
Dynamische Simulation des BEE-Szenarios und Auswirkungen auf den konventionellen Kraftwerkspark

Dr. Michael Sterner, Yves-Marie Saint-Drenan, Norman Gerhardt,
Amany von Oehsen, Dr. Kurt Rohrig, Prof. Dr. Jürgen Schmid (IWES)



Untersuchungshorizont BEE-Studie

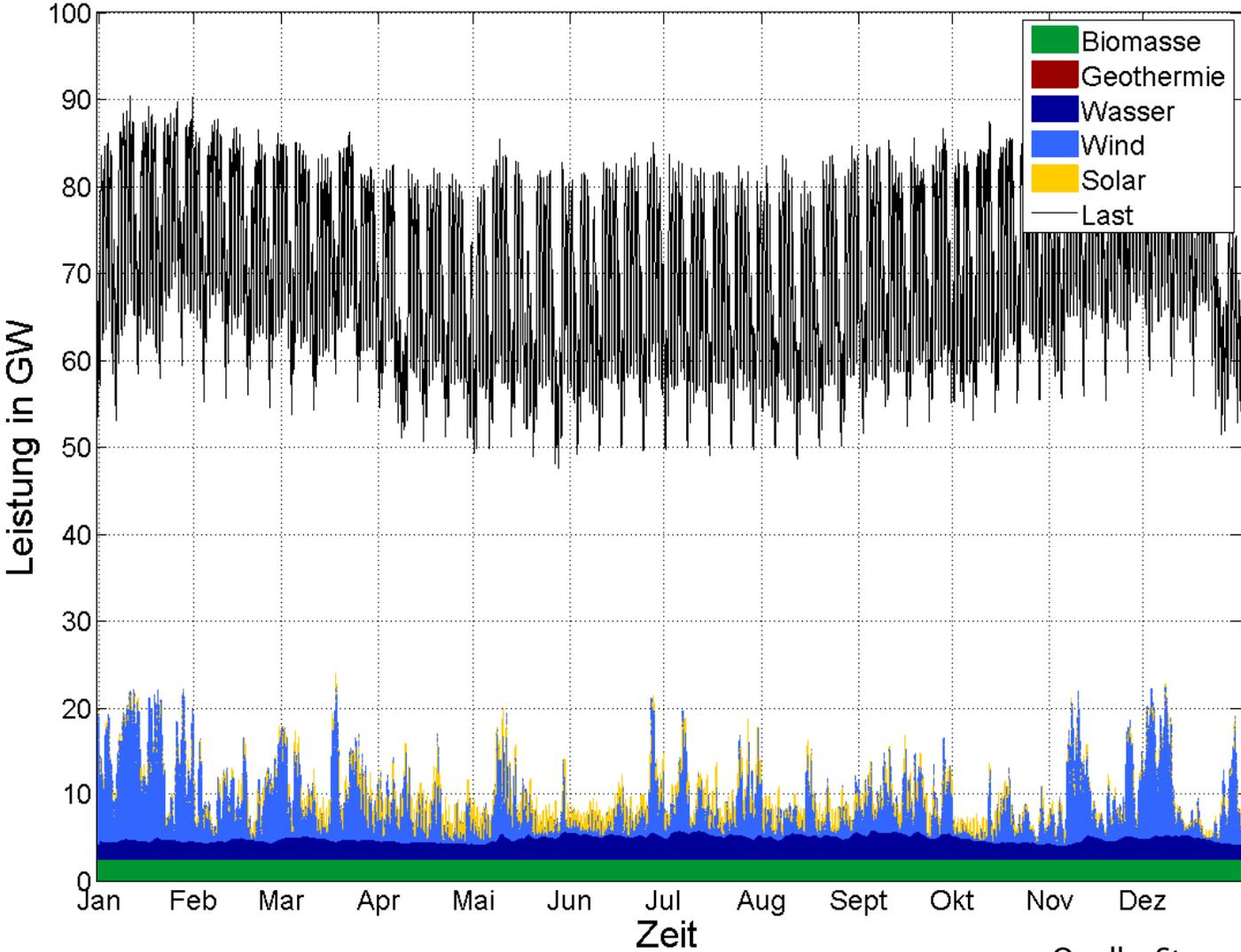
■ Was wurde untersucht?

- EE-Einspeisung des BEE-Szenarios für 2020 auf Basis des Wetterjahres 2007
- Fluktuationen in der Stromversorgung
- 2 Ausgleichsoptionen: Transport & Speicher
- Lastprofil (Residuale Last), welches vom konventionellen Kraftwerkspark zu decken ist

■ Was wurde nicht untersucht?

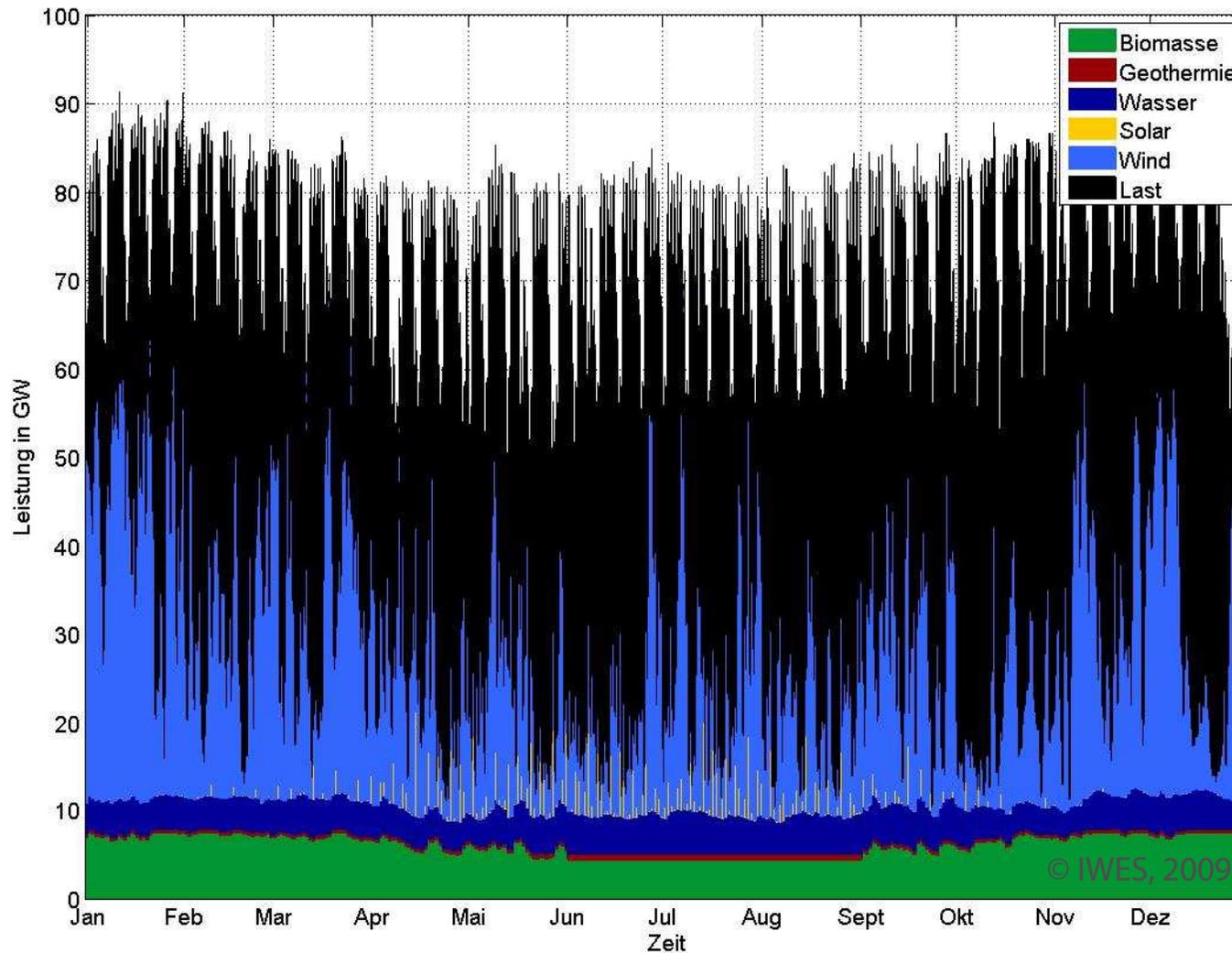
- Kraftwerkseinsatzplanung der konventionellen Kraftwerke
- Netzaspekte: Netzausbau – Netzengpässe
- Technische Versorgungssicherheit: gesicherte Leistung – Regelleistung
- Bewertung des BEE-Szenarios für 2020

Simulation von 2007: 15% EE - ein Jahr – stündliche Auflösung



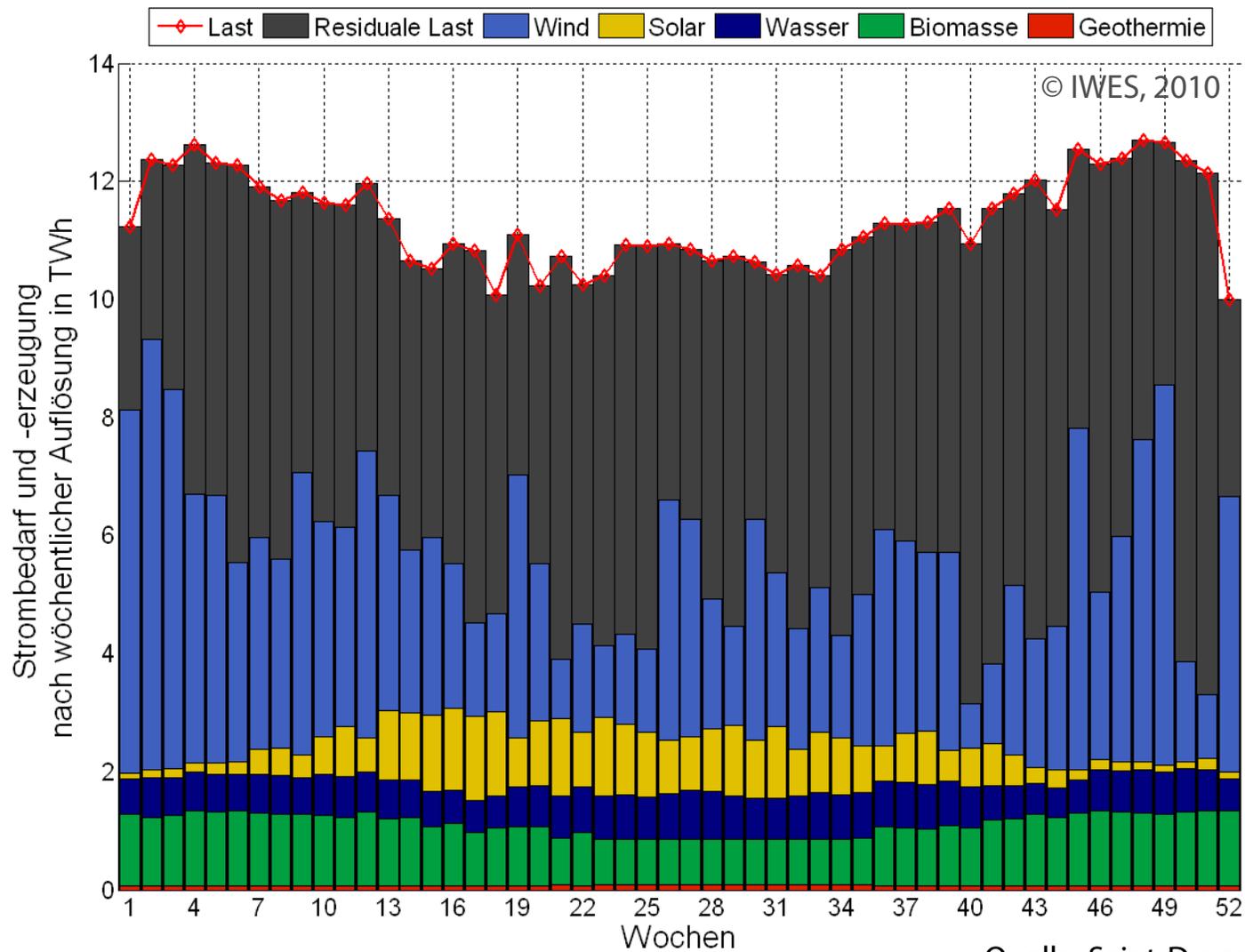
Quelle: Sterner et al., 2010

BEE-Szenario 2020: 47% EE - ein Jahr – stündliche Auflösung



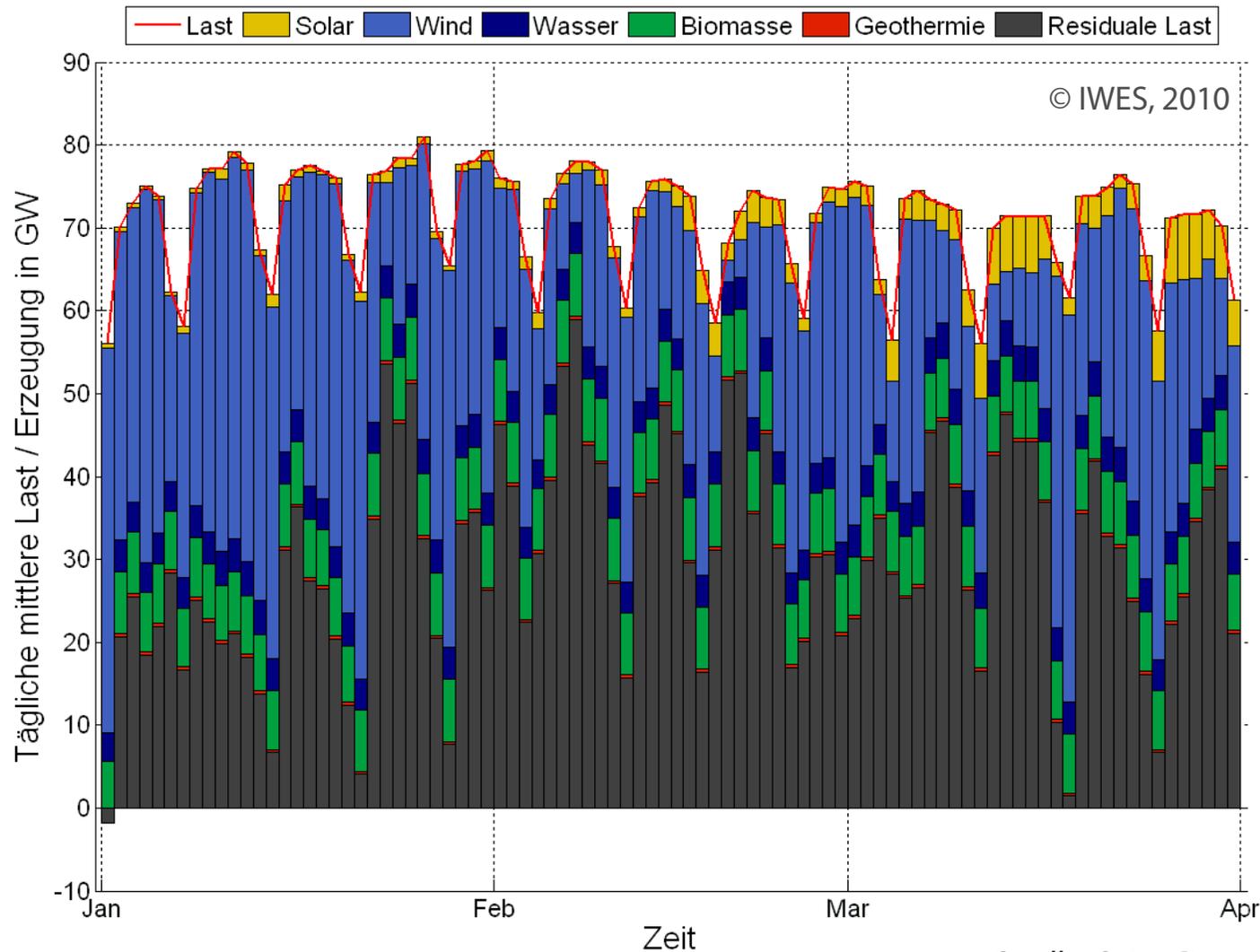
Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

BEE-Szenario 2020: 47% EE - ein Jahr – wöchentliche Auflösung



Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

BEE-Szenario 2020: 47% EE - ein Quartal – tägliche Auflösung



Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

Ergebnisse zur fluktuierenden EE-Einspeisung von 47% (BEE)

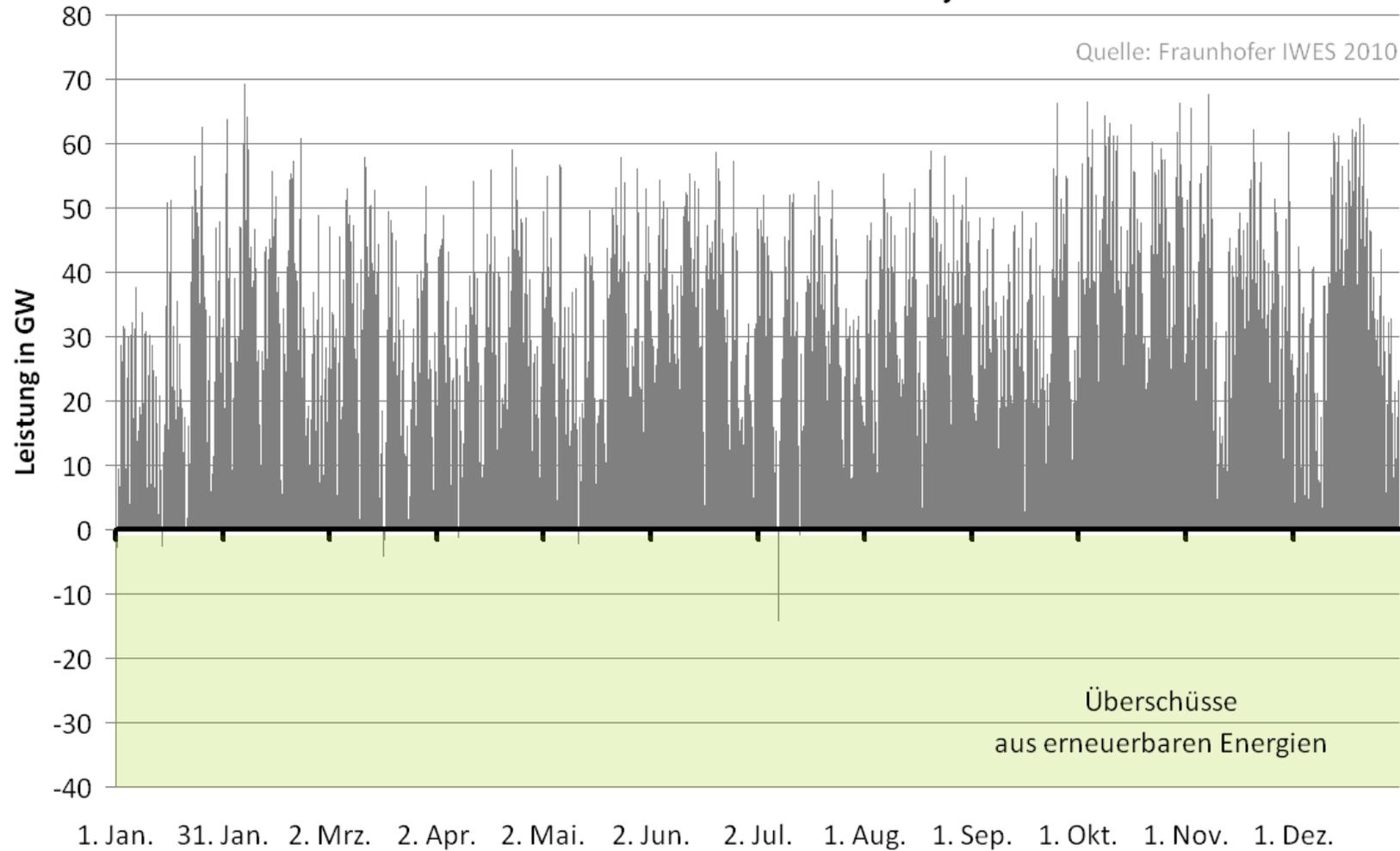
- EE-Einspeisung immer vorhanden (15% - 110% Lastdeckung)
- Gute Korrelation auf jährlicher Basis, starke Flukt. auf wöchentl. Basis
- Dauerbetrieb von konventionellen Kraftwerken nimmt ab
 - „klassischer Grundlastbereich“ löst sich auf - Überkapazitäten
 - höherer Mittel- und Spitzenlastbedarf – Unterkapazitäten
- Konventionelle Kraftwerke müssen flexibler werden
 - häufiger Teillastbetrieb
 - häufige An- und Abfahrvorgänge notwendig
 - Wirtschaftlichkeit unsicher

Generelle Tendenzen

- Erneuerbare Energien reduzieren den Grundlastbedarf drastisch
- Anforderungen an den konventionellen Kraftwerkspark
 - Technologische Herausforderungen
 - hohe Flexibilität, hohe Robustheit
 - hohe Regelbarkeit, dafür entscheidend:
(1) Mindest-Stillstandzeiten, (2) Anfahrdauer, (3) Mindest-Betriebszeiten
 - Wirtschaftlichkeit unsicher
 - geringere Auslastung
 - nur Back-up für gesicherte Leistung für wenige Stunden
- Potentieller Systemkonflikt
 - technisch: (1) Abregelung von konvention. vs. erneuerbare Energien
(2) Ausbau von allen Erzeugungsarten (Überkapazitäten)
 - wirtschaftlich: z.B. viel Wind → geringere Großhandelspreise (EEX)
→ geringere Einnahmen mit Grundlast-KW

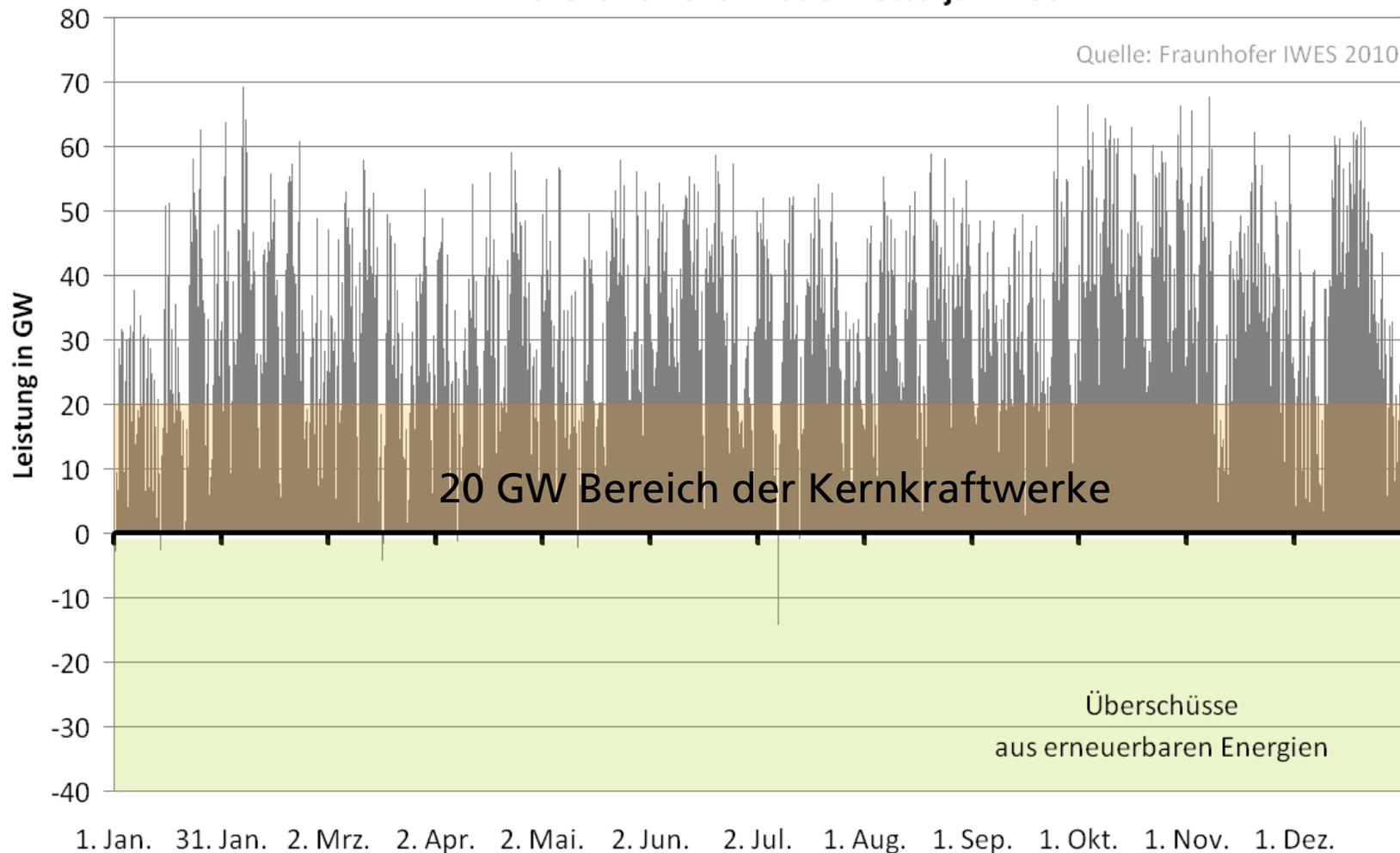
BEE-Szenario: Residuale Last für 2020 – EE-Anteil: 47%

Residuale Last (Last minus ungesteuerte EE-Einspeigung)
BEE-Szenario 2020 - Basis Wetterjahr 2007



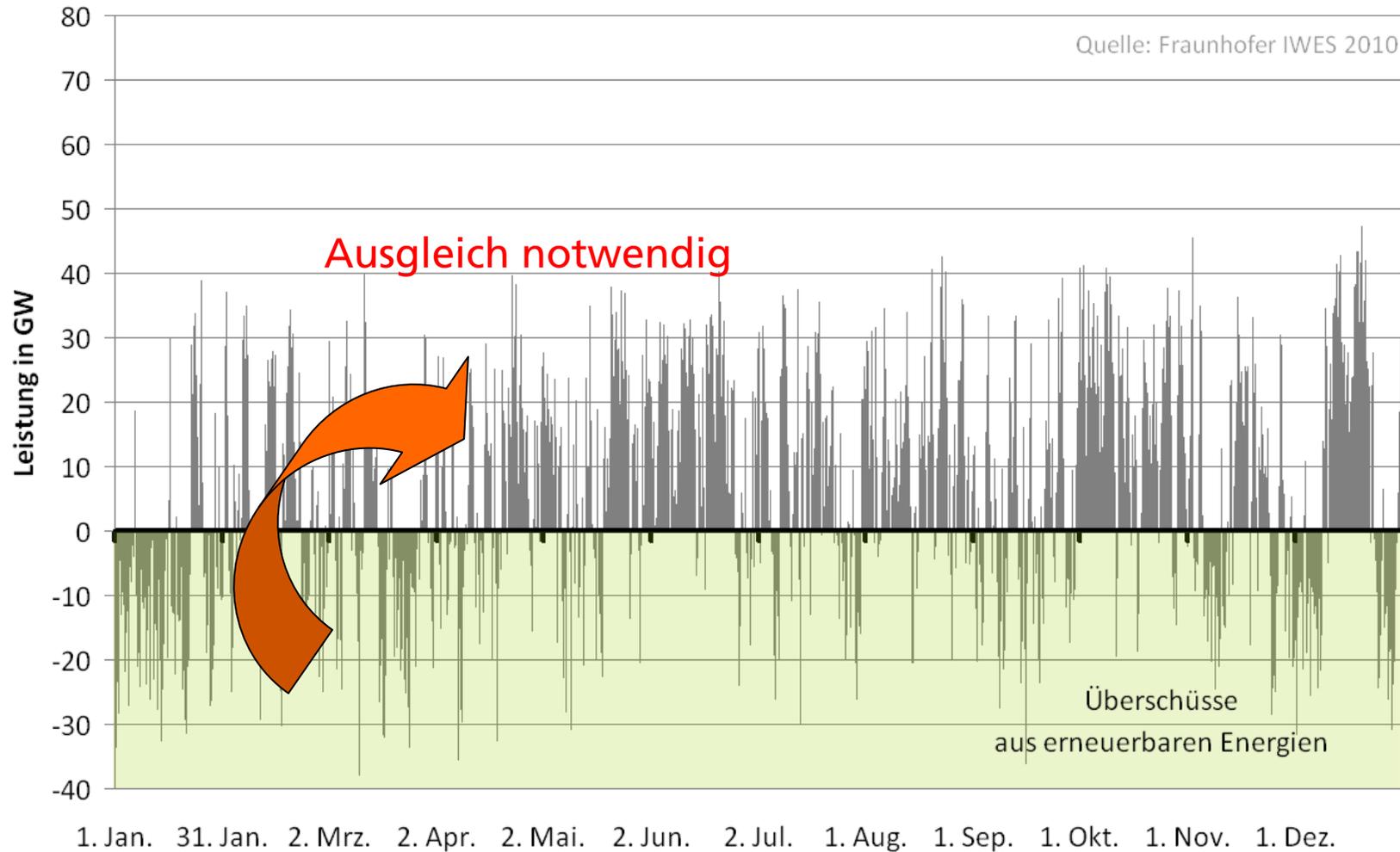
BEE-Szenario: Residuale Last für 2020 – EE-Anteil: 47%

Residuale Last (Last minus ungesteuerte EE-Einspeigung)
BEE-Szenario 2020 - Basis Wetterjahr 2007



BMU Leitstudie: Residuale Last für 2050 – EE-Anteil: 78%

Residuale Last (Last minus ungesteuerte EE-Einspeigung minus KWK)
Leitszenario 2050 - Basis Wetterjahr 2007



Ausgleichsmaßnahmen in 100% EE-Stromversorgung

EE übernehmen die Systemdienstleistungen von konv. Kraftwerken

■ Transport

- Netzausbau
- Europäisches Supergrid

■ Speicher

- Kurzzeit (Tage): Pumpspeicher, Druckluft, Batterien
- Langzeit (Saisonal): Pumpspeicher in Norwegen, Wind / Solarstrom im Erdgasnetz als EE-Methan

■ Energiemanagement

- Erzeugung: Kombikraftwerk mit EE-Prognosen, Gas-KW mit EE-Methan
- Verbrauch: Gesteuerter Verbrauch (E-KFZ, Wärmepumpen, Smart Grids)

■ Technische Stabilität durch alle 3 Maßnahmen gegeben

■ Regenerative Vollversorgung technisch möglich

Kontakt



Dr. Michael Sterner

Fraunhofer Institut für Windenergie und
Energiesystemtechnik

+49 – 561 – 72 94 361

msterner_at_iset.uni-kassel.de

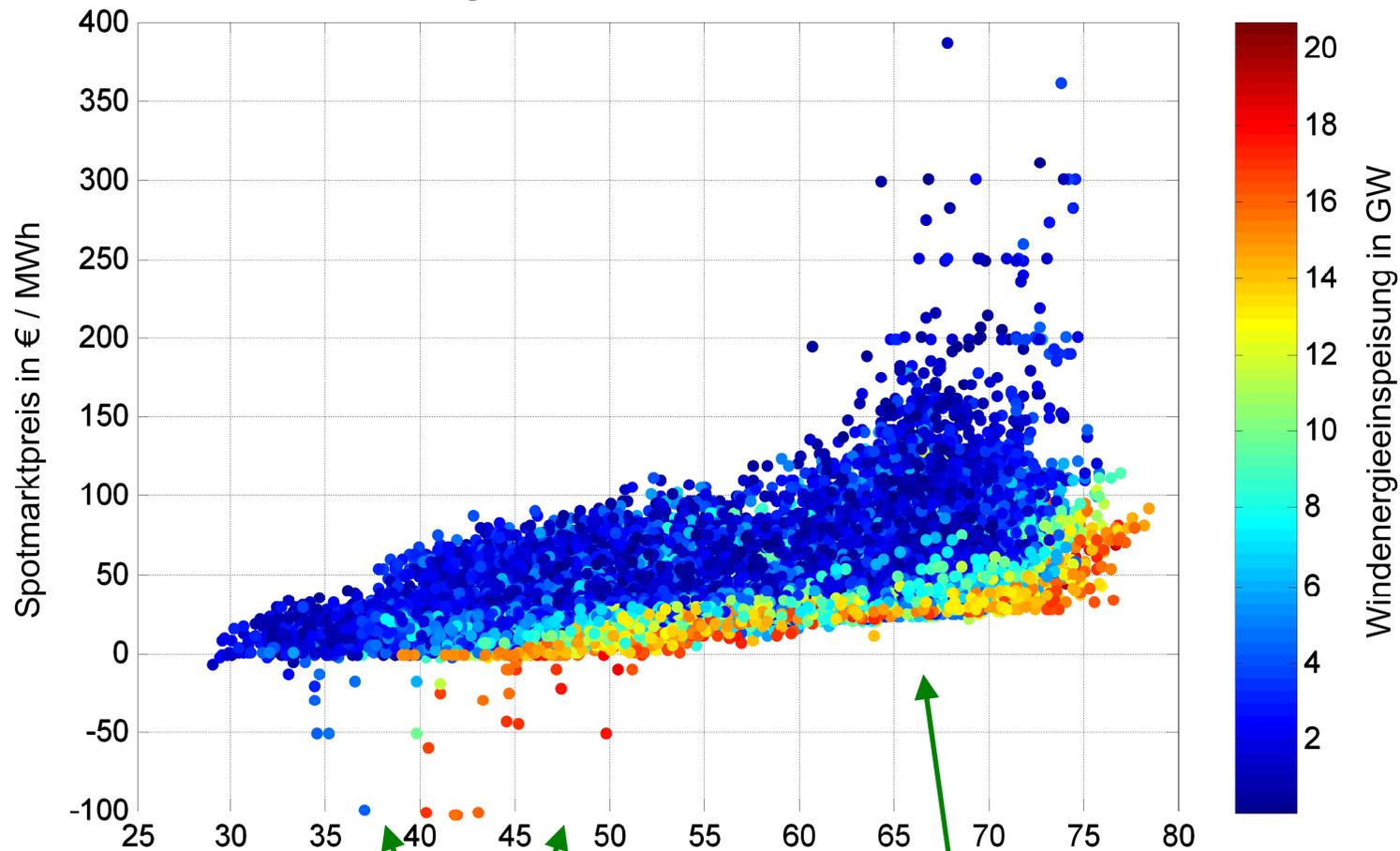
Vielen Dank!

BACKUP

EEX und Wind

Korrelation Wind & Last & EEX – deutliche Zusammenhänge

stündliche aufgelöste Daten für 2007 und 2008

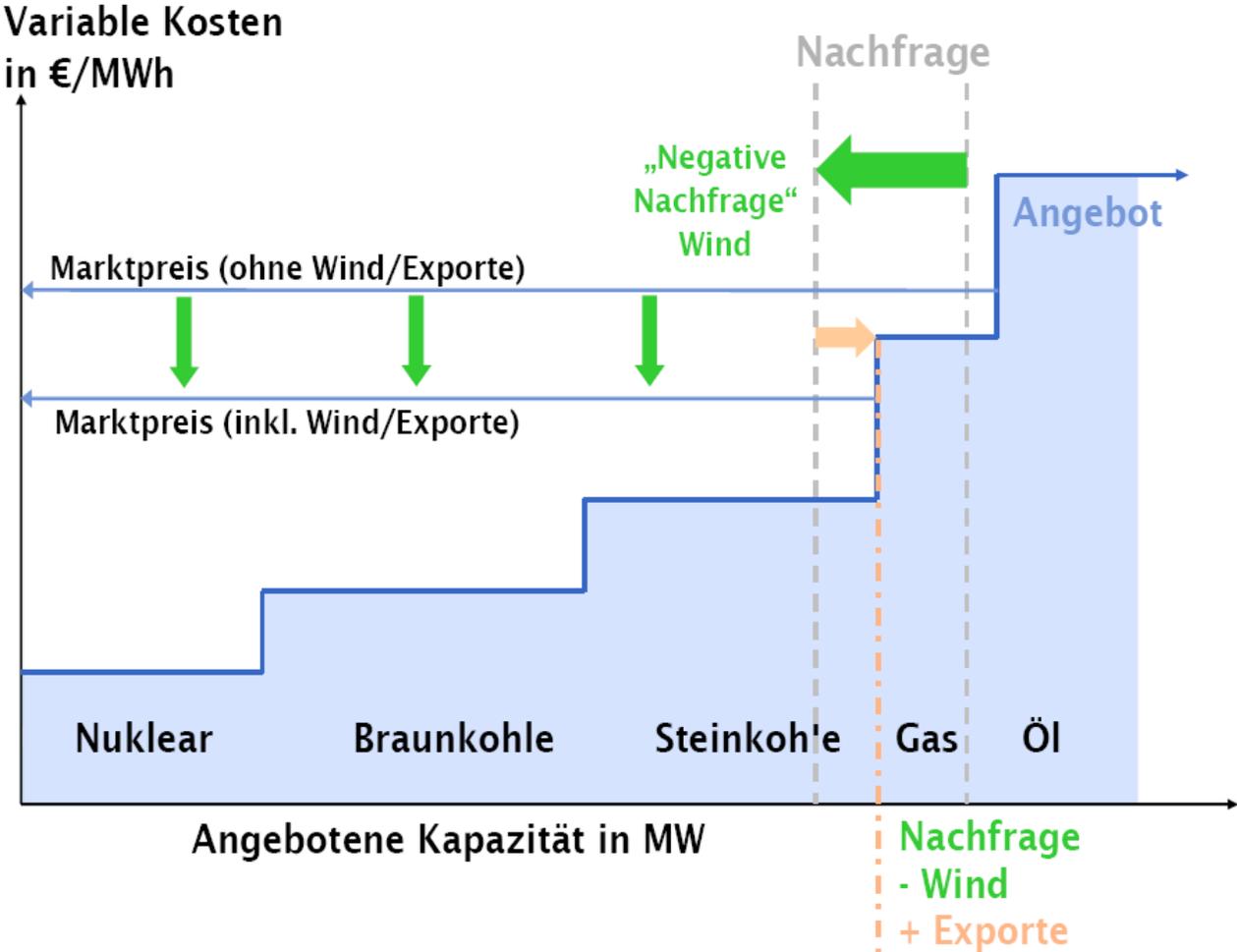


Negative Strompreise
zu Schwachlastzeiten bei wenig / viel Wind

Wind senkt den Spotmarktpreis

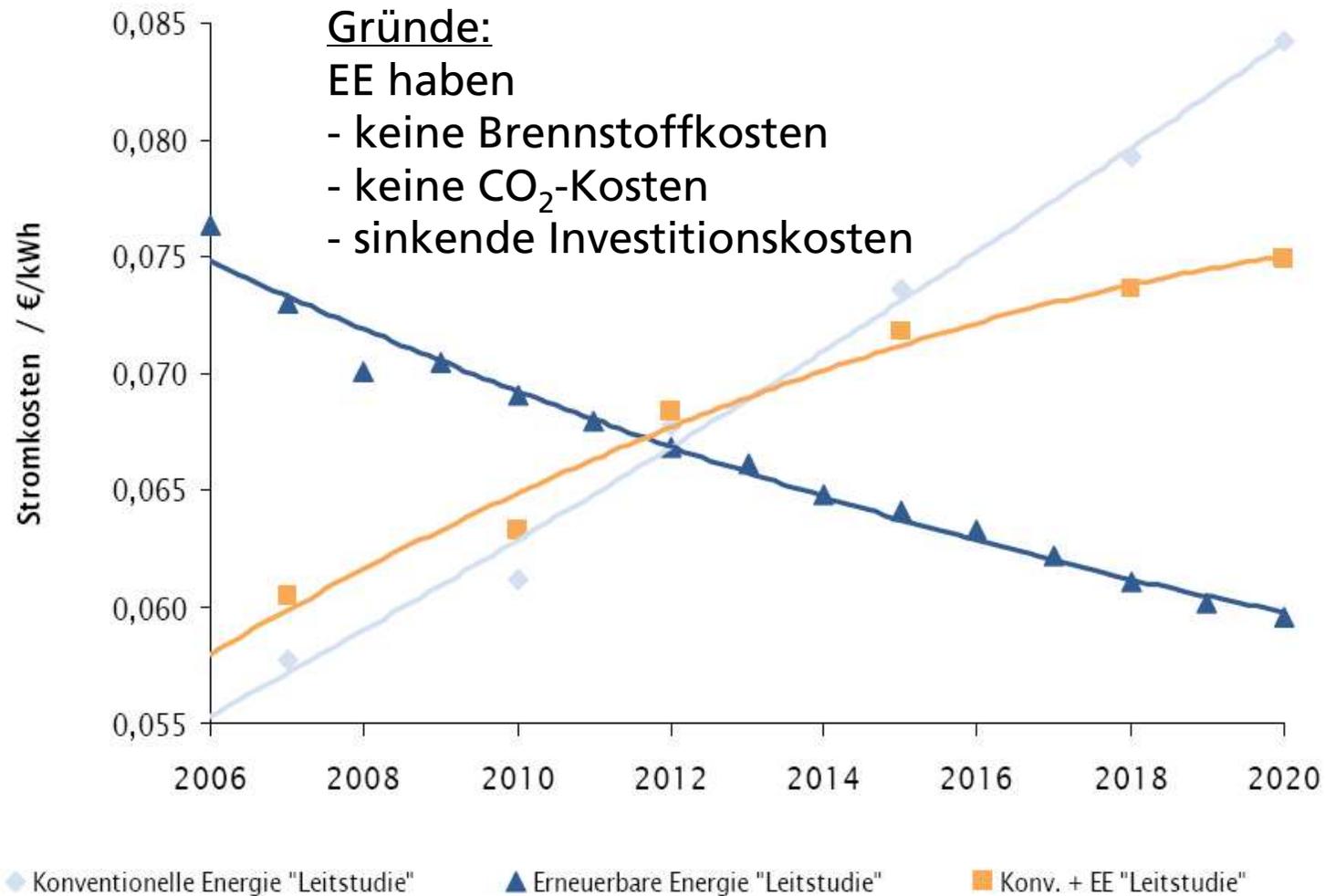
Quelle: IWES - work in progress, 2010

Auswirkungen von EE auf die Merit-Order



Quelle: RWE, LBBW Research., 2010

EE haben einen Strompreis-dämpfenden Effekt

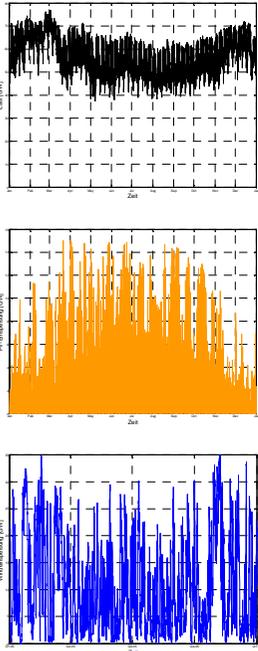
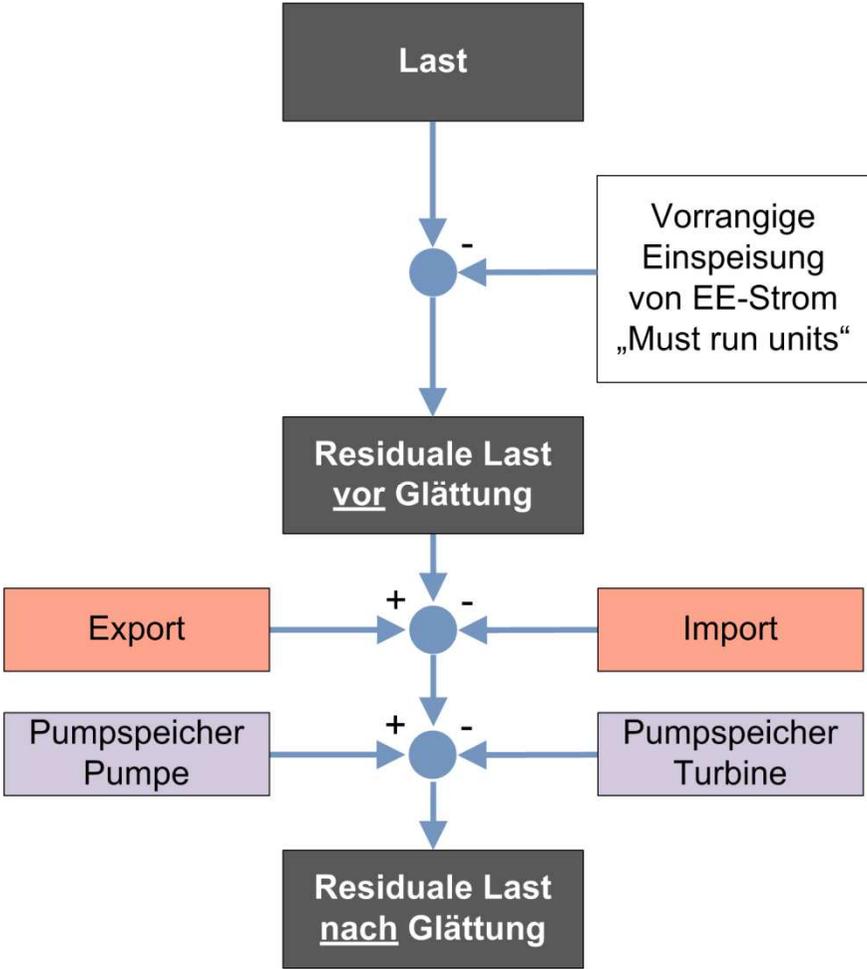


Quelle: LBBW Research., 2010

BEE-Studie

Dynamische Modellierung der erneuerbaren Einspeisung

Aufbau des Modells SimEE



Auflösung:
 Zeitlich: 1 Stunde
 Räumlich: 14x14 km

Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

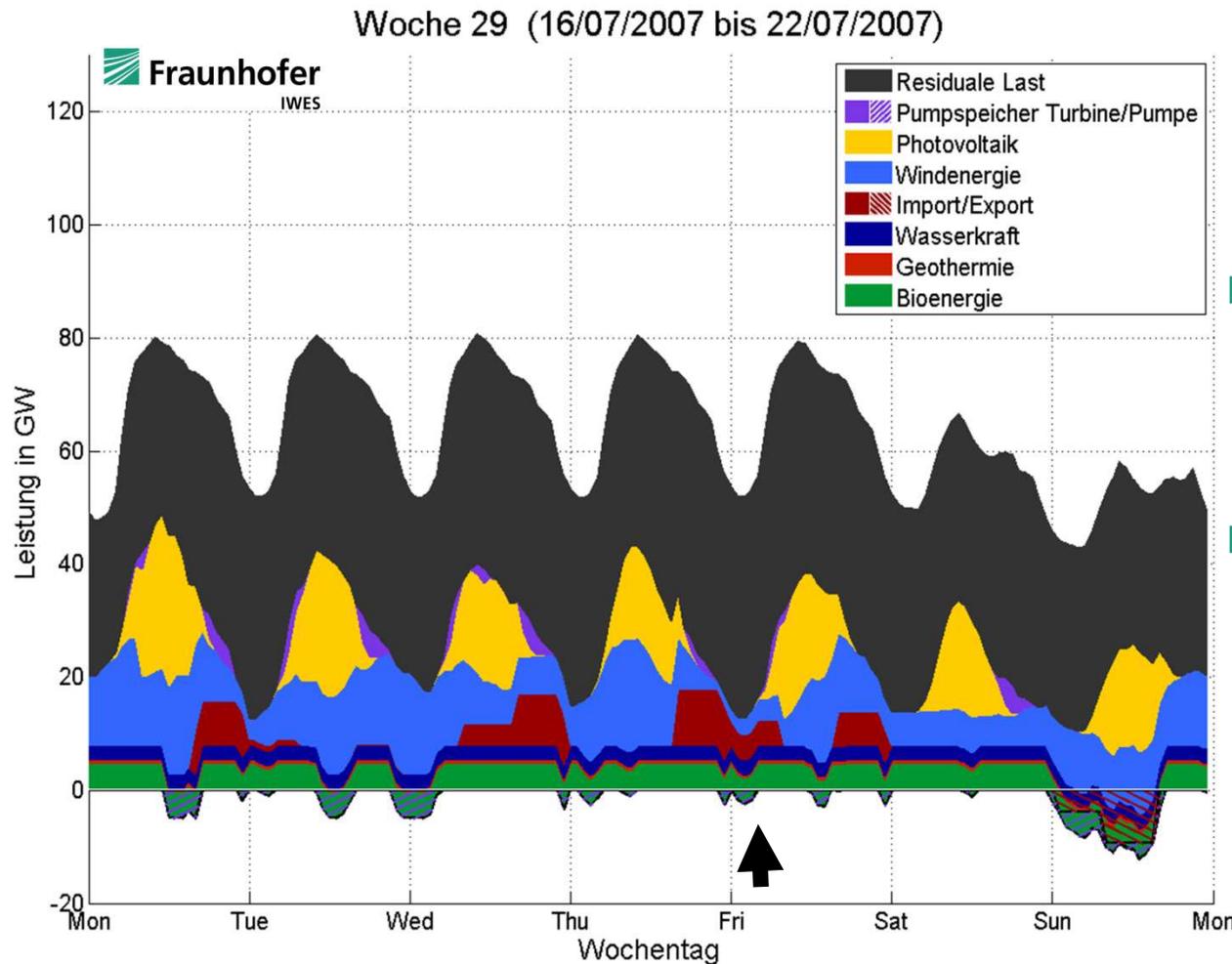
Simulation des Szenarios "BEE 2020" – 47% EE-Strom

Annahmen des BEE zum EE-Ausbau bis 2020

	Leistung [MW]		Energie [TWh/a]	
	2007	2007 (meteorologisches Jahr)	2020	2020 (Normal-Jahr)
Wasserkraft	4.720	21,3	6.500	31,9
Windenergie onshore	22.247	39,7	45.000	112,1
Windenergie offshore	0	0,0	10.000	37,0
Photovoltaik	3.811	3,0	39.500	39,5
Geothermie	3	0,0	655	3,8
Bioenergie	4.092	24,7	9.338	54,3
davon biogener Abfall	1.063	4,1	1.063	4,3
davon fest	1.178	8,1	2.900	14,5
davon flüssig	300	1,5	300	2,3
davon Biogas	1.271	8,9	4.800	31,2
davon Klär-/Deponiegas	280	2,1	275	2,1
EE Gesamt	34.873	88,7	110.963	278,4
Bruttostromverbrauch		617,0		594,5
EE-Anteil (%)		14,4		46,8

Quelle: BEE, 2009

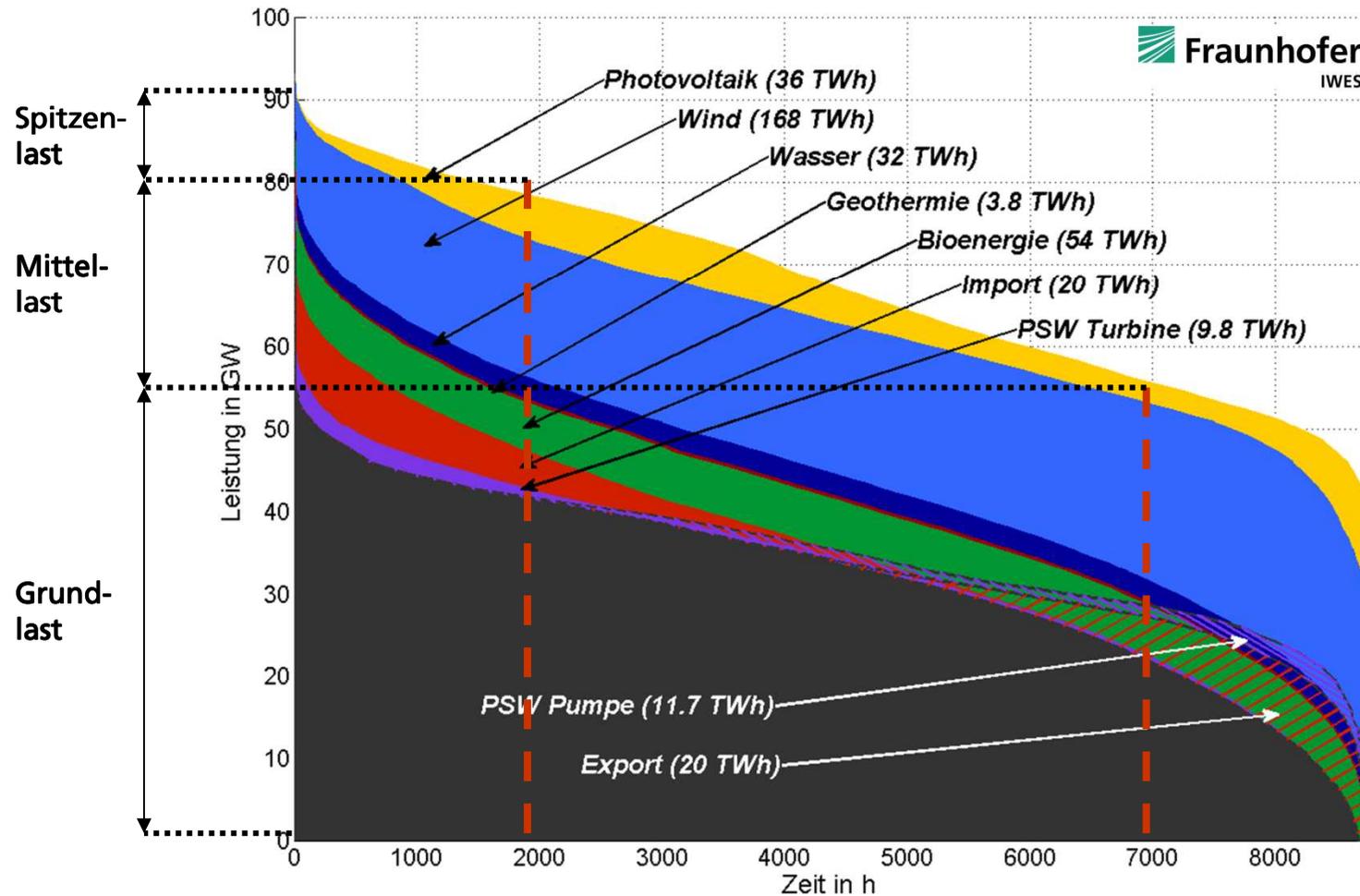
47% EE – Woche der minimalen EE-Einspeisung



- EE folgen in geschickter Kombination dem Strombedarf
- Zu jedem Zeitpunkt EE-Einspeisung – mind. 15%

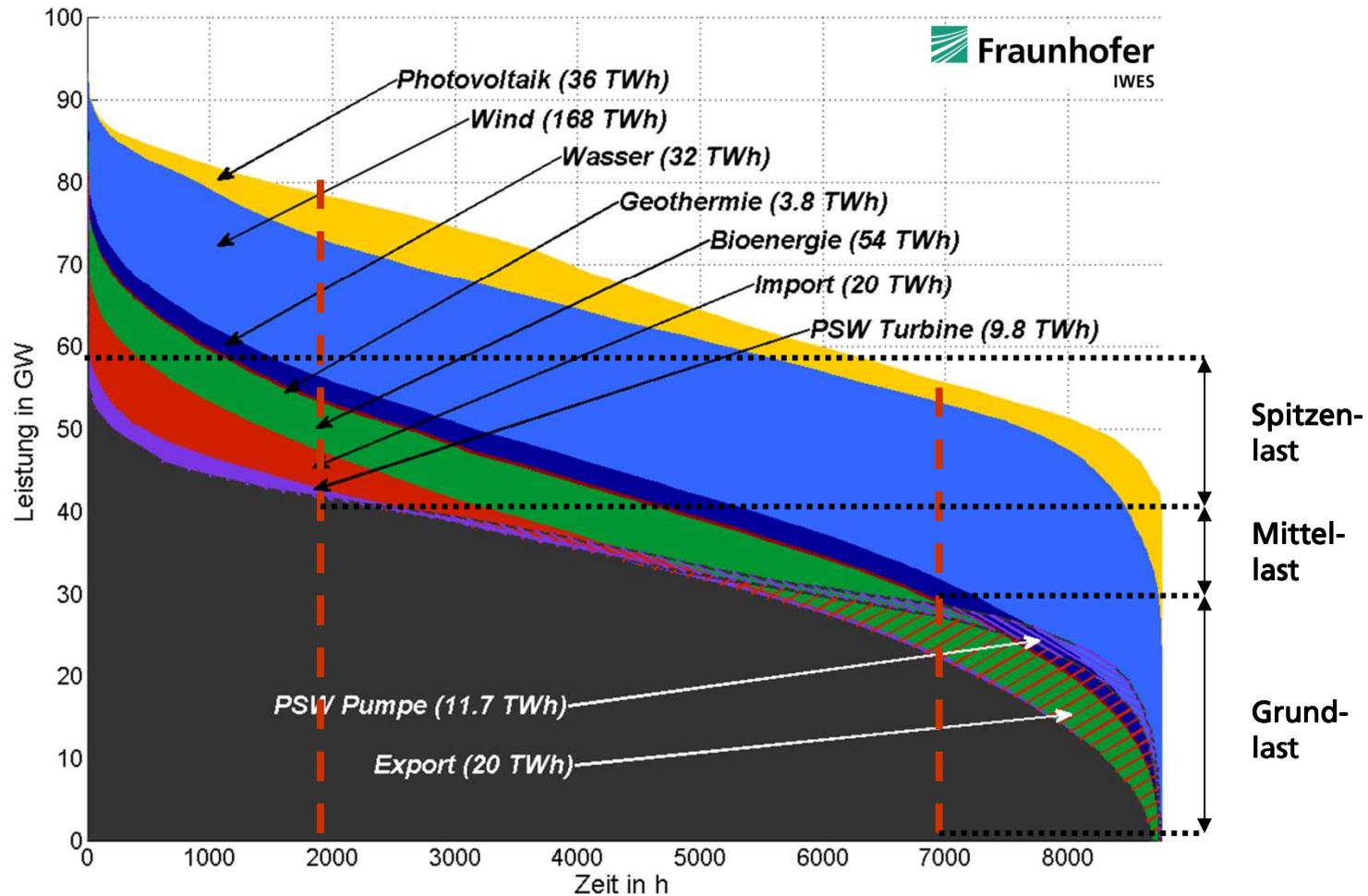
Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

47% EE - Auswertung: deutlich weniger Grundlastbedarf



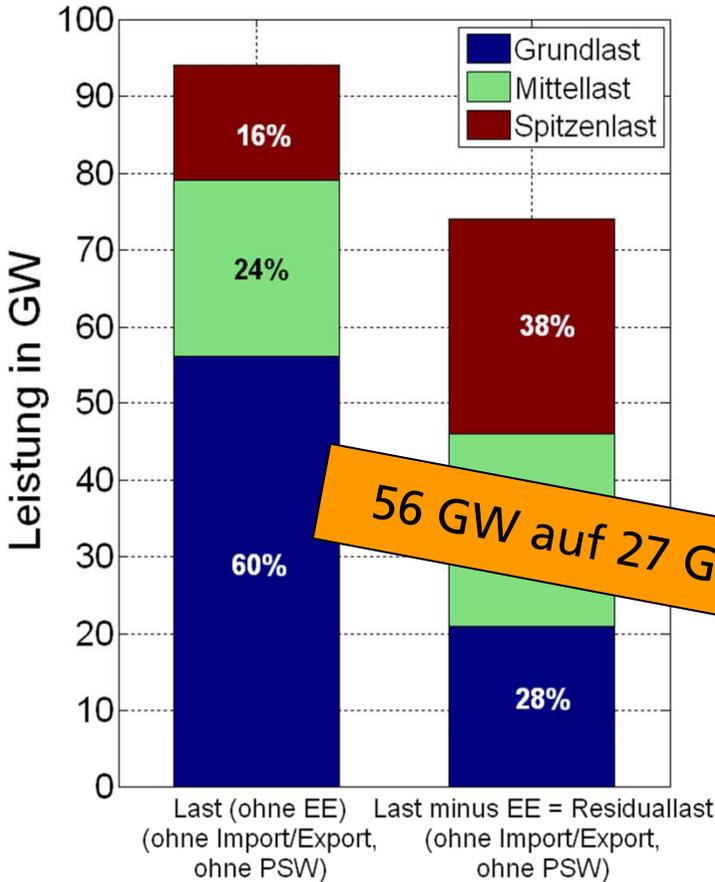
Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

47% EE - Auswertung: deutlich weniger Grundlastbedarf

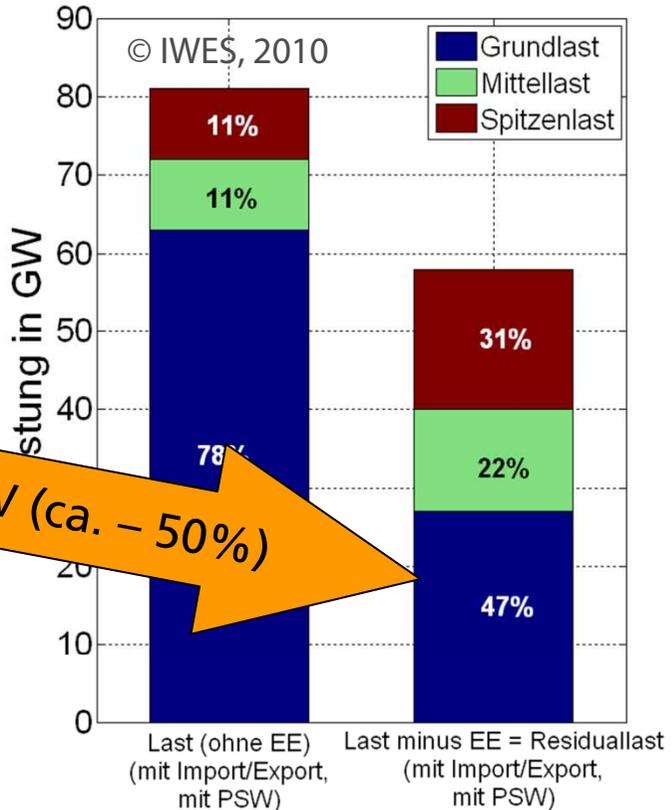


Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

47% EE - Bedarf an konventionellen Kraftwerken



Aufteilung Last und Residuallast bzw. Bedarf an konv. Kraftwerksleistung ohne Ausgleichsmaßnahmen

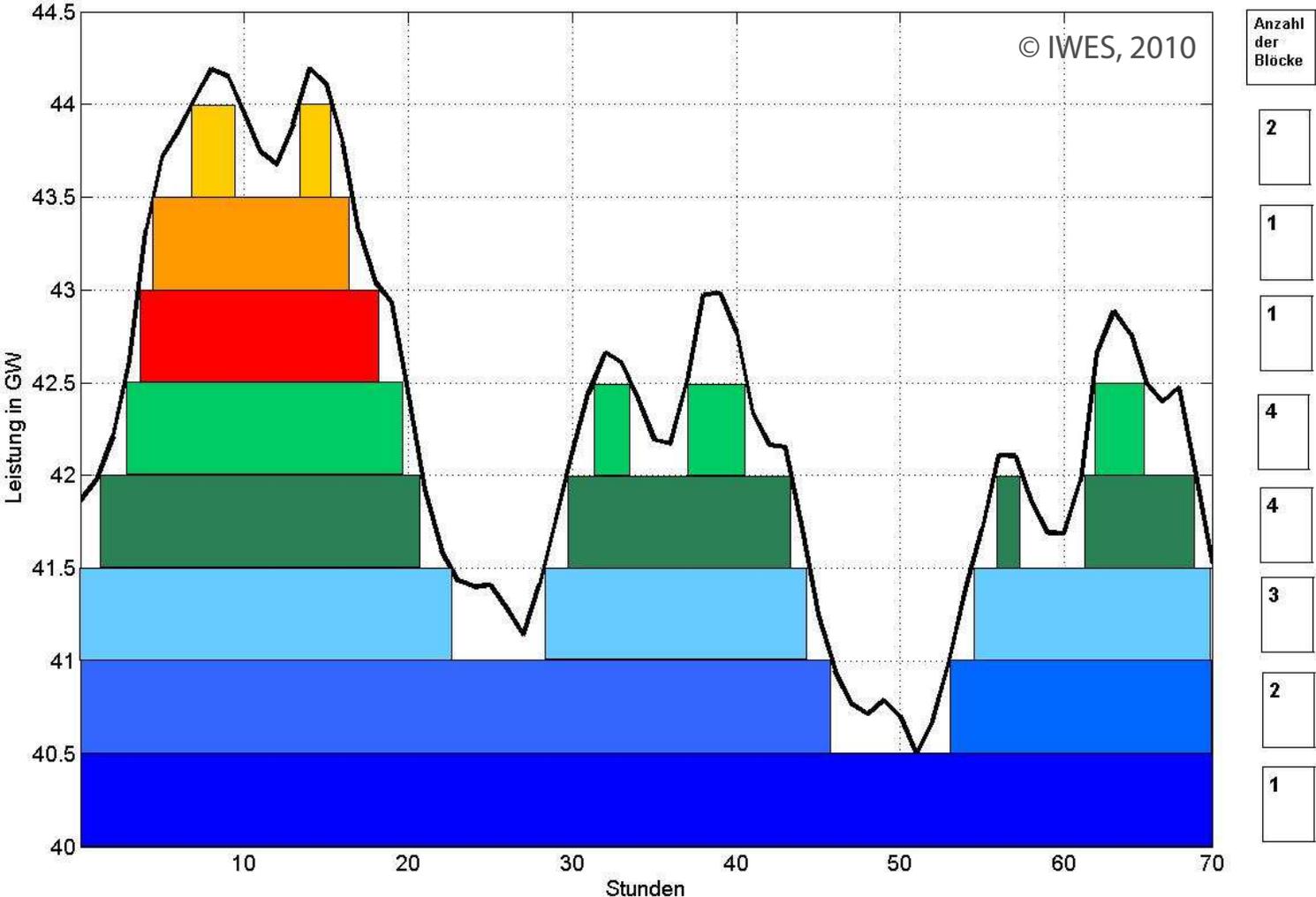


Aufteilung Last und Residuallast bzw. Bedarf an konv. Kraftwerksleistung mit Ausgleichsmaßnahmen

56 GW auf 27 GW (ca. - 50%)

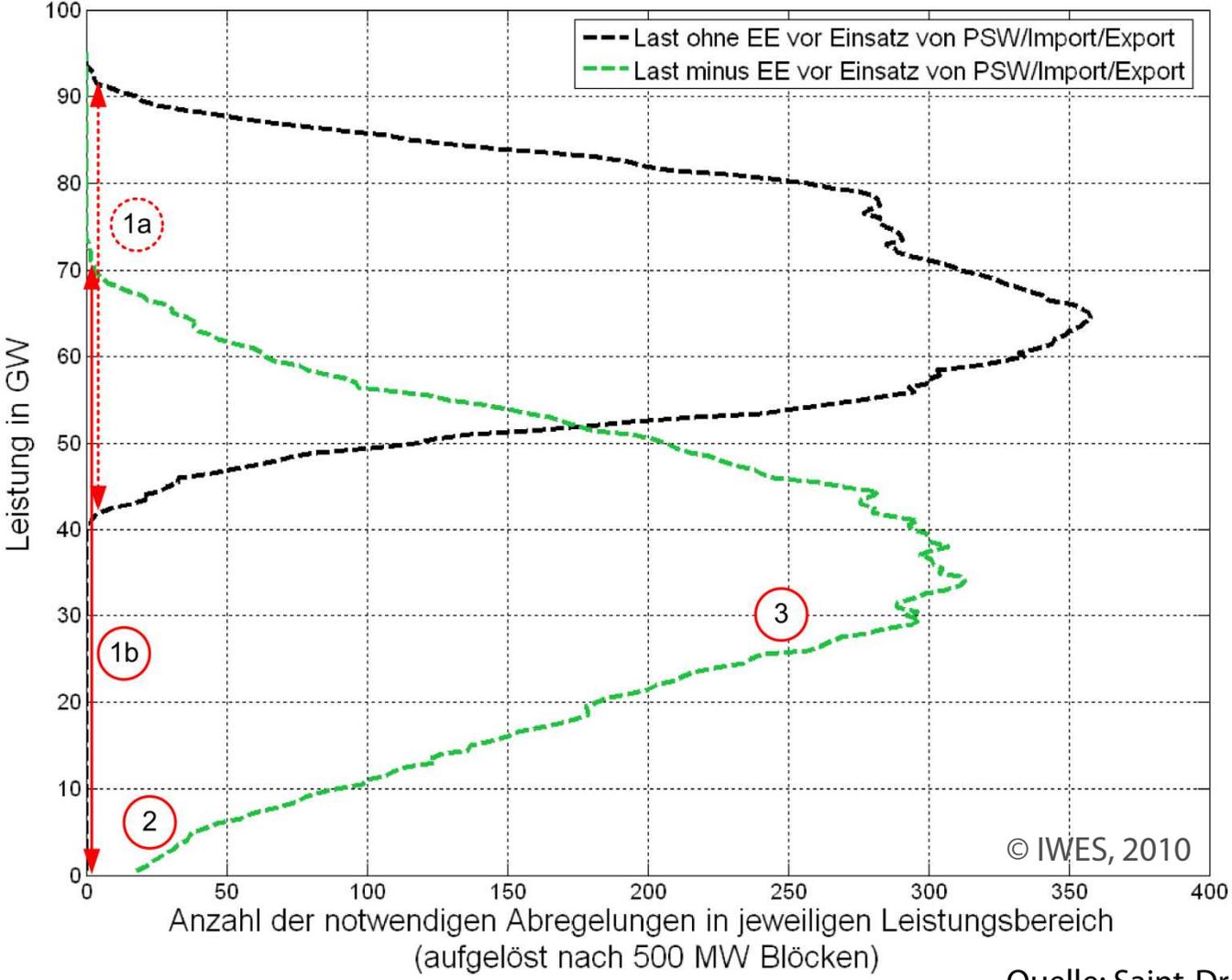
Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

47% EE - Häufigkeit der An- und Abfahrvorgänge - Beispiel



Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

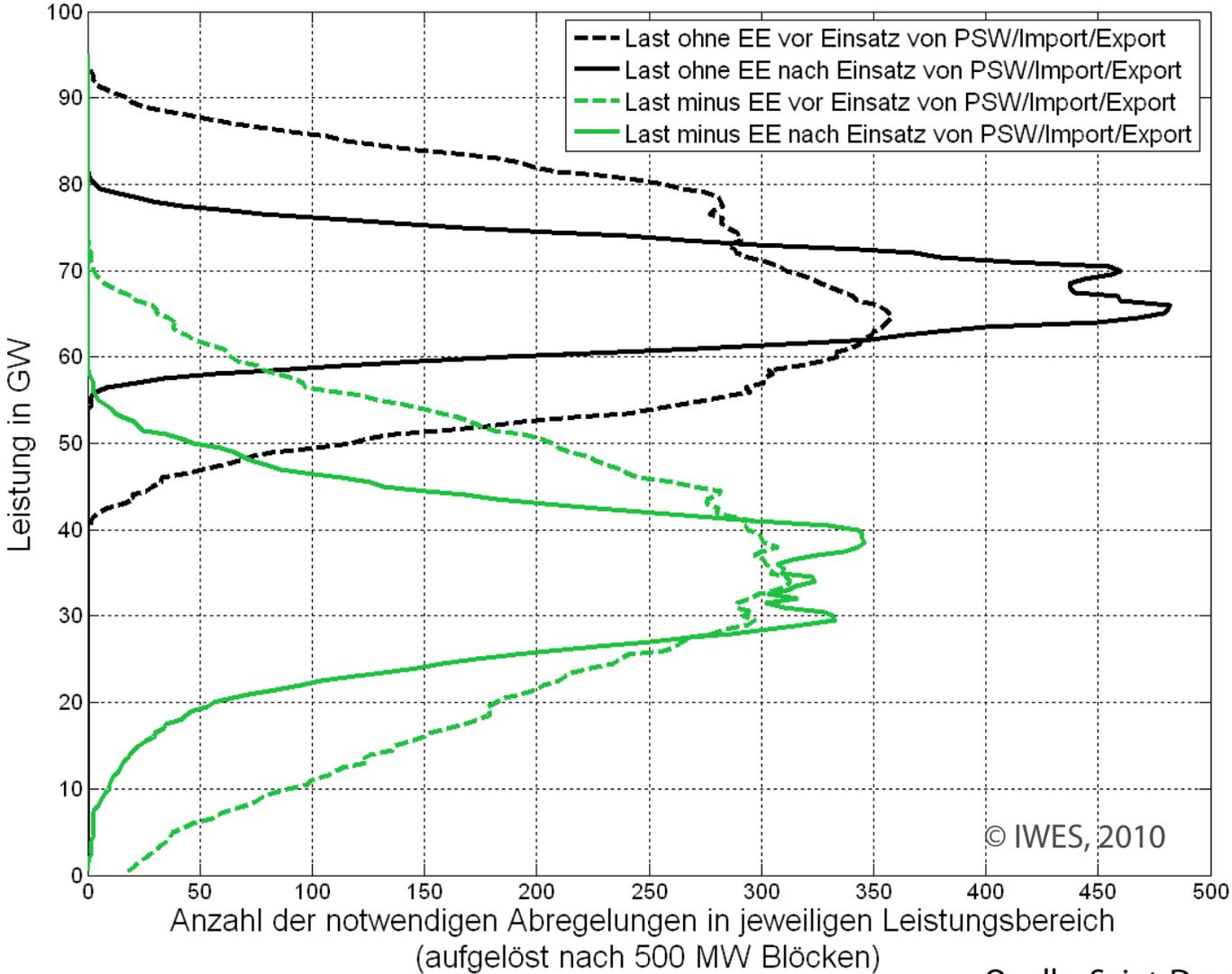
Anzahl der notwendigen "Abregelungen" in 500 MW Blöcken



© IWES, 2010

Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

Anzahl der notwendigen "Abregelungen" in 500 MW Blöcken

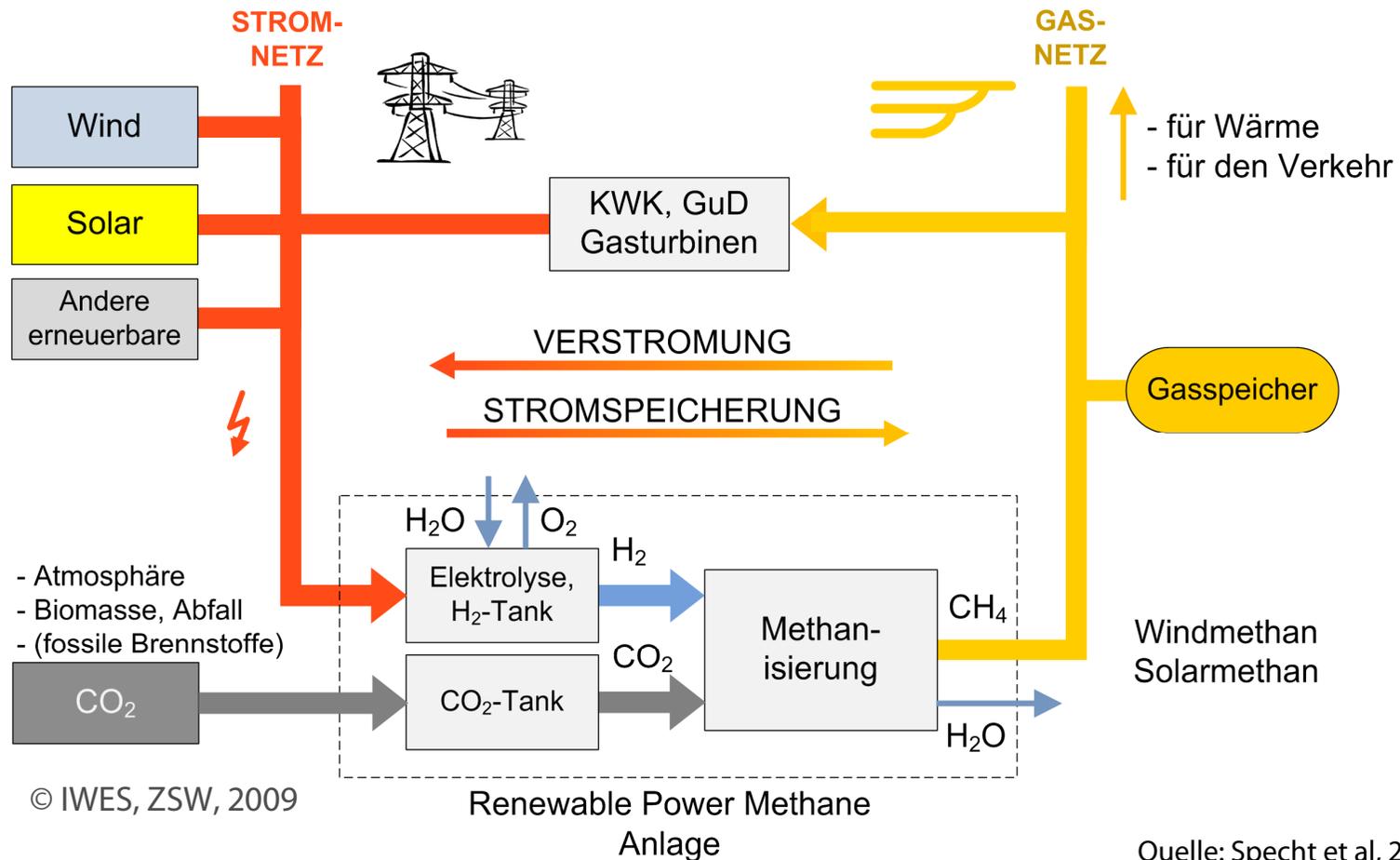


Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

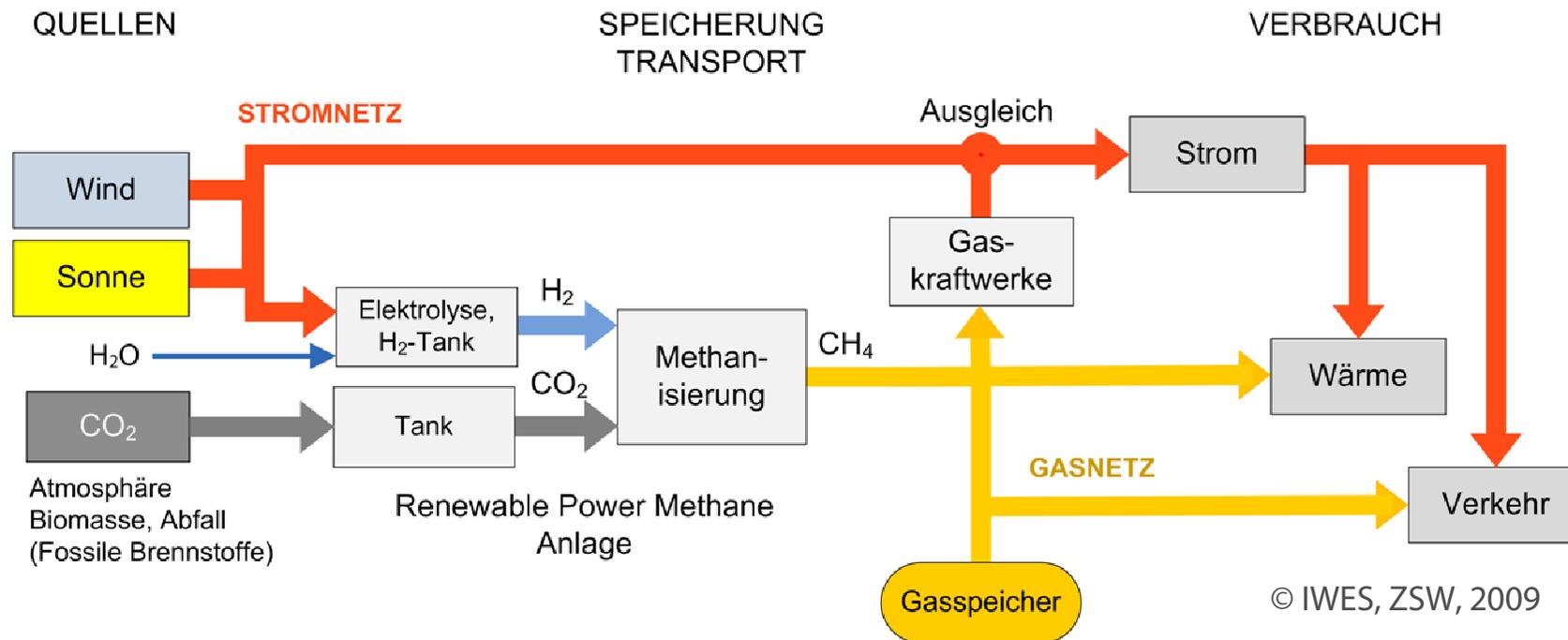
Ausgleich durch Kopplung von Strom- und Gasnetz

Renewable Power (to) Methane – erneuerbares Methan

Stromspeicherung durch Kopplung von Strom- und Gasnetz

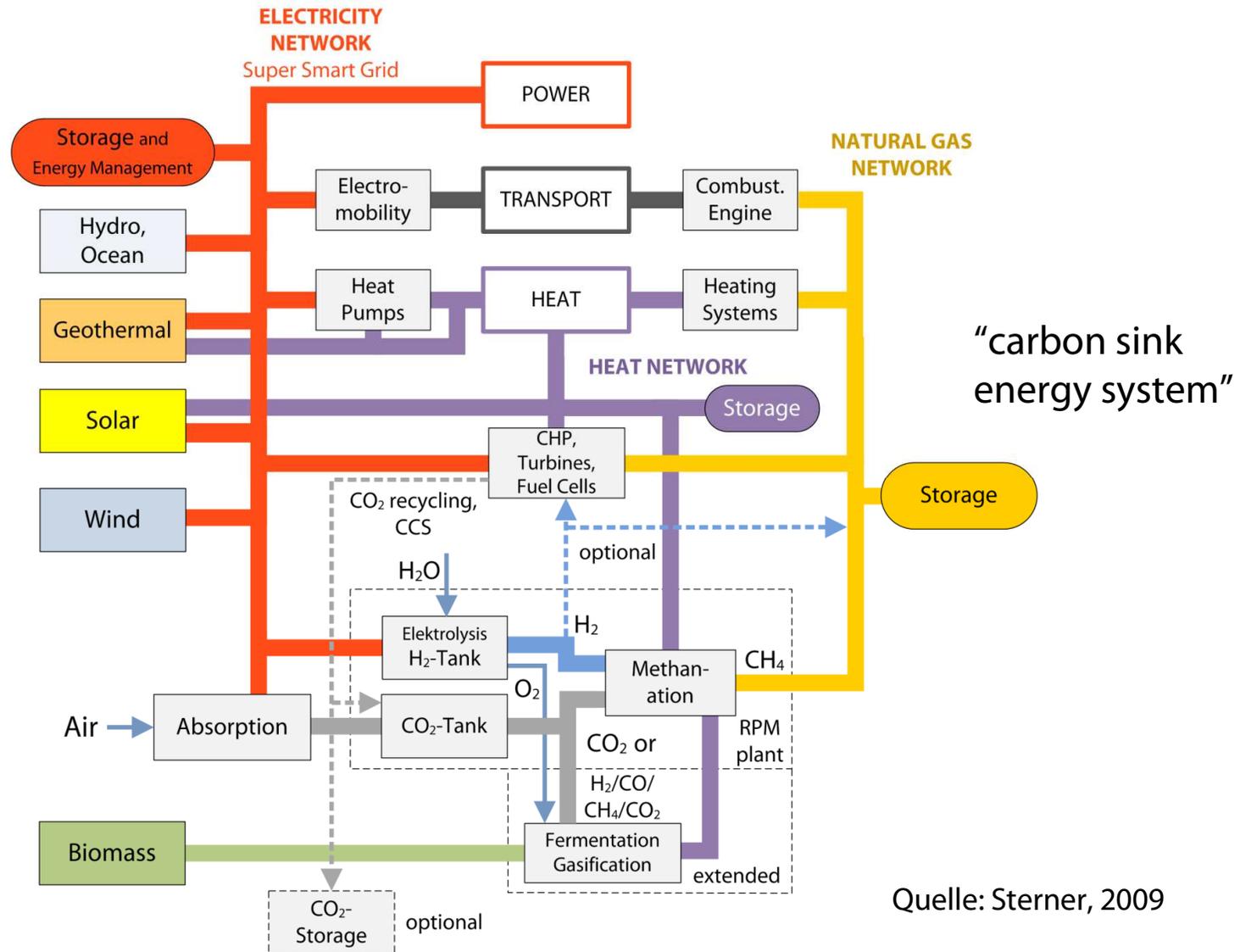


Renewable Power (to) Methane – erneuerbares Methan Energievektor für Wind und Solar in den Verkehrssektor



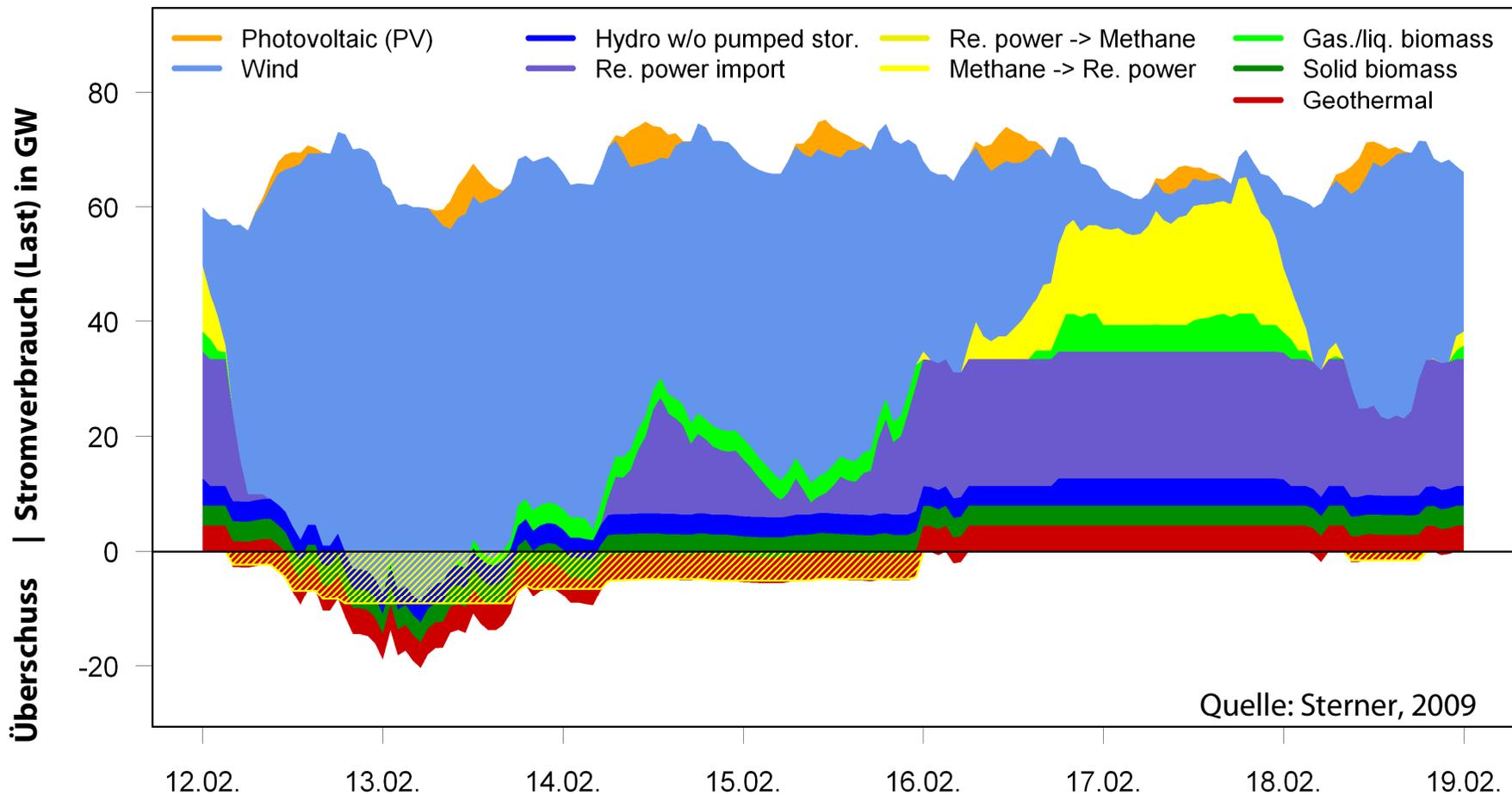
Quelle: Specht et al, 2009
Sternier, 2009

100% EE-Strukturen: das Gasnetz als wesentliches Element



Simulation einer regenerativen Vollversorgung – Strom

Szenario BMU Leitstudie 2008 für 2050 x 1.2 für Deutschland



Vorteile der Kopplung der Energienetze - erneuerbares Methan

- Speicherung von EE im Erdgasnetz und flexibler Einsatz
 - Langzeitspeicher, „keine“ Speicherbegrenzung, vorhandene Infrastruktur, weniger Konkurrenz zu anderen Lagerstätten, Nutzen des größten vorhandenen Energiespeichers
 - Stabile Stromversorgung mit EE
 - Regel- und Ausgleichsenergie für fluktuierende EE von fluktuierenden EE
 - „Grundlast“ aus EE – Kombination EE & Gasturbinen / GuD / Mini-KWK
 - CO₂-neutraler kohlenstoff-basierter Energieträger für Verkehr (und Wärme)
 - hohe Energiedichte, keine Begrenzung der KFZ-Reichweite, keine Konkurrenz zu Nahrung bzw. landwirtschaftlichen Nutzflächen
 - CO₂ aus der Luft – Recycling – Energiesysteme mit Kohlenstoffsenke
 - Minderung der Importabhängigkeit → Erhöhung der Versorgungssicherheit
-

Weiterführende Informationen

BEE (2009): Branchenprognose Stromversorgung 2020. BEE, Berlin.
<http://www.bee-ev.de/Energieversorgung/Strom/Stromversorgung-2020.php>

LBBW Research (2010): Sector Report Energy & Power Technology, Institutional Equity Research, Landesbank Baden-Württemberg, Stuttgart.

Saint-Drenan, Y.M.; von Oehsen, A.; Gerhardt, N.; Sterner, M.; Bofinger, S.; Rohrig, K. (2009): Dynamische Simulation der Stromversorgung in Deutschland nach dem BEE-Szenario „Stromversorgung 2020“. Fraunhofer IWES, Kassel.
http://www.bee-ev.de/downloads/publikationen/studien/2010/100119_BEE_IWES-Simulation_Stromversorgung2020_Endbericht.pdf

Specht, M.; Sterner, M.; Stürmer, B.; Frick, V.; Hahn, B. (2009): Stromspeicherung durch Kopplung von Strom- und Gasnetz - Wind/PV-to-SNG. ZSW / ISET Paper.

Sterner, M. (2009): Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems. Limiting global warming by transforming energy systems. Kassel University, Dissertation.
<http://www.upress.uni-kassel.de/publi/abstract.php?978-3-89958-798-2>

Sterner, M.; Gerhardt, N.; Saint-Drenan, Y.M.; von Oehsen, A.; Hochloff, P.; Kocmajewski, M.; Lindner, P.; Jentsch, M.; Pape, K.; Bofinger, S.; Rohrig, K. (2010): Energiewirtschaftliche Bewertung von Pumpspeicherwerken und anderen Speichern im zukünftigen Stromversorgungssystem. Studie für Schluchseewerke AG. Fraunhofer IWES, Kassel.
<http://www.schluchseewerk.de/105.0.html>
