



Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik  
Fachgebiet Elektrische Energieversorgung  
Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann



Leibniz  
Universität  
Hannover

# Kraftwerkseinsatzplanung in einem integrierten Netz- und Strommarktsimulator

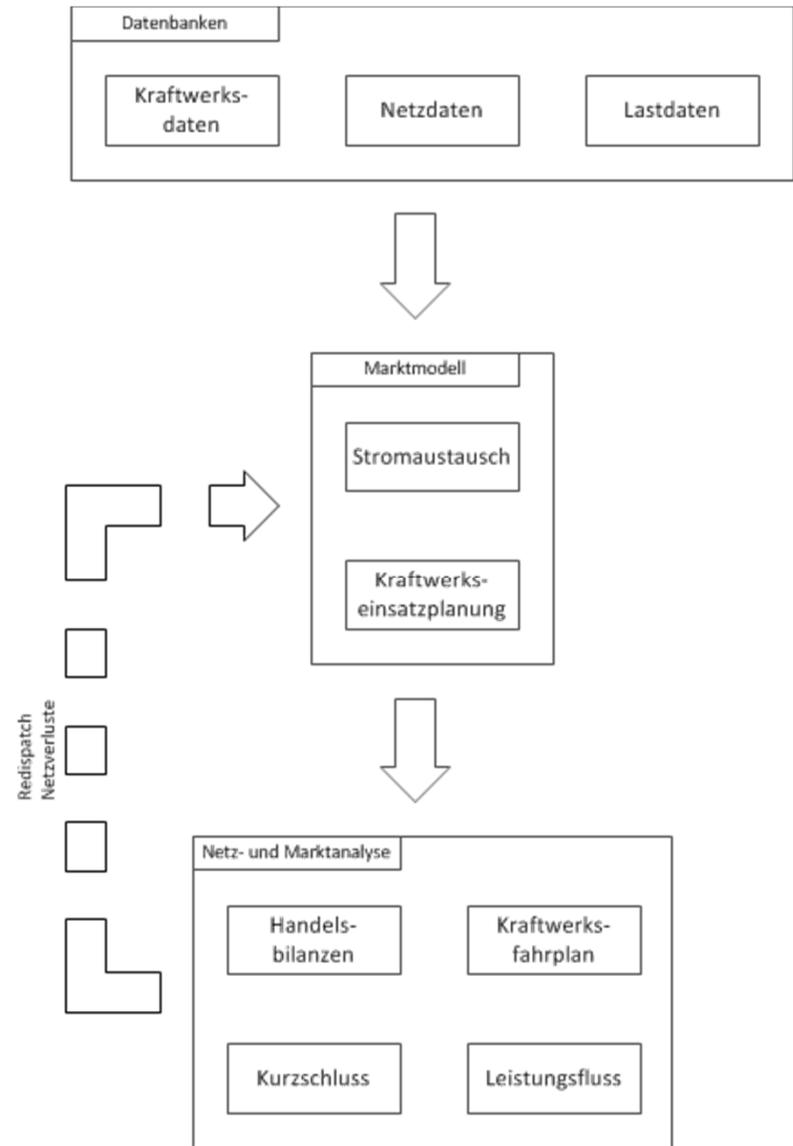


Torsten Rendel, 12. Symposium Energieinnovation 15. - 17.02.2012

## Gliederung

- Einleitung
- Datenbanken
- Marktmodell
- Netz- und Marktanalyse
- Ausblick und Ziele

- Einleitung
- Datenbanken
- Marktmodell
- Netz- und Marktanalyse
- Ausblick und Ziele



## Motivation

- Liberalisierung des Strommarktes
- Dezentrale Energieerzeugung
- Zubau von EEG-Anlagen
- Ausbau der Kuppelleitungskapazitäten zwischen den europäischen Staaten und anderen Netzverbänden
- Neue Energieübertragungstechniken
- Zukünftige Energieversorgungskonzepte
  - Kernenergieausstieg
  - Elektromobilität
  - Ausbau von Speichern
  - ...

## Zielsetzung

- Es wird ein Modell benötigt, welches die physikalischen Auswirkungen auf das europäische Übertragungsnetz beschreibt
- Gemeinsame Simulation von Strommarkt und Übertragungsnetzen
- Identifizierung von zukünftigen Netzengepässen auf Basis bewährter Netzanalysemodelle
- Daten werden aus öffentlich zugänglichen Quellen bezogen
  - Netzkarten
  - Öffentlich zugängliche Kraftwerksdatenbanken
  - Lastzeitreihen der ENTSO-E
  - Erzeugungszeitreihen aus öffentlichen Quellen



- Einleitung
- Datenbanken
- Marktmodell
- Netz- und Marktanalyse
- Ausblick und Ziele

## Europäisches Regionenmodell

- Die Basis bildet ein europäisches Regionenmodell mit 421 Regionen

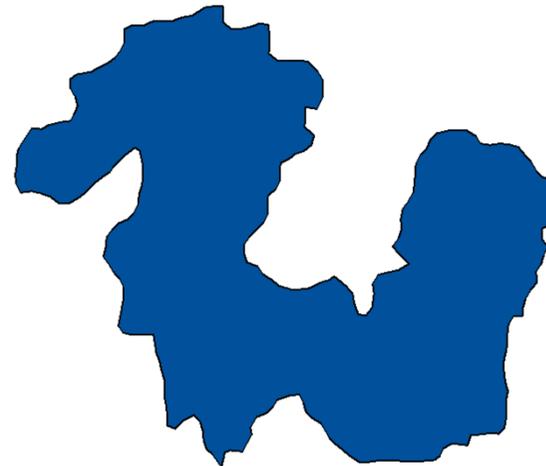


- Datenbanken für Kraftwerke, Last und Netz werden regionenbezogen angelegt
- Daten werden aus öffentlich zugänglichen Quellen bezogen

## Regionenbezogene Daten

- Regionenbezogene Daten
  - Kraftwerksdaten ca. 3.800 MW
  - Lastdaten ca. 615 MW
  - Bevölkerungsdaten 575.000
  - Netzdaten 10 Knoten 512 km Leitungen
  - Geographische Daten

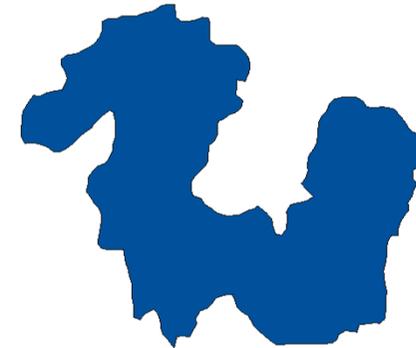
Region DE31  
(Hannover)



## Kraftwerksdaten

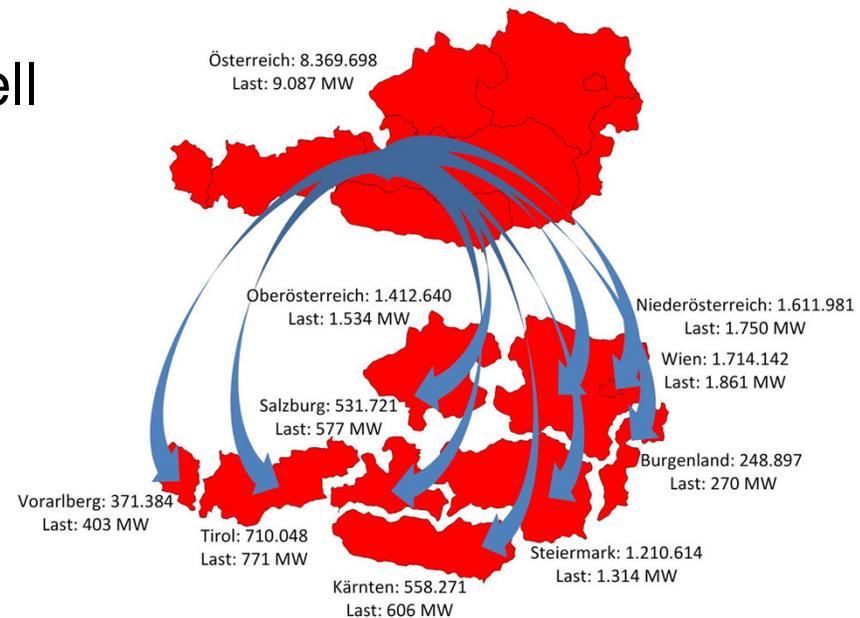
- Kraftwerksdaten
  - ID-Nummer *DE0271*
  - Name *Grohnde (KWG)*
  - Installierte Leistung *1300 MW*
  - Baujahr *1985*
  - Wirkungsgrad *34 %*
  - Kraftwerkstyp *Druckwasserreaktor*
  - Brennstoff *Uran*
  - Netzanschlussknoten *Umspannwerk Grohnde*
- ca. 3000 Kraftwerke

Region DE31  
(Hannover)



## Lastdaten

- Lastdaten
  - Stündliches Zeitraster der Last
  - Lastdaten liegen für die Mitgliedsstaaten der ENTSO-E vor
  - Umrechnung der Lastgänge auf einzelne Regionen mit Hilfe der Bevölkerungszahlen
  - Lastdaten liegen im Modell regionenbezogen vor

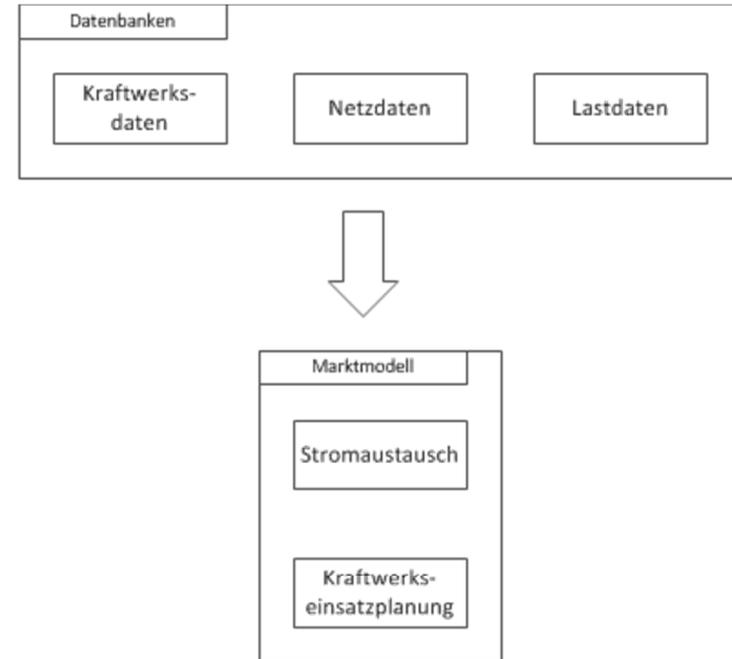


## Netzdaten

- Netzdaten
  - 220-kV und 380-kV-Ebene
  - Gleichstromverbindungen
  - ca. 3.000 Knoten
  - ca. 4.000 Leitungen
  - ca. 400 Transformatoren
  - Anzahl der Systeme
  - Länge
  - Impedanzen
  - Koordinaten der Netzknoten



- Einleitung
- Datenbanken
- **Marktmodell**
- Netz- und Marktanalyse
- Ausblick und Ziele



## Marktmodell

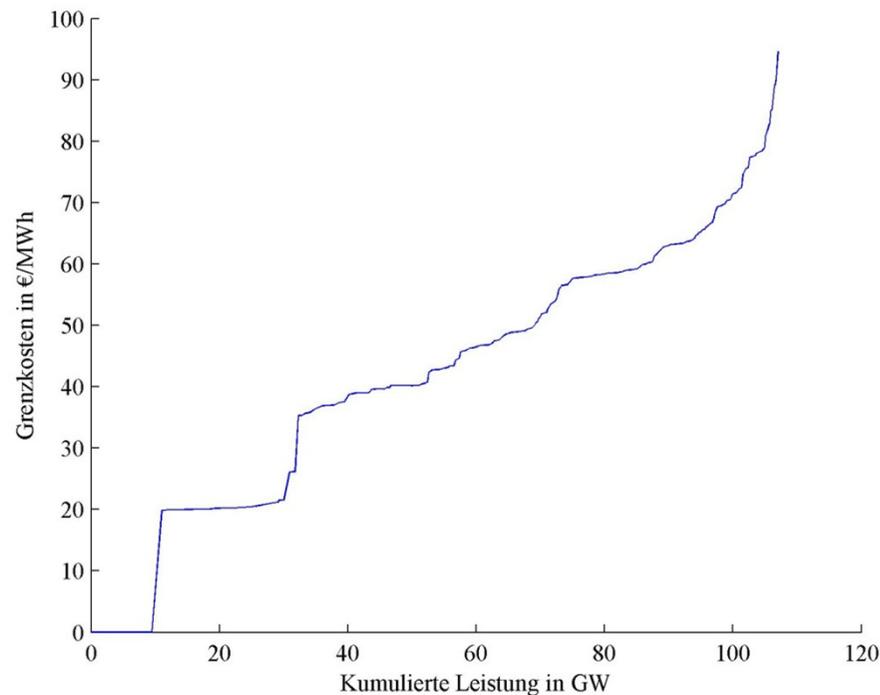
- Die Einsatzplanung der Kraftwerke erfolgt anhand ihrer Grenzkosten
- Zusammensetzung der Grenzkosten

$$K_{Gr} = \frac{K_{Br}}{\eta_{el}} + K_{An} + \frac{K_{CO_2}}{\eta_{el}} EF$$

$K_{Gr}$	Grenzkosten
$\eta_{el}$	Elektrischer Wirkungsgrad
$K_{Br}$	Brennstoffkosten
$K_{An}$	An- und Abfahrkosten
$K_{CO_2}$	Kosten für CO <sub>2</sub> -Zertifikate
$EF$	Emissionsfaktor

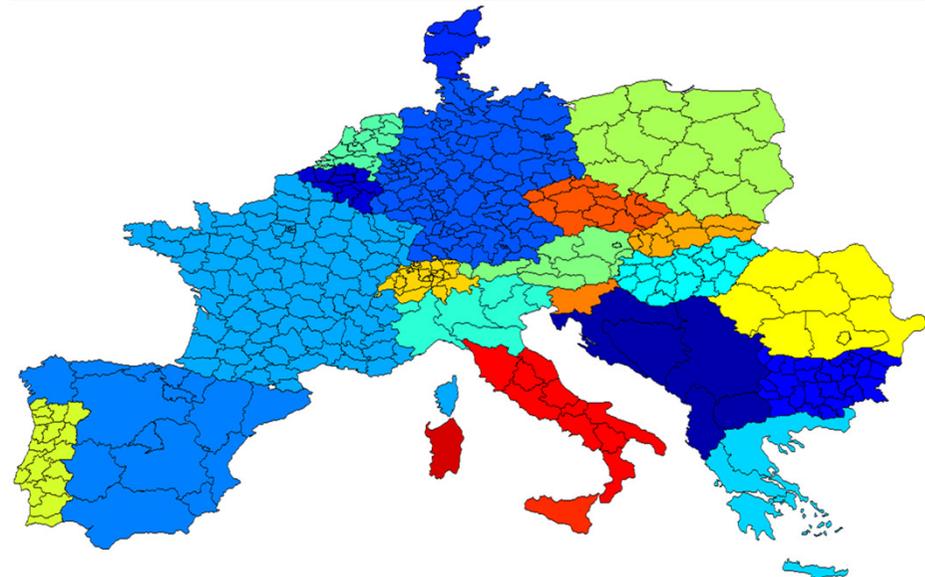
## Marktmodell

- Sortieren der Kraftwerke einer Preiszone anhand ihrer Grenzkosten (Merit-Order)
- Abrufen von Kraftwerksleistung bis zur Deckung der Last



## Stromaustauschmodell

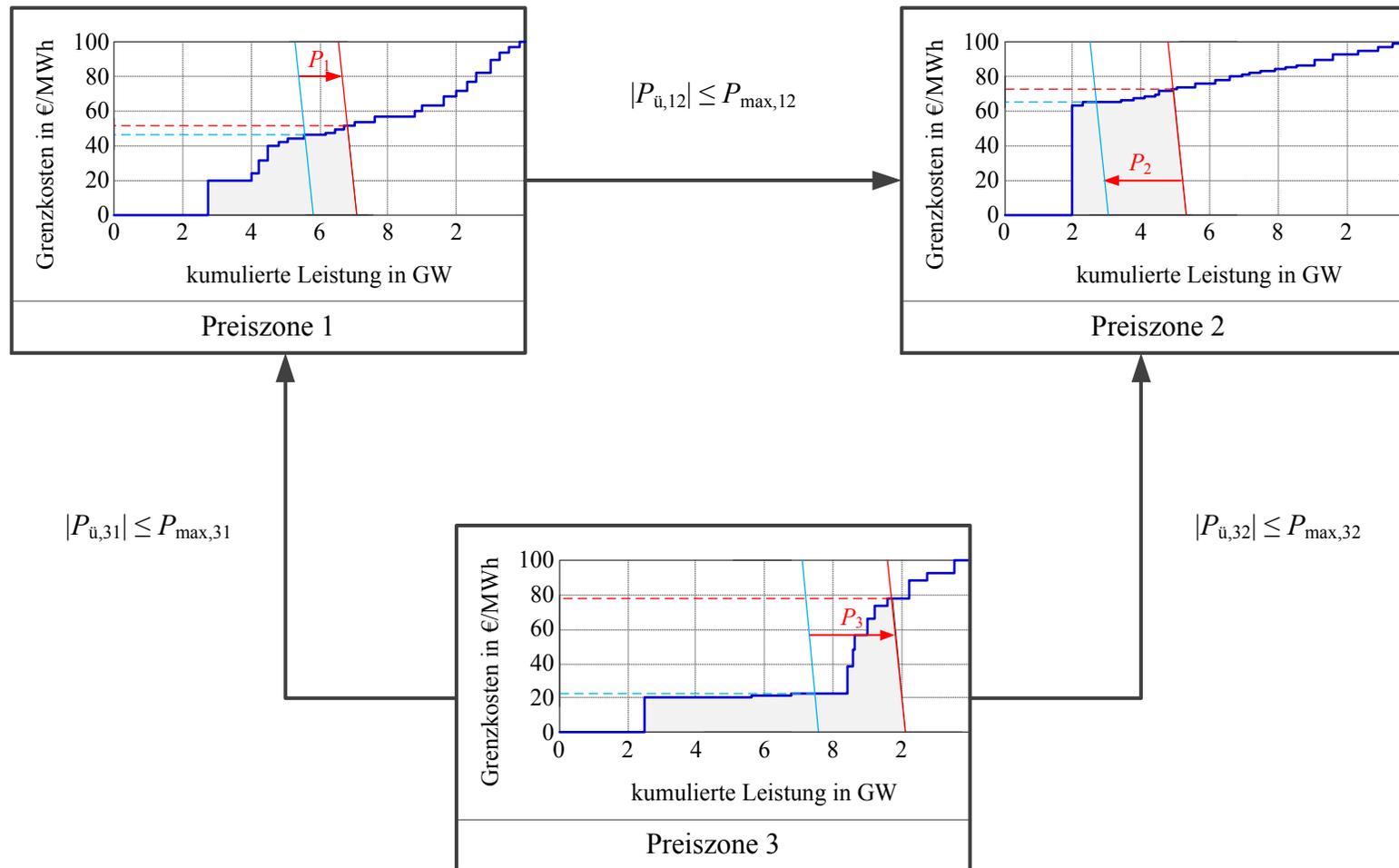
- Modell mit Grenzkostenkurve gilt nur, wenn keine Beschränkungen im Stromaustausch bestehen (Kupferscheibe)
- Bestehen Engpässe, zerfällt das Marktgebiet in verschiedene Preiszonen für die getrennte Grenzkostenkurven aufgestellt werden müssen
- Vereinfachte Kraftwerkeinsatzplanung auf Basis einer Grenzkostenschätzung



## Stromaustauschmodell

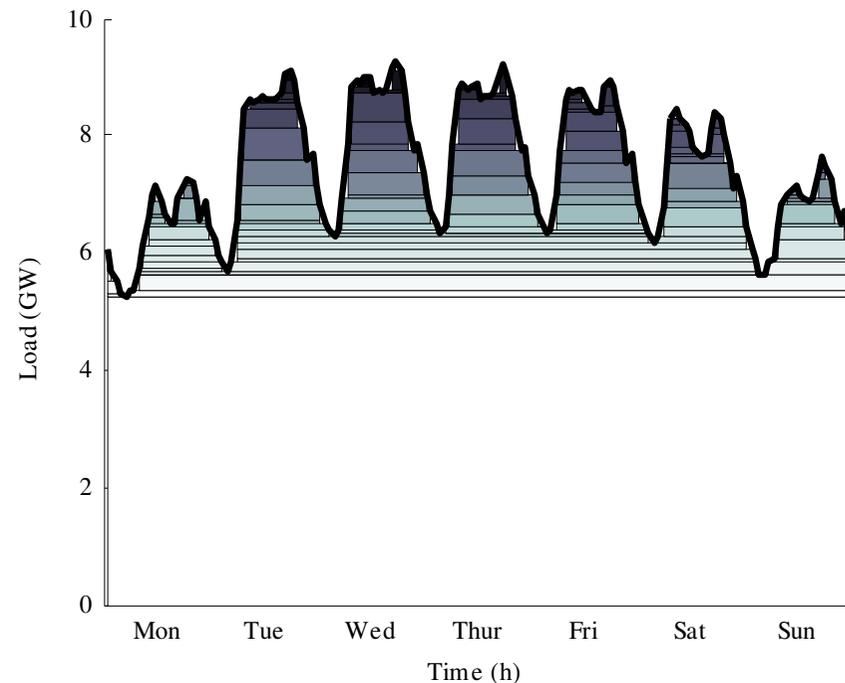
- Optimierungsproblem mit Randbedingungen:
  - Kuppelleistungskapazitäten dürfen nicht überschritten werden
  - Die Last darf nicht negativ werden
  - Die verfügbare Kraftwerksleistung darf von der Last nicht überschritten werden
- Zielfunktion:
  - Minimierung der resultierenden Fläche unter allen Grenzkostenkurven

# Stromaustauschmodell

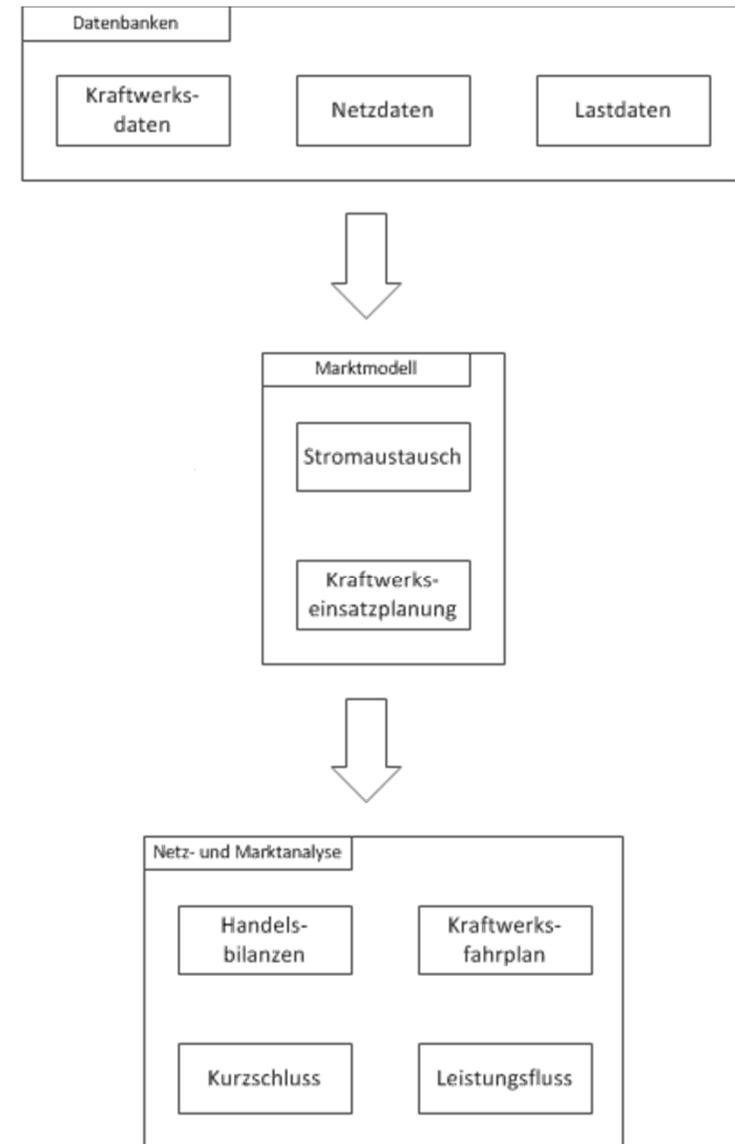


## Kraftwerkseinsatzplanung

- Zerlegen der Last in Blöcke
- Preisgebote der Kraftwerke für die einzelnen Blöcke
- Zuweisung der Blöcke zu den Kraftwerken anhand der blockspezifischen Grenzkostenkurve
- Erneuerbare Energien speisen bevorzugt ein



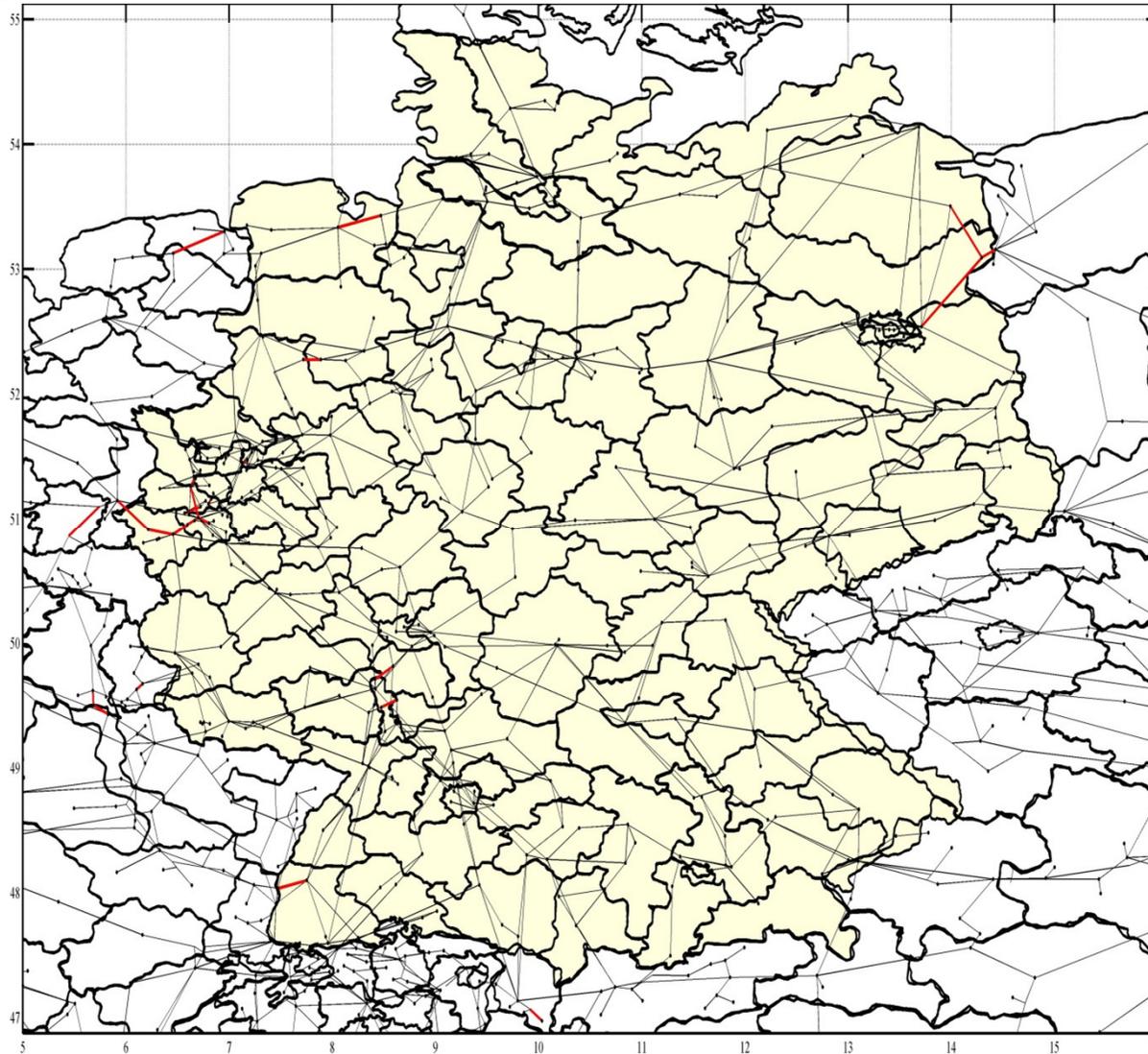
- Einleitung
- Datenbanken
- Marktmodell
- Netz- und Marktanalyse
- Ausblick und Ziele



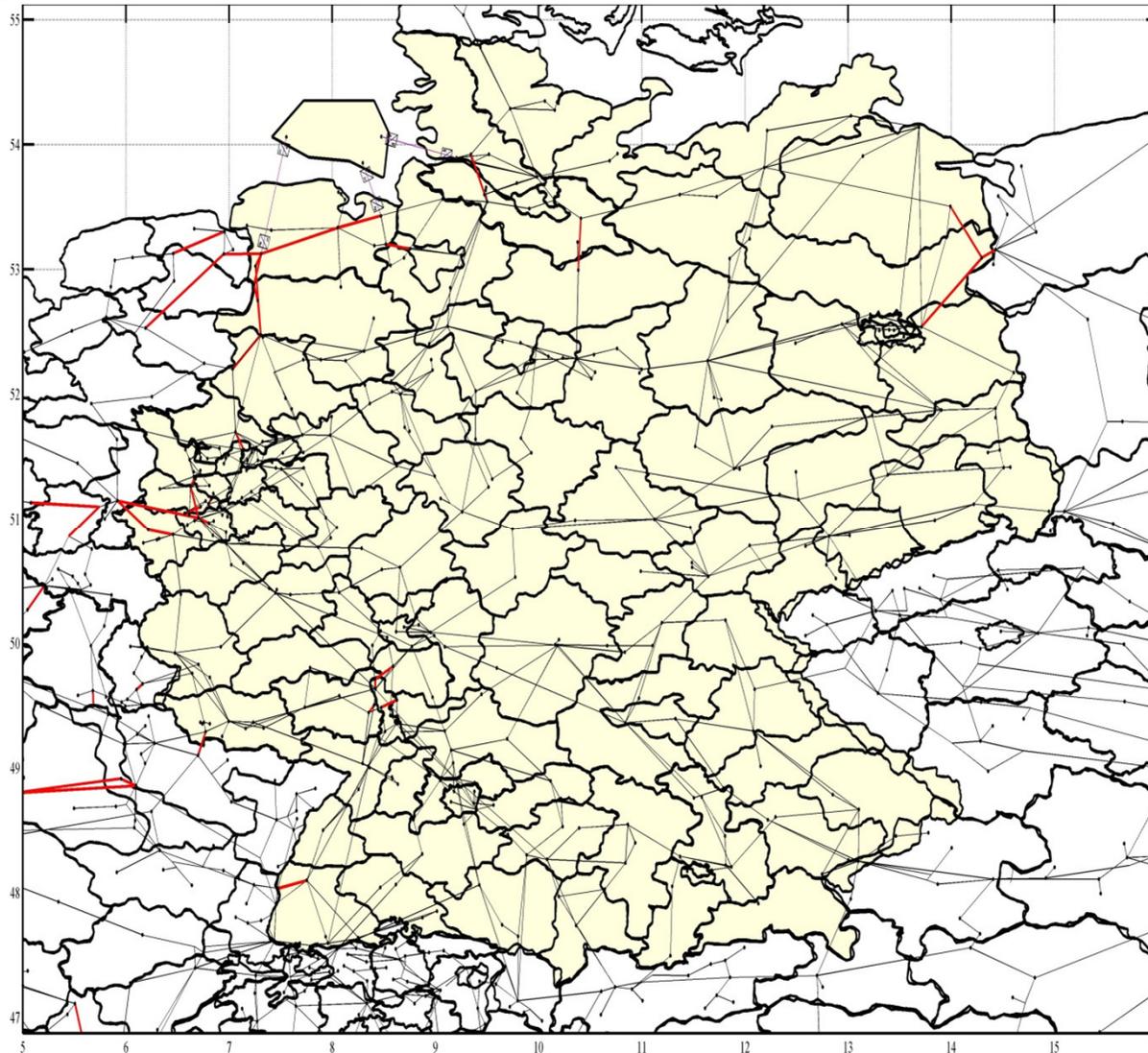
## Szenarien

- Basisszenario
  - Netz im gegenwärtigen Ausbaustand
  - Simulationszeitraum: 01. November - 31. Dezember
- Ausbauszenario
  - Zusätzliche Installation von 10 GW Windenergie Offshore
  - Netz im gegenwärtigen Ausbaustand mit drei neuen Windparkanbindungen
  - Simulationszeitraum: 01. November - 31. Dezember

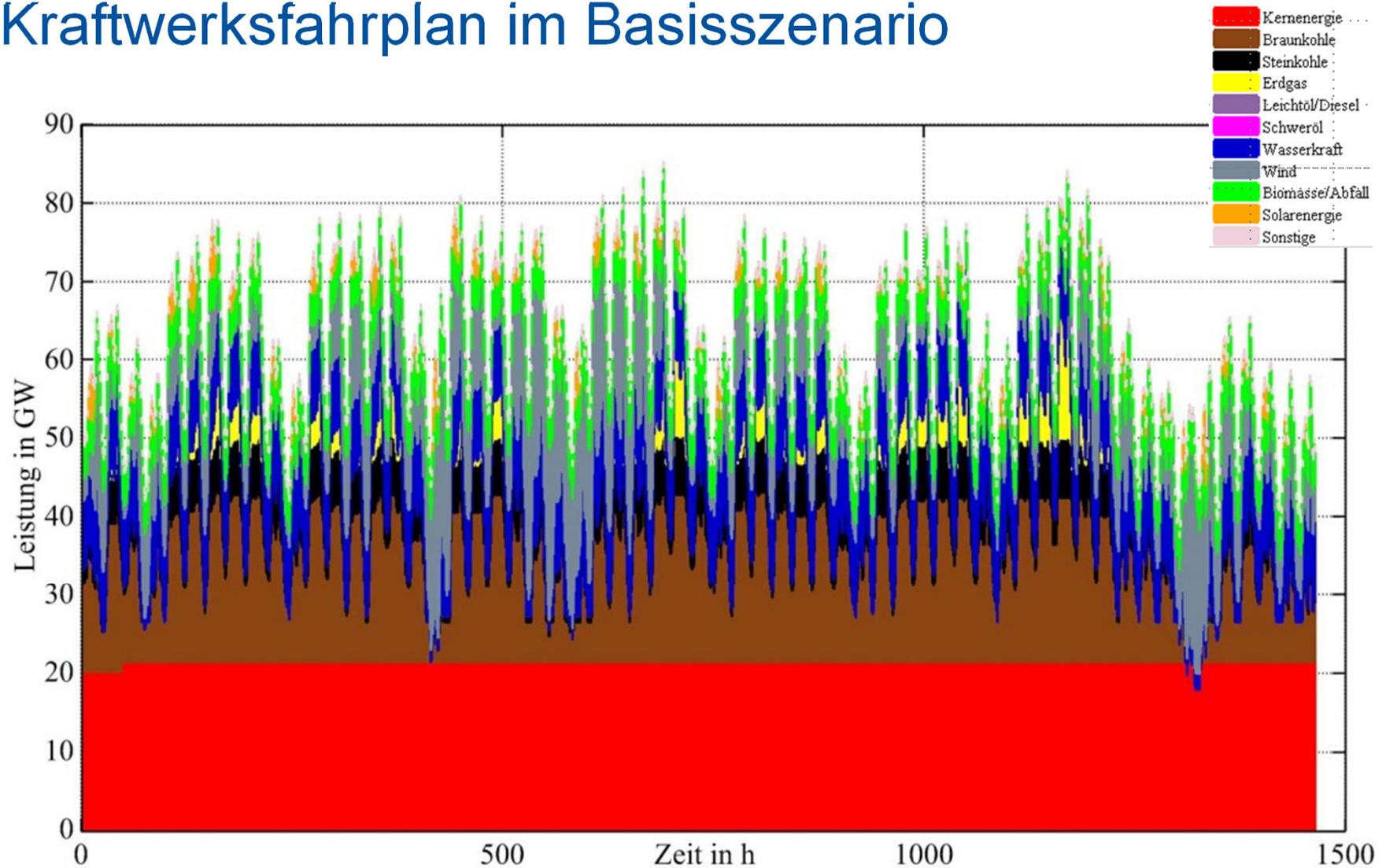
# Leitungsbelastung im Basisszenario



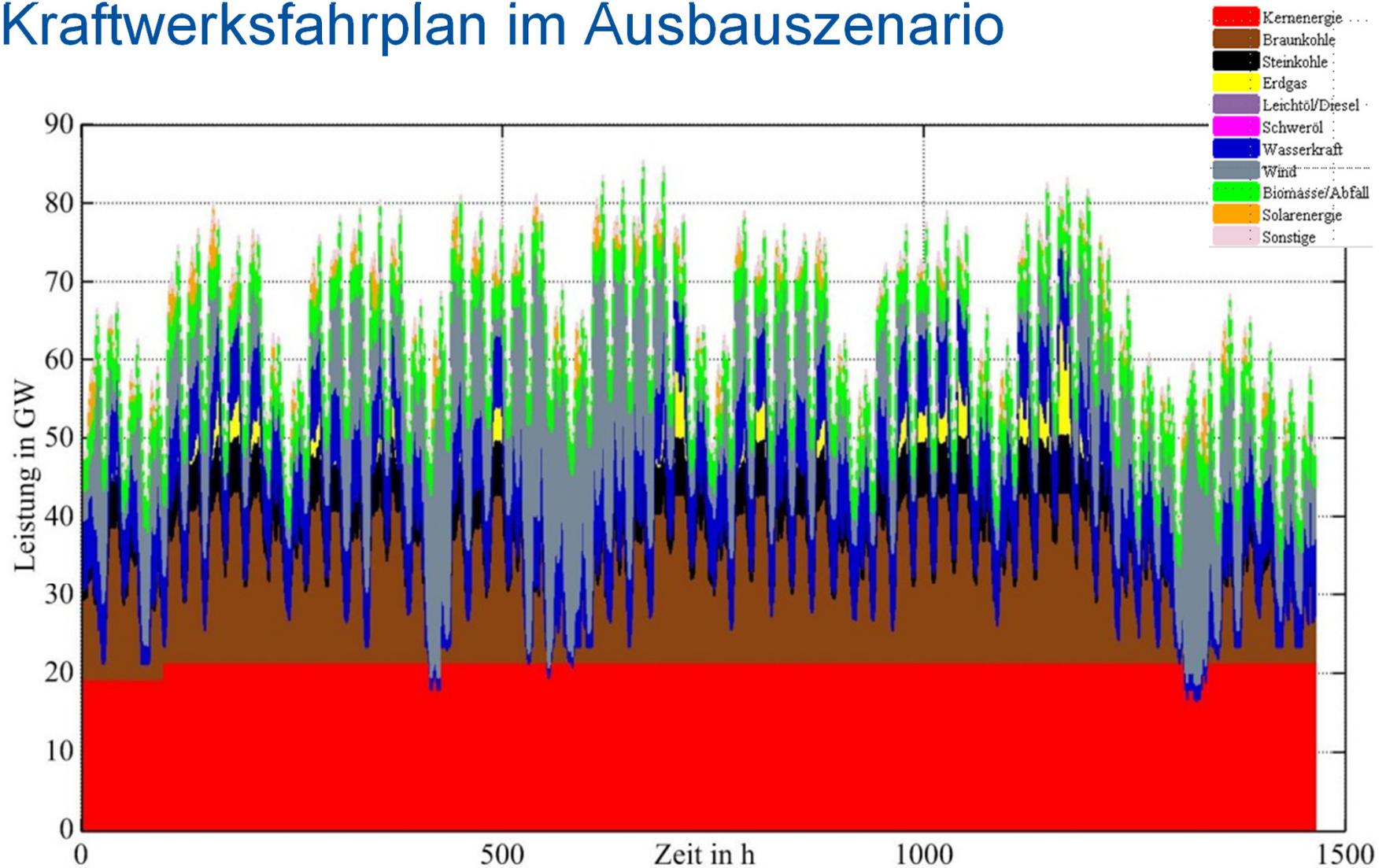
# Leitungsbelastung im Ausbauszenario



# Kraftwerksfahrplan im Basisszenario

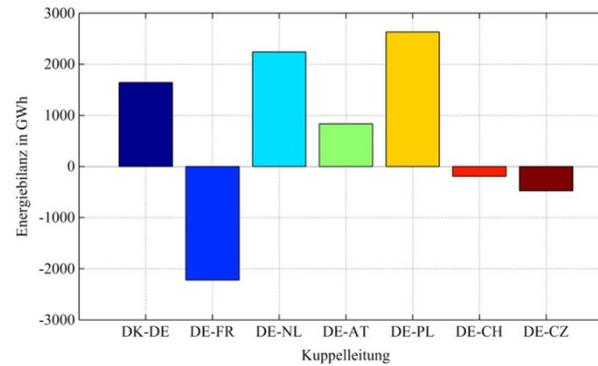


# Kraftwerksfahrplan im Ausbauszenario

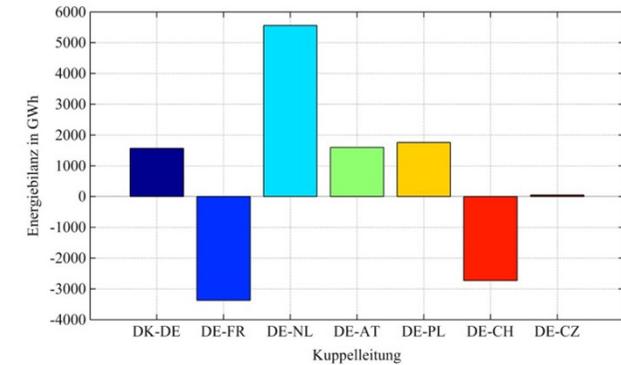


# Physikalische und Handelsbilanzen

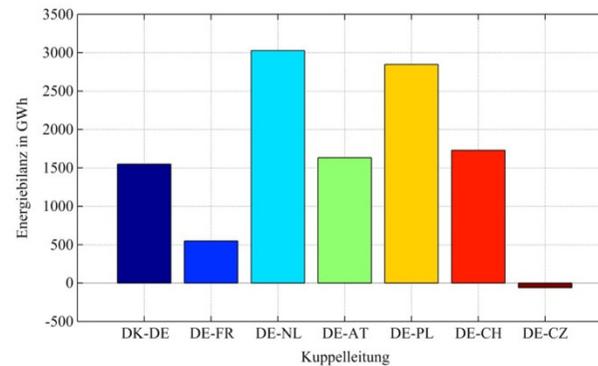
## Basisszenario physikalisch



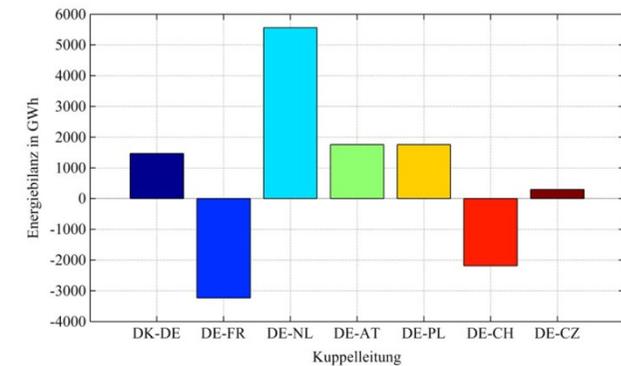
## Handel



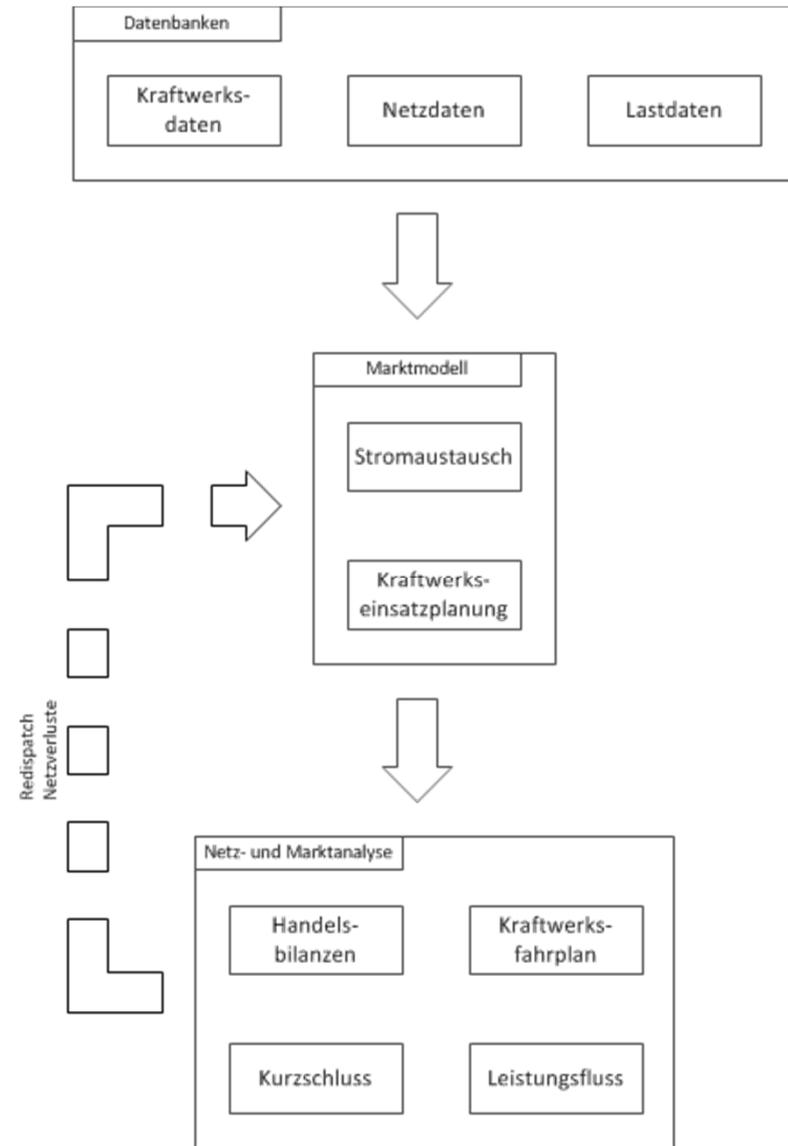
## Ausbauszenario physikalisch



## Handel



- Einleitung
- Datenbanken
- Marktmodell
- Netz- und Marktanalyse
- Ausblick und Ziele



## Ausblick und Ziele

- **Ausblick**
  - Einbindung eines Modells zur Simulation der Zuverlässigkeit der Kraftwerke
  - Einführung von Last- und Erzeugungsprognosefehlern
  - Optimierung des Kraftwerkseinsatzes
  - Berücksichtigung der Teillastwirkungsgrade von Kraftwerken
  - Einbinden von Gewerkekennzahlen in die Lastdatenermittlung
  - Verbesserung der Ausgangsdaten
- **Ziele**
  - Untersuchung von zukünftigen Energieversorgungszenarien

**Danke für die Einladung!**

[rendel@iee.uni-hannover.de](mailto:rendel@iee.uni-hannover.de)