
Modellierung von Wärmepumpen in Wärmenetzen und Analyse der Auswirkungen auf das deutsche Stromerzeugungssystem

Christiane Bernath

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

15. Symposium Energieinnovation

15.02.2018 Graz, Austria

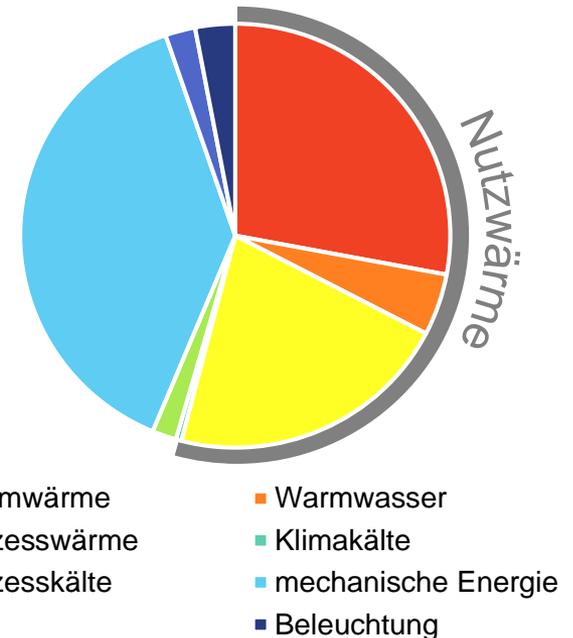
Agenda

- Motivation und Fragestellungen
- Methodik
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

Motivation

- Weitgehende Treibhausgasneutralität für Deutschland bis 2050
- Fortschreitende Dekarbonisierung des Stromsektors durch Ausbau der EE
- Nutzung von Strom zur Dekarbonisierung anderer Sektoren → Sektorkopplung
- Ziel der Sektorkopplung: THG-Minderung durch Substitution fossiler Energieträger

- Endenergieverbrauch Deutschland 2016
 - ca. 54 % Bereitstellung von Nutzwärme
 - Sektorkopplung vielversprechendes Konzept
- Technologie zur Sektorkopplung im Wärmebereich
 - elektrische Wärmepumpe
- Relevanz von Wärmenetzen durch
 - Dekarbonisierung im Gebäudesektor
 - Beitrag zur Flexibilisierung



eigene Darstellung nach AGEBA (2017)

Fragestellungen

- Verstärkte Interaktion von Strom- und Wärmesektor
- Einfluss auf Struktur der Stromnachfrage und Strominfrastruktur
- Ziel: Analyse der Auswirkungen auf das deutsche Stromerzeugungssystem

- Fragestellungen
 - Welche Auswirkungen hat die Integration der neuen Technologie Wärmepumpe in die Wärmenetze auf die **Deckung der Wärmenachfrage**?
 - Welchen Einfluss hat dies auf die **Struktur des Kraftwerkparcs und der Stromerzeugung**?

- Modellbasierte Szenarioanalyse mit Enertile®

Agenda

- Motivation und Fragestellungen
- **Methodik**
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

- Modell zur **simultanen Optimierung von Ausbau und Einsatz** des europäischen Elektrizitätssystems
- Exogen vorgegebene Strom- und Wärmenachfrage
 - Konventionelle Kraftwerke, erneuerbare Energien, Stromnetze und Speicher
 - Wärmenetze: KWK, Heizkessel, Wärmespeicher und Wärmepumpen
- Lineares Optimierungsproblem für die Stützjahre in stündlicher Auflösung
- **Zielfunktion:**
Minimierung aller Kosten für Strom- und Wärmeerzeugung, Übertragung und Speicherung
- **Zentrale Nebenbedingungen:**
Angebot und Nachfrage müssen in jeder Stunde und Region ausgeglichen werden
- **Ergebnisse eines Szenarios:**
 - Zubau und stündlicher Einsatz der Kraftwerke und Technologien
 - Kosten und CO₂-Emissionen der Energieerzeugung

Methodik – Modellierung der Wärmepumpe in Wärmenetzen

- **Kosten** von Wärmepumpen abhängig von der Wärmequelle
 - z.B. Abwärme, Wasser, Luft, Erdwärme
- **Verfügbarkeit** der Wärmequellen stark abhängig von den lokalen Gegebenheiten
 - Ausnahme: Wärmequelle Luft
- **Leistungszahl / COP** (*coefficient of performance*)
 - Verhältnis von erzeugter Wärmeleistung zu eingesetzter elektrischer Leistung
 - stark abhängig von Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Vorlauftemperatur des Heizsystems

- **Modellierung** in Enertile®
 - Luftwärmepumpe (konservative Annahme)
 - COP der Wärmepumpe als Funktion der Außentemperatur
 - Durchschnittliche Außentemperatur Deutschland 2010 in stündlicher Auflösung

Methodik – Modellbasierte Szenarioanalyse

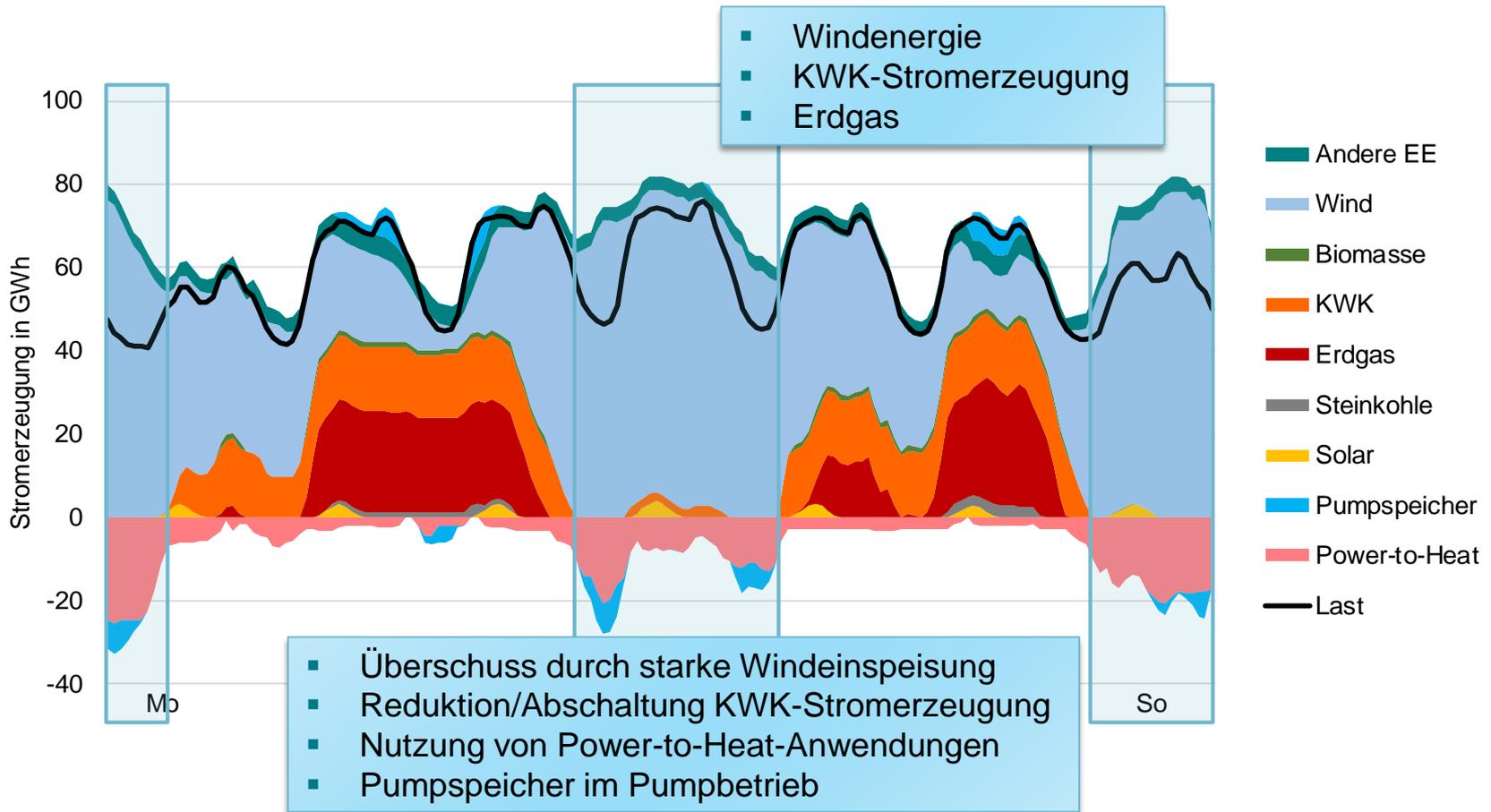
- Berechnung des **optimalen Stromversorgungssystems für Deutschland 2050**
 - Begrenzte Flexibilität im Gesamtsystem
 - Optimale Lösung: der für die Preiskonstellation kostenminimale Ausbau und Einsatz der Kraftwerke und Technologien zur Strom- und Wärmeerzeugung
- **Szenario mit Wärmepumpe**
 - Analyse der Interaktion von Strom- und Wärmeerzeugung
- **Sensitivitäten zum Einfluss des CO₂- und Gaspreises**
 - Systematische Variation: Gas = 20 oder 40 €/MWh_{th} und CO₂ = 50, 100 oder 150 €/t
 - Für jede Kombination Szenarien ohne und mit Verfügbarkeit der Wärmepumpe
 - Analyse der Veränderungen im Wärmemix der Wärmenetze und im Stromsektor

Agenda

- Motivation und Fragestellungen
- Methodik
- **Ergebnisse**
- Zusammenfassung und Ausblick

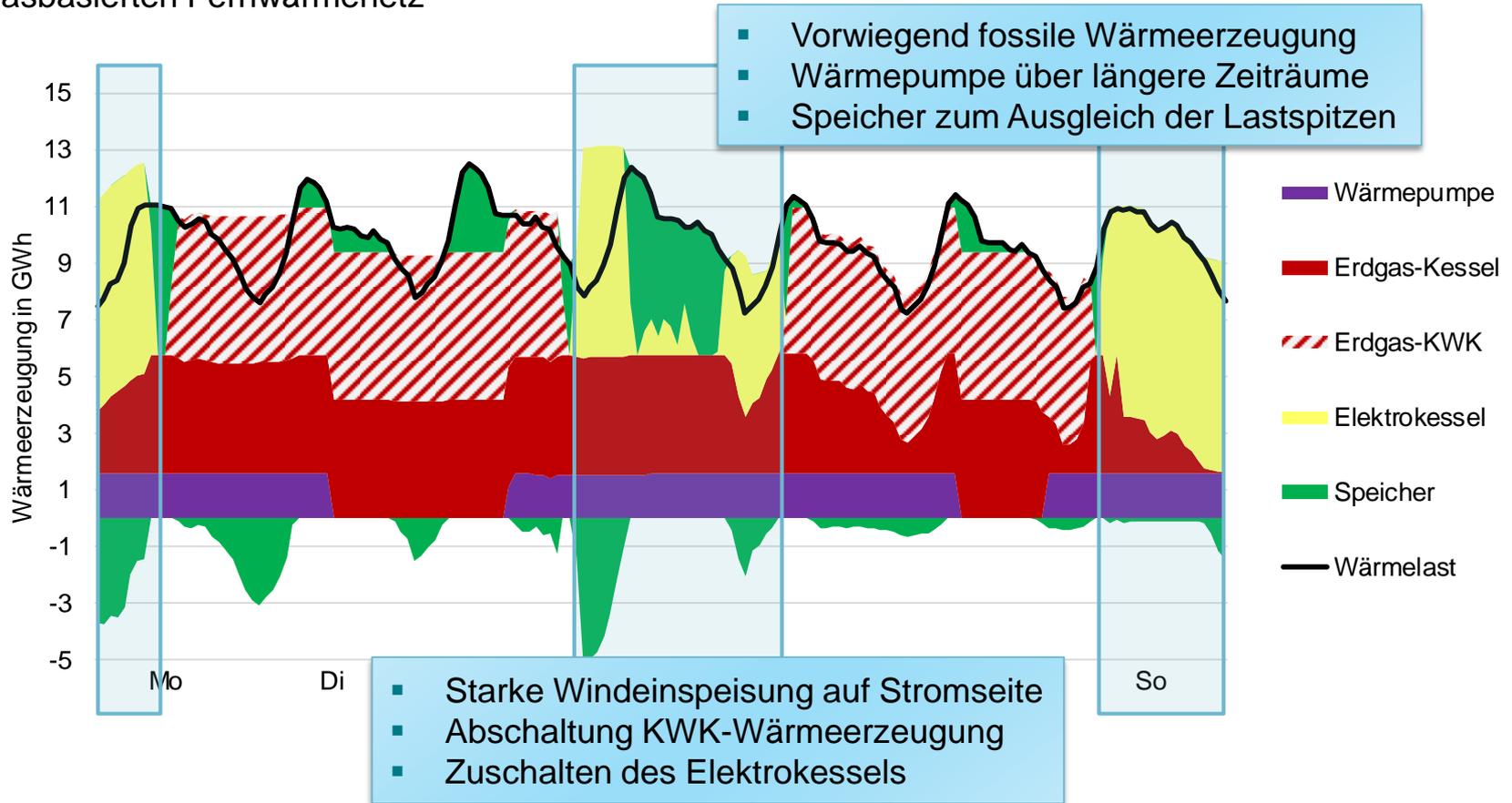
Ergebnisse – Szenario mit Wärmepumpe: Interaktion von Strom- und Wärmeerzeugung

Stündliche Stromerzeugung in einer modellierten Winterwoche (KW 2) im Jahr 2050



Ergebnisse – Szenario mit Wärmepumpe: Interaktion von Strom- und Wärmeerzeugung

Stündliche Wärmeerzeugung in einer modellierten Winterwoche (KW 2) im Jahr 2050 in einem gasbasierten Fernwärmenetz



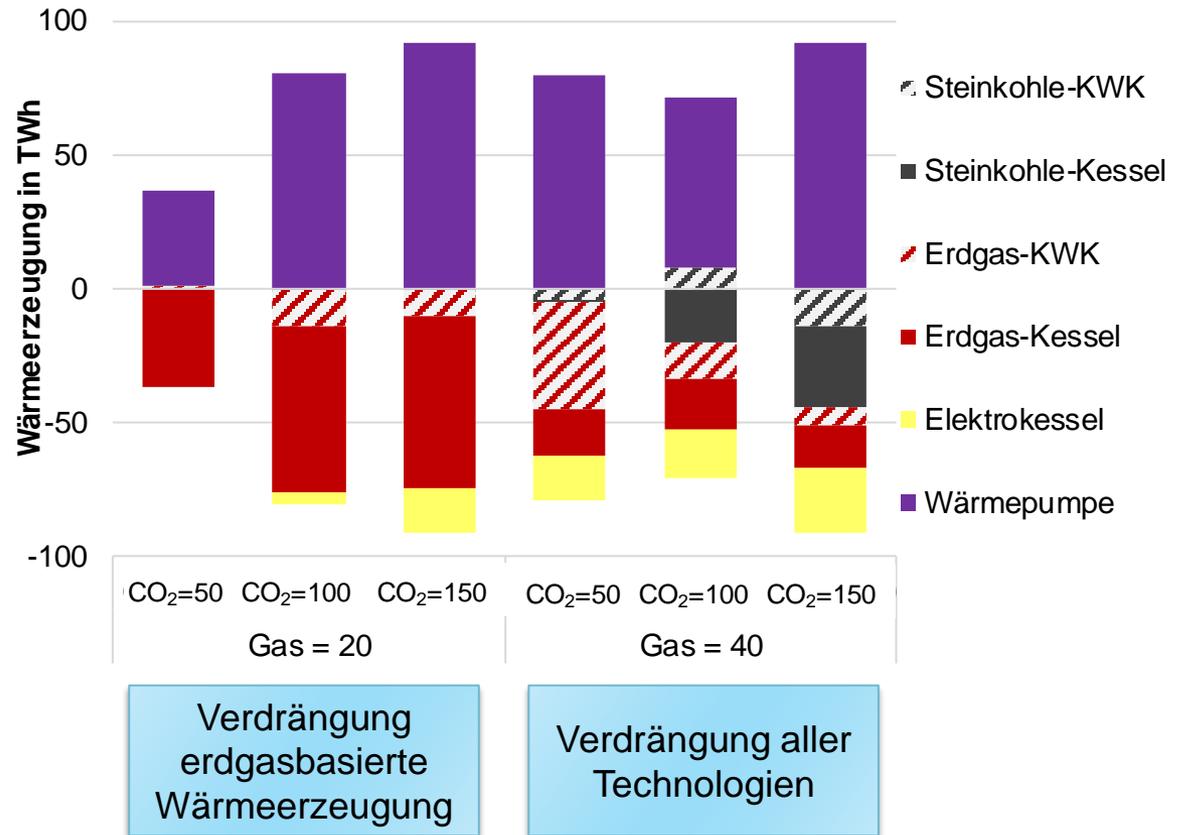
Ergebnisse – Einfluss des CO₂- und Gaspreises: Veränderungen im Wärmemix

Differenz der Wärmeerzeugung in den Wärmenetzen in Szenarien mit Wärmepumpe gegenüber den Szenarien ohne Wärmepumpe bei verschiedenen Gas- und CO₂-Preisen

- Positive Werte: Zunahme
- Negative Werte: Reduktion

Einsatz der Wärmepumpe in den Wärmenetzen führt zu Verdrängung der anderen Technologien zur Wärmeerzeugung

Mit steigendem CO₂-Preis sinkt fossile und steigt strombasierte Wärmeerzeugung



Ergebnisse – Einfluss des CO₂- und Gaspreises: Veränderungen im Stromsektor

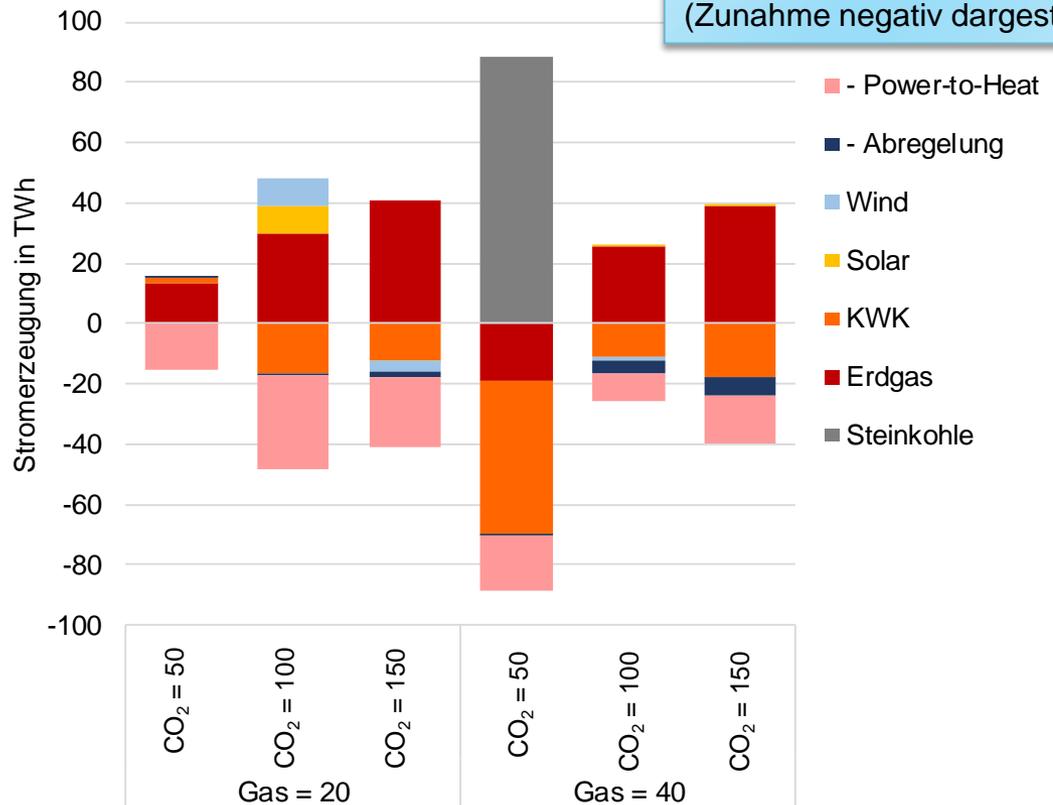
Differenz der Stromerzeugung in Szenarien mit Wärmepumpe gegenüber den Szenarien ohne Wärmepumpe bei verschiedenen Gas- und CO₂-Preisen

- Positive Werte: Zunahme
- Negative Werte: Reduktion

Reduktion der KWK-Stromerzeugung (Verdrängung der KWK auf der Wärmeseite)

Erhöhung Stromerzeugung aus Erdgas für den Einsatz der Wärmepumpe

Technologien mit „minus“ sind Stromverbrauchsgrößen (Zunahme negativ dargestellt)



Agenda

- Motivation und Fragestellungen
- Methodik
- Ergebnisse
- **Zusammenfassung und Ausblick**

Zusammenfassung und Ausblick

- Bei Verfügbarkeit der Wärmepumpe wird diese in den Wärmenetzen eingesetzt
 - Verdrängung fossile Wärmeerzeugung und Reduktion der KWK-Erzeugung
 - Betrieb der Wärmepumpe tendenziell über längere Zeiträume als Elektrokessel
- Mit zunehmendem CO₂-Preis sinkt die fossile und steigt die strombasierte Wärmeerzeugung
- Preiskonstellation hat großen Einfluss auf Verschiebungseffekte in der Stromerzeugung
- Effizienz der Wärmepumpe hat enormen Einfluss auf die Höhe des Einsatzes (nicht gezeigt)
- Einsatz der Wärmepumpe kann zu einer Emissionsreduktion führen, solange Steigerungen im Stromsektor niedriger ausfallen als Einsparungen in der Wärmeerzeugung (nicht gezeigt)

Die Wärmepumpe kann zukünftig eine relevante Erzeugungstechnologie in Wärmenetzen darstellen und dort zu einer kosteneffizienten Dekarbonisierung beitragen.

- Für zukünftige Untersuchungen:
 - Weiterentwicklung der modellierten Wärmepumpen für andere Wärmequellen
 - Erhöhung der Flexibilität im Gesamtsystem durch Ausweitung der Modellierung auf Europa und/oder Berücksichtigung weiterer Flexibilitätsoptionen (z.B. E-Mobility, Power-to-Gas)

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Christiane Bernath

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Breslauer Str. 48 76139 Karlsruhe

Telefon +49 721 6809-257

christiane.bernath@isi.fraunhofer.de

www.isi.fraunhofer.de

www.enertile.eu