

Norman Gerhardt, Fraunhofer IWES
Patrick Schumacher, Fraunhofer IBP

EINORDNUNG DES WÄRME- MARKTES IN DAS GESAMTSYSTEM

Energiesystemmodellierung am Fraunhofer IWES

Sektorübergreifende Zubau- und Einsatzoptimierung - Minimierung Vollkosten -

Europa/Deutschland

- LP
- Strom, Wärme, Verkehr
- CO₂-Markt
- Wärmemarkt
- 1 Zieljahr inkl. Bestandsanlagen

- Optimaler Technologie-mix (inst. Leistungen, NTC)
- Energiemengengerüst (stündlicher Einsatz)
- CO₂-Preis

Anlageneinsatzoptimierung Strommarkt (inkl. Schnittstellen zu Wärme u. Verkehr - Minimierung variabler Betriebskosten -

Europa

- LP
- Austauschkapazitäten zwischen Ländern
- Intern. Speicherwasser (saisonaler Speicher)

- EU-Kraftwerkseinsatz (VLS, Emissionen, ...)
- Exporte/Importe
- Europaweite Ausgleichseffekte

Deutschland

- GGLP rollierende Planung
- Regelleistung
- Regionen-Netzmodell
- Prognosefehler

- KW-Einsatz (VLS, Teillast, Start/Stops, ...)
- RL-Bereitstellung
- Netzengpässe
- Strompreise

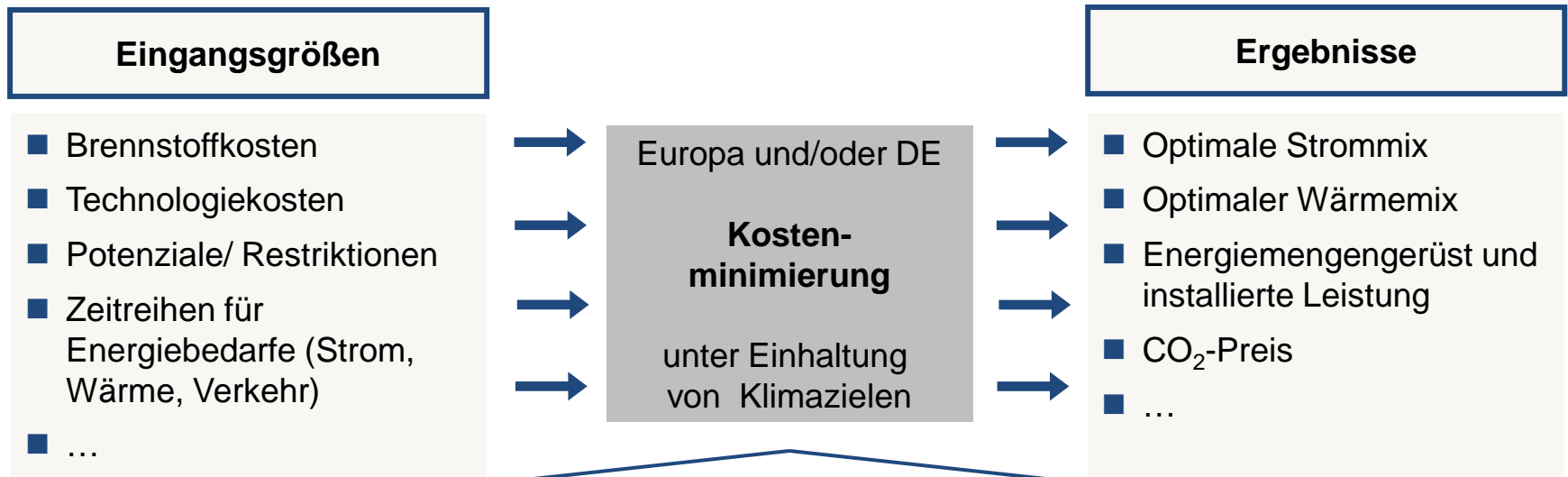
P_{inst} [GW]
Netze
...
CO₂-Preis [€/t]

Import/
Export
Speicherfüllstand

■ 8760 h/a Modellierung

■ sektorübergreifende Flexibilität in allen Modellen

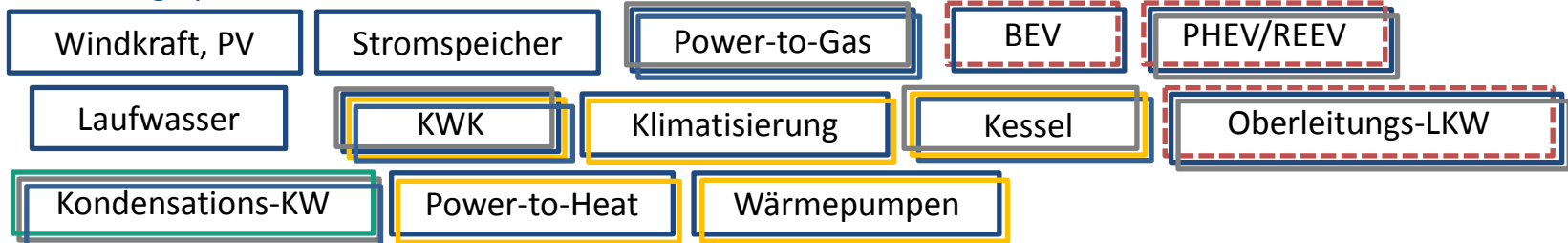
Energiesystemmodellierung am Fraunhofer IWES



-Märkte:



Technologieportfolio:



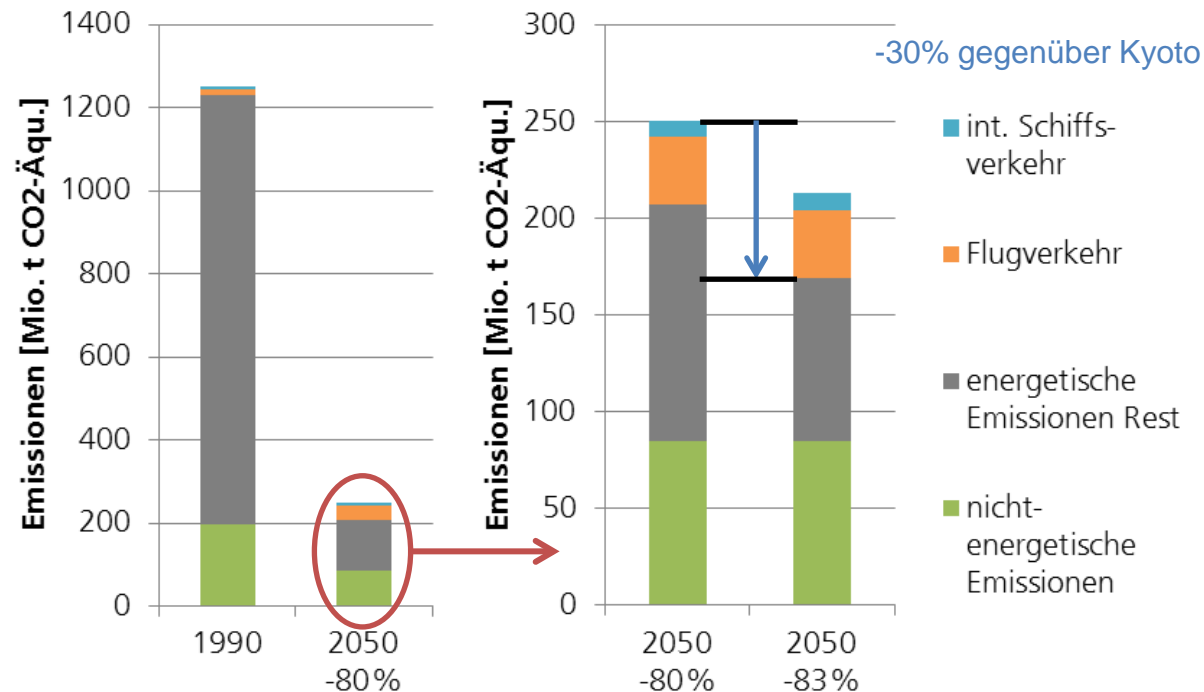
THG-Ziele und ihre Konsequenzen

- Ein THG-Minderungsziel von -80% bis 2050 für Europa fordert für **Deutschland** eine Einsparung um **ca. -83%**
- Berücksichtigung Emissionen
 - außerhalb des Energiesektors und
 - internationaler Verkehrsanteils (Steigerung Flugaufkommen, nicht elektrifizierbar)
 - geringe zulässige Emissionen für Energie

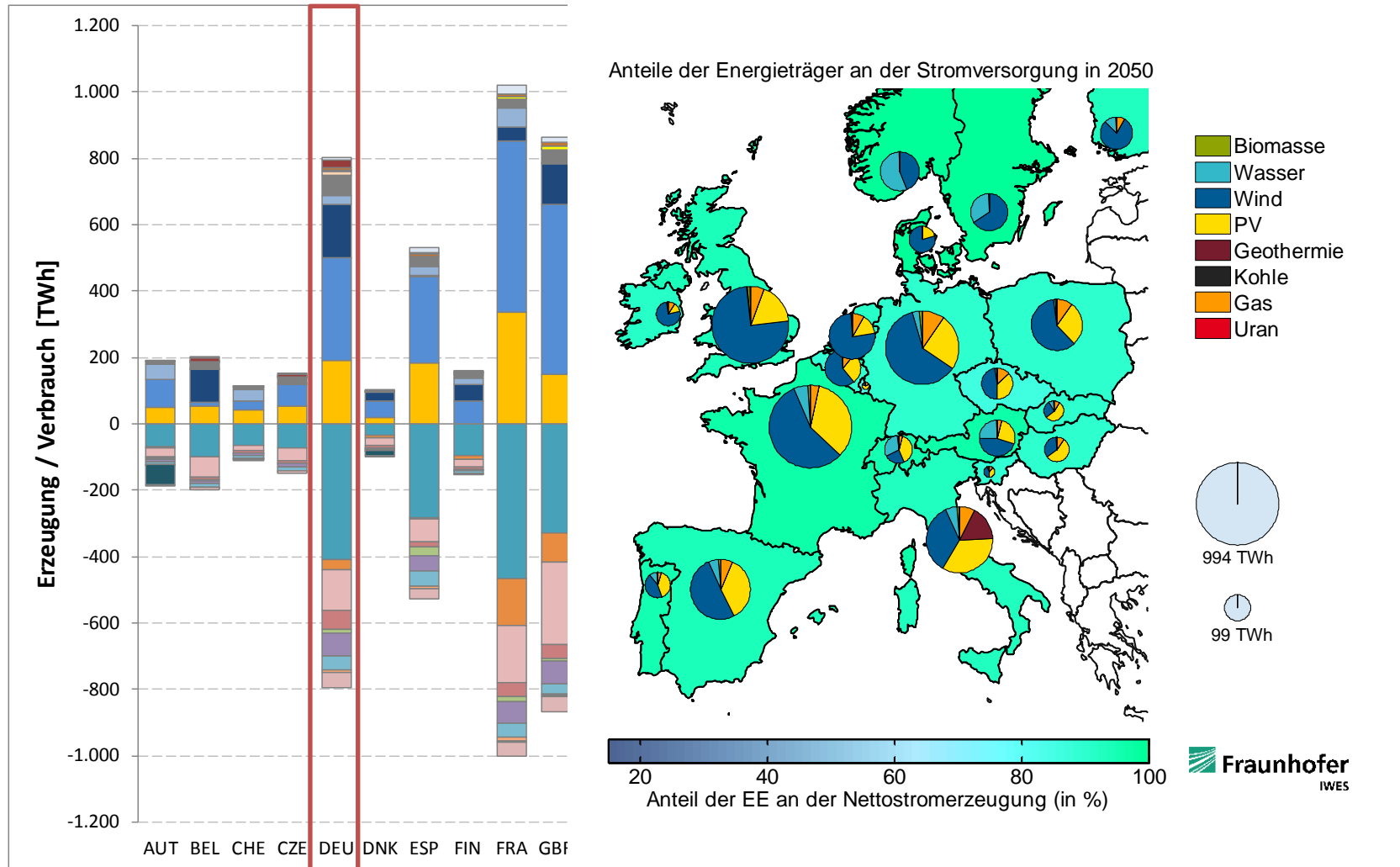
- Begrenzte Biomasse
2 Mio. ha NaWaRo

→ EE-Strom (Wind, PV) als zukünftiger Primärenergieträger

→ Effizienzsteigerung durch neue Stromverbraucher wie E-Mobilität oder Wärmepumpen

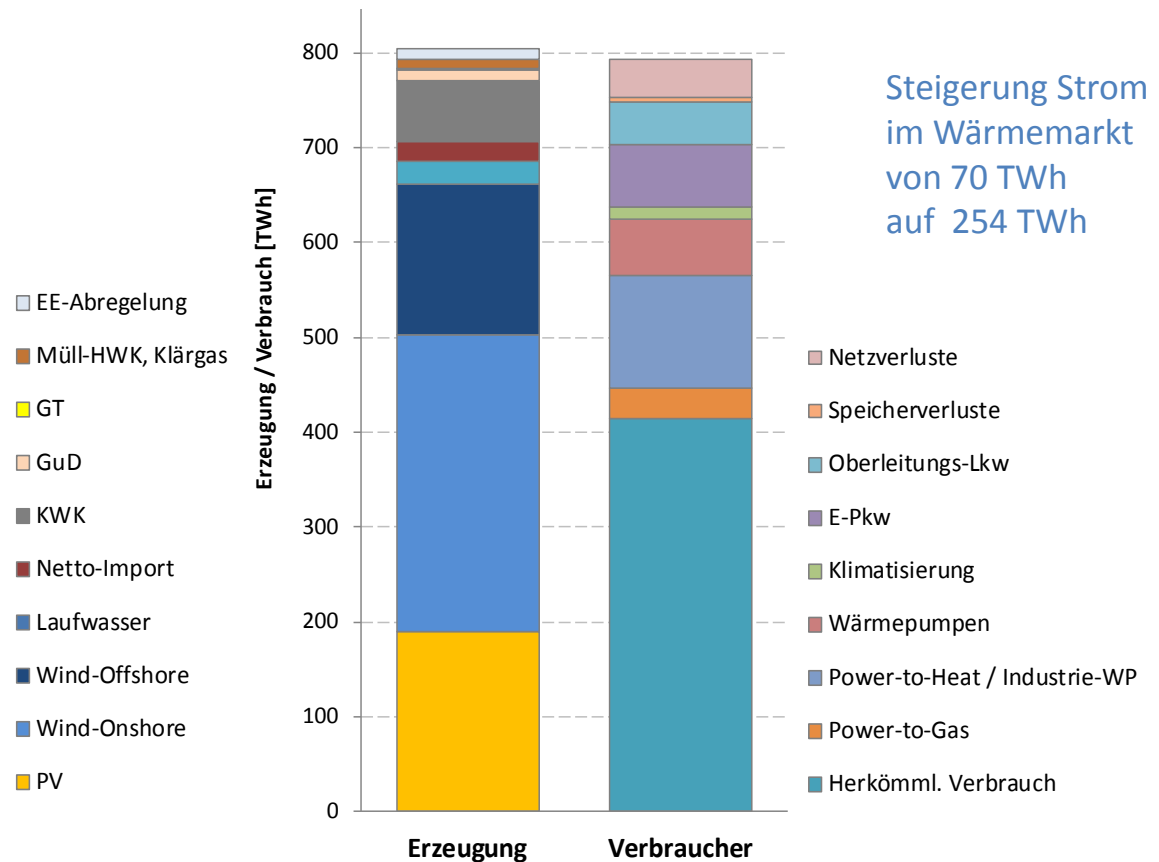


Das kostenoptimale Szenario 2050 im europäischen Kontext



Das Basisszenario für Deutschland – Strombilanz 2050

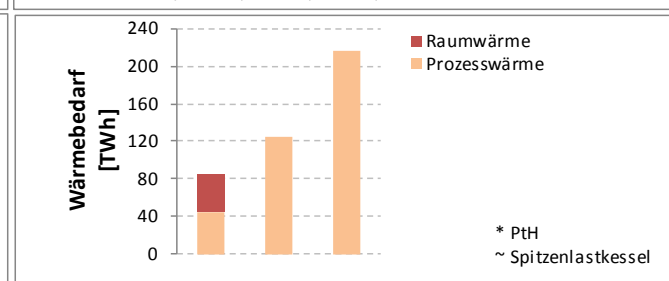
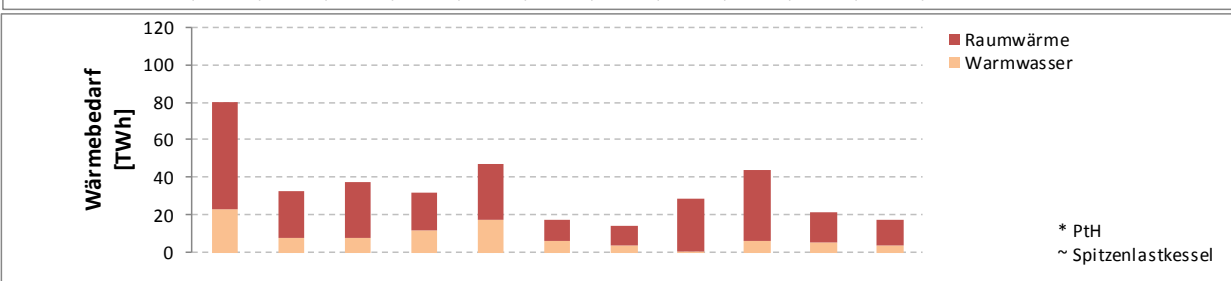
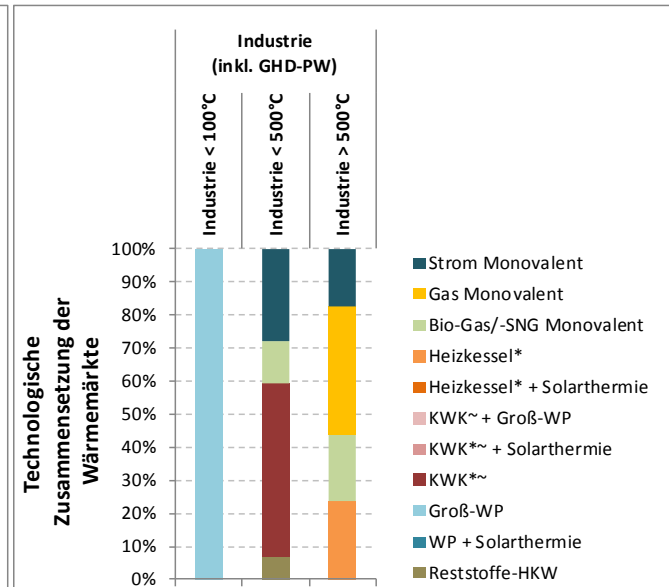
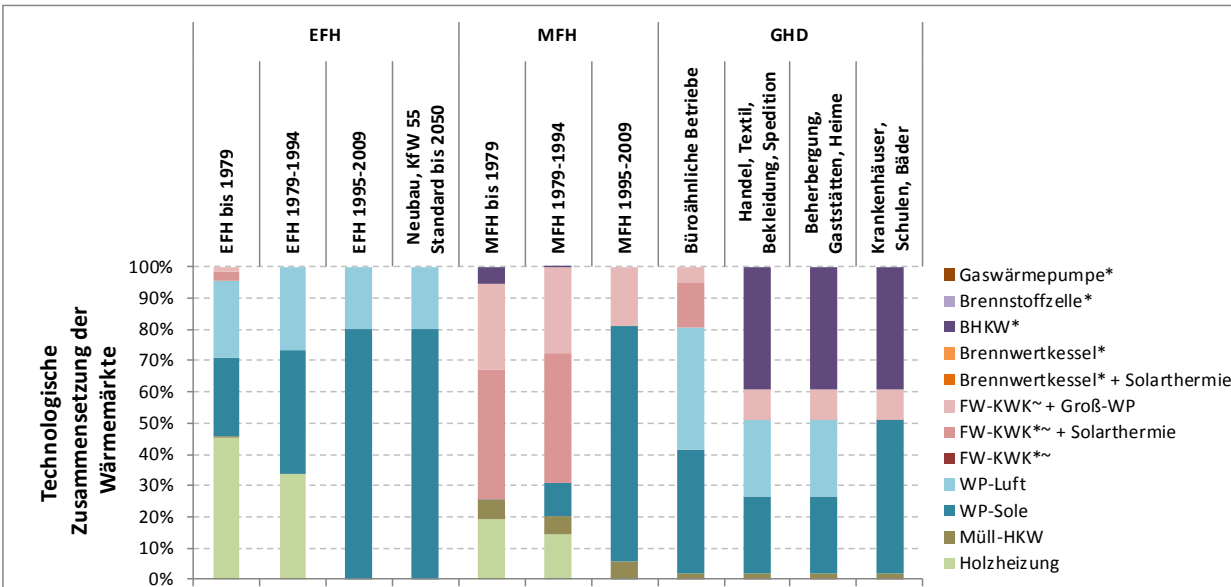
- Steigerung Nettostromverbrauch von
 - heute 557 TWh
 - auf 793 TWh in 2050
- 673 TWh Erzeugung aus Wind und PV



- Durch einen hohen Anteil an Wärmepumpen (Effizienz) kann der notwendige EE-Anteil noch im Rahmen gehalten werden → mehr Spielraum für KWK
- Begrenzung der notwendigen EE-Leistung → Flächenakzeptanz und Erreichbarkeit Ausbauziele

Technologische Durchdringung des Wärmemarktes

Haushalte und Gewerbe ← → Industrie



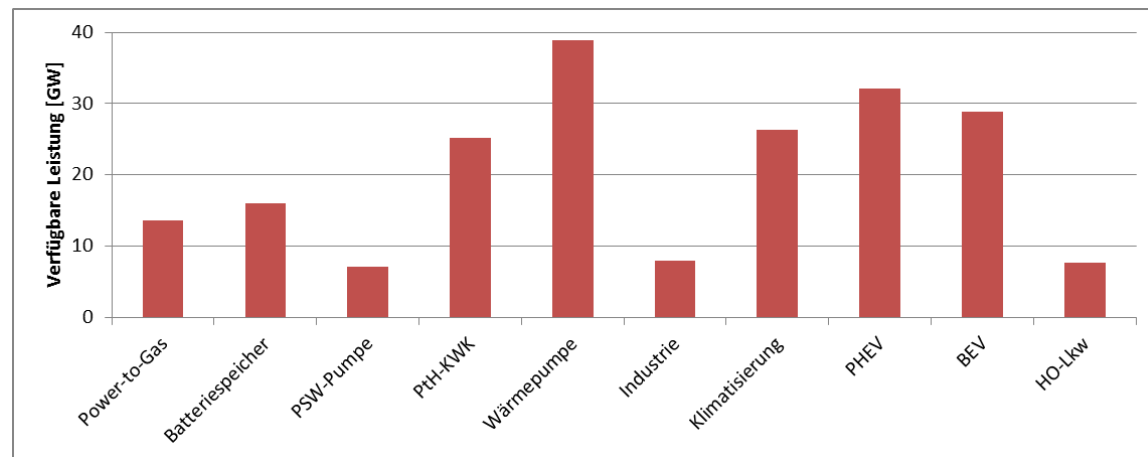
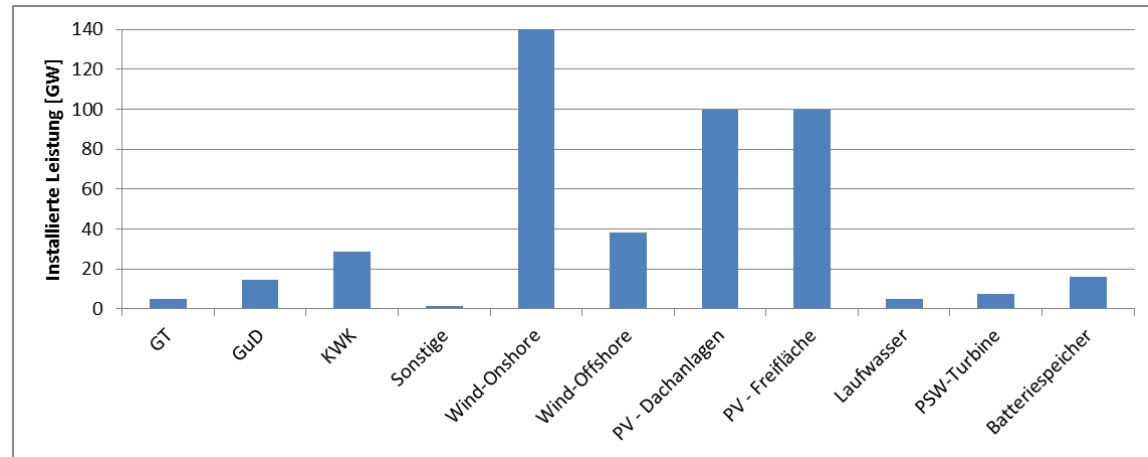
- Gebäudetypologie, Industrieanwendungen
- Hohe Bedeutung von Wärmepumpen und KWK-Systemen

Schlussfolgerungen

- Hohe Bedeutung von Wärmepumpen
 - insbesondere Sonden-/Sole-WP
 - Luft-Wärmepumpen sind ab einer JAZ von ca. 2,2 wirtschaftlich
- Gas-WP setzen sich im Modell nicht durch, da sie im
 - ineffizienten Haus (niedrige HZ) mit Gas-Brennwert konkurrieren
 - effizienten Haus (hohe HZ) mit Wärmepumpen (hohe JAZ) konkurrieren
- Mini-BHKW („Schwarm-BHKW + PtH + Speicher ohne Gaskessel“) setzen sich im Modell im GHD-Bereich durch, da Fernwärme und el. WP hier ein begrenztes Potenzial aufweisen.
- Mini-KWK ist hier zudem wirtschaftlicher als Fernwärme-KWK + PtH
- Holzheizungen sind ein wichtiges Potenzial für ineffiziente Gebäude
- Fernwärme/Nahwärme:
 - 1. Prio. – Kombination mit Groß-Wärmepumpen
 - 2. Prio. – Kombination mit Großflächen-Solarthermie + PtH

Flexibilität von Angebot und Nachfrageleistung

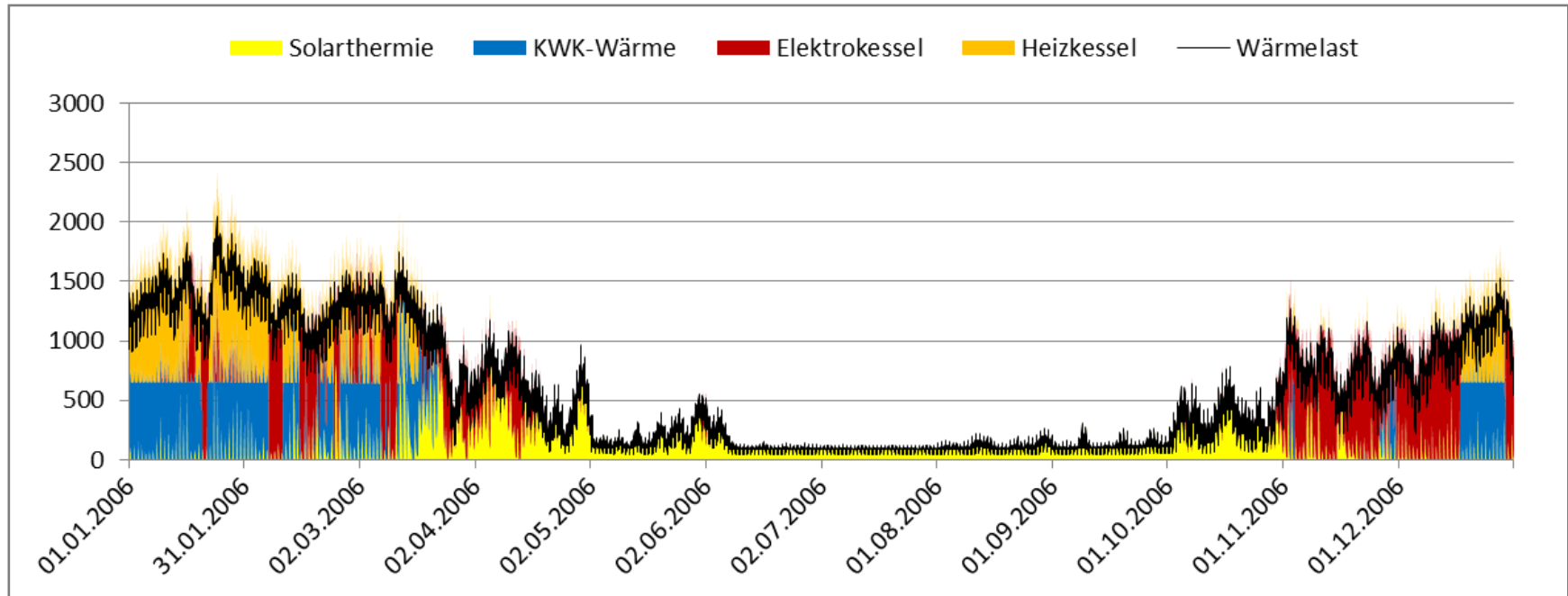
- einer hohen fluktuierenden **Erzeugungsleistung...**
- ... steht ein flexibler **Stromverbrauch** gegenüber



→ Wind und PV können effizient ins System integriert werden

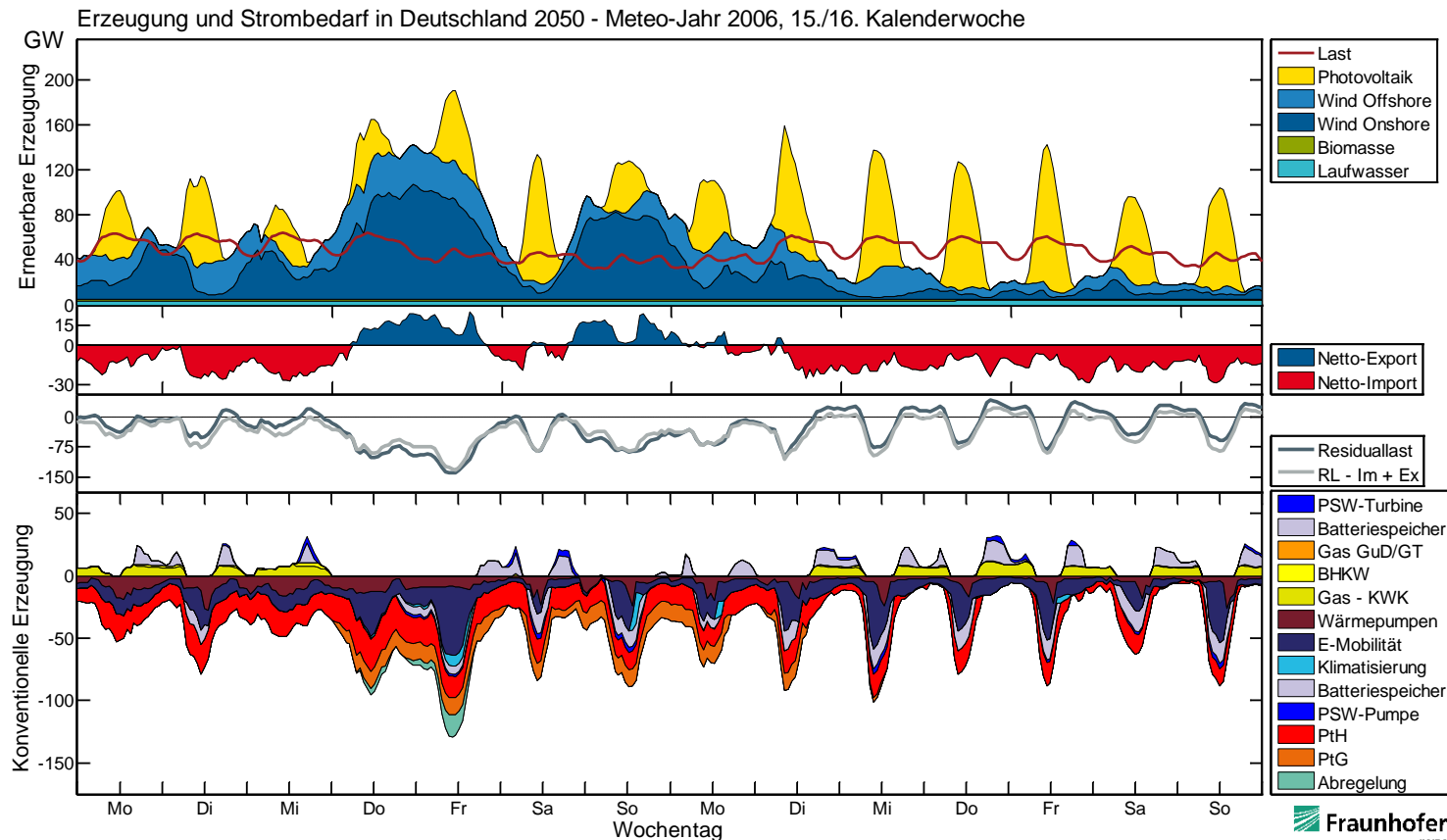
Flexibilität von hybriden Heizsystemen

→ Beispielprofil Fern-/Nahwärme-KWK 2050



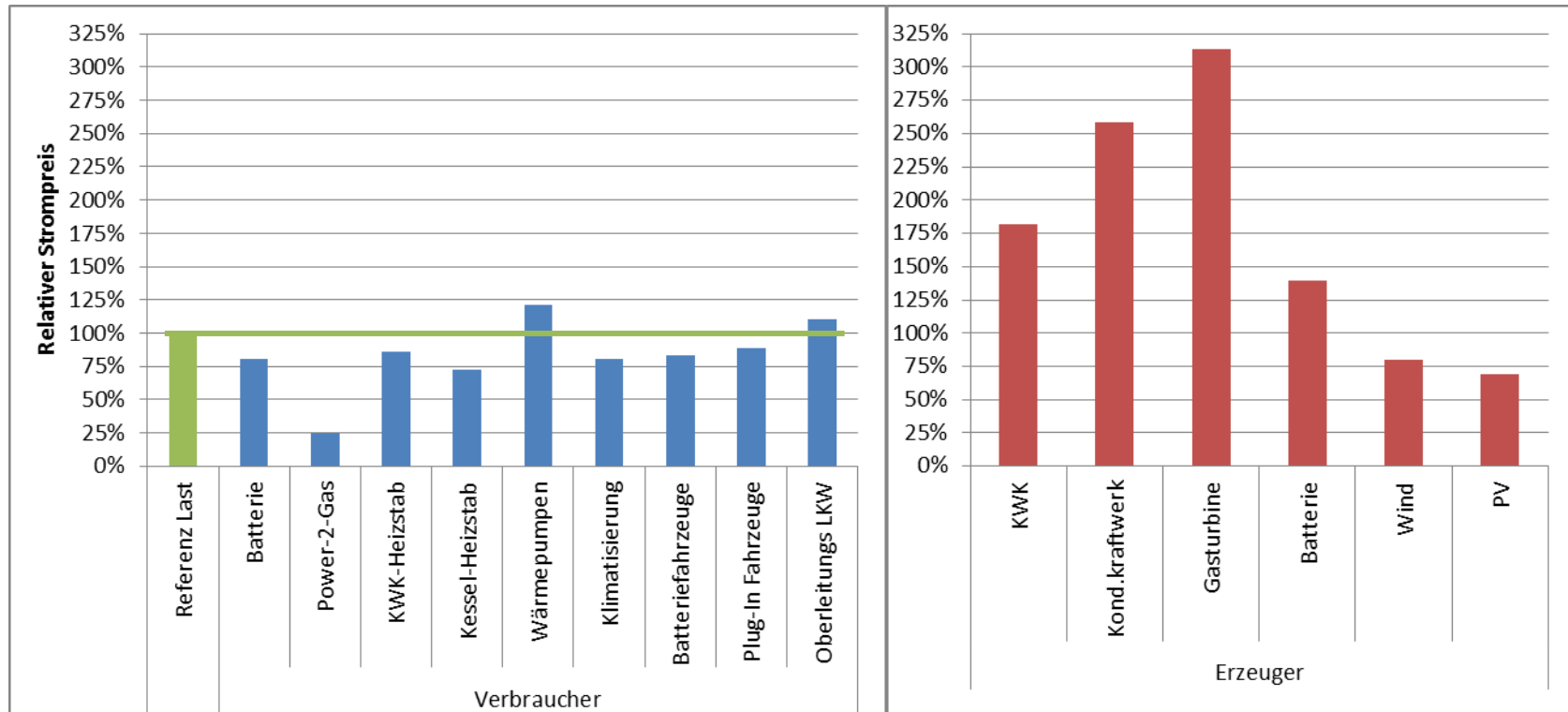
- Stündlich aufgelöster Einsatz der Wärmetechnologien → Optimierte Einsatzplanung der Flexibilitätsoptionen entsprechend der EE-Einspeisesituation
- Optimierung der Marktdurchdringung und Anlagenauslegung verschiedener Technologiekombinationen
- Berücksichtigung von thermischen Speichern, etc...

Beispielwochen 2050 - Angebots- und Nachfragecharakteristik



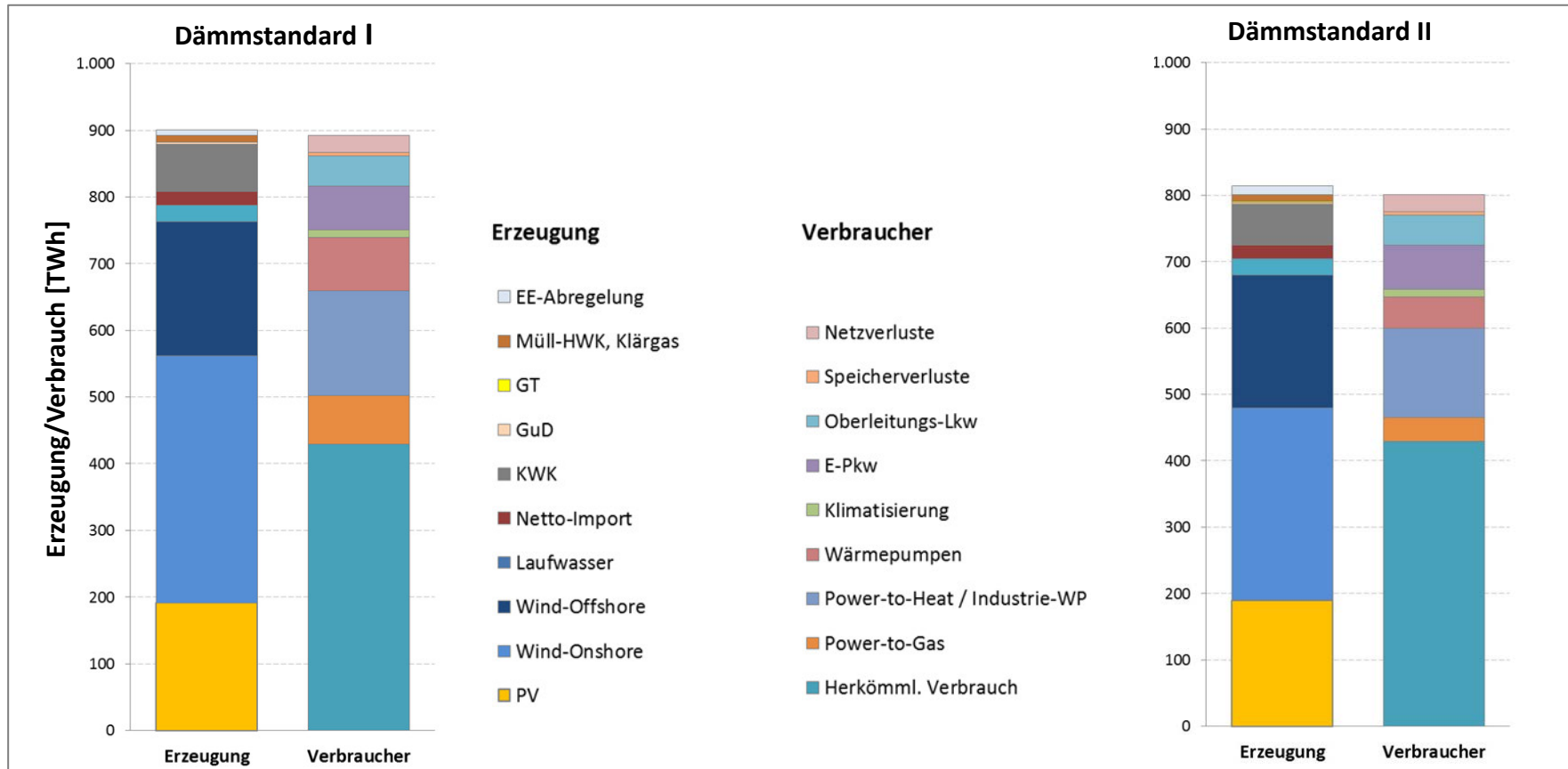
- Neue flexible Verbraucher tragen wesentlich dazu bei, die hohen auftretenden Leistungen durch Wind- und PV effizient zu verwerten
- Rolle Import-Export
- ➔ Kostengünstige Energieversorgung bei wenig EE-Abregelung

Spez. Strombezugs- und Erzeugungskosten



- Simulationsendogene Strombezugskosten/-erlöse
- Stromgestehungskosten im Mittel von 6,5 ct/kWh für PV und 7 ct/kWh für Wind-Onshore
- ➔ Flexible Verbraucher können zu günstigen Zeitpunkten Strom beziehen
- ➔ Flexible Erzeuger können zu knappen Zeitpunkten Strom einspeisen

Wirkung der Dämmszenarien auf den Strommarkt

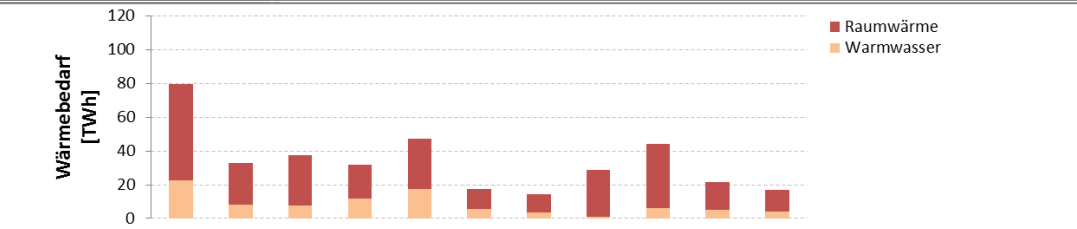
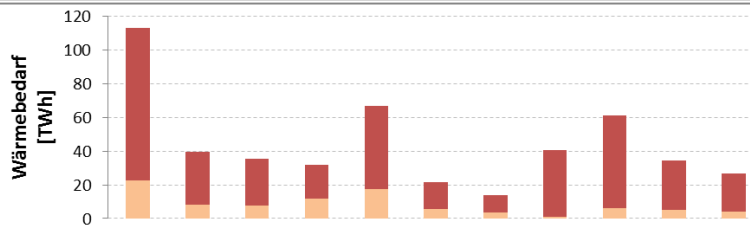
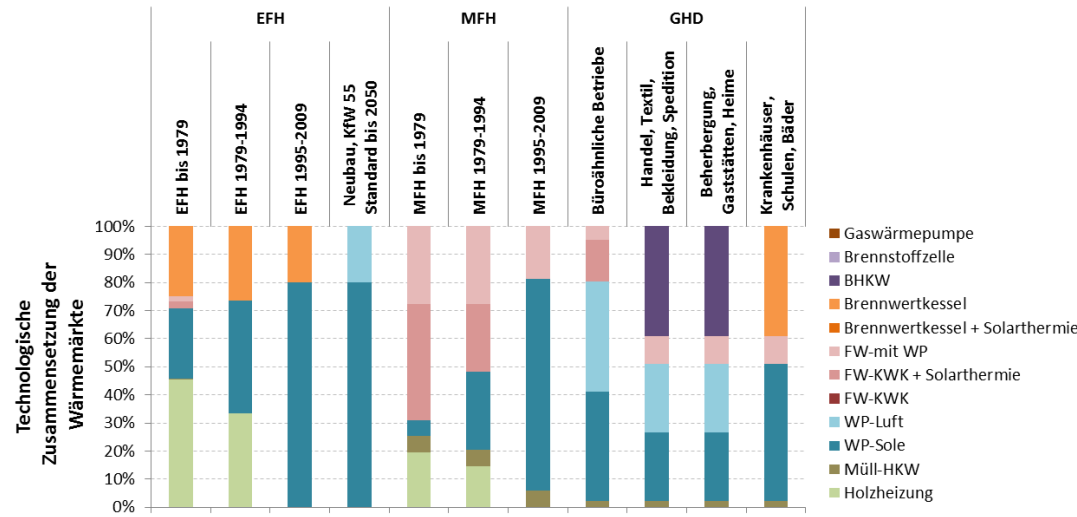
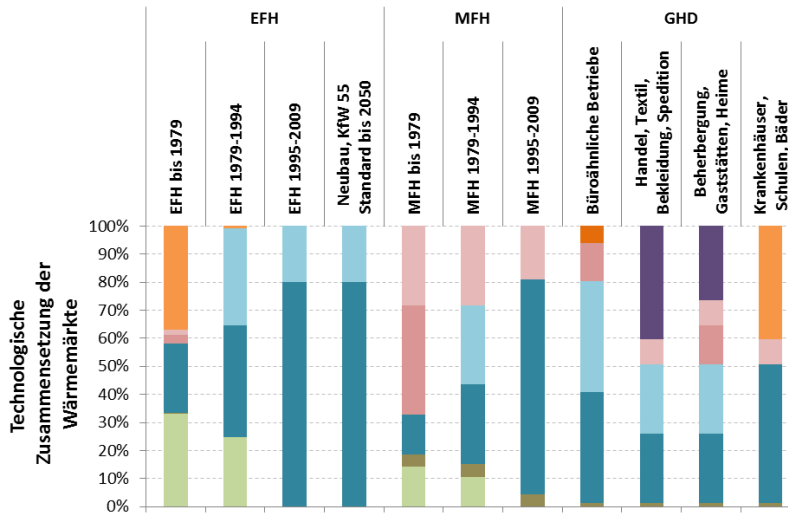


- Durch höhere Sanierung kann neben den Einsparungen beim Wärmebedarf auch durch höheren JAZ bei WP die Effizienz des Gesamtsystems erhöht werden
- Durch Dämmung wird der Gesamtstrombedarf reduziert → EE-Ausbaubedarf

Bandbreiten - Technologische Durchdringung des Wärmemarktes

niedriger Dämmstandard I

höherer Dämmstandard II

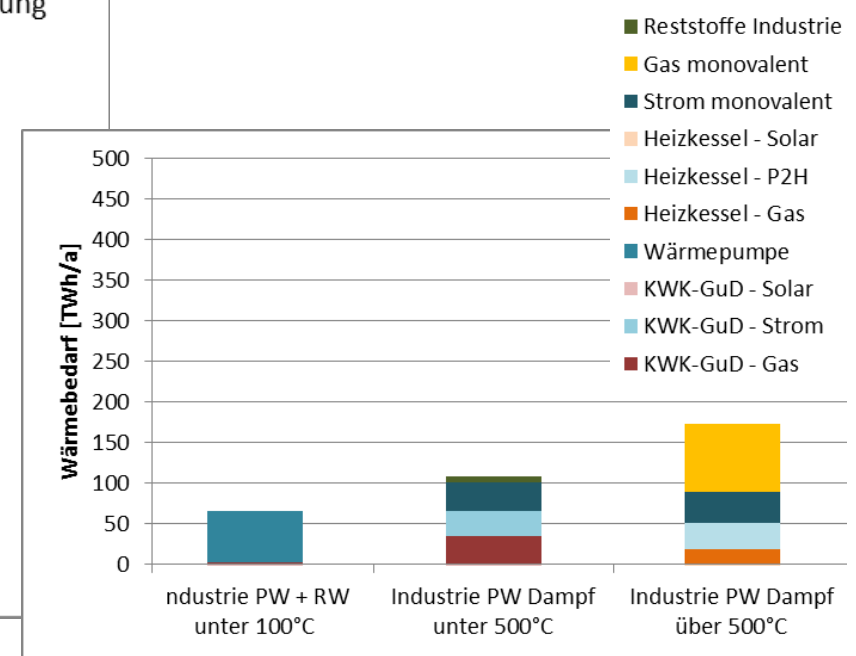
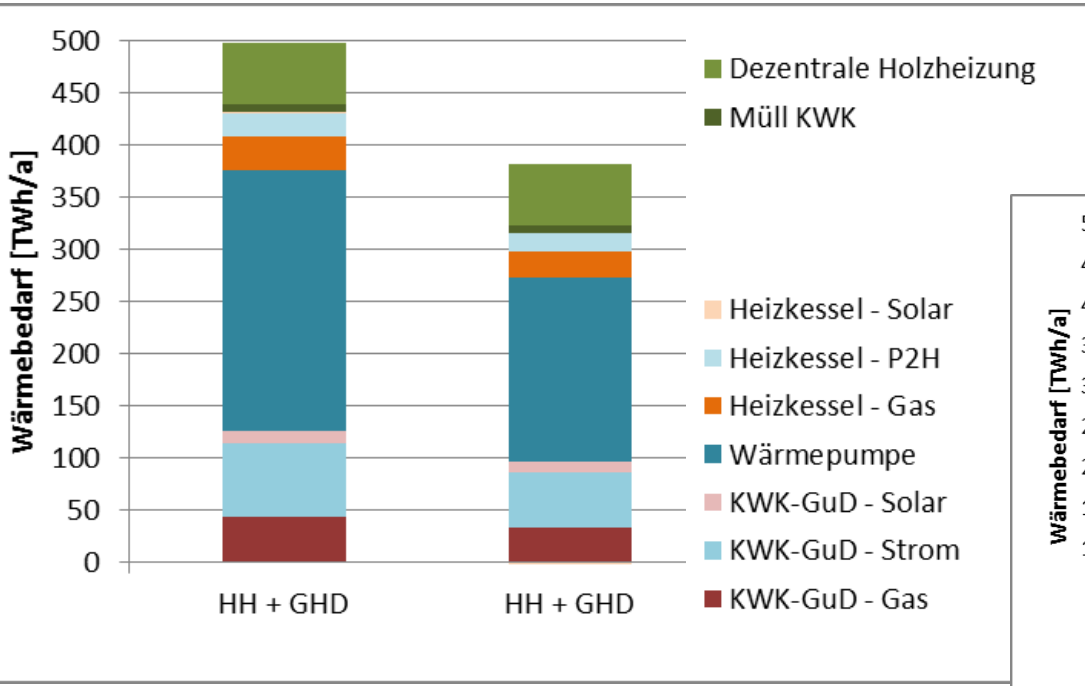


- Bei höherer Sanierung wirkt sich das begrenzte Biomassepotenzial stärker im Bereich der ineffizienten Gebäude aus
- Der geringere Wärmebedarf gibt dem System einen CO₂-Puffer. Deswegen ändert sich die WP-Durchdringung trotz höherer JAZ nur geringfügig

Einfluss Dämmung auf Endenergie-Wärme

niedriger Dämmstandard I höherer Dämmstandard II

Industrie

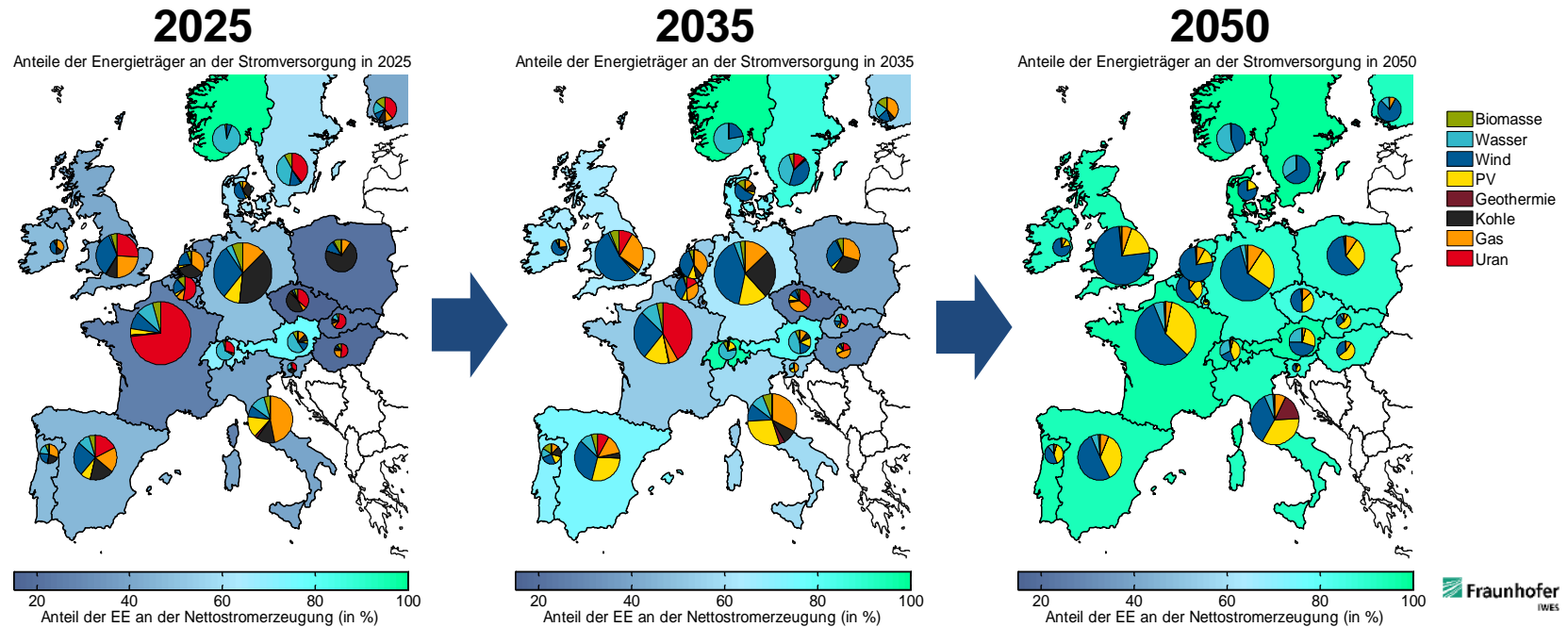


- Durch Dämmung geringerer Stromverbrauch aus dem Wärmesektor HH + GHD (höhere JAZ)
- Nur geringfügig geringerer Gasbedarf
- Keine Rückwirkung auf Industrie

Ökonomischer Vergleich der Dämmszenarien

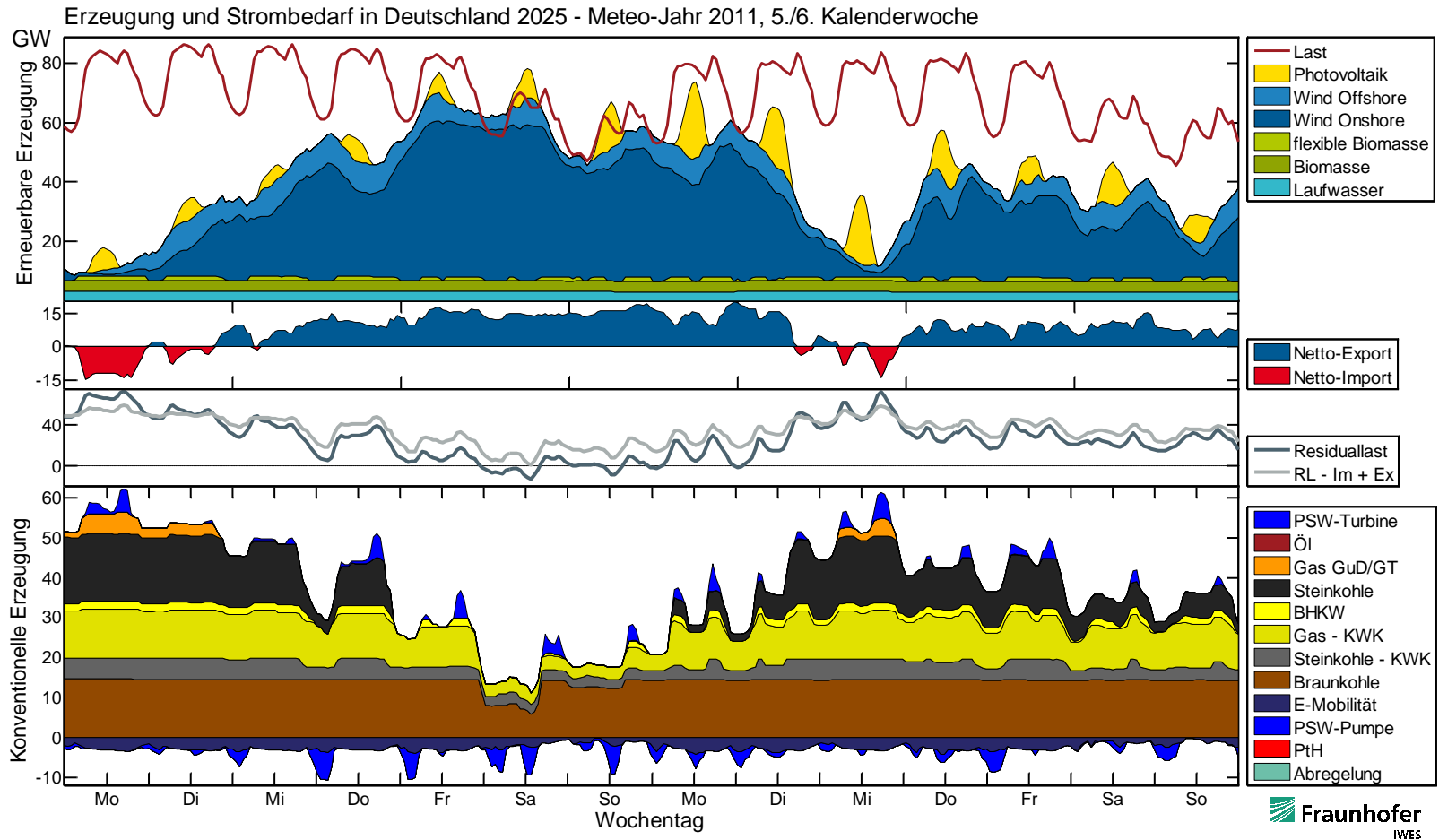
- Zusätzliche Dämmkosten zwischen den beiden Szenarien (gleiche Sanierungsquote, nur Dämmtiefe, keine „Sowieso“-Kosten): 7,8 Mrd. €/a
Einsparungen durch Dämmung in der Energieversorgung: 16,3 Mrd. €/a
- Hoher Dämmstandard mit niedrigeren Systemgesamtkosten
- Trotz hohem Dämmstandard hoher Strombedarf im System -> Weitere Reduktion des Strombedarfs durch hocheffiziente Technologien notwendig
- Bei Einbeziehung (inkl. Kosten der Flächenheizung = Komfort) - gleichhoch wie die annuitätischen Mehrkosten

Entwicklung des Stromsektors: Heute → 2050



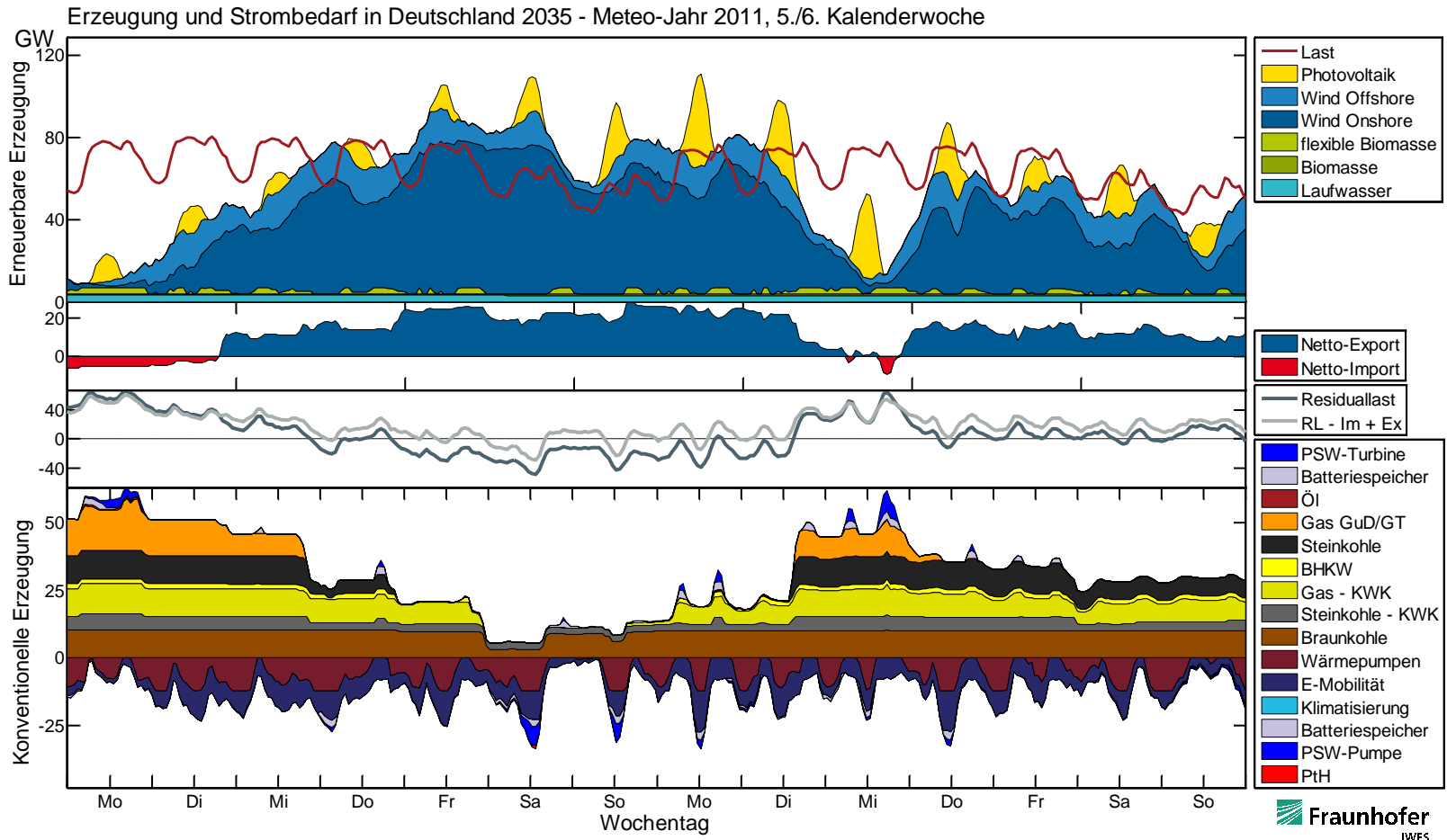
- Zusätzliche Simulation der Stützjahre 2025 und 2035
- Verfügbarkeit von EE-Überschussstrom?
- Flexibilitätsanforderungen?

Beispielwochen 2025: Angebots- und Nachfragecharakteristik



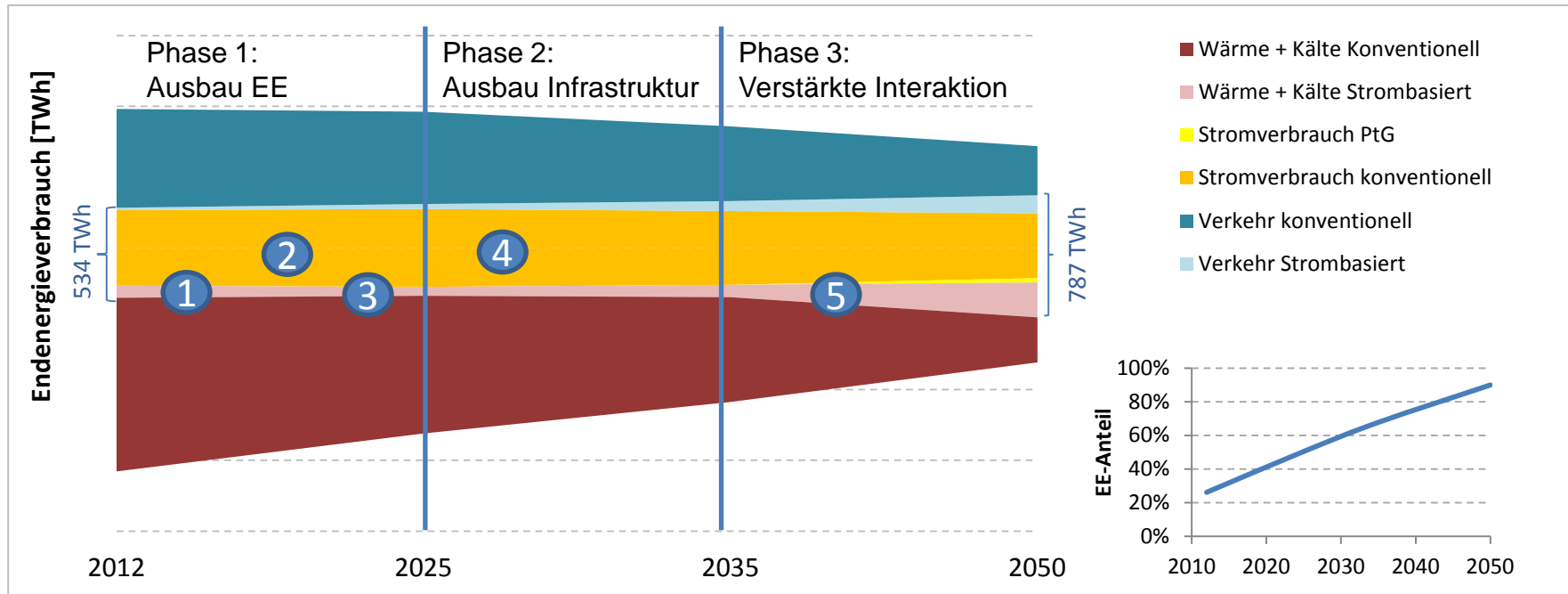
- EE-Integration vor allem durch Nettostromexport und europäischen Ausgleich

Beispielwochen 2035: Angebots- und Nachfragecharakteristik



- Weitere Zunahme des Nettostromexports
- Bedeutung neuer Stromverbraucher E-Mobilität, Wärmepumpen / Anfänge PtH

Entwicklung Gesamtsystem



1. Nutzung von PtH für Systemdienstleistungen
2. Verstärkter Ausbau der erneuerbaren Energien um hohen EE-Anteil im Stromsektor zu erreichen
3. Kontinuierlicher Ausbau von Wärmepumpen und Anreizprogramme zur Erreichung einer hohen Marktdurchdringung
4. Neue Kraftwerke zur Gewährleistung Versorgungssicherheit mit Fokus auf KWK
5. Stromerzeugung für Wärmesektor und zur Überschussverwertung durch PtH