

Allokationssignale für Kraftwerke

- Bewertungsgrundlage für exogene Ansätze-

- Einleitung
- Analyse von Allokationssignalen
- Methodik
- Exemplarische Untersuchungen

Henning Schuster

12. Symposium Energieinnovation Graz, 16. Januar 2012

Motivation

- Vor Energiemarktliberalisierung: Berücksichtigung von Erzeugungs- und Übertragungskosten bei Standortentscheidung von Kraftwerken
- Heute: Bei Standortentscheidung von Erzeugungskapazitäten wird Auswirkung auf Übertragung der elektrischen Energie nicht berücksichtigt
 - ◆ Netzanschluss- und Netzausbaupflicht für Netzbetreiber
 - ◆ Kosten für Netzbetrieb und Netzausbau trägt Verbraucher (Netzentgelte)
- Neben Zubau erneuerbarer Energien auch Bedarf an neuen Kraftwerken in Deutschland
- ➔ Gefahr gesamtwirtschaftlich ineffizienter Kraftwerksallokationen

- **Allokationssignale** setzen Anreize für gesamtwirtschaftlich effiziente Kraftwerksstandorte
- ➔ Mögliche Verbesserung der gesamtwirtschaftlichen Effizienz der Energieversorgung
- Vorteilhaftigkeit und Ausgestaltung jedoch bislang unbekannt

Allgemeines Ziel des Forschungsvorhabens

Untersuchung von Allokationssignalen für Erzeugungskapazitäten

Gesamtwirtschaftliche Effizienz der elektrischen Energieversorgung

- Gesamtwirtschaftliche Effizienz durch Kosten zur Erfüllung von Versorgungsaufgabe
- Kosten für Versorgungsaufgabe umfassen Erzeugungs- und Übertragungskosten
- Je geringer die Gesamtkosten bei einer Versorgungsaufgabe, desto höher die Effizienz
- ➔ Kraftwerksstandort hat Auswirkung auf gesamtwirtschaftliche Effizienz

Erzeugungskosten	Übertragungskosten
Brennstoffkosten	Netzinfrastrukturkosten
Kraftwerksbetriebskosten	Netzbetriebskosten
...

Beispiel Standort Steinkohlekraftwerk

Lastnaher Standort	↑	↓
Lastferner Standort (Küste)	↓	↑



➔ Steinkohletransport
➔ Stromtransport

- ➔ Wie können Anreize für gesamtwirtschaftlich effiziente Standorte entstehen?

Allokationssignale (i)

Definition Allokationssignal

Ein Allokationssignal setzt Anreize für gesamtwirtschaftlich effiziente Standorte von Erzeugungskapazitäten durch eine Internalisierung der Gesamtkosten bei einer Standortentscheidung.

- Internalisierung der Gesamtkostenwirkung bei Standortentscheidungen kann durch verschiedene Ansätze erreicht werden

Marktendogene Allokationssignale

Anreize durch ortsabhängige Erlöspotenziale

Nodal Pricing

Market Splitting

Marktbasierter Redispatch

Exogene Allokationssignale

Anreize durch Vorgabe ortsabhängiger Größen

Ortsabhängiger
Einspeisetarif

Ortsabhängige
Einspeisekapazitäten

Marktendogene Allokationssignale

- Nodal Pricing: Simultane Optimierung von Kraftwerkseinsatz und Netznutzung
- Market Splitting: Aufteilung von Marktgebiet in mehrere Preiszonen im Engpassfall
 - ➔ Anreiz zu lastnahen, netzentlastenden Kraftwerksstandorten
 - ➔ Allokative Wirkung durch prognostizierte regionale Preisunterschiede
- Änderung von Marktgebietszuschnitt, der Erzeuger- oder Netzseite beeinflussen regionale Preisunterschiede und damit die allokative Wirkung
- Teilweise intransparente und komplexe Preisbildungsmechanismen
 - ➔ Prognose von regionalen Preisunterschieden aufwendig und mit Unsicherheiten verbunden

- Marktbasierter Redispatch: Auktion von Redispatchkapazitäten
 - ➔ Allokative Wirkung durch prognostizierte regionale Erlösunterschiede
- Anreiz zur Marktmachtausübung durch Wechselwirkung von Strom- und Redispatchmarkt
 - ➔ Hohe Mengenunsicherheit, da Redispatch geeignet bei temporären Netzengpässen

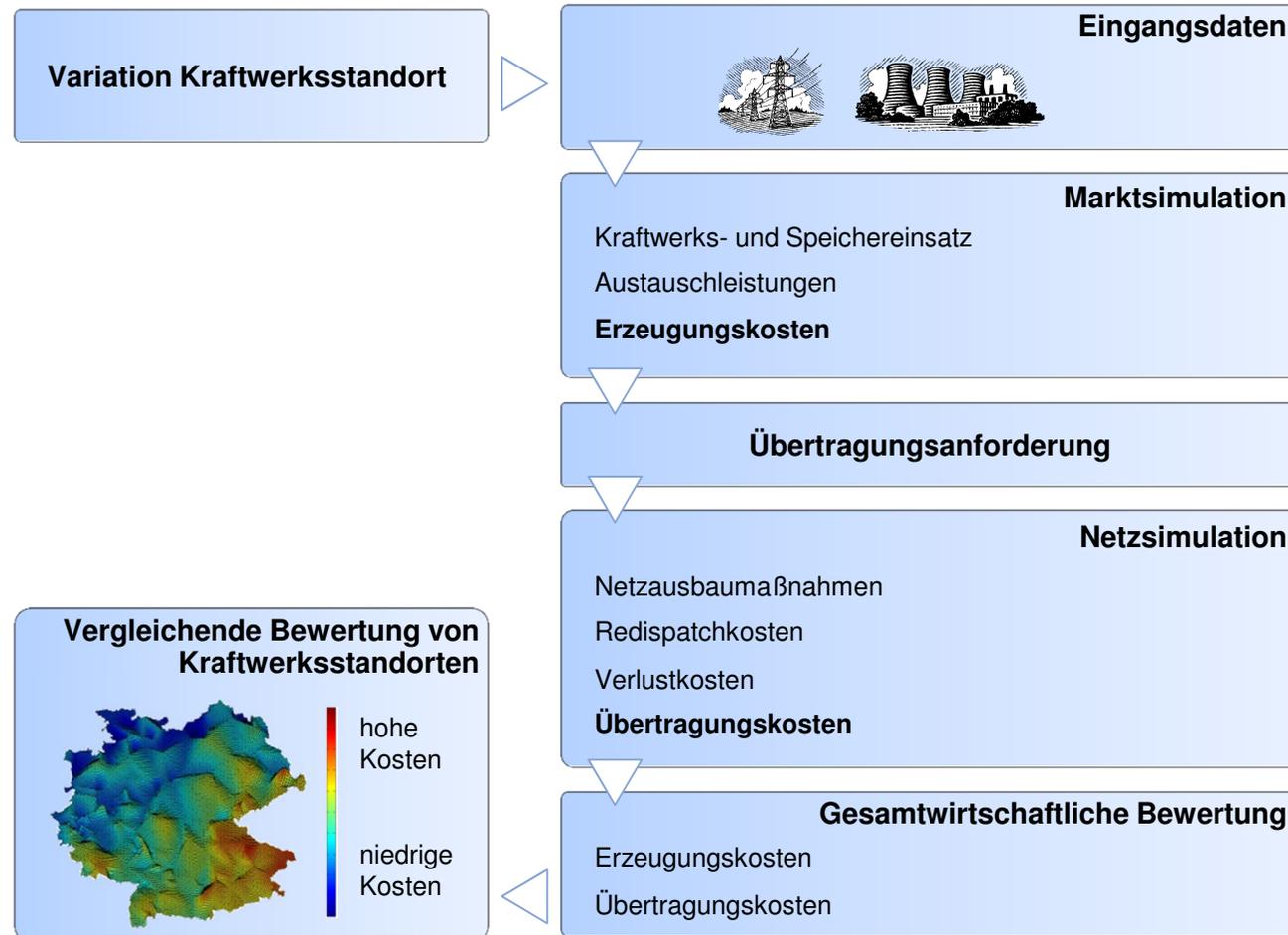
Exogene Allokationssignale

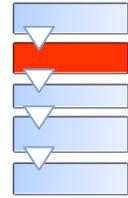
- Exogene Vorgabe **ortsabhängiger Einspeisetarife** als zeitlich konstante Zahlung (G-Komponente) oder einmaligen Bonus/Malus
- Aufwandsneutral oder mit Kostenbeteiligung von Erzeugung an Übertragungskosten
- Ausgestaltung als Leistungspreis (international üblich) oder Arbeitspreis

- Exogene Vorgabe **ortsabhängiger Einspeisekapazitäten**
- Für gesamtwirtschaftlich effiziente Netzknoten können Anschlusskapazitäten für Kraftwerksanschlüsse „freigegeben“ werden (Kataster)
- Differenzierte Vorgabe für unterschiedliche Kraftwerkstypen
- Zeitliche Anpassung von Kataster für jeweils nächste Kraftwerksinvestition

- Anwendung exogener Ansätze aktuell v. a. in Energiesystemen mit Longitudinalstruktur
- Analyse bestehender Verfahren zeigt starke Vereinfachungen und Schwächen
 - ◆ UK: Anwendung von Gleichstromlastfluss mit einem Netznutzungsfall
 - ◆ Schweden: Regionale Unterschiede basieren auf Breitengrade von Kraftwerksstandort
- ➔ **Bestehende Verfahren nicht auf komplexere Energiesysteme übertragbar**

Bewertung von Kraftwerksstandorten - Methodisches Vorgehen





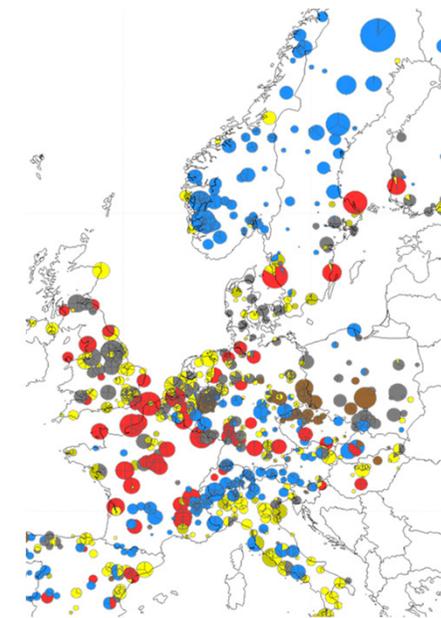
Bewertung von Kraftwerksstandorten - Marktsimulation

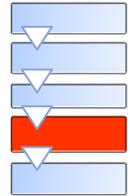
- Investitionskosten und Betriebskosten eines Kraftwerks sind standortabhängig
- Optimaler Kraftwerks- und Speichereinsatz im gesamten Strommarkt ist abhängig von regionaler Verteilung der Erzeugungskapazitäten (Kraftwerksallokation)
- ➔ Vergleichende Bewertung von Kraftwerksstandort durch gesamte Erzeugungskosten bei optimalem Kraftwerks- und Speichereinsatz und standortabhängigen Investitionskosten

$$\dot{K}_{Erzeugung} = \sum_{i=1}^n \dot{Q}_i \cdot \left(\frac{c_{Brennstoff,i}}{\eta_i} + c_{CO2} \frac{E_i}{\eta_i} \right) + P_i \cdot c_{var} + \dot{K}_{Inv} (\text{Standort})$$

Marktsimulationsverfahren IAEW

- Abbildung hydraulischer und thermischer Kraftwerkspark
- Anforderung der Last- und Reservedeckung
- Betriebsrestriktionen von Erzeugungseinheiten
- Übertragungskapazitäten (NTCs) zwischen Marktgebieten
- ➔ Kostenoptimaler Kraftwerks- und Speichereinsatz bei zu bewertenden Kraftwerksstandort





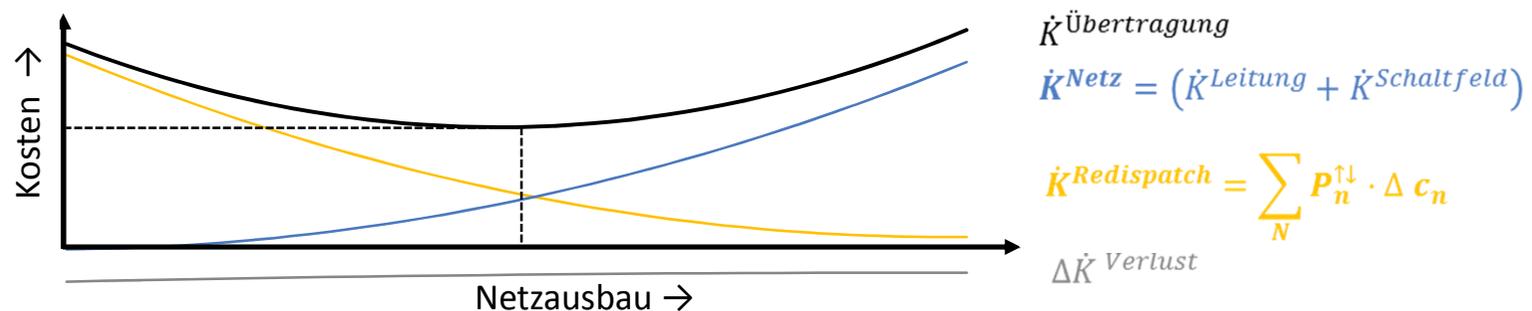
Bewertung von Kraftwerksstandorten - Übertragungskosten

Technische Randbedingungen Übertragungsnetz

- Thermische Betriebsmittelbelastbarkeit (n-1), Spannungshaltung, Stabilität, Kurzschlussstromfähigkeit
- Kraftwerksstandort beeinflusst Höhe und zeitliche Struktur von Verletzungen technischer Randbedingungen

Maßnahmen bei Verletzung technischer Randbedingungen

- Netzseitige Maßnahmen (Leitungsausbau) und erzeugerseitige Maßnahmen (Redispatch)
- Umfang und optimale Kombination von Maßnahmen abhängig von Kraftwerksstandort
- ➔ Bewertung von Kraftwerksstandort durch Kosten optimaler Maßnahmenkombination



➔ Bewertungskriterium $\dot{K}^{\text{Übertragung}} = \min (\dot{K}^{\text{Netz}} + \dot{K}^{\text{Redispatch}} + \Delta \dot{K}^{\text{Verlust}})$

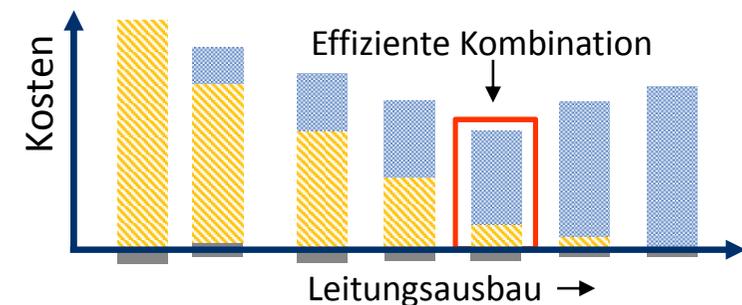
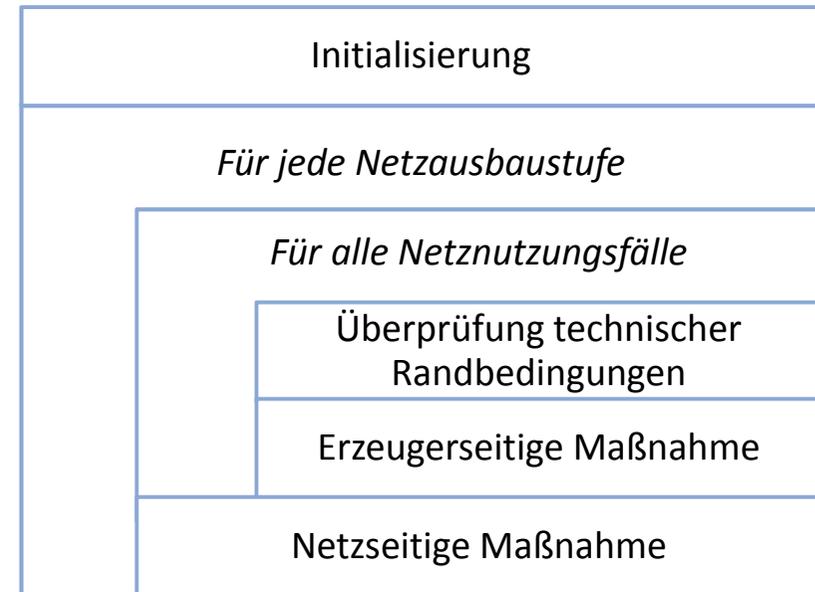
Bewertung von Kraftwerksstandorten - Übertragungskosten

- Methodik zur Abschätzung standortabhängiger Netzausbaukosten

Methodisches Vorgehen

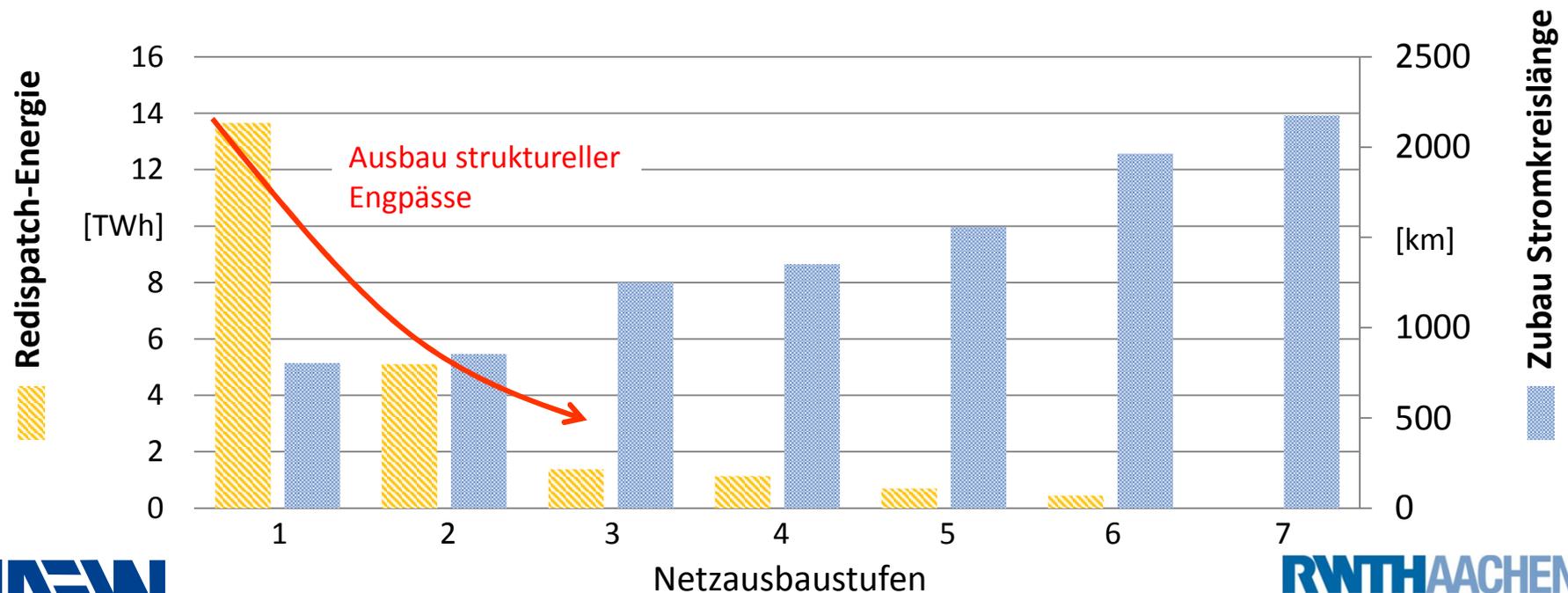
- Netztopologie, Allokation von Last, EE und regelfähigen Einspeisungen
- Nebenbedingung: thermische Belastung (n-1)
- Schrittweise Verstärkung der Netztopologie
- Verstärkung von Trasse mit höchster Relevanz für Übertragungsaufgabe
 - ◆ Überlastung im Grundlastfall
 - ◆ Zweig-Zweig-Sensitivitäten
- Schrittweiser Ausbau struktureller Engpässe
- Redispatch bei temporären Engpässen
- Vergleich von Kosten diskreter Ausbaustufen

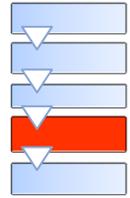
$$\dot{K}_{\text{Übertragung}} = \min(\dot{K}^{\text{Netz}} + \dot{K}^{\text{Redispatch}} + \Delta \dot{K}^{\text{Verlust}})$$



Ausbaukosten für deutsches Übertragungsnetz 2022 (i)

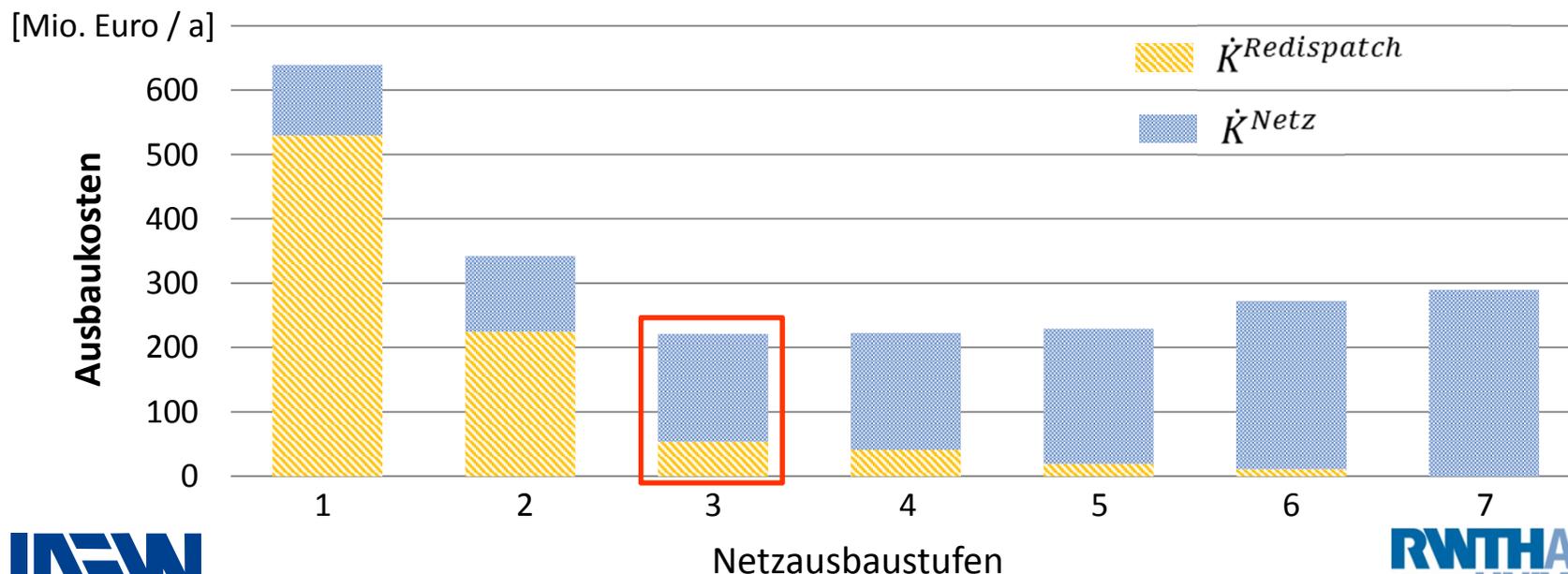
- Exemplarische Anwendung von Methodik zur Bestimmung von Übertragungskosten in Deutschland für ein Szenario 2022
- Zunächst Netzausbau, da kein gültiger Netzzustand durch rein erzeugerseitige Maßnahmen möglich
- Starke Reduktion von Redispatchbedarf durch Ausbau struktureller Engpässe
- Weiterer Netzausbau führt zu geringer Reduktion von Redispatchbedarf





Ausbaukosten für deutsches Übertragungsnetz 2022 (ii)

- Exemplarische Anwendung von Methodik zur Bestimmung von Übertragungskosten in Deutschland
- Zunächst Netzausbau, da kein gültiger Netzzustand durch rein erzeugerseitige Maßnahmen
- Starke Reduktion von Redispatchbedarf durch Ausbau struktureller Engpässe
- Weiterer Netzausbau führt zu geringer Reduktion von Redispatchbedarf
- ➔ Kosteneffizienteste Kombination von Maßnahmen durch Netzausbau bei strukturellen Engpässen und erzeugerseitigen Eingriffen bei temporären Engpässen



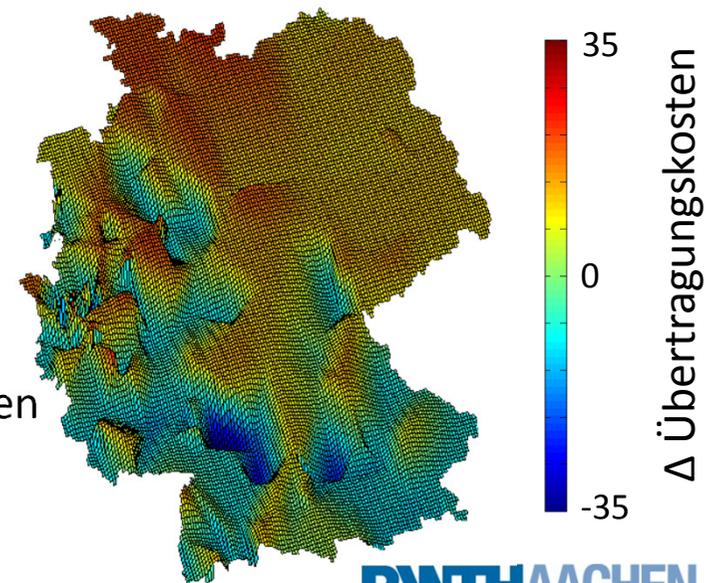
Auswirkung von Kraftwerksstandort auf Gesamtkosten (i)

Methodisches Vorgehen

- Referenz für Kraftwerksallokation bildet ein energiewirtschaftliches Szenario 2022
- Variation von Netzanschlussknoten eines Gaskraftwerks
- Für jeden möglichen Netzanschlussknoten wird optimale Kombination erzeuger- und netzseitiger Maßnahmen bestimmt im Vergleich zur Referenz bestimmt
- Keine Berücksichtigung von ortsabhängigen Investitionskosten
- Keine ortsabhängigen Gastransportkosten bei Gaskraftwerken

Untersuchungsergebnis

- Standortbewertung für Gaskraftwerk (800 MW)
- Notwendiger Netzausbau und Redispatchbedarf von Kraftwerksstandort abhängig
- Standorte ehemaliger Kernkraftwerke vor allem in Süd-/Südwestdeutschland effizient
- Δ Übertragungskosten zwischen Kraftwerksstandorten maximal 59 Millionen Euro pro Jahr



Zusammenfassung

- Diskussion eines Allokationssignals zur Koordination von Kraftwerks- und Netzplanung
- Verbindung insbesondere mit Kapazitätsmarktkonzepten möglich

- Exogene Allokationssignale sind geeignet, jedoch wird Bewertungsverfahren benötigt
- ➔ Entwicklung von Methodik zur gesamtwirtschaftlichen Bewertung von Kraftwerksstandorten
 - ◆ Detaillierte Abbildung vom Einfluss eines Kraftwerksstandorts auf den kostenoptimalen Kraftwerks- und Speichereinsatz
 - ◆ Detaillierte Modellierung erzeuger- und netzseitiger Maßnahmen bei Verletzung technischer Randbedingungen im Übertragungsnetz

- Exemplarische Untersuchungen zeigt
 - ◆ Standort eines Kraftwerks beeinflusst optimale Kombination erzeuger- und netzseitiger Maßnahmen sowie Höhe der Übertragungskosten

- **Internalisierung der Übertragungskosten bei Standortentscheidungen von Kraftwerken könnte gesamtwirtschaftliche Effizienz der Energieversorgung erhöhen**