

---

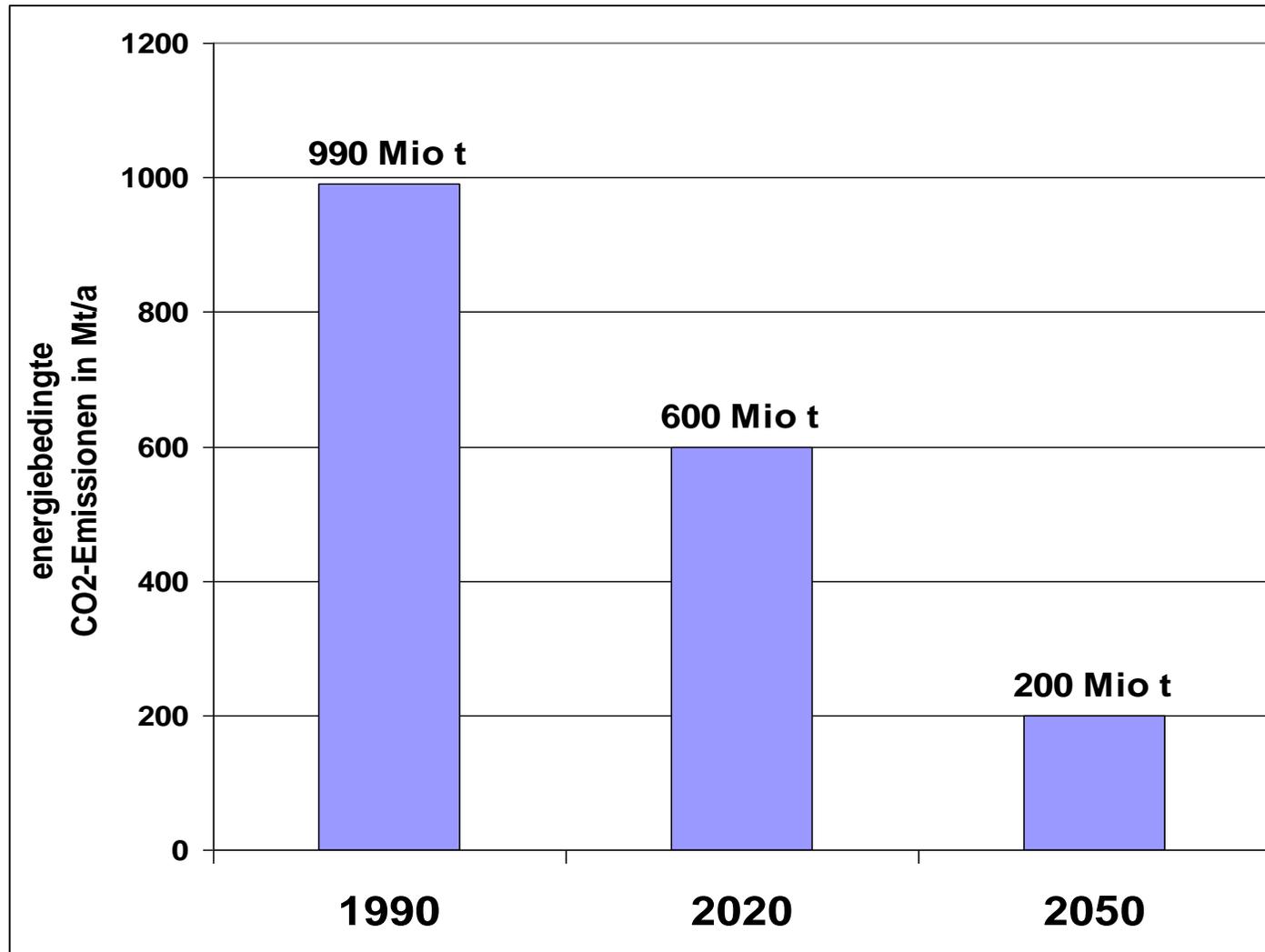
# Anforderungen an den Fluktuationsausgleich für die Stromversorgung Deutschlands mit erneuerbaren Energien

Amany von Oehsen, Yves-Marie Saint-Drenan,  
Norman Gerhardt, Dr. Michael Sterner

Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik  
Kassel

# Klimaschutzziele Deutschlands

---





Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

## Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland

### Leitszenario 2009

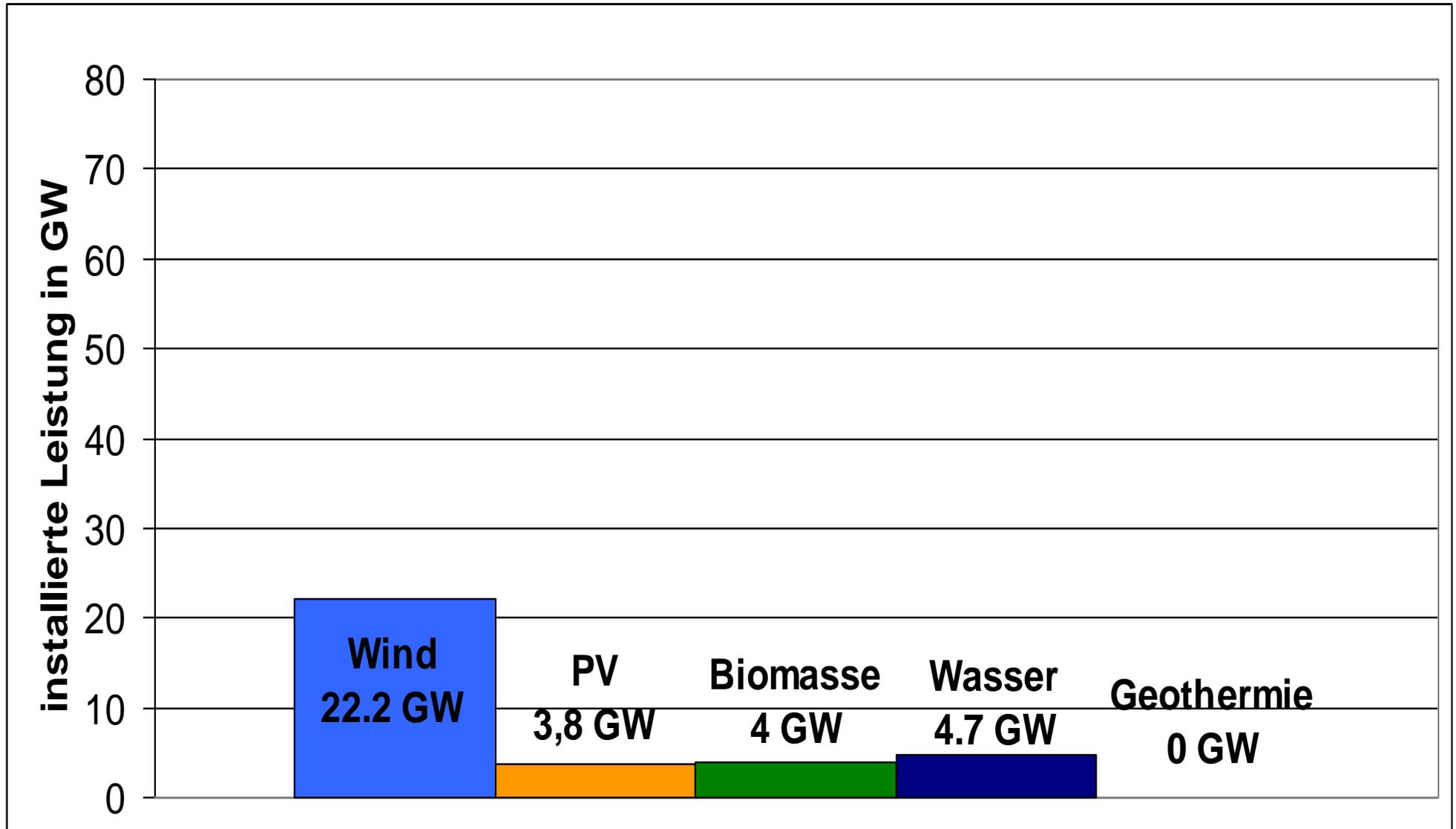


# Gliederung

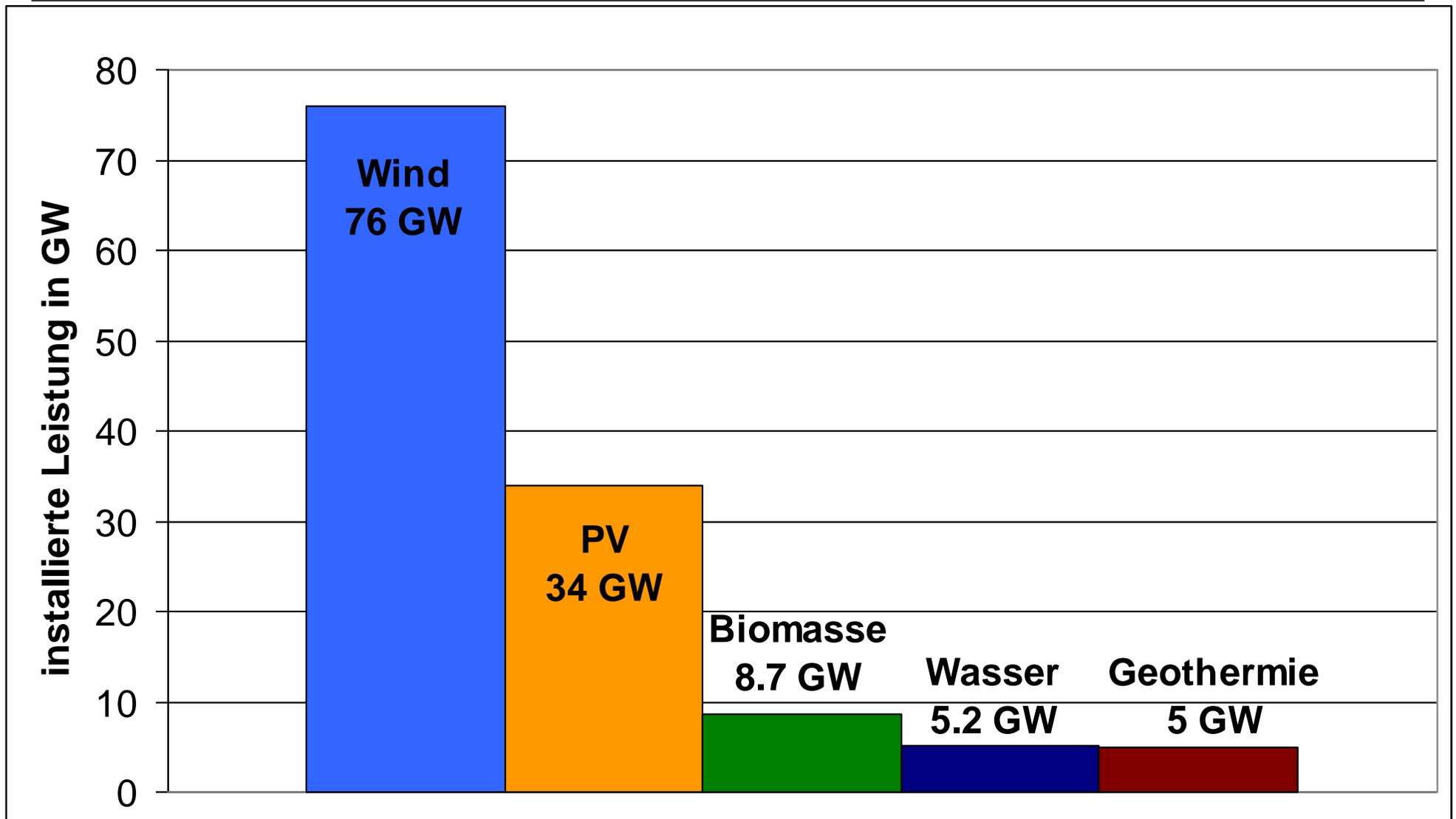
---

- **Simuliertes Ausbauszenario für die erneuerbaren Energien in Deutschland**
- **Beschreibung des Simulationsmodells für die erneuerbare Stromerzeugung**
- **Dynamische Simulation der erneuerbaren Einspeisung für 129 GW installierte elektrische Leistung**
- **Anforderung zur Integration der erneuerbaren Energien**
- **Integrationspotential durch die Elektromobilität**

# Installierte elektrische Leistung erneuerbarer Energien 2007



# Installierte Leistungen des untersuchten 75% EE-Stromszenarios für 2050



# Beschreibung des Simulationsmodells

---

## Komponenten:

- Wetterdaten eines historischen meteorologischen Jahres
- Zukünftige Regionale Verteilung der installierten EE-Leistung
- Anlagenmodell

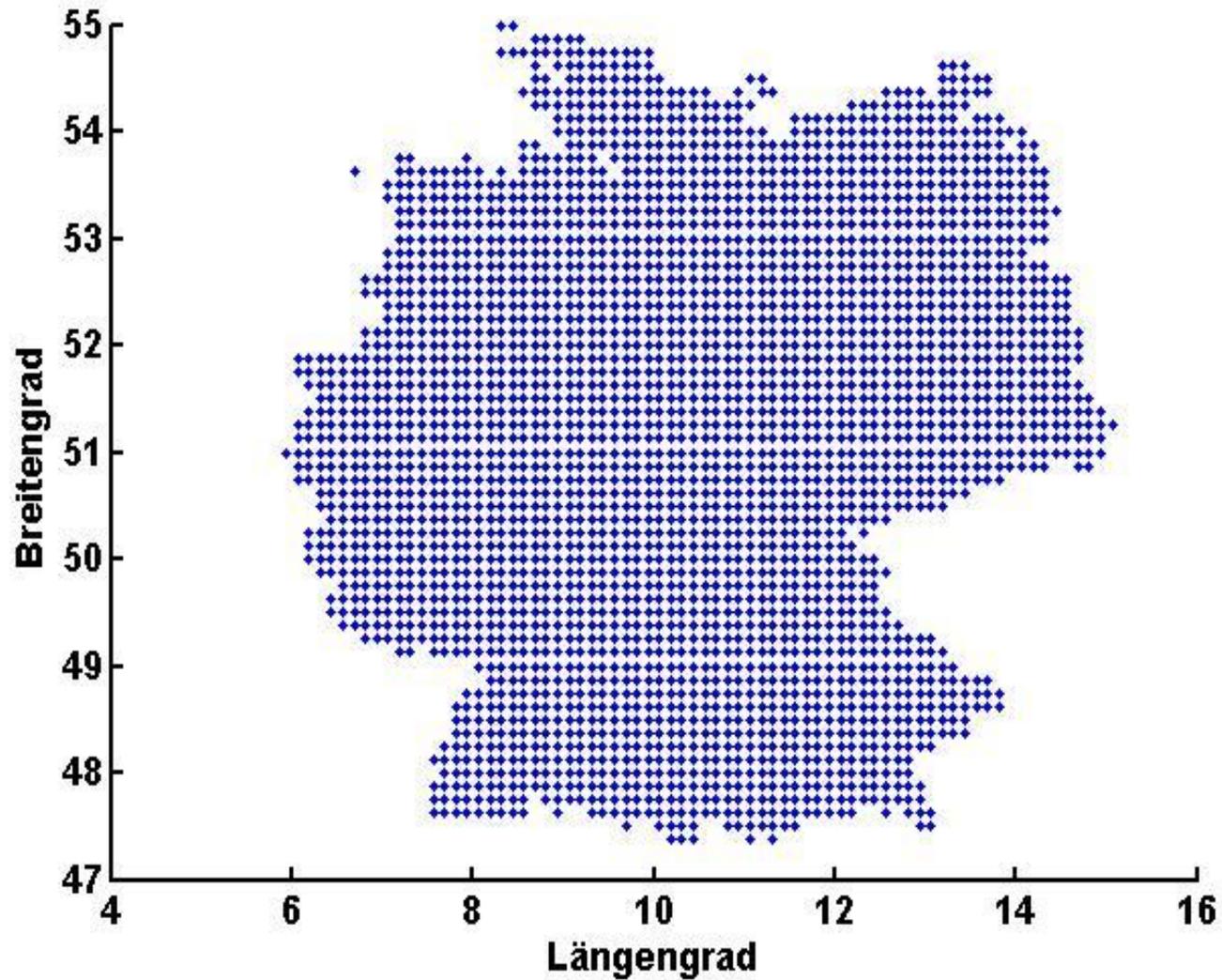
# Simulation der Windenergie-Einspeisung

---

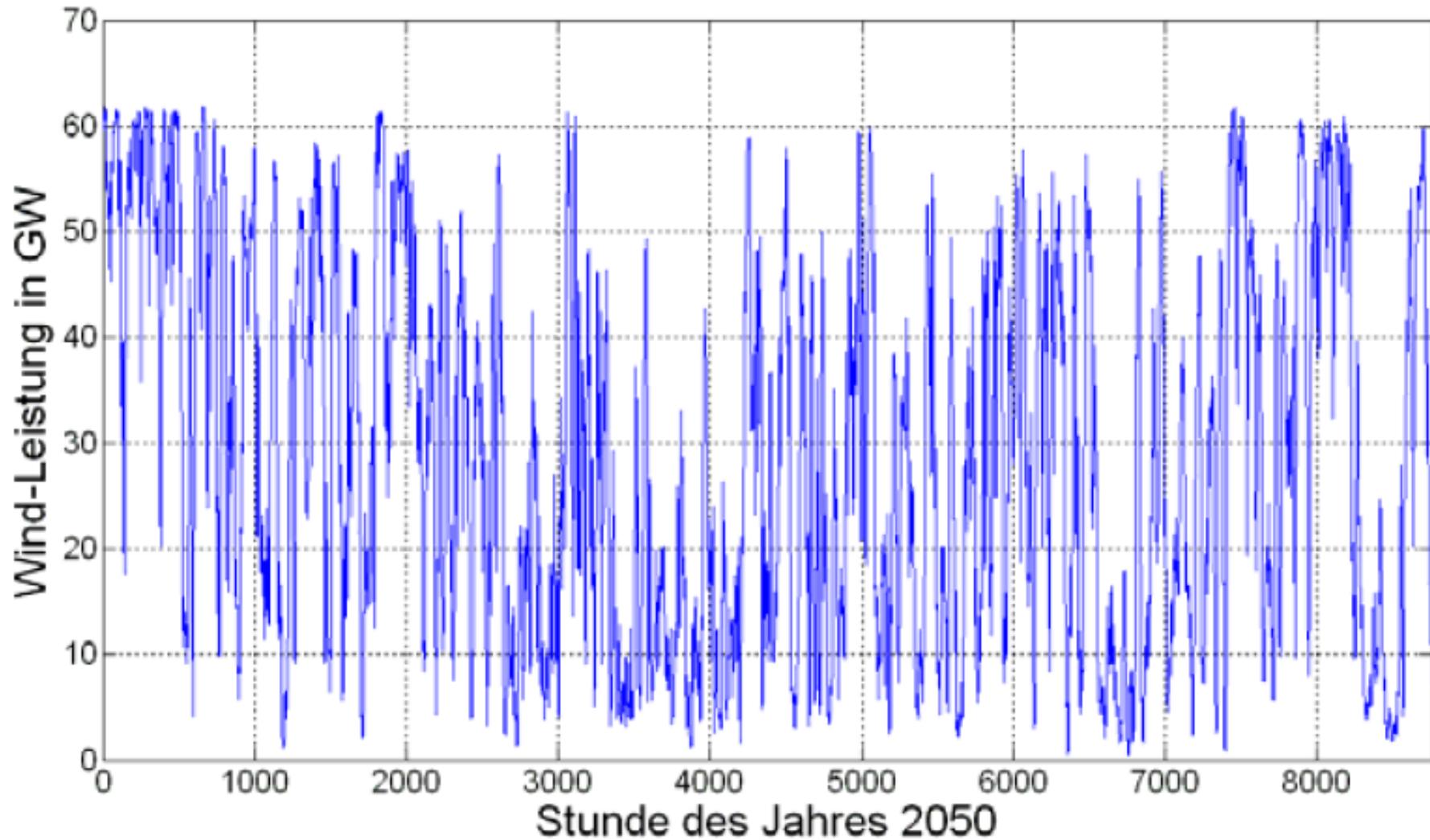
- Windgeschwindigkeiten in 2 Höhenlevels**
- Regionale Verteilung der installierten Leistung**
- Interpolation der Windgeschwindigkeiten in Nabenhöhe**
- Leistungskennlinien**
- Abschattungsverluste**
- Korrektur für zeitliche und räumliche Schwankungen, die durch die begrenzte zeitliche und räumliche Auflösung nicht erfasst werden können**

# Räumliche Auflösung der meteorologischen Eingangsdaten und installierten Leistung für die PV- und Windenergie (onshore) Simulation

---



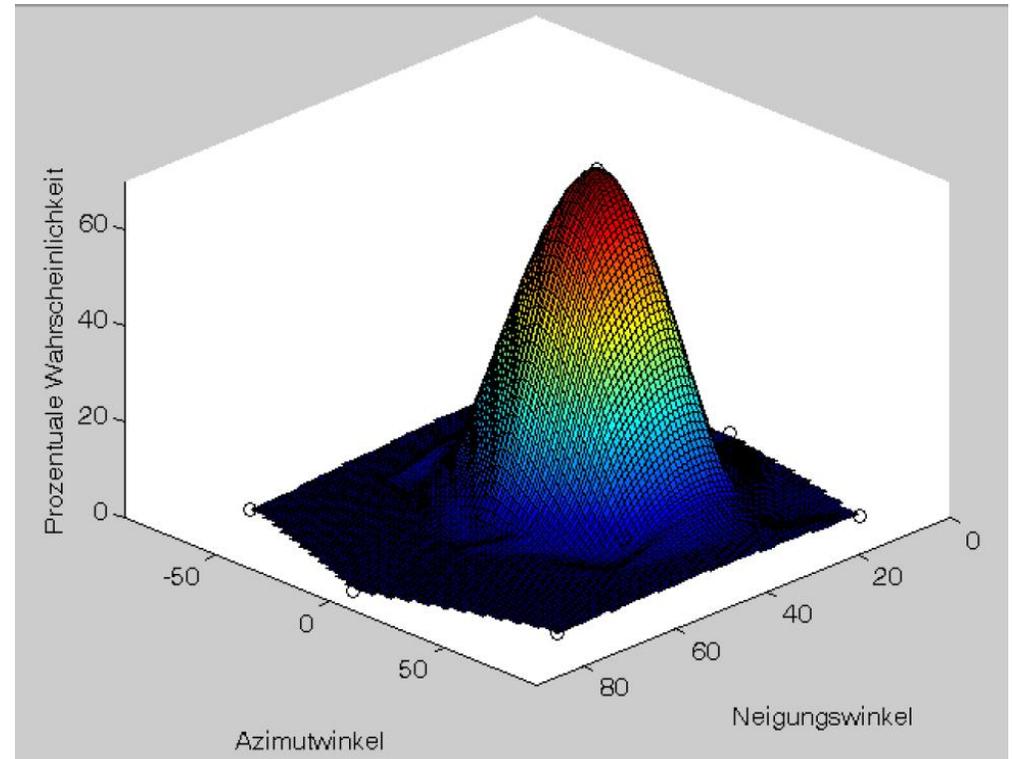
# Simulierte Windenergieeinspeisung 2050 (meteorolog. Jahr 2007)



# Simulation der PV-Einspeisung

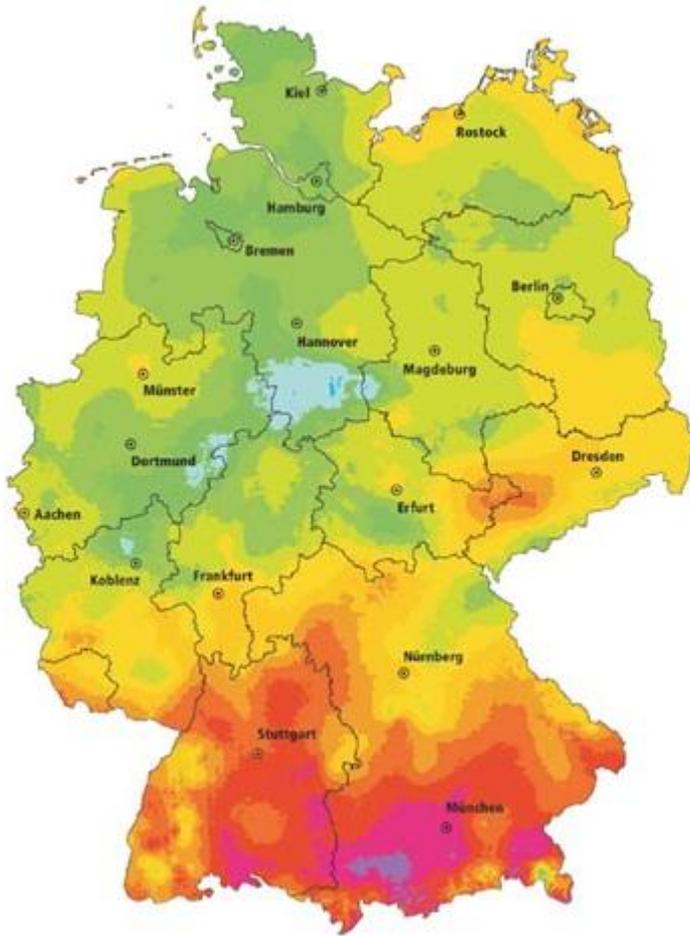
---

- Regionale Verteilung der installierten Kapazität
- Ausrichtung und Neigungswinkel
- Wechselrichtermodell
- Modell für polykristalline Solarzellen

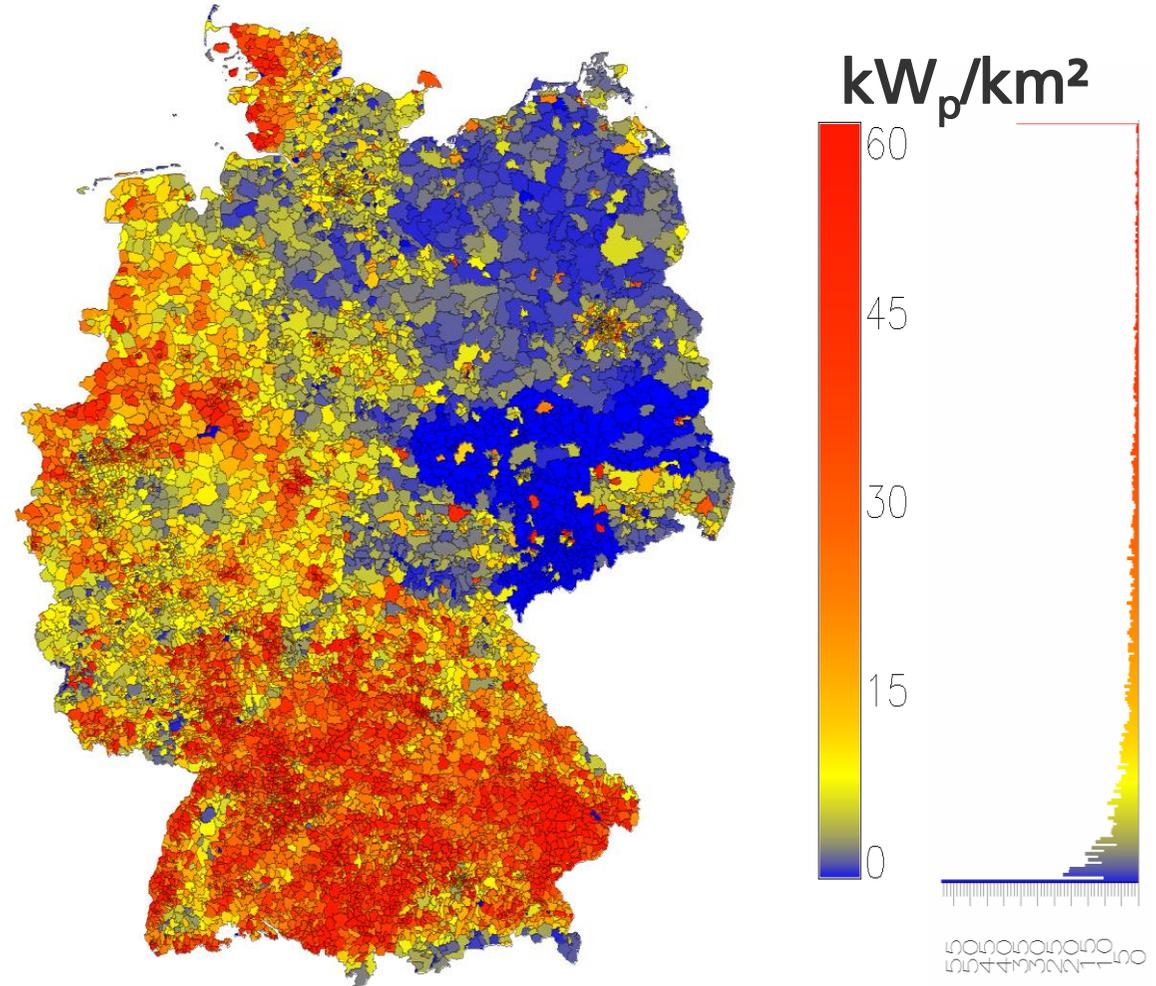


# Regionale Verteilung der Zubaukapazität von Wind und PV für die Ausbauszenarien

## Solare Ressource

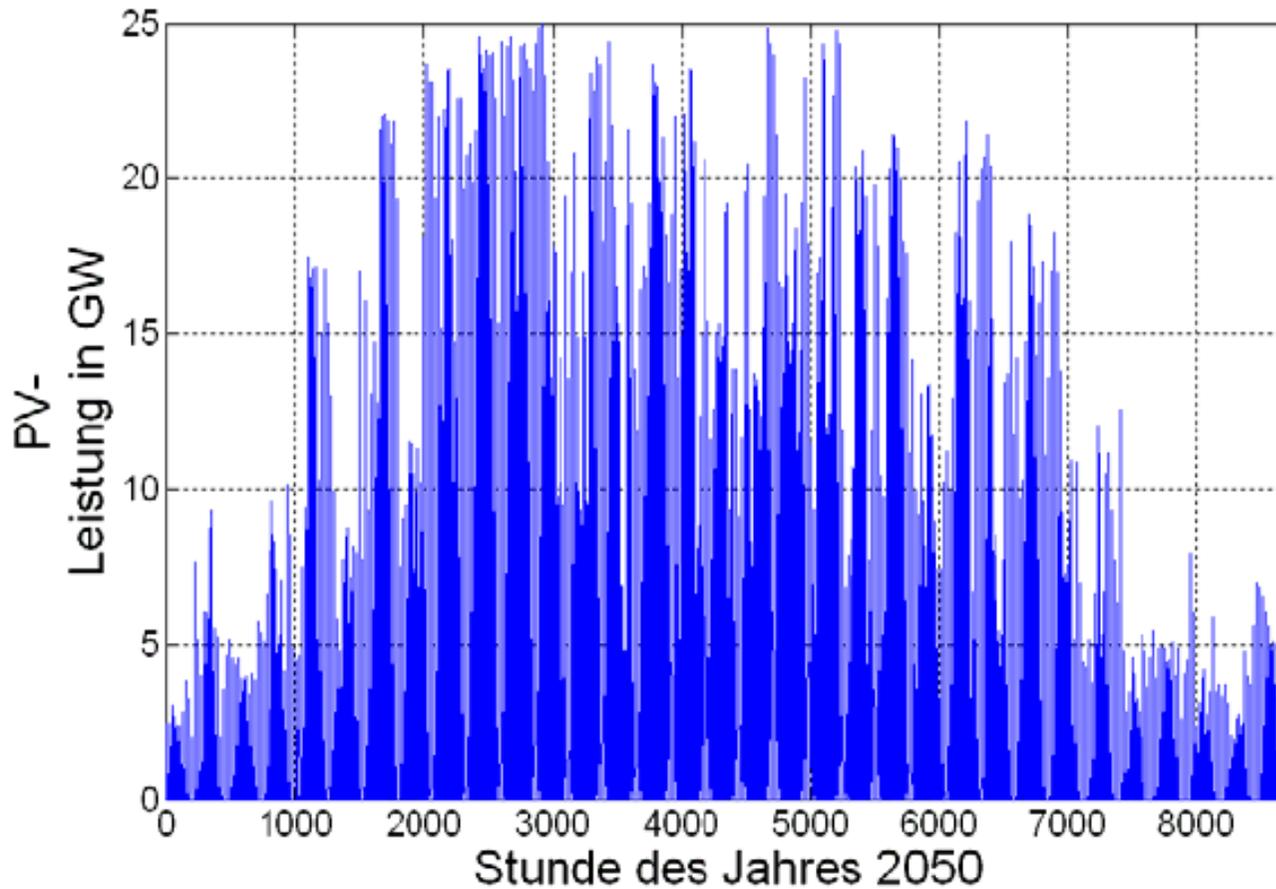


## Installierte Kapazität (EEG Stammdaten)



# Simulierte PV-Einspeisung 2050 (meteorologisches Jahr 2007)

---



# Biomasse

---

- **Aggregiertes Modell für Deutschland (d.h. keine räumliche Auflösung)**

## Unterscheidung zwischen:

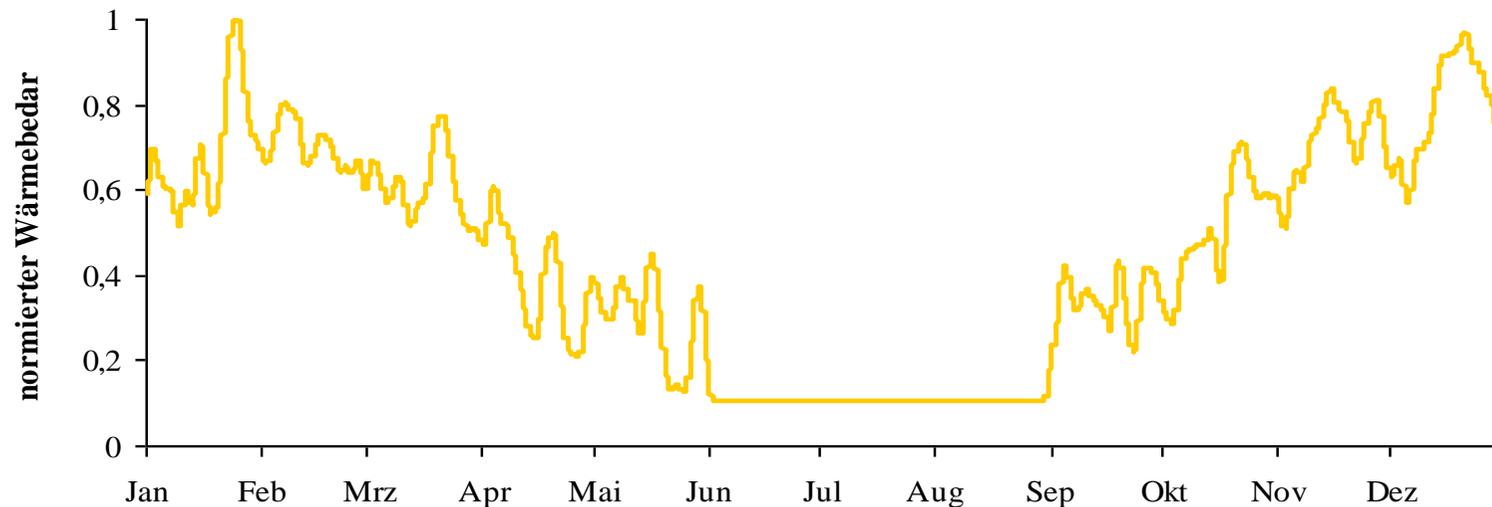
- **Nicht lastabhängig regelbarer Biomasse: Feste Biomasse und biogener Abfall**
  - Konstante Einspeisung
  - wärmegeführt
- **Lastabhängig regelbarer Biomasse: Biogas, Klär- und Deponiegas/Pflanzenöl**
  - Anlagen mit Vorort-Verstromung (stromgeführt)
  - Einspeisung ins Erdgasnetz (wärmegeführt)

# Biomasse – wärmegeführter Betrieb

---

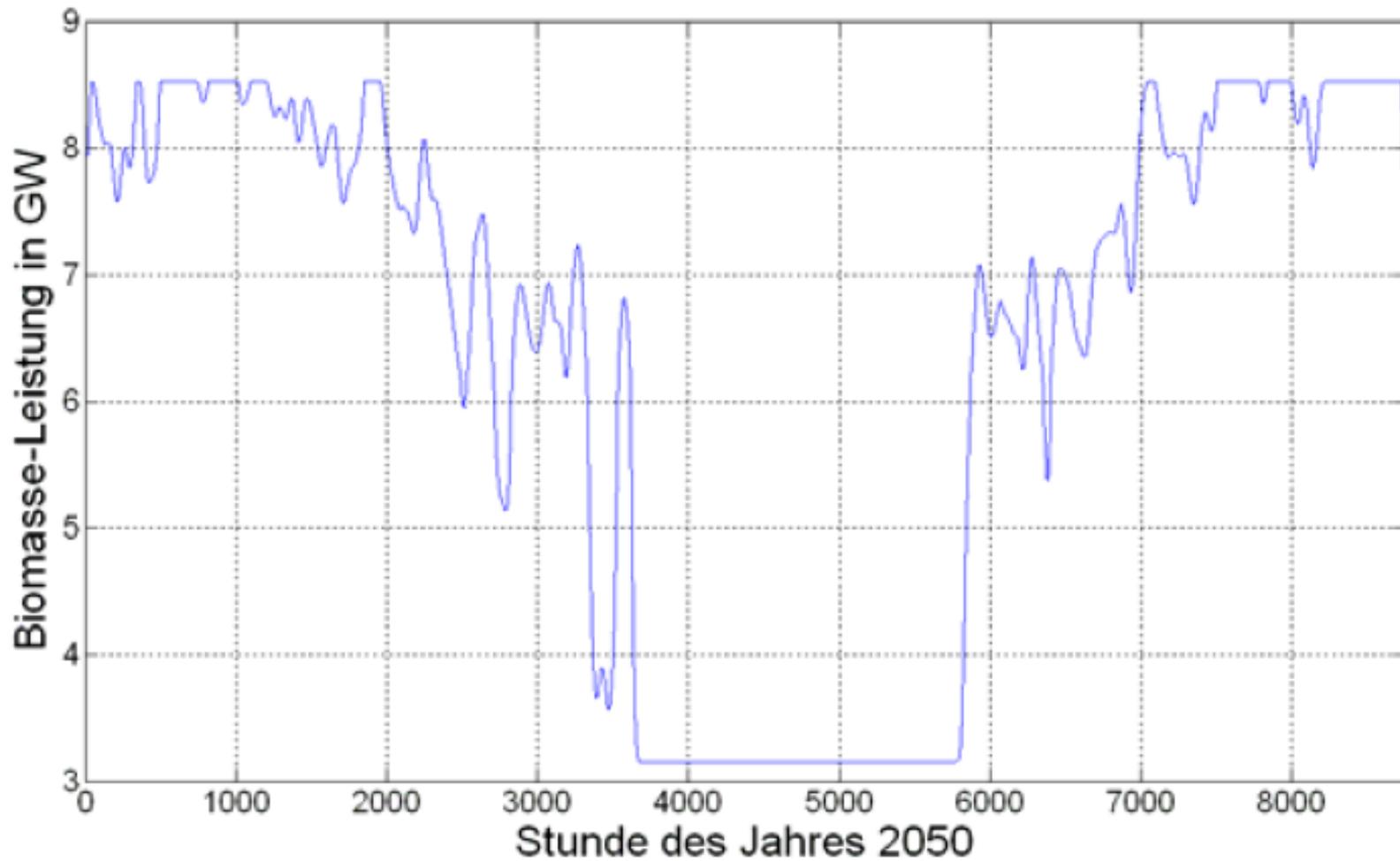
Wärmebedarf setzt sich zusammen aus

- Raumwärmebedarf (ermittelt nach dem Gradtagzahlverfahren)
- Warmwasserbedarf (wird als über das Jahr konstant angenommen)
- Prozesswärmebedarf (über das Jahr konstant angenommen, ohne Hochtemperaturprozesswärme)



# Simulierte Biomasseeinspeisung 2050 (meteorologisches Jahr 2007)

---



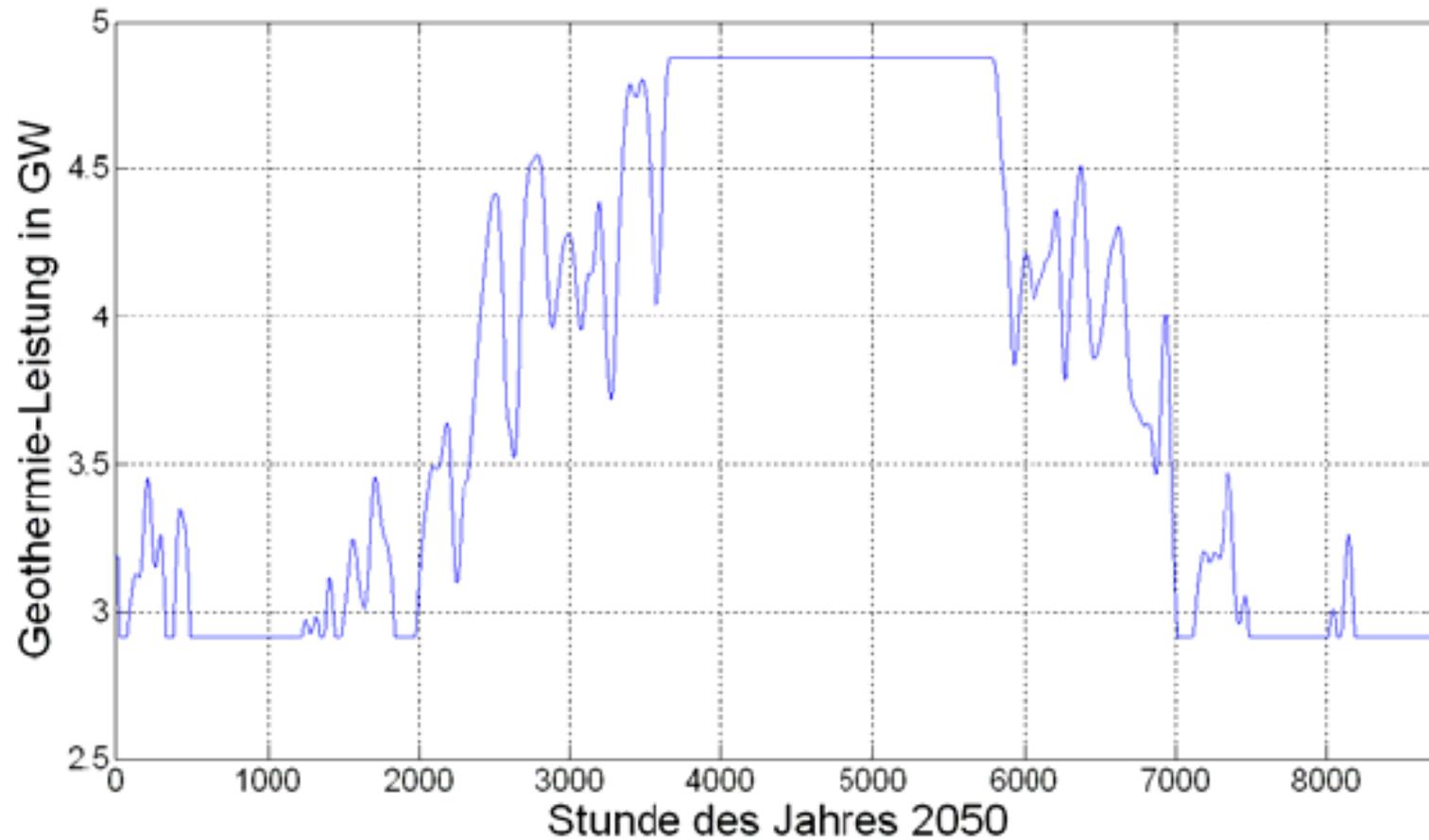
# Geothermie

---

- Aggregiertes Modell
- wärmegeführter Betrieb
- Eintrittstemperatur des Thermalwassers zwischen 120 – 170 ° C
- Im Sommer Reihenschaltung von Kraftwerk und Heizwerk, im Winter zur Deckung des erhöhten Wärmebedarfs Parallelschaltung

# Geothermieeinspeisung für das meteorologische Jahr 2007

---



# Laufwasserkraft

---

## Eingangsdaten:

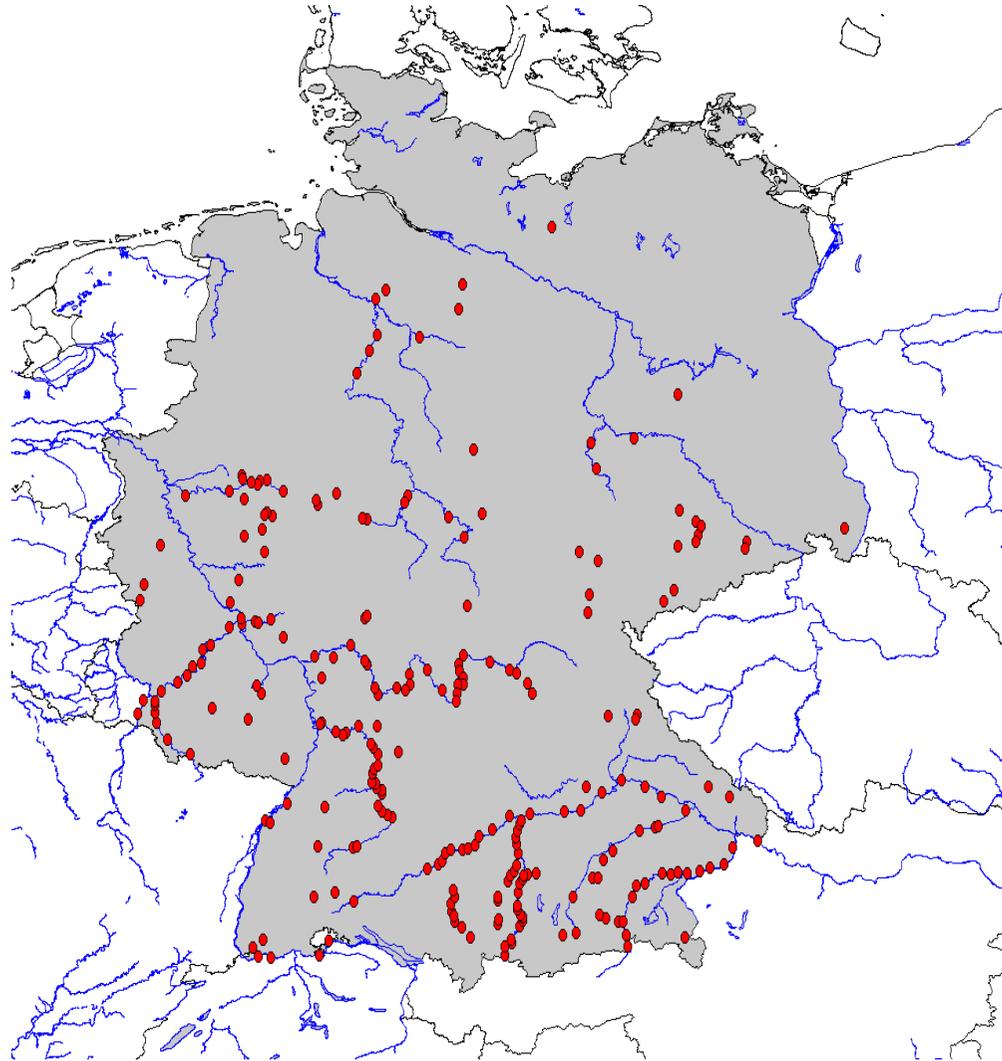
- Wasserkraftwerksbestand aller Anlagen größer 1 MW (Stand 2004)
- tagesmittlere Durchflussraten von Messstellen in Kraftwerksnähe

## Modell:

- Vereinfachte Leistungskennlinie für jedes Wasserkraftwerk
- Schwellbetrieb und Speicherwasserkraft nicht enthalten
- Hochskalieren der installierten Leistung, so dass sich aus der Simulation die korrekte Jahreseinspeisung ergibt
- Erhöhung der zeitlichen Auflösung auf eine Stunde durch Interpolation

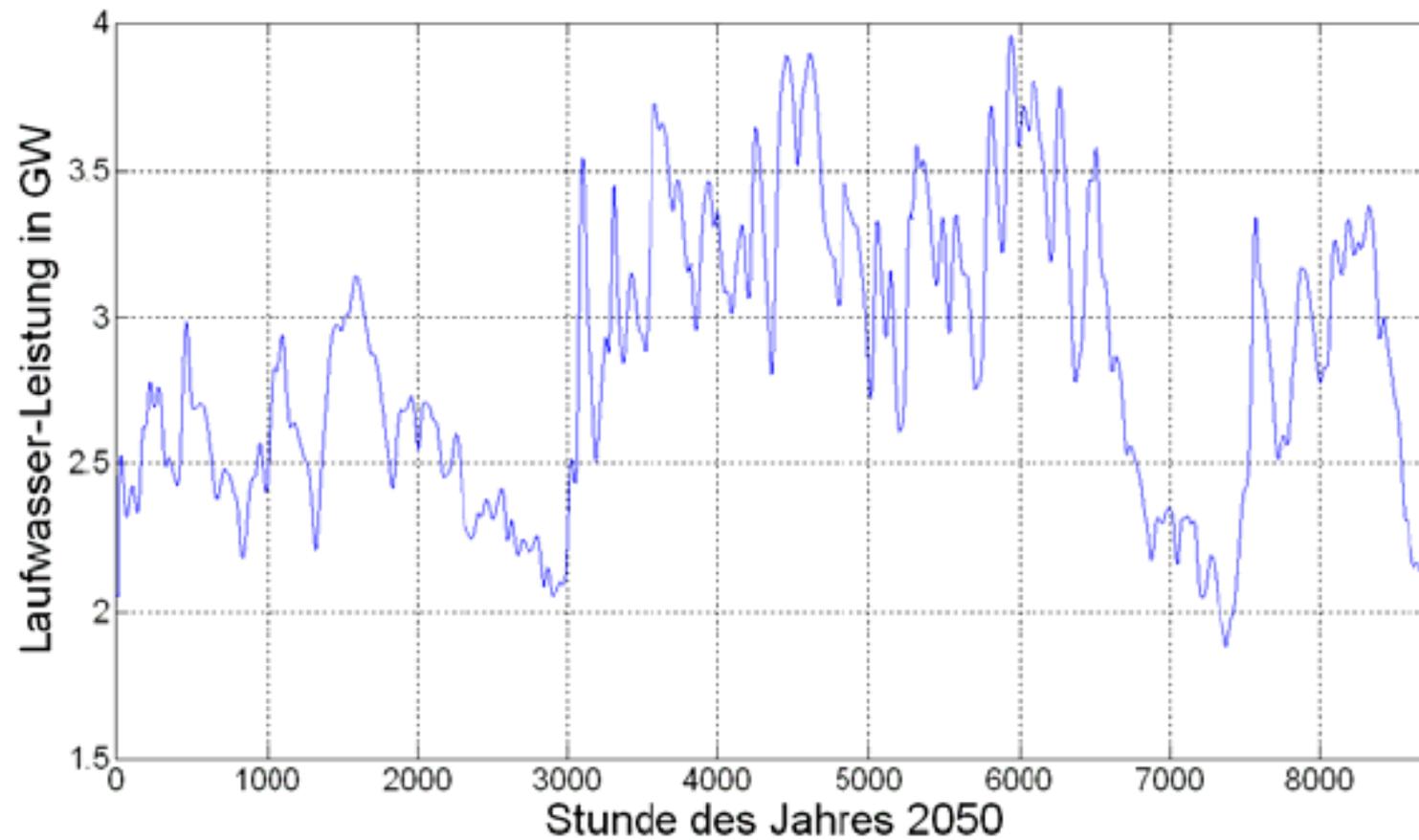
# Regionale Verteilung der Wasserkraftwerke

---



# Laufwasserkrafteinspeisung 2050 (meteorologisches Jahr 2007)

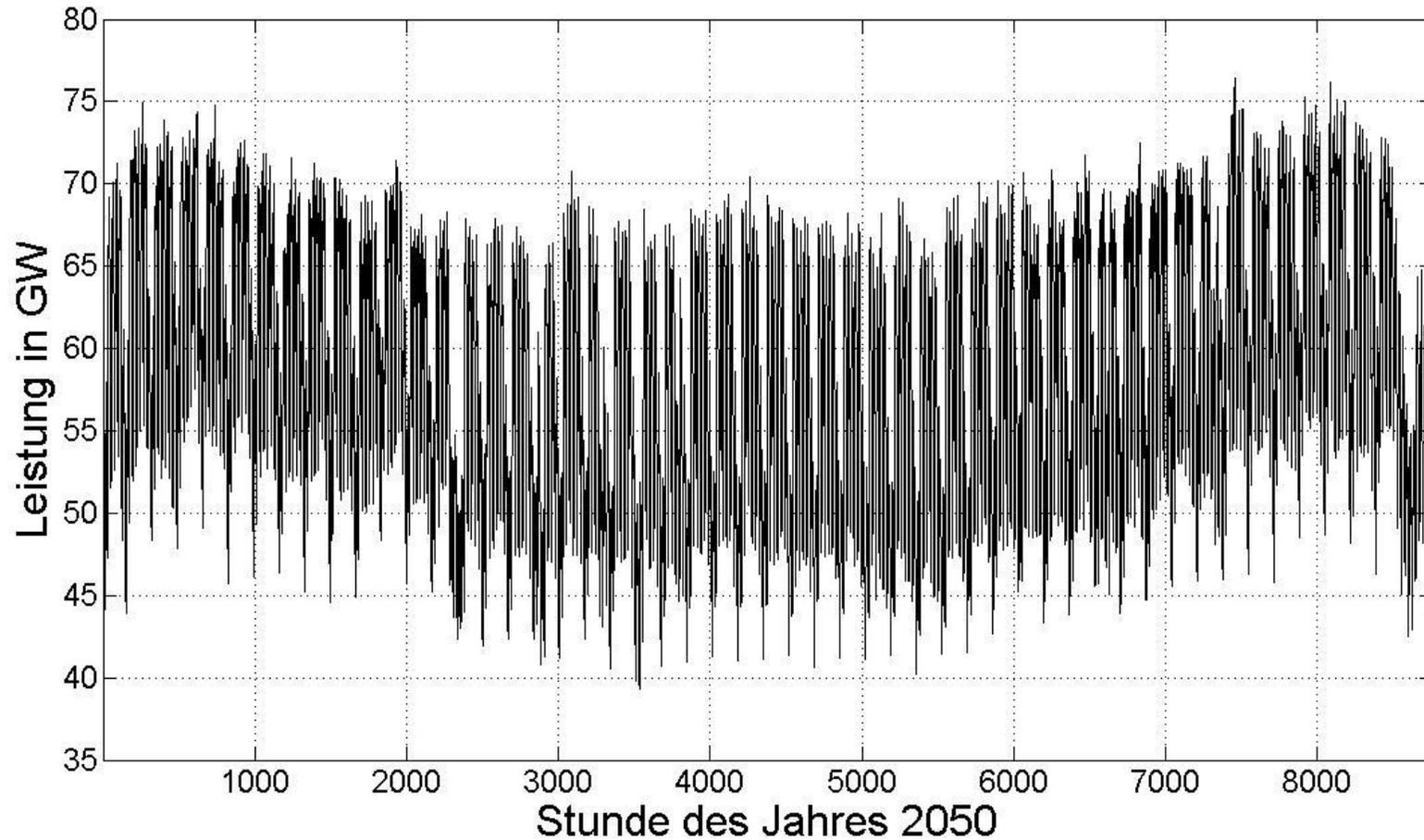
---



# Stündliche Nachfrage 2050

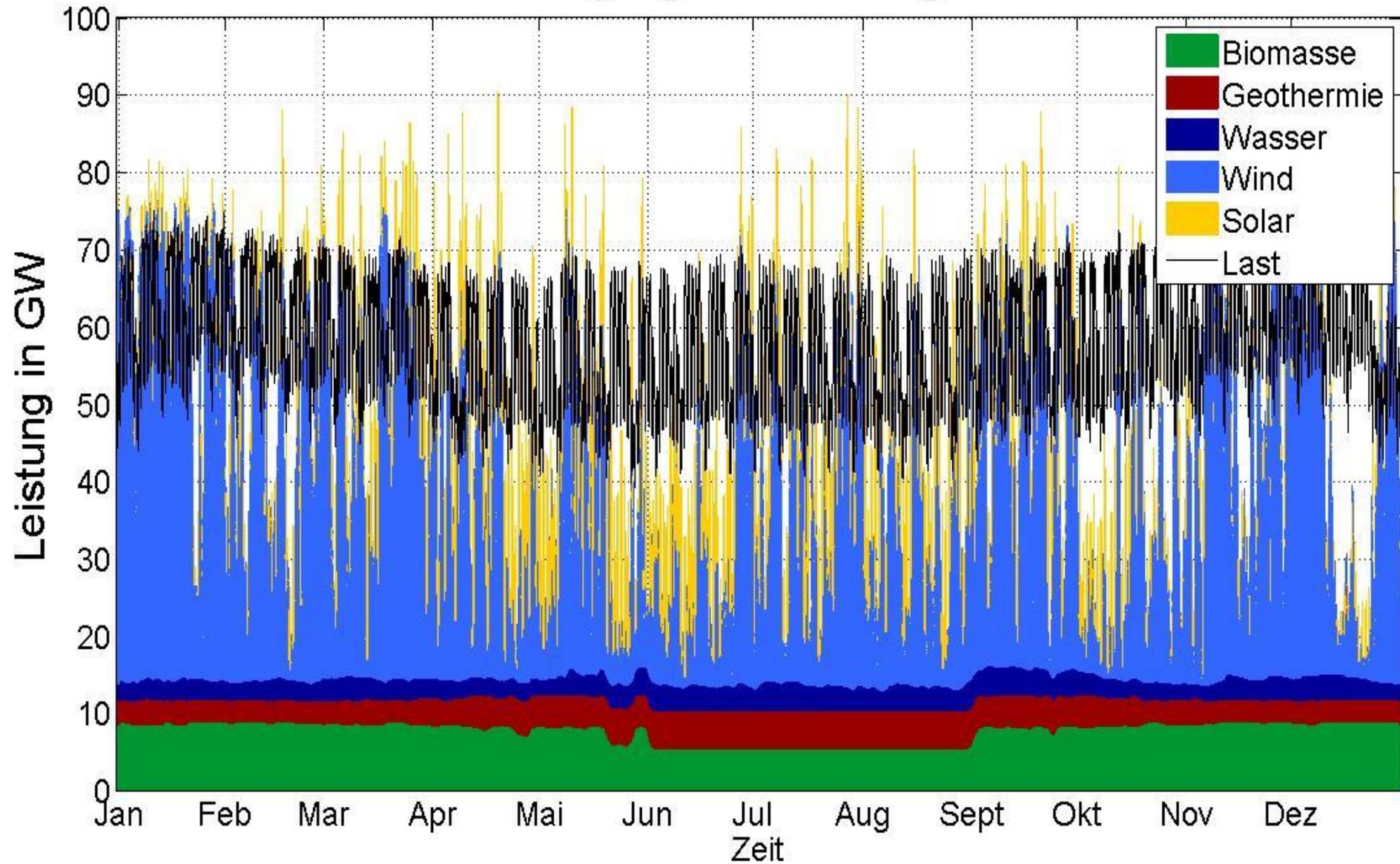
---

**Angenommener Bruttostromverbrauch 2050:  
511 TWh (ohne Elektromobilität)**

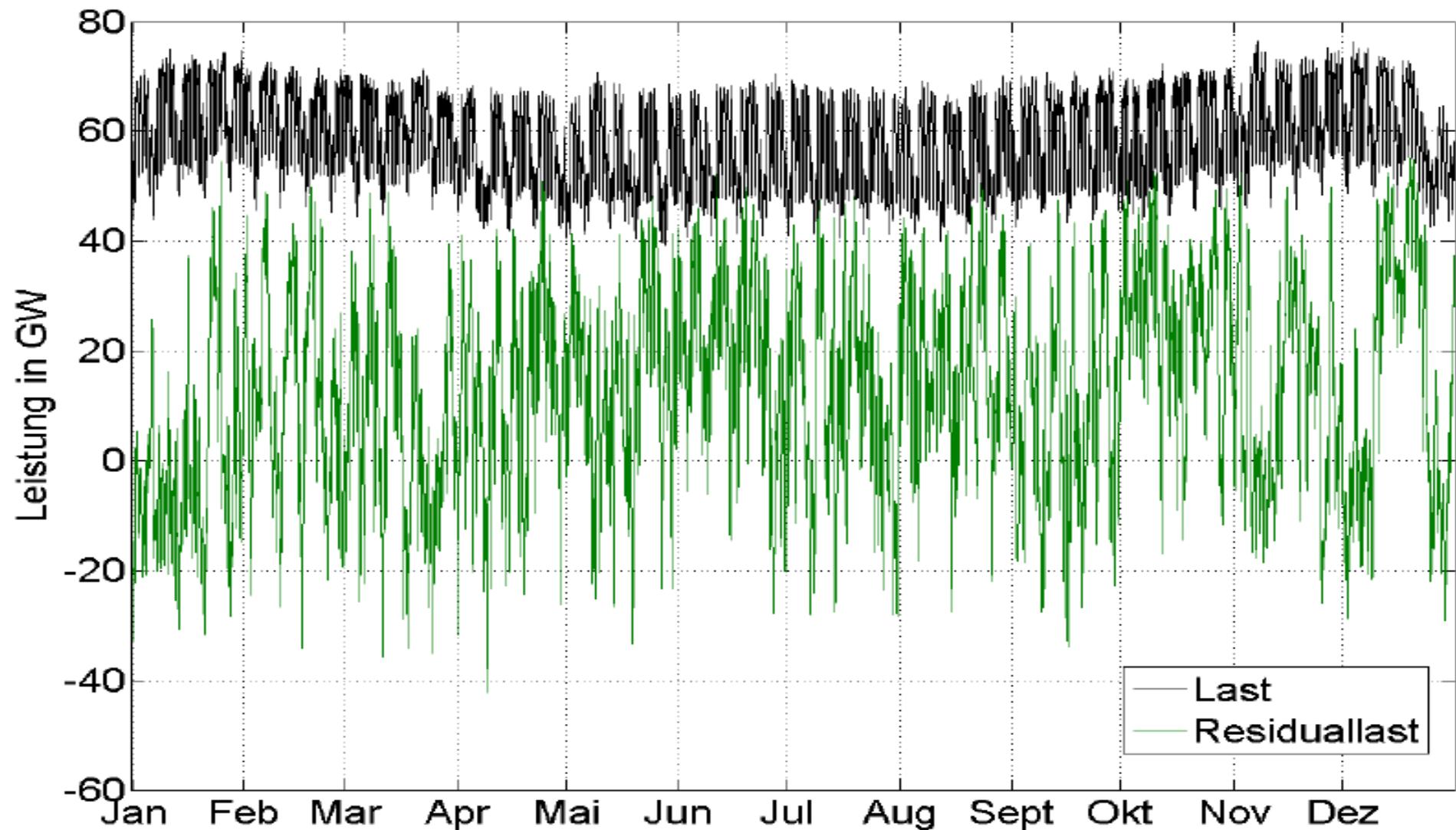


# Ergebnisse

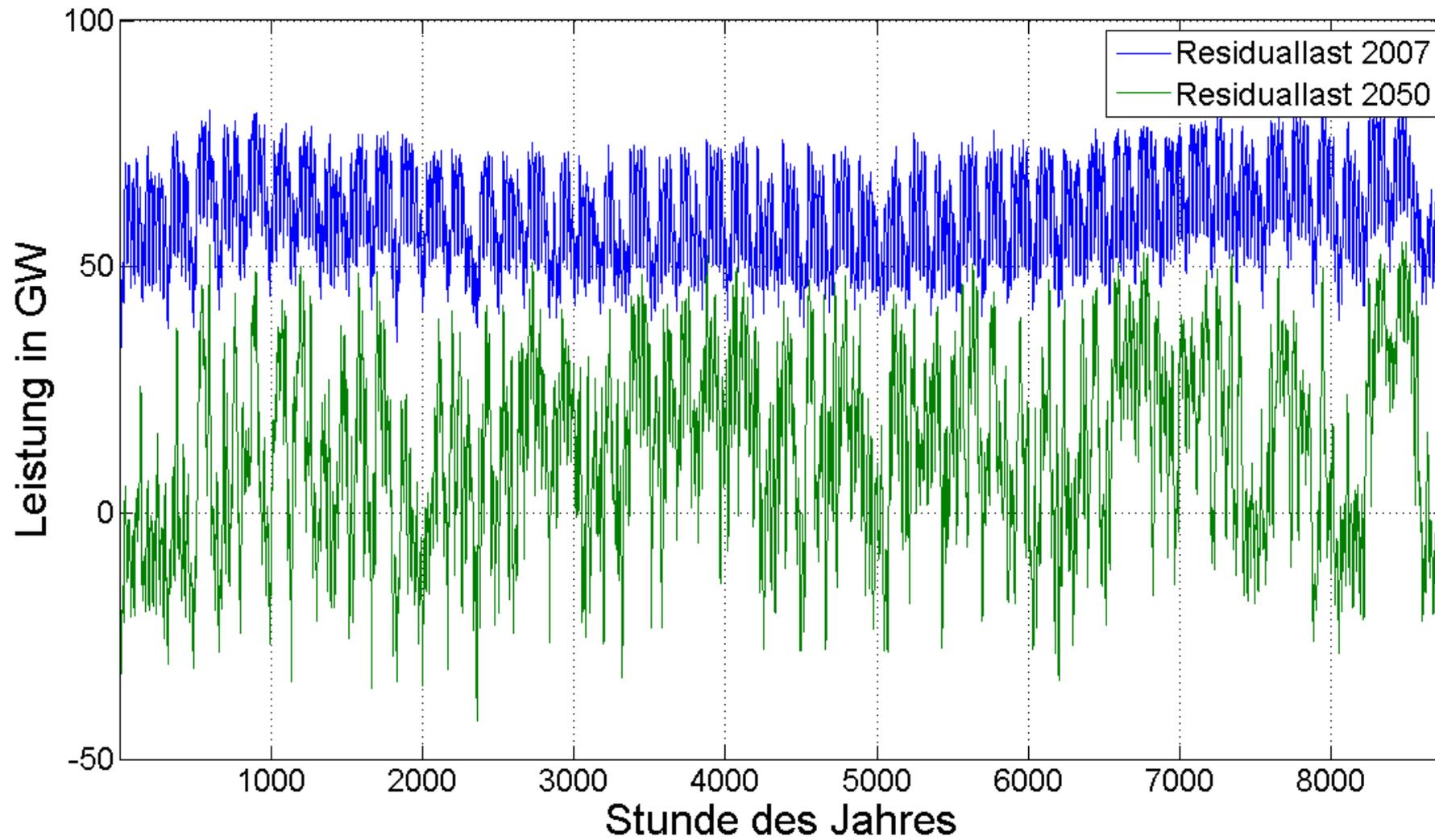
## Stündliche EE-Erzeugung und Nachfrage für das Jahr 2050



## Verlauf der Last und der residualen Last 2050

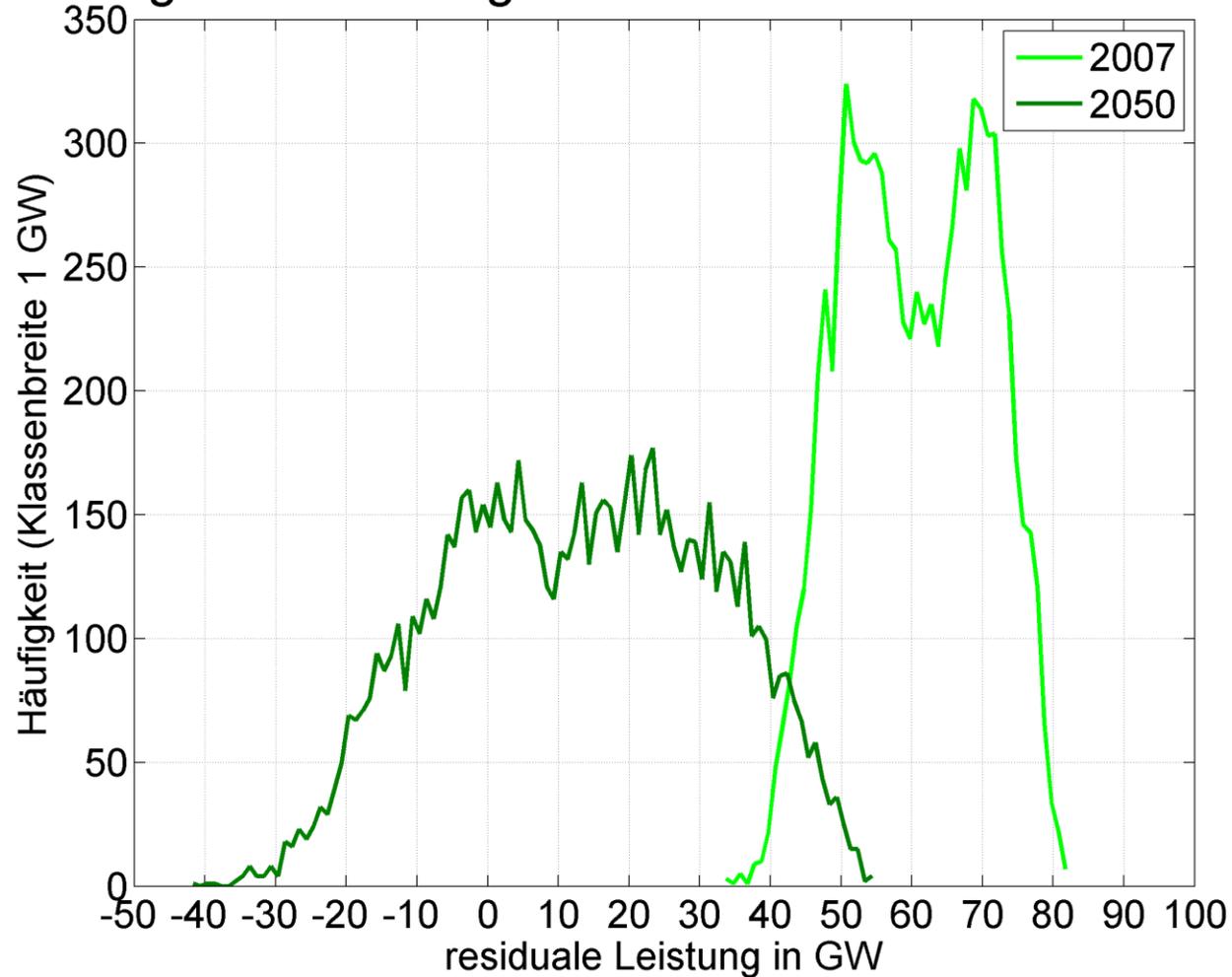


## Verlauf der Residuallast 2007 und 2050



# Histogramm der Residuallast 2007 und Residuallast 2050

Häufigkeitsverteilung der Residuallast 2007 und 2050



# Residuallast 2007 und Residuallast 2050



## Benötigte Grundlast-, Mittellast und Spitzenlastleistung (gerundet)

---

	<b>Residuallast 2007</b>	<b>Last 2050</b>	<b>Residuallast 2050 mit erneuerbaren</b>
<b>Grundlastleistung</b>	<b>51 GW</b>	<b>50 GW</b>	<b>0 GW</b>
<b>Mittellastleistung</b>	<b>19 GW</b>	<b>16 GW</b>	<b>29 GW</b>
<b>Spitzenlastleistung</b>	<b>13 GW</b>	<b>10 GW</b>	<b>26 GW</b>
<b>Summe</b>	<b>83 GW</b>	<b>76 GW</b>	<b>55 GW</b>
<b>Installierte EE- Leistung</b>	<b>35 GW</b>		<b>129 GW</b>

# Möglichkeiten zur Nutzung der Überschüsse und Glättung der Residuallast durch die Elektromobilität

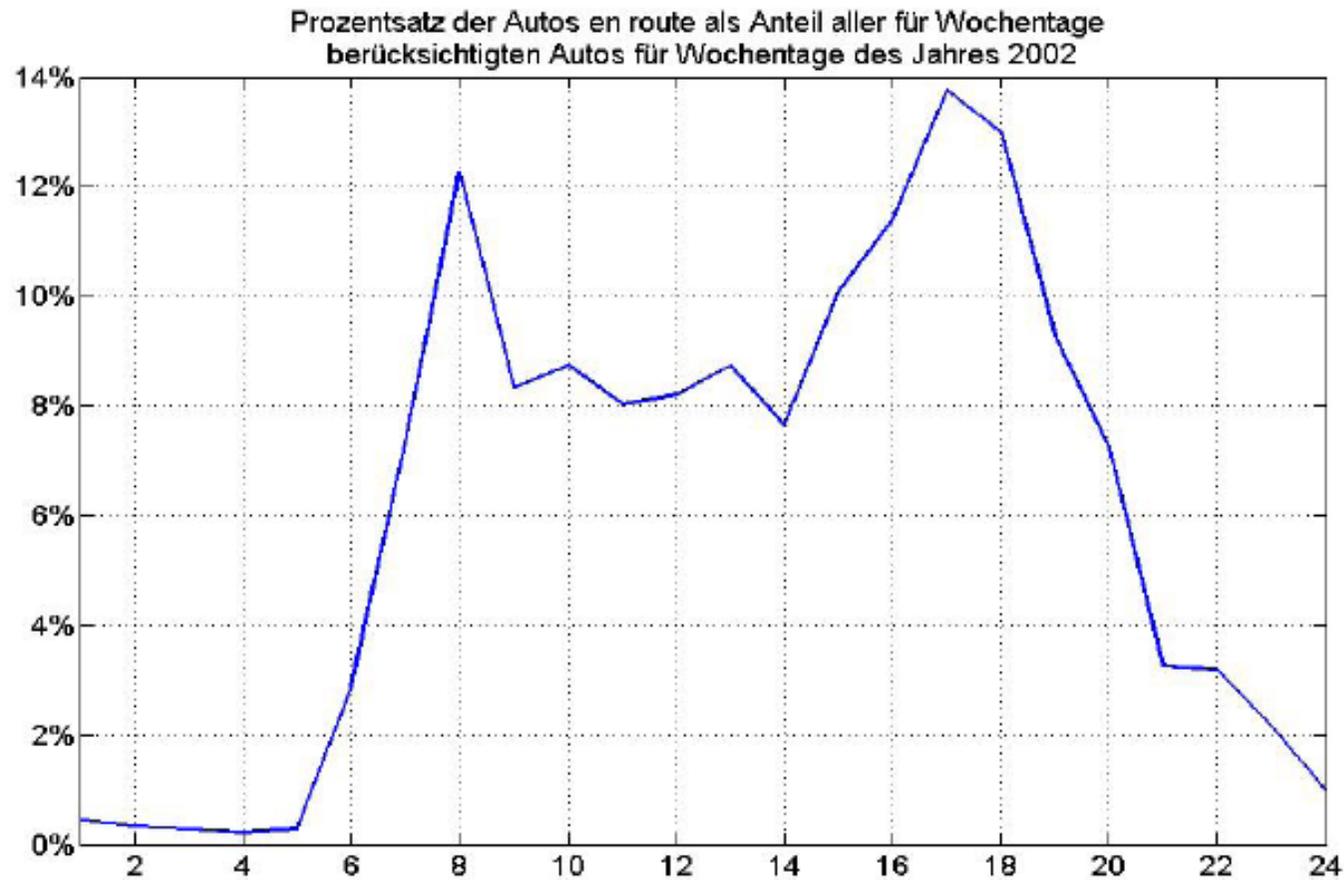
---

Exemplarisch gewählte Parameter der Elektropkw:

- Speicherkapazität: 17 kWh
- Verbrauch: 15 kWh / 100km
- Ladeleistung: 3 kW

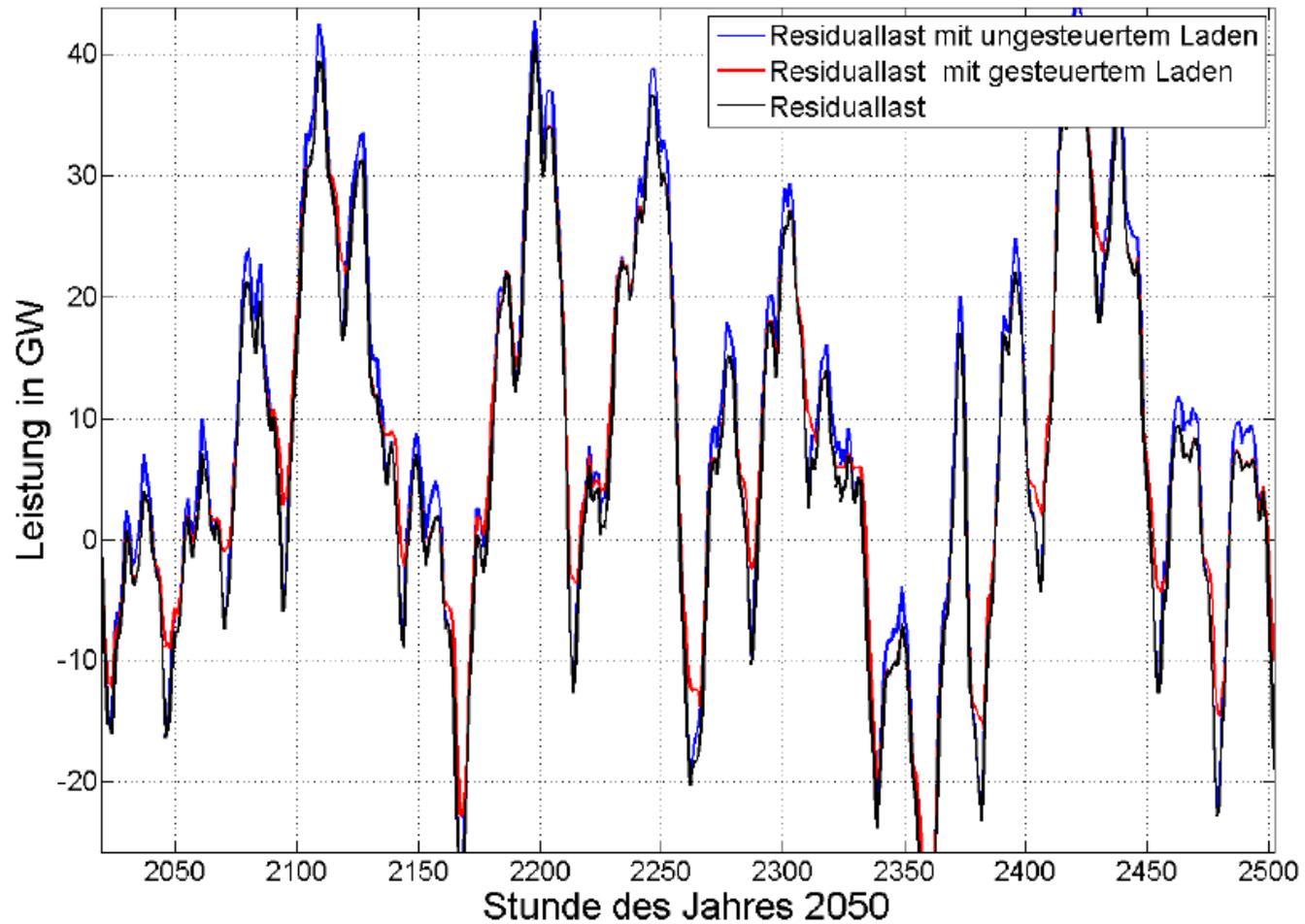
# Auswertung des Fahrprofils deutscher PKW Fahrer 2002 (Wochentags)

---

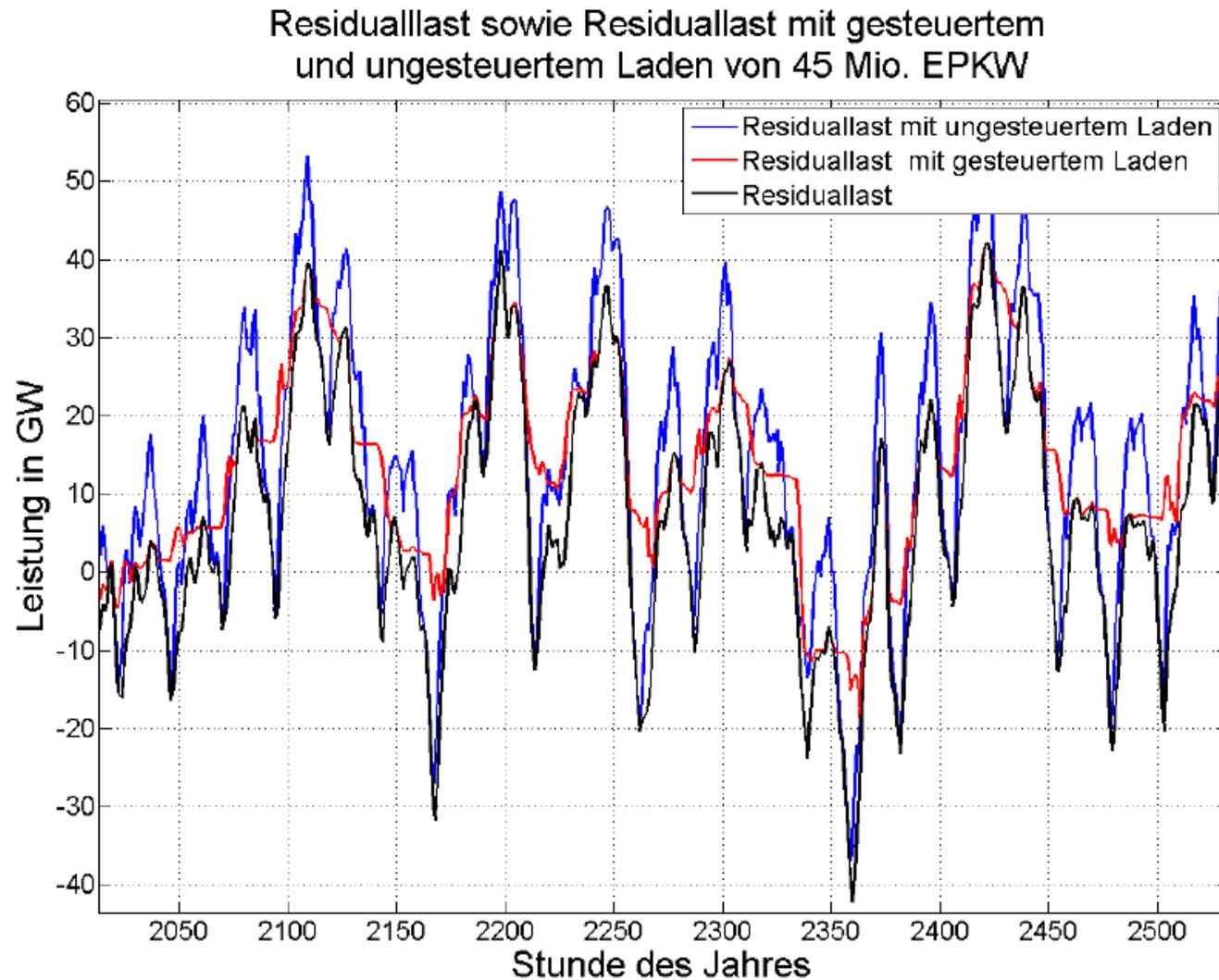


# Einfluss auf den Residuallastverlauf 10 Mio. EPKW

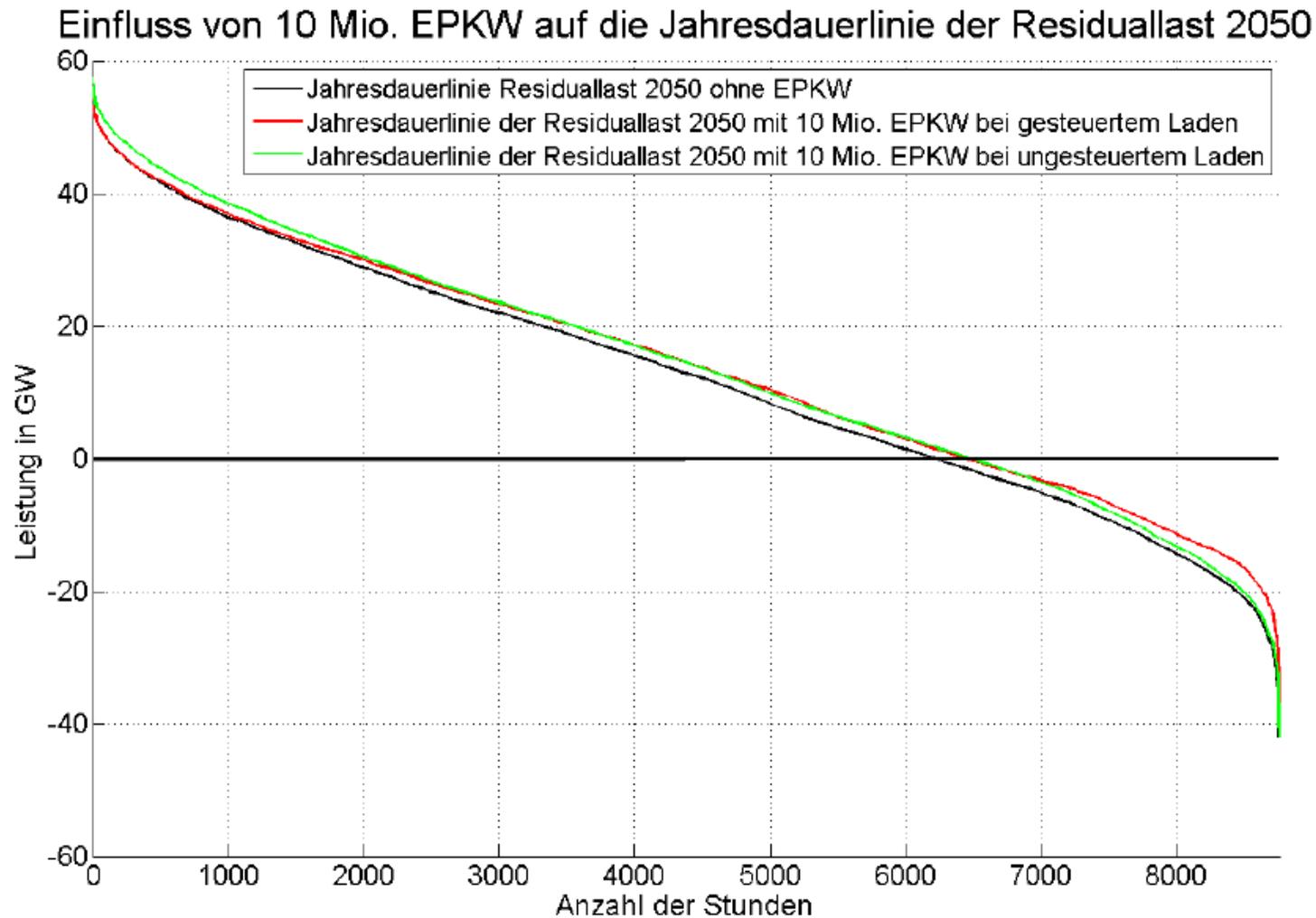
Residuallast sowie Residuallast mit gesteuertem und ungesteuertem Laden von 10 Mio. EPKW



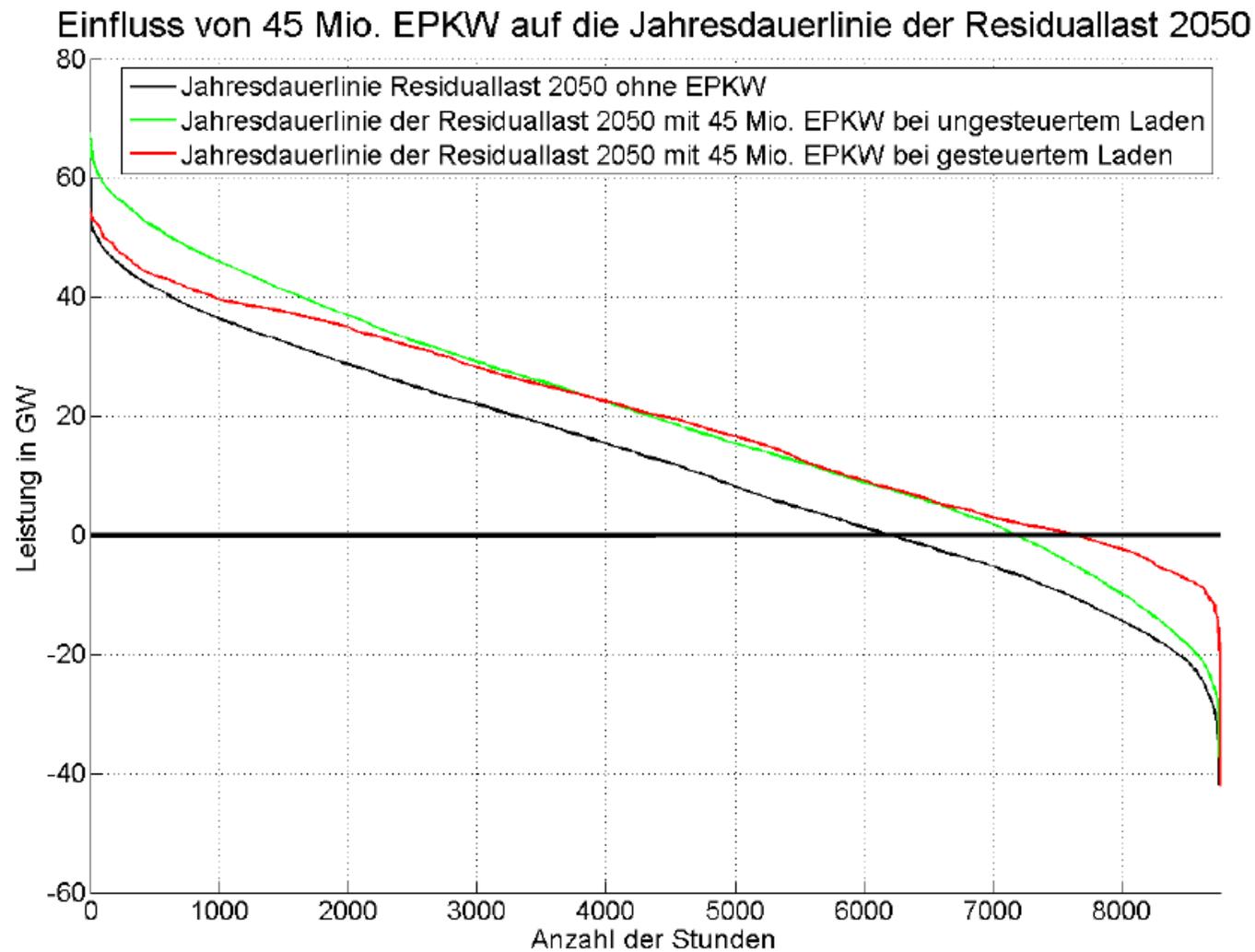
# Einfluss auf den Residuallastverlauf 45 Mio. EPKW



# Einfluss auf Grund-, Mittel-, Spitzenlast und Überschüsse, 10 Mio. EPKW



# Einfluss auf Grund-, Mittel-, Spitzenlast und Überschüsse, 45 Mio. EPKW



# Nutzung von Überschüssen

---

	Energiebedarf bei 10 Millionen EPKW	Energieüber- schuss bei 10 Millionen EPKW	Energiebedarf bei 45 Millionen EPKW	Energieüber- schuss bei 45 Millionen EPKW
Ohne EKfZ		26 TWh		26 TWh
Mit Lastm.	14,3 TWh	19,5 TWh	64,4 TWh	5 TWh
Ohne Lastm.	14,3 TWh	23 TWh	64,4 TWh	16 TWh

# Ergebnisse für das meteorologische Jahr 2007

---

- Die Volllaststunden konventioneller Kraftwerkspark sinken stark bei einer Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien auf ca. 75% an der Stromerzeugung**
- Die vorzuhaltende back-up Leistung beträgt bei 129 GW erneuerbarer Leistung immer noch ca. 55 GW**
- Es treten durch die erneuerbaren Energien Überschüsse auf, die abgeregelt oder gespeichert werden müssen**

# Geplante Fortsetzung der Arbeit

---

- Simulation der Erzeugung in Europa**
- Simulation der Wärmeversorgung (insbesond. mögliche Flexibilisierung der Stromerzeugung durch thermische Speicher)**
- Simulation des Netzes um notwendigen Netzausbau aufzeigen zu können**
- Simulation des Einsatzes Konventioneller Kraftwerke und Speicher**
- Simulation von Lastmanagement**