DIE ENTWICKLUNG DES ENERGIESYSTEMS UND DIE ROLLE NETZDIENLICHER GEBÄUDE

Berliner Energietage
Workshop "Netzdienliche Gebäude und Quartiere"

12. April 2016

Hans-Martin Henning

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

www.ise.fraunhofer.de

© Fraunhofer ISE

Fraunhofer ISE

Agenda

- Das sich wandelnde Energiesystem und wachsende Anforderungen an Flexibilisierung
- Was bedeutet Netzdienlichkeit? Ziele und Bilanzgrenzen
- Ansätze zur Steigerung der Netzdienlichkeit
- Zusammenfassung und Fazit

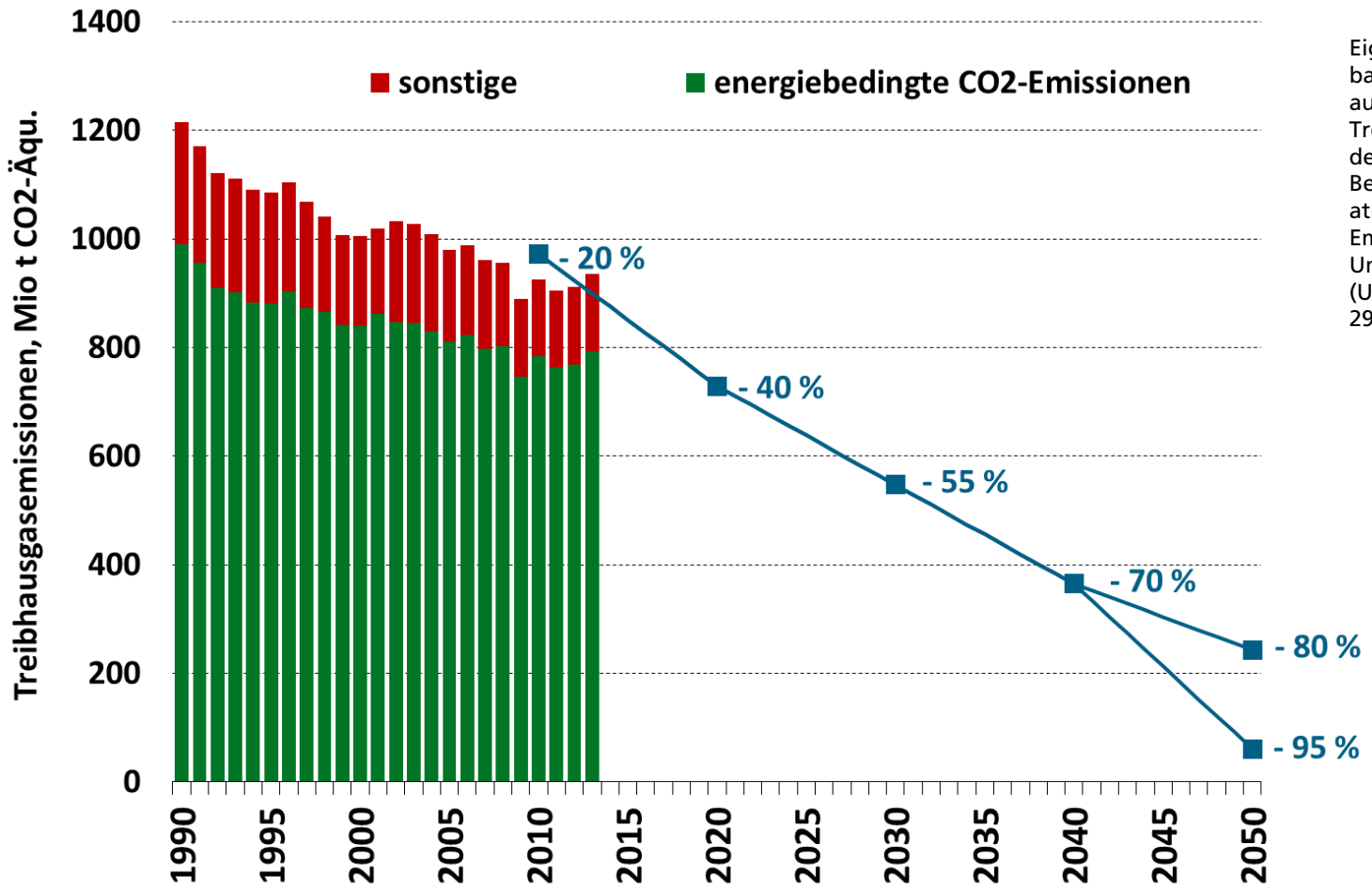
© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Agenda

- Das sich wandelnde Energiesystem und wachsende Anforderungen an Flexibilisierung
- Was bedeutet Netzdienlichkeit? Ziele und Bilanzgrenzen
- Ansätze zur Steigerung der Netzdienlichkeit
- Zusammenfassung und Fazit

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Entwicklung der deutschen Treibhausgasemissionen 1990-2013 und Zielwerte bis 2050



Eigene Darstellung basierend auf Daten aus: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen. Umweltbundesamt (UBA) Dessau, 29.5.2015

© Fraunhofer ISE

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Leitfrage

Was ist der <u>kostenoptimale</u> Pfad

- zur Transformation von Energiesystemen
- unter Einbeziehung aller Energieträger
- unter Einbeziehung aller Verbrauchssektoren
- unter Einhaltung der gesetzten Klimaschutzziele
- sowohl im Zieljahr 2050 als auch auf dem Weg dorthin?

?

Randbedingung für Deutschland

- Kernenergieausstieg bis 2022

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Regenerative Energien Modell »REMod«

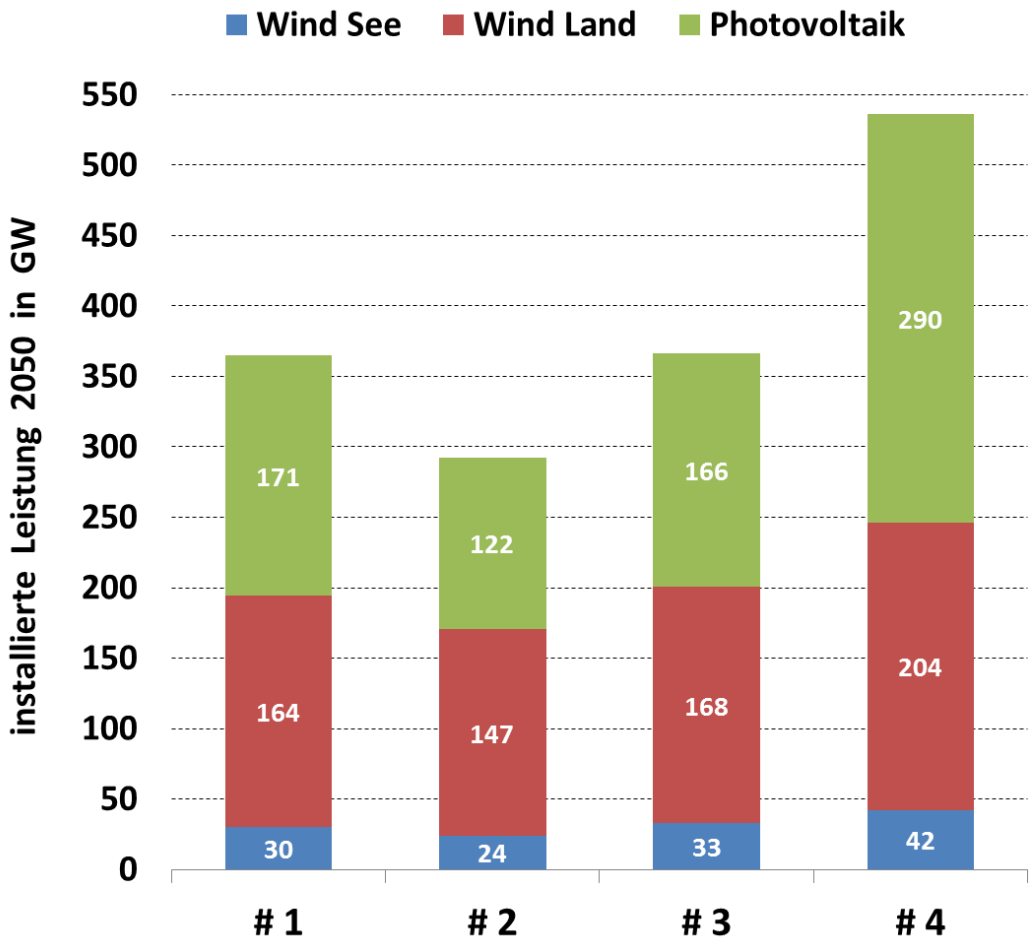
Minimierung der Transformations-kosten

Erstes streng Modell-basiertes Werkzeug zur Simulation und Optimierung der Entwicklungspfade nationaler Energiesysteme unter Einbeziehung aller Verbrauchssektoren und Energieträger und von deren Wechselwirkungen

Stromerzeugung und Strom-speicherung	Brennstoffe (inkl. Biomasse und Power-to-Hydrogen/Gas/ Fuel)	
Verkehr (unter-schiedliche Antriebs-konzepte)	Wärme (Gebäude, inkl. Fernwärme und Speicher)	Prozesse in Gewerbe und Industrie

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Szenarienergebnisse
Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



#1 -80 % CO_2, Ausstieg Kohle nicht beschleunigt

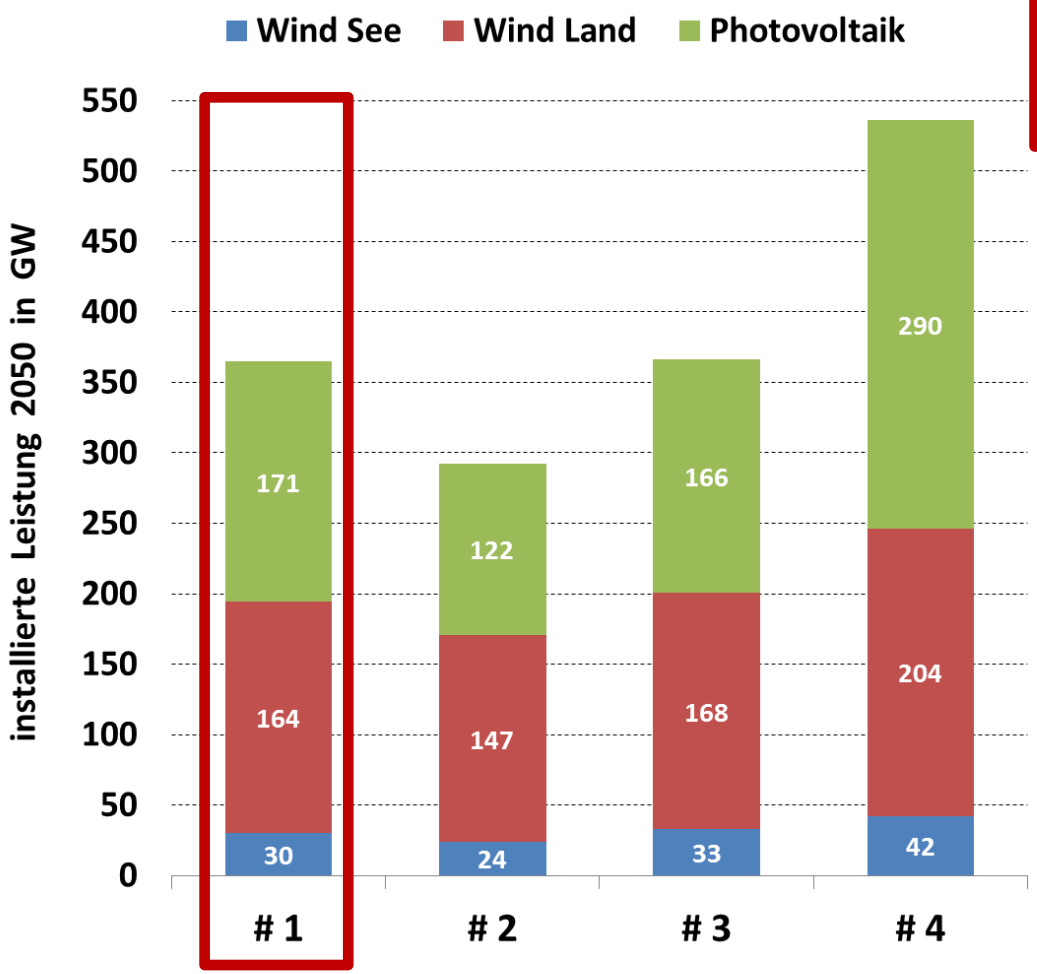
#2 -80 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

#3 -85 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

#4 -90 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Szenarienergebnisse
Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



#1 -80 % CO_2, Ausstieg Kohle nicht beschleunigt

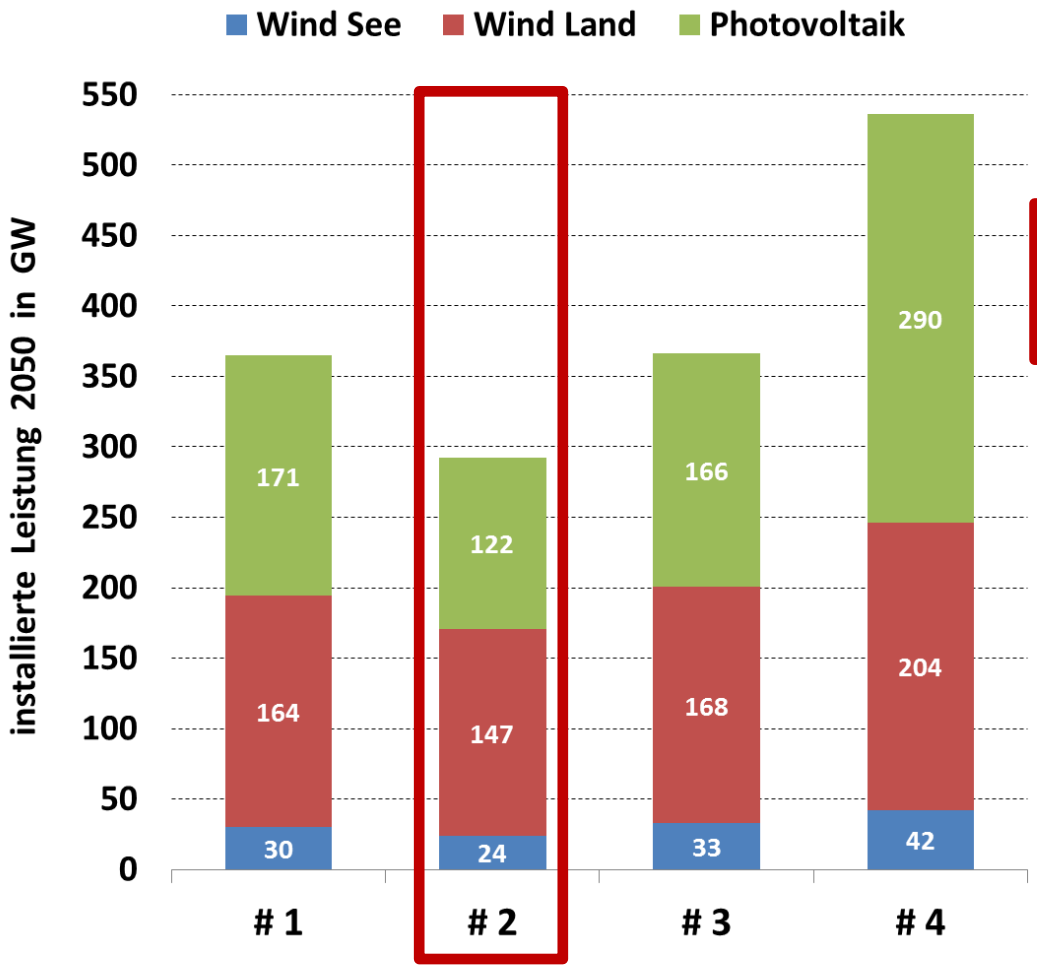
#2 -80 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

#3 -85 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

#4 -90 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Szenarienergebnisse
Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



#1 -80 % CO_2, Ausstieg Kohle nicht beschleunigt

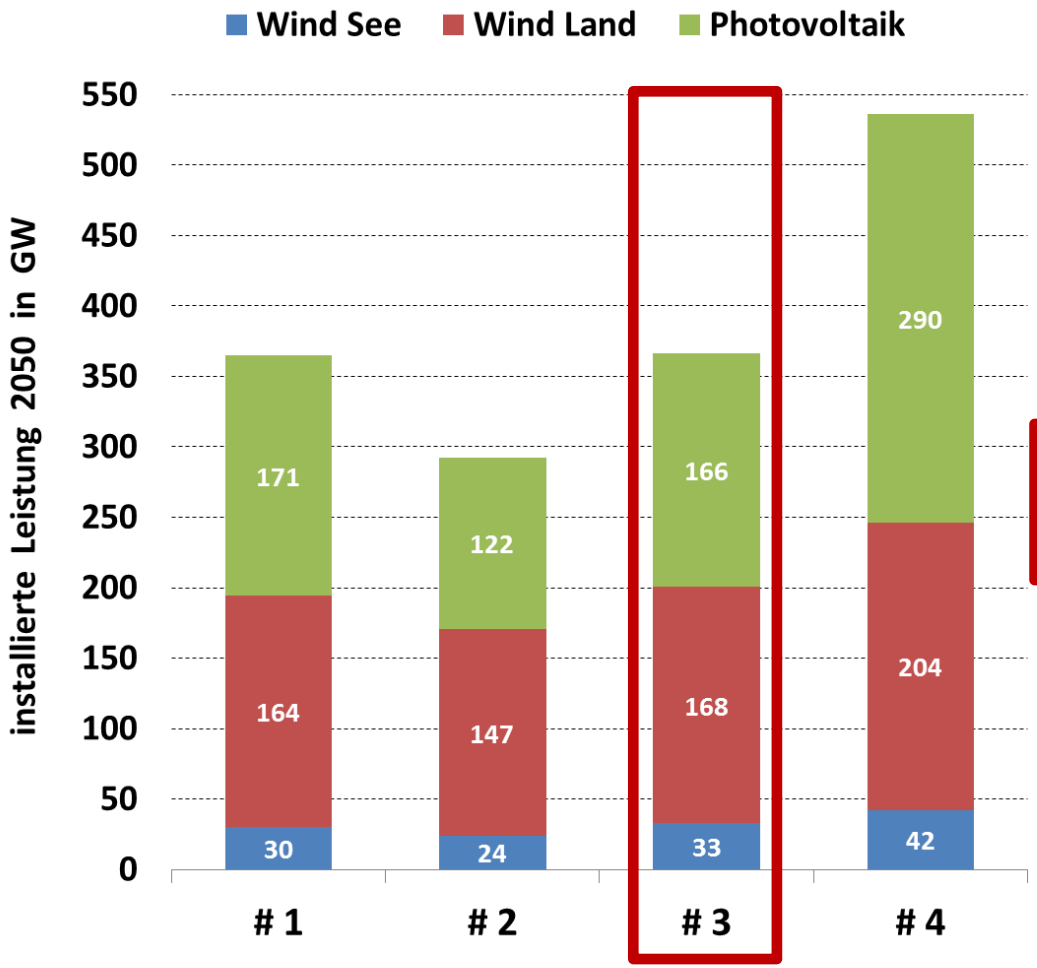
#2 -80 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

#3 -85 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

#4 -90 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Szenarienergebnisse
Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



#1 -80 % CO_2, Ausstieg Kohle nicht beschleunigt

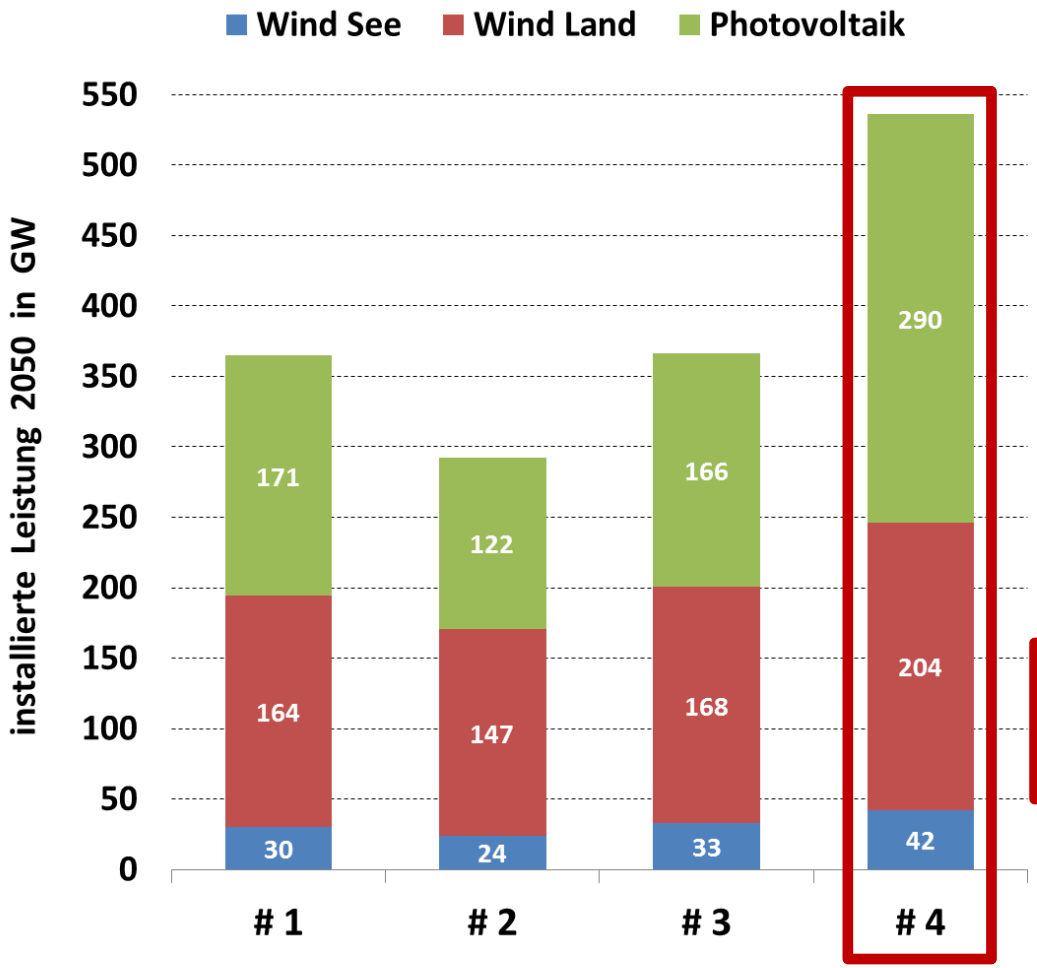
#2 -80 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

#3 -85 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

#4 -90 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Szenarienergebnisse
Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



#1 -80 % CO_2, Ausstieg Kohle nicht beschleunigt

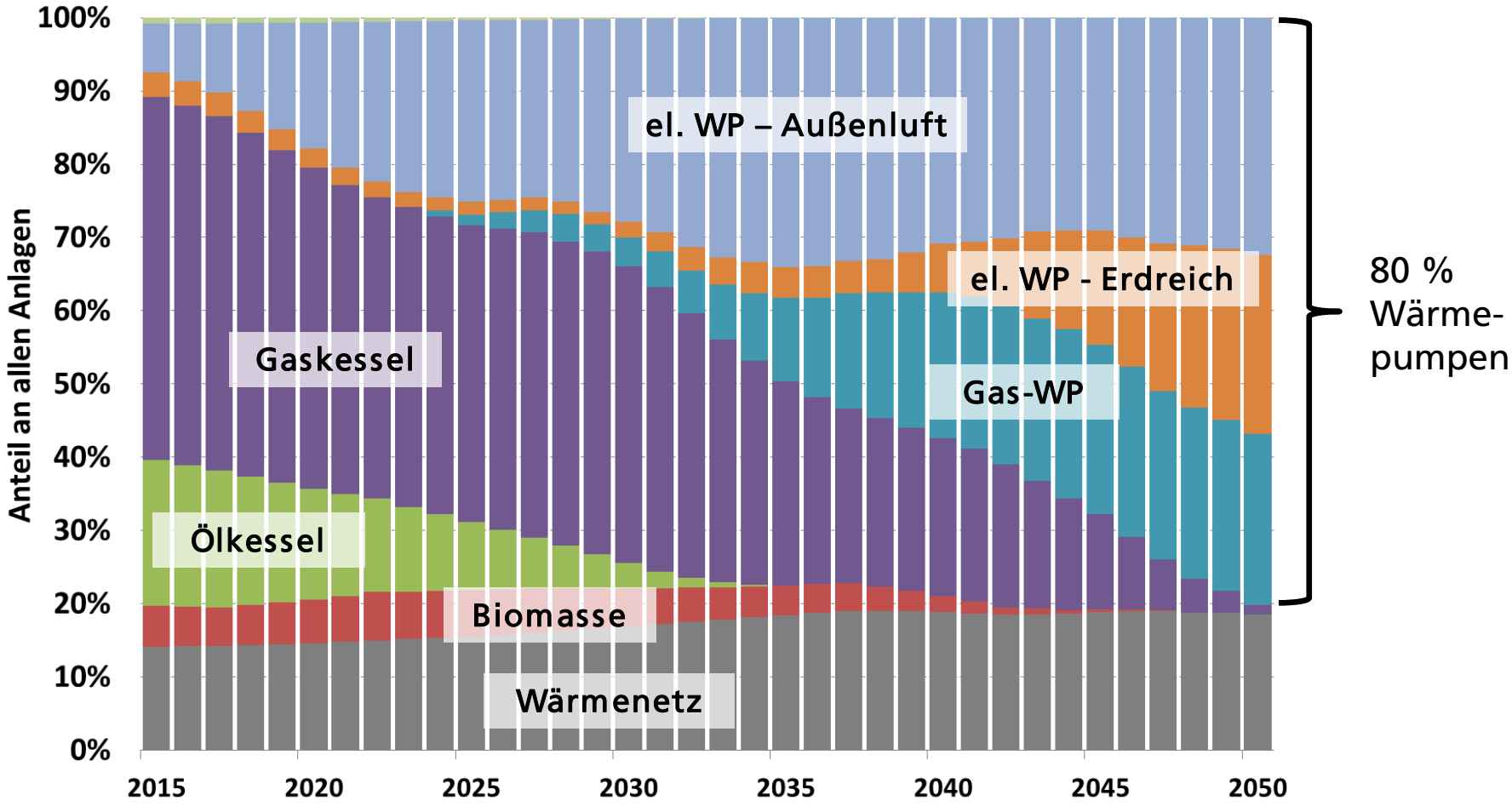
#2 -80 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

#3 -85 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

#4 -90 % CO_2, Ausstieg Kohle beschleunigt

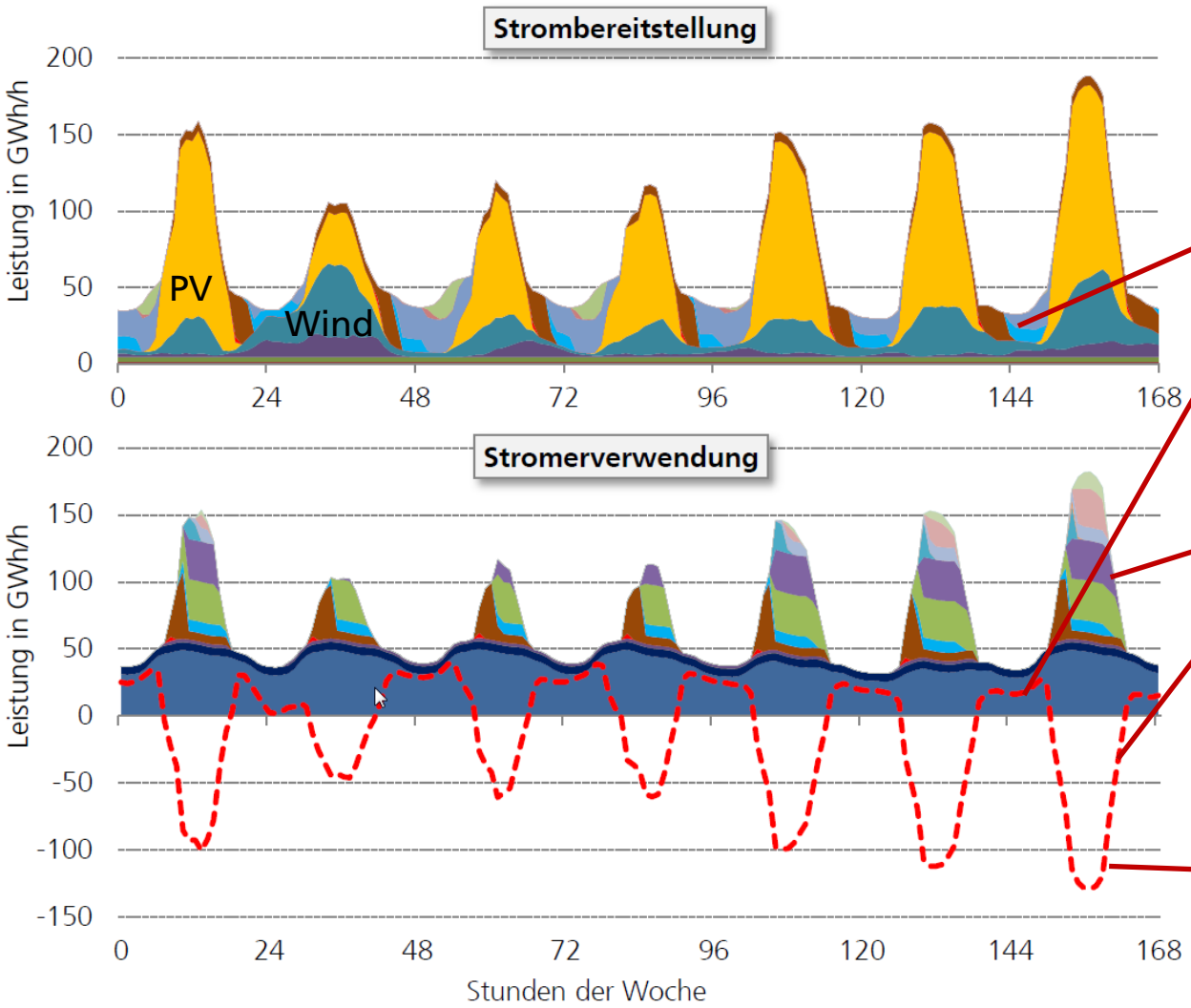
© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Entwicklung Heizungstechniken
– 85-%-Szenario



© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Beispiel Zeitverlauf Sommerwoche 2050



Residuallast positiv ➔ Speicherentladung, komplementäre Erzeugung

Residuallast negativ ➔ Speicherladung, flexible Lasten einschl. Power-to-Gas/Fuel

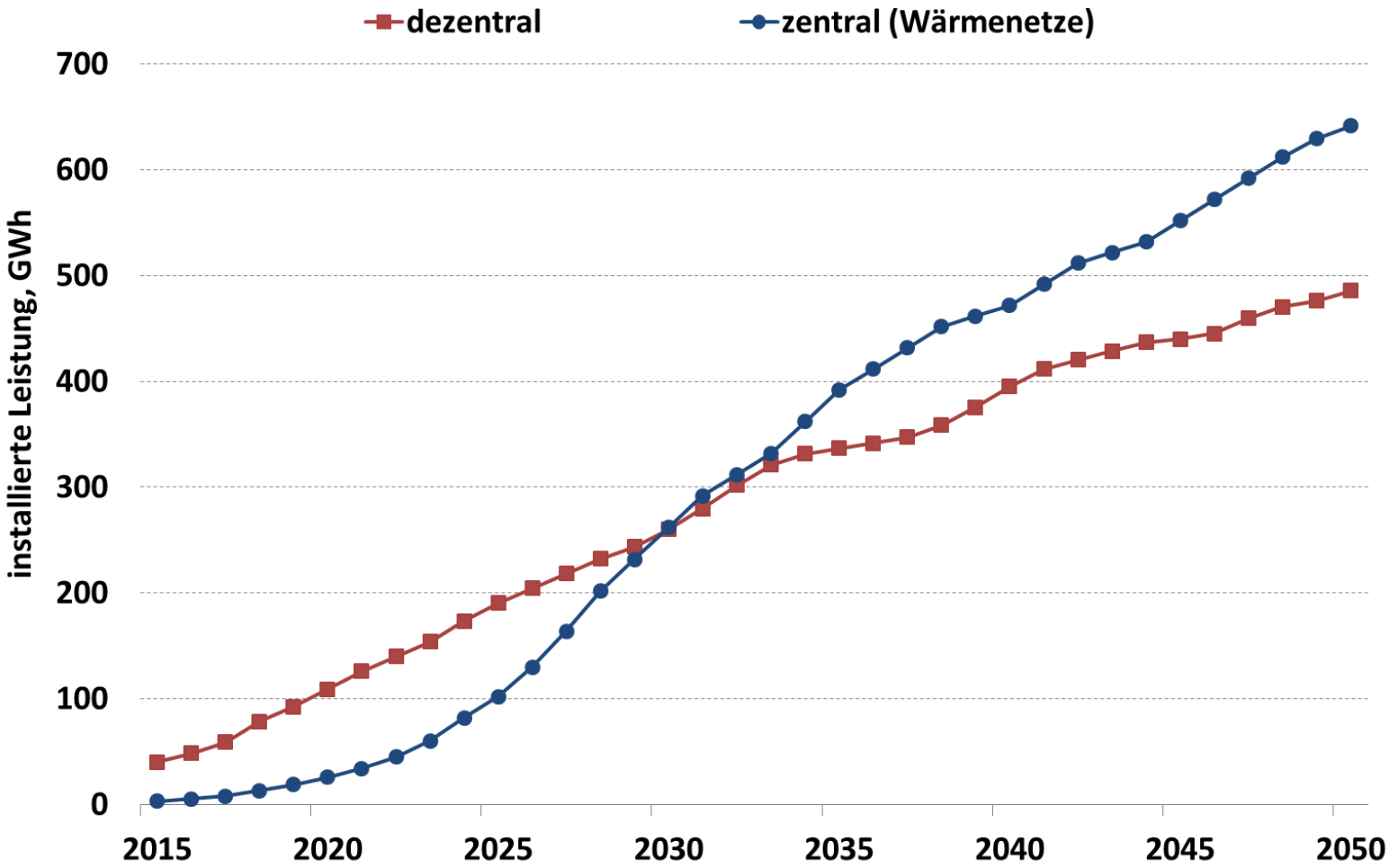
Residuallast = Basislast minus regenerative Erzeugung

© Fraunhofer ISE

Palzer, A.: Sektorübergreifende Modellierung…. Dissertation am Karlsruher Institut für Technologie KIT, geplante Veröffentlichung 2. Quartal 2016

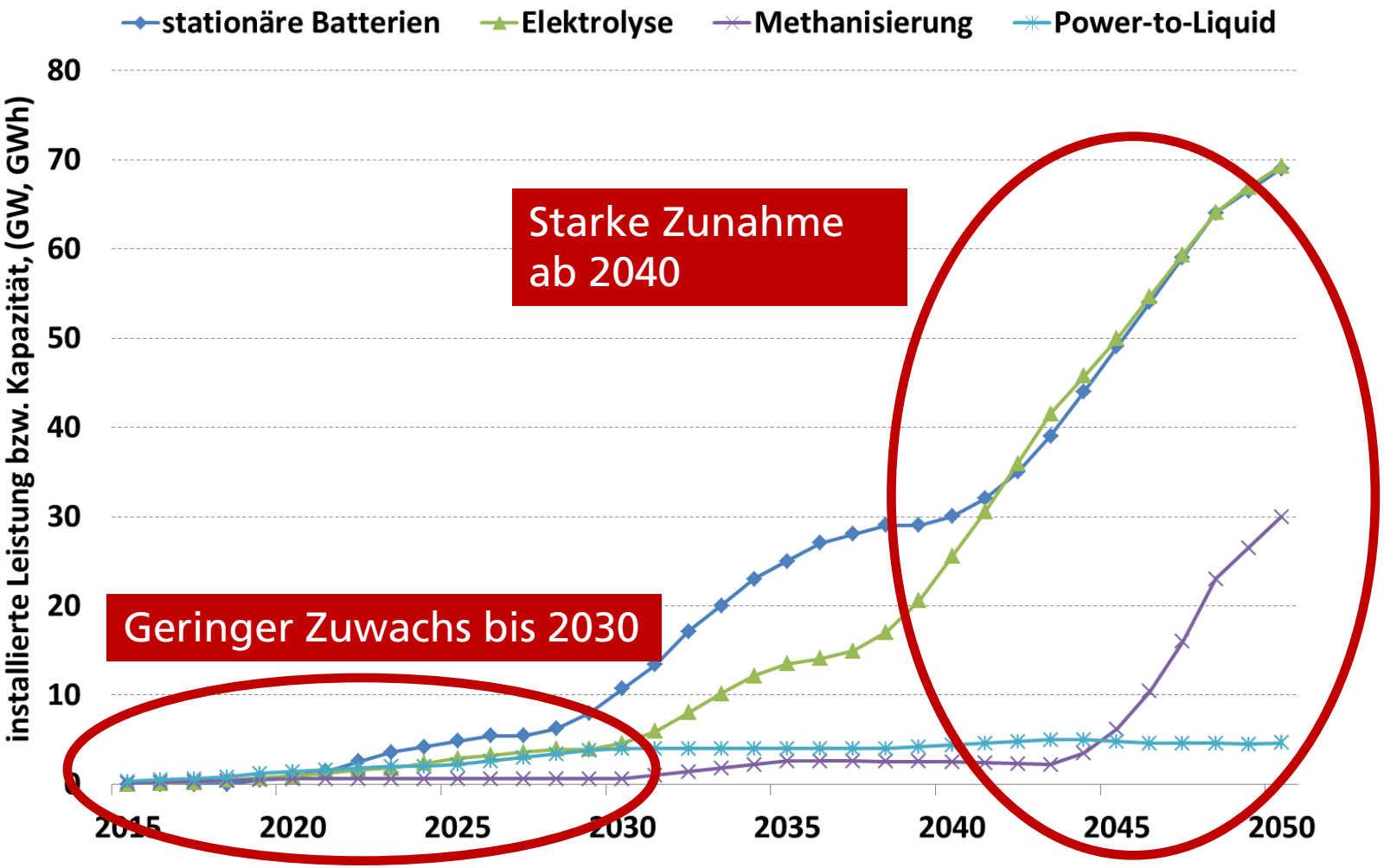
Fraunhofer ISE

Entwicklung Wärmespeicher
– 85-%-Szenario



© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Stationäre Batterien und synthetische Energieträger – 85-%-Szenario



© Fraunhofer ISE

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Zwischenfazit

- Die Anforderung an flexible Stromerzeugung und Stromnutzung nimmt mit einem wachsendem Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien deutlich zu
- Sowohl flexibel arbeitende Verbraucher als auch Kurzzeitspeicher können wichtige Beiträge liefern
- Der Anteil elektrischer Wärmepumpen für die Wärmebereitstellung wird deutlich zunehmen ➔ diese bieten ein hohes Potenzial für lokales Lastmanagement

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude

Agenda

- Das sich wandelnde Energiesystem und wachsende Anforderungen an Flexibilisierung
- Was bedeutet Netzdienlichkeit? Ziele und Bilanzgrenzen
- Ansätze zur Steigerung der Netzdienlichkeit
- Zusammenfassung und Fazit

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude

Hoher Anteil erneuerbarer Energien
Herausforderungen

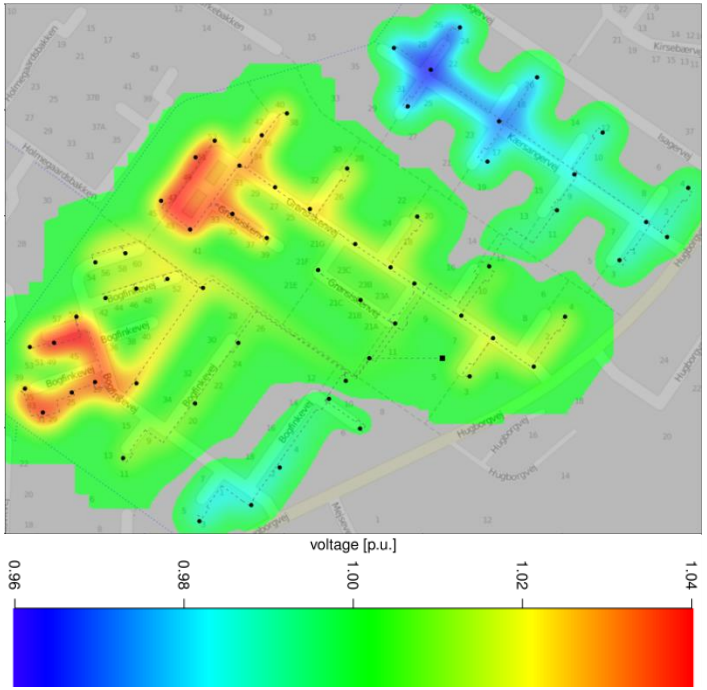
Herausforderungen bei einem hohen Anteil fluktuierender erneuerbarer Erzeugung

I Lokale Mismatches zwischen erneuerbarer Erzeugung (z.B. PV-Dachanlage) und Last

II Mismatch zwischen Dargebot und Nachfrage nach Strom auf regionaler/nationaler Ebene

III Überlastung der Übertragungs- oder Verteilnetze („congestion“)

IV Kurzfristiger Bedarf an Ausgleichsenergie aufgrund von Prognosefehlern



Simulation des Spannungsverlaufs in einem Verteilnetz. Quelle: Fraunhofer ISE

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Hoher Anteil erneuerbarer Energien
Herausforderungen und Ziele netzdienlicher Gebäude

Herausforderungen bei einem hohen Anteil fluktuierender erneuerbarer Erzeugung

- I: Lokale Mismatches zwischen erneuerbarer Erzeugung (z.B. PV-Dachanlage) und Last
- II: Mismatch zwischen Dargebot und Nachfrage nach Strom auf regionaler/nationaler Ebene
- III: Überlastung der Übertragungs- oder Verteilnetze („congestion“)
- IV: Kurzfristiger Bedarf an Ausgleichsenergie aufgrund von Prognosefehlern

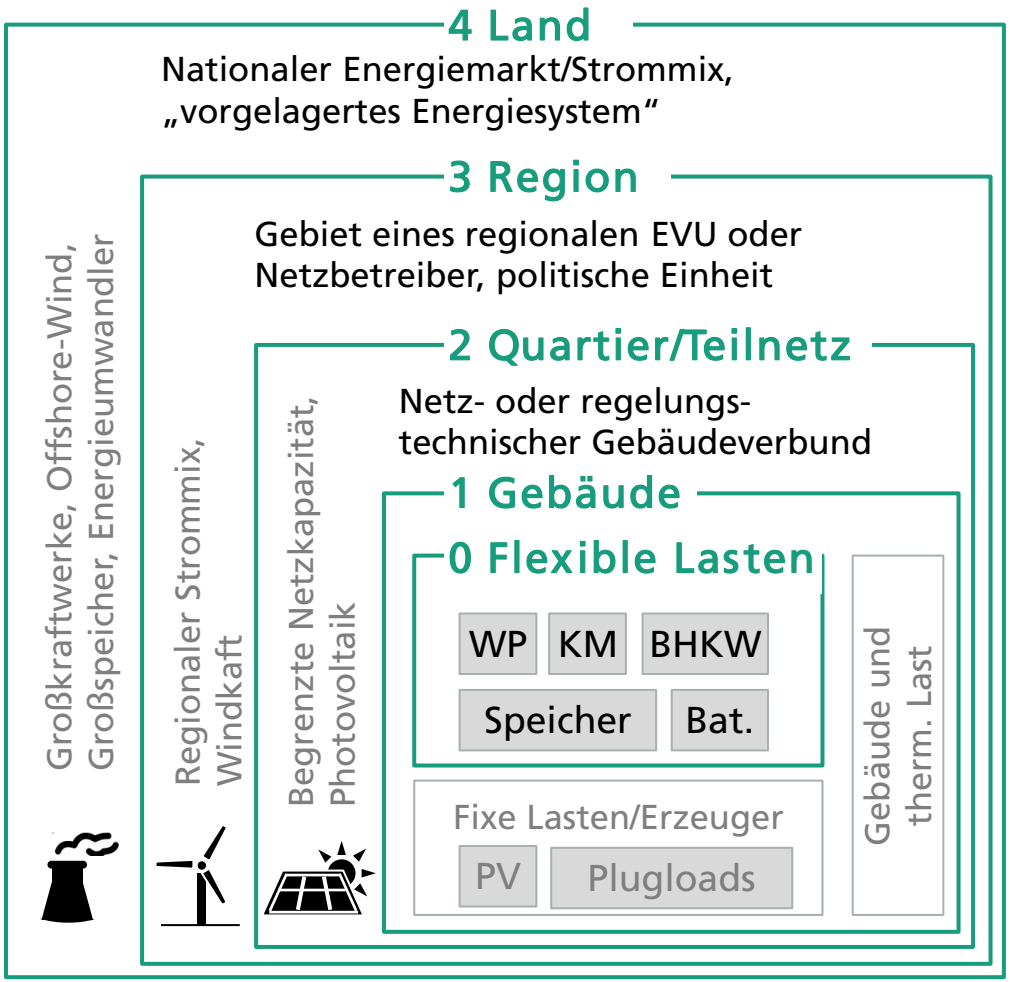
Ziele eines netzreaktiven Gebäudebetriebs

- I: Maximiere die Deckung zwischen lokaler Erzeugung und Last
- II: Maximiere die (Markt-)Effizienz der Stromerzeugung
- III: Minimiere Netzengpässe („congestion“)
- IV: Stelle Ausgleichsenergie und –leistung bereit

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Ausgestaltung der Herausforderungen und Ziele
Berücksichtigung der Systemebene/Bilanzgrenze

- Genannte Ziele können sich auf unterschiedliche Bilanzgrenzen beziehen.
- Zur Bewertung und Optimierung der Netzdienlichkeit muss im Einzelfall spezifiziert werden, welche Bilanzgrenzen im Fokus stehen.



© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

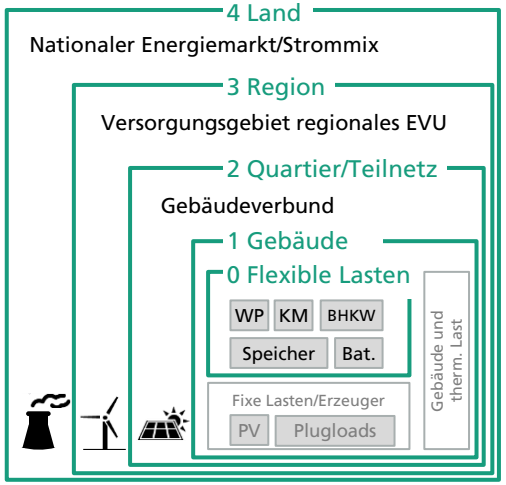
Bewertung der Netzdienlichkeit von Gebäuden

Definition von Zielen und Bilanzgrenzen

Ziele

- I: Max. Deckung lok. Erzeugung und Last
- II: Max. Markteffizienz der Stromerzeugung
- III: Minimiere Netz-engpässe / congestion
- IV: Liefere Ausgleichs-energie und -leistung

Bilanzgrenzen



Bewertung

- Eigenverbrauch, Autonomie
- Deckung Verlauf des Strombezug und Netzsignal (→ Kennzahl GSC)
- Auslastung Verteilnetz
- Momentan mögliche Leistungserhöhung / -absenkung

- Zur Bewertung der Netzdienlichkeit muss das verfolgte Ziel sowie die betrachtete Bilanzgrenze definiert werden.
- In der Folge wird eine geeignete Bewertungsmetrik ausgewählt.

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

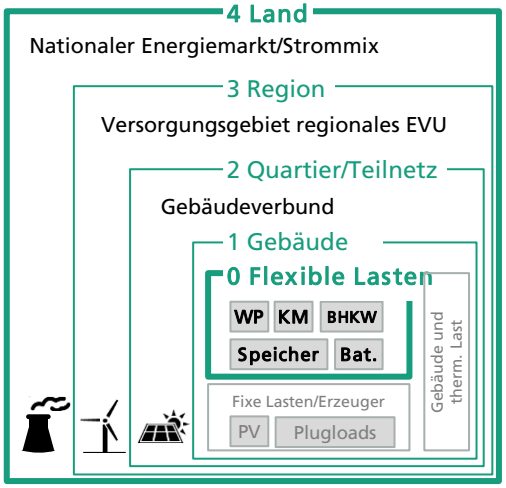
Bewertung der Netzdienlichkeit von Gebäuden

Definition von Zielen und Bilanzgrenzen

Ziele

- I: Max. Deckung lok. Erzeugung und Last
- II: **Max. Markteffizienz der Stromerzeugung**
- III: Minimiere Netz-engpässe / congestion
- IV: Liefere Ausgleichs-energie und -leistung

Bilanzgrenzen



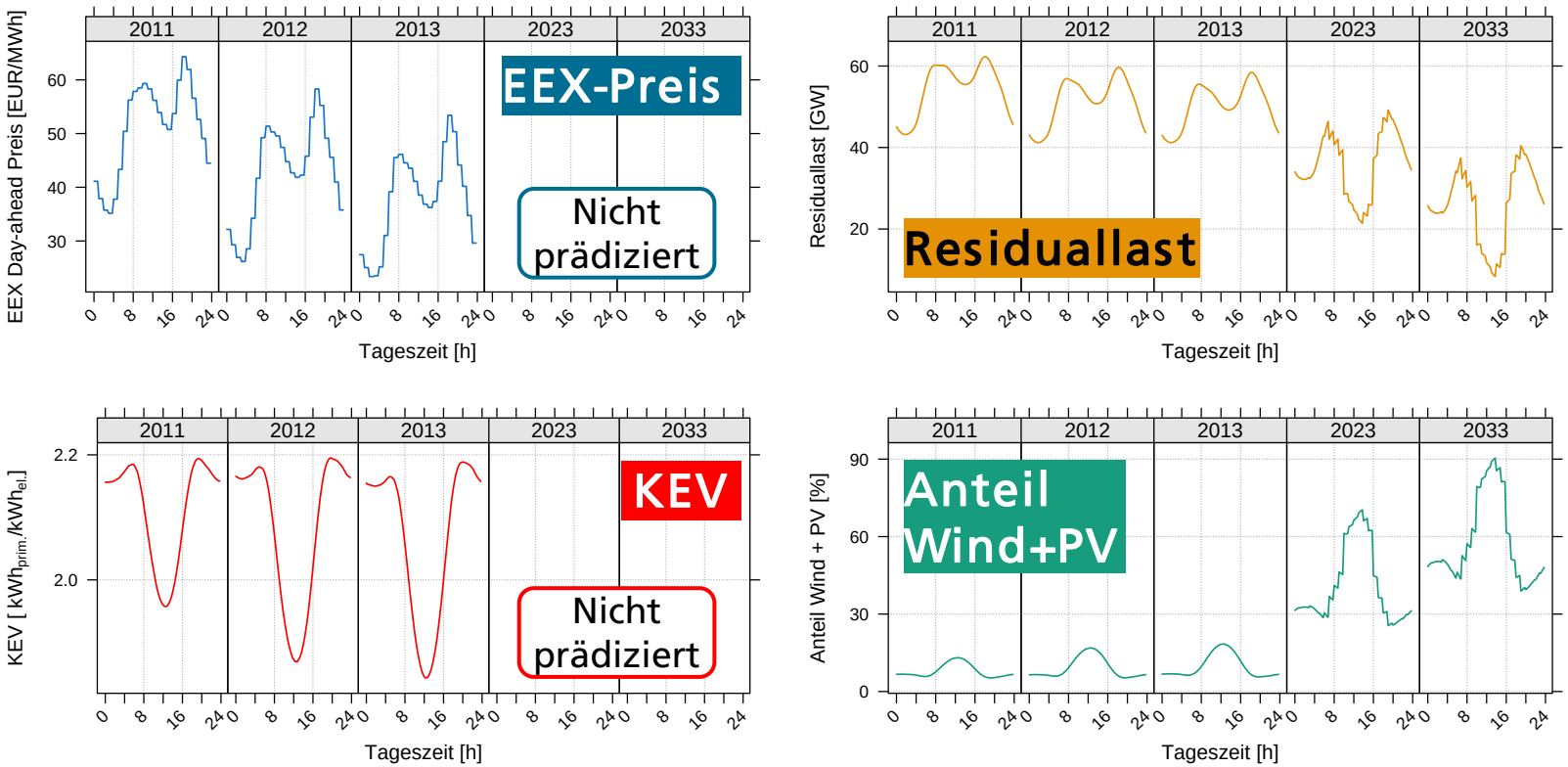
Bewertung

- Eigenverbrauch, Autonomie
- **Deckung Verlauf des Strombezug und Netzsignal (→ Kennzahl GSC)**
- Auslastung Verteilnetz
- Momentan mögliche Leistungserhöhung / -absenkung

» Im Folgenden: Vorstellung einer neuen Kennzahl GSC, welche die Netzdienlichkeit eines flexiblen Verbrauchers in Bezug auf das vorgelagerte Energiesystem bewertet

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Verfügbarkeit von Strom auf nationaler Ebene durch unterschiedliche Indikatoren objektivierbar

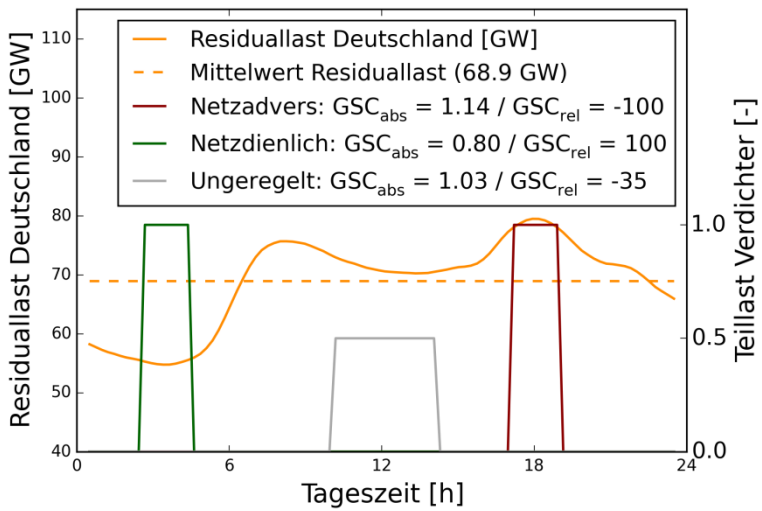


- Anforderungen an „netzdienliche“ Stromverbraucher
  - EEX Preis, Residuallast (RES): Beste Zeit für Strombezug: Nacht
  - KEV, Anteil Wind+PV (WPV): Beste Zeit für Strombezug: Mittagszeit

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

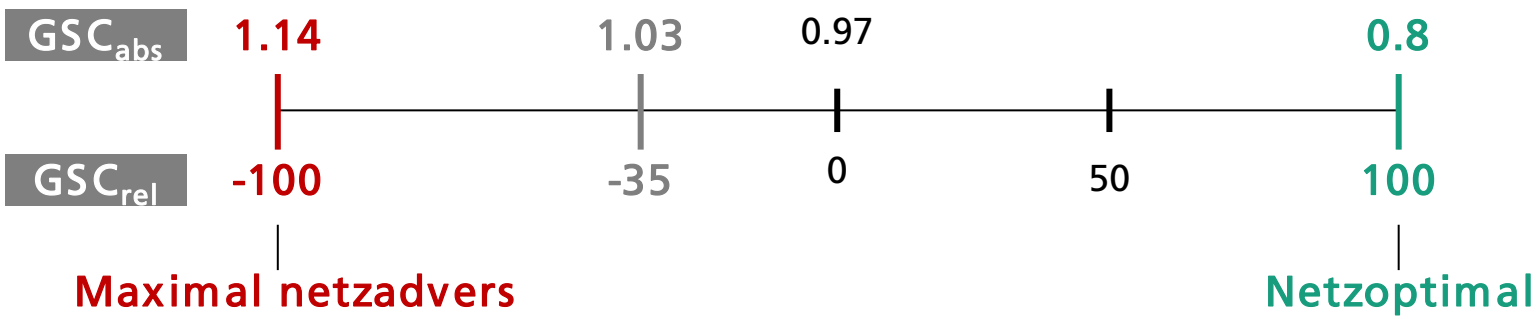
Neue Bewertungsgrößen für Netzdienlichkeit

Grid-support coefficients GSC_{abs} und GSC_{rel}



$$GSC_{abs}(G) := \frac{\sum_{i=1}^{n} W_{el}^{i} \cdot G^{i}}{W_{el} \cdot \bar{G}}$$

W_{el}	Summe Stromverbrauch
G^{i}	Netzbasierte Referenzgröße (Zeitpunkt *i)*
$\bar{G}$	Zeitl. Mittel der netzb. Referenzgröße



Strombezug in den Stunden mit der höchsten Residuallast

Strombezug in den Stunden mit der niedrigsten Residuallast

© Fraunhofer ISE

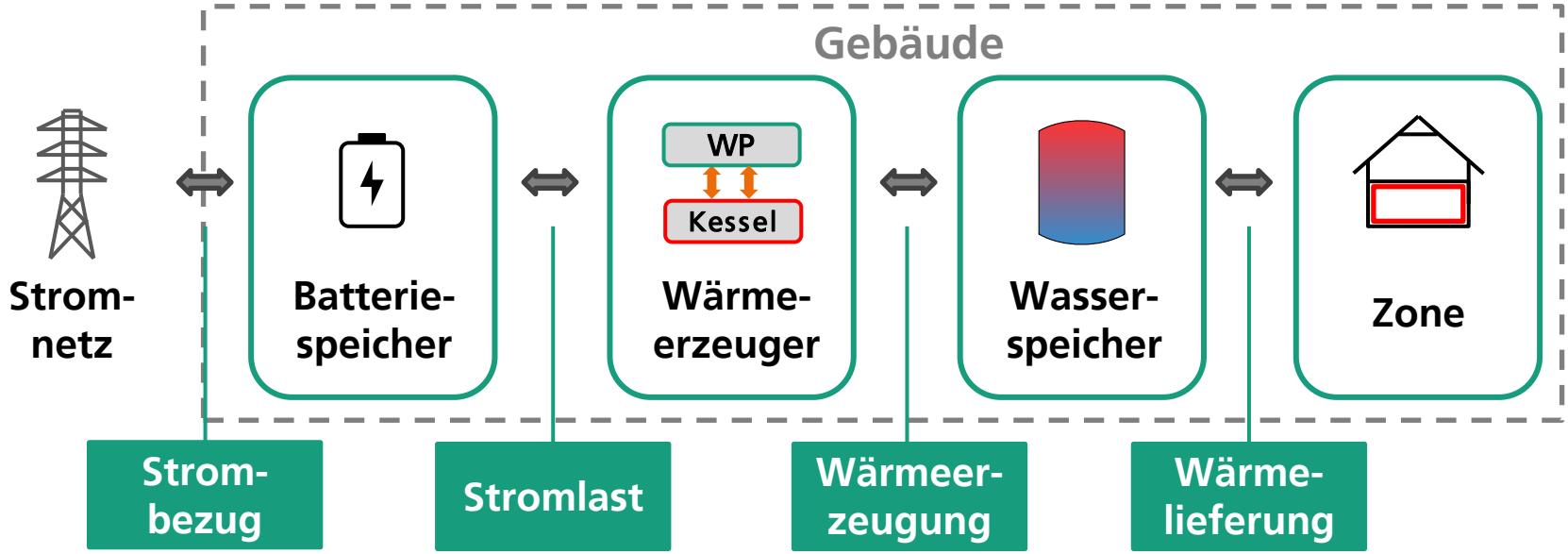
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Agenda

- Das sich wandelnde Energiesystem und wachsende Anforderungen an Flexibilisierung
- Was bedeutet Netzdienlichkeit? Ziele und Bilanzgrenzen
- Ansätze zur Steigerung der Netzdienlichkeit
- Zusammenfassung und Fazit

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

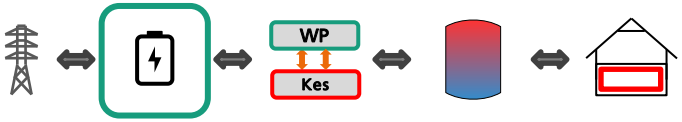
Ansätze zur Steigerung der Netzdienlichkeit
Zeitliche Verschiebung elektrischer Lasten



- **Batteriespeicher**: Zeitversatz zwischen Strombezug und Stromlast
- **Fuel-Switch**: Manipulation des Verhältnisses aus Wärmeerzeugung und Stromlast
- **Wasserspeicher**: Zeitversatz zwischen Wärmeerzeugung und Wärmelieferung
- **Gebäudemasse** als Speicher: Manipulation des Zeitverlaufs der Wärmelieferung

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

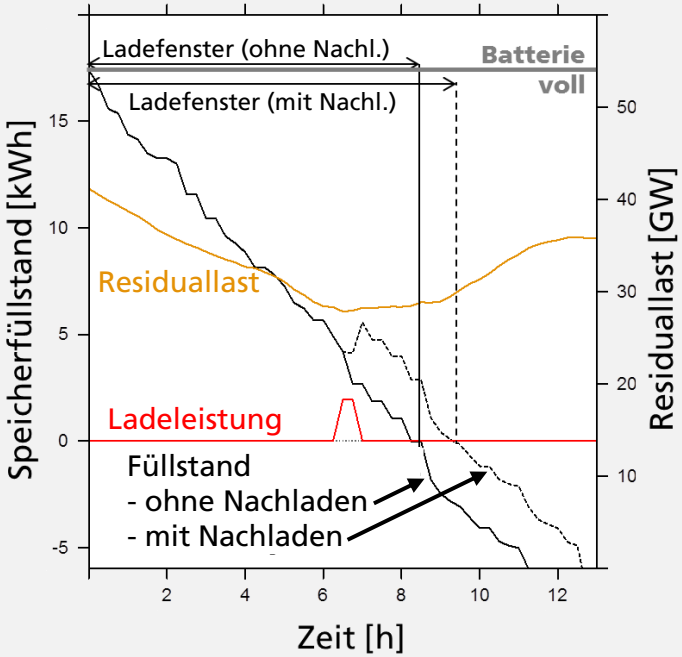
Batteriespeicher



- **Ansatz:** Entladen der Batterie durch Stromlasten, Laden der Batterie in Zeiträumen mit günstigstem Netzsignal
- **Potentiale:**
  - Wiederverstromung möglich
  - Speicherentladung unabhängig von thermischer Last, somit ganzjährige Nutzung möglich
- **Grenzen:**
  - Hohe spez. Investitionskosten
  - Techn. begrenzte Zyklenzahl
- **Fazit:** Hohes Potential bei signifikanter Speichergröße

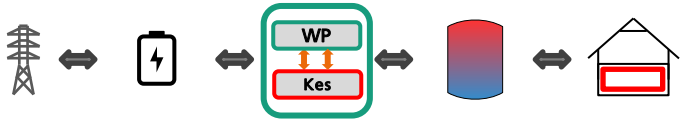
Algorithmus:

- Gesamte Stromlast entlädt Batterie
- Speicherladung erfolgt während des günstigsten Netzsignals im Zeitfenster bevor die Batterie vollständig entladen ist



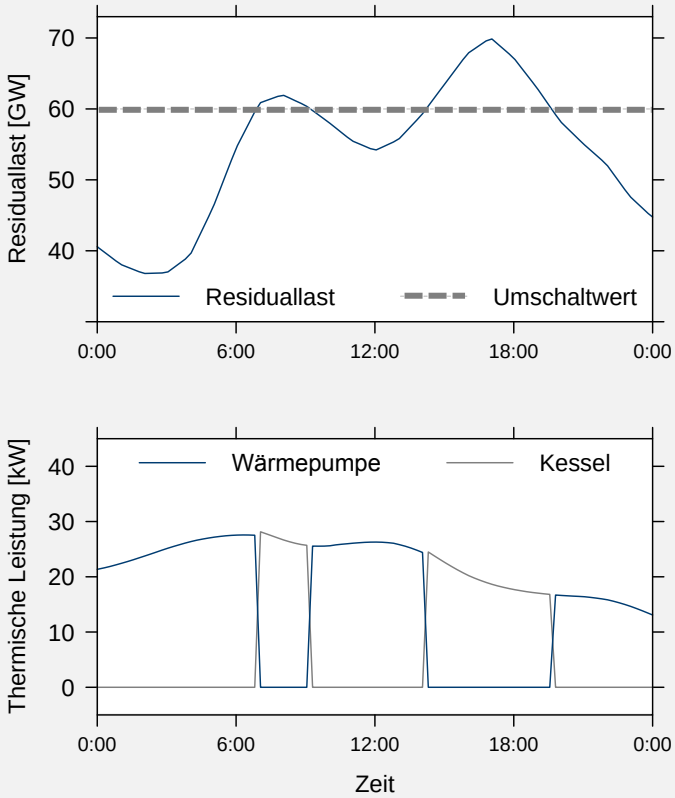
© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Fuel-Switch



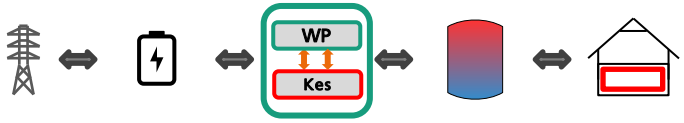
- **Ansatz:** Aktivierung elektrischer/nicht-elektrischer Wärme- und Kälteerzeuger nach Verfügbarkeit von Strom im Netz (Anpassung der Betriebsfolgeschaltung)
- **Potentiale:**
  - Langfristige Verbrauchsänderung
  - Umsetzung bei Bestandsanlagen
- **Grenzen:**
  - Multivalentes Versorgungssystem (hohe Investition bei Neuinstallation)
- **Fazit:** Hohes Potential bei komplexeren Anlagensystemen insb. im GHD-Sektor

Beispiel: Einsatz von Wärmepumpe und Kessel in Abhängigkeit der Residuallast

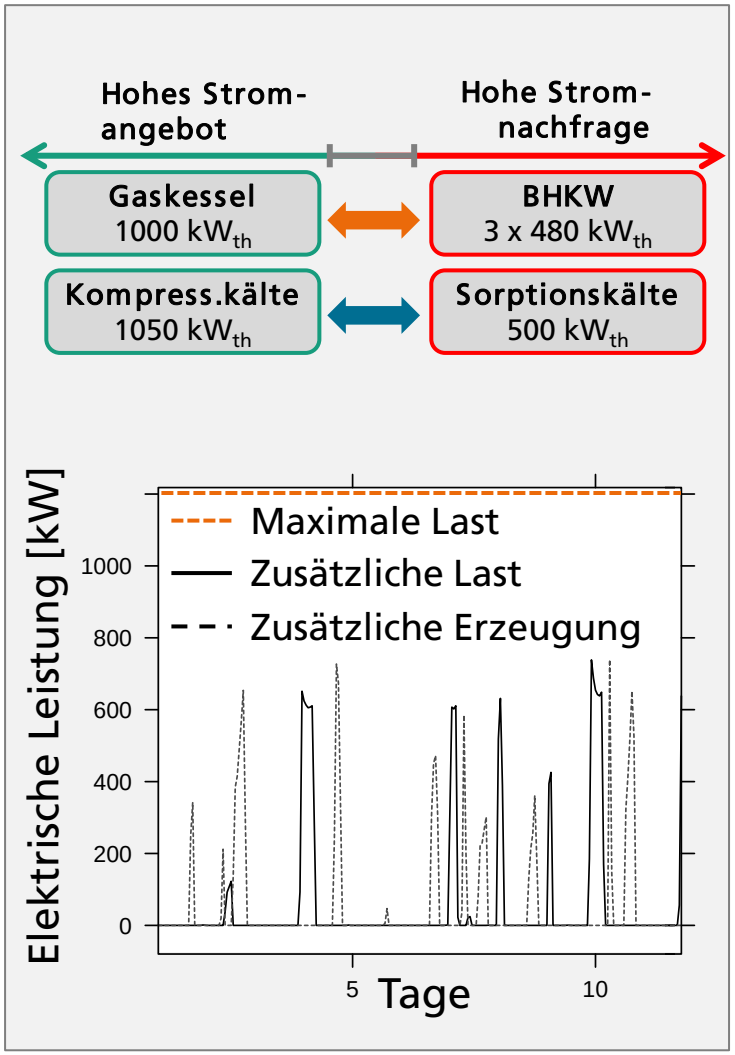


© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Fuel Switch
Beispiel

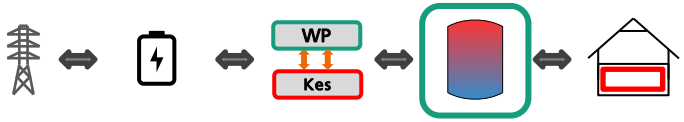


- Simulation einer Liegenschaft mit Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
- Referenzfall: System auf maximale Autonomie optimiert (Nulllastabgleich)
- Netzdienlicher Betrieb:
  - Wenn Residuallast „sehr hoch“: maximiere Netzeinspeisung,
  - Wenn Residuallast „sehr niedrig“: maximiere Netzbezug
- Liegenschaft stellt bereit:
  - ~600 kW zusätzliche Last
  - ~400 kW zusätzliche Einspeisung
  - (max Stromlast: ~1,200 kW)

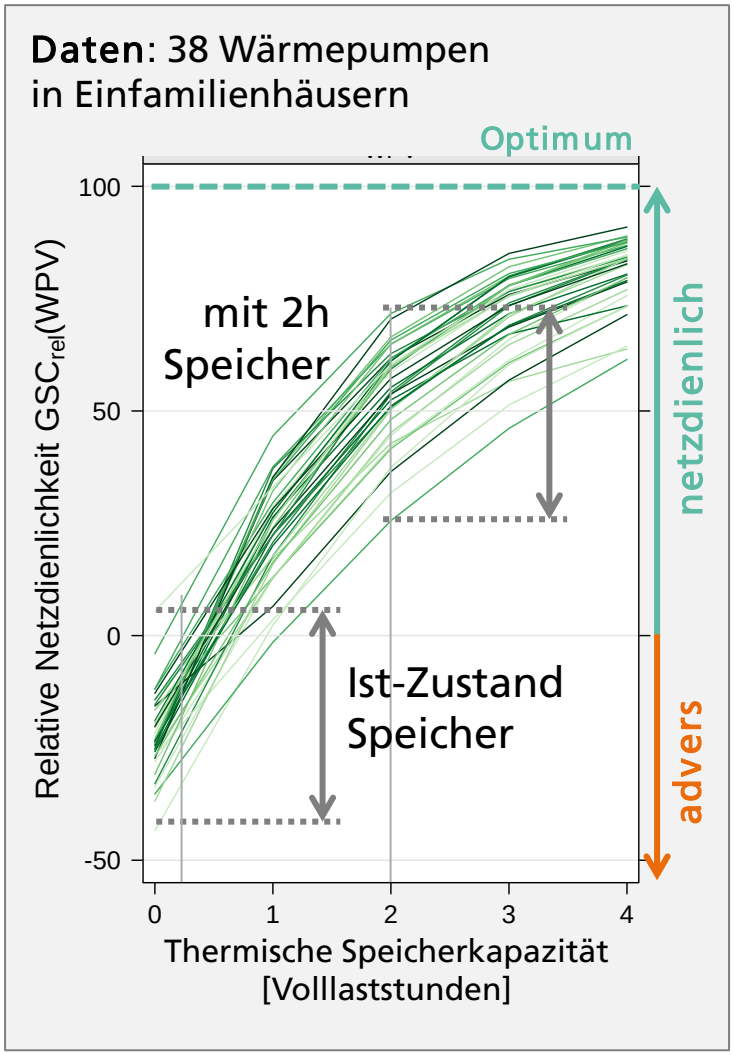


© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Wasserspeicher

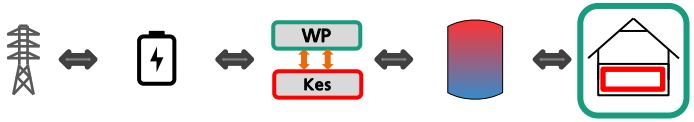


- **Ansatz:** Entladen des Speichers durch Heizlast, Laden des Speichers in Zeiträumen mit günstigstem Netzsignal
- **Potentiale:**
  - Netzoptimaler Betrieb mit ~5 bis 6 h Speicherkapazität möglich
  - Realisierung von 50% des Optimierungspotentials ~ 2 h
- **Grenzen:**
  - Bei WP/KM: Verschlechterung der Effizienz durch Erhöhung/Absenkung der Vorlauftemperatur
- **Fazit:** Erhöhung der Speicherkapazität und Kombination von Ansätzen nötig

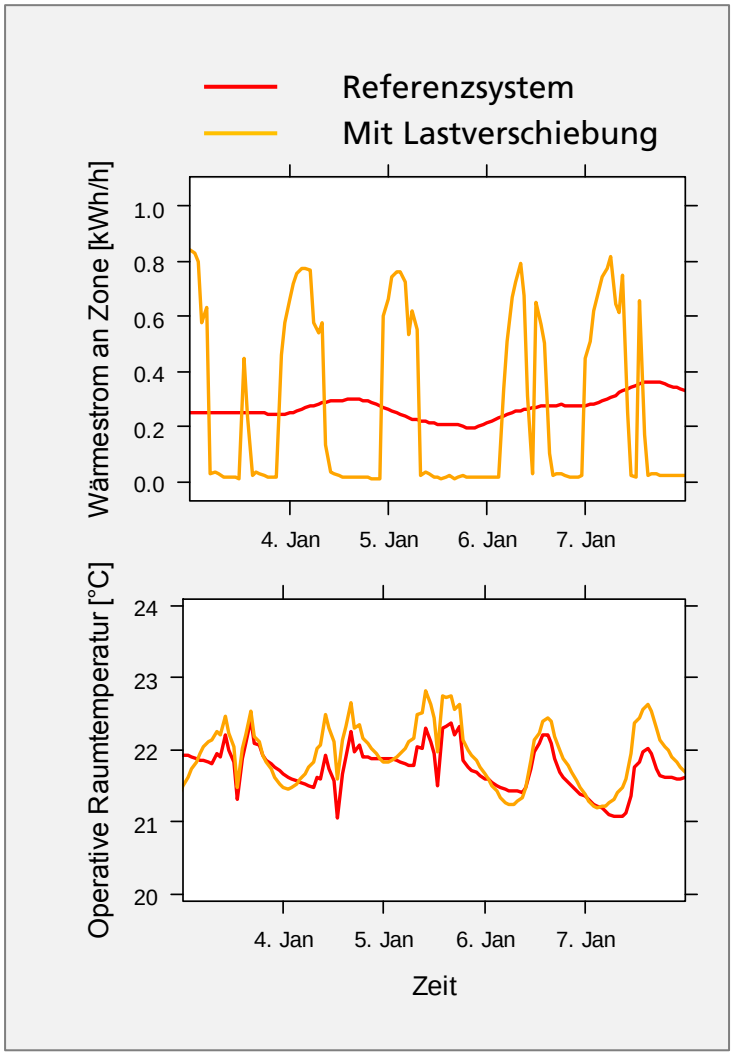


© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Gebäudemasse als Speicher



- **Ansatz:** Änderung des Zeitverlaufs der Wärme-/Kältelieferung in die Wärmeübergabesysteme
- **Potentiale:**
  - Abhängig vom Wärmeübergabesystem und der Gebäudemasse
  - Träge Übergabesysteme: Komfort bei „netzoptimalem“ Betrieb gewährleistet
- **Grenzen:**
  - Prognose des Wärme-/Kältebedarfs und der internen Gewinne notwendig
- **Fazit:** Bei trägen Übergabesystemen hohes Potential zur Lastverschiebung



© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Alle vorgestellten Ansätze sind mit Chancen und Herausforderungen verbunden

	Chancen	Herausforderungen
Batterie	Wiederverstromung, Nutzung unabhängig von therm. Last ganzjährig möglich	Hohe Kosten, begrenzte technische Lebensdauer
Fuel-Switch (WP / Kessel)	Praktisch unbegrenzte Speicherkapazität (Gasnetz)	Überinstallation notwendig, ggf. schwierige Refinanzierung
Wasser-speicher	Regelung unproblematisch, Speicher im Bestand vorhanden	Speicherung verschlechtert Wirkungsgrad von WP/KM
Gebäude-masse	Hohe Kapazität bei kleiner Temperaturspreizung	Regelung, Komfort, Aktivier-barkeit der Masse erforderlich

Der zu favorisierende Ansatz zur Steigerung der Netzdienlichkeit hängt von der jeweiligen Anlagentopologie und –nutzung ab

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Wärmepumpen und Kältemaschinen
Feldmessungen ➔ Netzdienlichkeit heute

- Analyse von Feldmessdaten von Wärmepumpen, Kältemaschinen und BHKW
  - 8 Wärmepumpen in Bürogebäuden (4,5 – 58 kW_{el})
  - 4 Kältemaschinen in Bürogebäuden(14,9 - 29 kW_{el})
  - 2 BHKW in Mehrfamilienhäusern (5,5 kW_{el})
  - 37 Wärmepumpen in Einfamilienhäusern (Heizung und WW; 1,3 – 6,1 kW_{el})
- Daten aus den Betriebsjahren 2011 und 2012
- Hohe Zeitauflösung: 1 bis 5 Minuten

WP Monitor

WP Monitor PLUS

EnOB Forschung für Energieoptimiertes Bauen

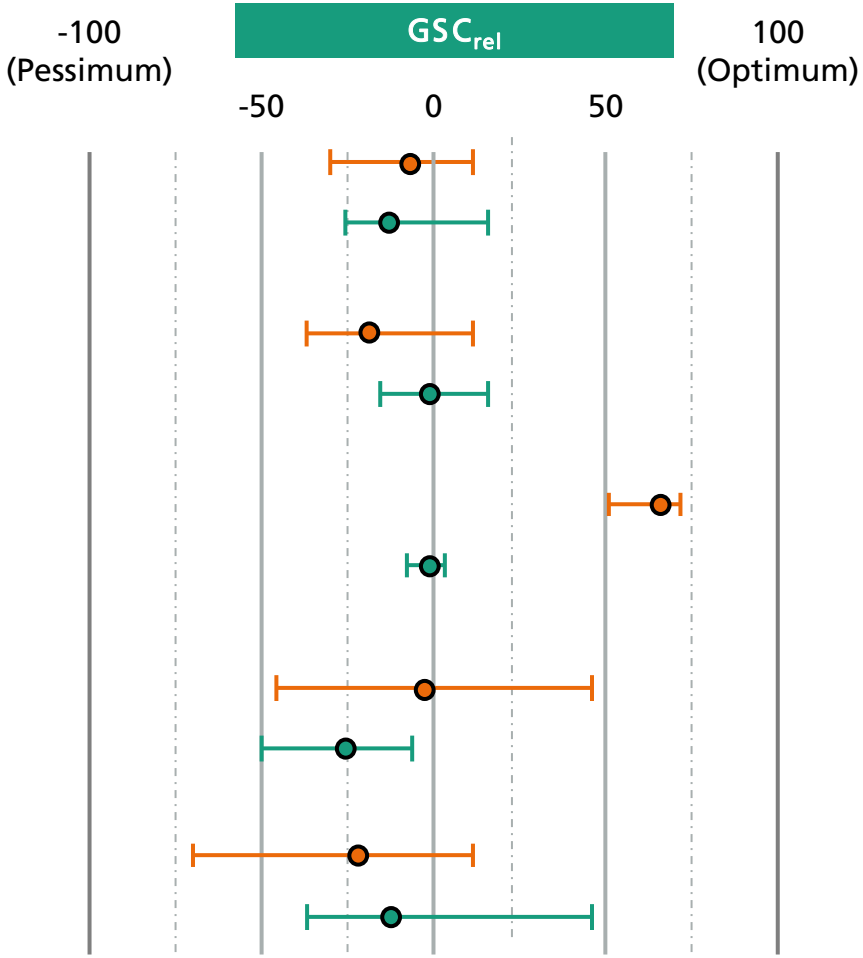
LowEx MONITOR

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Wie netzdienlich sind Gebäude heute?

Relative Netzdienlichkeit – Technologievergleich

Gebäudetyp	Anzahl
Wärmepumpen (Nichtwohngebäude)	7
Kompressionskältemaschinen (Nichtwohngebäude)	4
BHKW (Mehrfamilienhaus)	2
Wärmepumpen (Wohngebäude; Heizbetrieb)	40
Wärmepumpen (Wohngebäude; Warmwasserbetrieb)	40



Wertebereich GSC$_{rel}$ (Residuallast)

Wertebereich GSC$_{rel}$ (Anteil Wind + PV)

© Fraunhofer ISE
Fraunhofer ISE

Agenda

- Das sich wandelnde Energiesystem und wachsende Anforderungen an Flexibilisierung
- Was bedeutet Netzdienlichkeit? Ziele und Bilanzgrenzen
- Ansätze zur Steigerung der Netzdienlichkeit
- Zusammenfassung und Fazit

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Fazit

- Der Bedarf an flexibler (komplementärer) Stromerzeugung und flexibler Stromnutzung wird mittelfristig deutlich zunehmen
- Demand-Side-Management und Kurzzeitspeicher können im Bereich kurzer Zeitskalen (Stunden, Tag-Nacht) substanzielle Beiträge liefern
- Großskalige Konversion von Strom aus erneuerbaren Energien in synthetische chemische Energieträger im Wesentlichen bei CO_2-Reduktion > 65 % (> 2030)
- Die Bewertung der Netzdienlichkeit hängt von der spezifizierten Zielstellung und der betrachteten Bilanzkreisebene ab.
- Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, um die Netzdienlichkeit von Gebäuden zu steigern (Fuel-Switch, Nutzung von Batterie- und Wasserspeichern, Nutzung der Gebäudemasse als Speicher).
- Alle dargestellten Ansätze weisen charakteristische Vor- und Nachteile auf. Welcher Ansatz am besten geeignet ist, hängt von der Topologie und Dimensionierung des betrachten Versorgungssystems ab.
- Um netzdienliche Betriebskonzepte für Gebäude in die Praxis zu bringen, sind neue wirtschaftliche Anreizmodelle notwendig.

© Fraunhofer ISE
Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Netzreaktive Gebäude
Fraunhofer ISE

Förderhinweis und ausgewählte Veröffentlichungen

Fraunhofer ISE

Fraunhofer IBP

E.ON Energy Research Center
RWTH AACHEN UNIVERSITY

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

„Netzreaktive Gebäude“
(FKZ03ET1111A/B/C)

www.netzreaktivegebaeude.de

Ausgewählte Veröffentlichungen:

Henning, H.-M., Palzer, A.: Studie „Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050“. Fraunhofer ISE, 2016. (verfügbar auf deutsch und englisch).

Palzer, A.; Henning, H.-M.: A Future German Energy System with a Dominating Contribution from Renewable Energies: A Holistic Model Based on Hourly Simulation. In: Energy Technology 2 (1), S. 13–28

Klein, K., Langner, R., Kalz, D., Herkel, S., Henning, H.-M.: „Grid support coefficients for electricity-based heating and cooling and field data analysis of present-day installations in Germany“. Applied Energy 162 (2016), S. 853-867

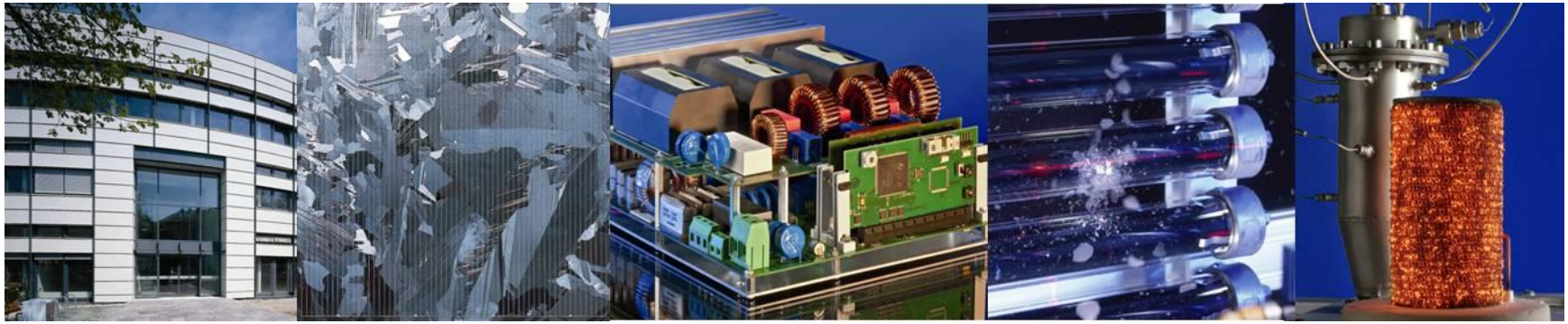
Klein, K., Kalz, D., Herkel, S.: „Netzdienlicher Betrieb von Gebäuden: Analyse und Vergleich netzbasierter Referenzgrößen und Definition einer Bewertungskennzahl“. Bauphysik, 2014. 36(2): S. 49-58.

Kapitelbeiträge zum Buch „Performance von Gebäuden“.
Voss et al. Fraunhofer IRB-Verlag, 2016

© Fraunhofer ISE

Vielen Dank…

- Konstantin Klein, Doreen Kalz und den weiteren Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen im Projekt „Netzreaktive Gebäude“ und
- Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.



Hans-Martin Henning

hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

www.ise.fraunhofer.de

www.netzreaktivegebaeude.de

© Fraunhofer ISE

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Netzreaktive Gebäude

Fraunhofer ISE