Auswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf konventionelle Kraftwerke – Lösungen zur EE-Integration

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



Forum
Zukunftsenergien
Berlin, 21.04.2010

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

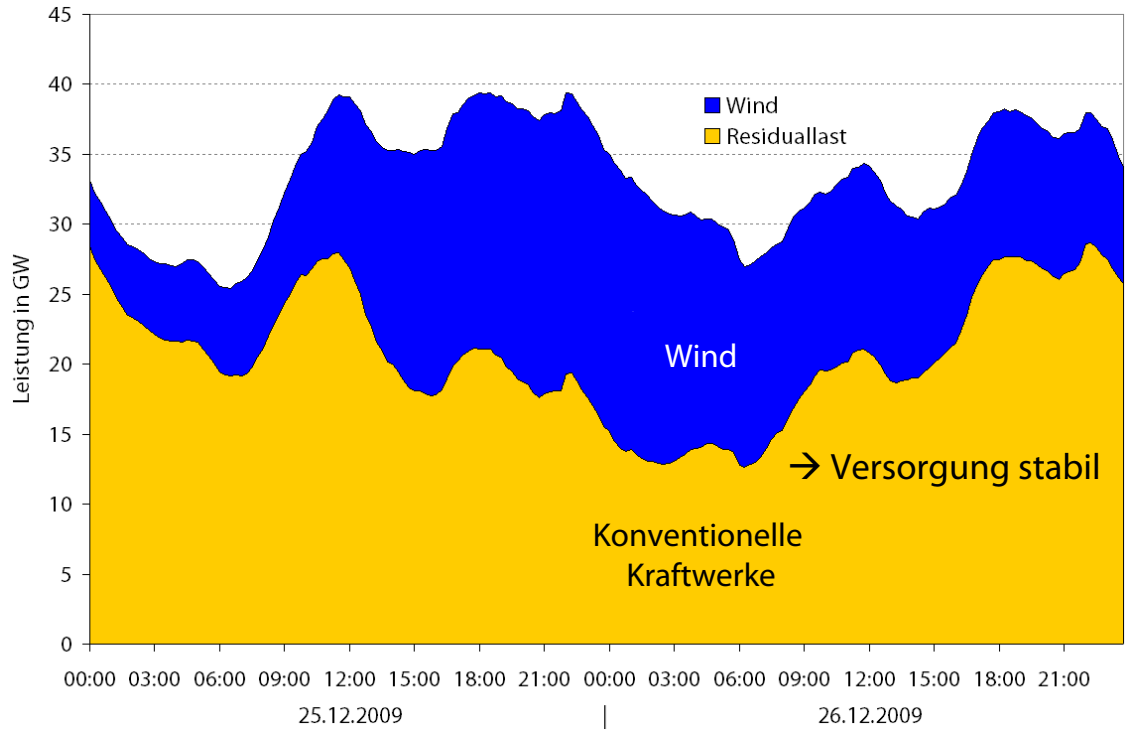
Inhalt

- Teil 1: Ausbau der EE – Auswirkungen auf die Residuallast – Herausforderungen für einen wirtschaftlichen Betrieb konventioneller Kraftwerke
- Teil 2: Eine mögliche Lösungsoption für die Langzeitspeicherung: Erneuerbares Methan als Brücke zwischen Strom- und Gasnetz

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

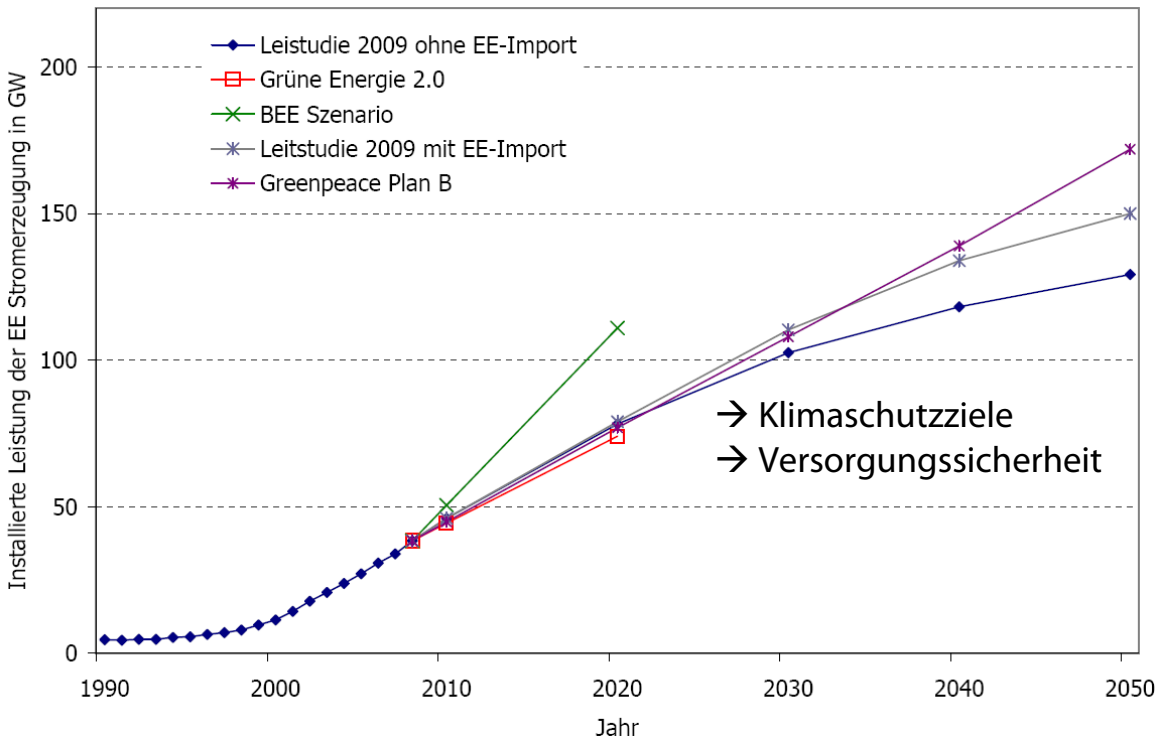
Die Situation heute – Einspeisung Weihnachten 2009



© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

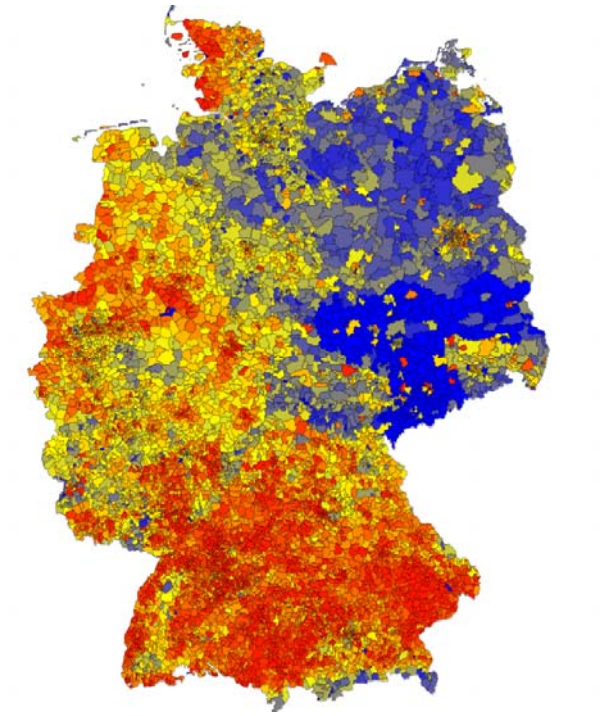
Die Situation in Zukunft? - Szenarienvergleich



© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Dynamische Modellierung - Regionale Verteilung - Beispiel PV



Räumliche Verteilung der installierten PV-Leistung in Deutschland in kWp/km²

Starke Abhängigkeit vom Wetter
→ Untersuchungszeitraum über mehrerer Jahre erforderlich

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

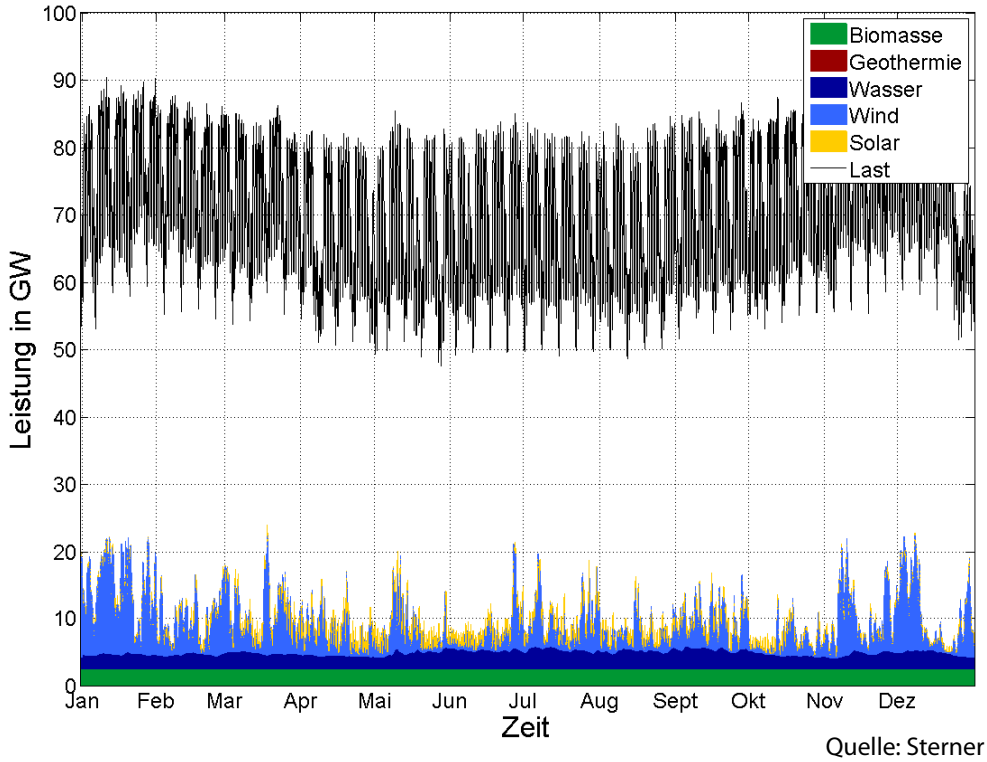
Untersuchungshorizont BEE-Studie

- 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 → kein Fraunhofer Szenario

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

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

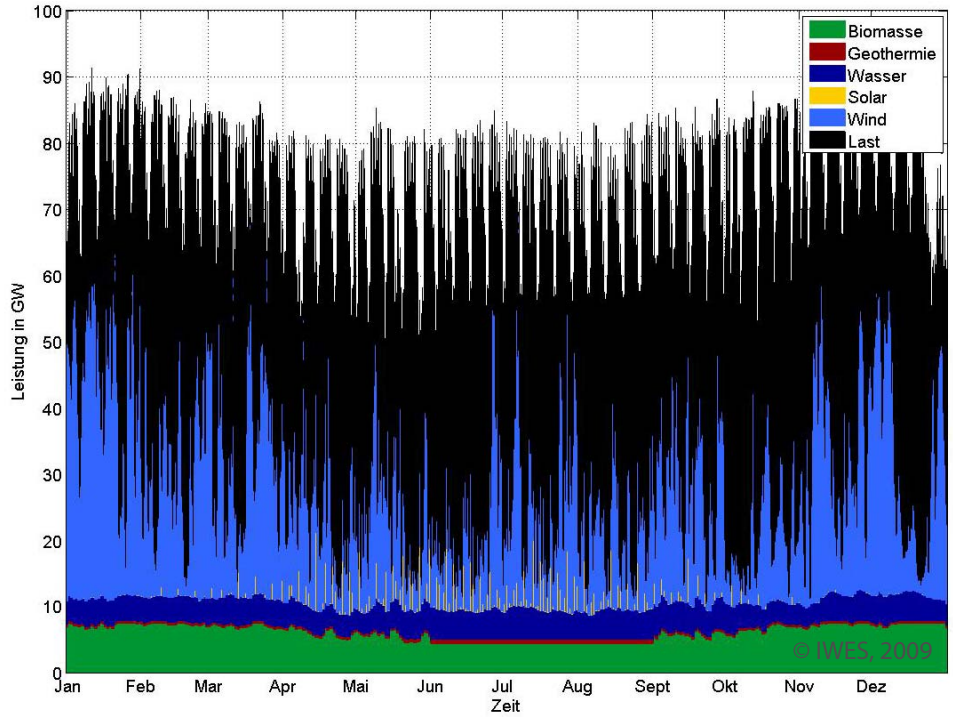


Quelle: Sterner et al., 2010

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

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

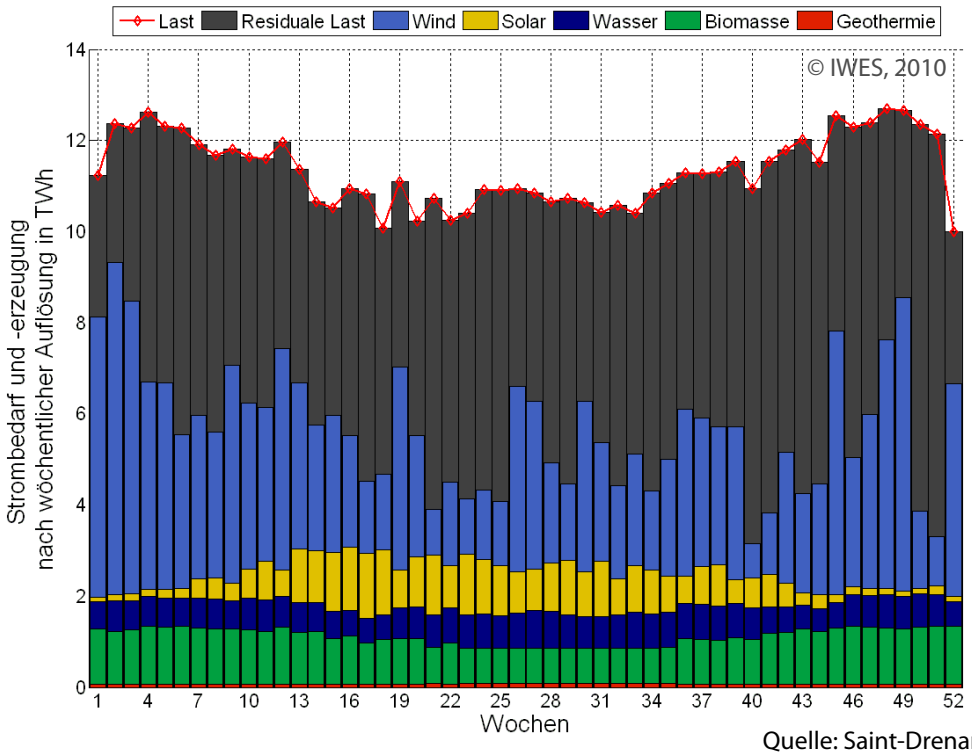


Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

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

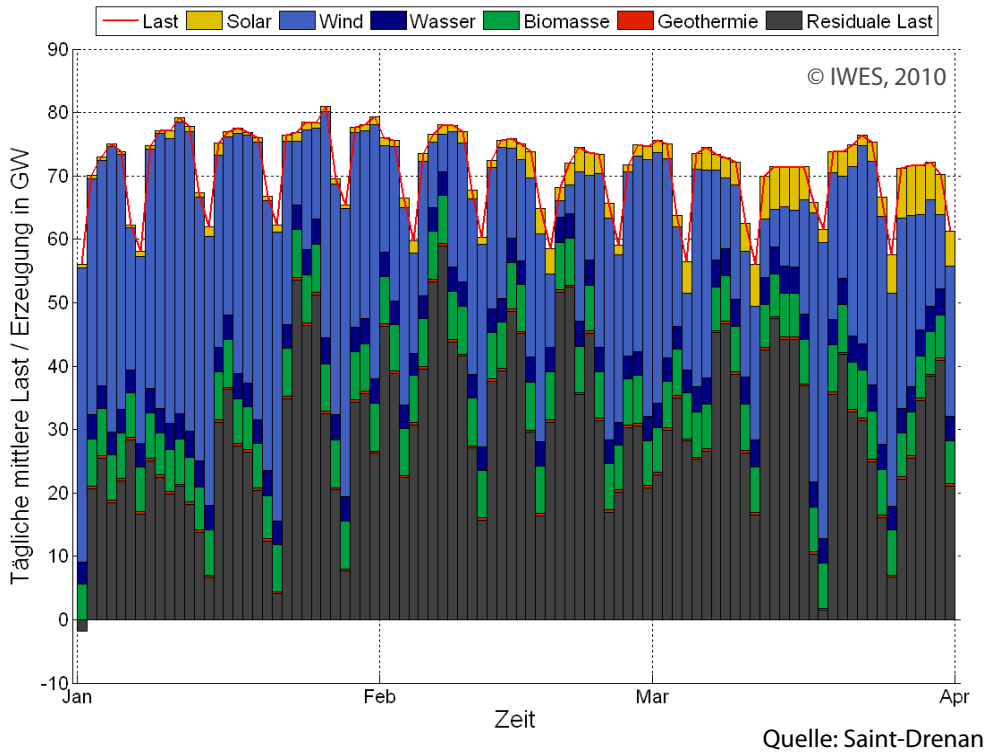


Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

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

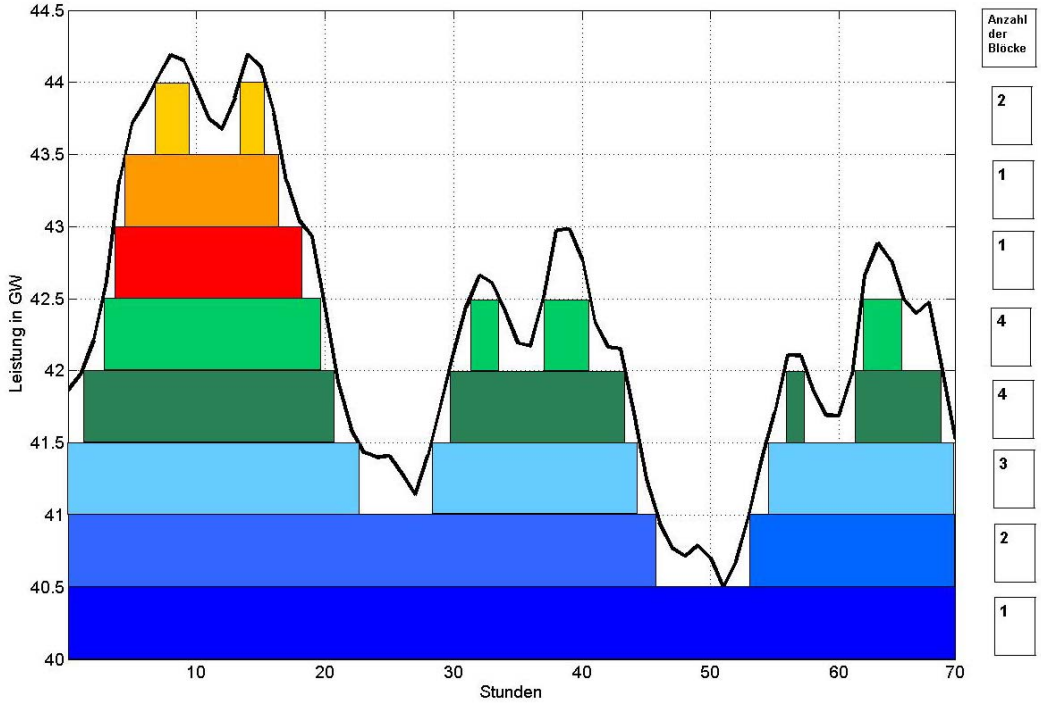


Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

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



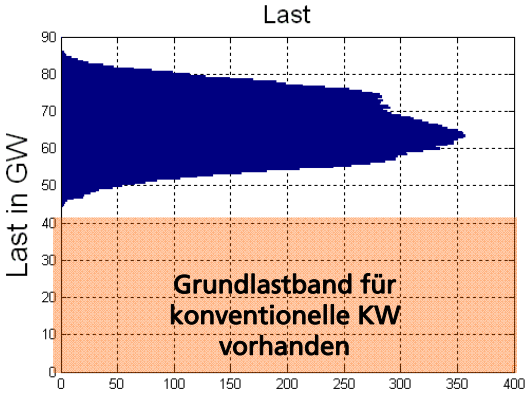
Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

© Fraunhofer IWES 2010

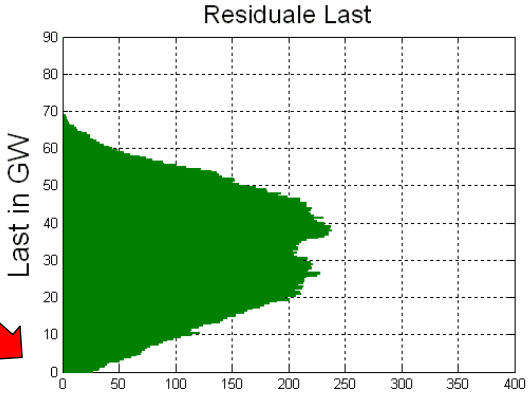
Fraunhofer IWES

Anzahl der notwendigen "Abregelungen" in 500 MW Blöcken
Häufigkeit der An- und Abschaltungen im jeweiligen Leistungsbereich

ohne Erneuerbare



mit Erneuerbaren



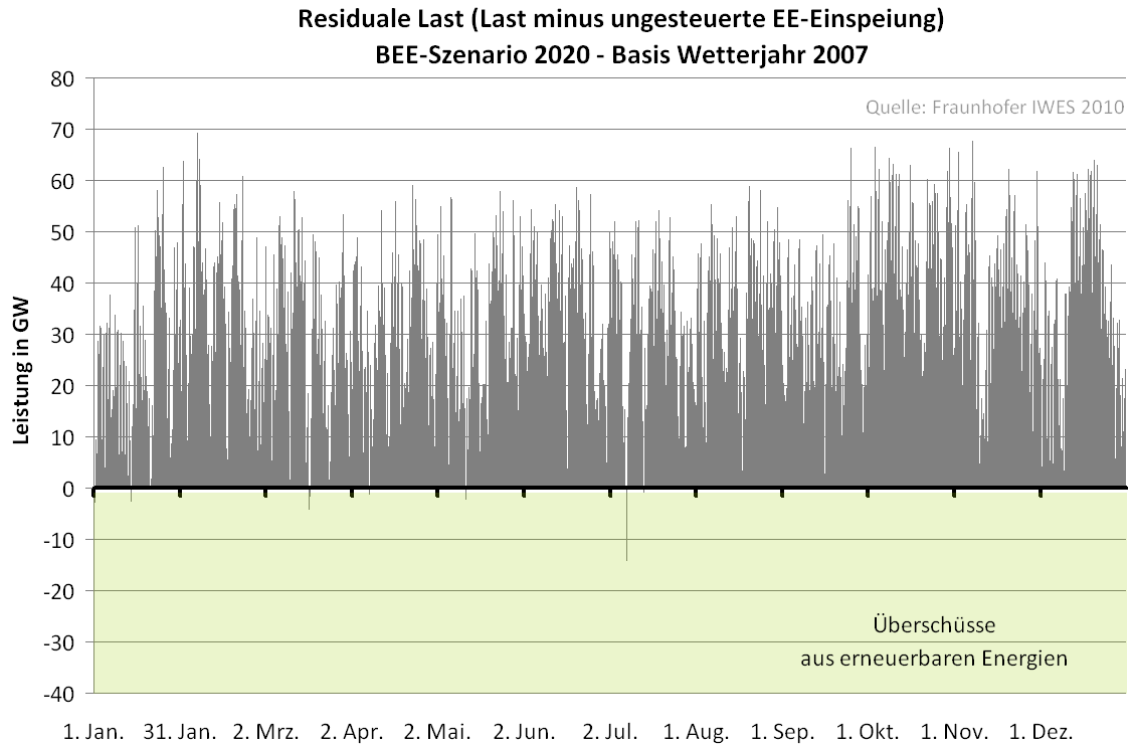
<u>Kein</u> Grundlastband für konventionelle KW vorhanden

Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

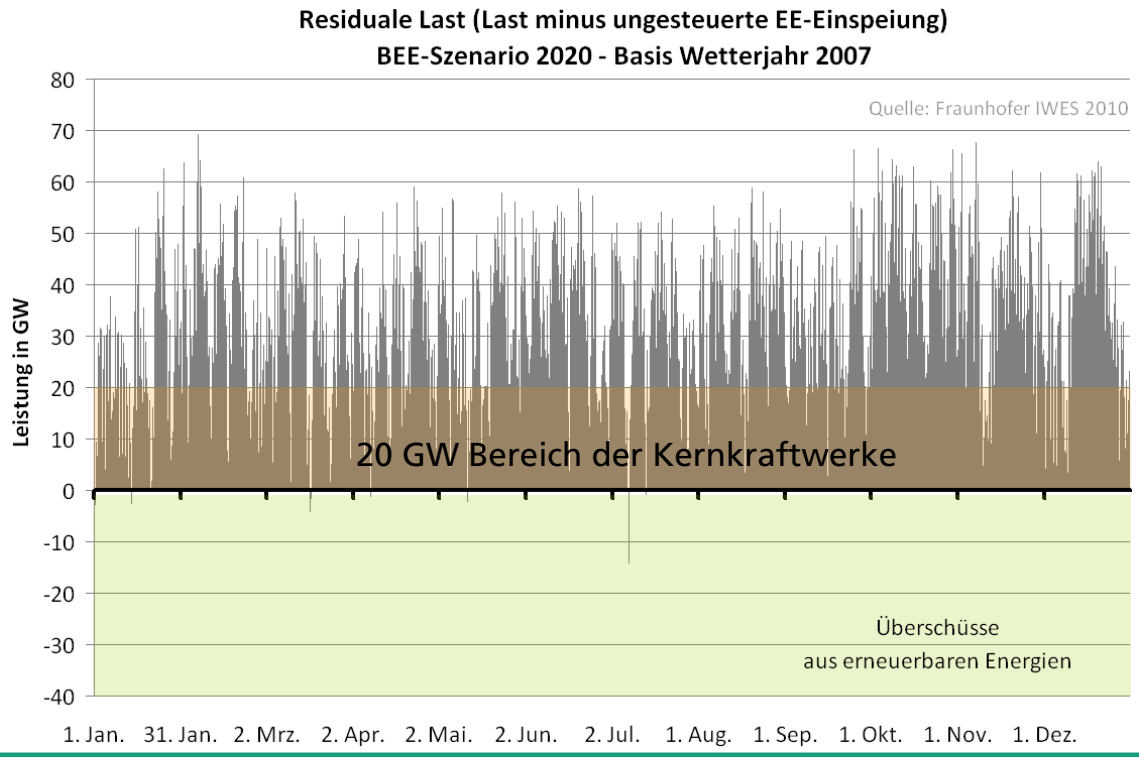
BEE-Szenario: Residuale Last für 2020 – EE-Anteil: 47%



© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

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



© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

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, v.a. für Zubau

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Konsequenzen für konventionelle Kraftwerke

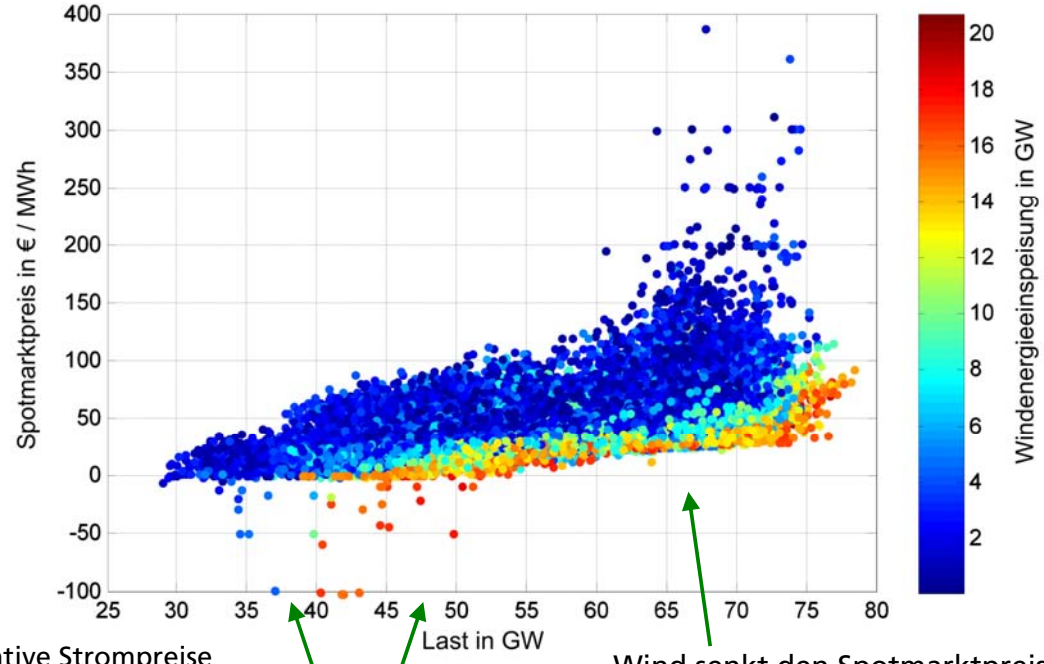
- Lastfolgebetrieb wird zum Normalbetrieb
- Alle KW müssen zur Systemstabilität (Regelenergie) beitragen
- Retrofit → bestehende fossile Kraftwerke flexibler machen
- Technische Regelbarkeit (0-100%) und EE-Integrationsfähigkeit von Kernkraftwerken ist noch zu verifizieren → Demo
- Neue Betreibermodelle aufgrund absehbar geringer Betriebsstunden erforderlich (z.B. Kapazitätsmarkt: Leistungspreis für das Vorhalten einer gewissen Leistung)
- (RWE, 2009): „Nur flexible Kohle- und Gas-Kraftwerke sind den veränderten Marktanforderungen gewachsen“

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Korrelation Wind & Last & EEX – deutliche Zusammenhänge

stündliche aufgelöste Daten für 2007 und 2008



Negative Strompreise
zu Schwachlastzeiten bei wenig / viel Wind

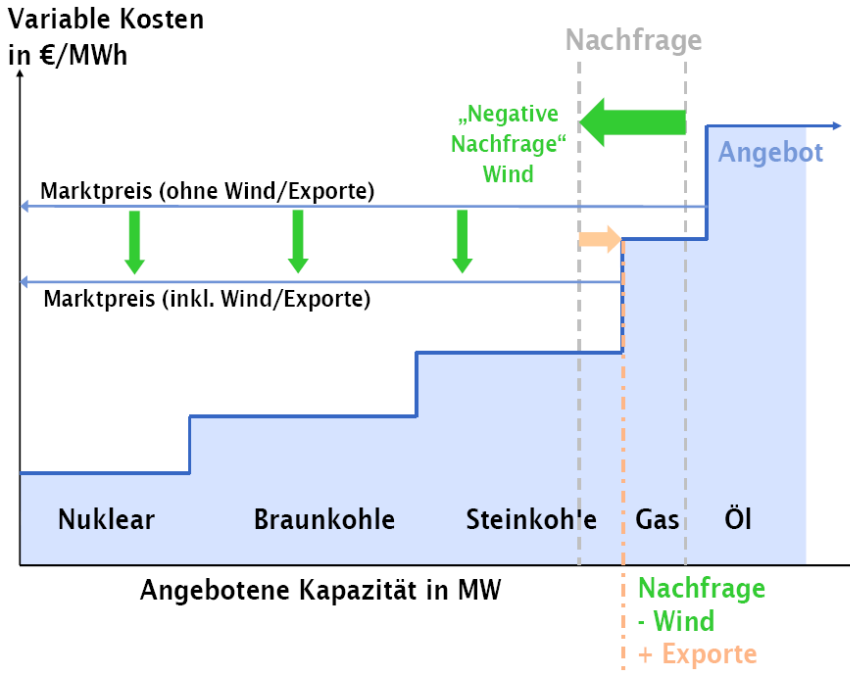
Wind senkt den Spotmarktpreis

Quelle: IWES - work in progress, 2010

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Auswirkungen von EE auf die Merit-Order

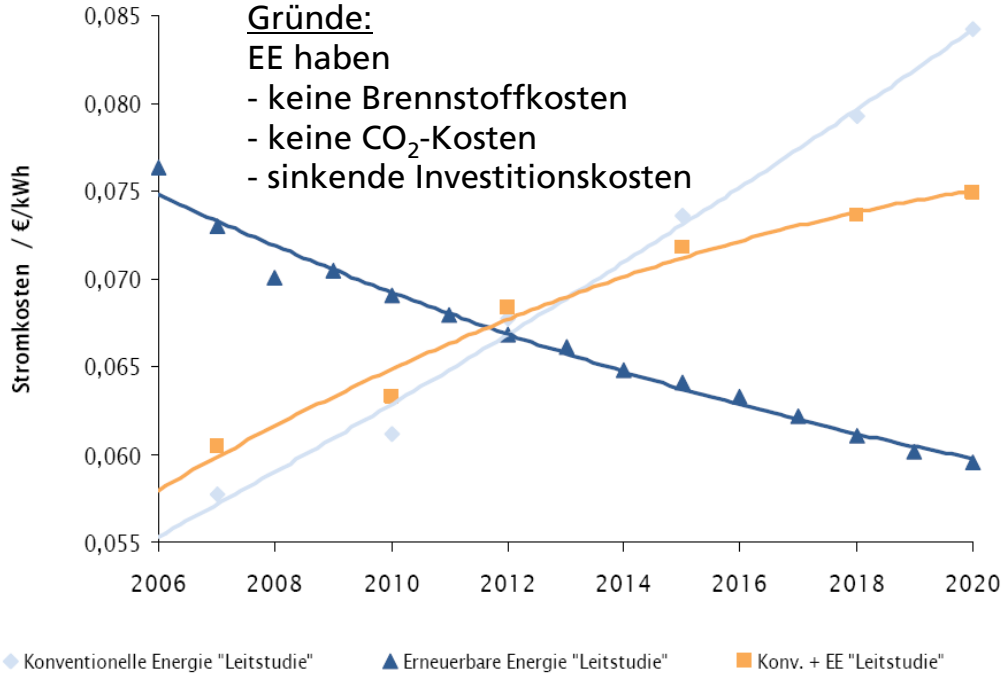


Quelle: RWE, LBBW Research., 2010

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

EE haben einen Strompreis-dämpfenden Effekt



Quelle: LBBW Research., 2010

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

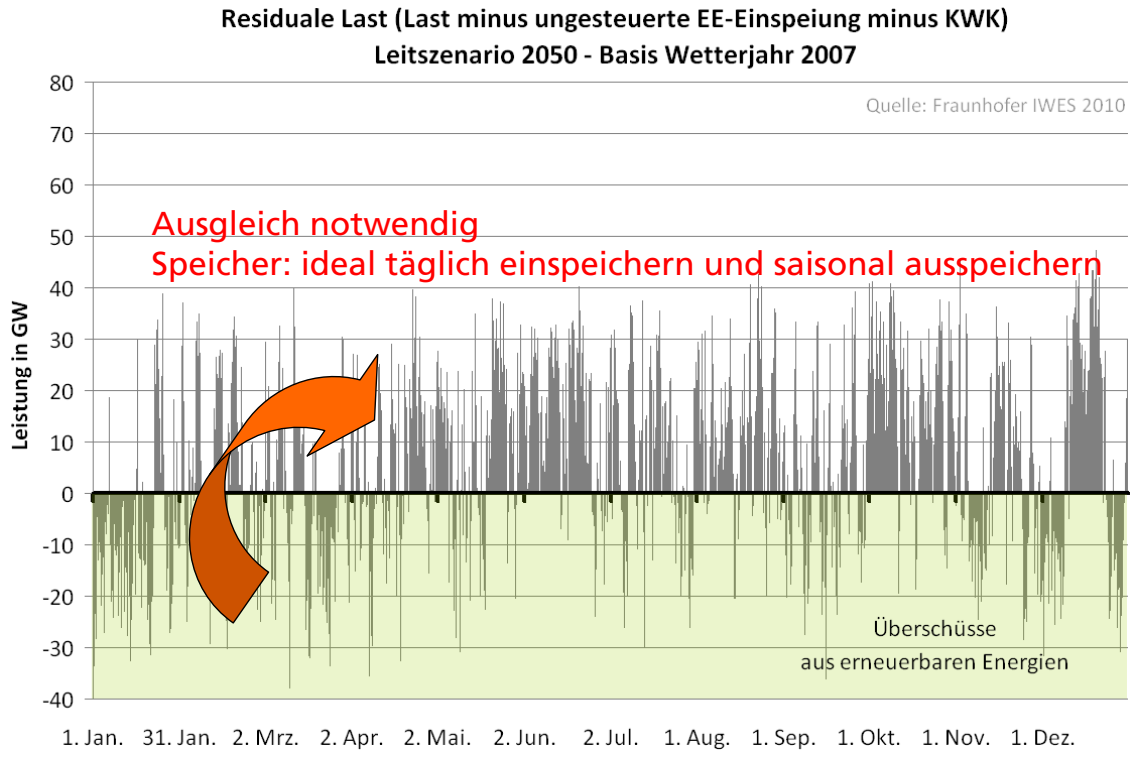
Generelle Tendenzen

- 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 ab ca. 50% EE-Anteil
  - 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

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

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

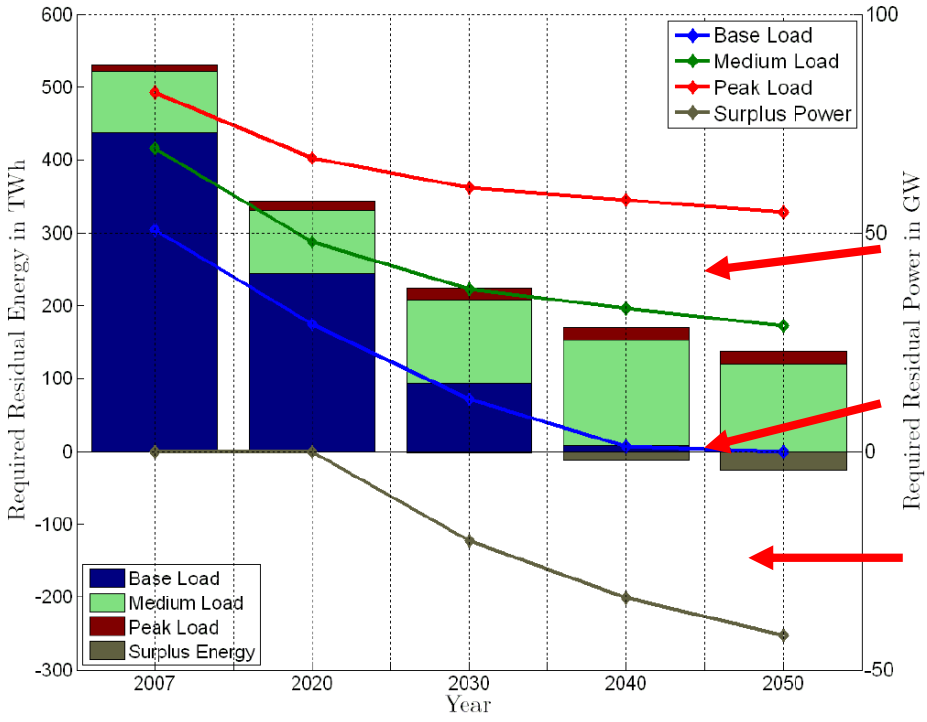


Quelle: Sterner et al, 2010

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Benötigter Bedarf an konv. Leistung und Energie in der Leitstudie



- Hoher Spitzenlastbedarf (25 GW)
- Grundlast „verschwindet“
- Starke Fluktuationen der Überschüsse (40 GW)

Herausforderung: Überschüsse mit Spitzenbedarf übereinbringen

Quelle: Sterner et al., 2010

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Ausgleichsmaßnahmen in 100% EE-Stromversorgung
EE übernehmen Systemdienstleistungen (1)

- Transport
  - Netzausbau
  - Europäisches Supergrid für Strom und Gas
- 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)

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Ausgleichsmaßnahmen in 100% EE-Stromversorgung
EE übernehmen Systemdienstleistungen (2)

- Ausgleichsmaßnahmen
  - Transport
  - Speicher
  - Energiemanagement
- Technische Stabilität durch alle 3 Maßnahmen gegeben
  - dafür notwendig:
  - Anpassung der Teilnahmebedingungen für EE am Regelenergiemarkt (d.h. Verkürzung der Ausschreibungszeiträume auf 1 Tag)
  - Hohe Kapazität an Gas-KW mit EE-Methan am Höchst- und Hochspannungsnetz bzw. Pumpspeicherwerken
  - Ökonomisches Optimum zwischen Ausgleichsmaßnahmen und EE-Abregelung
  - Kapazitätsmarkt für konventionelle (Gas)-Kraftwerke im Übergang und Endausbau: Leistungspreis für Leistungsvorhaltung plus Arbeitspreis – ähnlich zum Regelleistungsmarkt
- Damit wird eine regenerative Vollversorgung technisch möglich

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

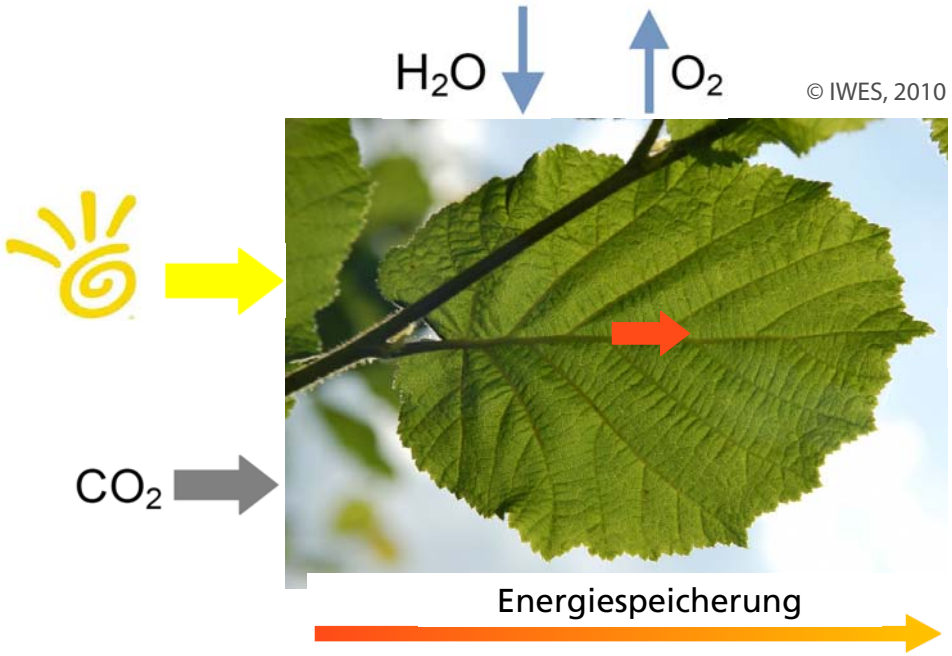
Inhalt

- Teil 1: Ausbau der EE – Auswirkungen auf die Residuallast – Herausforderungen für einen wirtschaftlichen Betrieb konventioneller Kraftwerke
- Teil 2: Eine mögliche Lösungsoption für die Langzeitspeicherung: Erneuerbares Methan als Brücke zwischen Strom- und Gasnetz

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Wie speichert die Natur Energie über lange Zeiträume?



Kernprozess: 1) Spalten von Wasser
2) H_2 reagiert mit CO_2

$$12\ H_2O \xrightarrow{h\nu} 24\ (H) + 6\ O_2$$

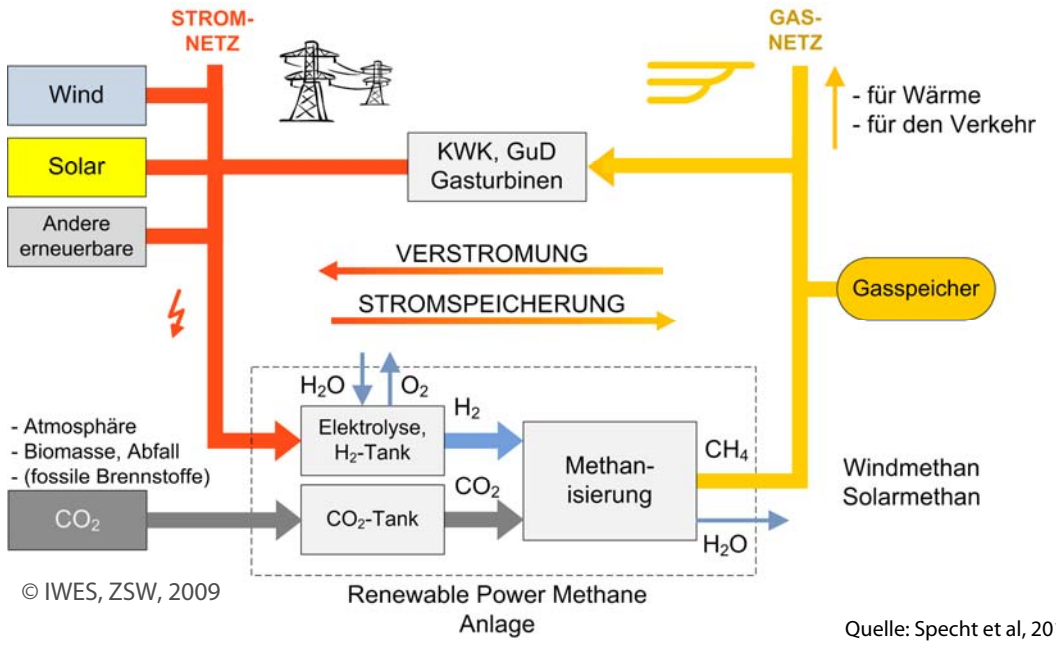
$$6\ CO_2 + 24\ (H) \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ H_2O$$

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Renewable Power (to) Methane – erneuerbares Methan

Stromspeicherung durch Kopplung von Strom- und Gasnetz



Quelle: Specht et al, 2010
Sterner, 2009

© Fraunhofer IWES 2010

Renewable Power (to) Methane – erneuerbares Methan

Erste Pilotanlage am ZSW in Stuttgart

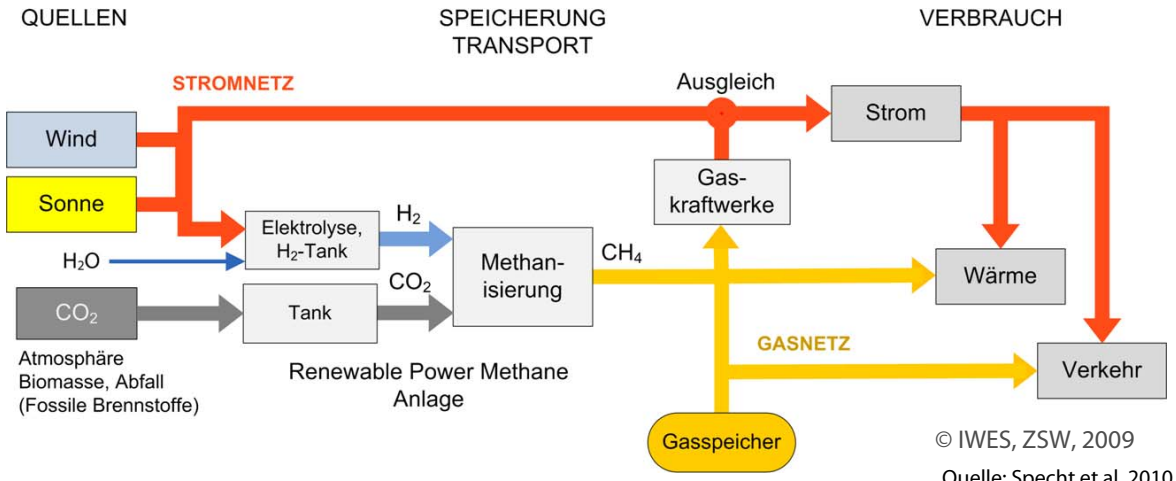


Quellen: Solar-fuel, 2009,
Specht, Waldstein, Sterner et al., 2009

© Fraunhofer IWES 2010

Renewable Power (to) Methane – erneuerbares Methan

Energievektor für Wind und Solar in den Verkehrssektor



Quelle: Specht et al, 2010
Sterner, 2009

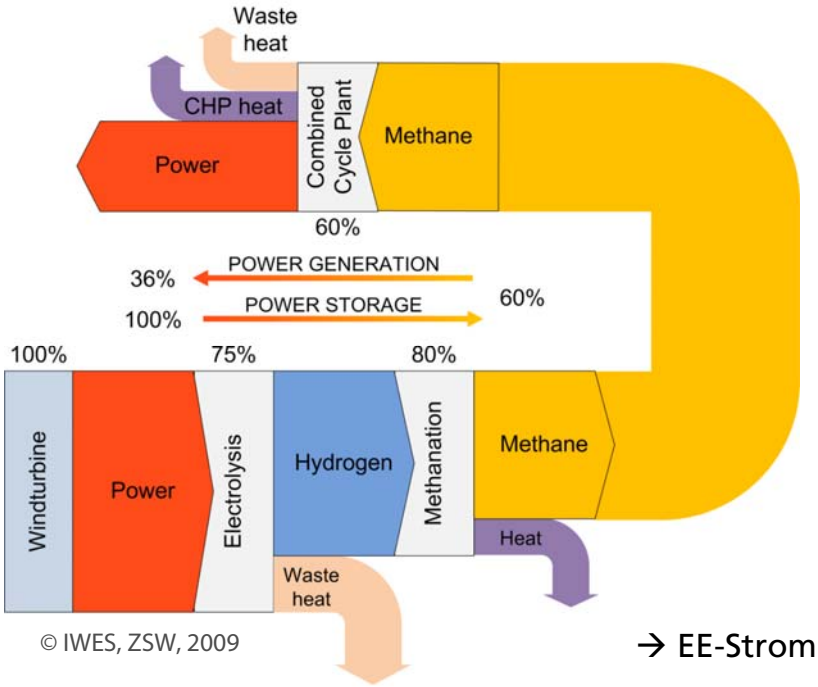
Vorteile:

- nationale Langzeitspeicherung mit vorhandener Infrastruktur (Speicher, Pipelines, Gas-Kraftwerke + BHKW)
- „Grundlast“ mit EE – stabile Stromversorgung möglich
- Verringerung der Importabhängigkeit bzw. Option „Gas“ aus der Sahara

© Fraunhofer IWES 2010

Renewable power (to) methane / erneuerbares Methan

Wirkungsgrade, Kapazitäten, Kosten (1)



Wirkungsgrade:

60-65% Methan

35-40% Strom

50-60% KWK

Vs. 0% durch Abregelung

→ EE-Strom wird zur Primärenergie

Quelle: Sterner, 2009; Specht et al, 2010

© Fraunhofer IWES 2010

Renewable power (to) methane / erneuerbares Methan
Wirkungsgrade, Kapazitäten, Kosten (2)

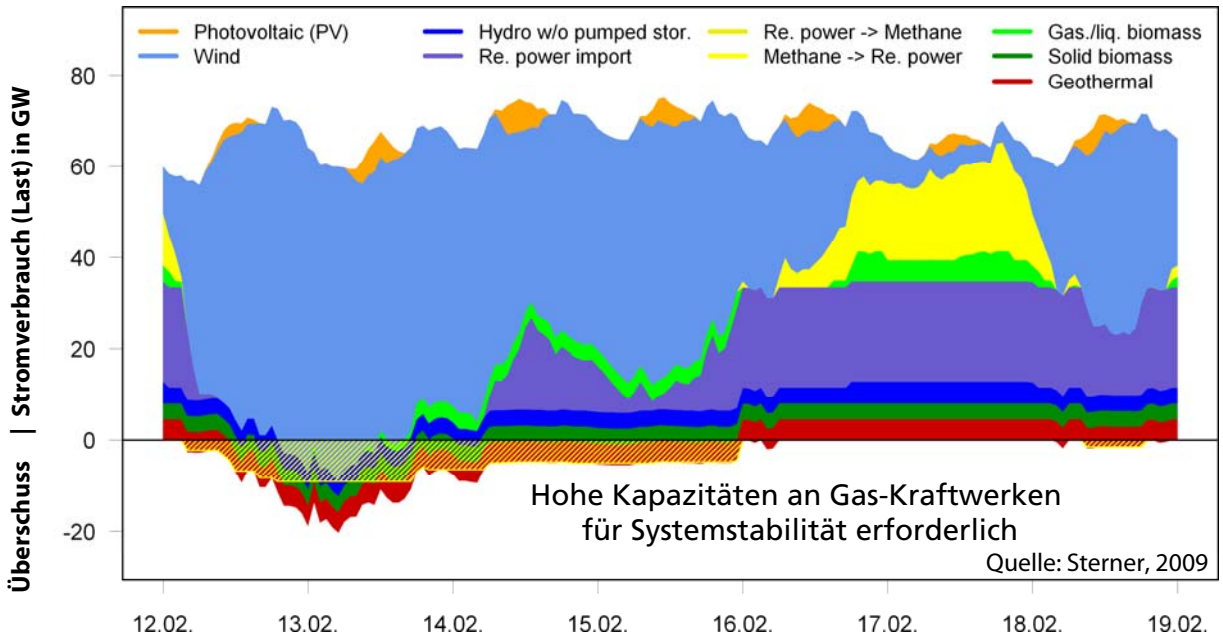
- Deutscher Stromverbrauch: ca. 600 TWh_{el} - exemplarisch bei 70 GW_{el}
- Deutsche Speicherkapazitäten
  - Pumpspeicher, Batterien: ca. 0,07 TWh_{el} – Reichweite: wenige Stunden
  - E-mobility: max. 45 Mio. Autos @ 10 kWh_{el} → 0,45 TWh_{el} – Reichweite: 6 Stunden
  - Gasnetz: 200 TWh_{th} ~ ca. 100 TWh_{el} – Reichweite: 60 Tage bzw. 2 Monate
- Übertragungskapazitäten der Leitungen
  - Stromnetz: einstellige GW_{el}
  - Gasnetz: zweistellige GW_{th} → eine Größenordnung mehr
- Kosten
  - Invest (Kompressor, Elektrolyser, Methanisierung, etc.) – ca. 1000-2000 EUR / kW_{el}
  - Stromeinkauf für 2-4 EURcent / kWh_{el} für 8 EURCent / kWh_{th} Methan (abhängig von Betriebs- und Regelkonzept)

Quelle: Sterner, 2009; Specht et al, 2010

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

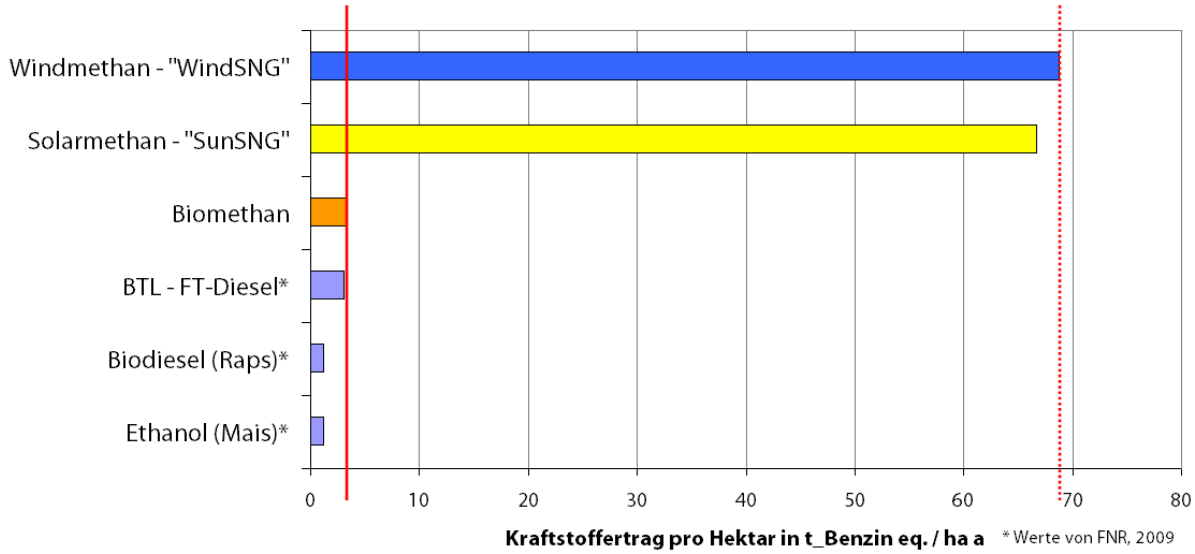
Simulation einer regenerativen Vollversorgung – Strom
Szenario BMU Leitstudie 2008 für 2050 x 1.2 für Deutschland



© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Hektarertrag für regenerativen Kraftstoff in t_Benzin_eq./ ha a



Nutzung der Solarenergie: Biomethan – etwa 0,5%; Solarmethan – etwa 10%
Vorteil von Windmethan: kombinierte Energie- und Landwirtschaft
Energieträger mit hoher Energiedichte aus Wind & Solar ohne Reichweitenbegrenzung

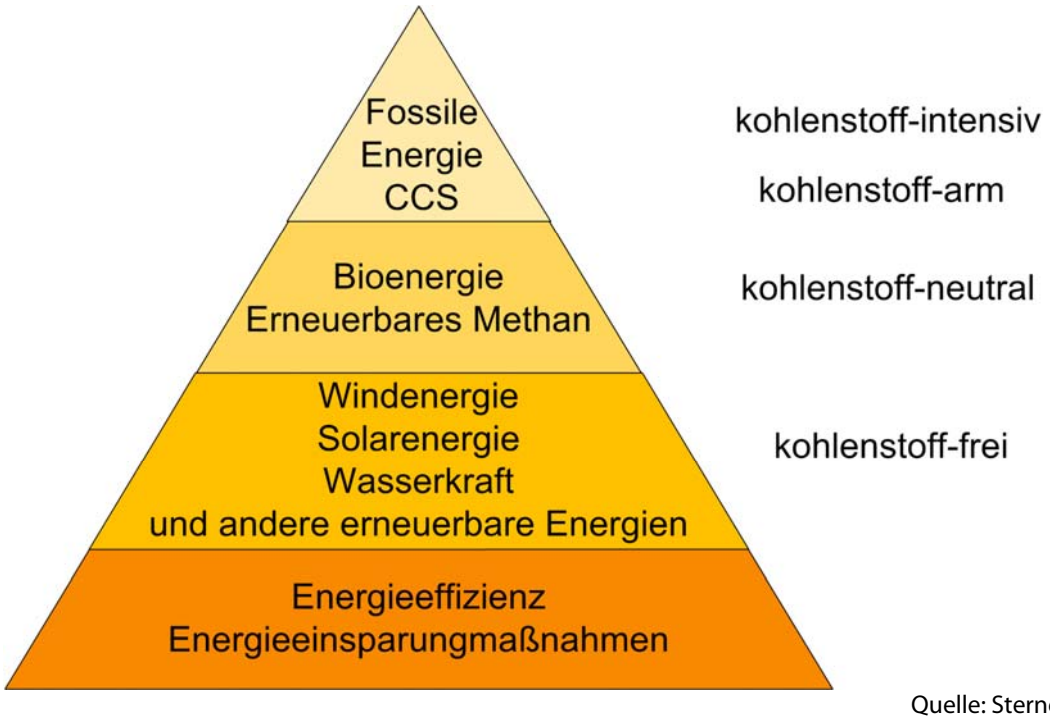
Quelle: Sterner, Specht et al, 2010

1 t Benzin = 43,2 GJ

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Optionen für eine emissionsarme Energieversorgung



Quelle: Sterner, 2009

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Zusammenfassung zu Zukunftsenergien

- Eine Vollversorgung mit erneuerbaren Energien ist
  - technisch möglich
  - ökonomisch vorteilhaft auf lange Sicht
  - ökologisch / klimatechnisch not-wendig

- Herausforderungen
  - Umbau der Energieversorgungsstrukturen
  - Hoher Investitionsaufwand zu Beginn
  - Technologie- und Wissenstransfer
  - "Transformation" des Bewusstseins
    (konventionelle und regenerative Energiewirtschaft müssen eine gemeinsame Lösung der EE-Integrationsfrage finden und die Bevölkerung im Umbau der Energieversorgung mitgenommen werden)

- Entscheidend
  - politischer Wille und Bewusstseinswandel

Vielen Dank

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Quellen und weiterführende Informationen

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

RWE (2009): The Need for Smart Megawatts Power Generation in Europe – Facts & Trends. December 2009. RWE, Essen. http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/355588/data/214416/55716/rwe/investor-relations/events-praesentationen/fakten-kompakt/power-generation-in-europe/The-Need-for-Smart-Megawatt-Power-Generation-in-Europe-Facts-Trends-Vollversion-PDF-Datei-.pdf

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.; Baumgart, F.; Feigl, B.; Frick, V.; Stürmer, B.; Zuberbühler, U.; Sterner, M.; Waldstein, G. (2010): Speicherung von Bioenergie und erneuerbarem Strom im Erdgasnetz. FVEE Jahrestagung 2009. Forschen für globale Märkte erneuerbarer Energien. FVEE, Berlin.

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

WBGU (2008): Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Hauptgutachten 2008. Berlin: Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen. http://www.wbgu.de

© Fraunhofer IWES 2010

Fraunhofer IWES

Kontakt

Dr.-Ing. Michael Sterner
Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik
Leiter Energiewirtschaft und Systemanalyse
+49 – 561 – 72 94 361
msterner_at_iset.uni-kassel.de

© Fraunhofer IWES 2010