

---

# 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

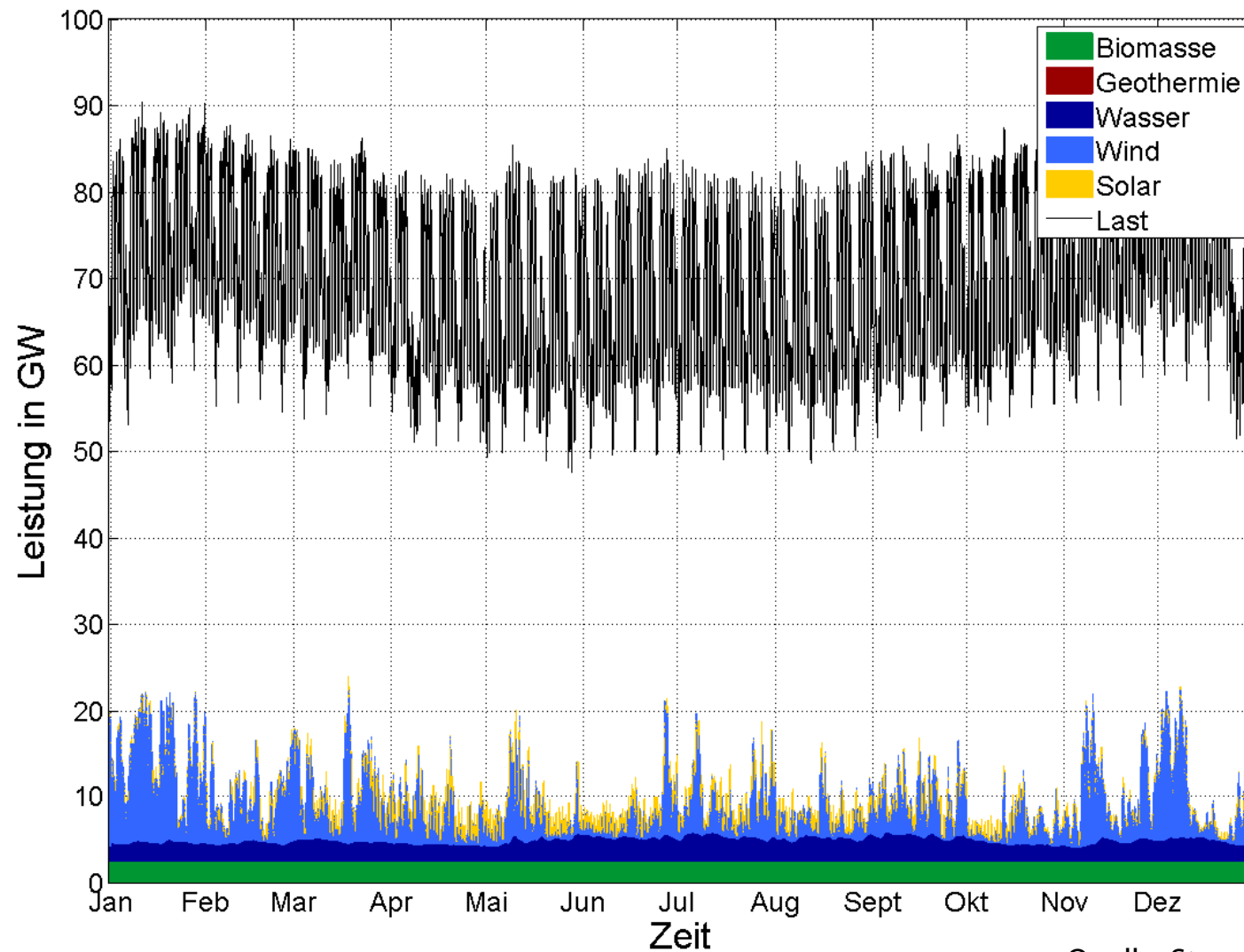
## ■ Was wurde untersucht?

- 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?

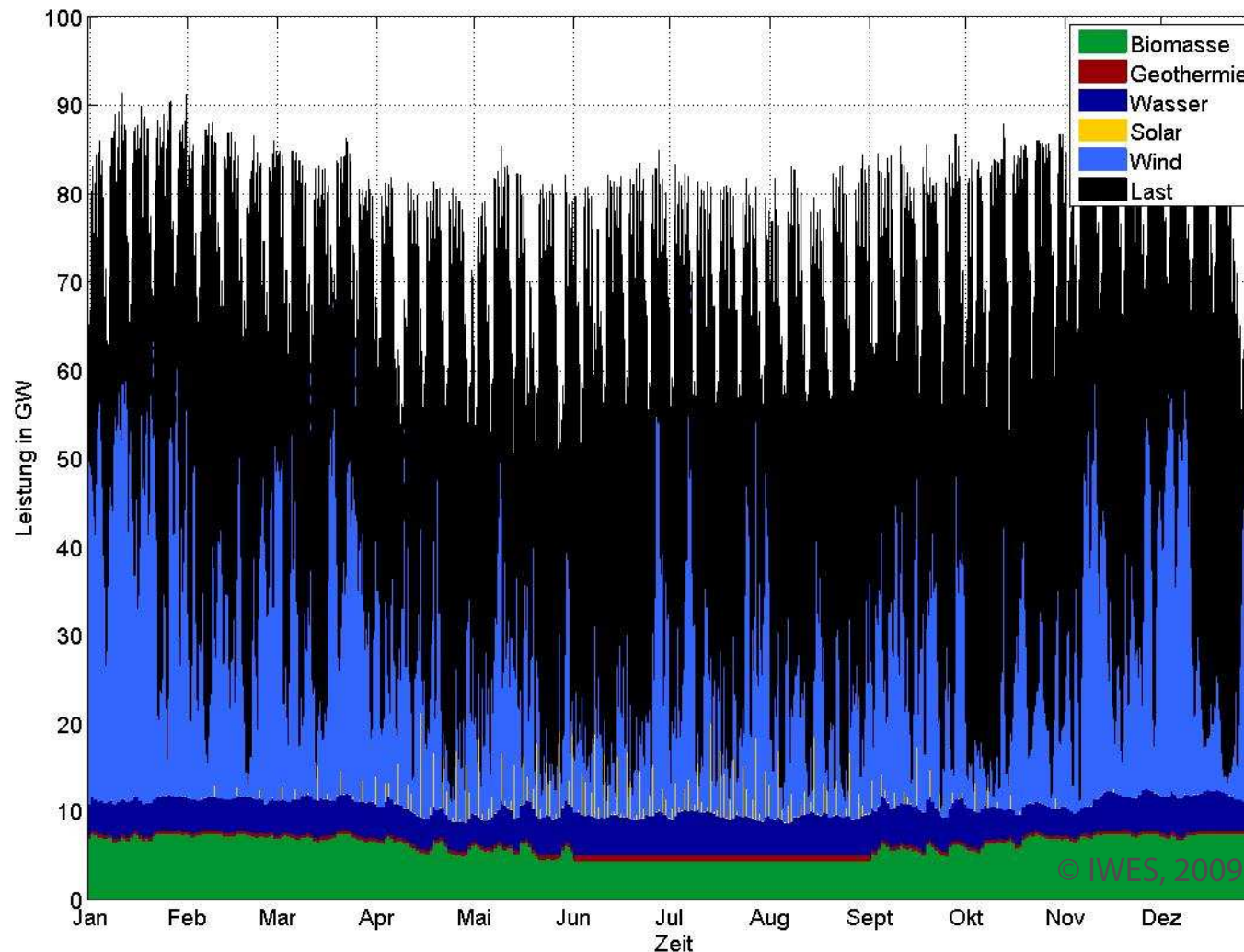
- Kraftwerkseinsatzplanung der konventionellen Kraftwerke
- Netzaspekte: Netzausbau – Netzengpässe
- Technische Versorgungssicherheit: gesicherte Leistung – Regelleistung
- Bewertung des BEE-Szenarios für 2020

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



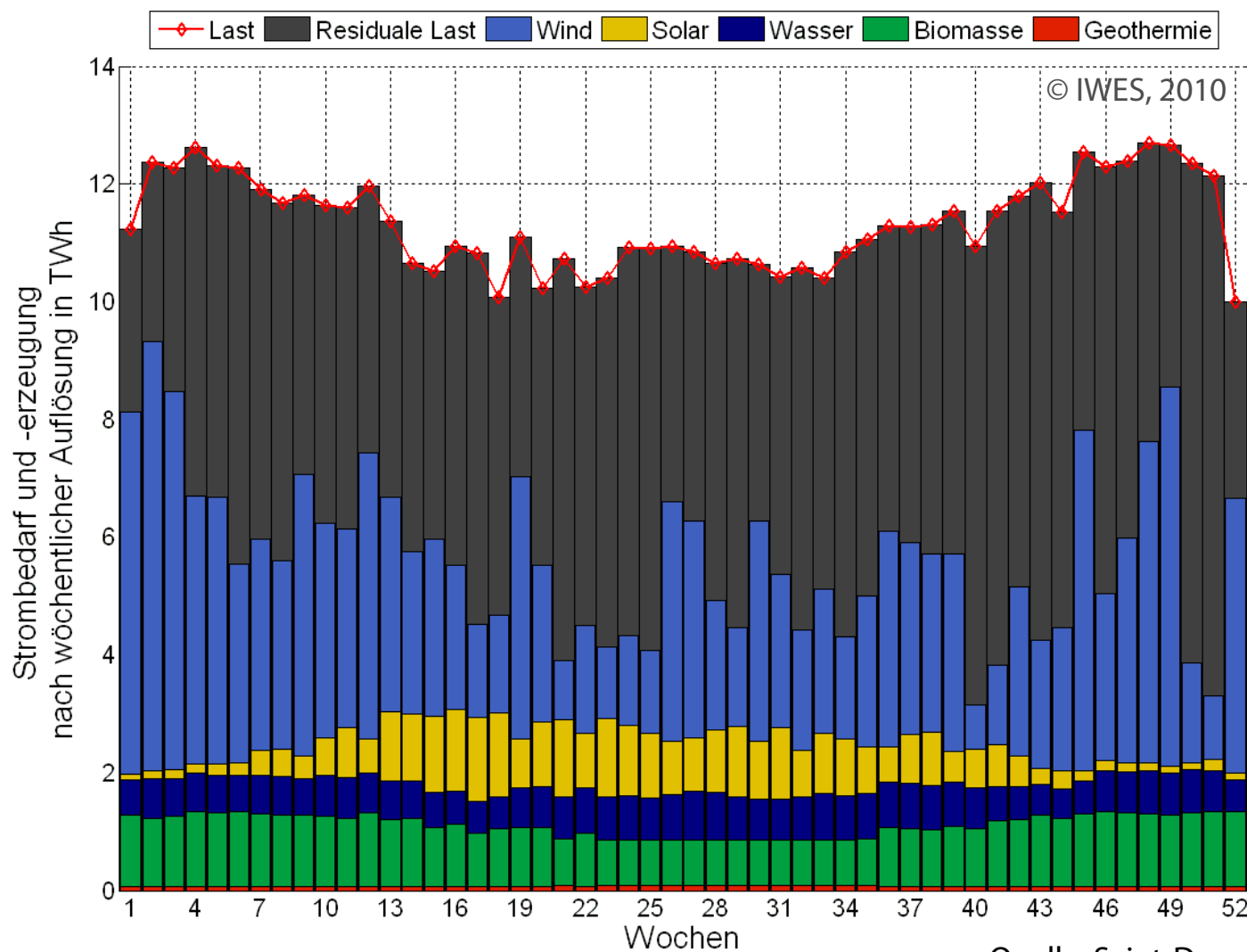
Quelle: Sterner et al., 2010

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



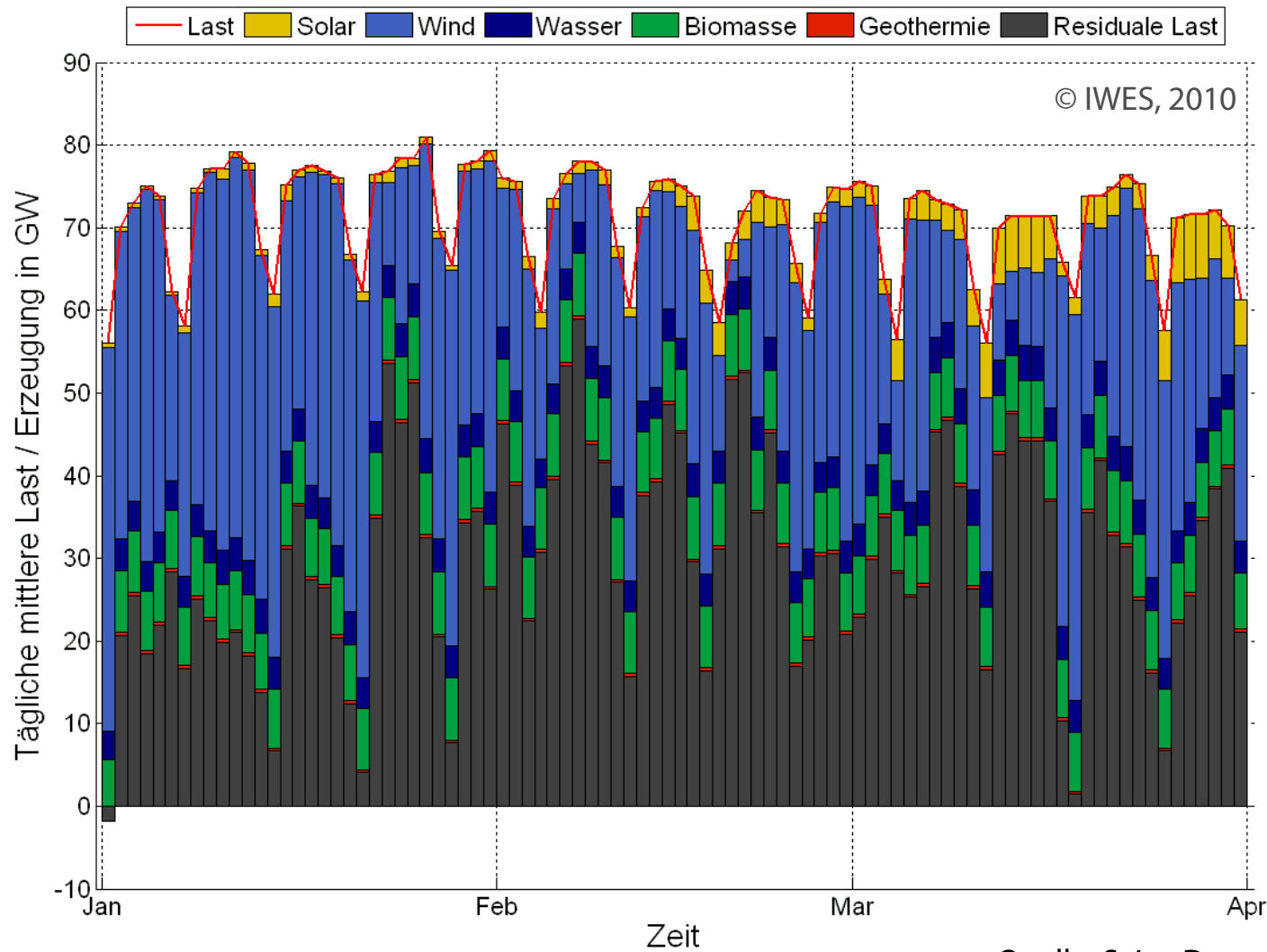
Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

# 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

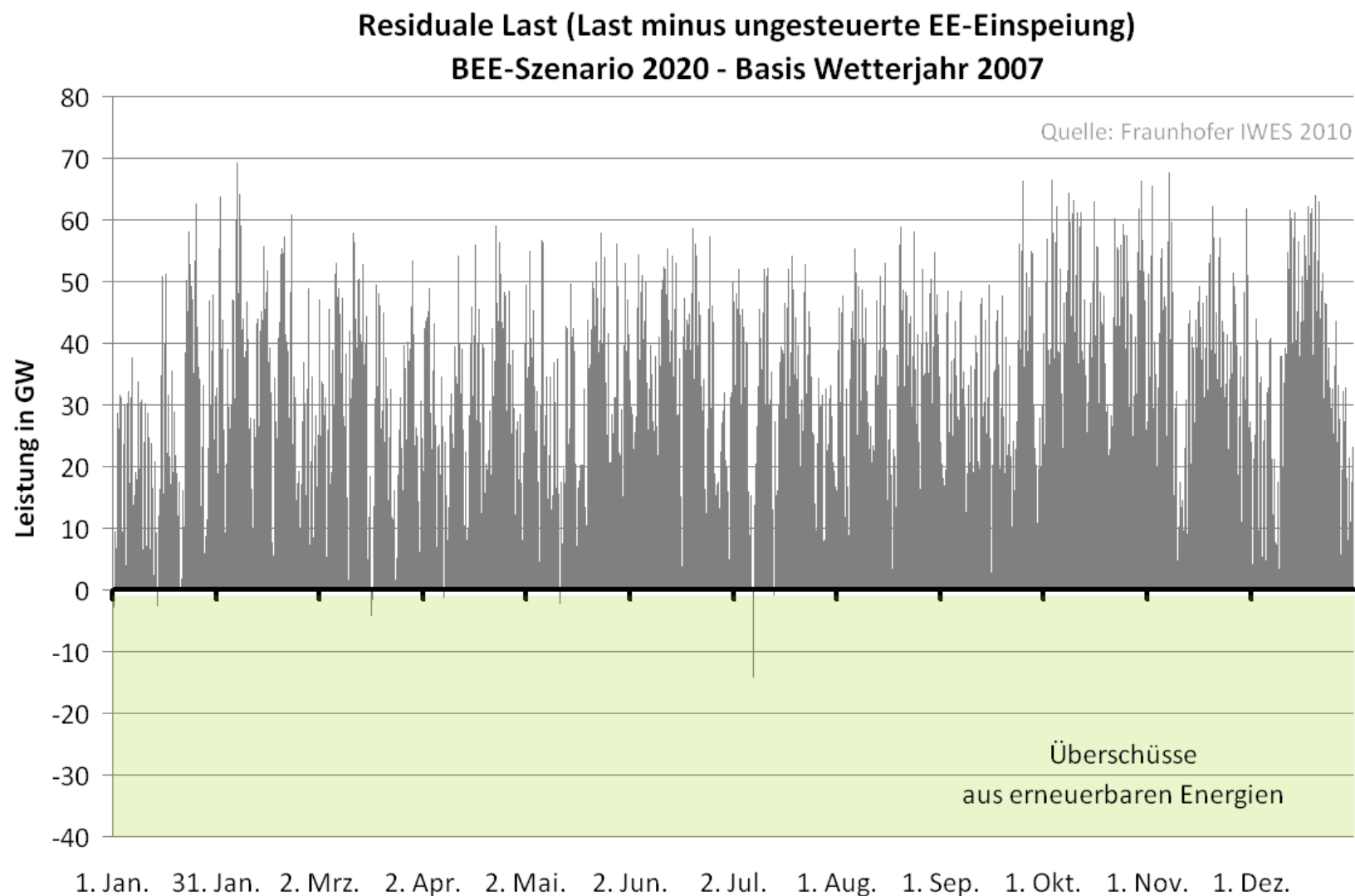
## Ergebnisse zur fluktuierenden EE-Einspeisung von 47% (BEE)

- 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

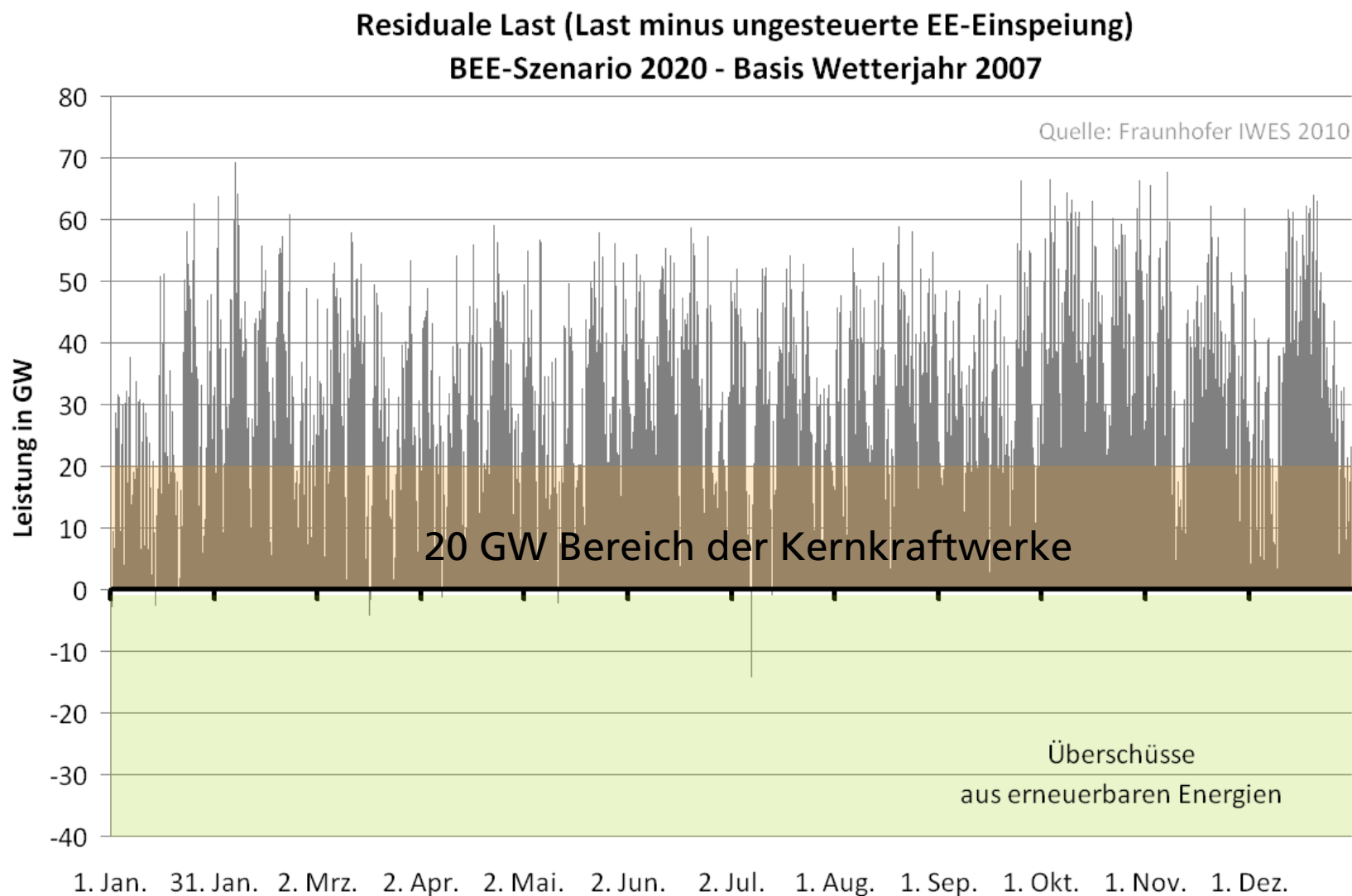
# Generelle Tendenzen

- 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%



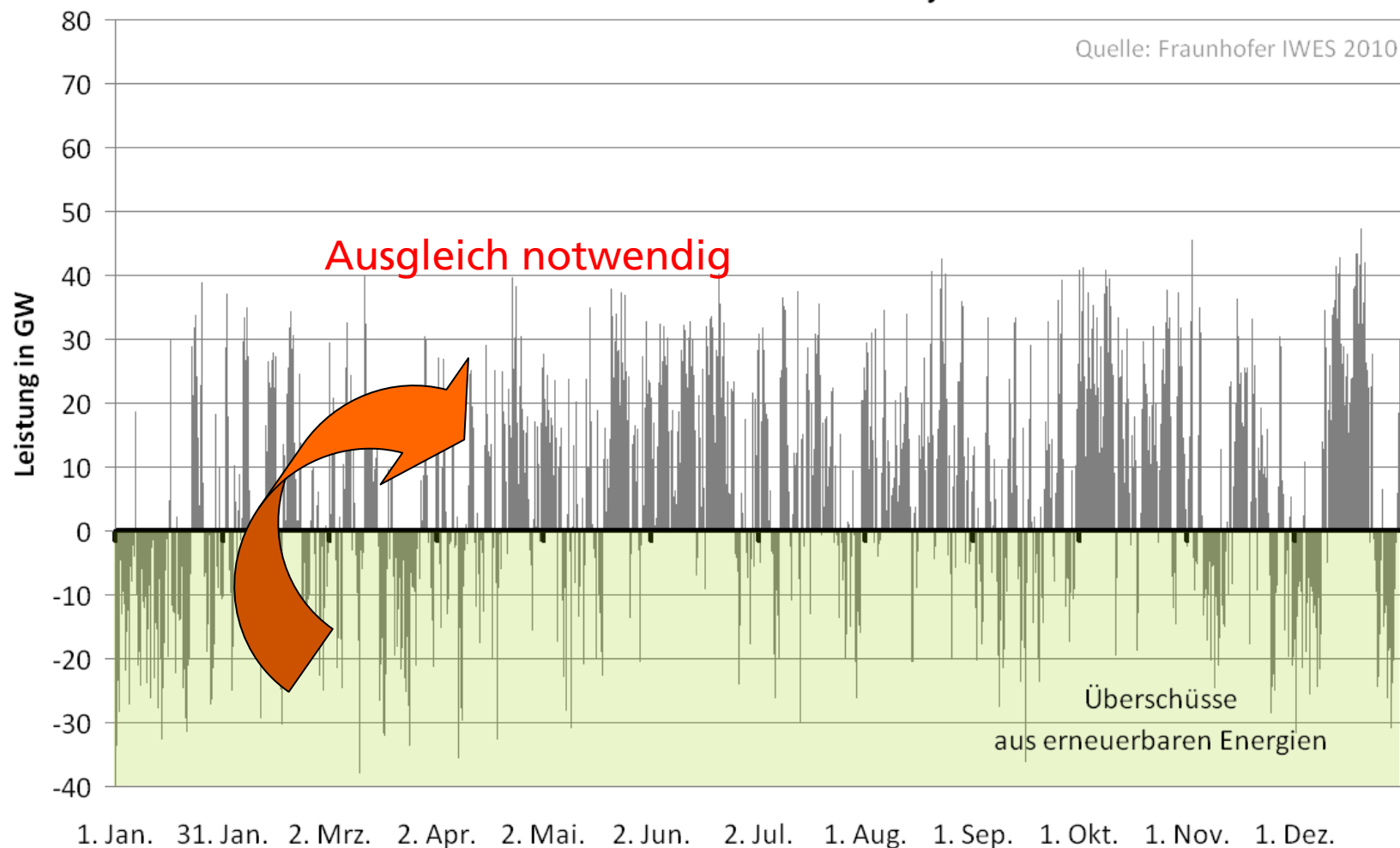
# BEE-Szenario: Residuale Last für 2020 – EE-Anteil: 47%



# 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](mailto:msterner_at_iset.uni-kassel.de)

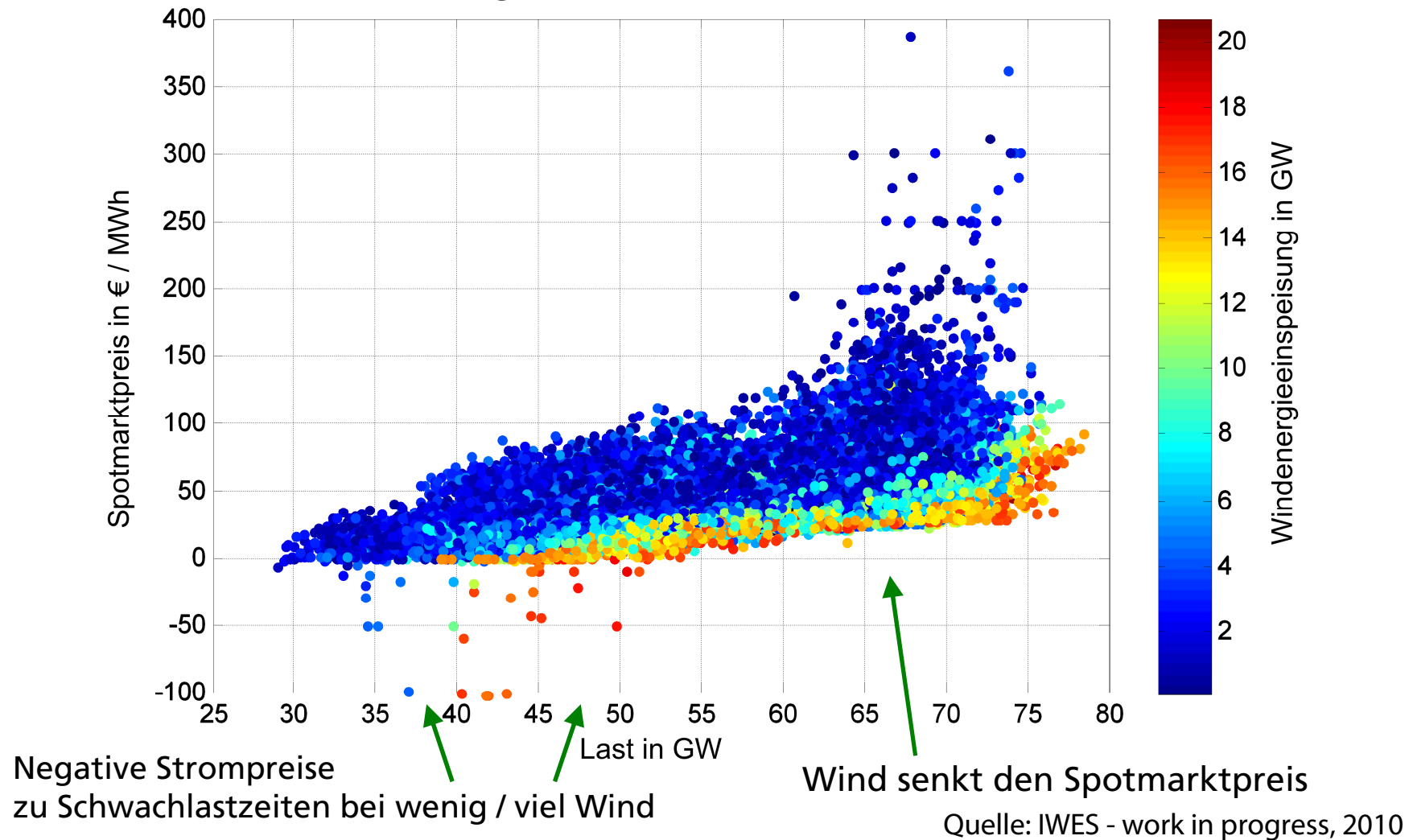
## Vielen Dank!

# BACKUP

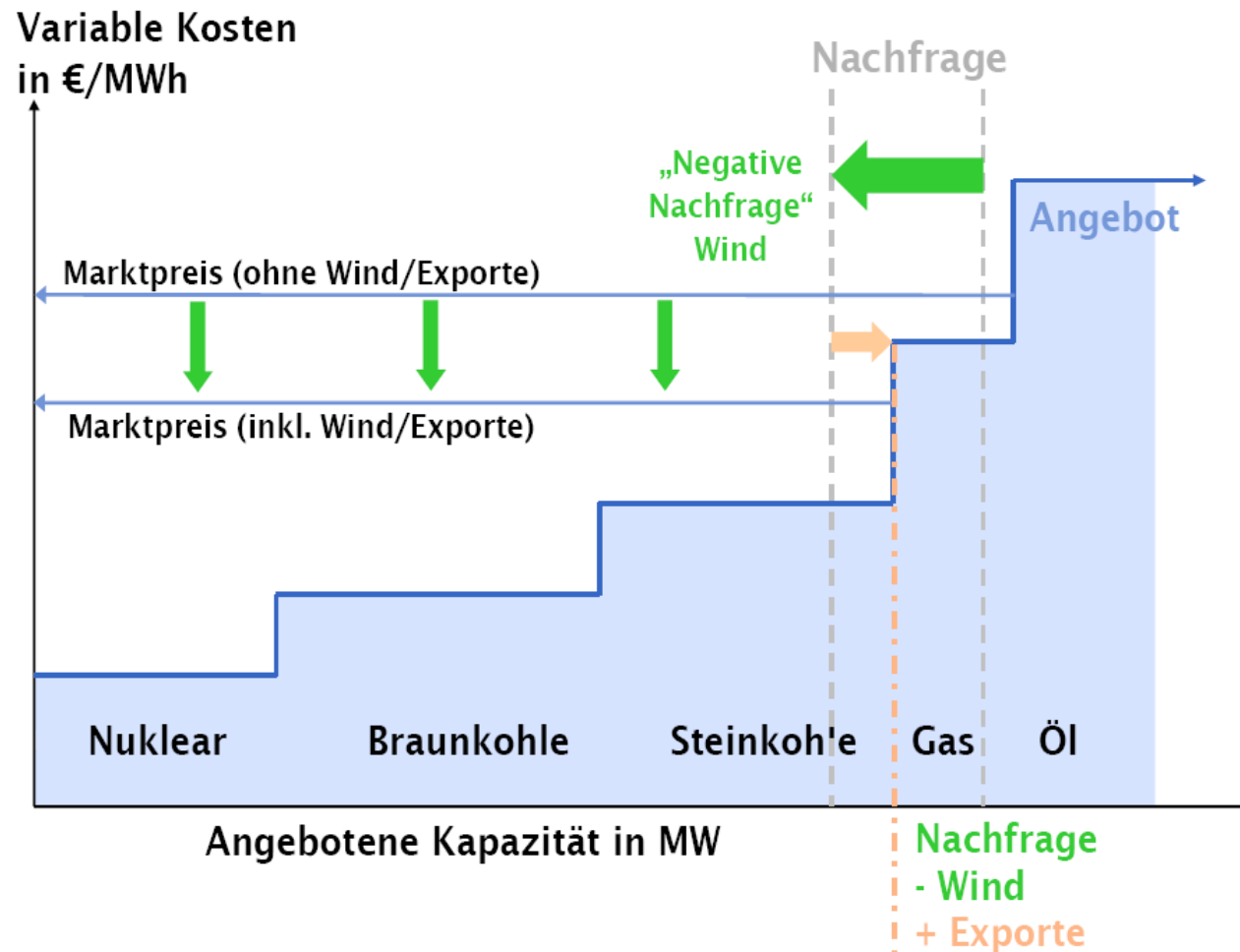
# EEX und Wind

# Korrelation Wind & Last & EEX – deutliche Zusammenhänge

## stündliche aufgelöste Daten für 2007 und 2008

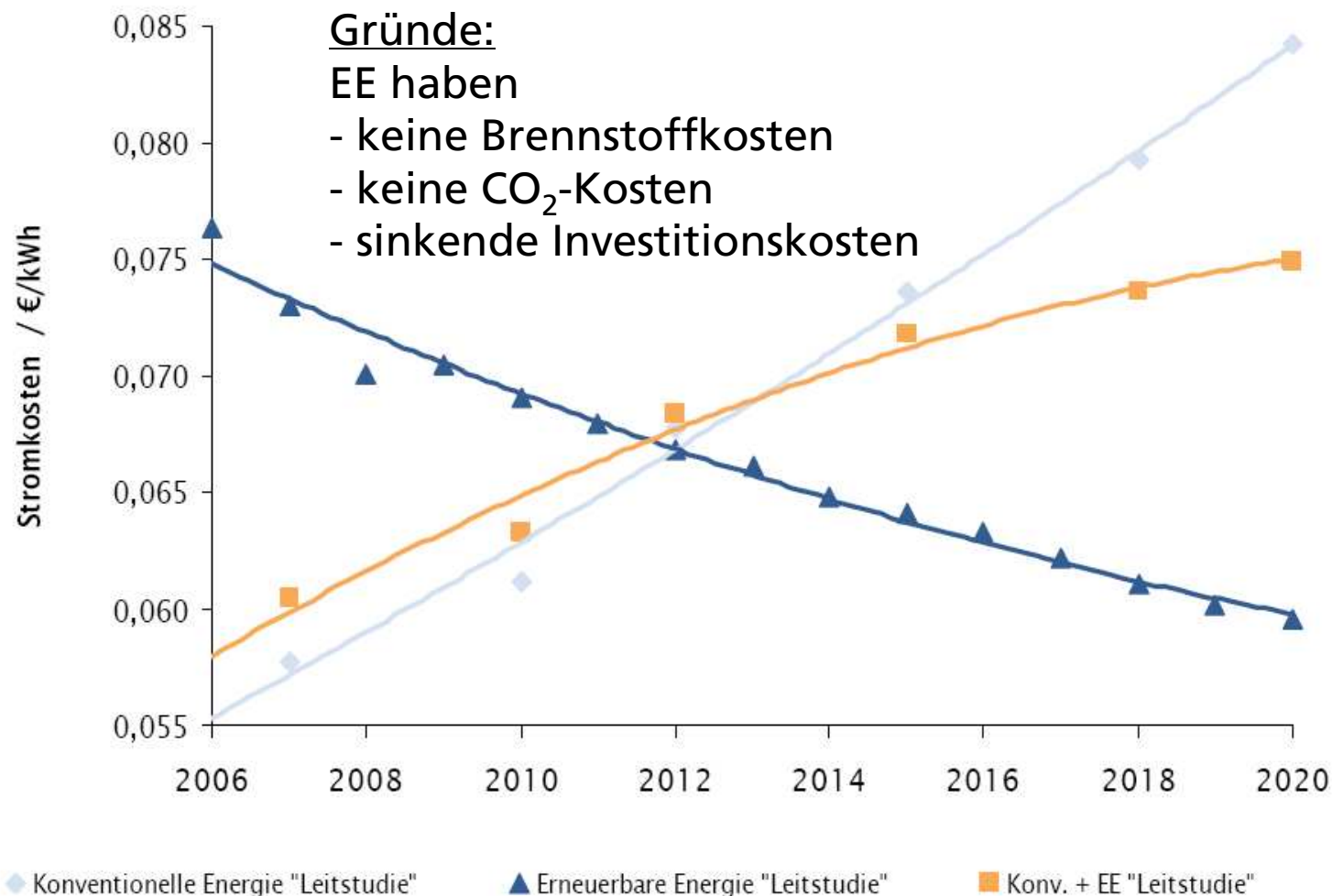


# Auswirkungen von EE auf die Merit-Order



Quelle: RWE, LBBW Research., 2010

# EE haben einen Strompreis-dämpfenden Effekt

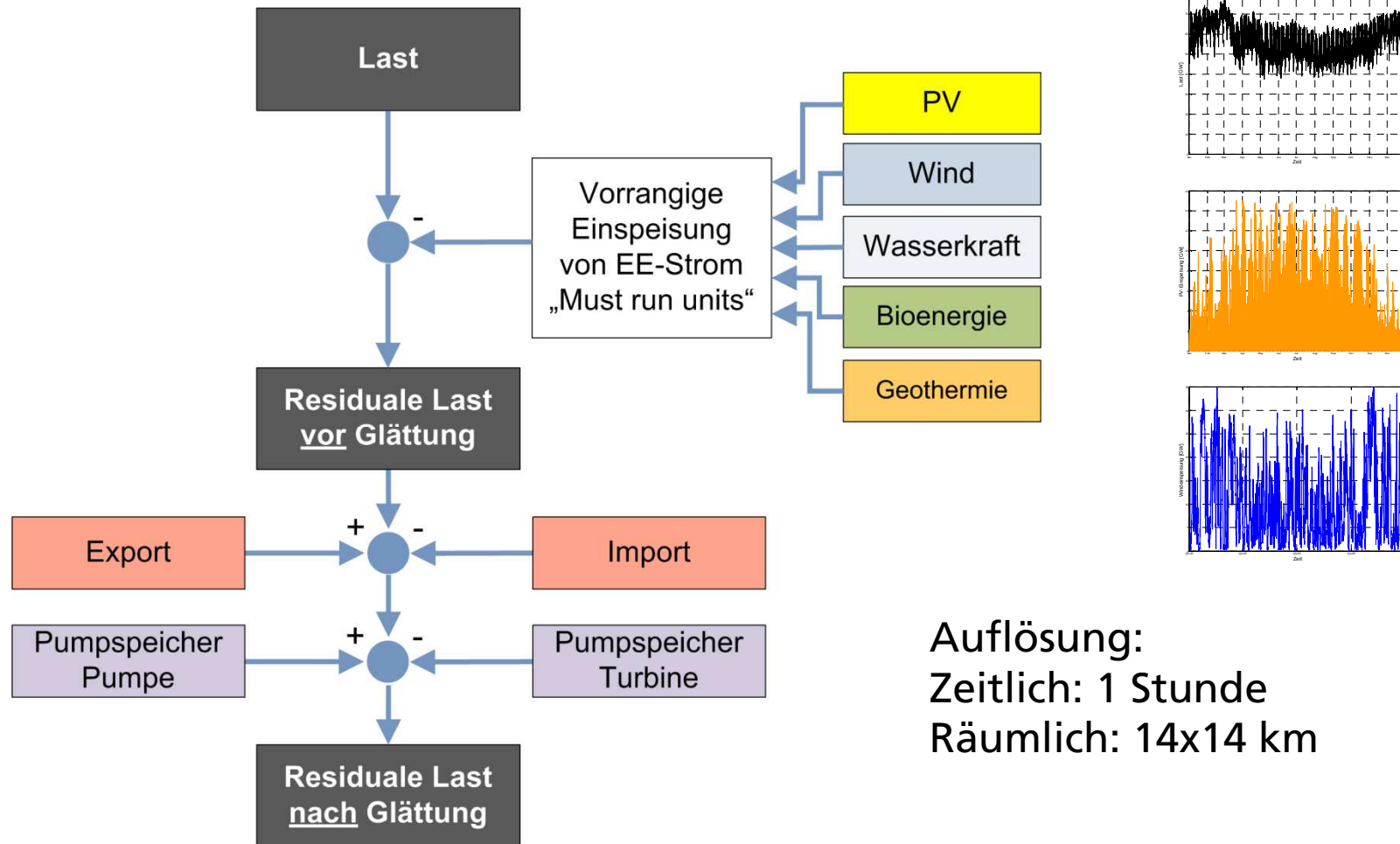


Quelle: LBBW Research., 2010

# BEE-Studie

# Dynamische Modellierung der erneuerbaren Einspeisung

## Aufbau des Modells SimEE



Auflösung:  
Zeitlich: 1 Stunde  
Räumlich: 14x14 km

Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

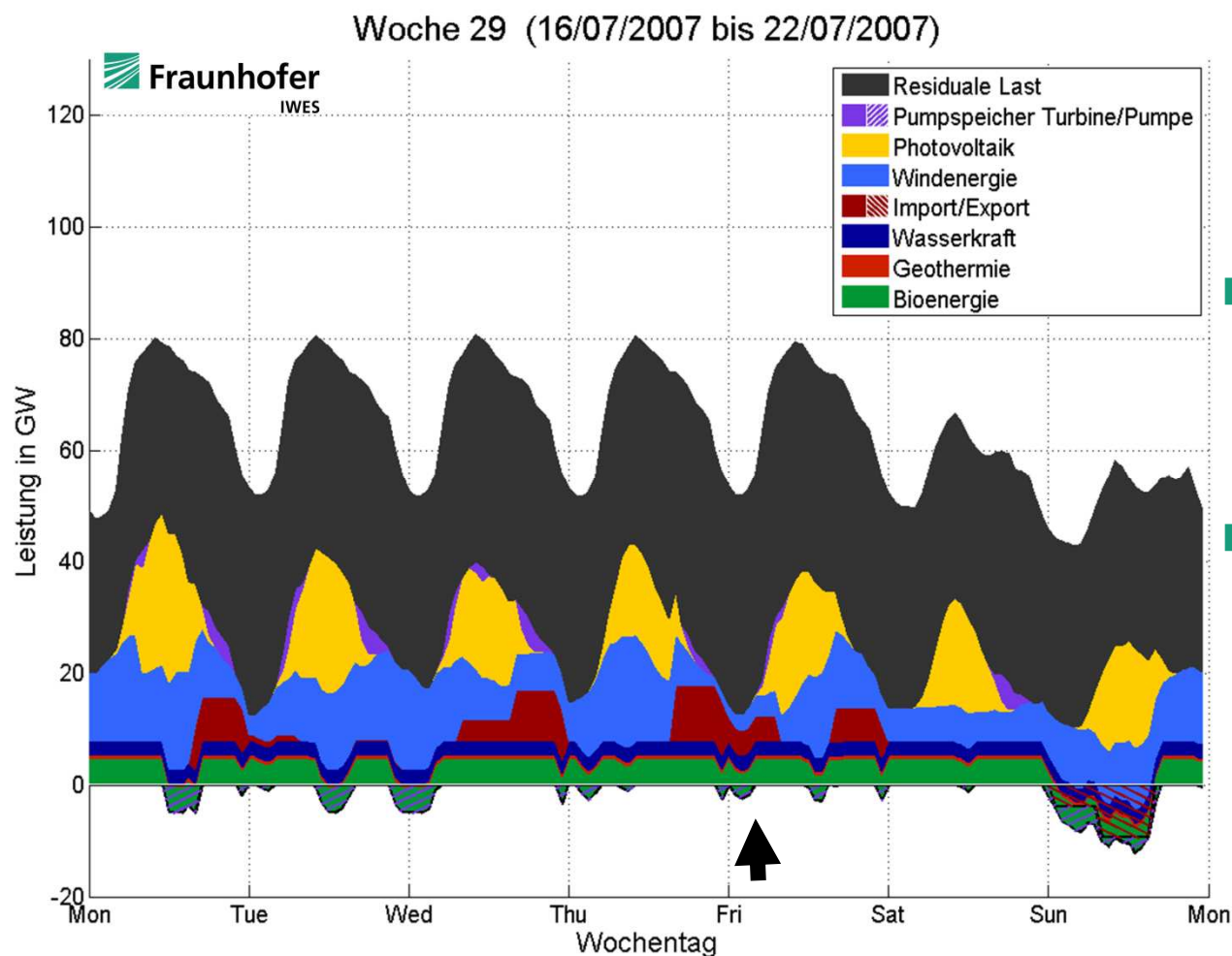
# Simulation des Szenarios "BEE 2020" – 47% EE-Strom

## Annahmen des BEE zum EE-Ausbau bis 2020

|                             | Leistung [MW] | Energie [TWh/a]                 | Leistung [MW]  | Energie [TWh/a]       |
|-----------------------------|---------------|---------------------------------|----------------|-----------------------|
|                             | 2007          | 2007<br>(meteorologisches Jahr) | 2020           | 2020<br>(Normal-Jahr) |
| <b>Wasserkraft</b>          | <b>4.720</b>  | <b>21,3</b>                     | <b>6.500</b>   | <b>31,9</b>           |
| <b>Windenergie onshore</b>  | <b>22.247</b> | <b>39,7</b>                     | <b>45.000</b>  | <b>112,1</b>          |
| <b>Windenergie offshore</b> | <b>0</b>      | <b>0,0</b>                      | <b>10.000</b>  | <b>37,0</b>           |
| <b>Photovoltaik</b>         | <b>3.811</b>  | <b>3,0</b>                      | <b>39.500</b>  | <b>39,5</b>           |
| <b>Geothermie</b>           | <b>3</b>      | <b>0,0</b>                      | <b>655</b>     | <b>3,8</b>            |
| <b>Bioenergie</b>           | <b>4.092</b>  | <b>24,7</b>                     | <b>9.338</b>   | <b>54,3</b>           |
| 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                   |
| <b>EE Gesamt</b>            | <b>34.873</b> | <b>88,7</b>                     | <b>110.963</b> | <b>278,4</b>          |
| <b>Bruttostromverbrauch</b> |               | <b>617,0</b>                    |                | <b>594,5</b>          |
| <b>EE-Anteil (%)</b>        |               | <b>14,4</b>                     |                | <b>46,8</b>           |

Quelle: BEE, 2009

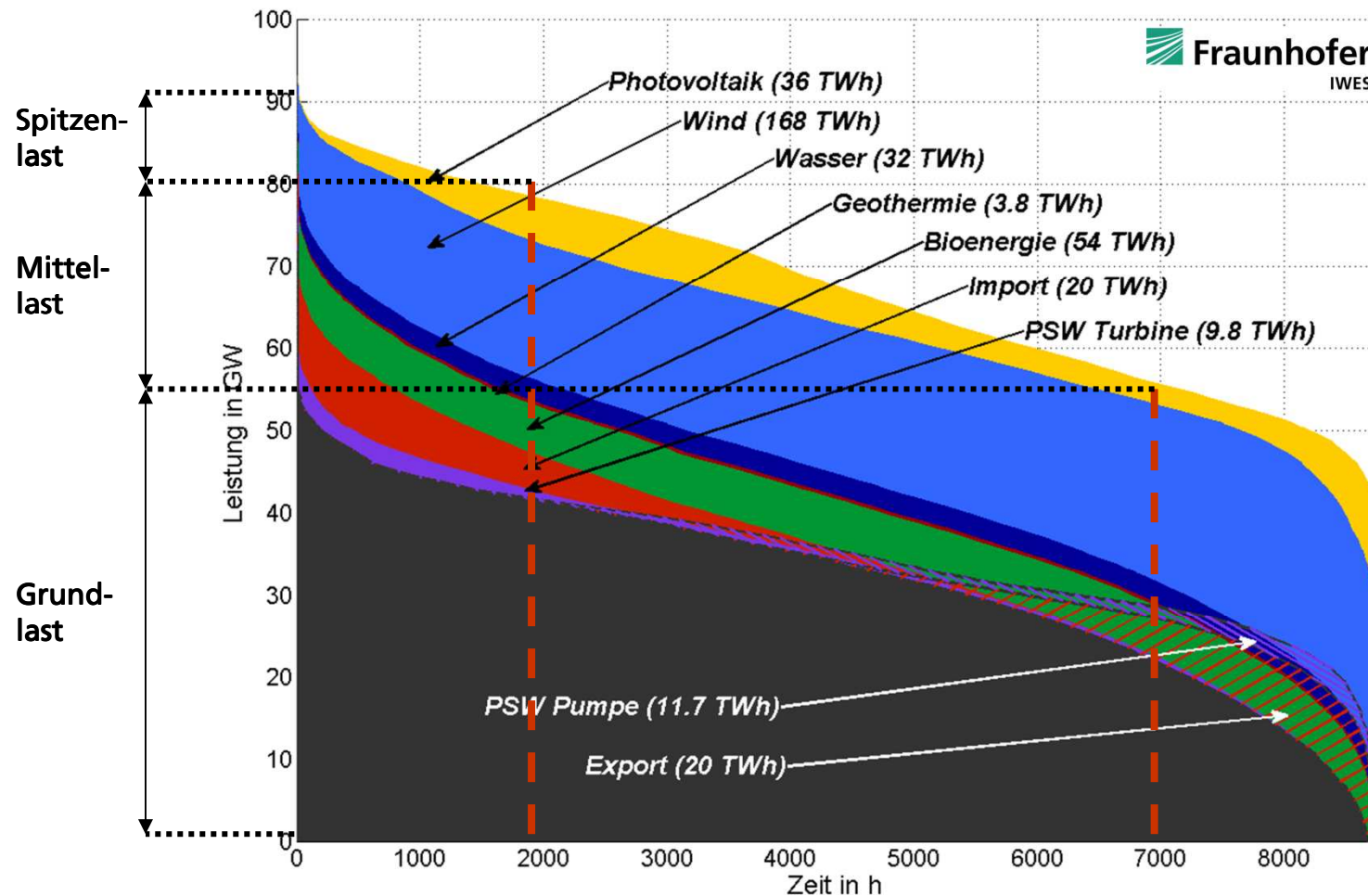
## 47% EE – Woche der minimalen EE-Einspeisung



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

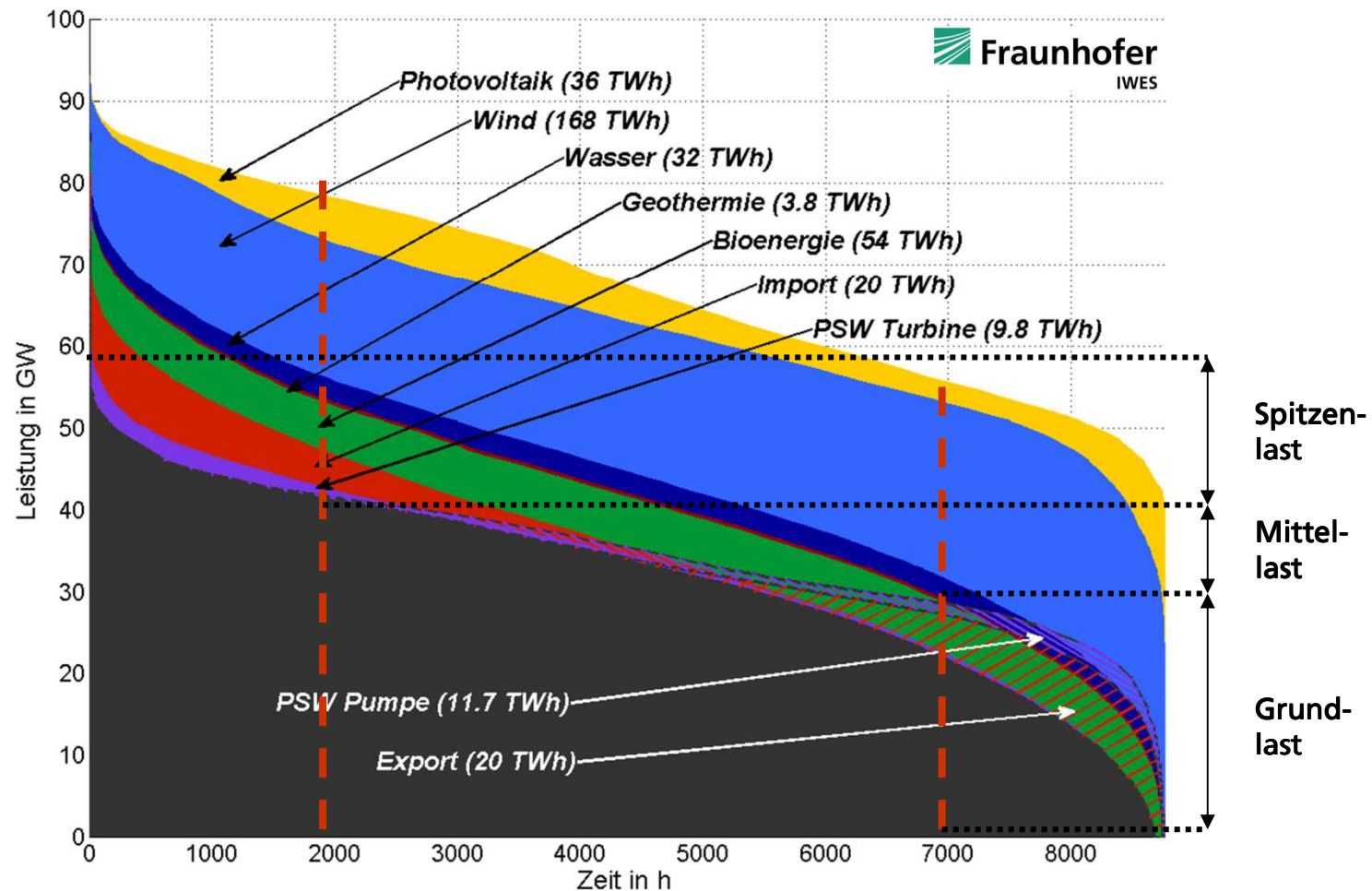
Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

## 47% EE - Auswertung: deutlich weniger Grundlastbedarf



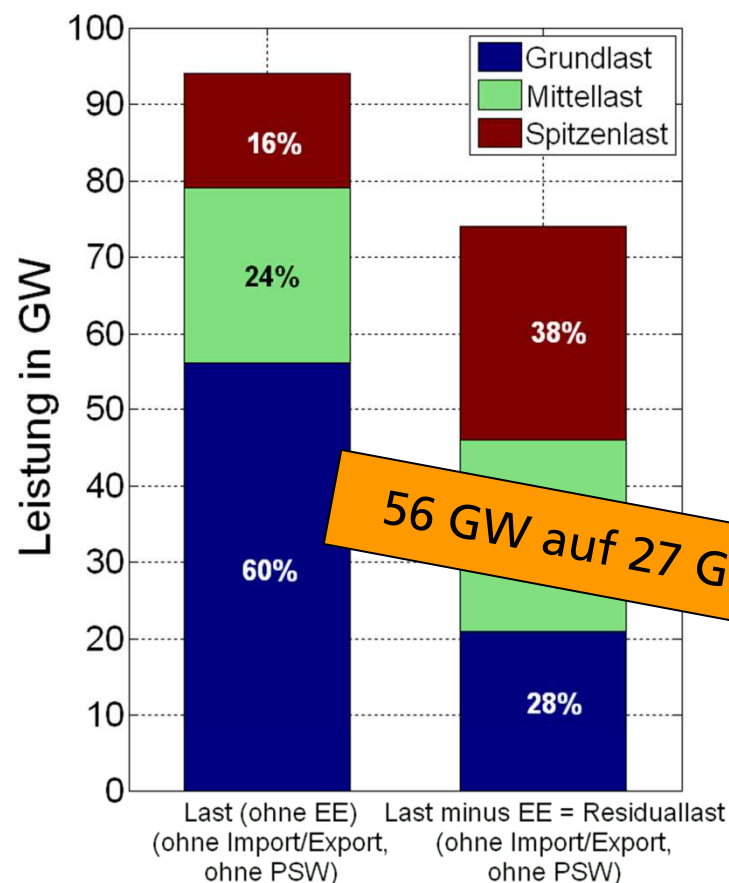
Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

## 47% EE - Auswertung: deutlich weniger Grundlastbedarf

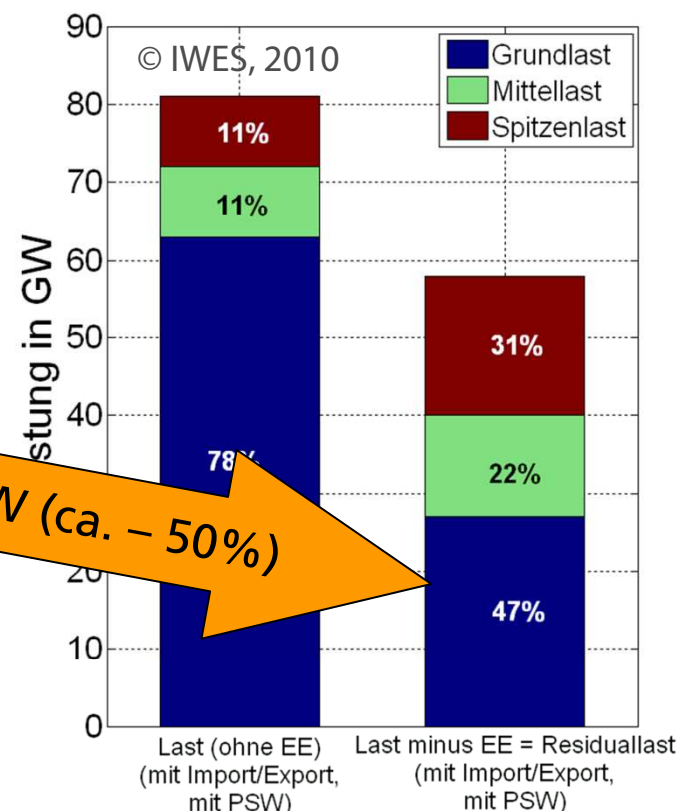


Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

# 47% EE - Bedarf an konventionellen Kraftwerken



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

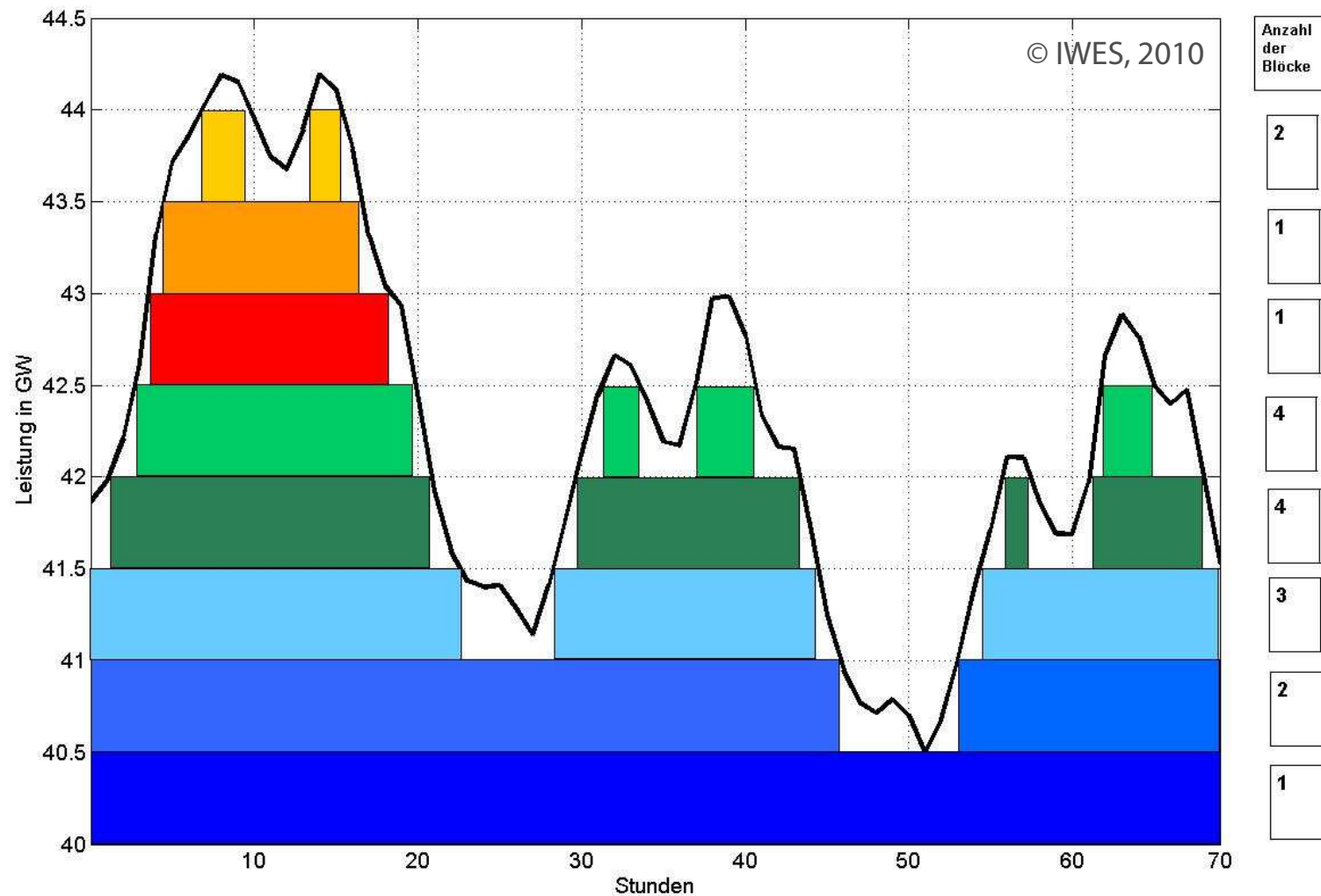


Aufteilung Last und Residuallast  
bzw. Bedarf an konv. Kraftwerksleistung  
mit Ausgleichsmaßnahmen

56 GW auf 27 GW (ca. – 50%)

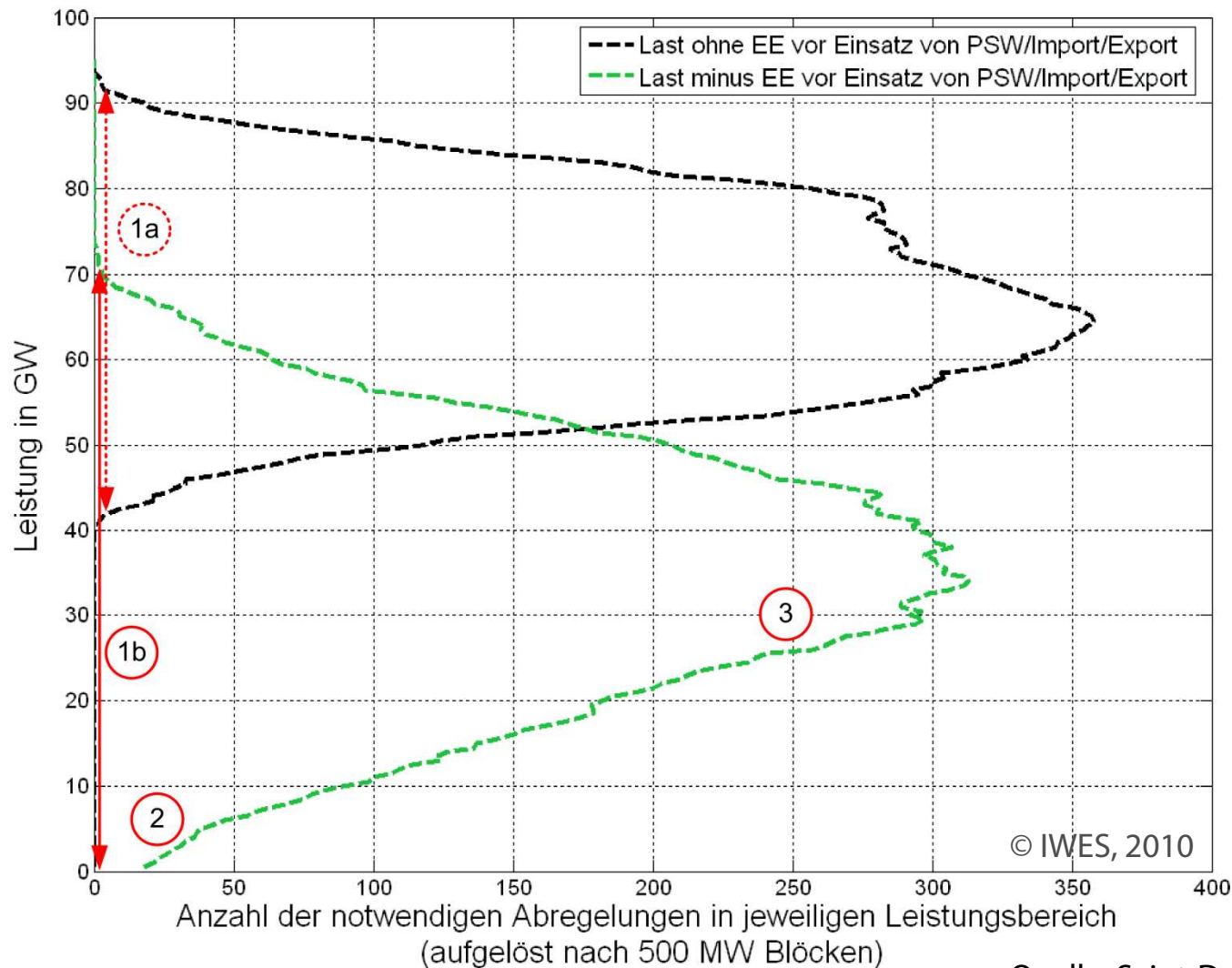
Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

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



Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

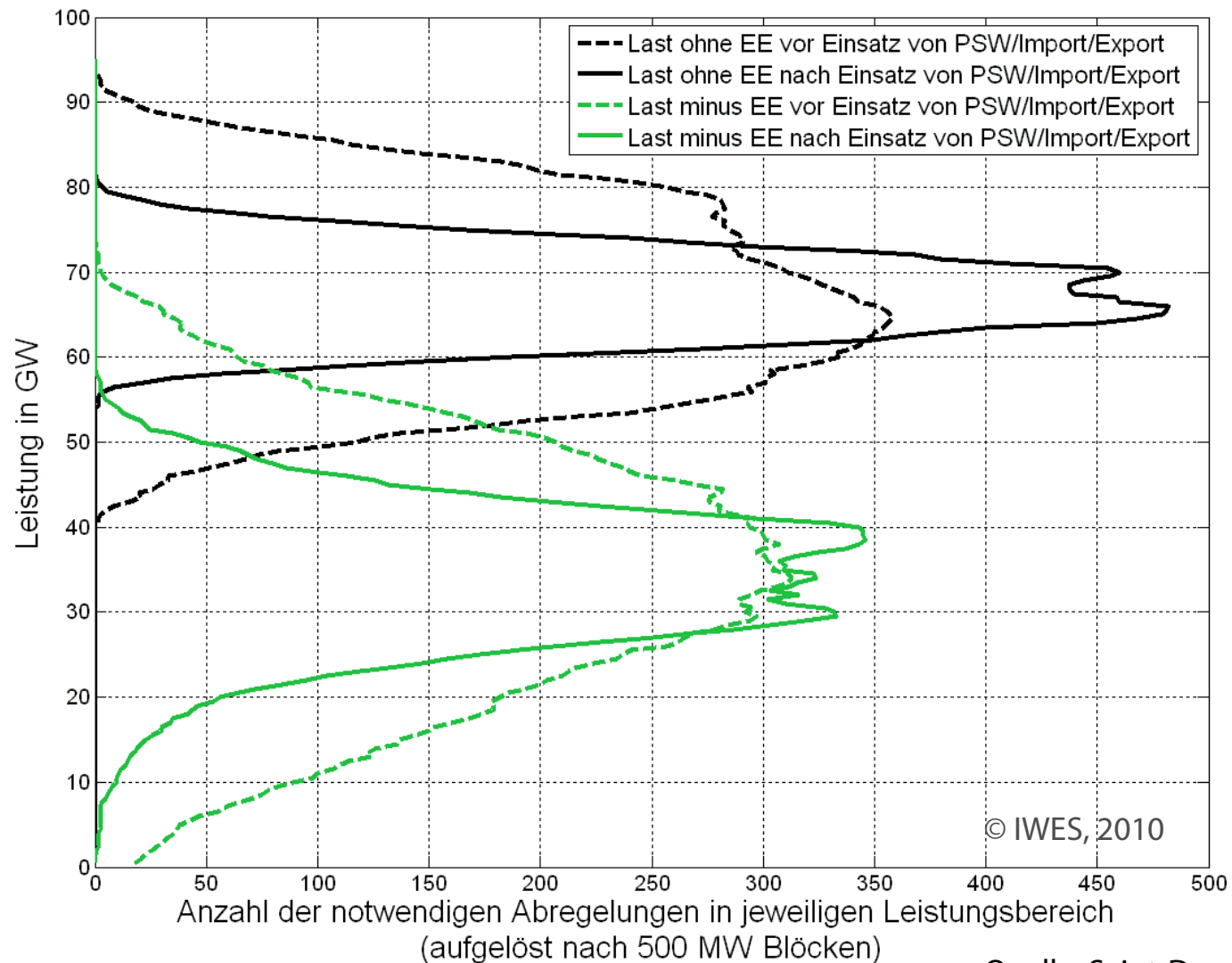
# Anzahl der notwendigen "Abregelungen" in 500 MW Blöcken



© IWES, 2010

Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

# Anzahl der notwendigen "Abregelungen" in 500 MW Blöcken

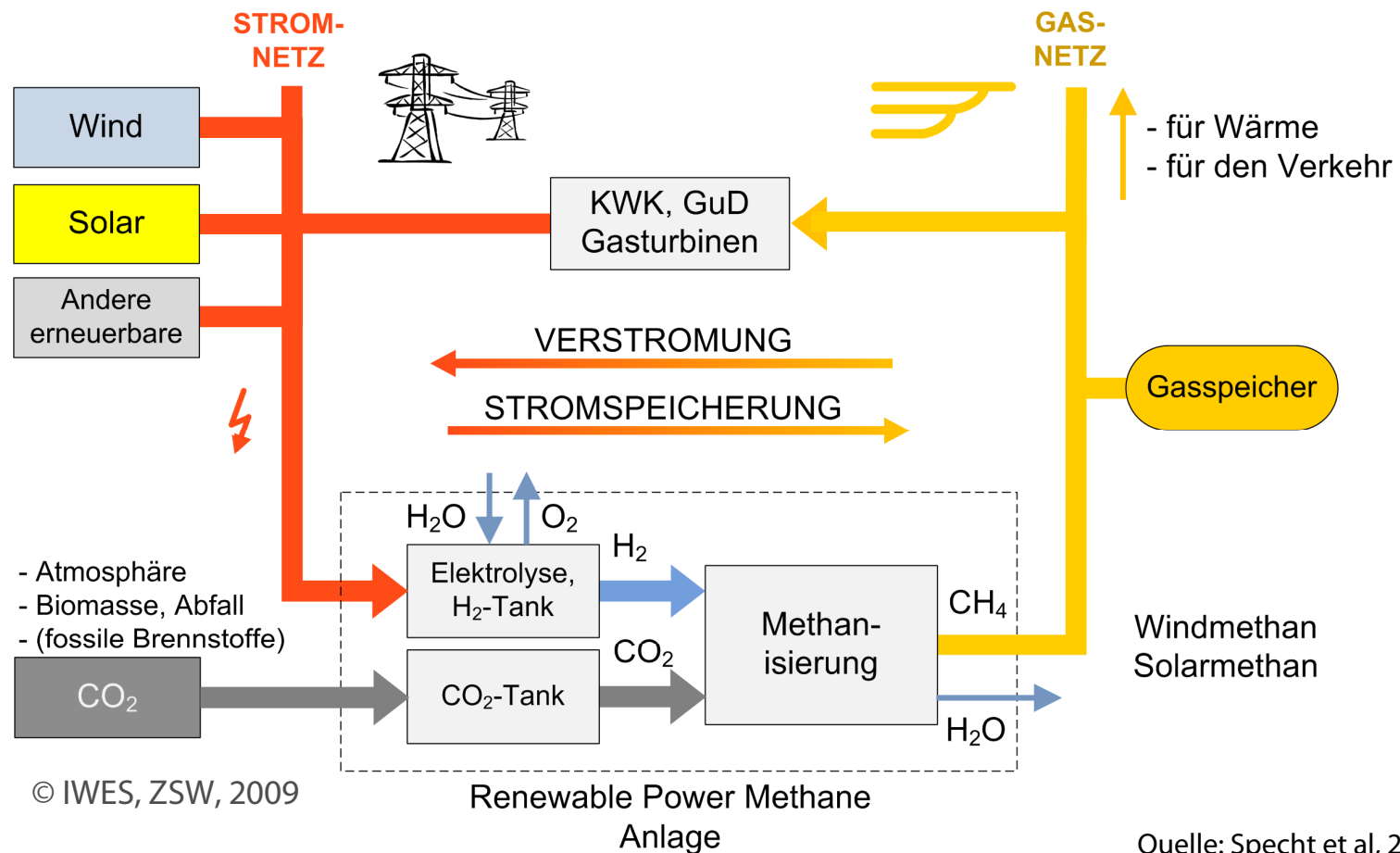


Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

# Ausgleich durch Kopplung von Strom- und Gasnetz

# Renewable Power (to) Methane – erneuerbares Methan

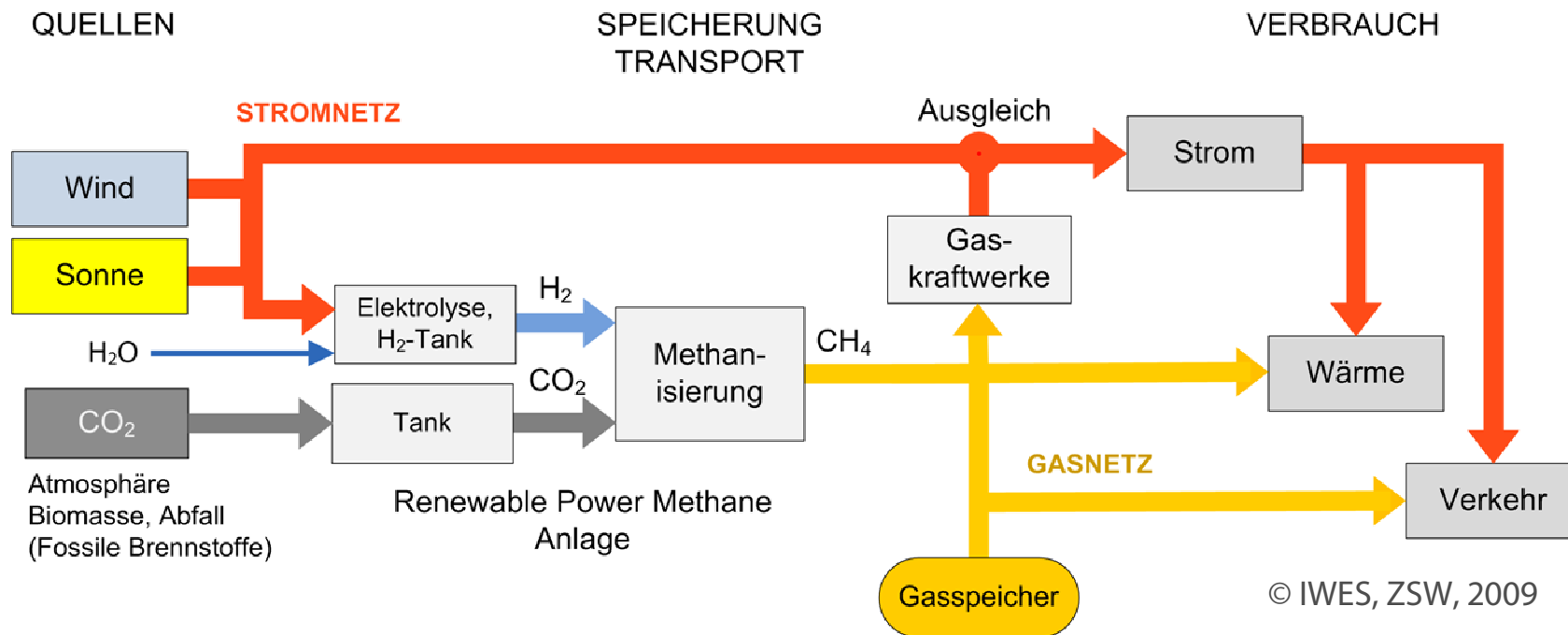
## Stromspeicherung durch Kopplung von Strom- und Gasnetz



Quelle: Specht et al, 2009  
Stern, 2009

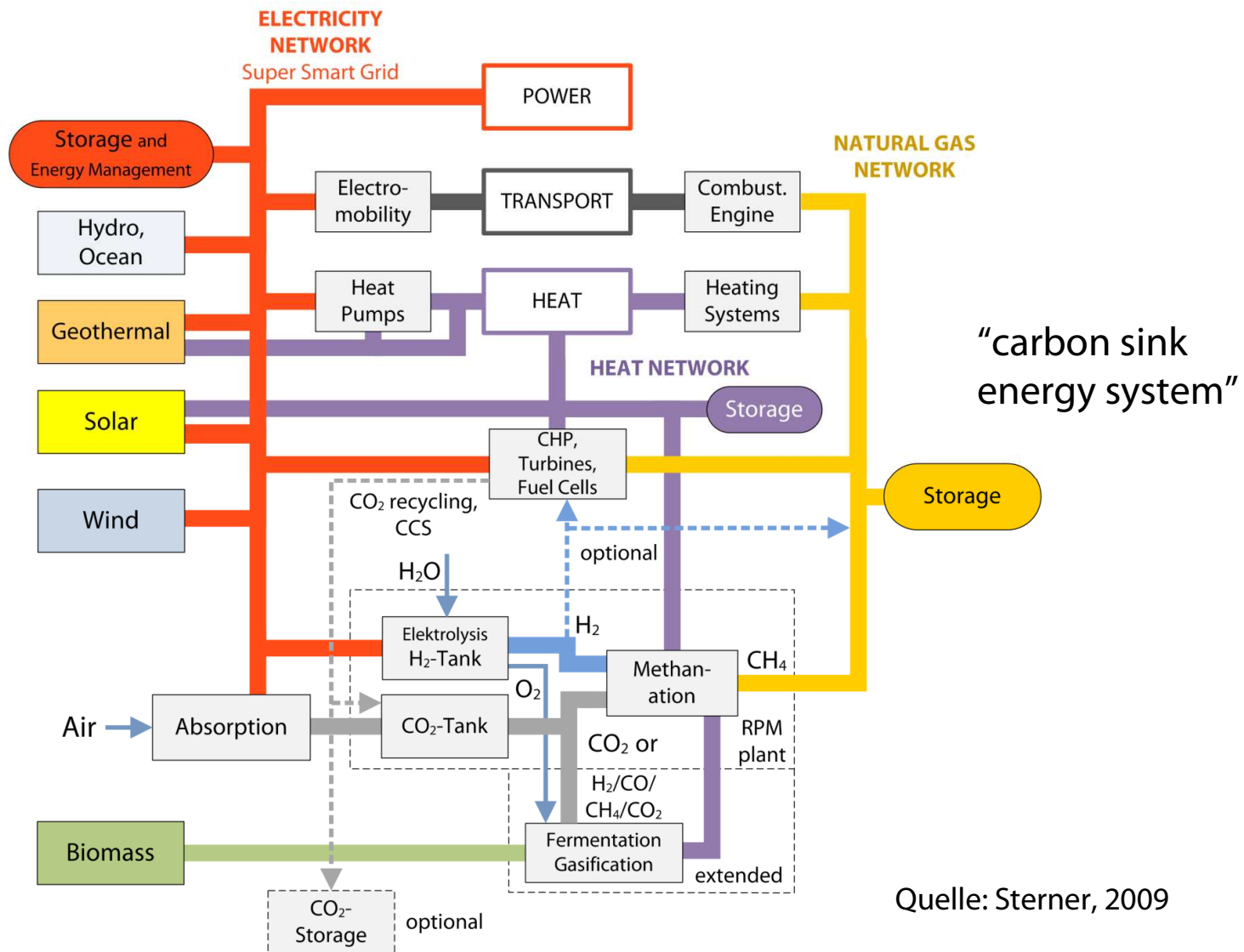
# Renewable Power (to) Methane – erneuerbares Methan

## Energievektor für Wind und Solar in den Verkehrssektor



Quelle: Specht et al, 2009  
Sterner, 2009

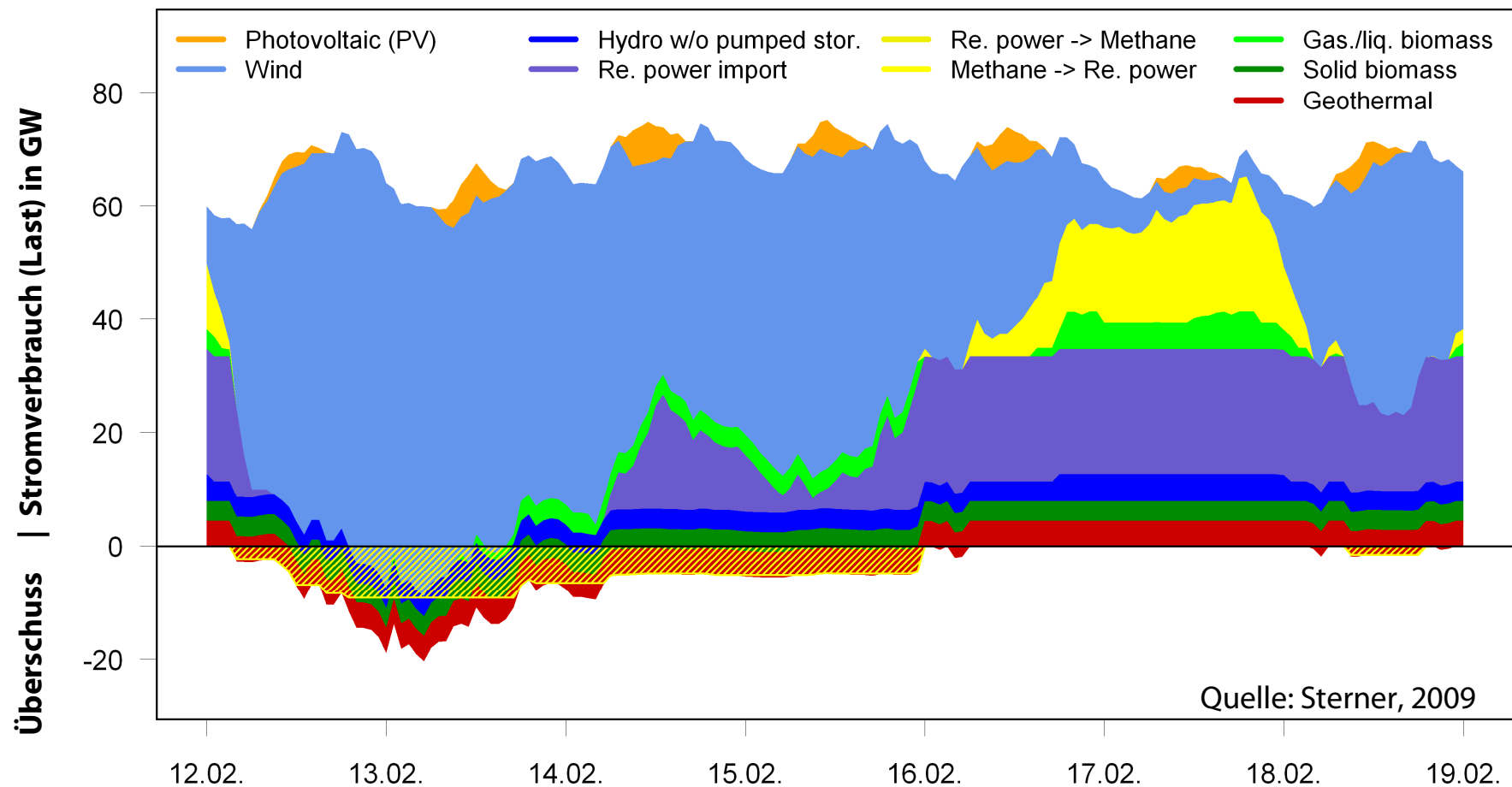
# 100% EE-Strukturen: das Gasnetz als wesentliches Element



Quelle: Sterner, 2009

# 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
  - CO<sub>2</sub>-neutraler kohlenstoff-basierter Energieträger für Verkehr (und Wärme)
    - hohe Energiedichte, keine Begrenzung der KFZ-Reichweite, keine Konkurrenz zu Nahrung bzw. landwirtschaftlichen Nutzflächen
  - CO<sub>2</sub> 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](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>

---