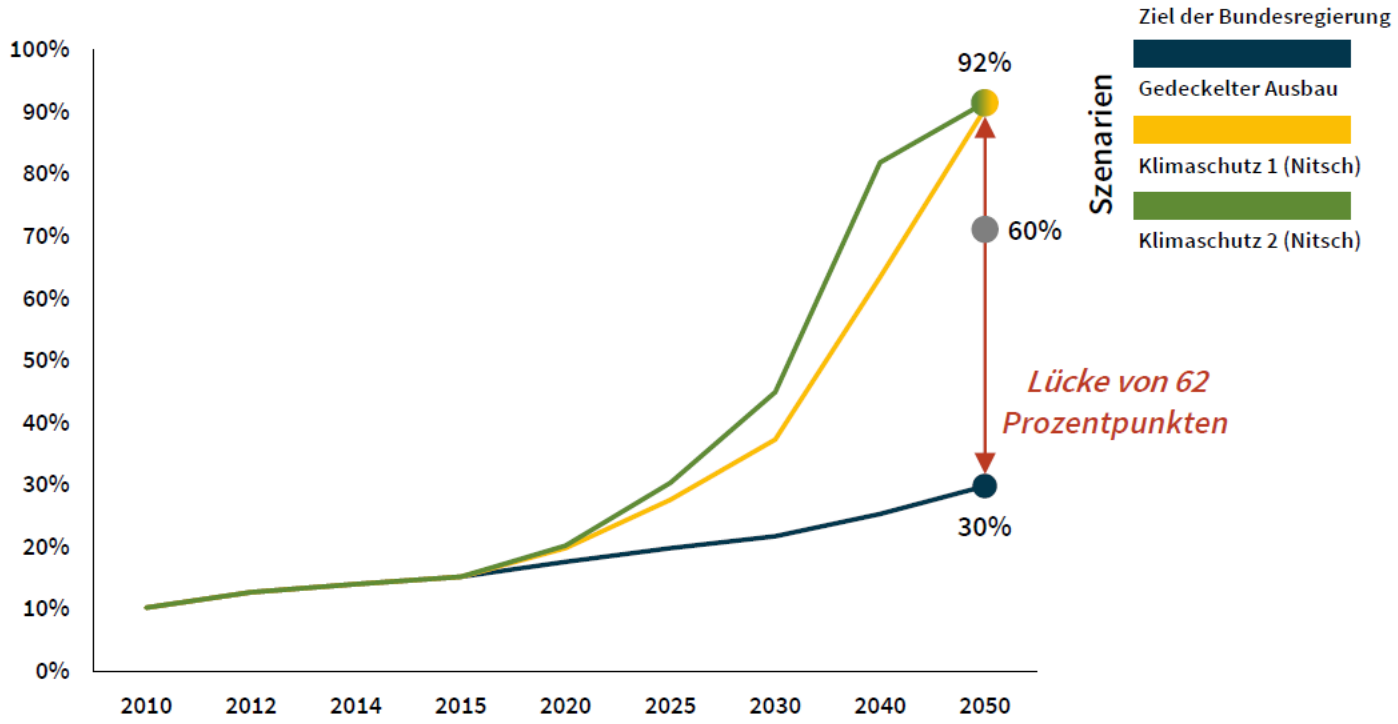
- Sehr hoher Anteil E-Kfz und voll-elektrischer Fahrzeuge (BEV)
- Steigerung elektrischer Fahranteil – Hybrid (PHEV) und Oberleitungs-Lkw



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

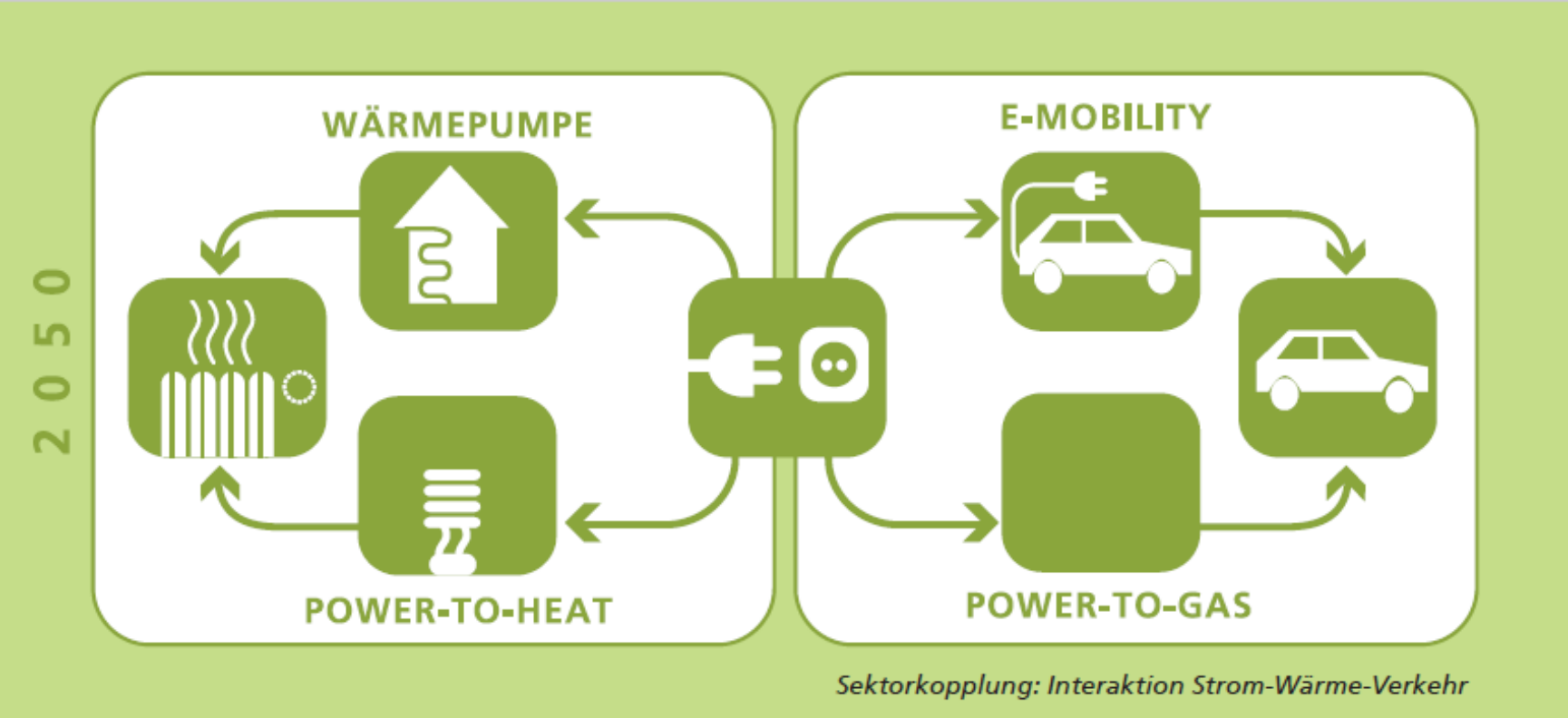
Deutschland: EE Anteil am Bruttoendenergieverbrauch



Quellen: Dr. Joachim Nitsch,
Energiekonzept der Bundesregierung (2010)
Stand: 01/2016

BEE Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Kopplung der Sektoren Strom, Wärme, Verkehr