

Agentenbasierte Modellierung und Simulation von Interaktionen zwischen Strom- und Wärmemarkt am Beispiel von Wärmepumpen

26. Workshop des Student Chapters der GEE
Karlsruhe, 17. Mai 2019

Evelyn Sperber

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Technische Thermodynamik | Energiesystemanalyse
E-Mail: Evelyn.Sperber@dlr.de

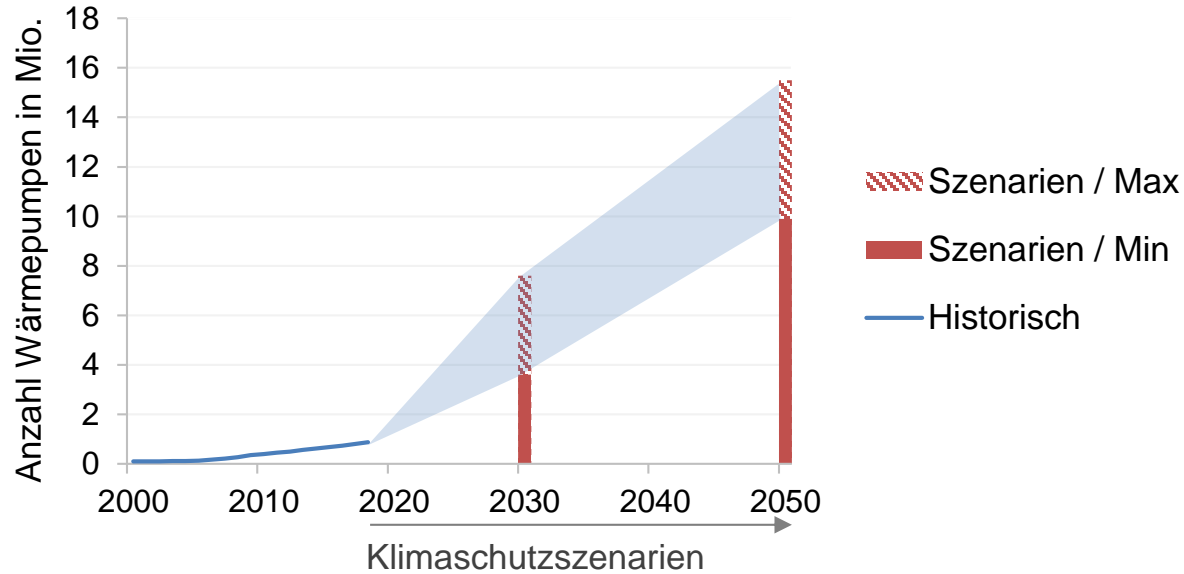


Wissen für Morgen



Motivation

Schlüsseltechnologie Wärmepumpen



*“Every consumer will be able to offer **demand response** [...]. **Dynamic electricity price** contracts [...] will allow consumers to respond to price signals and **actively manage** their consumption.”*

- Wärmepumpenbetreiber werden zu aktiven Marktteilnehmern
 - Neue Interaktionen → unbekannte Markteffekte
 - Neue Herausforderungen: ausbalancierte Bepreisung von Endkunden-Flexibilität



Forschungsfragen

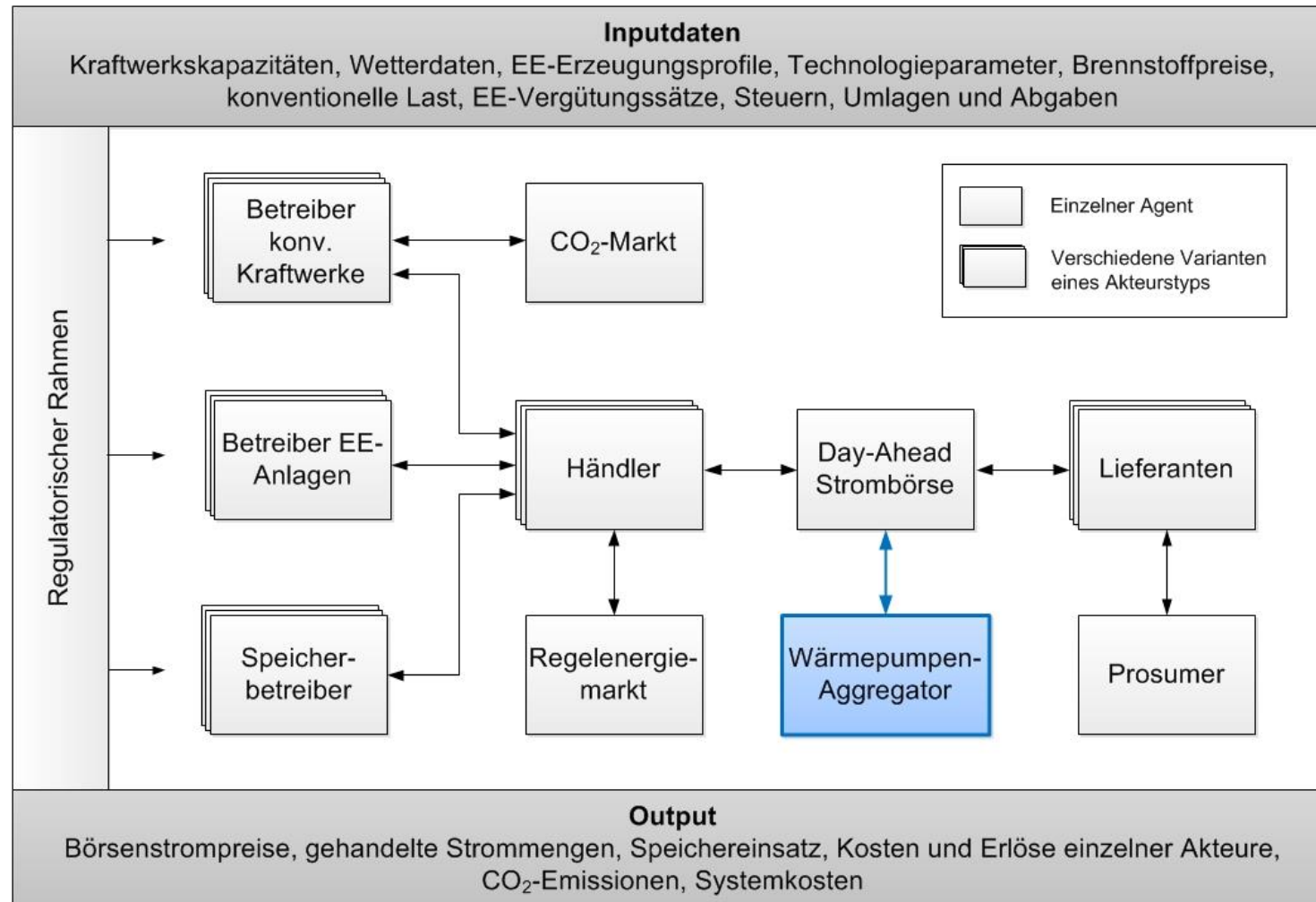
Welche Effekte hat der Betrieb von **einzelwirtschaftlich** gesteuerten Wärmepumpen in Wohngebäuden auf die Strommärkte?

Wie können politische Entscheidungsträger einzelne **Strompreiskomponenten** effektiv **dynamisieren**, um einen marktkonformen Betrieb von Wärmepumpen zu erreichen?

Welchen Einfluss haben dynamische Stromtarife auf die **Endkundenrechnungen** von Wärmepumpenbetreibern?



Das agentenbasierte Simulationsmodell AMIRIS



Autonome Agenten mit eigenen

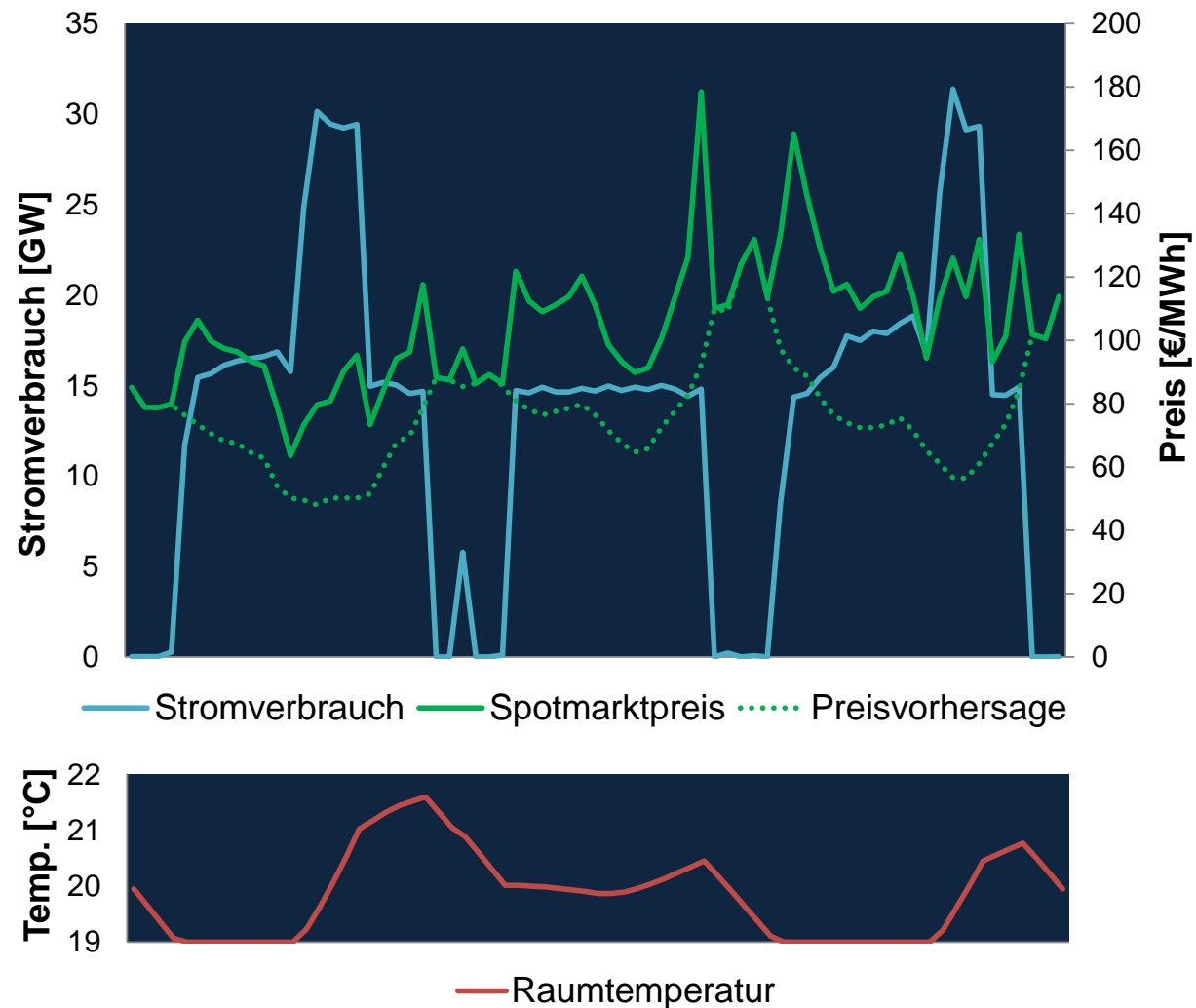
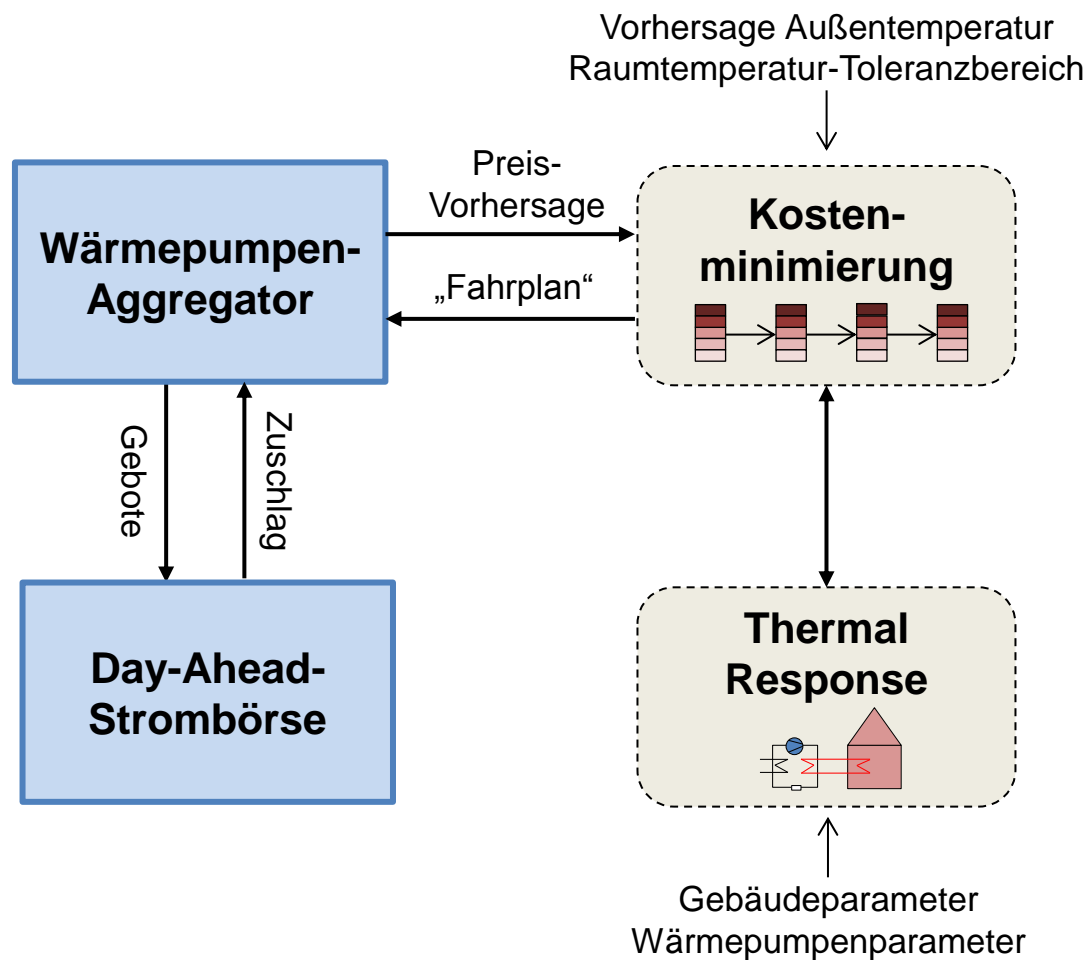
- Attributen
- Entscheidungsalgorithmen
- Beziehungen zu anderen Agenten

Systemverhalten resultiert aus Verhalten der einzelnen Agenten (**Emergenz**)

Jeder **Wärmepumpen-Aggregator** koordiniert Systeme mit gleichem

- Wärmepumpentyp
- Gebäudetyp
- Nutzerverhalten

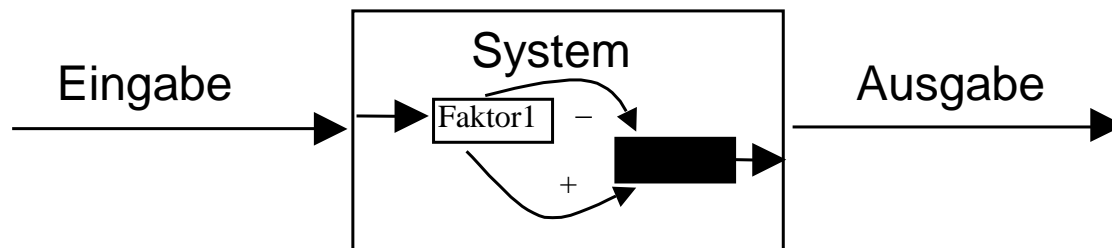
Der Agent „Wärmepumpen-Aggregator“



Internes Modell der „Thermal Response“ von Gebäuden in AMIRIS

- Funktionen:
 - Aktivierung der Gebäudespeichermasse
 - Berücksichtigung des Nutzerverhaltens
 - Repräsentation des deutschen Wohngebäudebestands
 - Wetterabhängigkeit der Heizlast
- Herausforderung:

Komplexe Gebäudethermodynamik möglichst einfach und hinreichend genau in AMIRIS abbilden

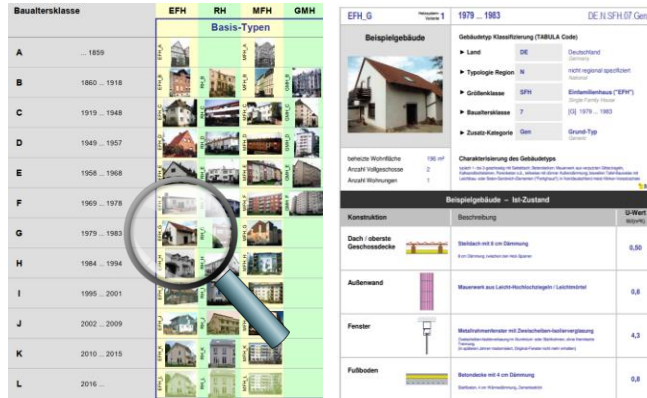


Quelle: R. Brause: „Adaptive Modellierung und Simulation“, 2010



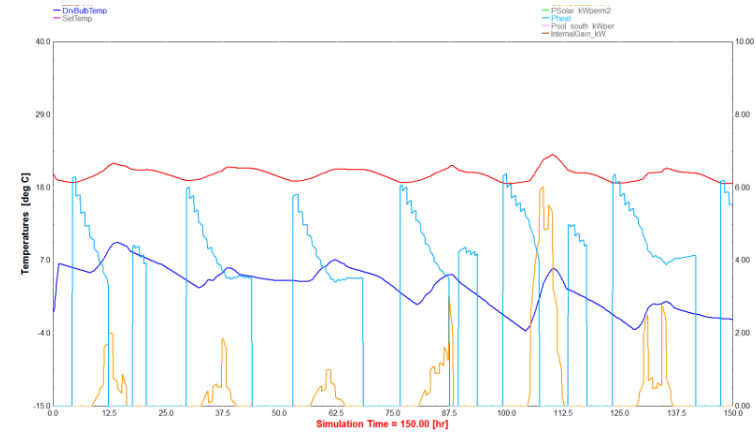
Grey-Box-Modellierung der „Thermal Response“ von Gebäuden

Gebäudetypologisierung

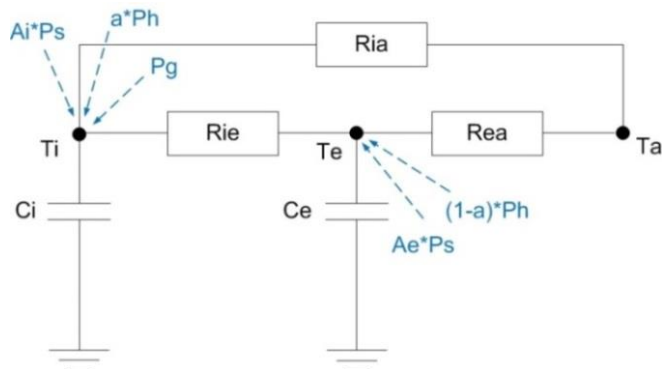


Quelle: T. Loga et al., „Deutsche Wohngebäudetypologie“, 2015

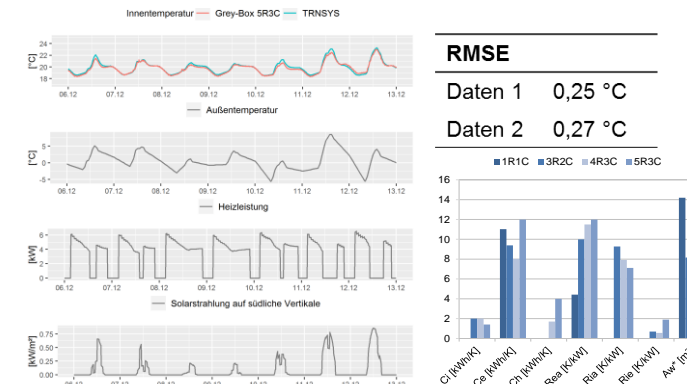
TRNSYS → Referenzdatensatz



Modellformulierung



Parameterschätzung



Simulationsexperiment

Szenarien

Referenz	Basisfall ohne Wärmepumpen (WP)
Inflexible WP	Referenz + 60 GW _{th} WP-Leistung, Raumtemperatur Heizperiode: 19 – 19,2°C
Flexible WP	Referenz + 60 GW _{th} WP-Leistung, Raumtemperatur Heizperiode: 19 – 23°C

Ziel: Vergleich der Strommarkteffekte in den Szenarien

Modellannahmen:

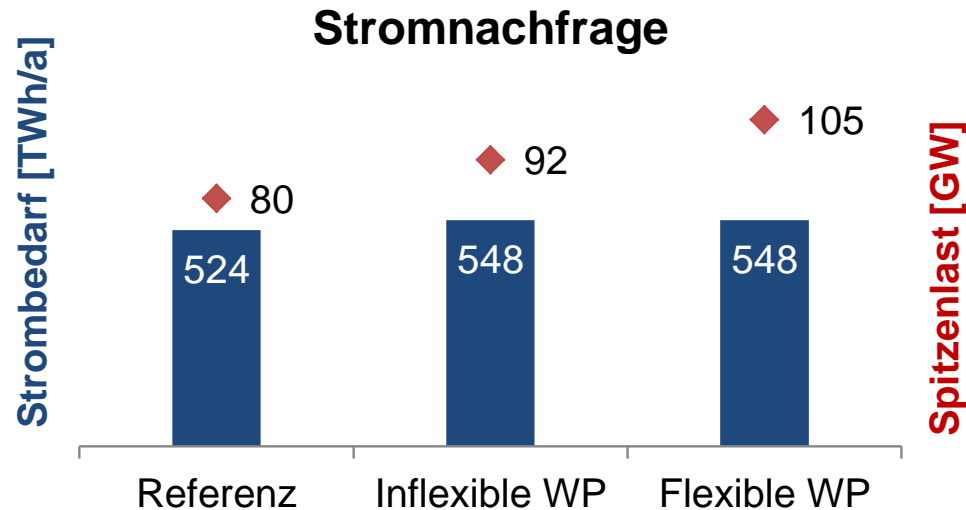
- 1 prototypischer Wärmepumpen-Aggregator mit 24 h „perfect foresight“
- Keine weiteren Flexibilitäten im System
- 1 Marktzone
- Kein modellendogener Zubau von Kapazitäten

Szenariorahmen:

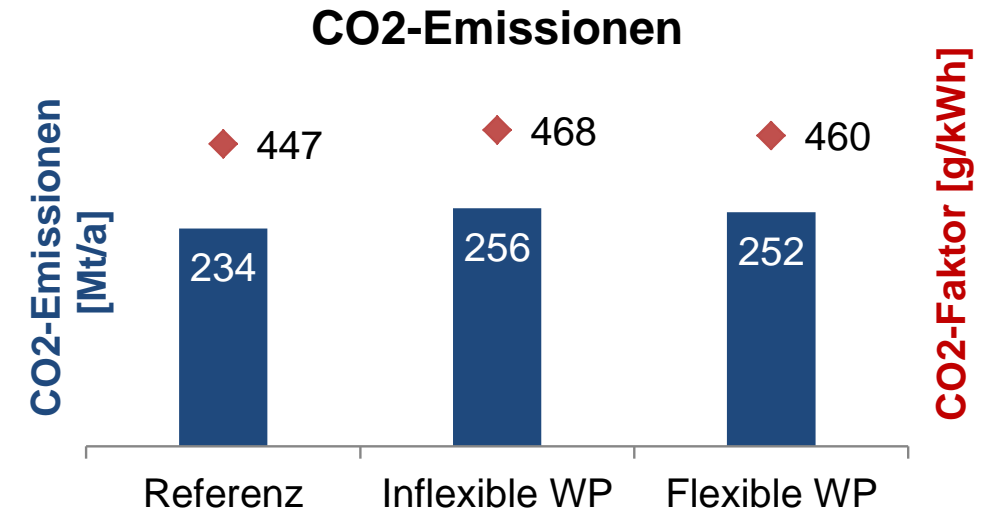
- Stromerzeugungskapazitäten:
 - Konventionelle: 73 GW
 - Wind: 64 GW
 - PV: 70 GW
 - Sonstige EE: 14 GW
- Stromverbrauch (ohne WP): 524 TWh/a | 80 GW_p
- Vergütungssystem EE: gleitende Marktprämie
- Wetterjahr 2012
- CO₂-Preis = 40 €/t
- EE-Anteil ≈ 50% (modellendogen)
- Jahresarbeitszahl WP ≈ 3,5 (modellendogen)



Einfluss auf Stromnachfrage und stromseitige CO₂-Emissionen



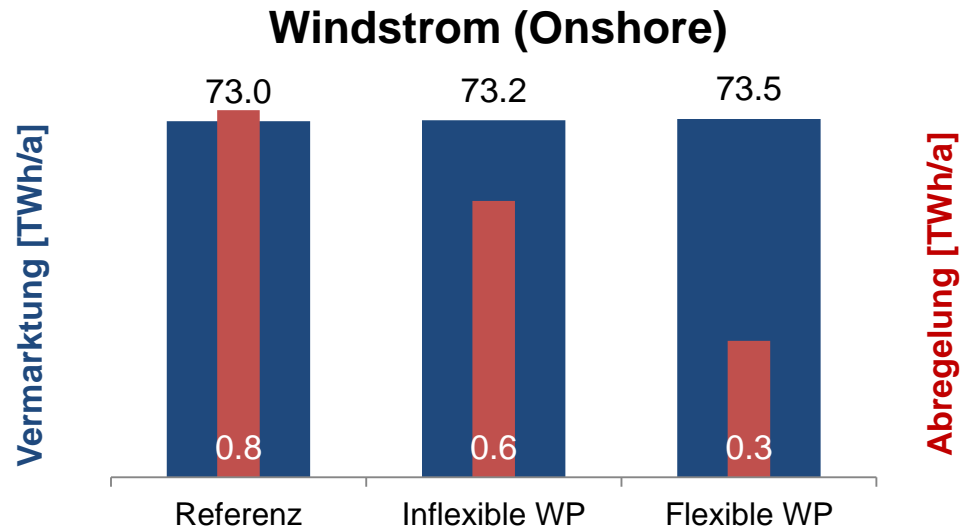
- Inflexible WP erhöht Spitzenlast in kritischster Stunde des Referenzfalls → Knappheit
- Flexible WP: keine Knappheit, neue Spitzen



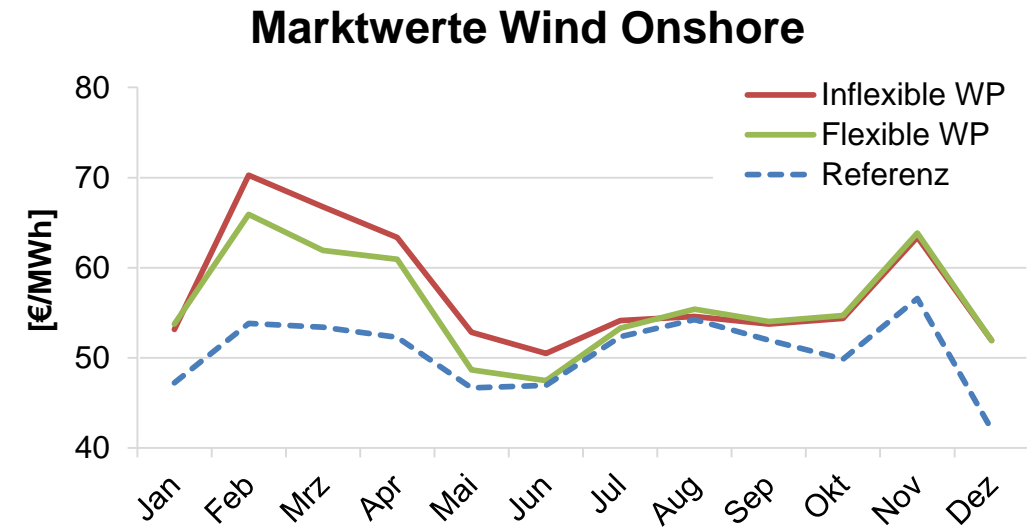
- WP erhöhen Auslastung konventioneller Kraftwerke
- Flexible WP nutzen mehr Strom aus günstigeren, CO₂-ärmeren Kraftwerken



Integration von Windstrom



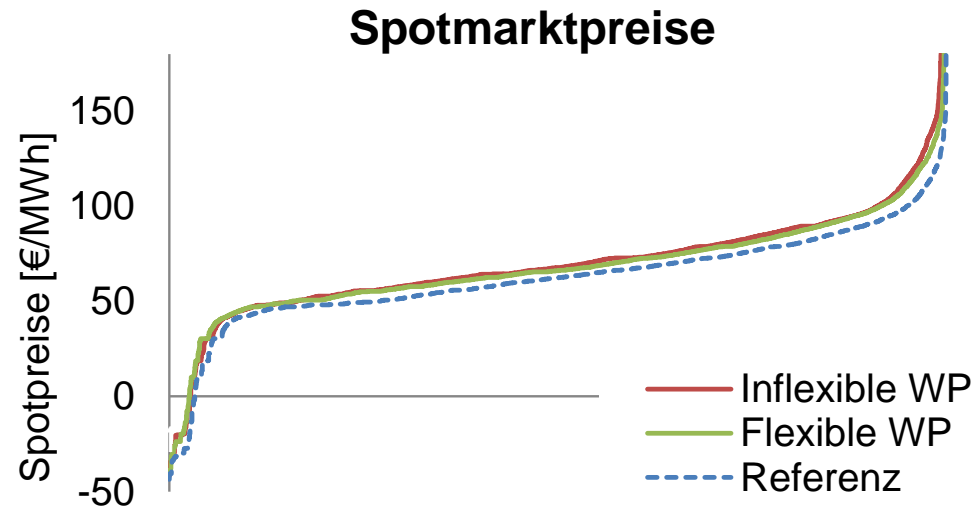
- Integration von zusätzlich 0,5 TWh durch flexible WP
 $\hat{=}$ 2% des Strombedarfs der WP



- Höhere Marktwerte durch WP-Einsatz
 → geringere Marktprämie
 → geringere Förderkosten

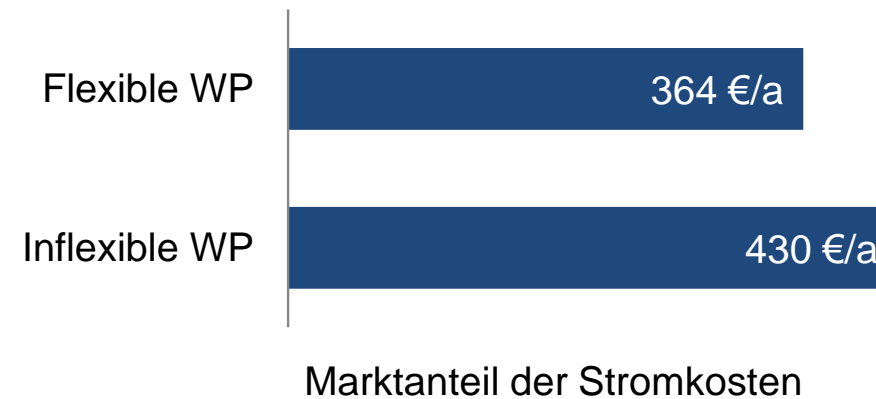


Effekte auf Preise und Kosten



- WP erhöhen Spotpreise moderat
 - Referenz: \varnothing 62 €/MWh
 - Inflexible WP: \varnothing 71 €/MWh
 - Flexible WP: \varnothing 68 €/MWh
- 5 h Knappheitspreise bei inflexibler Fahrweise

Endkundenrechnung



- Ersparnis für Betreiber bei flexibler Fahrweise ca. 66 €/a



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Agentenbasierte Modellierung und Simulation zur Analyse komplexer Energiesysteme mit autonom agierenden Marktakteuren, Koordinationsmechanismen und regulatorischem Rahmen
- Wärmepumpen...
 - steigern Spitzenlast und CO₂-Emissionen im Stromsektor
 - erhöhen Spotmarktpreise und Marktwerte von Windstrom
- Flexible Fahrweise bringt begrenzt Erleichterung für Strommarkt und Geldbeutel

Einige Chancen,
neue Herausforderungen!

Nächste Schritte

- Ausdifferenzierung der Wärmepumpen-Aggregatoren
- Modellierung von Real Time Pricing unter Berücksichtigung
 - eingeschränkter Prognosefähigkeit
 - konkurrierender Flexibilitätsoptionen

