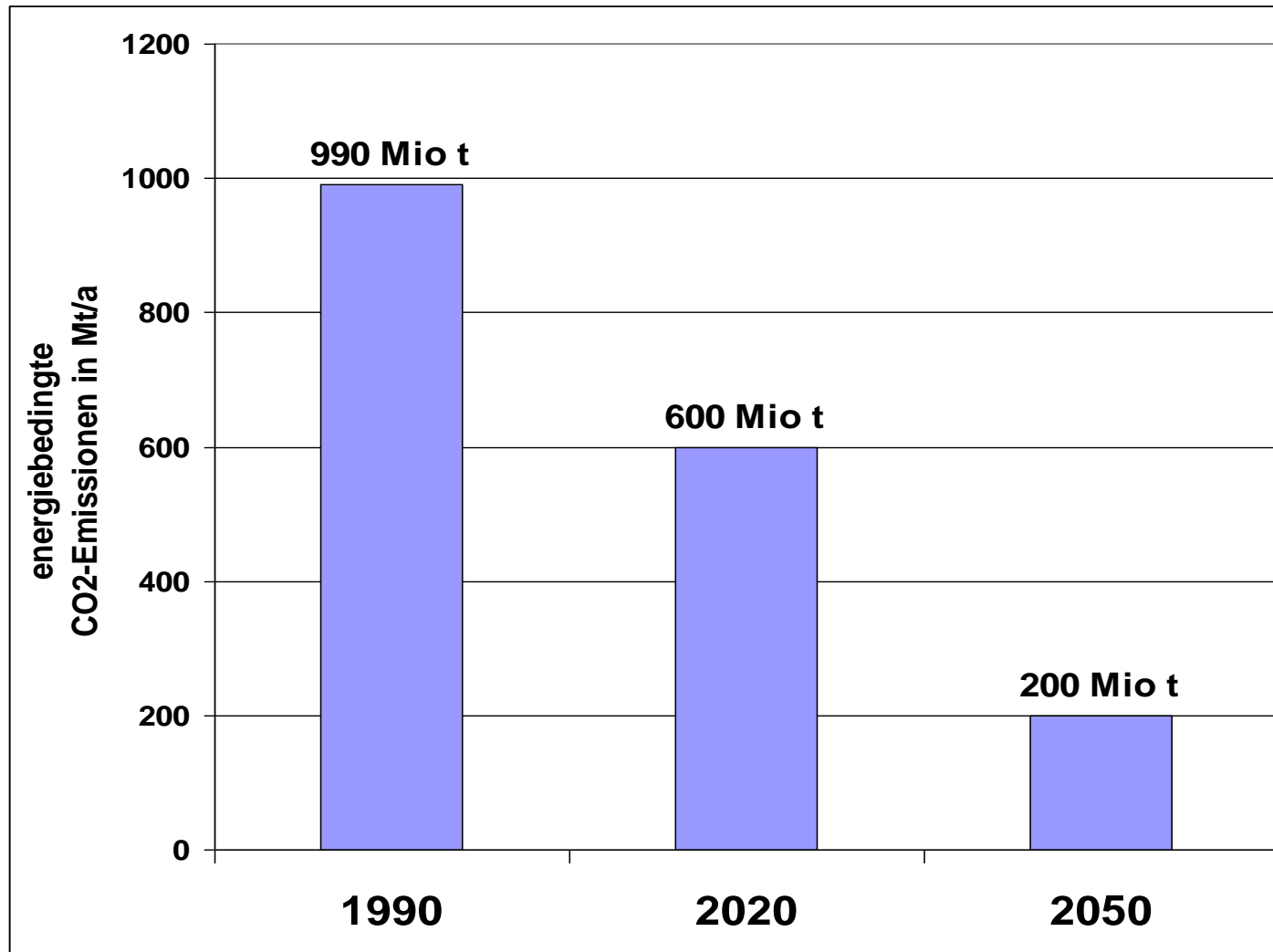

Anforderungen an den Fluktuationsausgleich für die Stromversorgung Deutschlands mit erneuerbaren Energien

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

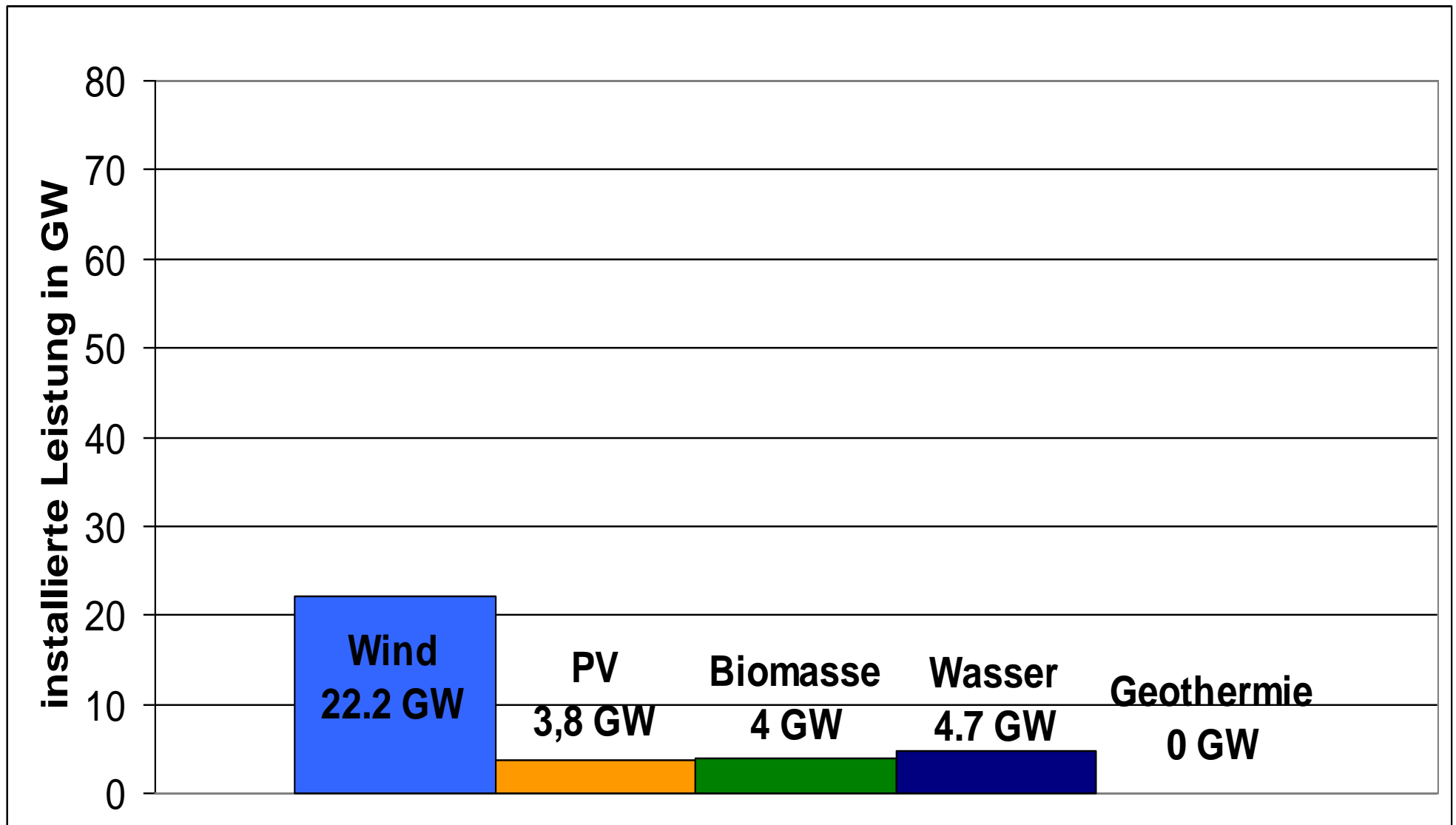
Leitszenario 2009



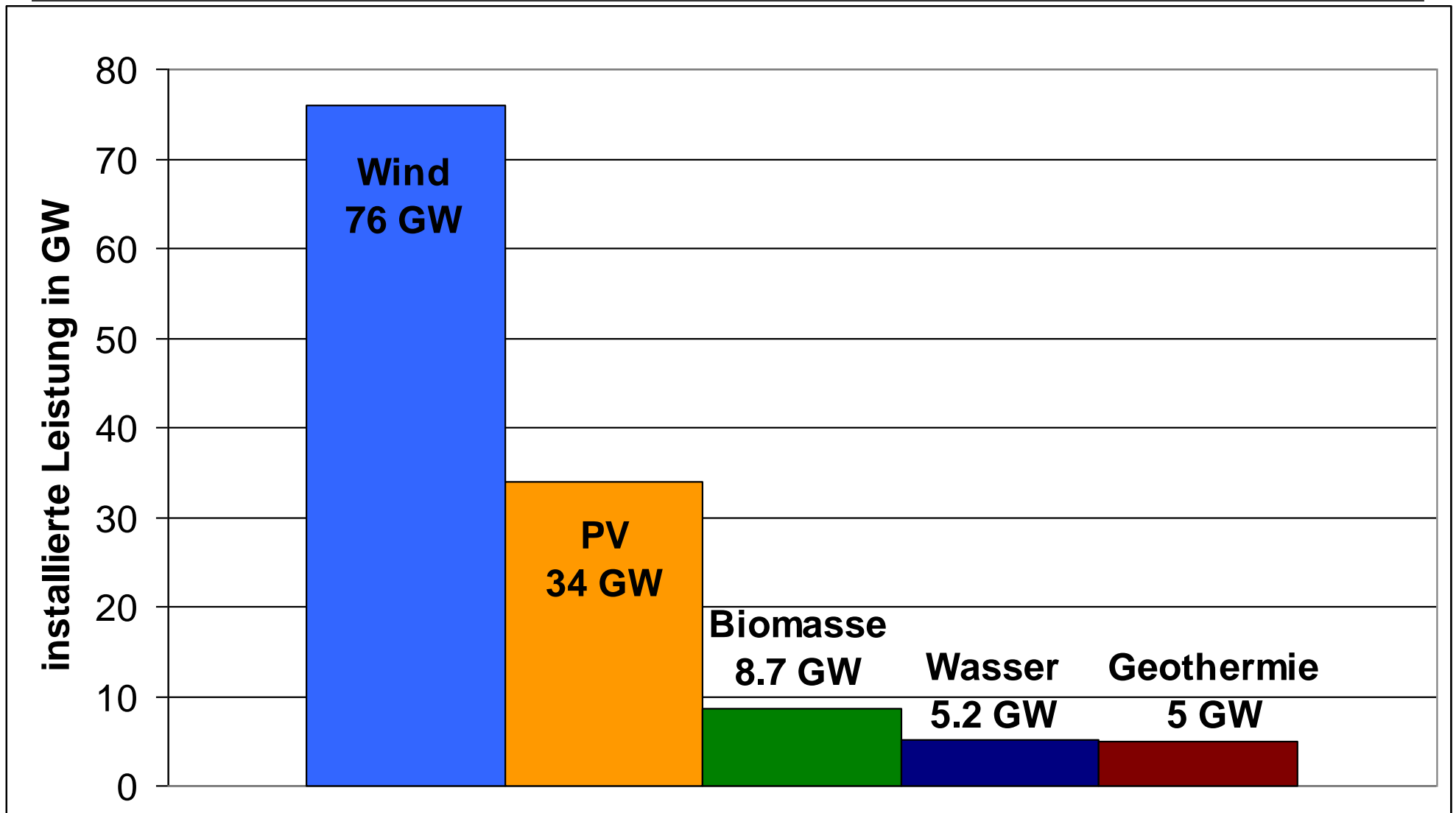
Gliederung

- **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

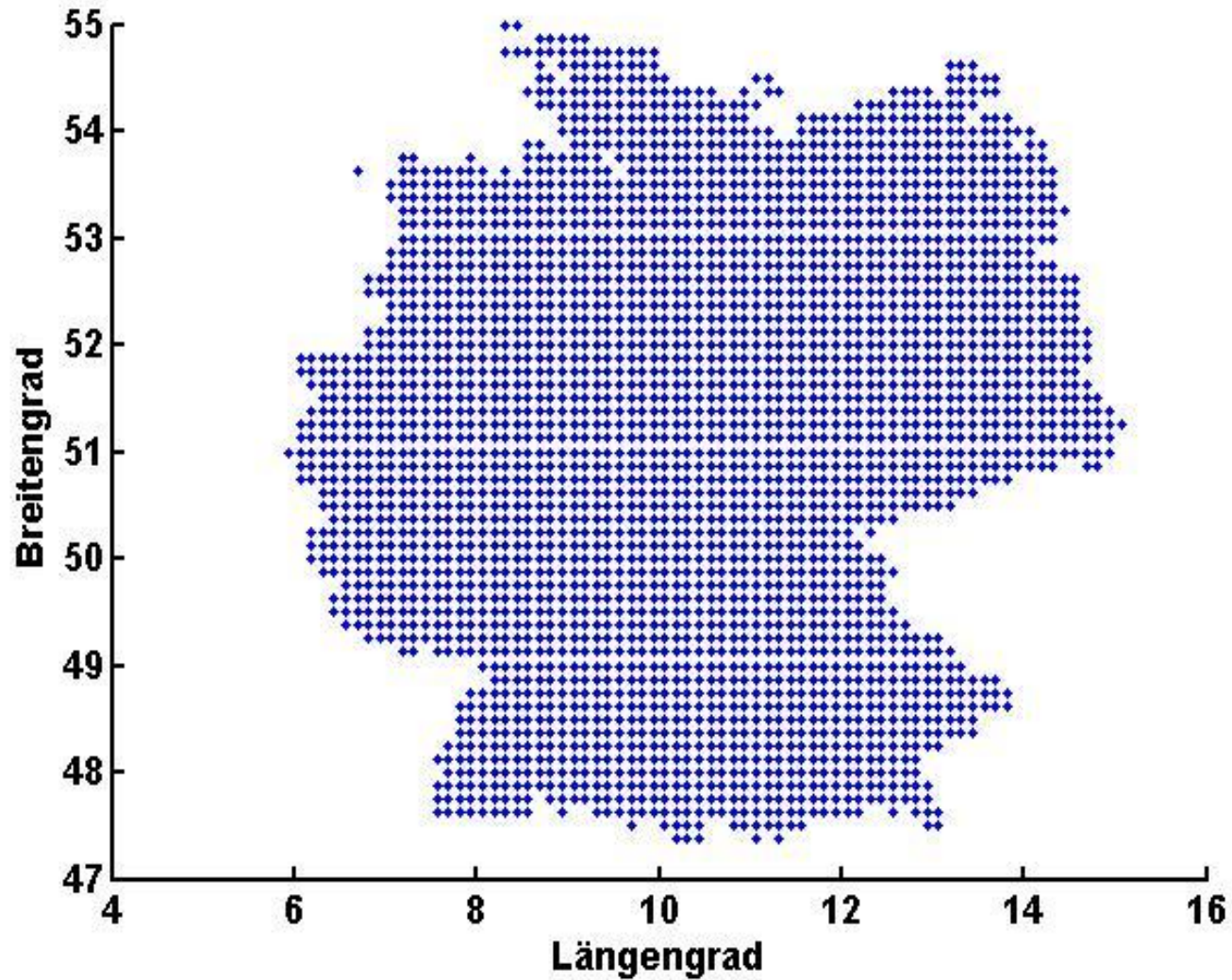
Komponenten:

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

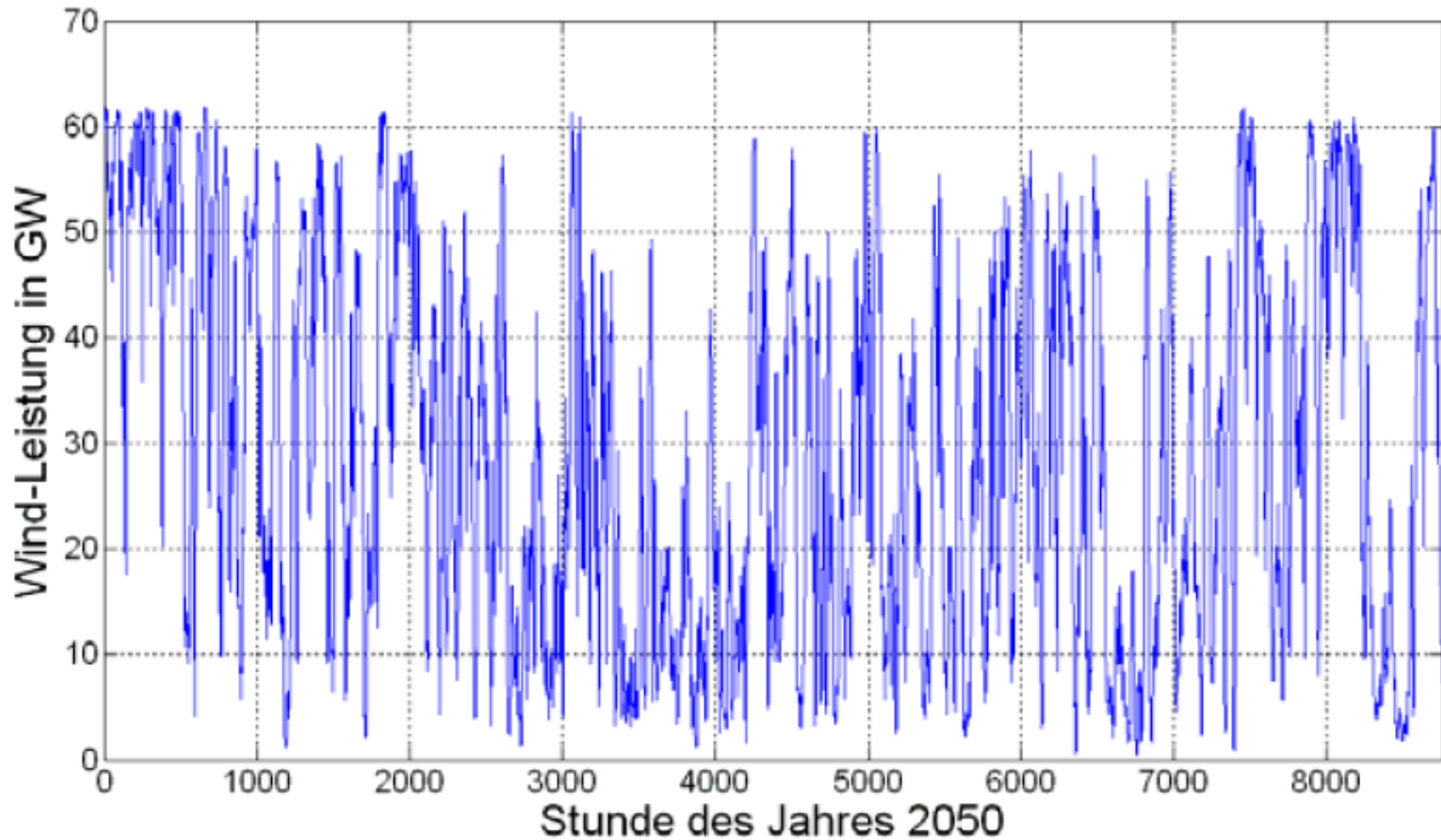
Simulation der Windenergie-Einspeisung

- 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

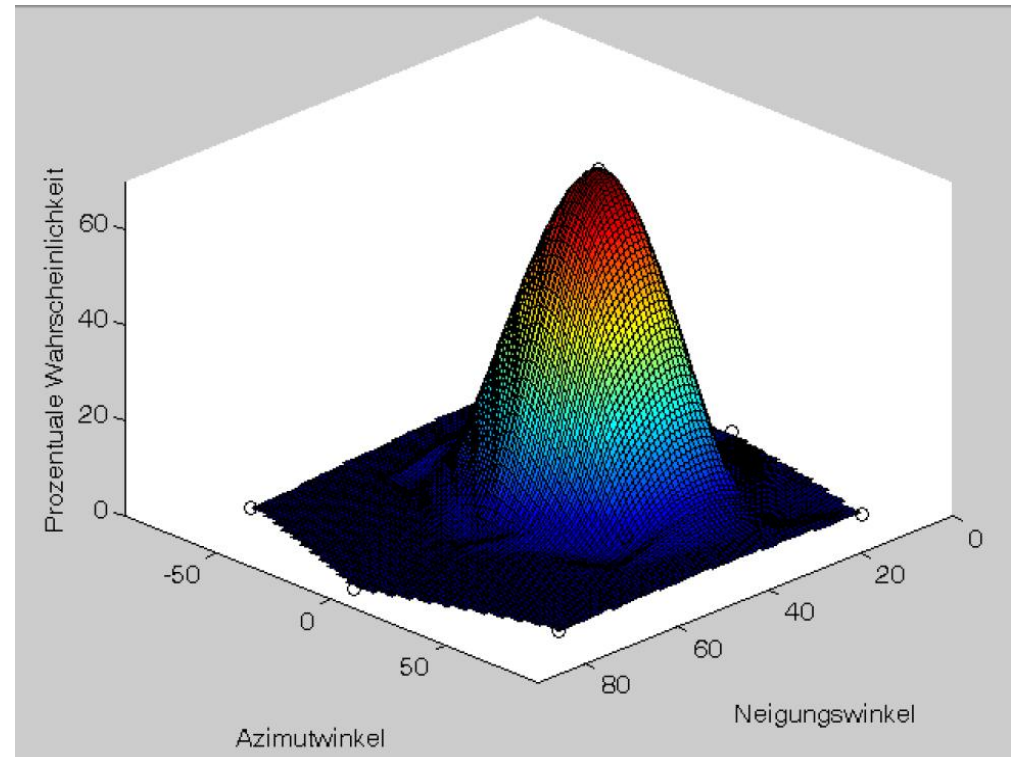


Simulierte Windenergieeinspeisung 2050 (meteorolog. Jahr 2007)



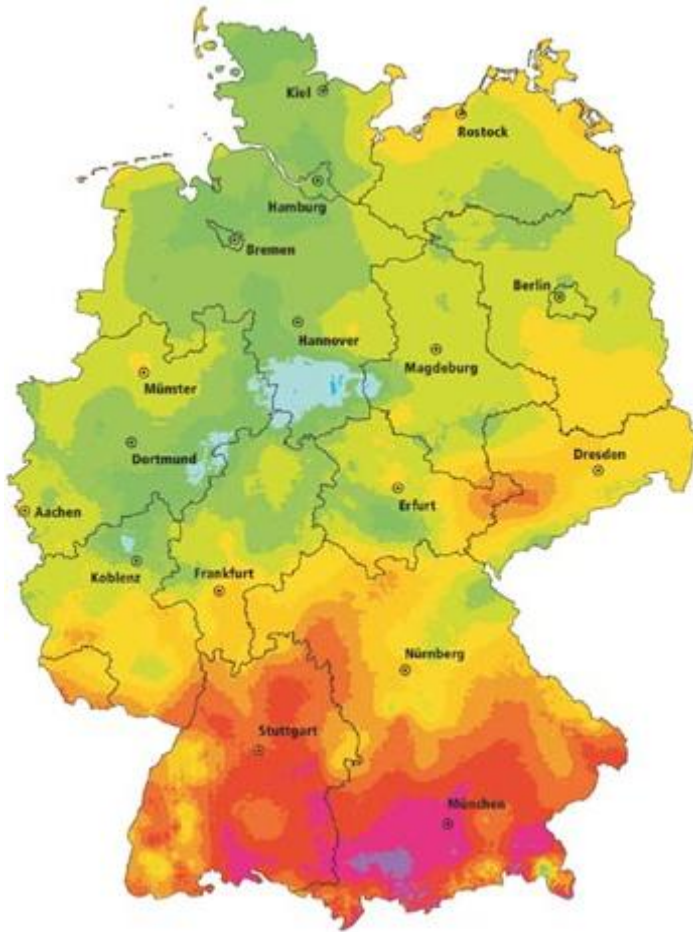
Simulation der PV-Einspeisung

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

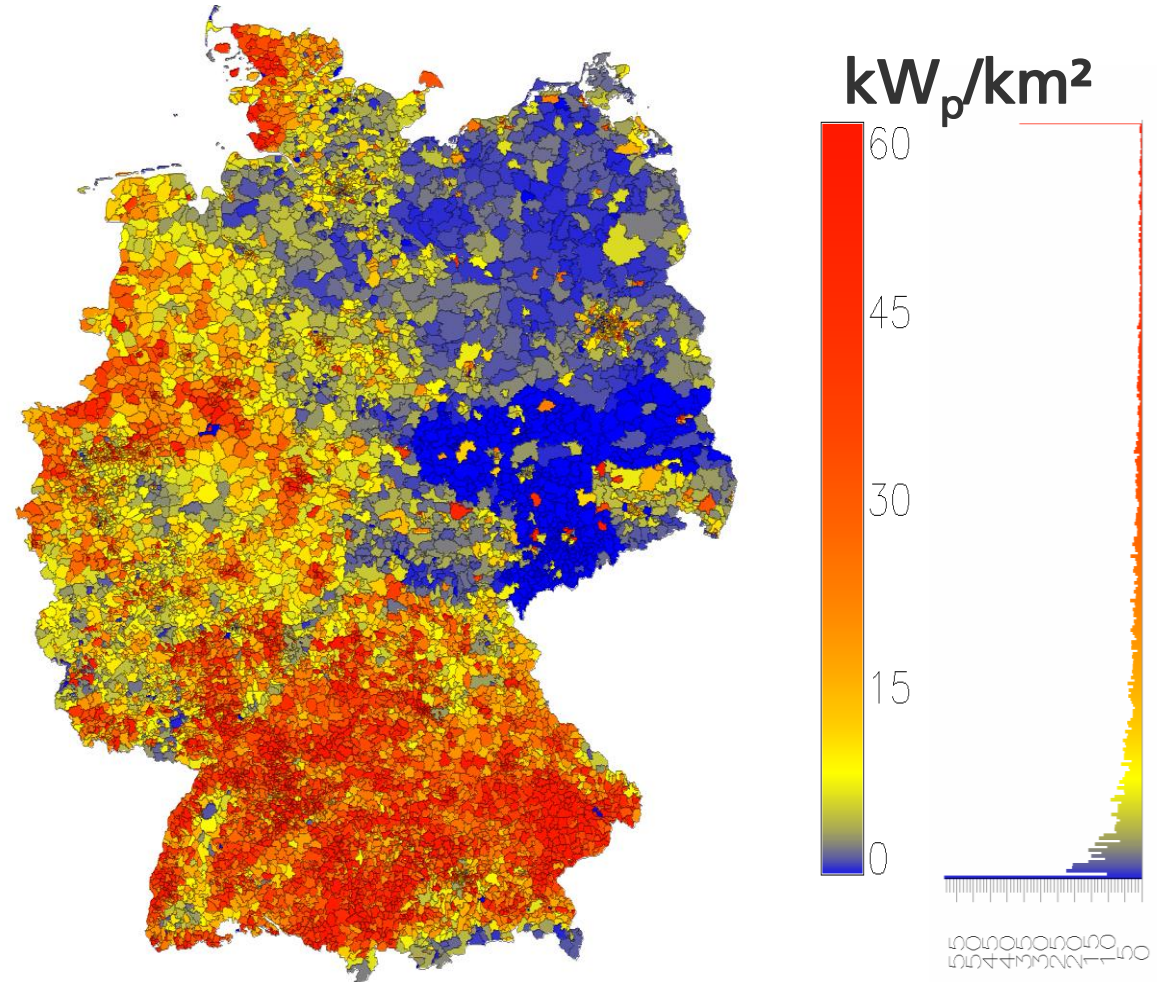


Regionale Verteilung der Zubaukapazität von Wind und PV für die Ausbauszenarien

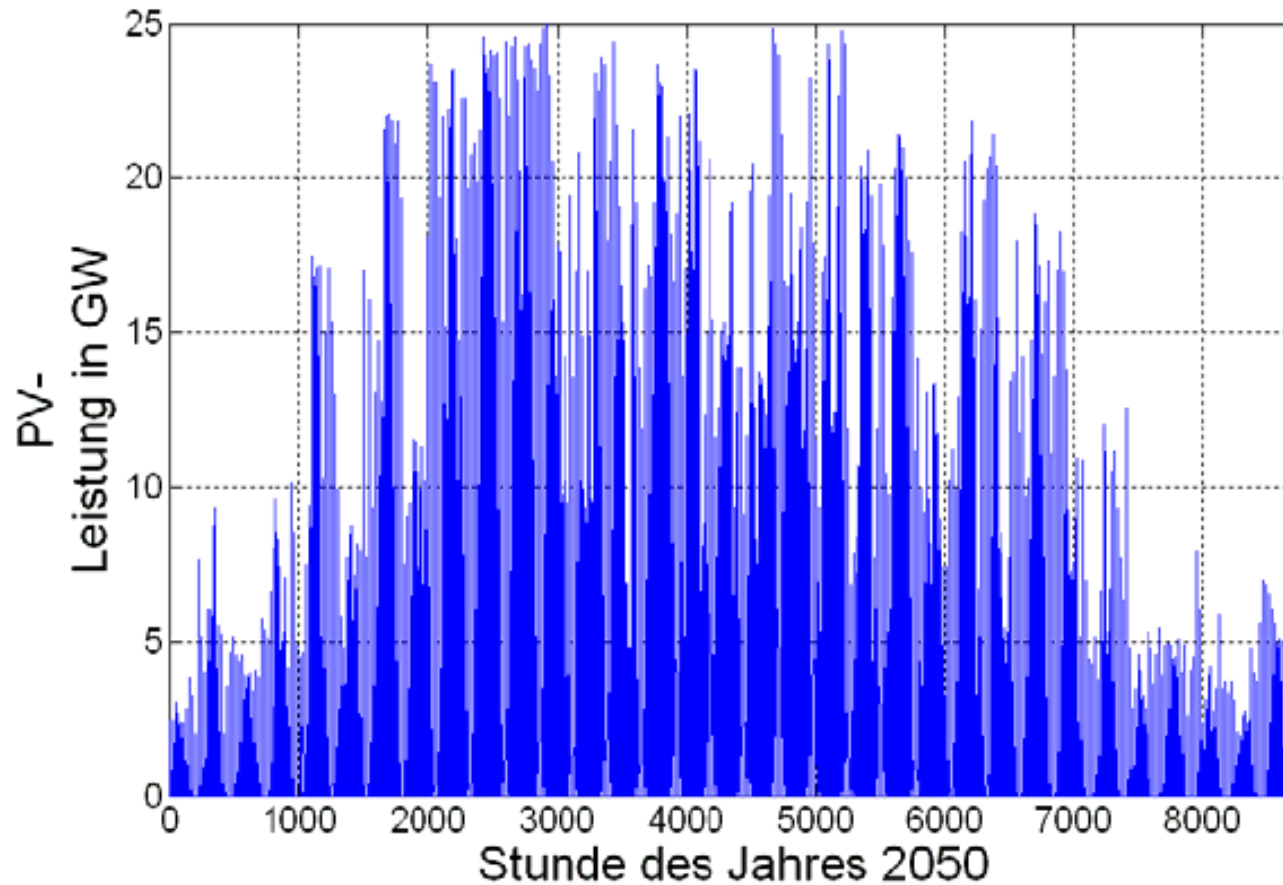
Solare Ressource



Installierte Kapazität (EEG Stammdaten)



Simulierte PV-Einspeisung 2050 (meteorologisches Jahr 2007)



Biomasse

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

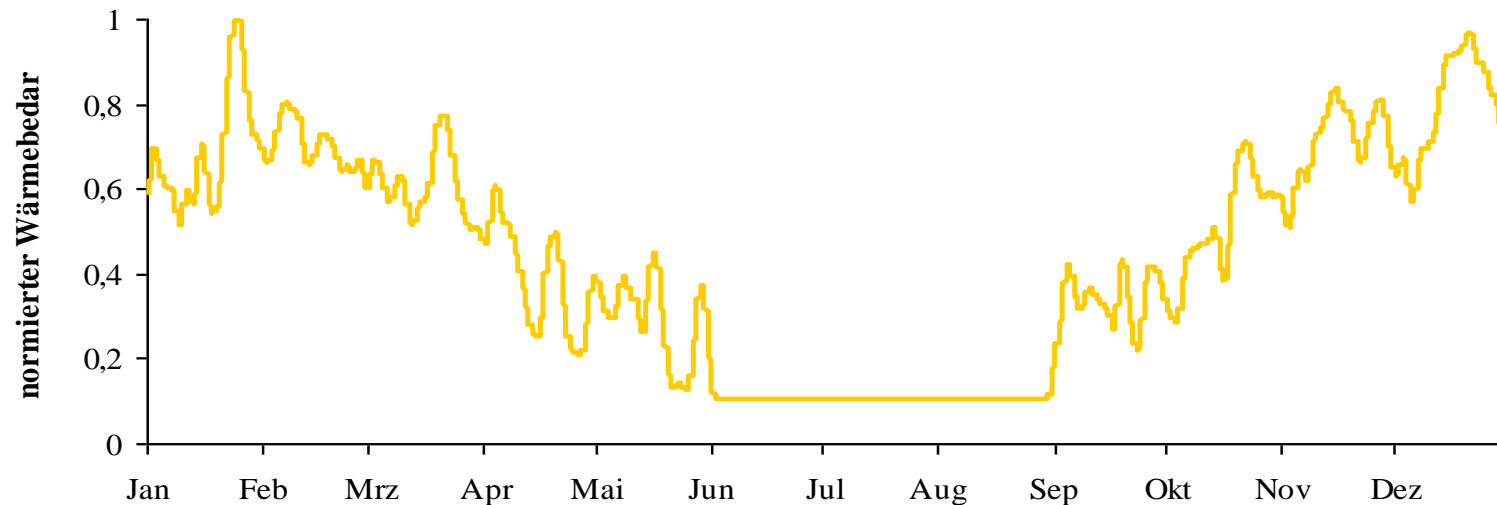
Unterscheidung zwischen:

- **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)

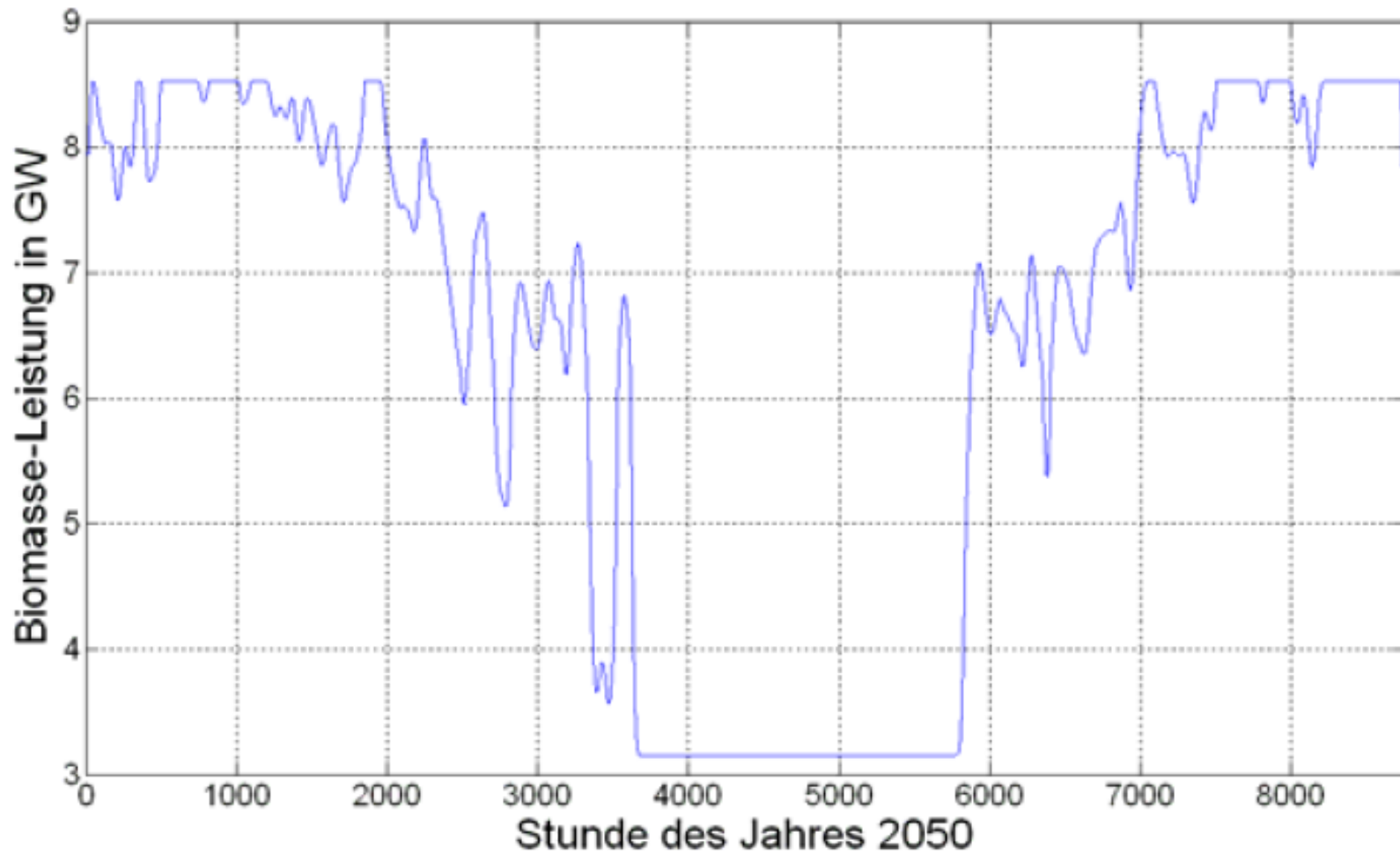
Biomasse – wärmegeführter Betrieb

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)



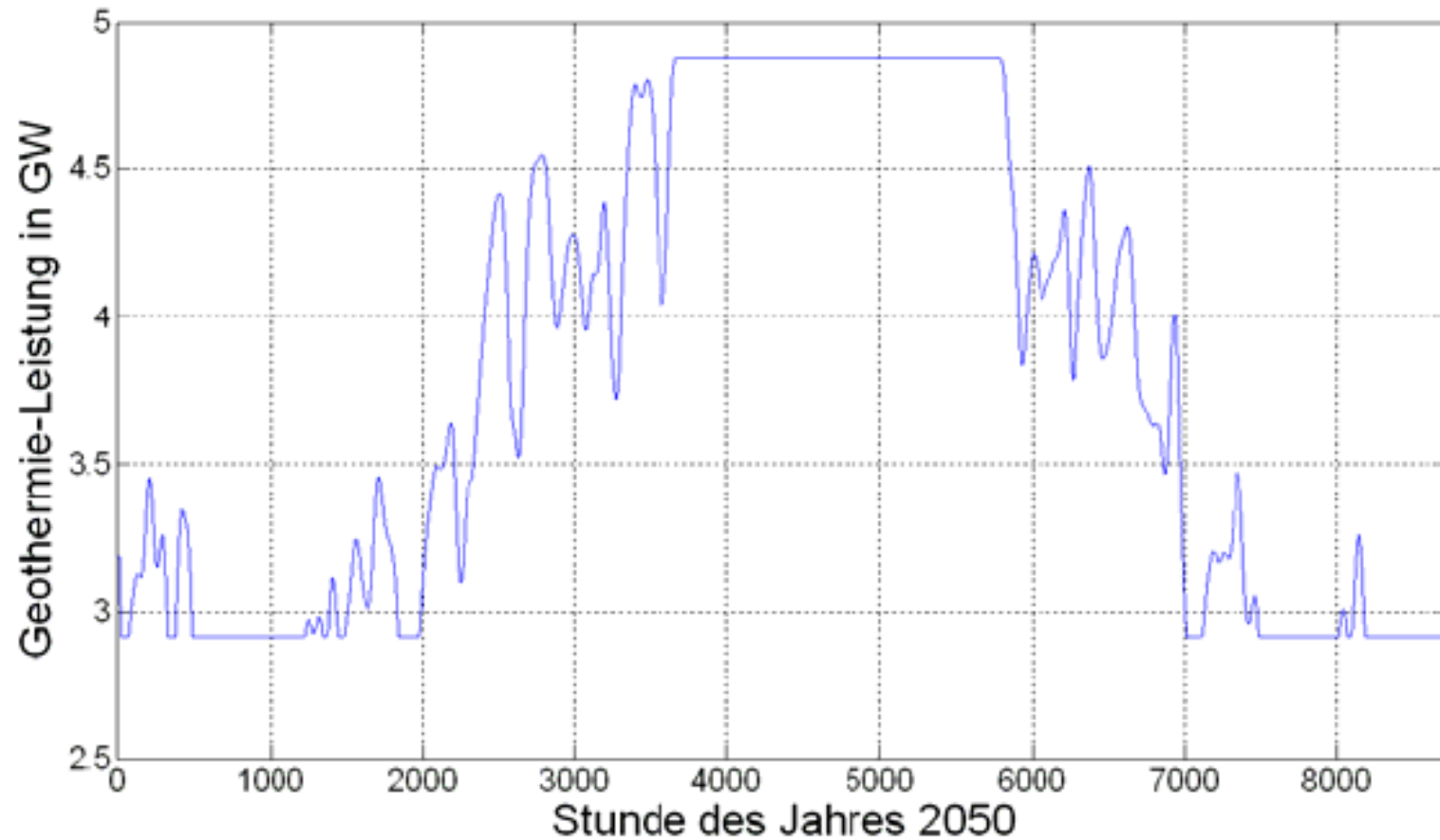
Simulierte Biomasseeinspeisung 2050 (meteorologisches Jahr 2007)



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

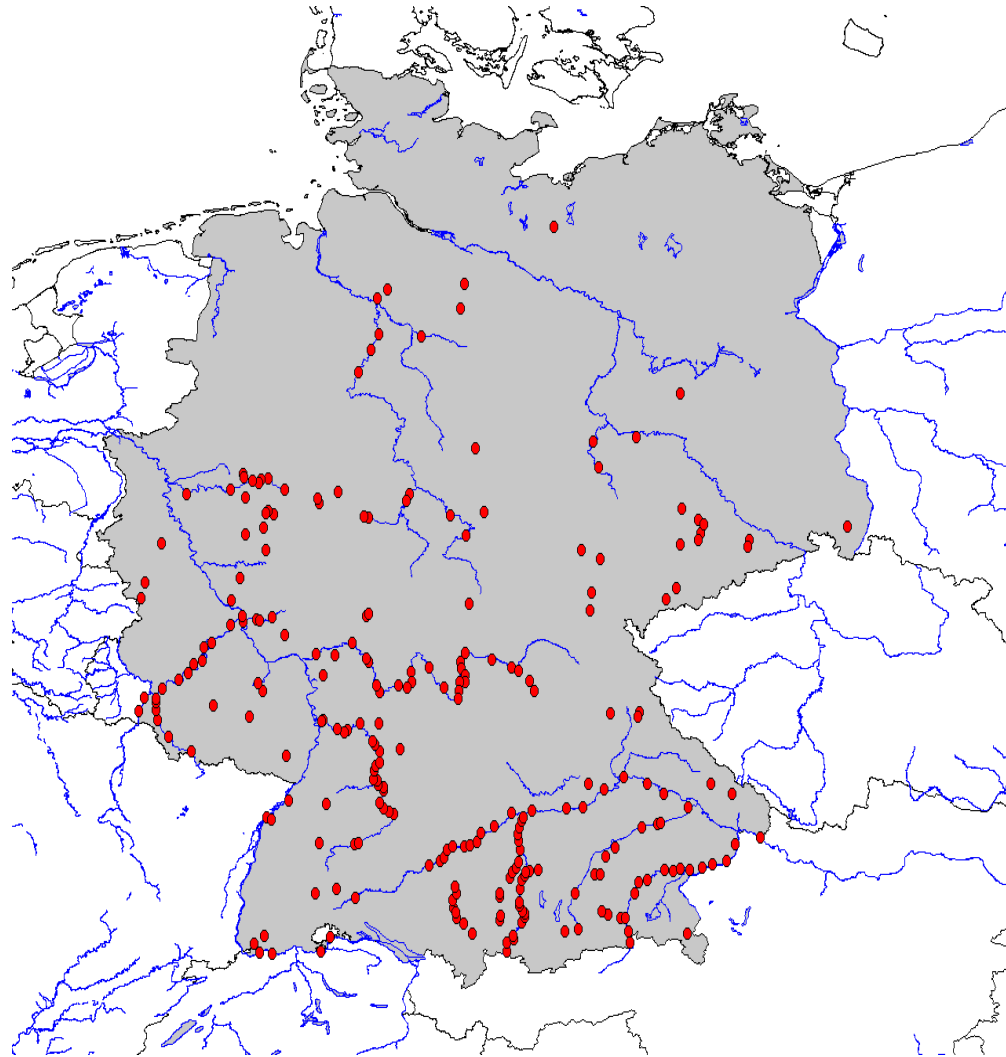
Eingangsdaten:

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

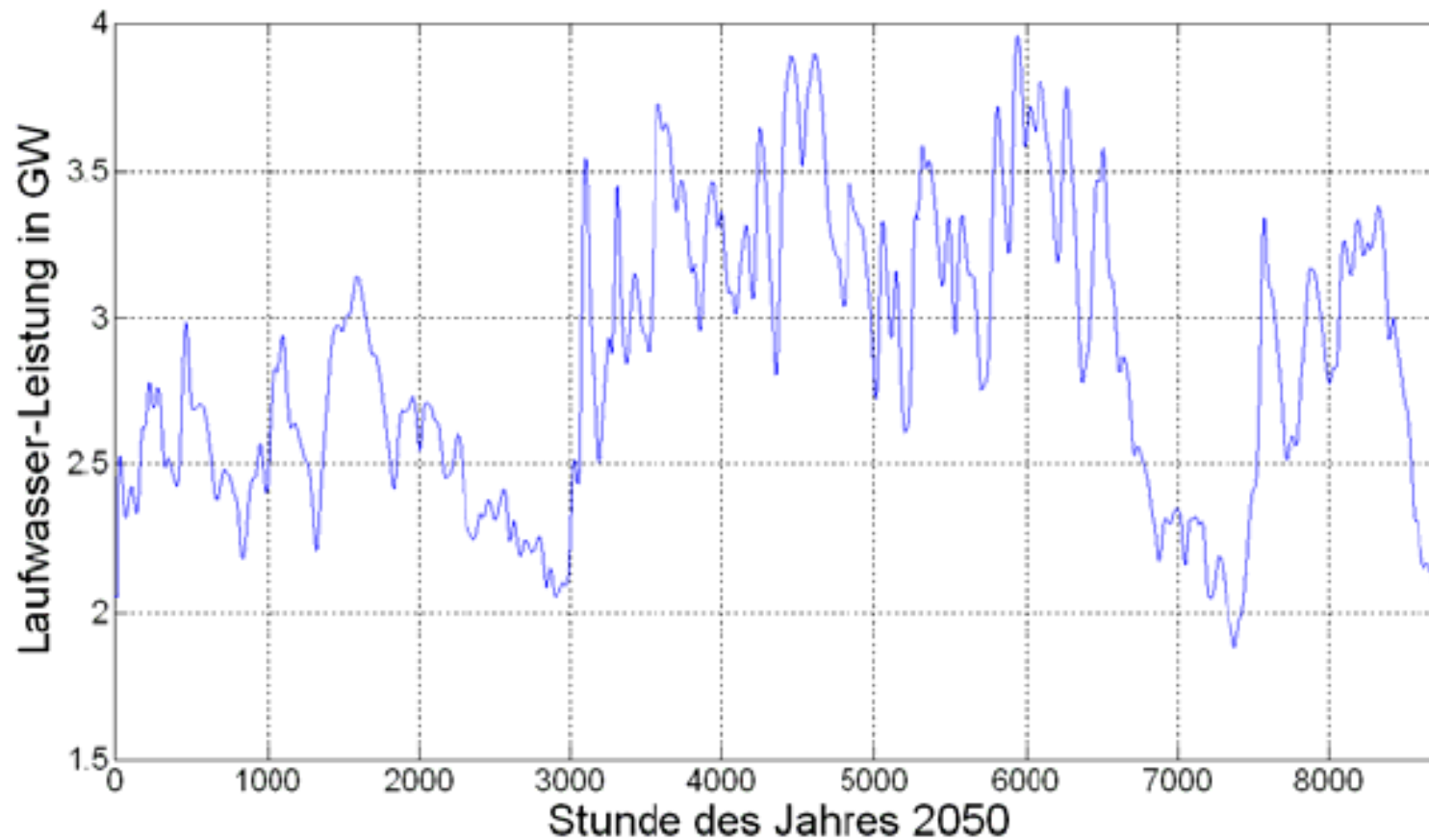
Modell:

- 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

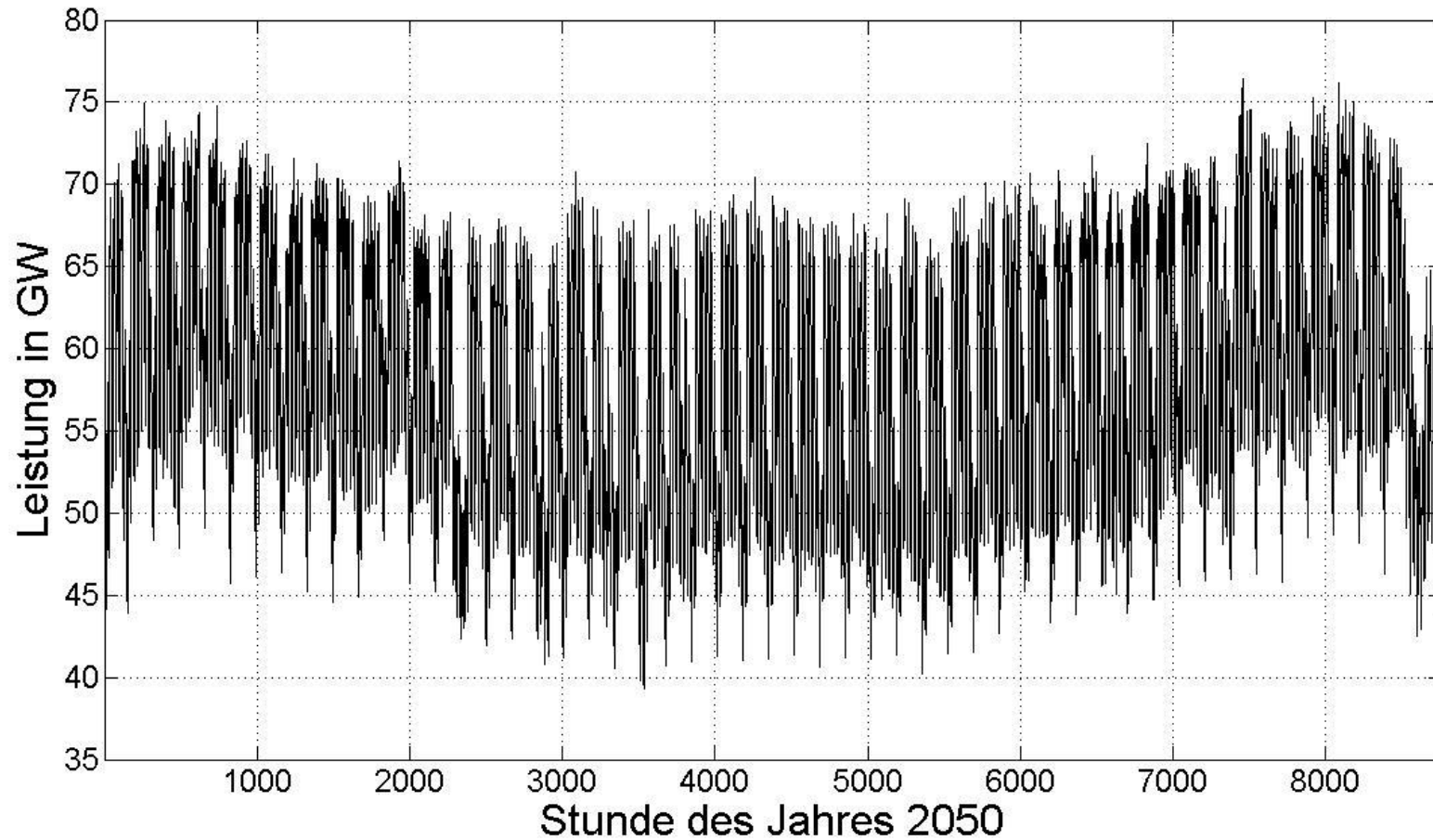


Laufwasserkrafteinspeisung 2050 (meteorologisches Jahr 2007)



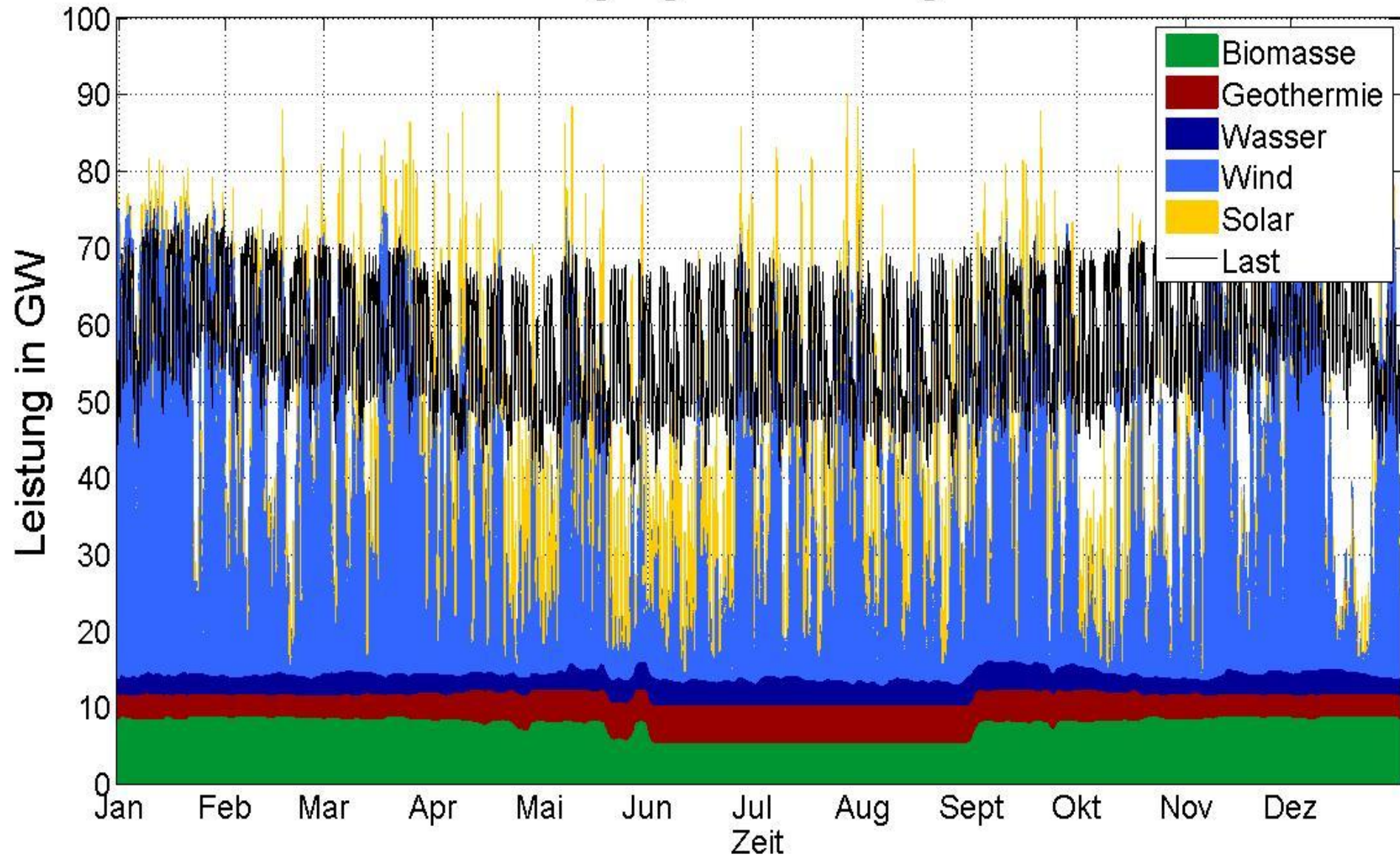
Stündliche Nachfrage 2050

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

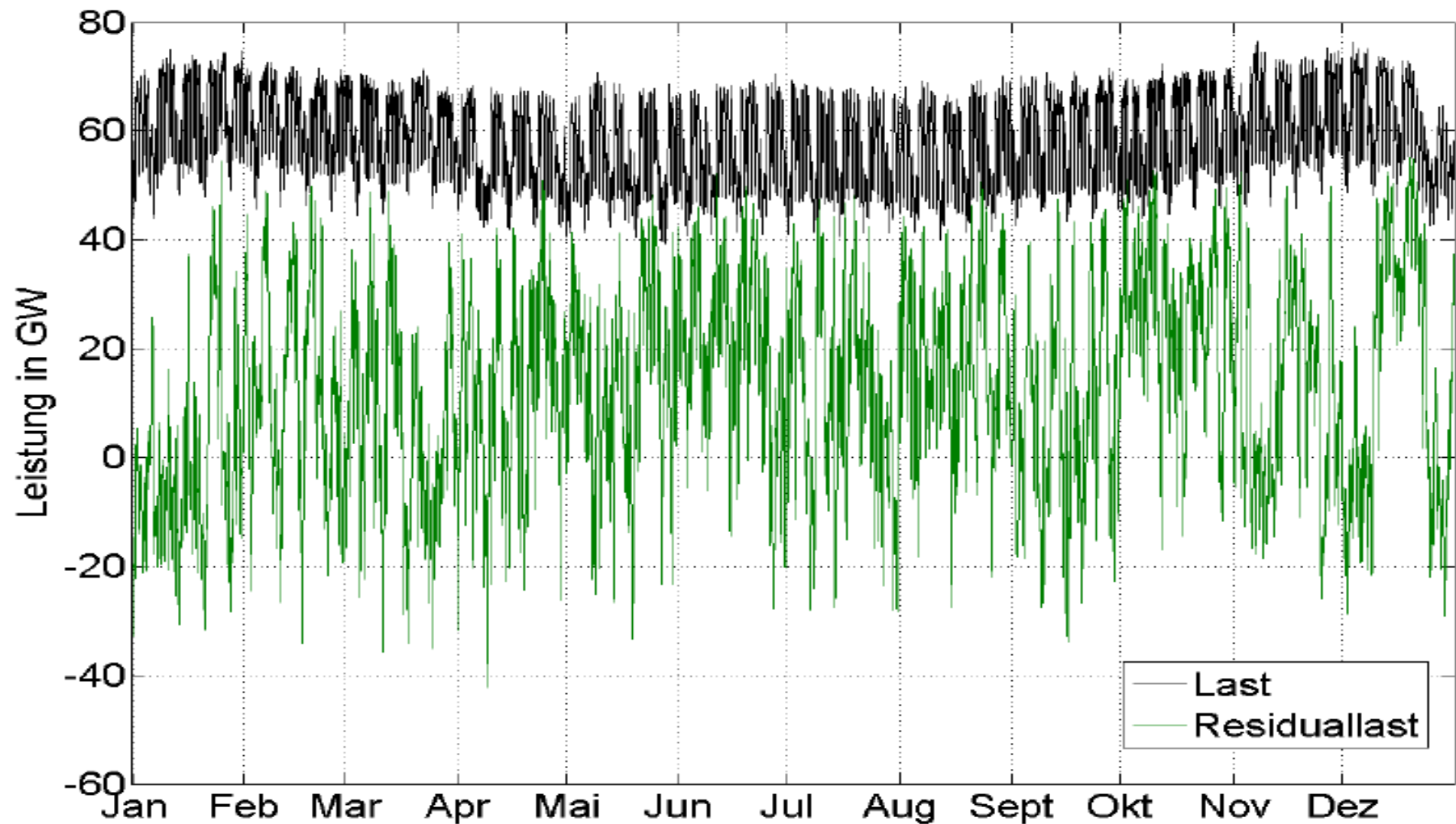


Ergebnisse

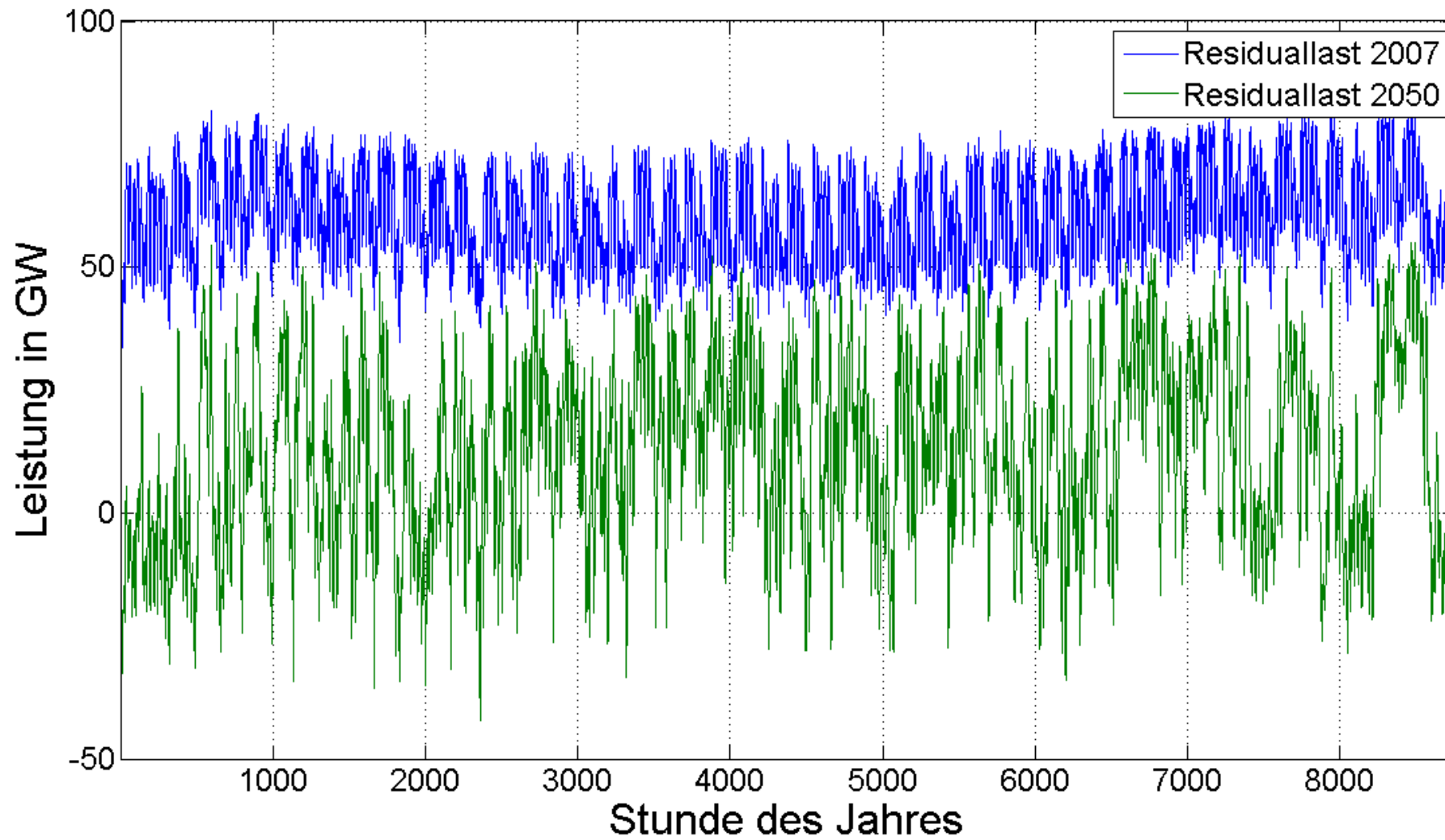
Stündliche EE-Erzeugung und Nachfrage für das Jahr 2050



Verlauf der Last und der residualen Last 2050

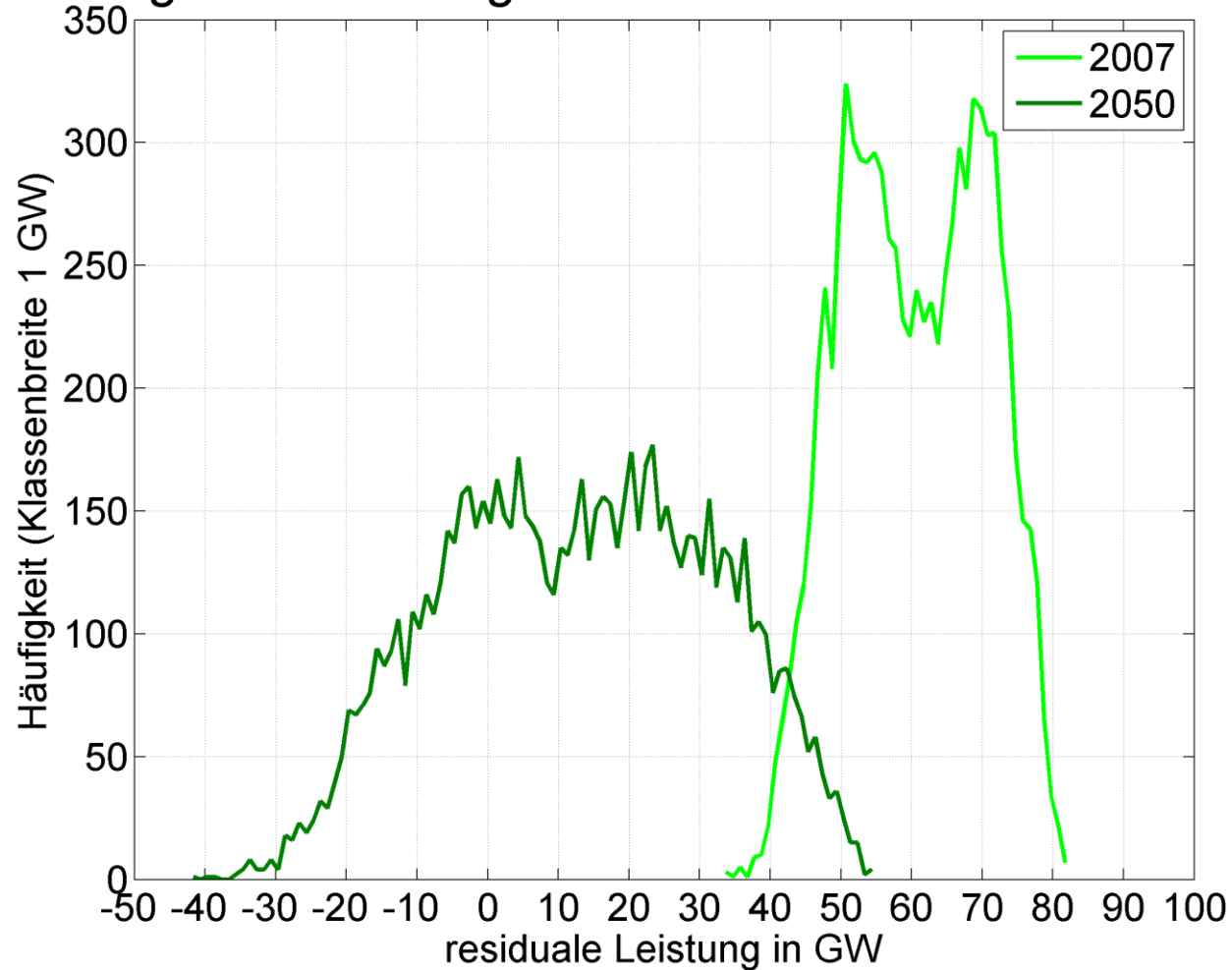


Verlauf der Residuallast 2007 und 2050

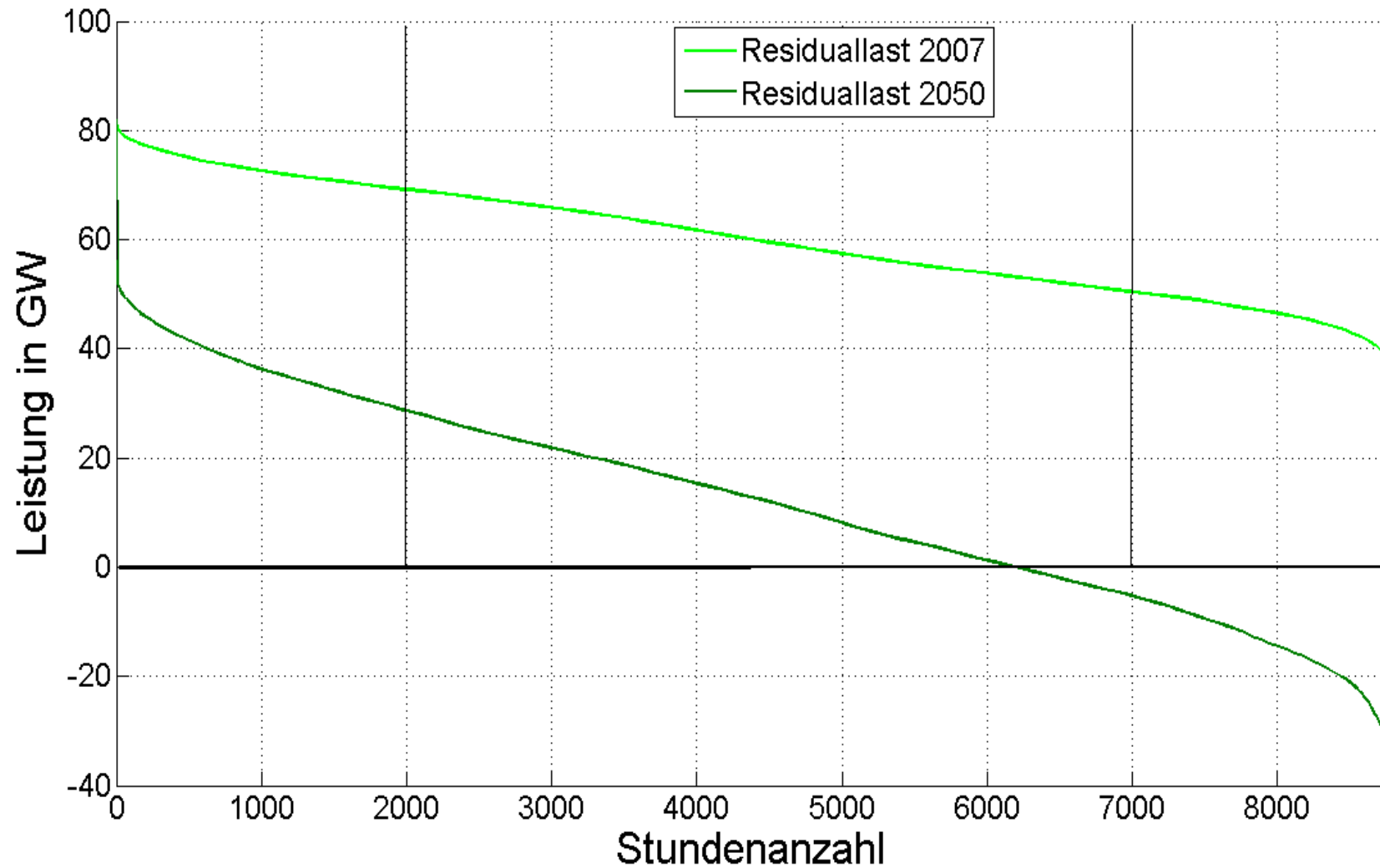


Histogramm der Residuallast 2007 und Residuallast 2050

Häufigkeitsverteilung der Residuallast 2007 und 2050



Residuallast 2007 und Residuallast 2050



Benötigte Grundlast-, Mittellast und Spitzenlastleistung (gerundet)

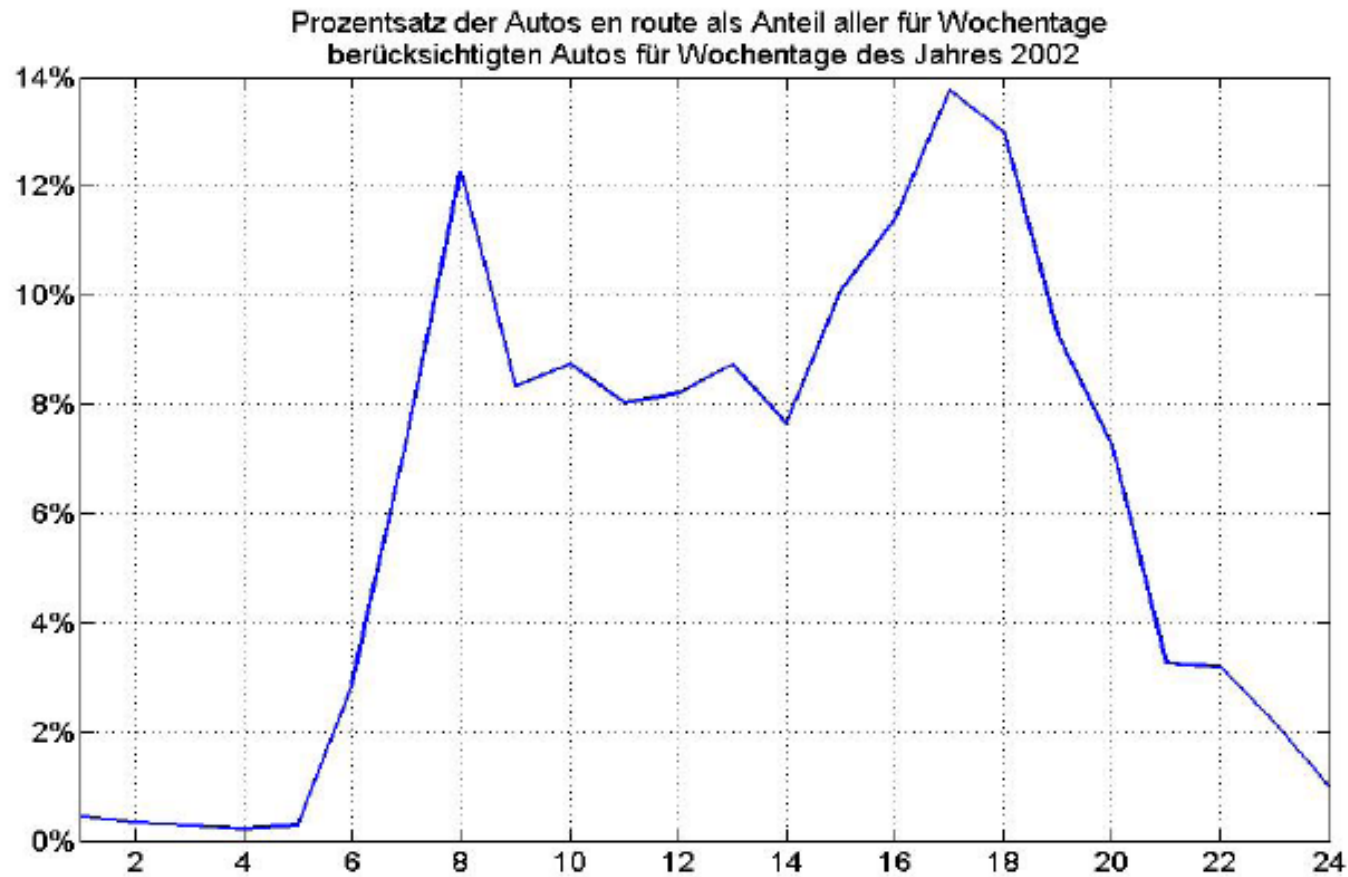
	Residuallast 2007	Last 2050	Residuallast 2050 mit erneuerbaren
Grundlastleistung	51 GW	50 GW	0 GW
Mittellastleistung	19 GW	16 GW	29 GW
Spitzenlastleistung	13 GW	10 GW	26 GW
Summe	83 GW	76 GW	55 GW
Installierte EE- Leistung	35 GW		129 GW

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

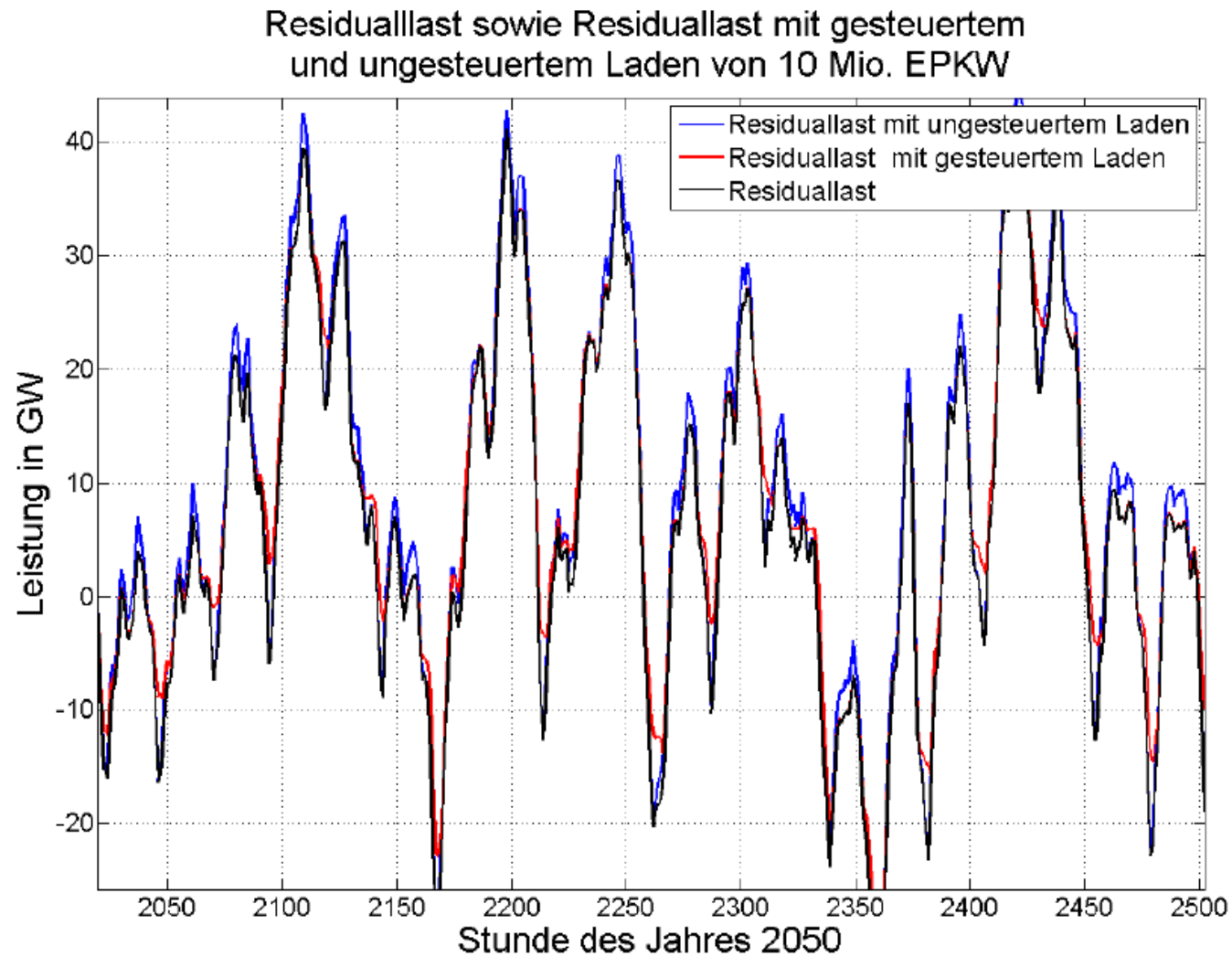
Exemplarisch gewählte Parameter der Elektropkw:

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

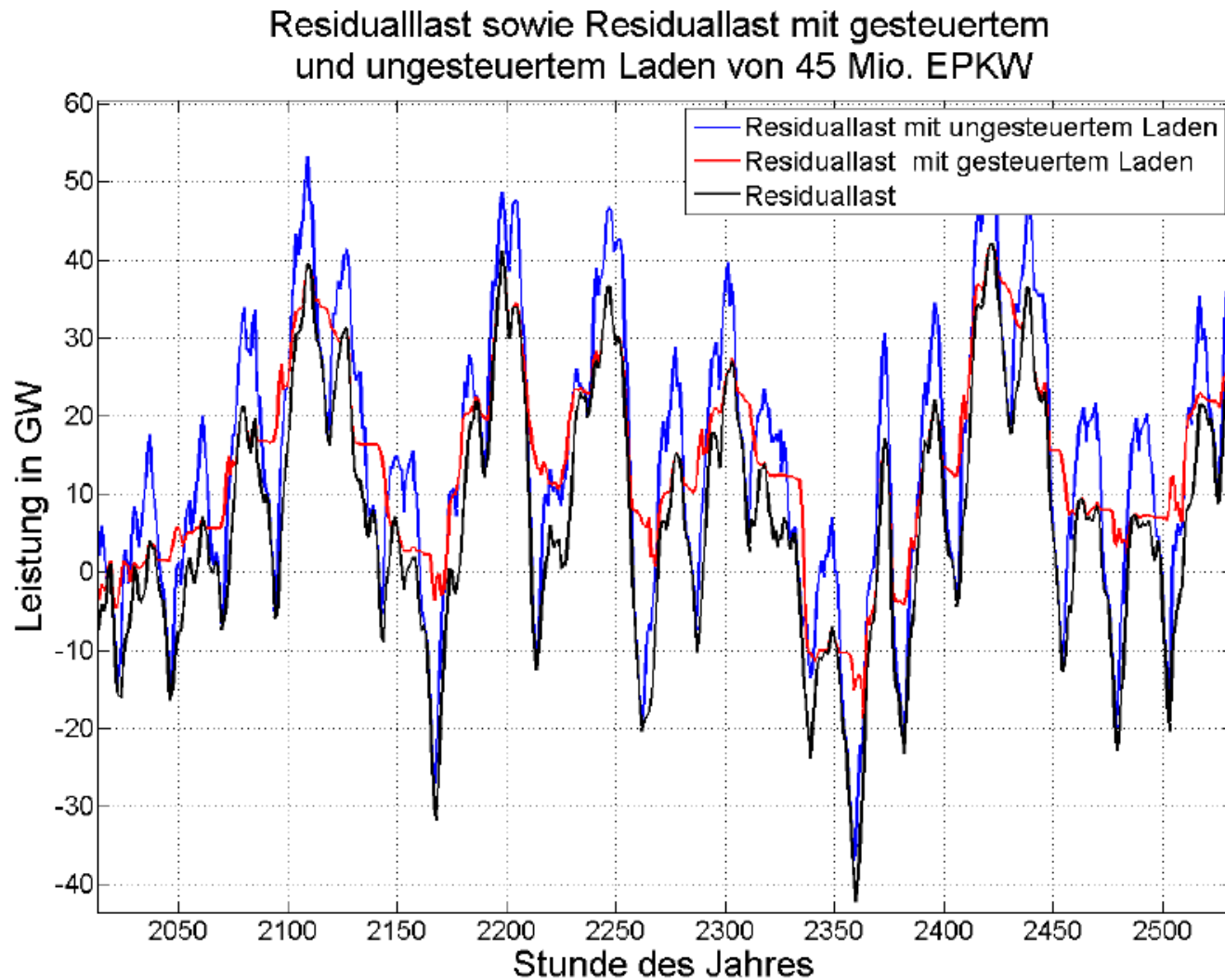
Auswertung des Fahrprofils deutscher PKW Fahrer 2002 (Wochentags)



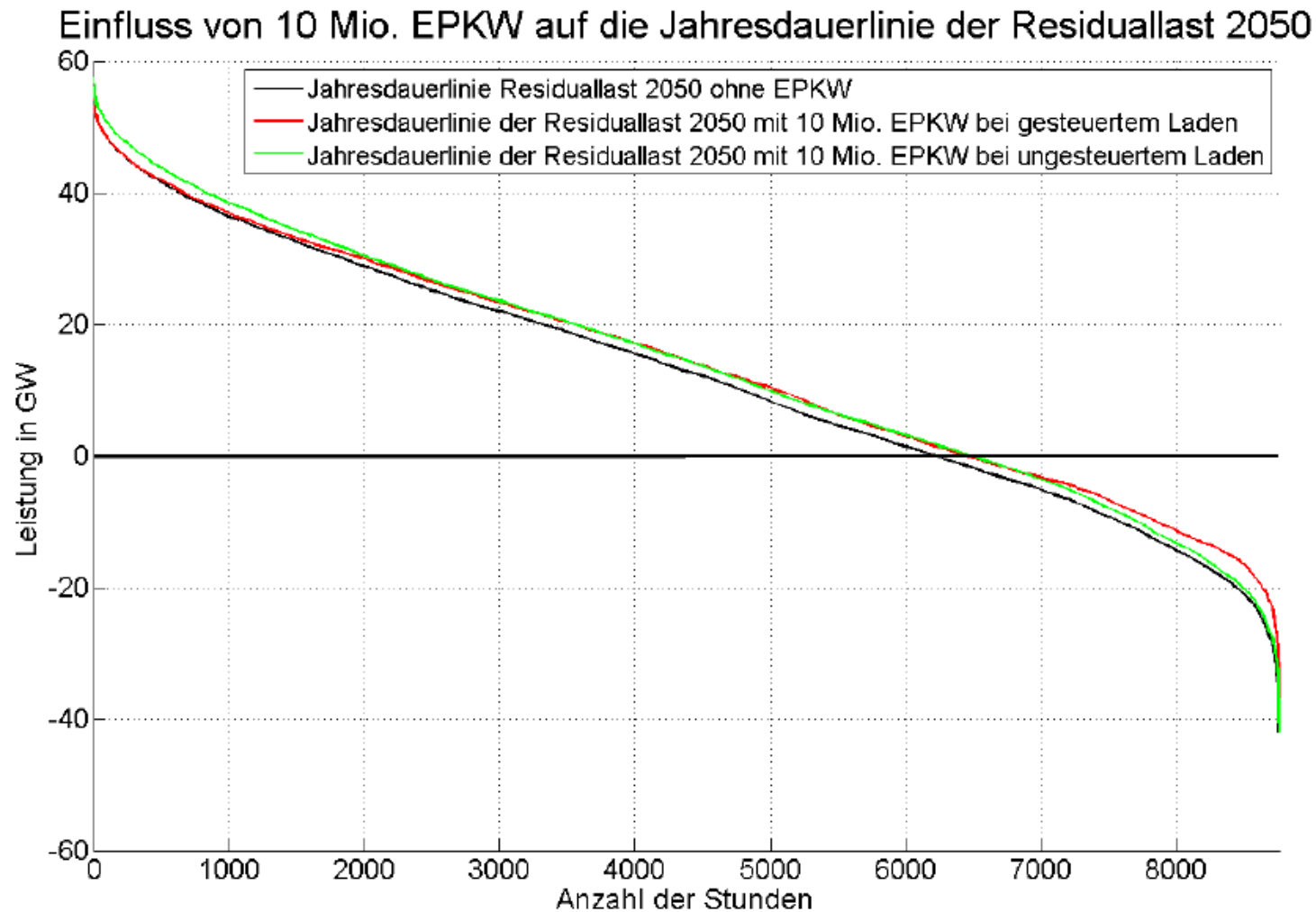
Einfluss auf den Residuallastverlauf 10 Mio. EPKW



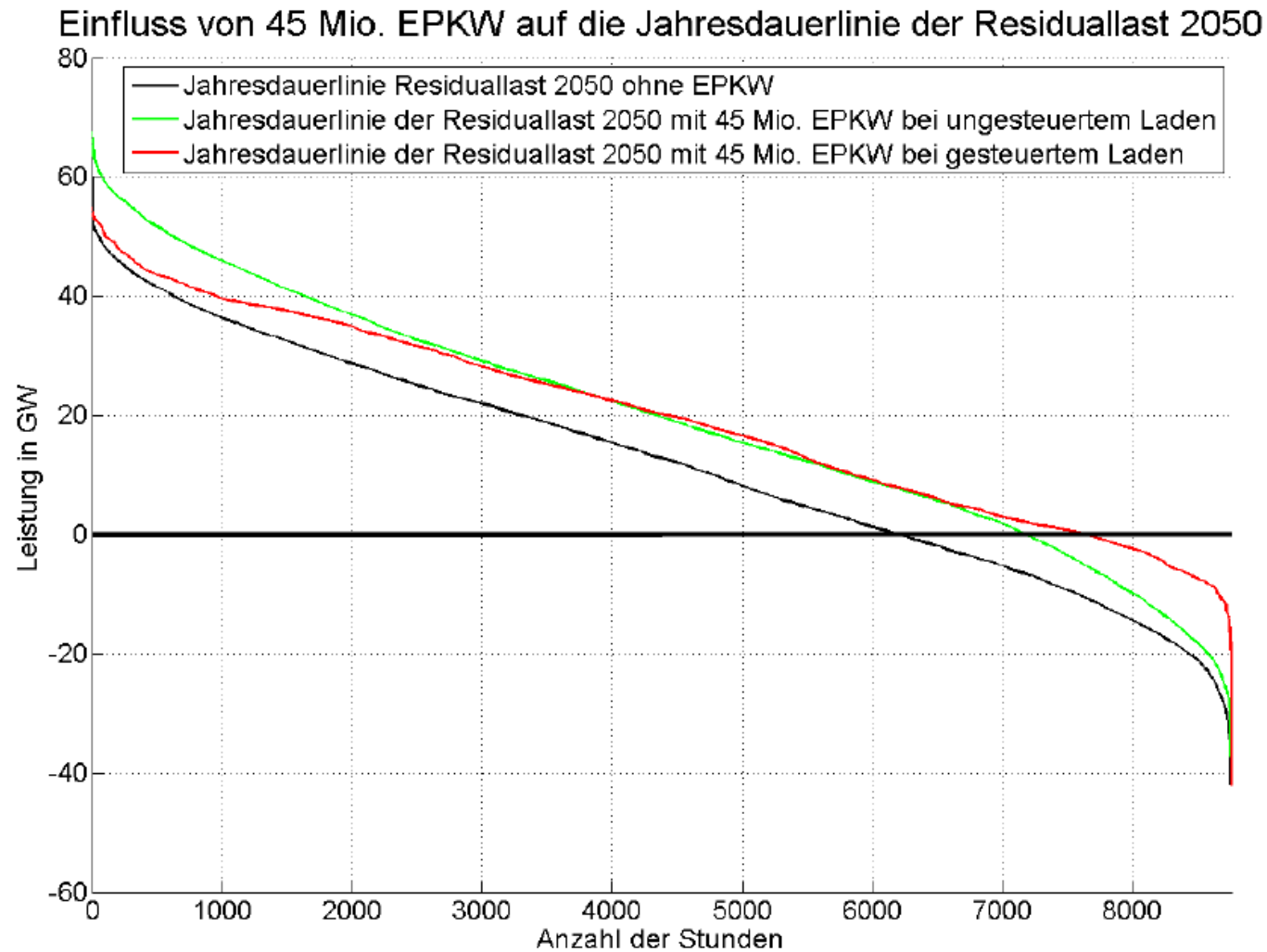
Einfluss auf den Residuallastverlauf 45 Mio. EPKW



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**