



Technische Universität Berlin
Institut für Energietechnik



Regelenergiepreisprognosen und Einfluss der Marktteilnahme von Windenergie- und PV-Anlagen

(Vorstellung vorläufiger Ergebnisse)

Strommarkttreffen: Berlin - 2. Oktober 2015

Dipl.-Ing. Sebastian Spieker, M.Sc. Jakob Kopiske

**FG Energietechnik und Umweltschutz
Prof. G. Tsatsaronis • TU Berlin**

*sebastian.spieker@iet.tu-berlin.de und j.kopiske@iet.tu-berlin.de
<http://www.energietechnik.tu-berlin.de/>*

- ▶ **Modellüberblick**
- ▶ **Ergebnisse**
 - ▶ **Modellvalidierung: 2014**
 - ▶ **Regelenergiepreisprognosen: 2035**
- ▶ **Fazit**

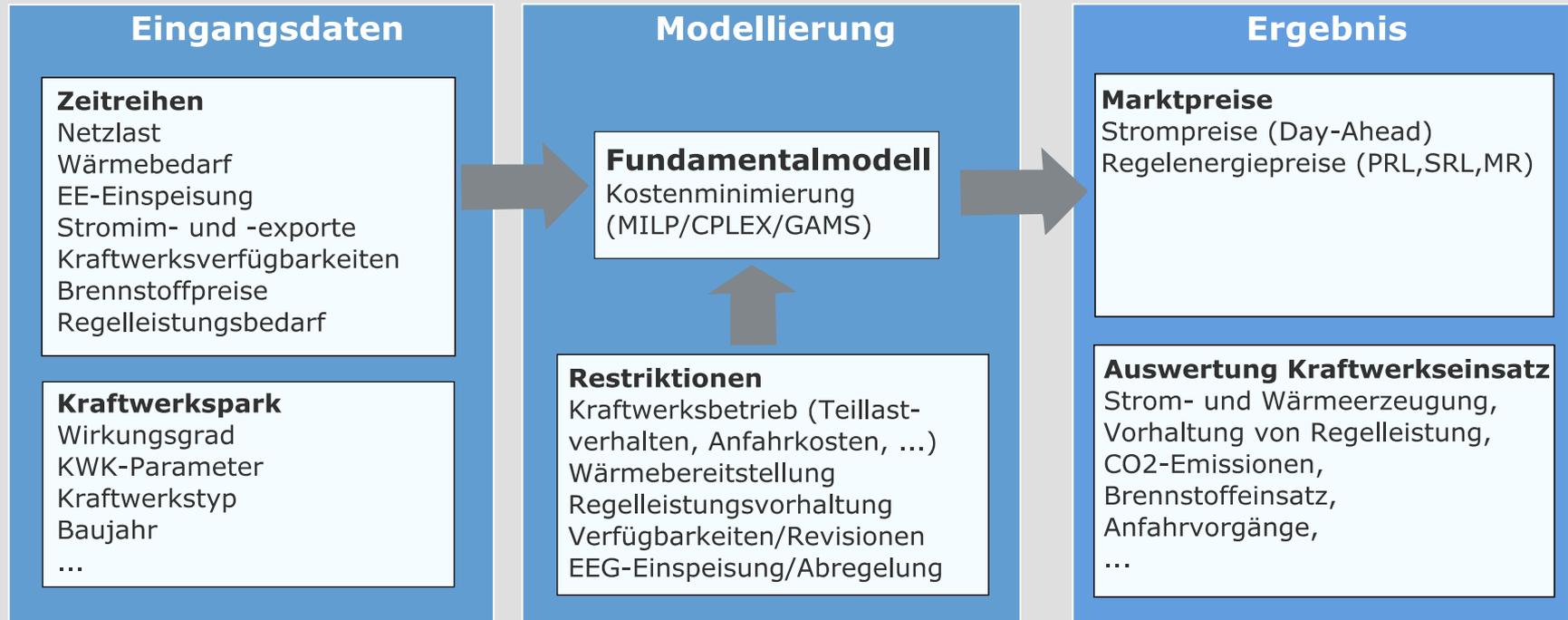
MODELLÜBERBLICK

Modellbeschreibung

Kriterium	Einsatz
Modelltyp	Fundamentalmodell Bestimmung des kostenoptimalen Kraftwerkseinsatzes (MILP / CPLEX / GAMS)
Sektoren	Strom und Fernwärme
Märkte	Spotmarkt (Day-Ahead) Regelleistungsmärkte (PRL, SRL, MR)
Technologien	thermische und hydraulische Kraftwerke, erneuerbare Energien, KWK, P2H, Elektromobilität, Lastmanagement
Auflösung	stündlich (rollierender Zeithorizont) blockscharf (>75 MW)
Modell-Fokus	Preisprognosen für den Spot- und Regelenergiemarkt Kraftwerkstechnik
Region	Deutschland
benötigte Rechenzeit	Stunden bis Tage

Fundamentalmodell

(FG Energietechnik und Umweltschutz, TU Berlin)



Modellierung - Kraftwerkstechnik

Thermische Kraftwerke

Kraftwerksbetrieb

- Mindestlast
- Wirkungsgrad mit Teillastverhalten
- Laständerungsgeschwindigkeit

KWK-Restriktionen

- P,Q-Diagramm

Anfahrkosten

- Primär- und Sekundärbrennstoffbedarf
- Lebensdauerverzehr
- Berücksichtigung der Stillstandszeit (Auskühldauer)

Pumpspeicherwerke

Speicherkapazität

Verhältnis Pump- zu Turbinenleistung

Regelfähigkeit (hydraulischer Kurzschluss,...)

Wärmemarkt

- ▶ 34 Fernwärmenetze (ohne hydraulische Restriktionen)
 - ▶ Wärmelastprofile als Funktion der Temperatur (15 Klimazonen)

- ▶ Wärmeerzeugung
 - ▶ Heizkraftwerke
 - ▶ Heißwassererzeuger (Gas)
 - ▶ Power-to-Heat
 - ▶ Elektroheizer
 - ▶ Großwärmepumpen

- ▶ Regelleistungsvorhaltung (kein Abruf, Ausnahme PRL)

Randbedingungen der Regelleistungsbereitstellung

Technik

- Lastgradienten
- Kapazitätsrestriktionen (Speicher)
- KWK-Anlagen (Wärmerestriktionen, P,Q-Diagramm)
- Anfahrzeiten

Markt

- Marktteilnahme (insb. kleiner Kraftwerksbetreiber)
- Anlagenpoolung (RL-Vorhaltezeitraum/ Produktlänge, symmetrische / getrennte PRL-Vorhaltung)

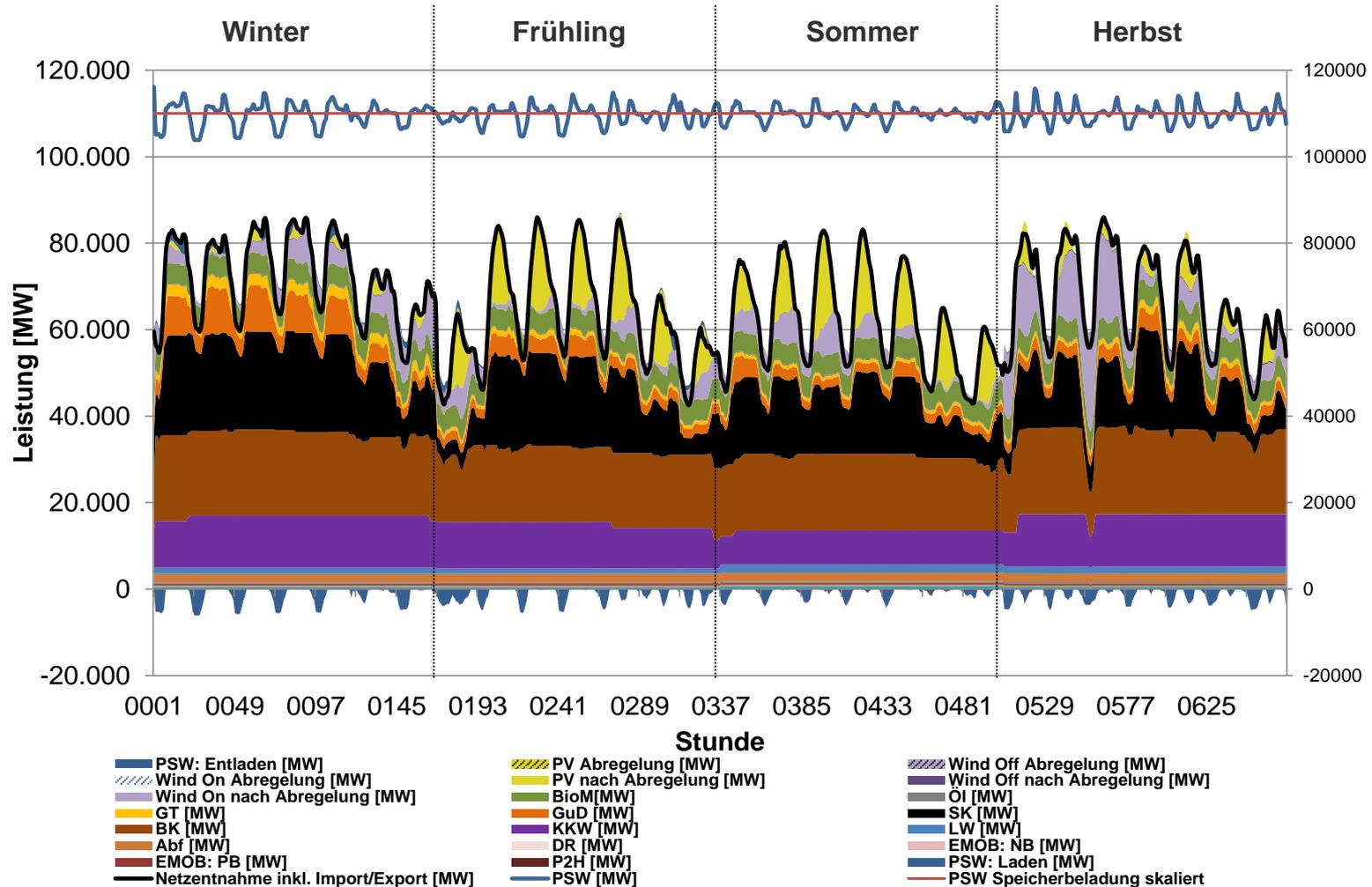
Marktpreise

- ▶ Die Marktpreisbestimmung erfolgt modellendogen und berücksichtigt u.a.:
 - ▶ Anfahrkosten
 - ▶ vermiedene Anfahrkosten
 - ▶ Einfluss des Teillastverhaltens auf die Stromerzeugungskosten
 - ▶ Opportunitätskosten aus anderen Märkten (Strom, Regelenergie, Wärme)

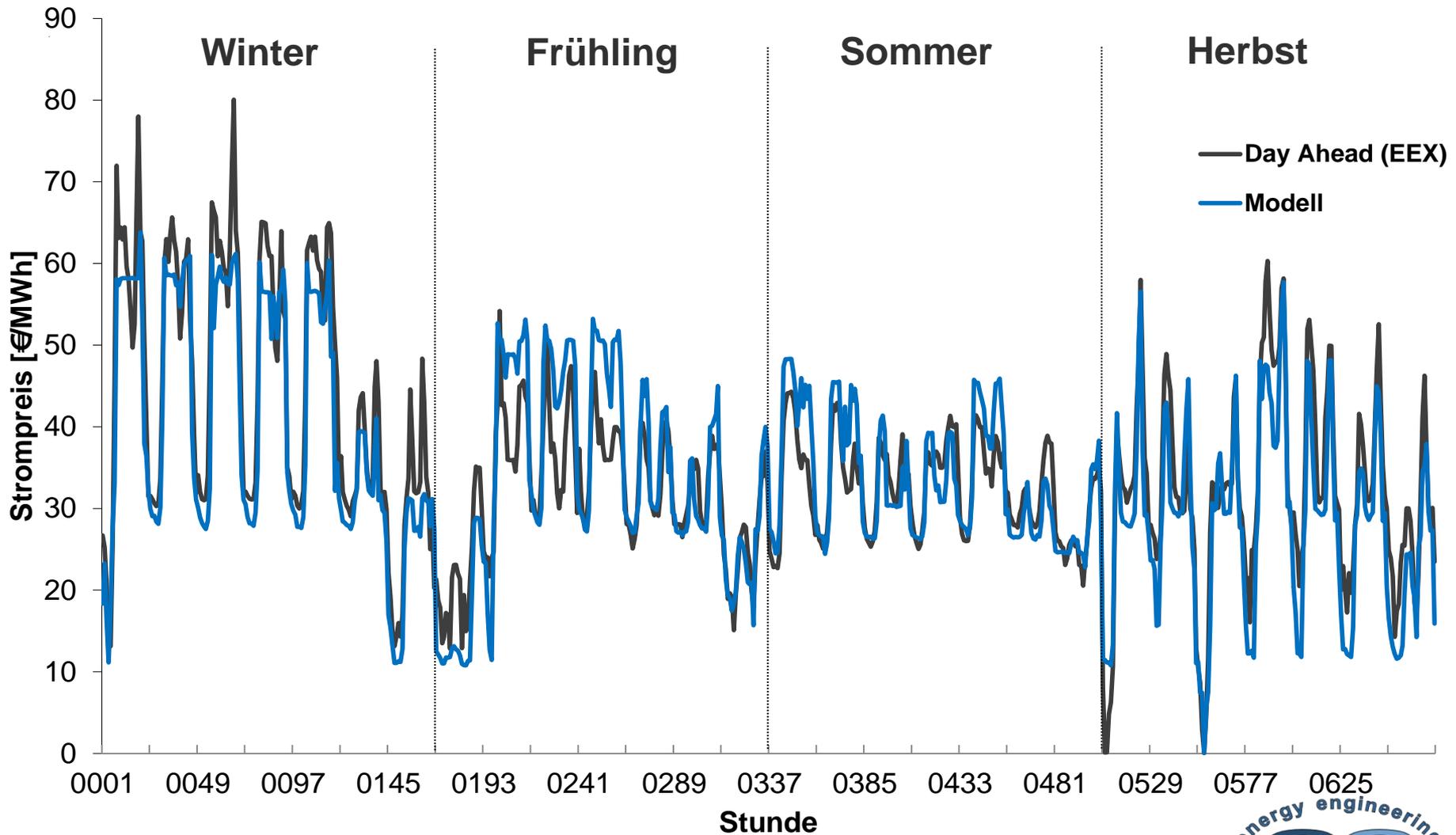
ERGEBNISSE

VALIDIERUNG: 2014

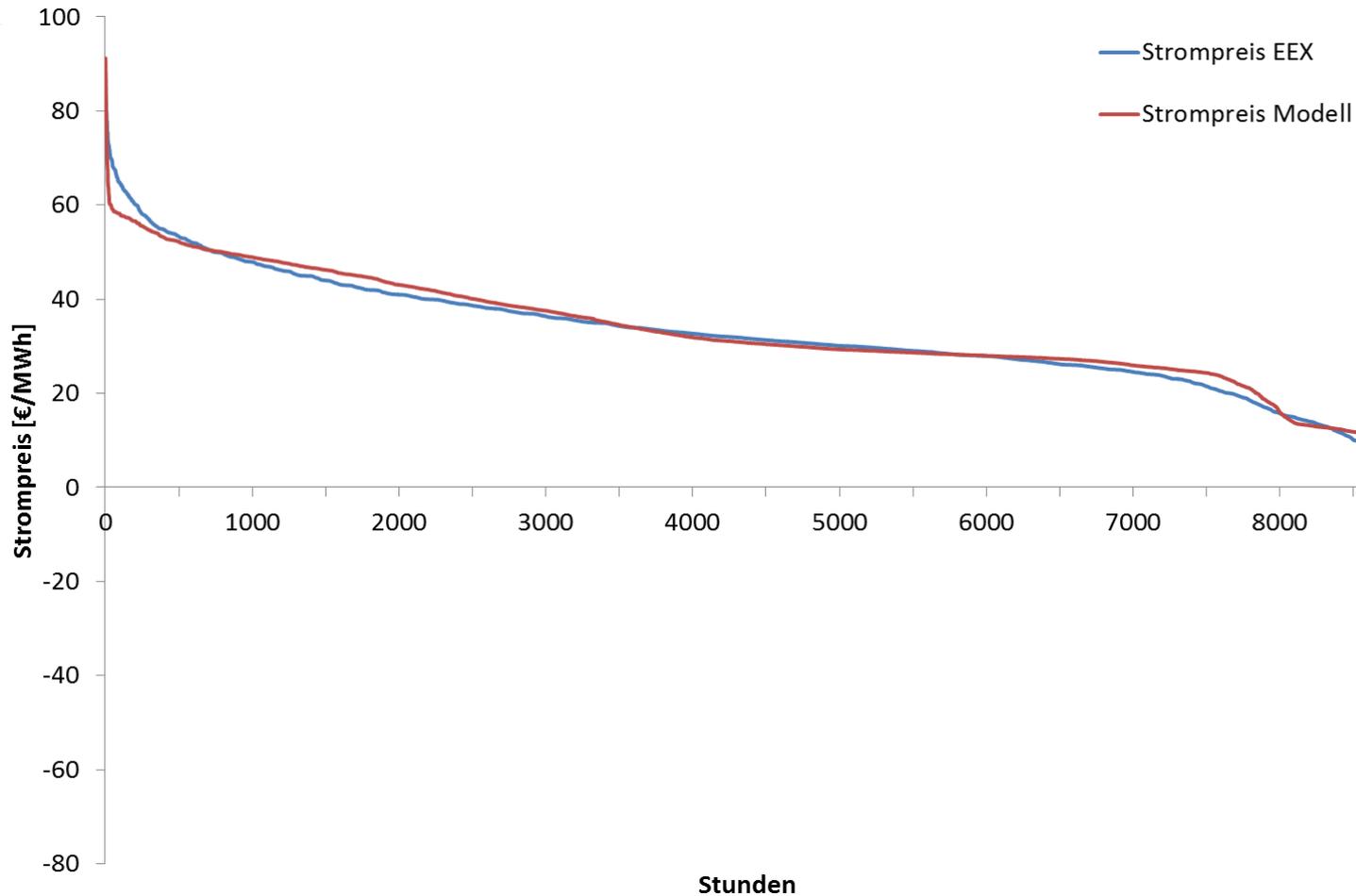
Stromerzeugung (Kurzjahr 2014 = 4 Wochen)



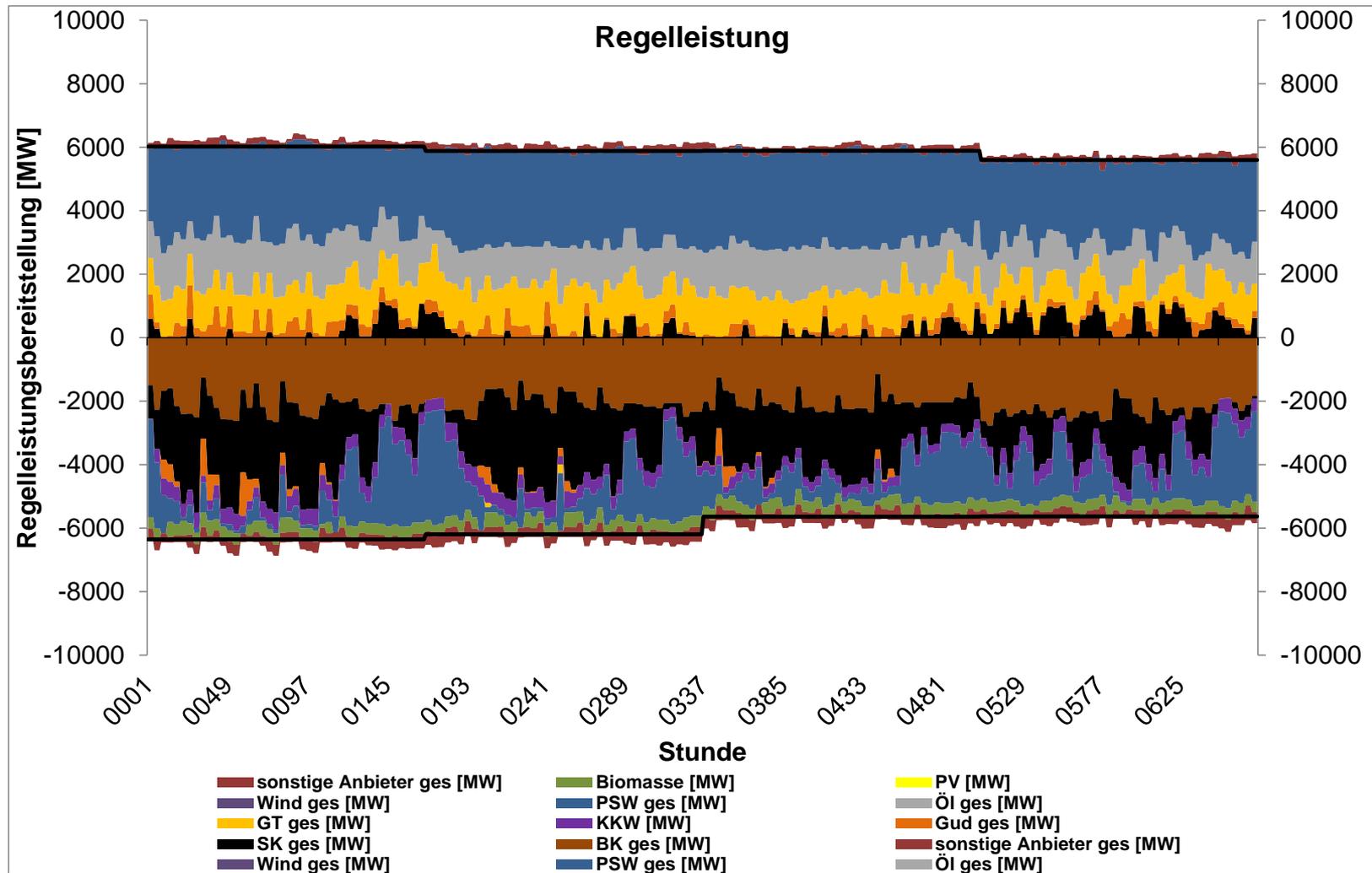
Strompreise (Kurzjahr 2014 = 4 Wochen)



Preisdauerlinie 2014

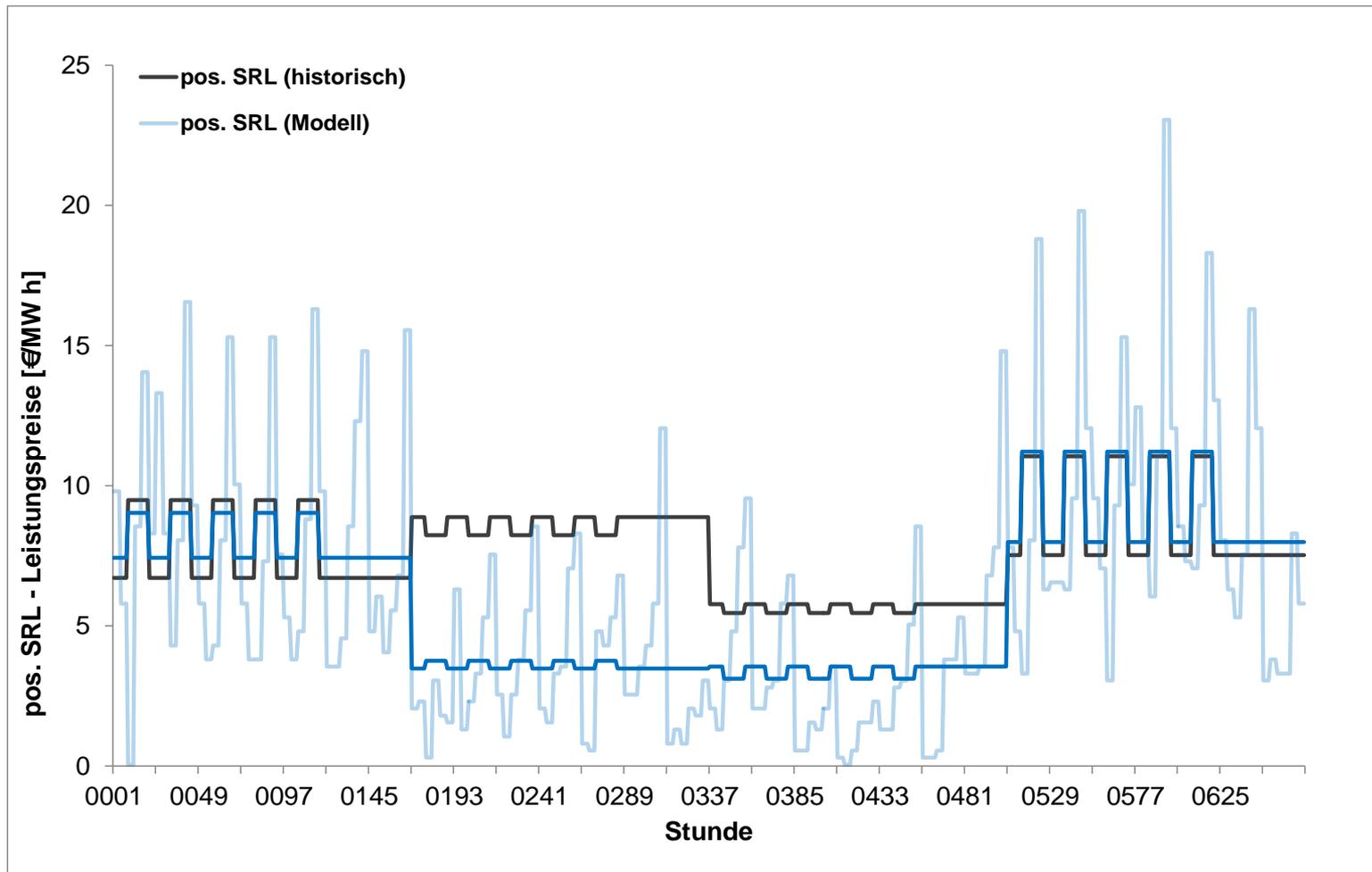


Regelleistungsvorhaltung (Kurzjahr 2014)

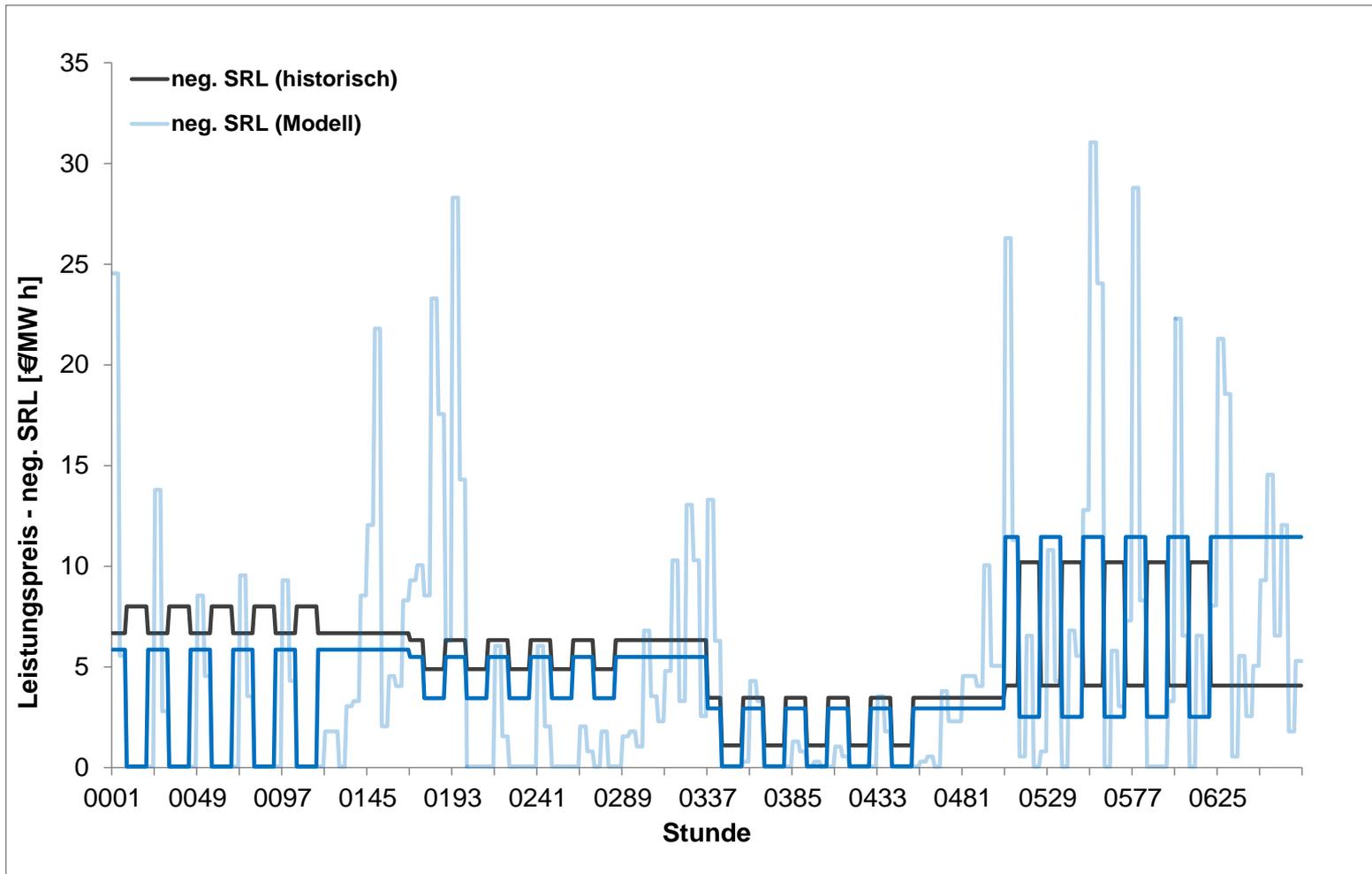


		Preise [€/MW h]			
		2013		2014	
		real	Modell	real	Modell
PRL		17,1	18,7	20,0	13,4
SRL	pos.	7,2	9,7	7,7	5,7
	neg.	12,2	10,2	4,8	5,1
MR	pos.	0,7	1,1	0,5	0,1
	neg.	5,6	4,2	2,9	2,1

pos. SRL: Leistungspreise (Kurzjahr 2014)



neg. SRL: Leistungspreise (Kurzjahr 2014)

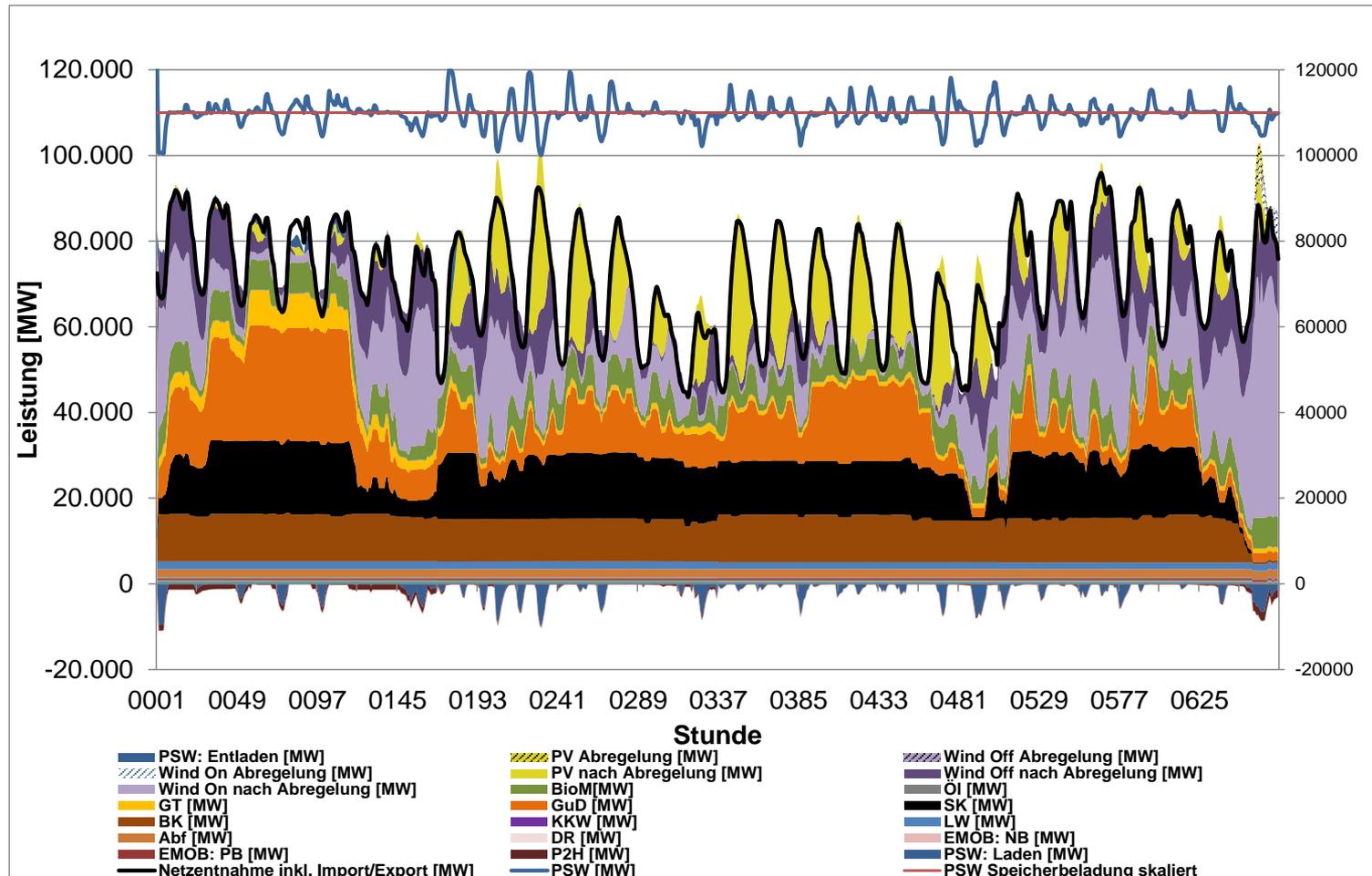


ERGEBNISSE

REGELENERGIEPREISPROGNOSE: KURZJAHR 2035

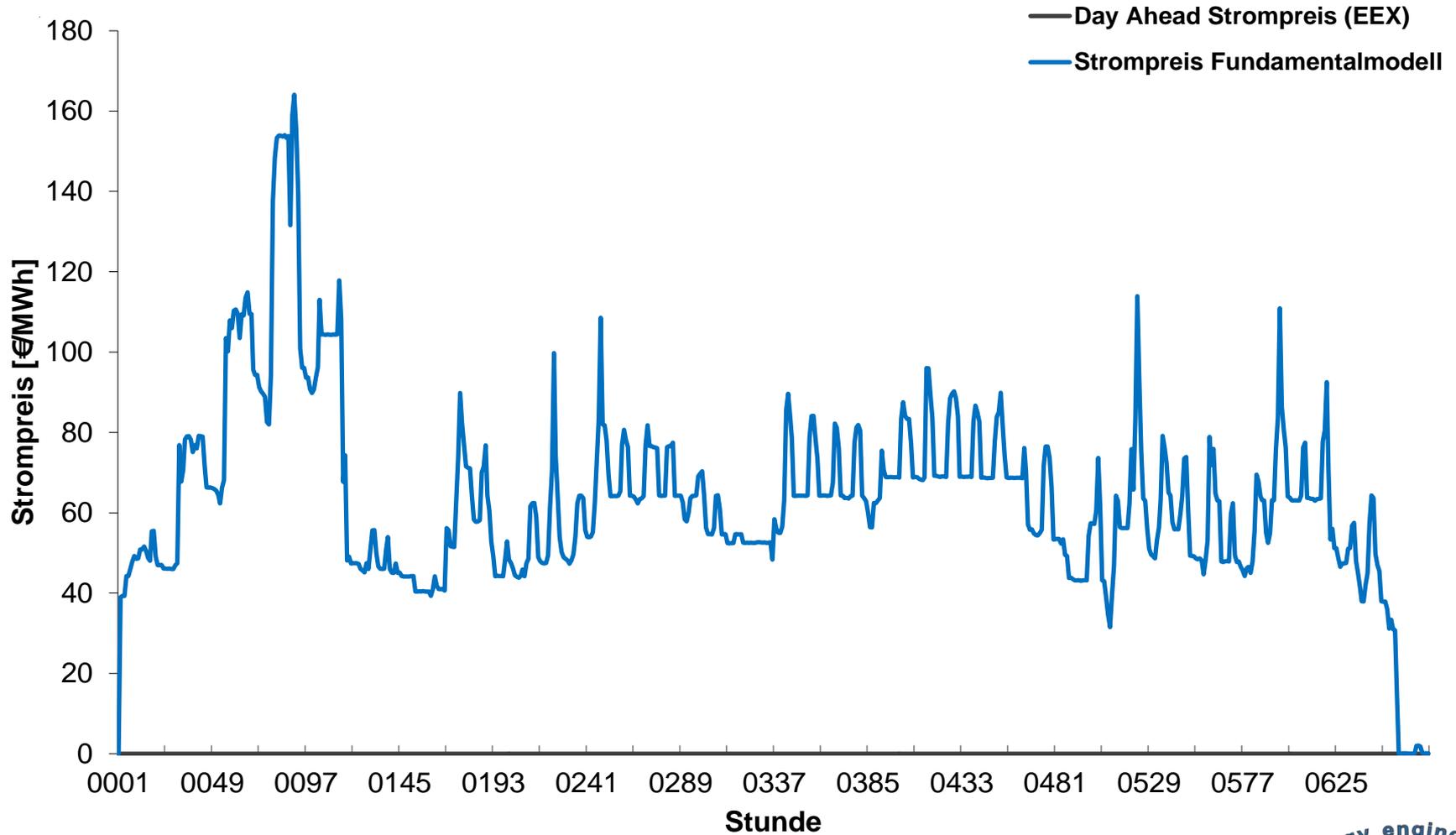
Stromerzeugung 2035

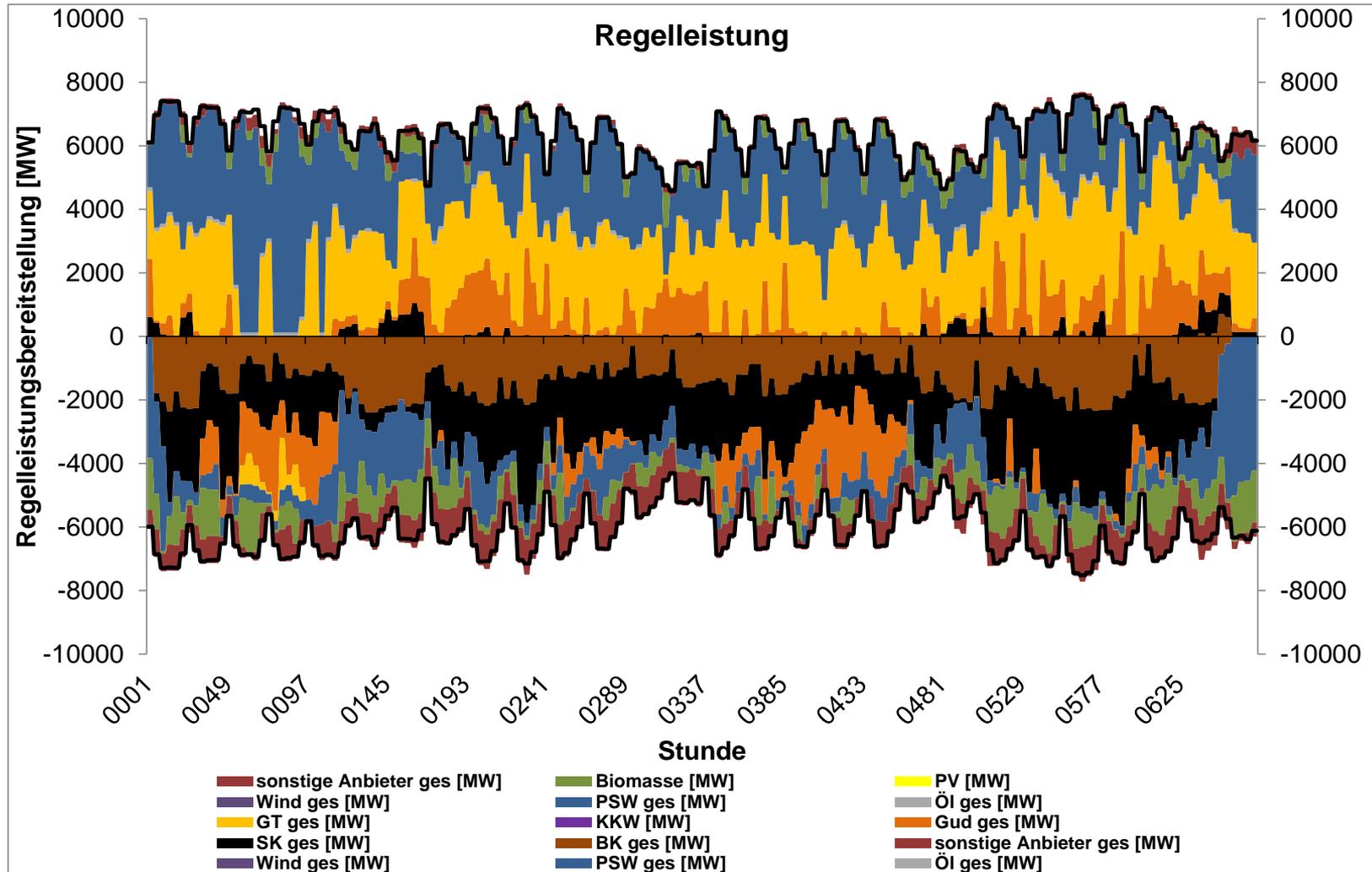
ohne RL-Marktteilnahme EE



Strompreise 2035

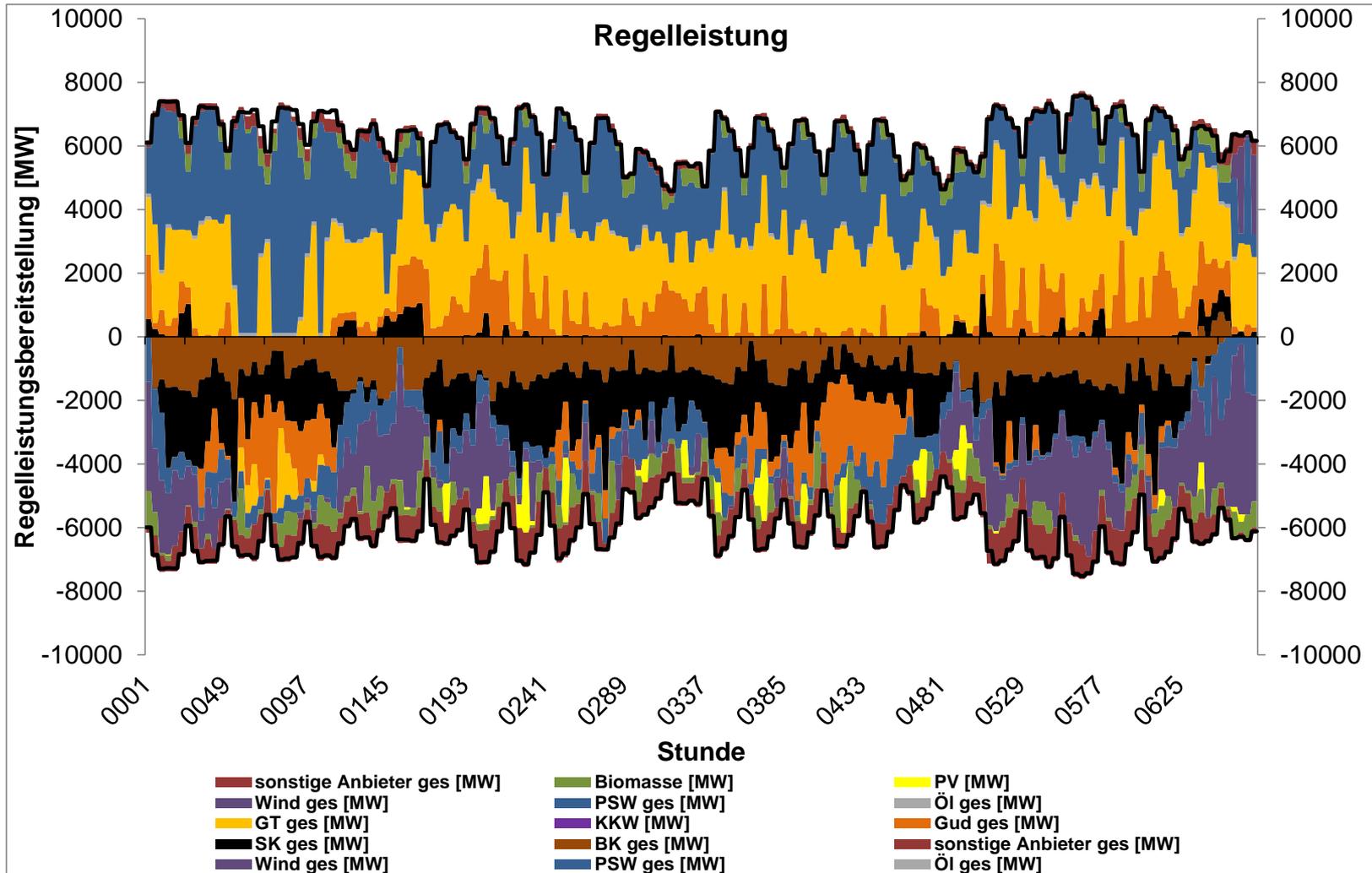
ohne RL-Marktteilnahme EE

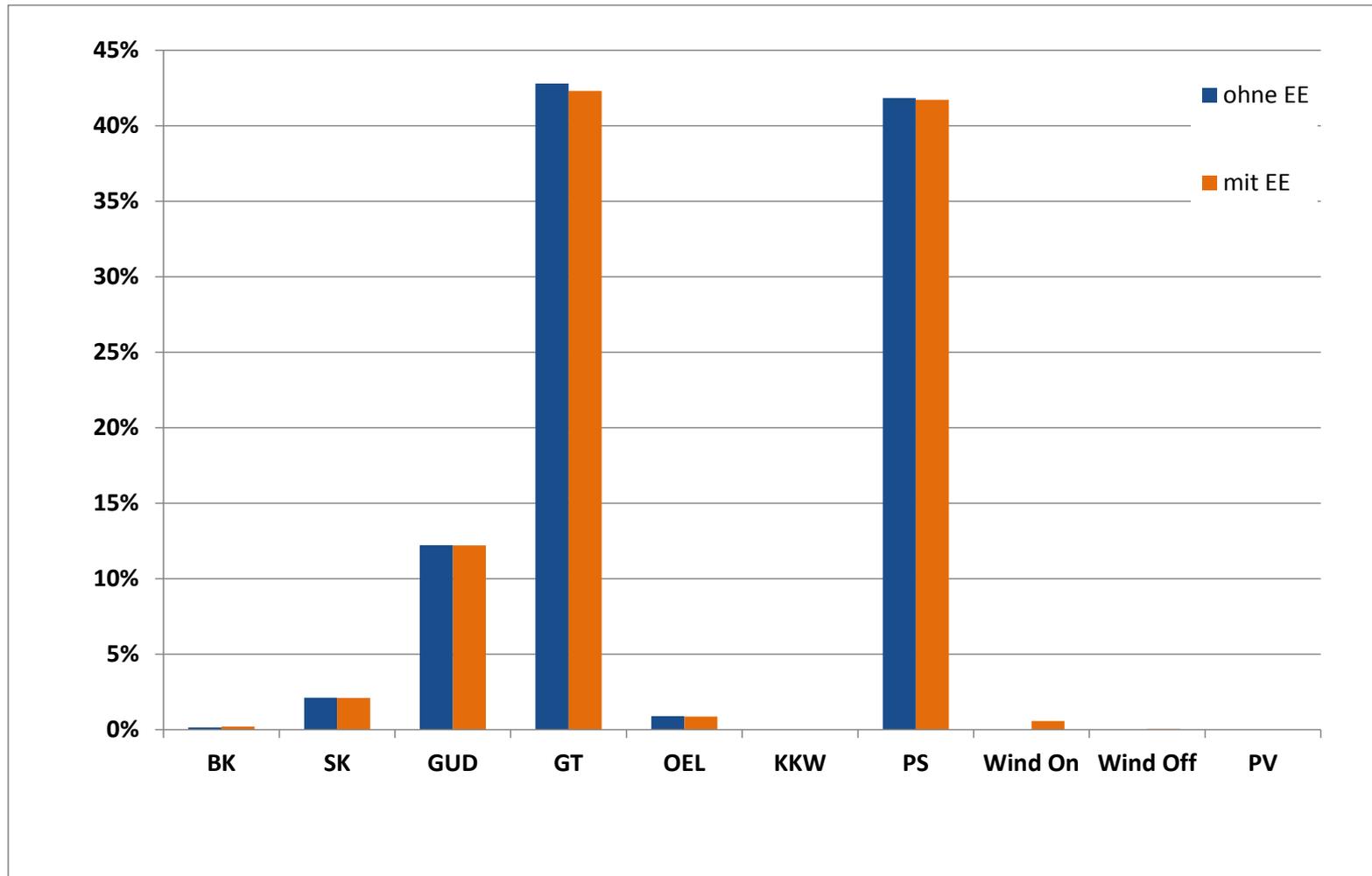


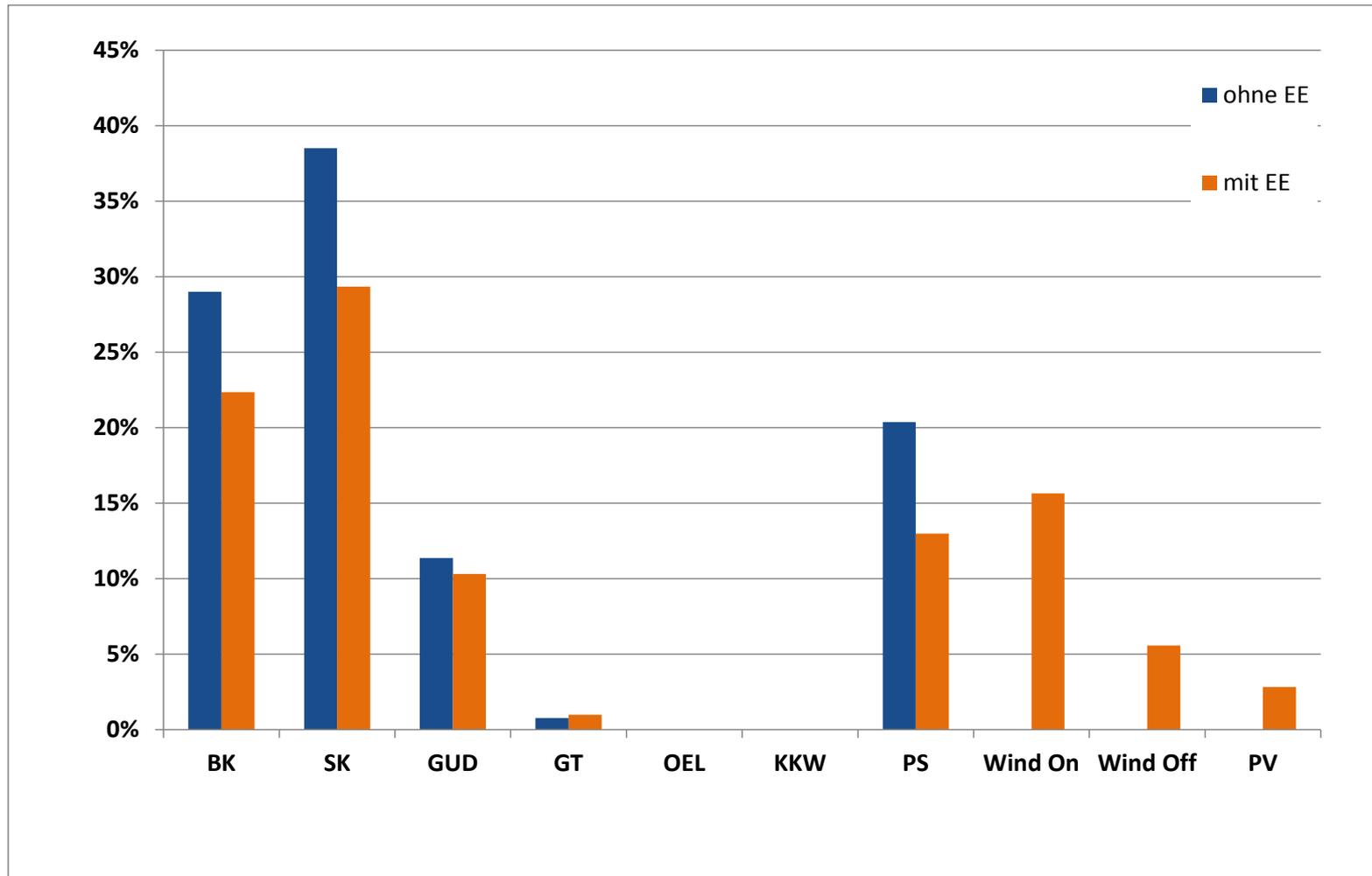


Regelleistungsvorhaltung 2035

mit RL-Marktteilnahme EE

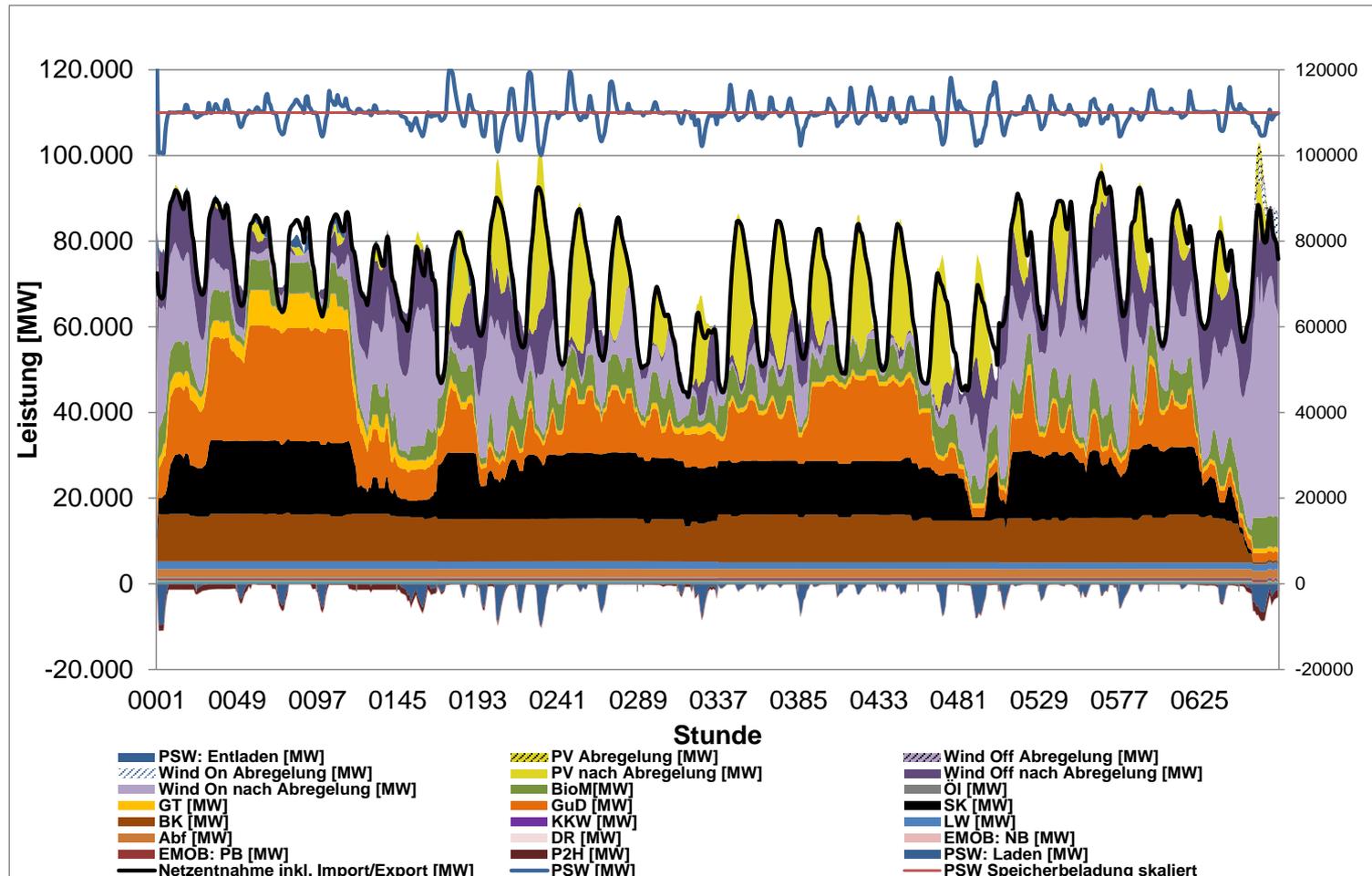






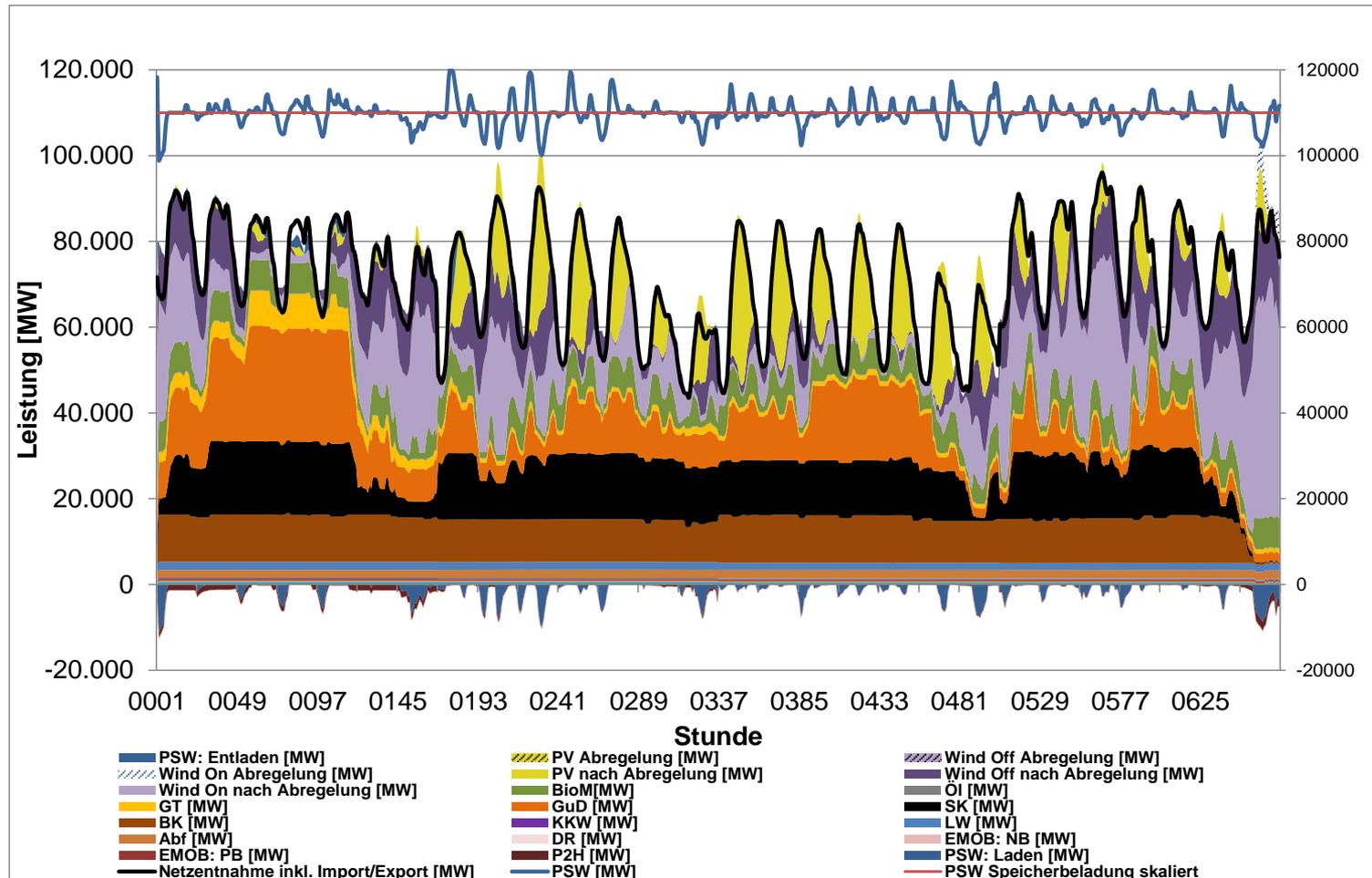
Stromerzeugung 2035

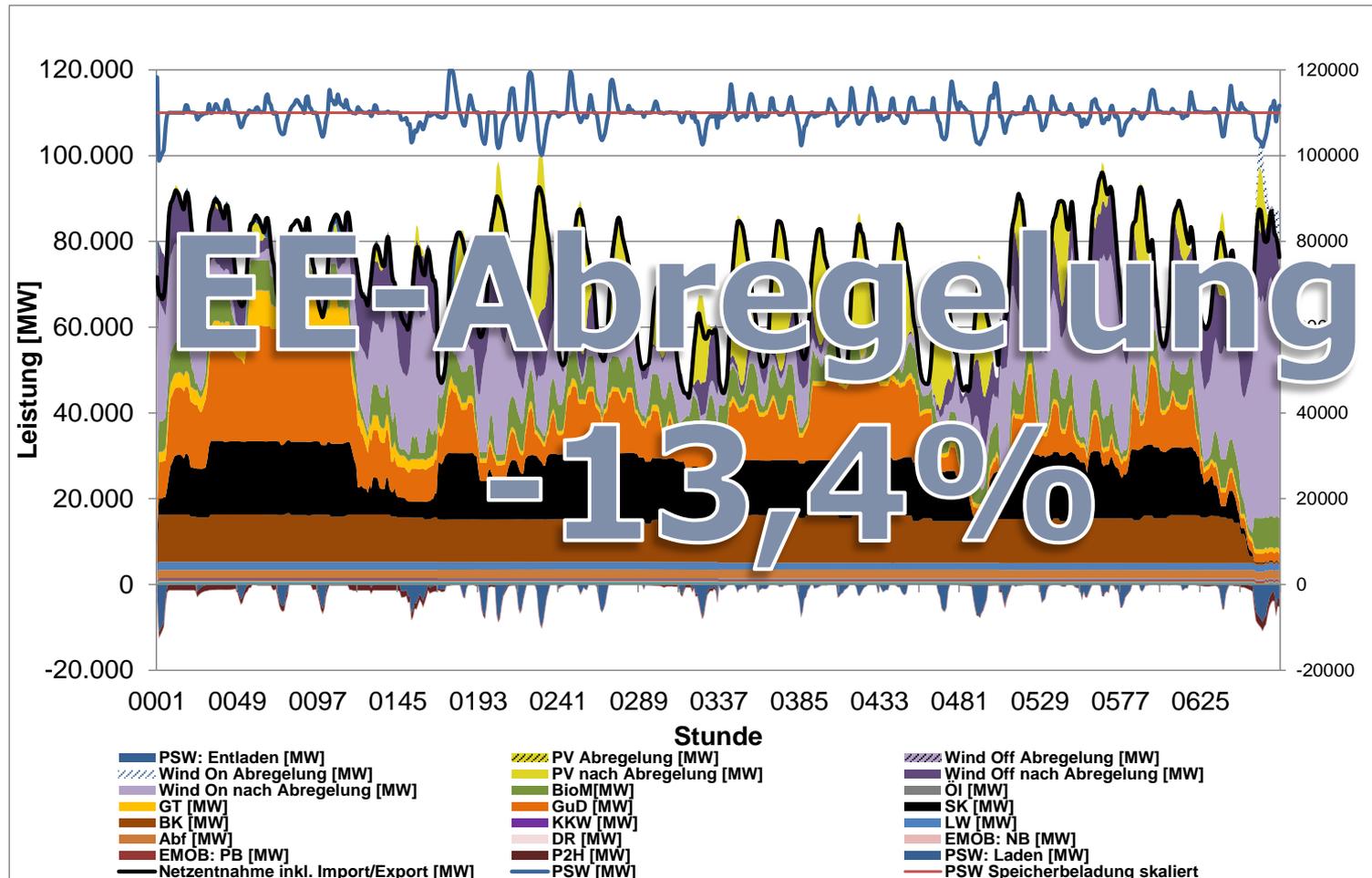
ohne RL-Marktteilnahme EE



Stromerzeugung 2035

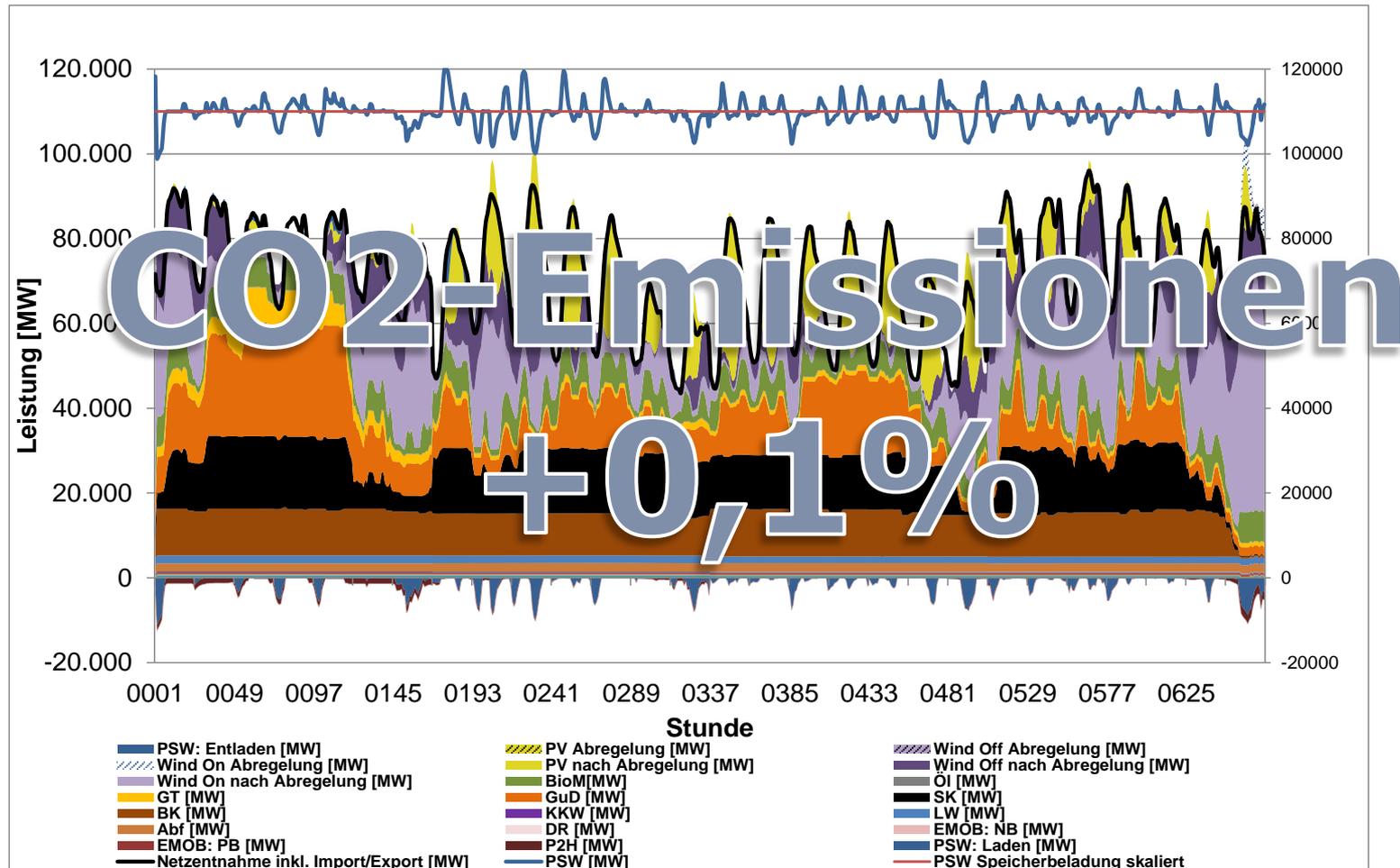
mit RL-Marktteilnahme EE





Stromerzeugung 2035

mit RL-Marktteilnahme EE

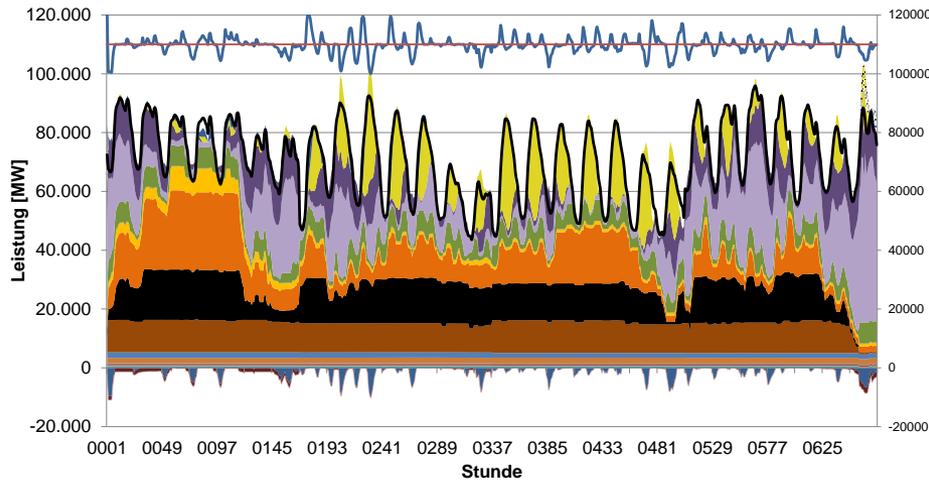


Regelleleistungspreise 2035

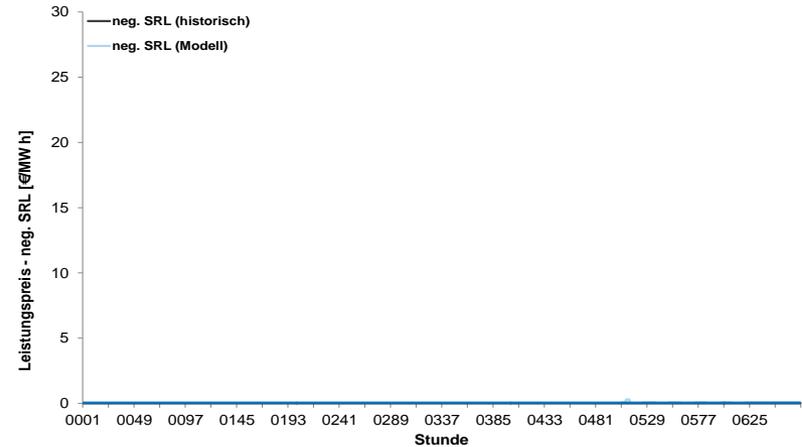
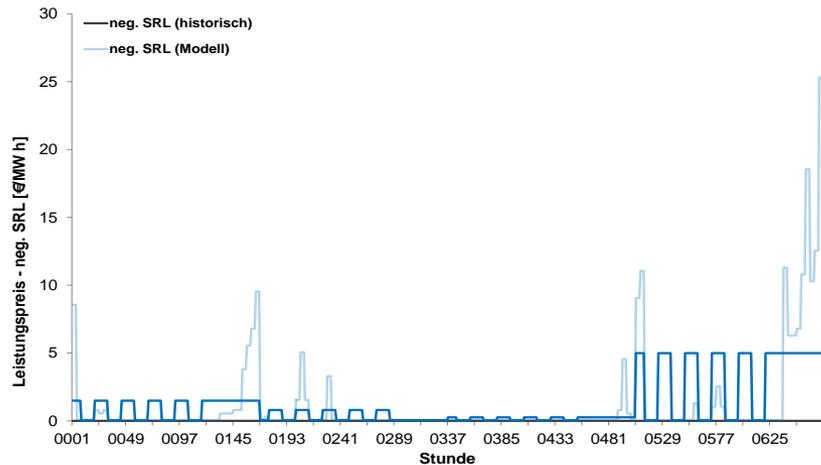
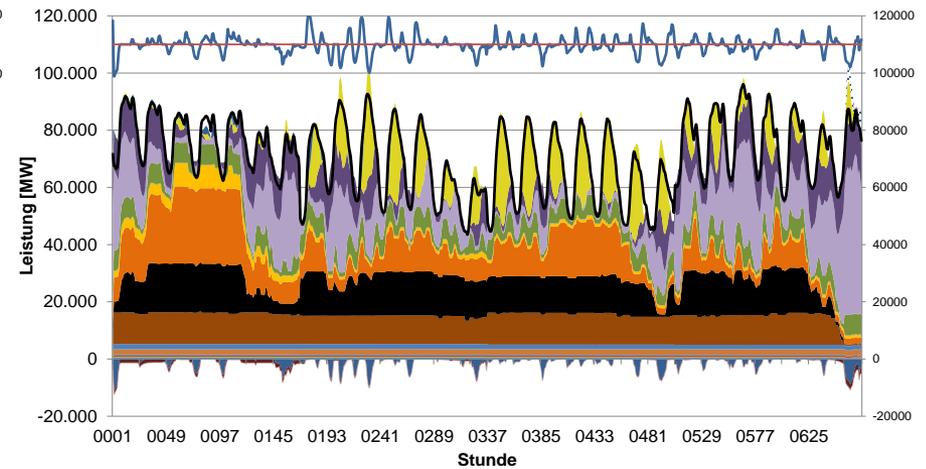
		Preise [€/MW*h]			
		2014	2014	2035 ohne EE	2035 mit EE
		historisch	Modell	Modell	Modell
PRL		20,0	13,4	8,1	7,3
SRL	pos.	7,7	5,7	4,7	4,4
	neg.	4,8	5,1	1,2	0,1
MR	pos.	0,5	0,1	1,0	1,0
	neg.	2,9	2,1	0,7	0,1

Leistungspreis neg. SRL 2035

ohne RL-Marktteilnahme EE



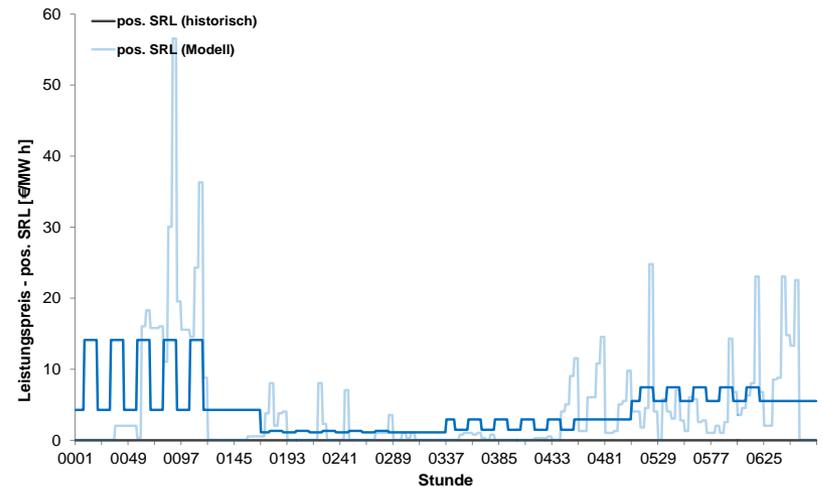
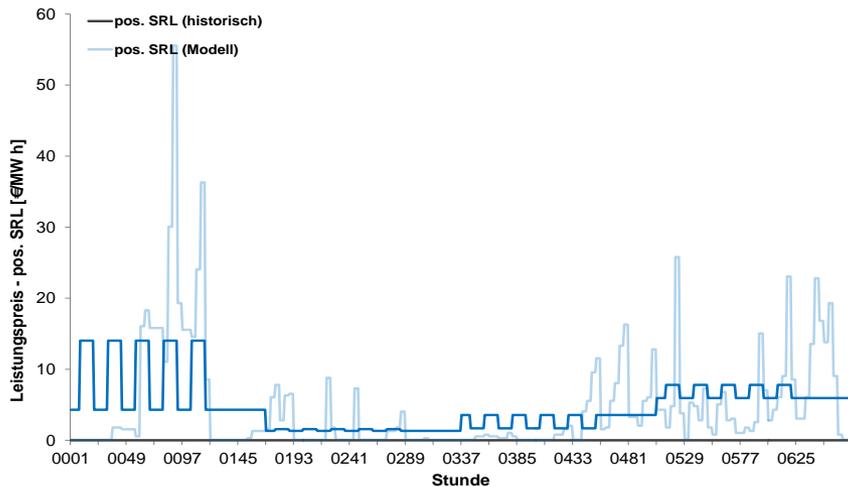
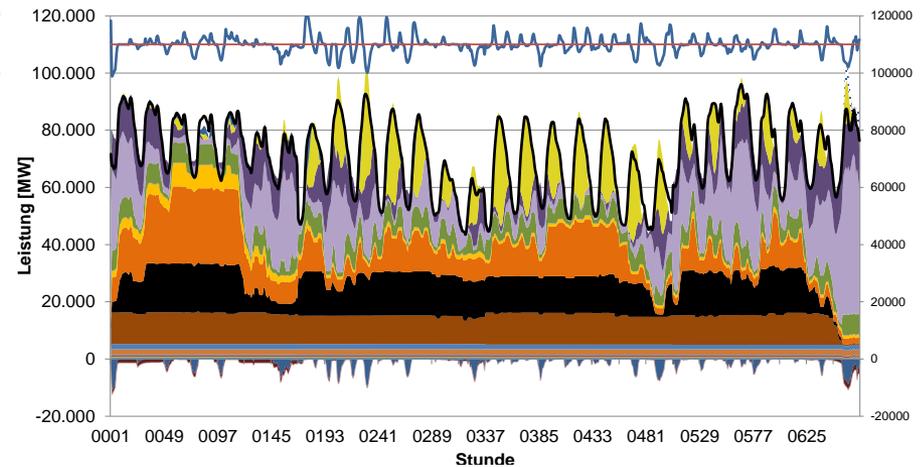
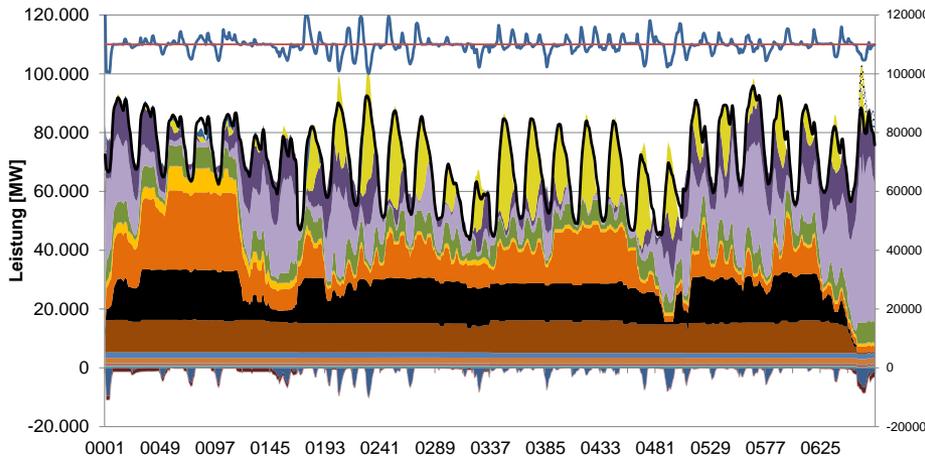
mit RL-Marktteilnahme EE



Leistungspreis pos. SRL 2035

ohne RL-Marktteilnahme EE

mit RL-Marktteilnahme EE



Elektromobilität & Demand Response 2035

		Preise [€/MW*h]	
		2035 mit Elektromobilität & Demand Response	
		ohne RL- Marktteilnahme EE	mit RL- Marktteilnahme EE
PRL		2,9	2,9
SRL	pos.	2,7	2,7
	neg.	0,1	0,1
MR	pos.	0,9	0,9
	neg.	0,1	0,1

Fazit

- ▶ Preise für negative Regelleistung sinken weiter.
- ▶ Preise für positive Regelleistung sind deutlich stabiler. (Preisspitzen durch Knappheitspreise im Spotmarkt.)
- ▶ Ursächlich für sinkende Regelenergiepreise ist u.a. die zunehmende Flexibilität des thermischen Kraftwerkparks (Zubau Gaskraftwerke, Stilllegung Kernkraftwerke und ältere Kohlekraftwerke).
- ▶ Insbesondere auf dem Markt für neg. Regelleistung konkurrieren zukünftig viele verschiedene Flexibilitätsoptionen (flexible thermische Kraftwerke, Speicher, P2H, Windenergie- und PV-Anlagen, Elektromobilität, Lastmanagement,...).
- ▶ Teilnahme von Windenergie- und PV-Anlagen am Regelleistungsmarkt:
 - ▶ Vor allem durch die Marktteilnahme von Windenergieanlagen können die Kosten/ Preise für negative Regelleistung in Stunden mit niedriger Residuallast verringert werden.
 - ▶ Pumpspeicher stellen weniger Regelleistung bereit und können verstärkt als Energiespeicher eingesetzt werden, wodurch die Abregelung von EE-Anlagen reduziert aber auch die Stromerzeugung aus Kohlekraftwerken erhöht wird.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Institut für Energietechnik

Dipl.-Ing. Sebastian Spieker
spieker@iet.tu-berlin.de

M.Sc. Jakob Kopiske
j.kopiske@iet.tu-berlin.de

<http://www.energietechnik.tu-berlin.de>

Institut für Energietechnik
Fachgebiet Energietechnik und Umweltschutz
Technische Universität Berlin
Marchstraße 18, 10587 Berlin
Tel.: ++49 (0)30 314-24763
Fax: ++49 (0)30 314-21683