Netzausbau vs. Speicher vs. Energiemanagement?
Möglichkeiten und Grenzen der Ausgleichsmaßnahmen

Dr.-Ing. Michael Sterner, M.Sc. Norman Gerhardt, Dr. Carsten Pape,
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmid

Jahreskonferenz
EE10
Berlin
26.10.10

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

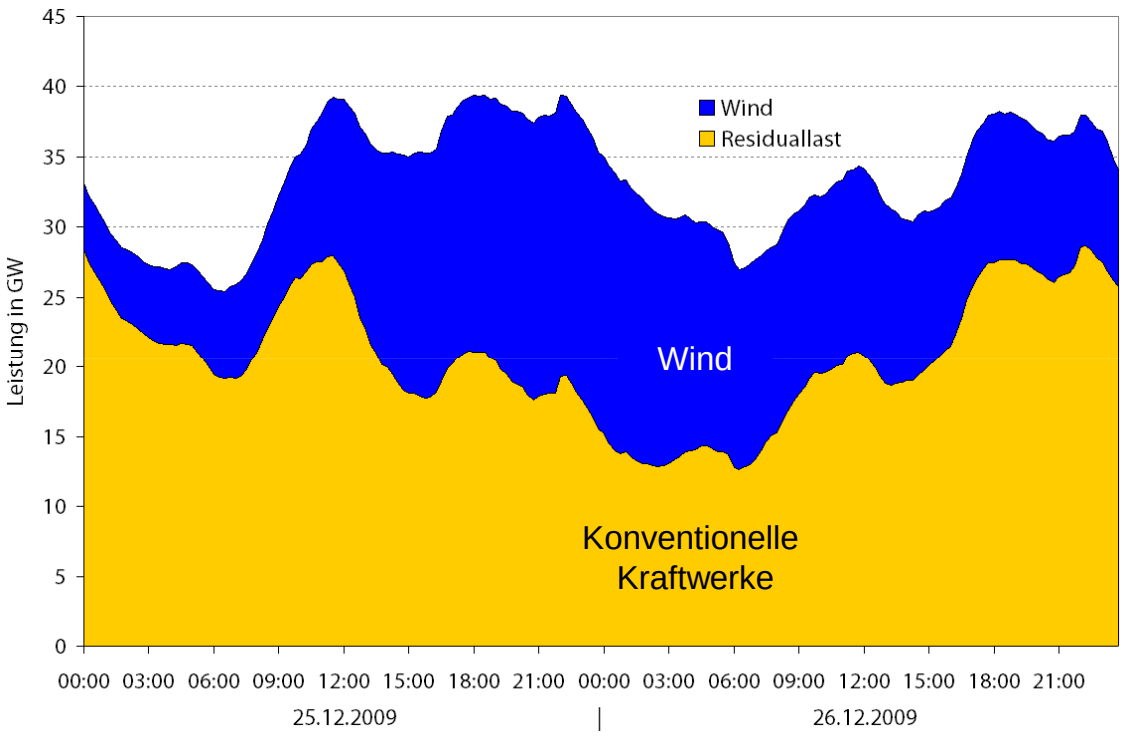
Inhalt

1. Situation heute
2. Ausgleichsoptionen
3. Netzausbau in D und EU
4. Erzeugungs- und Lastmanagement
5. Speicher
6. Effekt aller Maßnahmen im UBA 100% Energiekonzept
7. Fazit

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

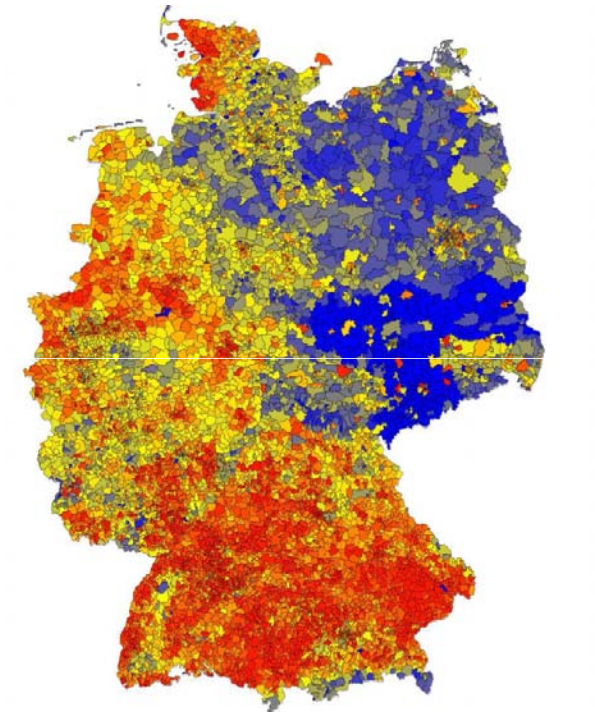
Einspeisung Weihnachten 2009 – technische Versorgung stabil



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Räumliche Verteilung der installierten PV-Leistung 2009



Starke Korrelation
zur Bevölkerungsdichte
zur Kaufkraft
und zur Solareinstrahlung

Starke Abhängigkeit vom Wetter
→ Untersuchungszeitraum
über mehrerer Jahre erforderlich

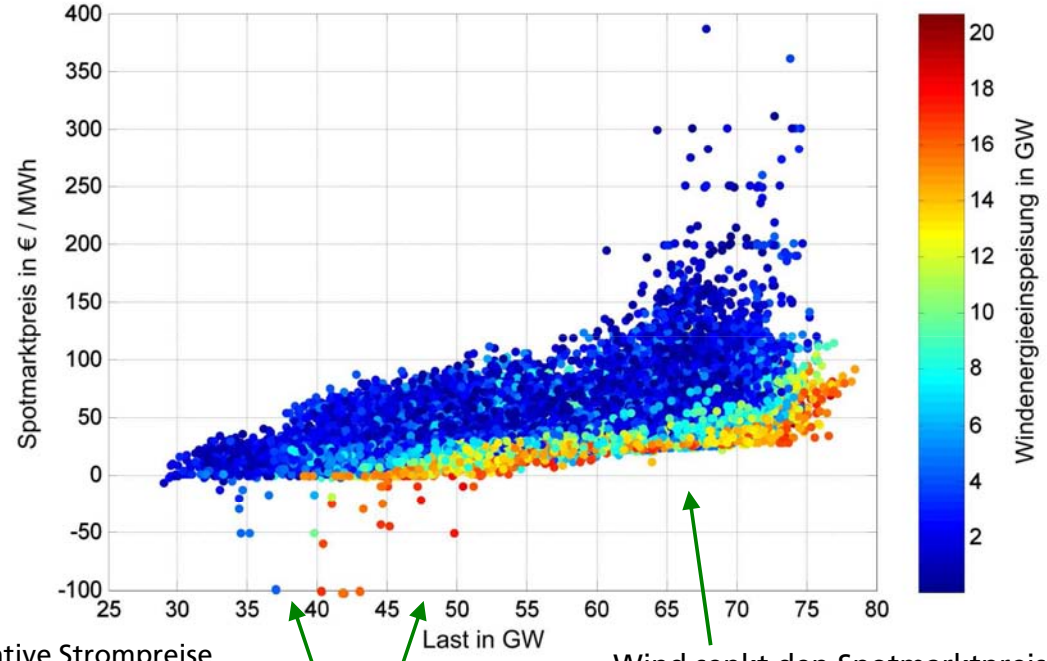
Quelle: Saint-Drenan et al, 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Korrelation Wind & Last & EEX – deutliche Zusammenhänge

stündliche aufgelöste Daten für 2007 und 2008



Negative Strompreise
zu Schwachlastzeiten bei wenig / viel Wind

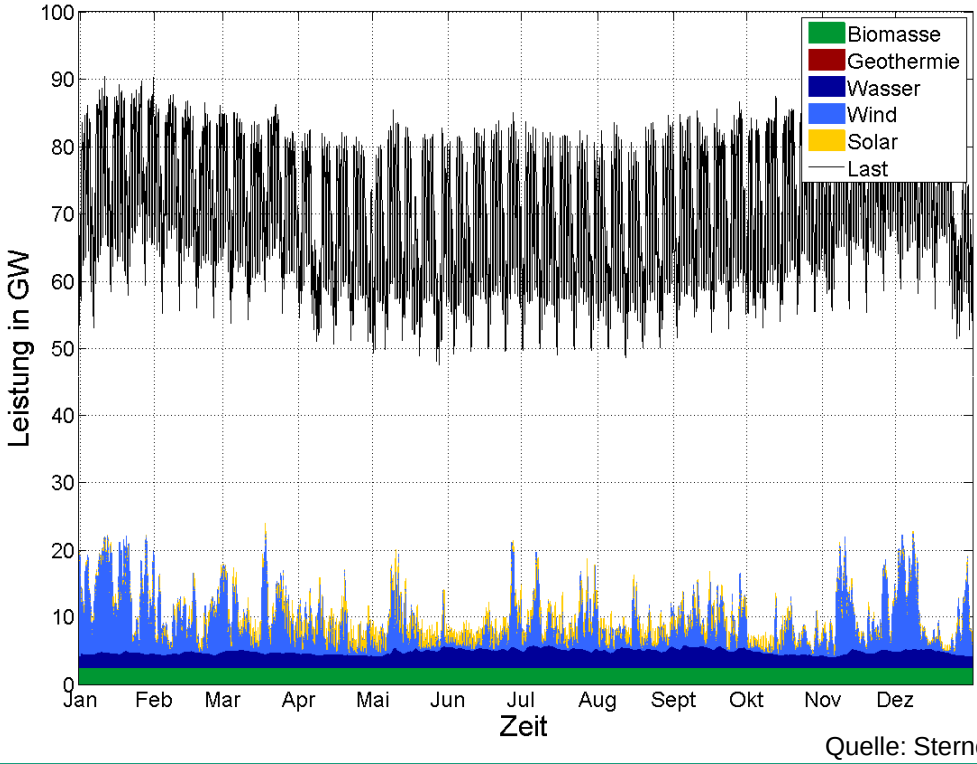
Wind senkt den Spotmarktpreis

Quelle: Jentsch, Sterner, 2010

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

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

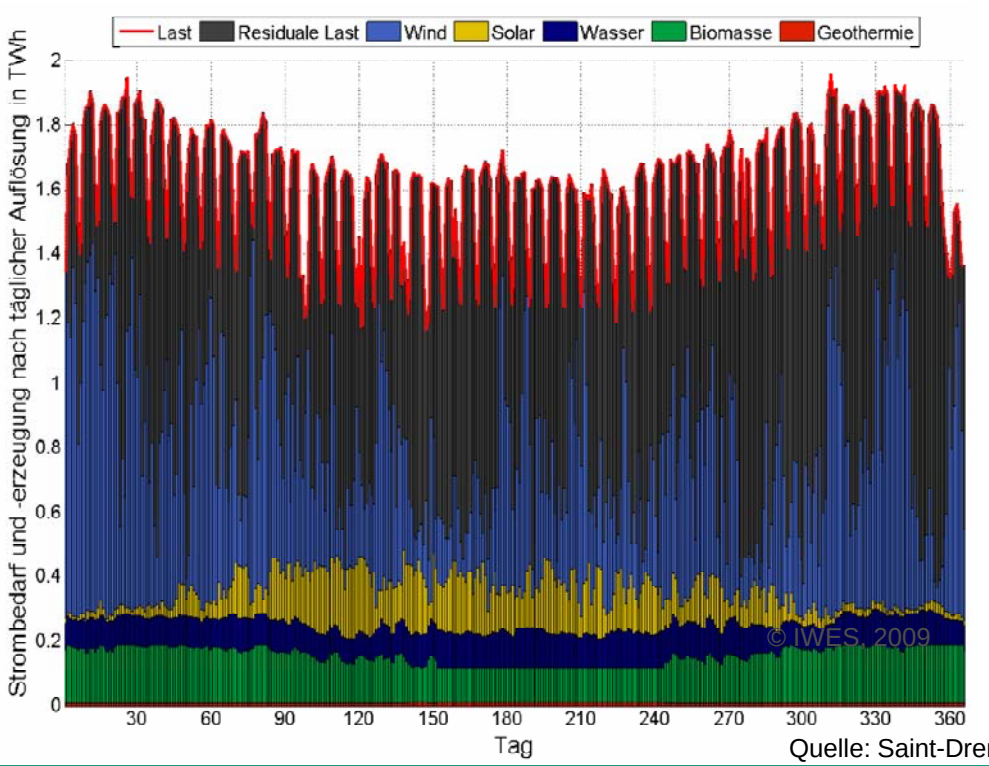


Quelle: Sterner et al., 2010

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

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

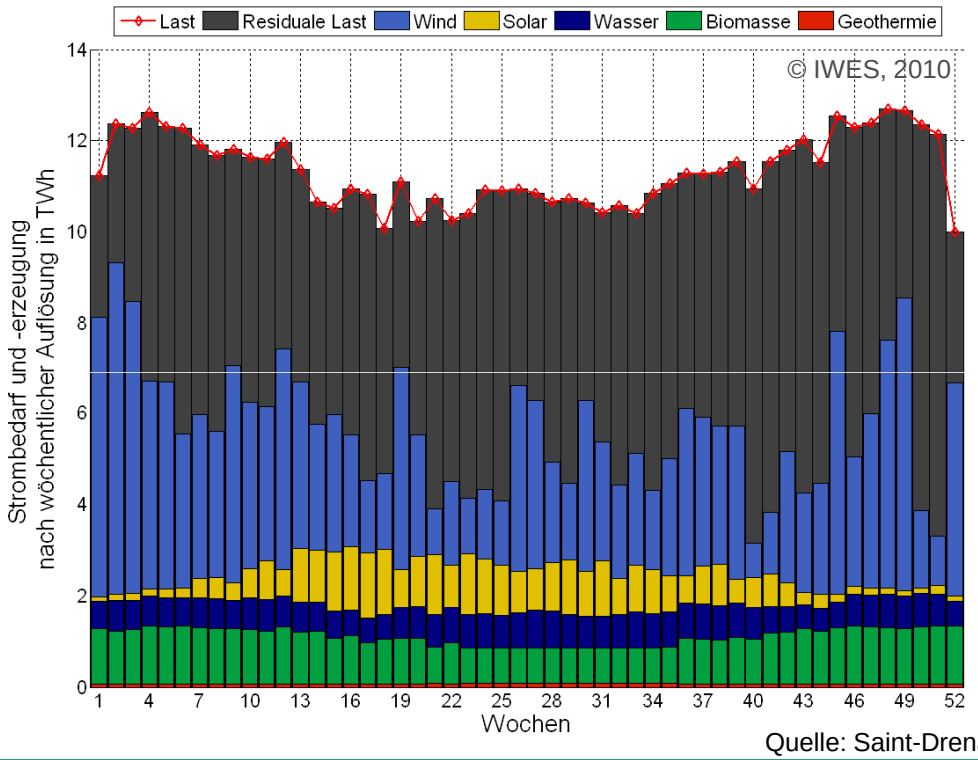


Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

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



Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Generelle Tendenzen

Erneuerbare Energien reduzieren den Grundlastbedarf drastisch

- Dauerbetrieb von konventionellen KW nimmt ab
- Überkapazitäten im Grundlast-Bereich – Unterkapazitäten in der Spitzenlast
- PV verschiebt Mittellast vom Tag in die Nacht

Gute Korrelation auf jährlicher Basis, starke Fluktuationen auf wöchentl. Basis

Konventionelle Kraftwerke müssen flexibler werden

- Notwendig: hohe Flexibilität, hohe Robustheit, hohe Regelbarkeit
- Wirtschaftlichkeit unsicher durch geringere Auslastung
- Kapazitätsmärkte für Back-up Kraftwerke (gesicherte Leistung)

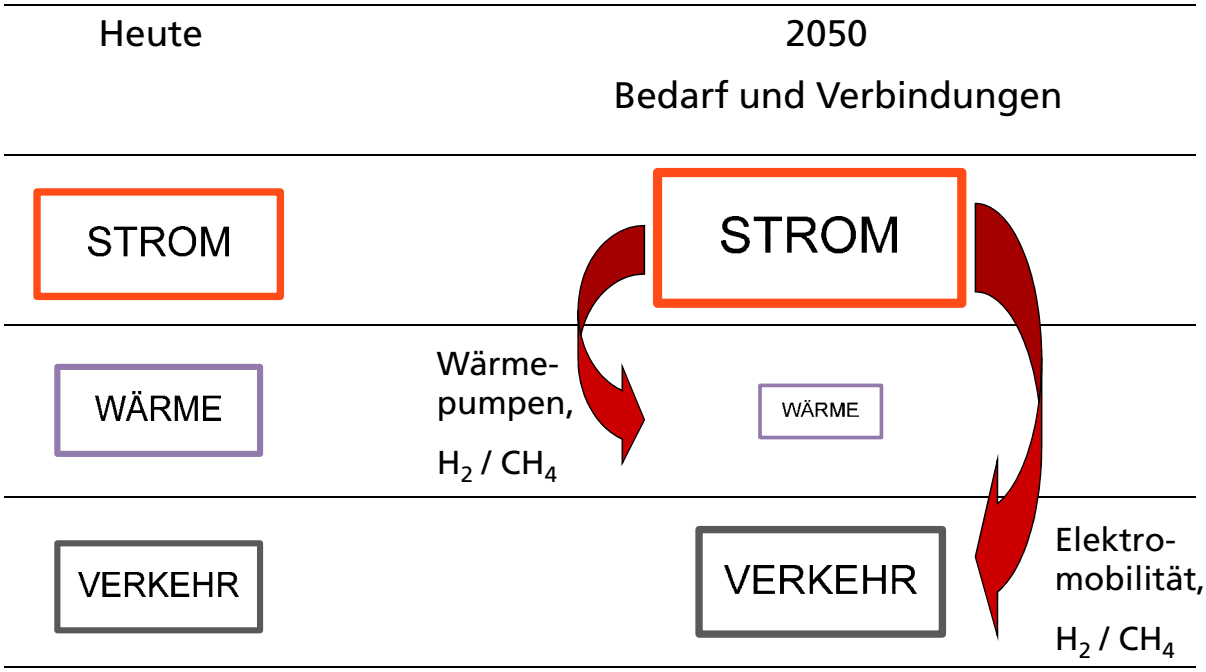
Potentieller Systemkonflikt ab ca. 50% EE-Anteil an jeder Stelle im Netz

- technisch: (1) Abregelung von konvention. vs. erneuerbare Energien
  (2) Ausbau von allen Erzeugungsarten (Überkapazitäten)
- wirtschaftlich: → geringere Großhandelspreise (EEX) → geringere Erträge
  → wer hält in Zukunft welche Marktanteile?

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Prinzipielle Entwicklung des Energiebedarfs



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Inhalt

1. Situation heute
2. Ausgleichsoptionen
3. Netzausbau in D und EU
4. Erzeugungs- und Lastmanagement
5. Speicher
6. Effekt aller Maßnahmen im UBA 100% Energiekonzept
7. Fazit

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Merit-Order der Ausgleichsmaßnahmen für Fluktuationen

- Transport
  - Netzausbau
  - Europäisches Supergrid für Strom und Gas
- Erzeugungs- und Lastmanagement
  - Gest. Erzeugung: Kombi-KW mit EE-Prognosen, Gas-KW mit EE-Gasen
  - Gesteuerter Verbrauch: E-KFZ, Wärmepumpen, Smart Grids
- Speicher
  - Kurzzeit (Tage): Pumpspeicher, Druckluft, Batterien
  - Langzeit (Saisonal): 1. (Pump)Speicher in Skandinavien,
    2. Wind / Solarstrom im Gasnetz als EE-Methan
    3. als EE-Wasserstoff

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

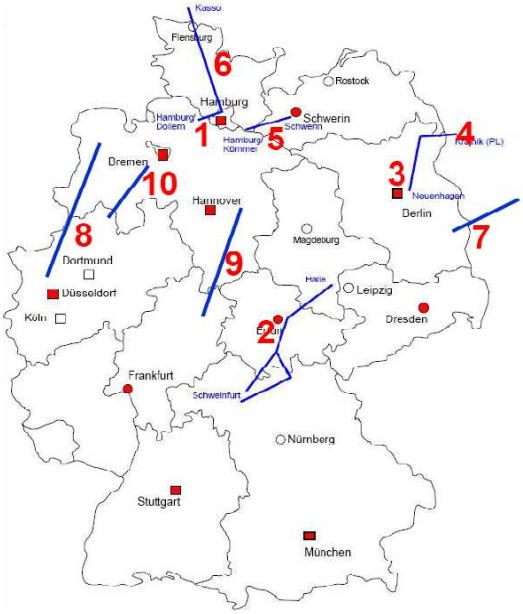
Inhalt

1. Situation heute
2. Ausgleichsoptionen
3. Netzausbau in D und EU
4. Erzeugungs- und Lastmanagement
5. Speicher
6. Effekt aller Maßnahmen im UBA 100% Energiekonzept
7. Fazit

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Netzausbau in D – Dena I und II



Quelle: Braun 50 HzT, 2010

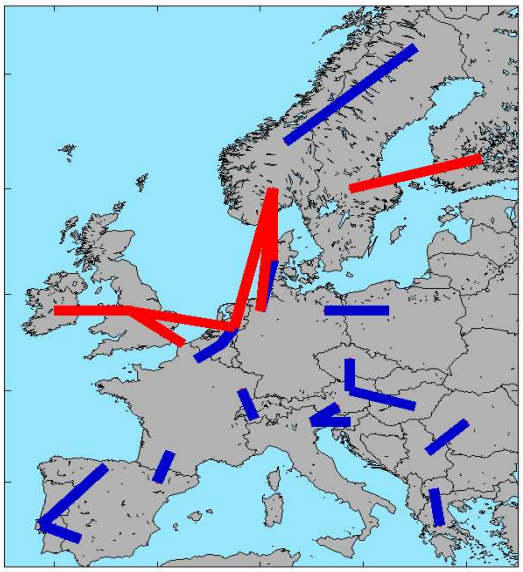
- Neue Trassen von Nord nach Süd und Ost nach West unumgänglich

© Fraunhofer IWES

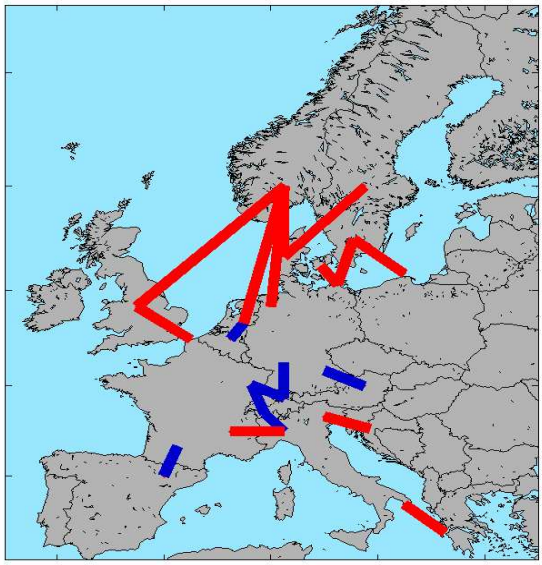
Fraunhofer IWES

Netzausbau in Europa – essentiell für den europ. Ausgleich

Geplanter Netzausbau der ÜNBs und notwendige Maßnahmen zur Vermeidung der Abregelung



Zusätzlich: Ausbau der 10 wichtigsten Verbindungen



Quelle: van Hulle – Tradewind, 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Simulation einer 100% Wind + PV Versorgung Europas

- Daten
  - 8 Wetterjahre (2000-2007)
  - Stündlich, 45x45 km²
  - 83 Regionen in Europa

installed wind-power for all EU-regions in [GW]

sum of all installed Wind- power: 227 GW

- Ergebnisse
  - Vollständiger EU Ausgleich bedingt extrem hohe Übertragungskapaz.
  - Autonom vs. Ausgleich: Speicherbedarf sinkt um Faktor 9
  - Trotz idealem Ausgleichs sind bis zu 70% Lücken vorhanden
  - Bedarf an anderen Ausgleichsoptionen bleibt bestehen

Quelle: Hoffmann, von Bremen, 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Inhalt

1. Situation heute
2. Ausgleichsoptionen
3. Netzausbau in D und EU
4. Erzeugungs- und Lastmanagement
5. Speicher
6. Effekt aller Maßnahmen im UBA 100% Energiekonzept
7. Fazit

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

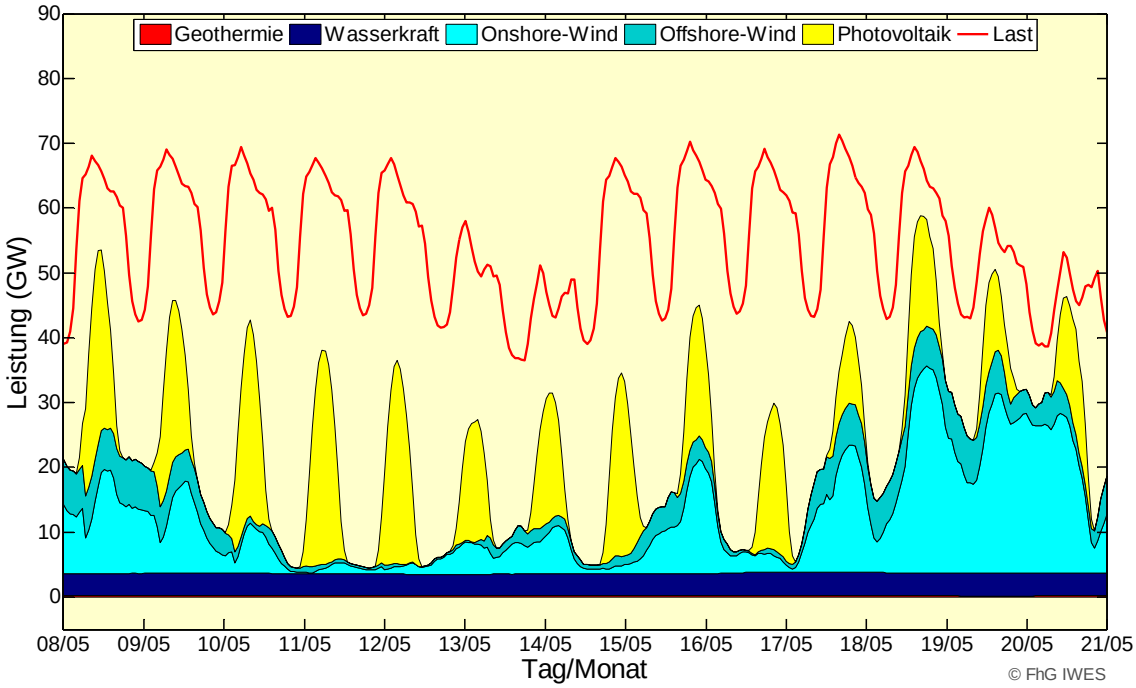
Nationaler Aktionsplan NREAP 2020 – Erneuerbare Energien

		2020	
		MW	GWh
Wasserkraft[66]**:**		4.309	20.000
< 1MW		564	2.550
1 MW -10 MW		1.043	4.500
> 10MW		2.702	12.950
davon Pumpspeicherkraftwerk[67]		7.900	8.395
Geothermie		298	1.654
Solarenergie		51.753	41.389
Photovoltaik		51.753	41.389
konzentrierte Sonnenenergie		0	0
Gezeiten, Wellen, sonstige Meeresenergie		0	0
Windenergie[68]**:**		45.750	104.435
landgestützt		35.750	72.664
offshore		10.000	31.771
Biomasse:		8.825	49.457
fest		4.792	24.569
Biogas		3.796	23.438
flüssige Biobrennstoffe (1)		237	1.450
Insgesamt[69]		110.934	216.935
davon Kraft-Wärme-Kopplung		3.765	20.791

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

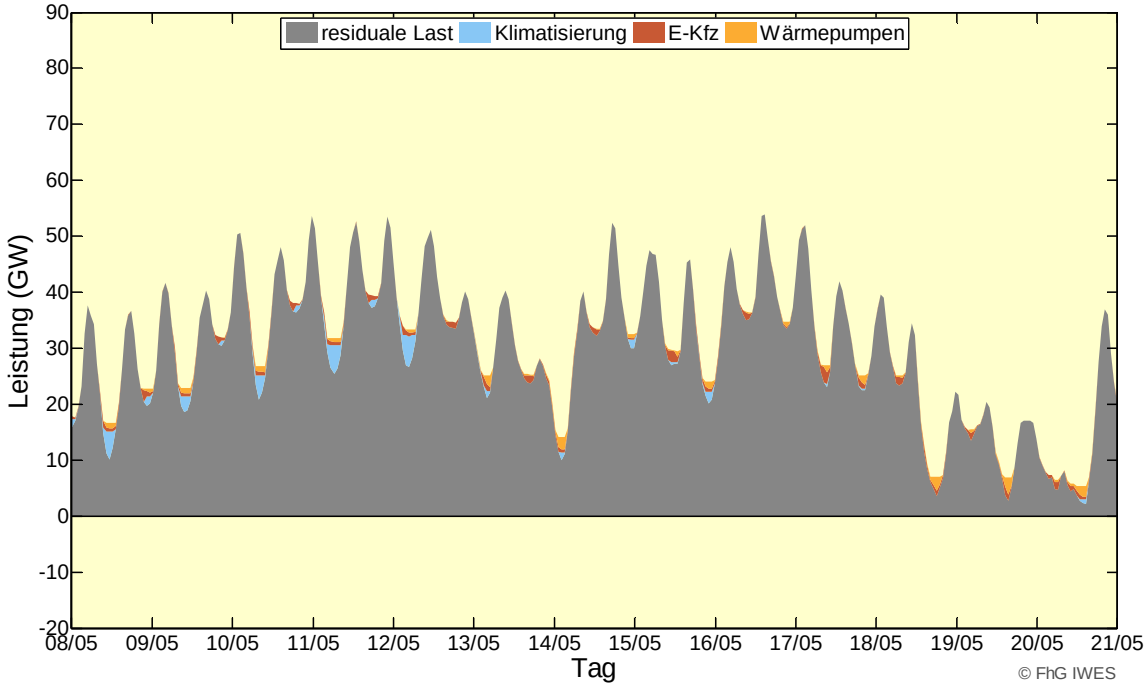
NREAP 2020 – Einspeisung aus Wind, Solar, Wasser
Zeitweise Vollversorgung mit EE bei idealem Netzausbau



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

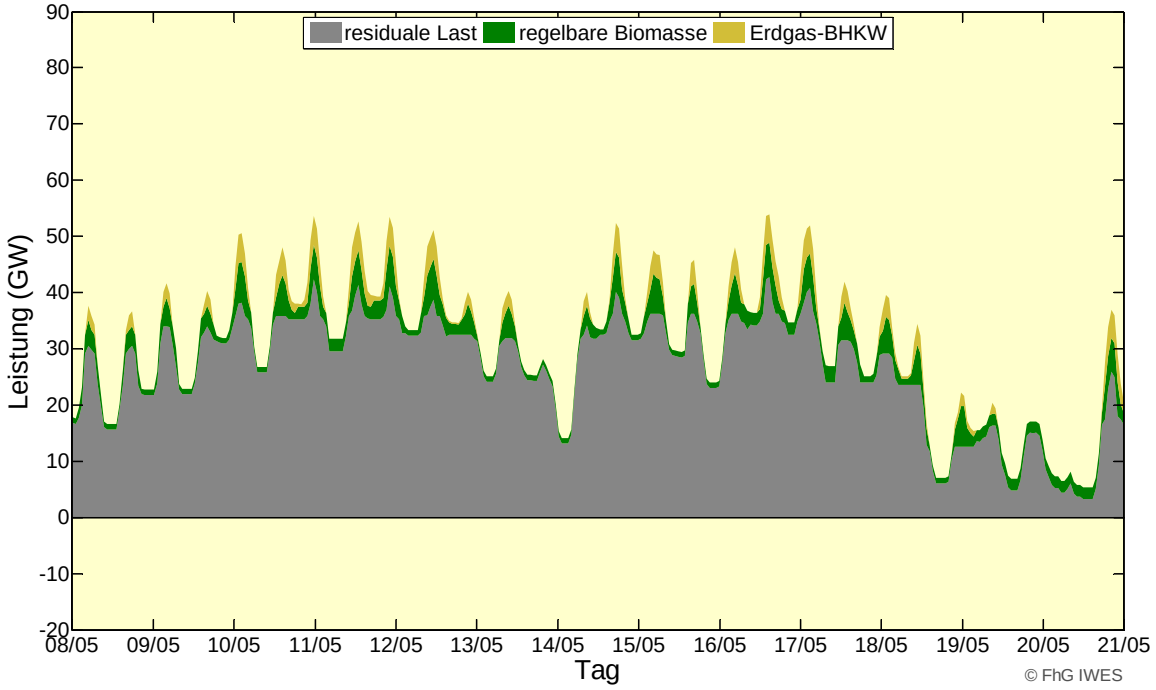
Lastmanagement fängt Wind und PV-Spitzen ab (NREAP 2020)
gesteuerter Einsatz von E-KFZ, Wärmepumpen, Klimaanlagen



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

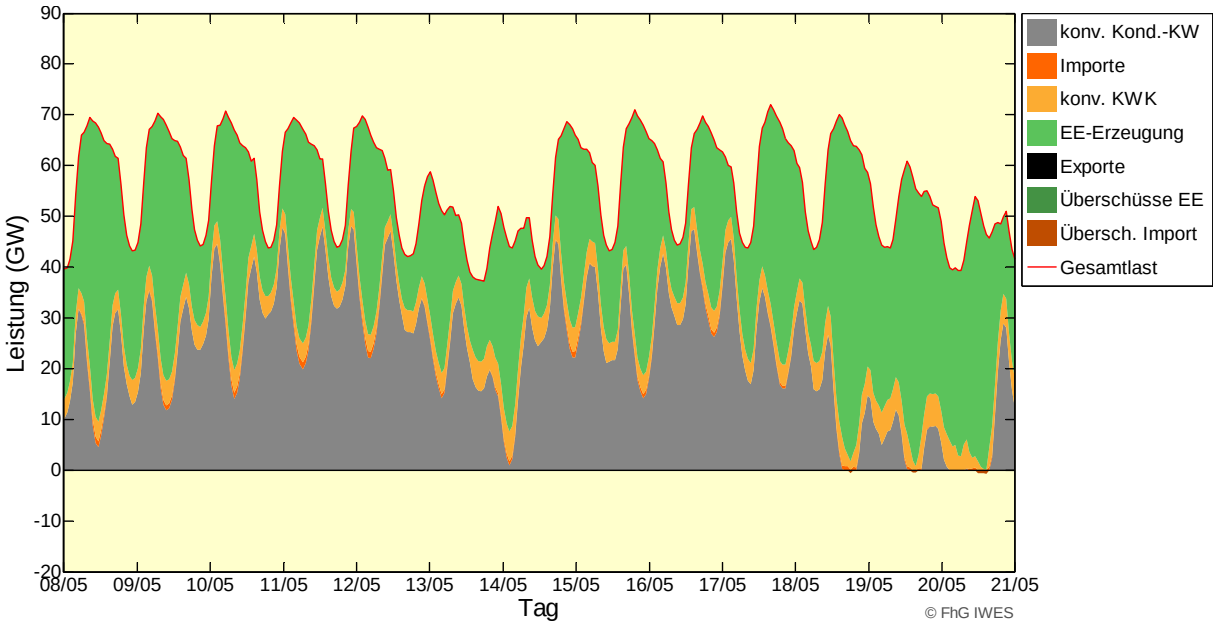
Erzeugungsmanagement glättet Spitzen (NREAP 2020) gesteuerter Einsatz von Biomasse-BHKW und Gas-BHKW



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

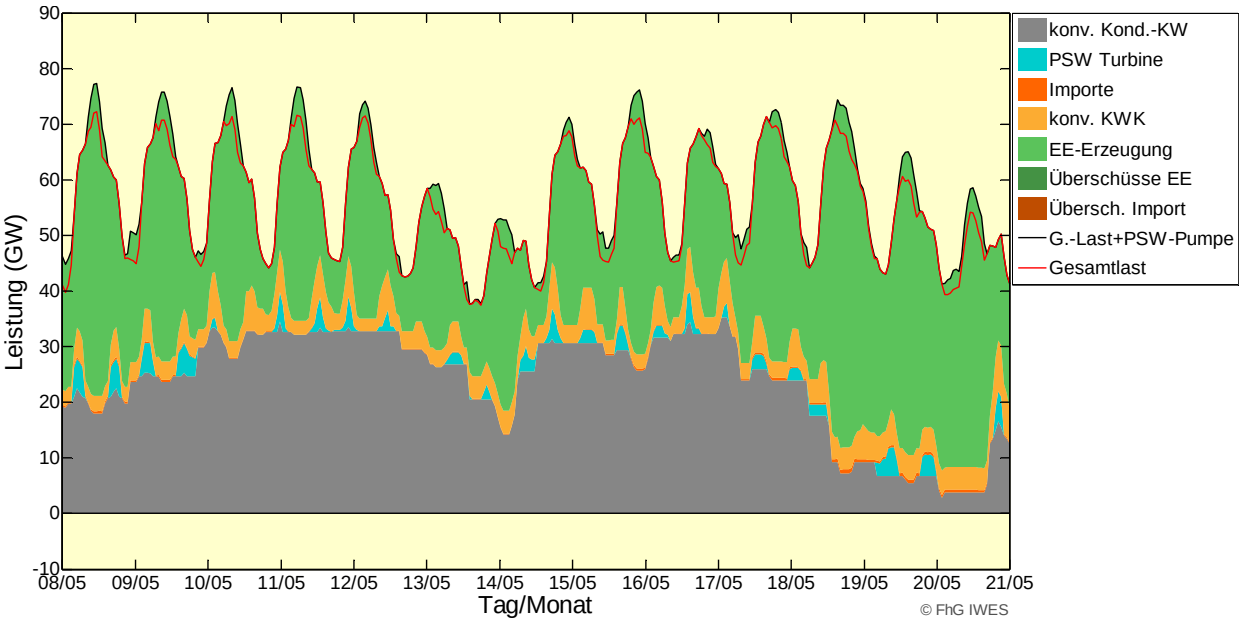
Starke Fluktuationen ohne Ausgleichsoptionen Last- u. Erzeugungsmanagement trotz idealem Netzausbau (!)



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

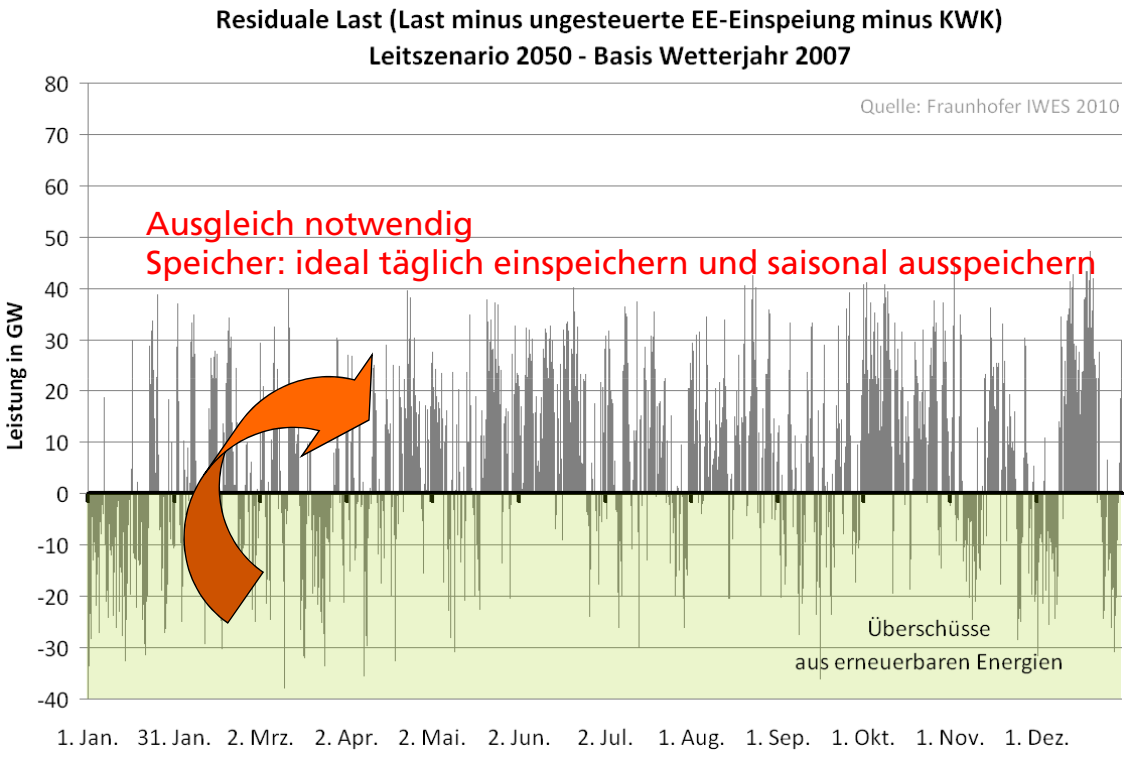
Fluktuationen geglättet durch Lastmanagement und flexible KWK – Einsatz von Kurzzeitspeichern (Pumpspeicherwerke)



Inhalt

1. Situation heute
2. Ausgleichsoptionen
3. Netzausbau in D und EU
4. Erzeugungs- und Lastmanagement
5. Speicher
6. Effekt aller Maßnahmen im UBA 100% Energiekonzept
7. Fazit

BMU Leitstudie 2009: Residuale Last für 2050 – EE-Anteil: 78%



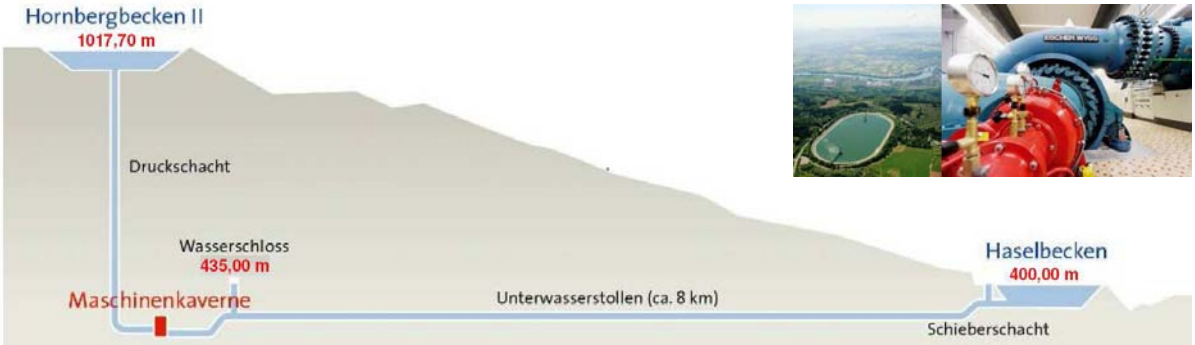
Quelle: Sterner et al, 2010

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Pumpspeicherwerke: effizient, etabliert aber begrenzt

- Kurzzeitspeicher
- Vorteile: hohe Effizienz, erprobte Technologie, heute verfügbar, wirtschaftlichster Kurzzeitspeicher
- Nachteile: geeignete Gebiete für PSW in Mitteleuropa begrenzt
- Kapazität: ca. 0,04 TWh_{el} – Reichweite: wenige Stunden
- Einsatz: gut geeignet für den Tagesausgleich von PV

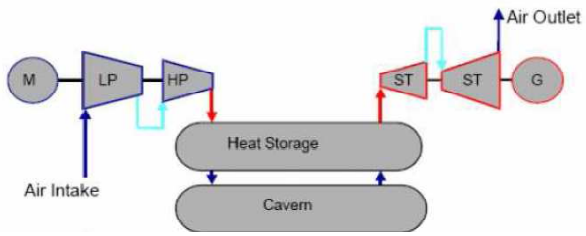


© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Druckluftspeicher: relevant, aber teuer

- Kurzzeitspeicher
- Vorteile: relevante Kapazitäten realisierbar
- Nachteile: teuer (Wirtschaftlichkeit ↓), geringe Effizienz, durch Wärmespeicher regenerativ nur als Kurzzeitspeicher betreibbar
- Kapazität: ca. 0,0006 TWh_{el} – Reichweite: bisher nur Minuten
- Einsatz: geeignet für den Tagesausgleich von Wind im Norden



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

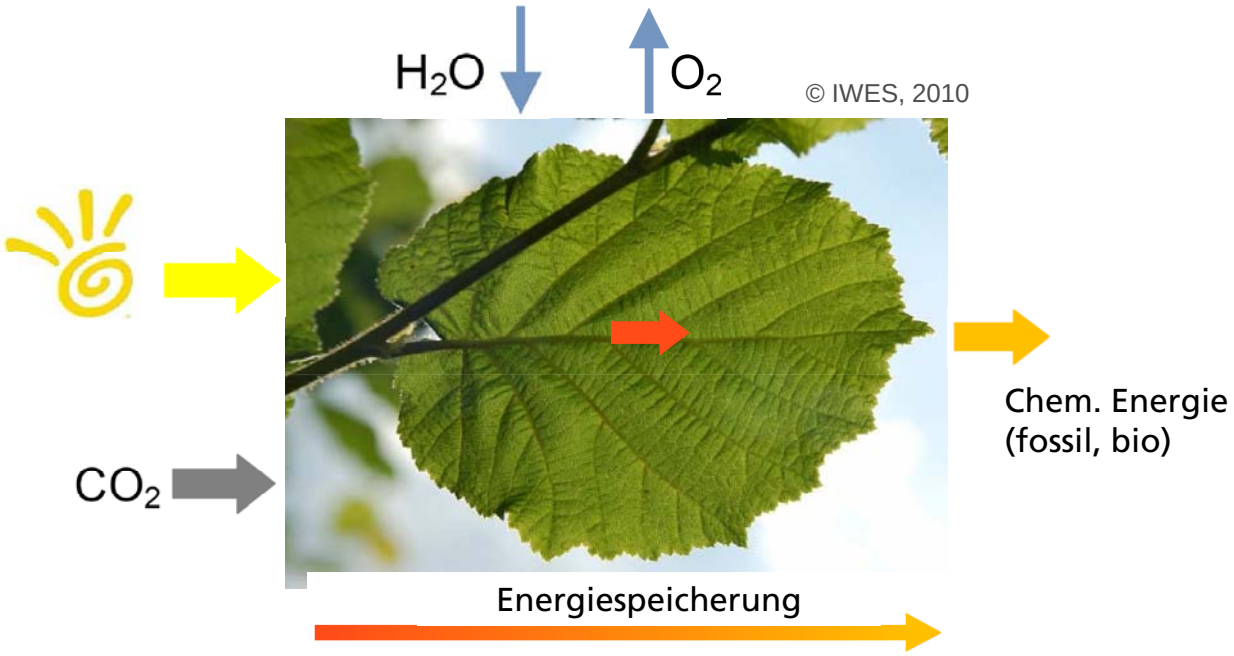
Batterien: effizient, vielversprechend, aber teuer und klein

- Kurzzeitspeicher
- Vorteil: hohe Effizienz
- Nachteil: sehr teuer (Wirtschaftlichkeit ↓)
- Kapazität: ca. 0,03 TWh_{el} (nur Backup) – Reichweite: wenige Std.
  E-KFZ: max. 45 Mio. KFZ @ 10 kWh_{el} → 0,45 TWh_{el} reicht 6 Stunden zur Stromversorgung Deutschlands (!)
- Einsatz: Schwarzstart; perspektivisch in der Eigenstromversorgung in Kombination mit PV und E-KFZ - Autarkie

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Wie speichert die Natur Energie über lange Zeiträume?



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

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

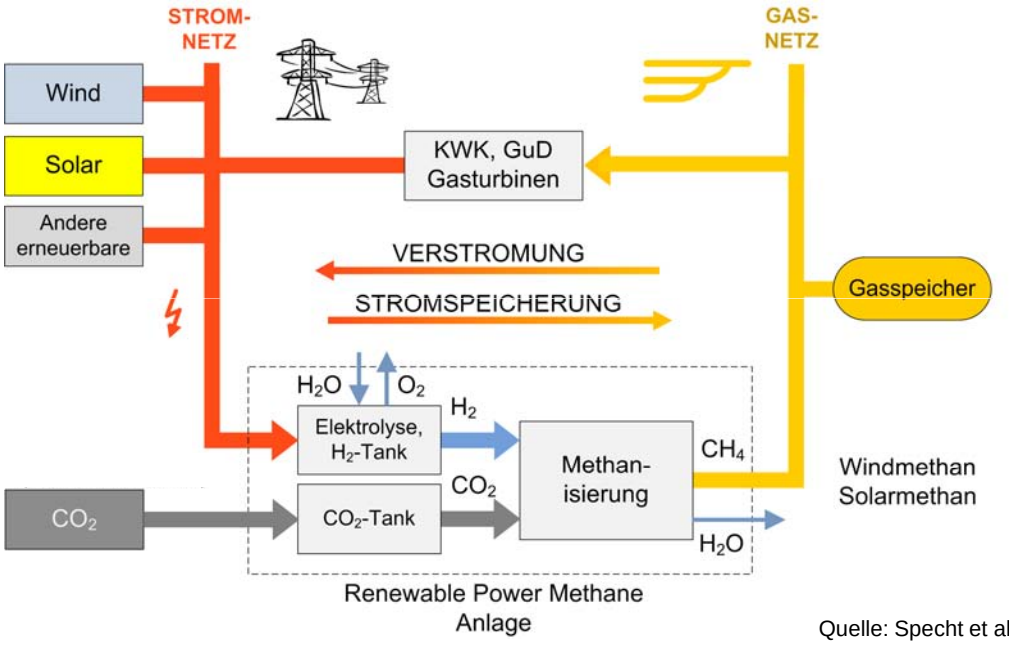
$$6\ CO_2 + 24\ (H) \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ H_2O$$

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Erneuerbares Methan – Strom-zu-Gas

Stromspeicherung durch Kopplung von Strom- und Gasnetz



Quelle: Specht et al, 2010
Sterner, 2009

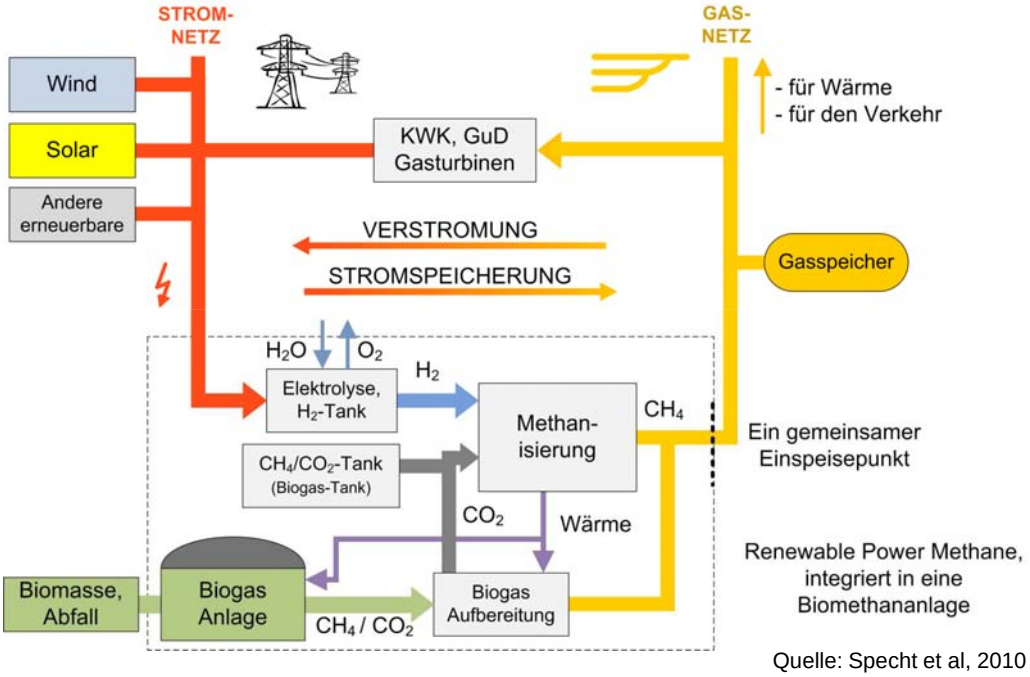
© Fraunhofer IWES

ZSW

Fraunhofer IWES

Erneuerbares Methan – Strom-zu-Gas

Kopplung mit einer Biogasanlage – Verdopplung des Ertrages



Quelle: Specht et al, 2010
Sterner, 2009

© Fraunhofer IWES

Erneuerbares Methan – Strom-zu-Gas

Erste Pilotanlage am ZSW Stuttgart von Solar Fuel Technology GmbH

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

CO_2 Absorptionsleistung = 1,5 ha Mais / a

© Fraunhofer IWES

Erneuerbares Methan – Strom-zu-Gas
Wirkungsgrade, Kapazitäten, Kosten

Deutscher Stromverbrauch: ca. 600 TWh_{el} - exemplarisch bei 70 GW_{el}

Deutsche Speicherkapazitäten

- Pumpspeicher, Batterien: ca. 0,07 TWh_{el} Reichweite: wenige Minuten
- E-mobility: (45 Mio.) ca. 0,45 TWh_{el} Reichweite: 6 Stunden
- Gasnetz: ca. 130 TWh_{el} Reichweite: 2 Monate

Übertragungskapazitäten der Leitungen

- Stromnetz: einstellige GW_{el}
- Gasnetz: zweistellige GW_{th} → eine Größenordnung mehr

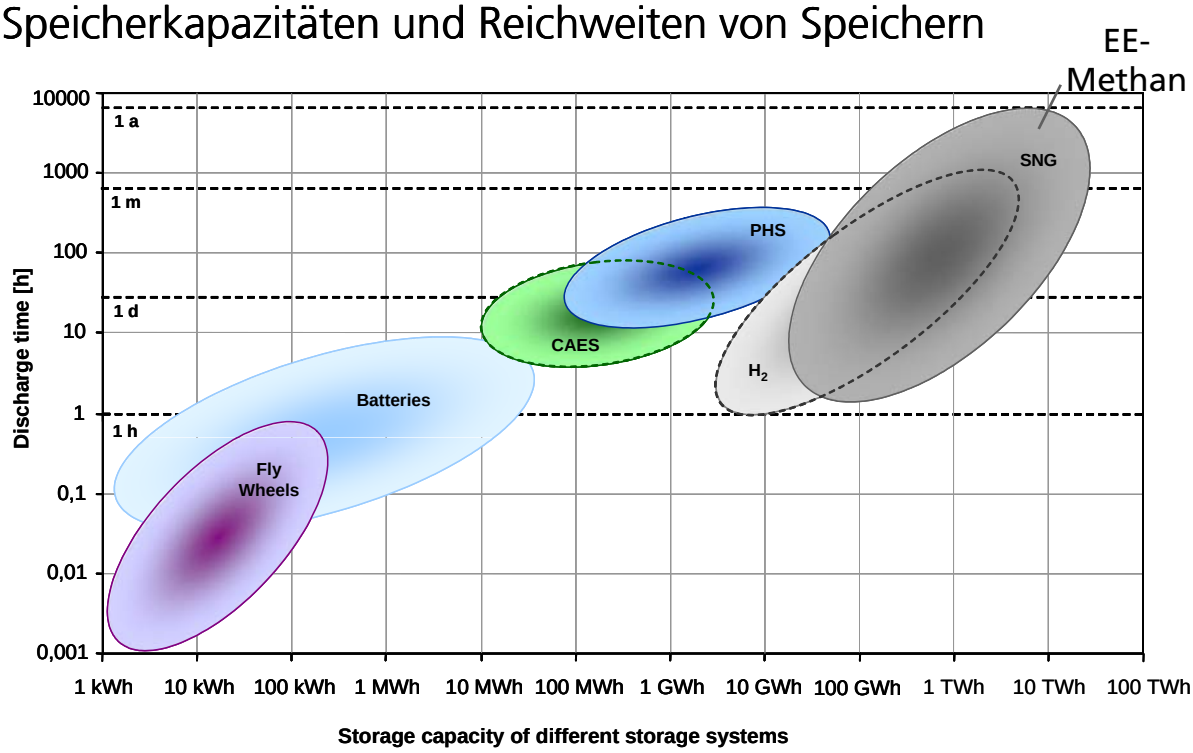
Kosten

- 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: Jentsch, Sterner, 2010; Specht et al, 2010

© Fraunhofer IWES

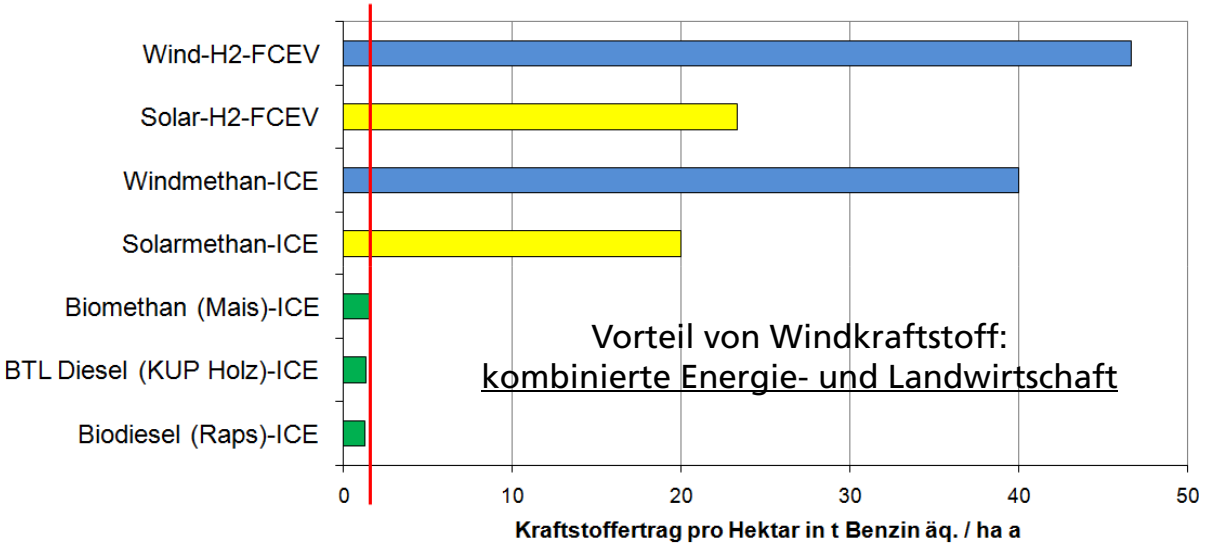
Speicherkapazitäten und Reichweiten von Speichern



Quelle: Sterner, 2009; Specht et al, 2010

© Fraunhofer IWES

Hektarertrag für regenerativen Kraftstoff in t_Benzin_eq./ ha a

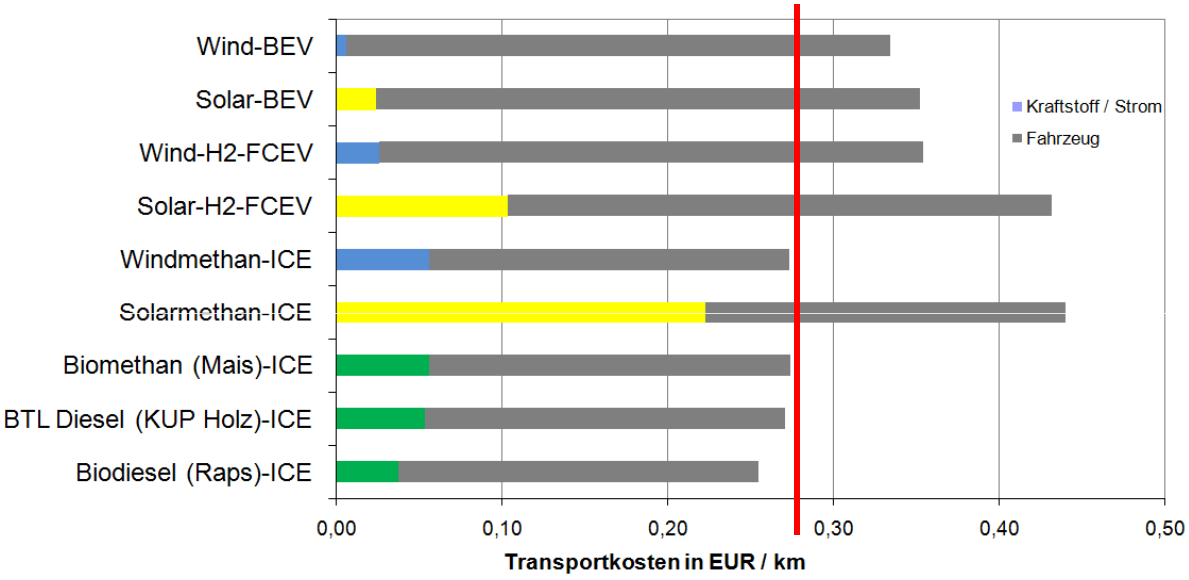


Quelle: IWES, LBST & ISI, EWI, DBFZ und Sterner, 2010 (FVEE Jahrestagung)

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Gesamt-Kilometerkosten in EUR / km



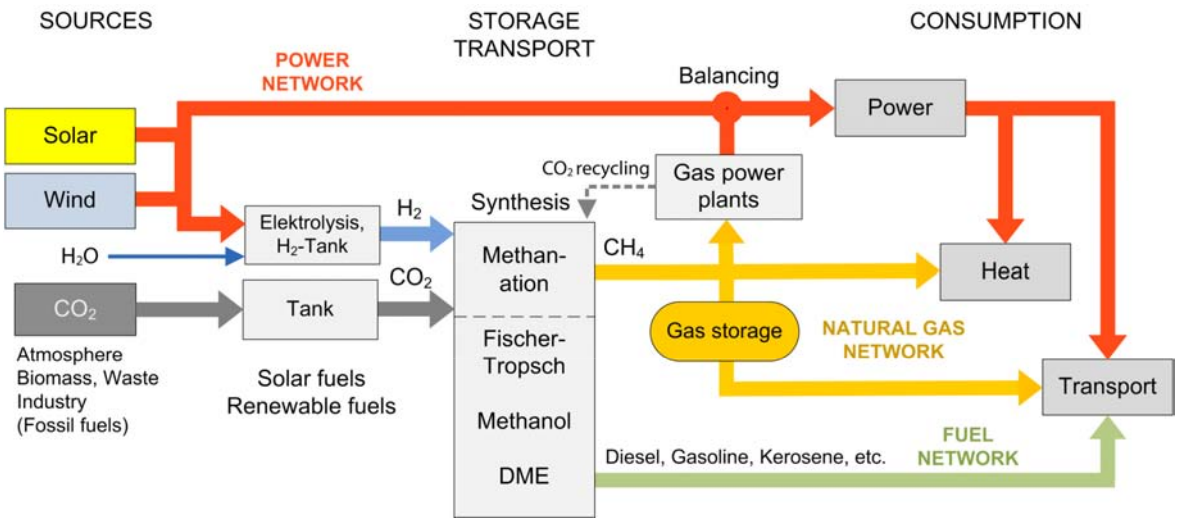
Windgas und Biokraftstoffe günstigste Option

Quelle: IWES, LBST & ISI, EWI, DBFZ und Sterner, 2010 (FVEE Jahrestagung)

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Wind (- und Solar) kraftstoffe für den Verkehr



- nationale **Langzeit**speicherung mit vorhandener **Infrastruktur** (Speicher, Pipelines, Gas-Kraftwerke + BHKW)
- **Energievektor** für Wind und Solar in den Verkehr

Quelle: Sterner, IPCC Special Report Renewable Energy 2011

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Erneuerbares Methan – Strom-zu-Gas - Vorteile

- Nutzung der vorhandenen Infrastruktur
  - Pipelines, Speicher, Kraftwerke, BHKW, Herde, Heizungen, Fahrzeuge
  - Immense Kostenersparnis; Austauschgas statt Zusatzgas
- Langzeitspeicherung von EE im Erdgasnetz – „ohne" Begrenzung
  - CH_4 (Erdgas) Langzeitspeicherung technisch erprobt und vorhanden
  - Vol. Energiedichte von CH_4 3x höher als von H_2
  - Kombination mit Biogas / Bioethanol oder CO_2 recycling im Gaskraftwerk
- CO_2-neutraler kohlenstoff-basierter Energieträger für Verkehr (und Wärme)
  - hohe Energiedichte, keine Begrenzung der KFZ-Reichweite
  - weniger Konkurrenz zu Nahrung bzw. landwirtschaftlichen Nutzflächen
- Minderung der Importabhängigkeit von Erdgas und Transportstaus
  - Übertragungskapazität von Gas vs. Strom: eine Größenordnung höher
  - „Gas" aus der Sahara – Pipeline zw. Algerien und Spanien vorhanden

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

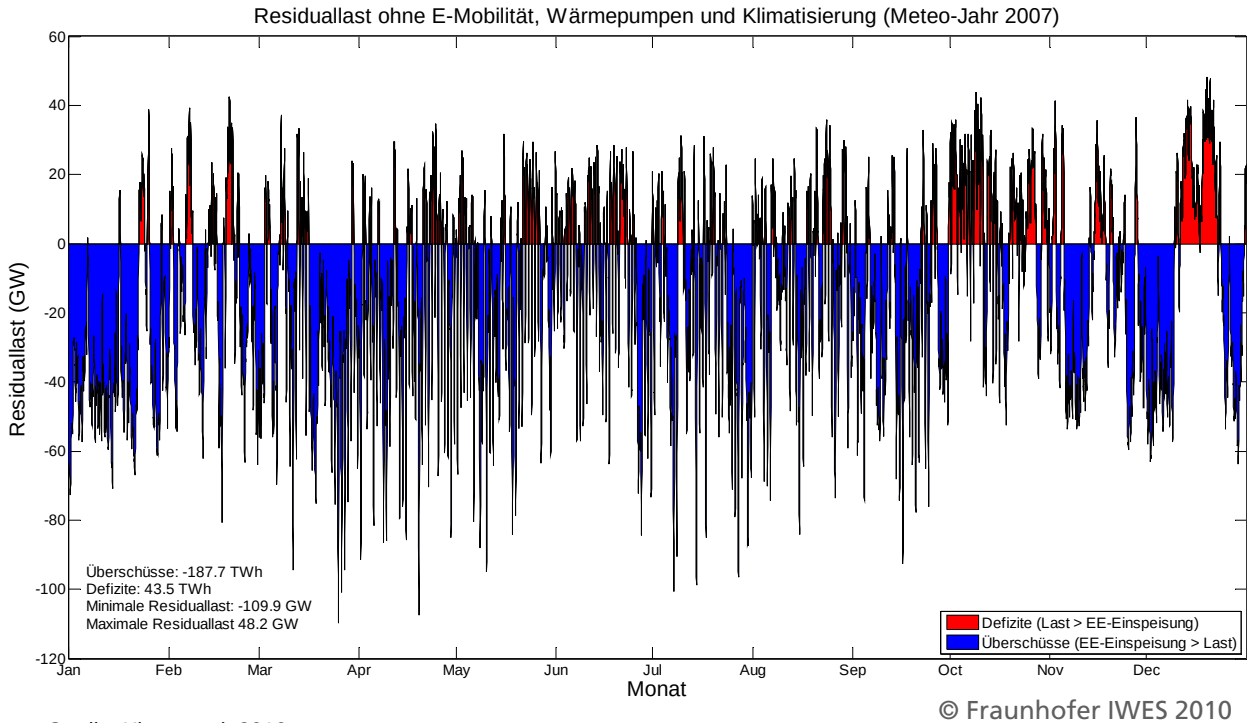
Inhalt

1. Situation heute
2. Ausgleichsoptionen
3. Netzausbau in D und EU
4. Erzeugungs- und Lastmanagement
5. Speicher
6. Effekt aller Maßnahmen im UBA 100% Energiekonzept
7. Fazit

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Residuallast ohne E-KFZ, Wärmepumpen und Klimatisierung



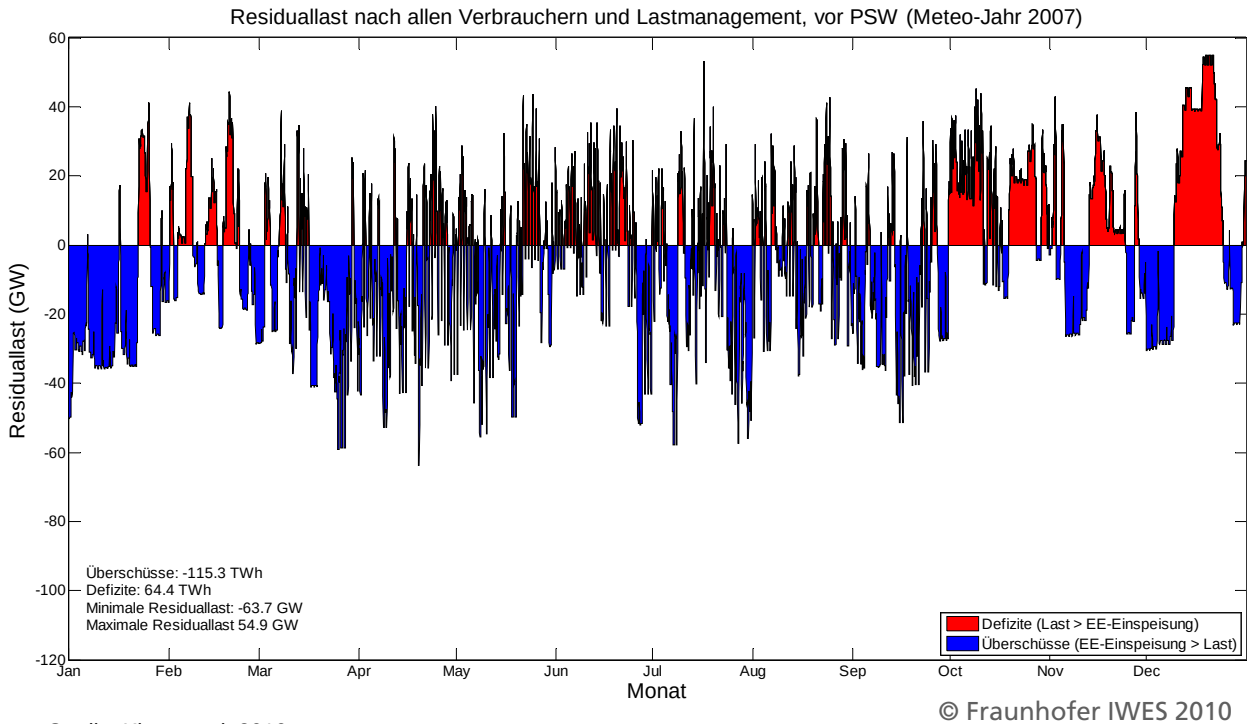
© Fraunhofer IWES 2010

Quelle: Klaus et al, 2010

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Residuallast nach Lastmanagement, vor Pumpspeichern



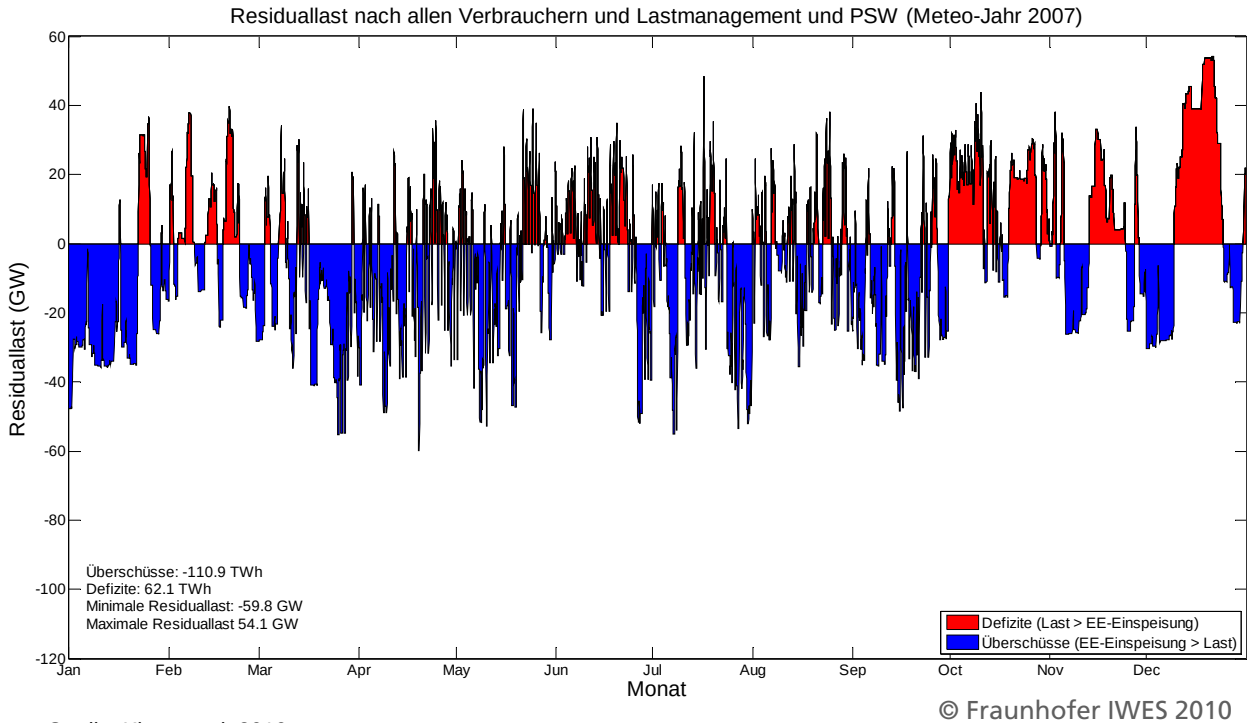
© Fraunhofer IWES 2010

Quelle: Klaus et al, 2010

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Residuallast nach Lastmanagement und Pumpspeichern



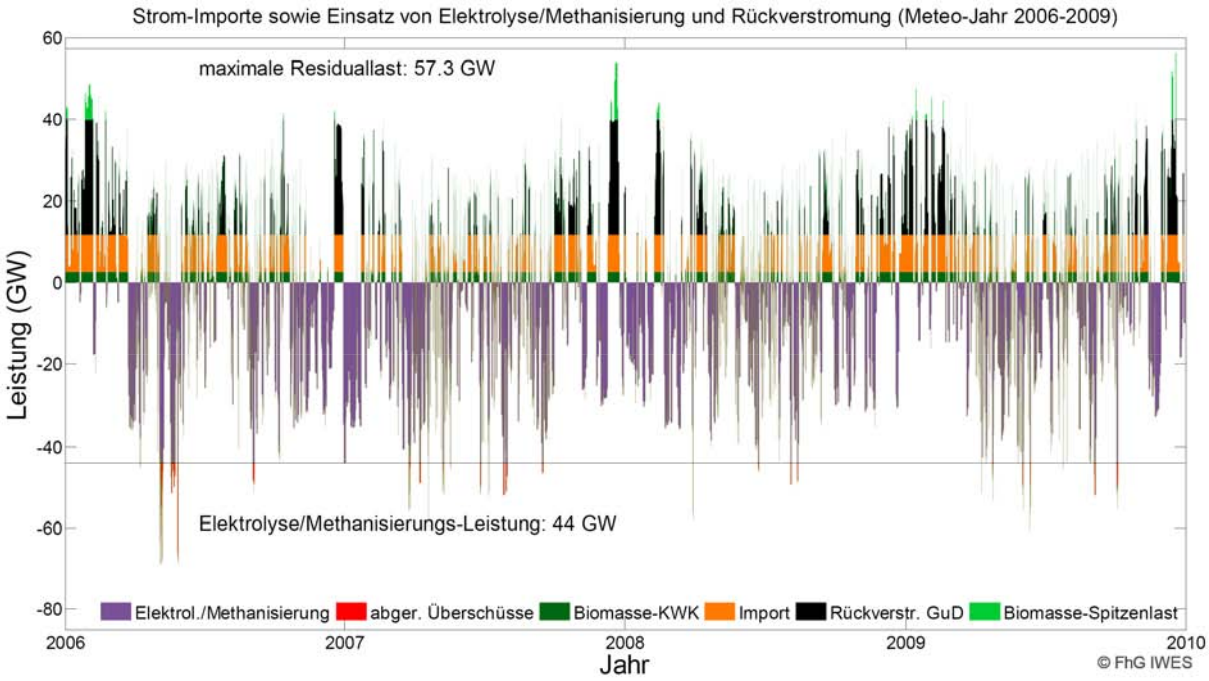
© Fraunhofer IWES 2010

Quelle: Klaus et al, 2010

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Deckung der Residuallast über 4 Jahre - Speichereinsatz

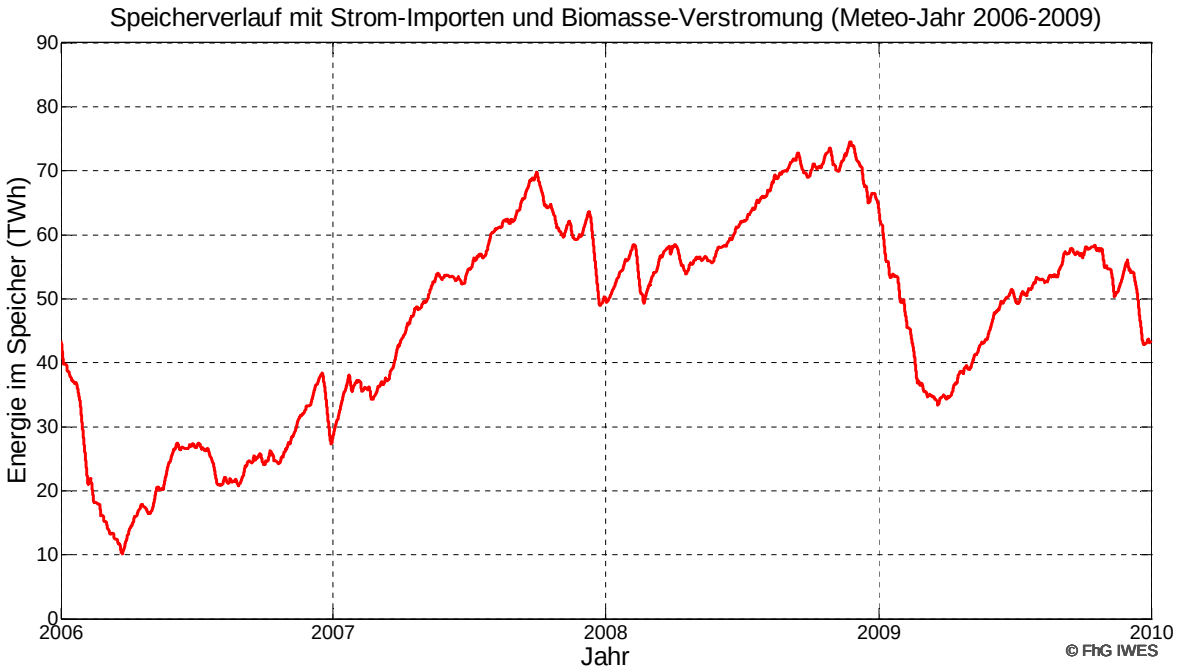


Quelle: Klaus et al, 2010

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Verlauf des Gasspeichers in TWh über 4 Jahre



Quelle: Klaus et al, 2010

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Fazit

technisch ökonomisch

- **Netzausbau** in D und EU (1) (?)
  - 1. Priorität, aber nicht finale Lösung
  - Kopplung von Strom- und Gasnetz sehr nützlich

Lokal unterschiedlich

- **Erzeugungs- und Lastmanagement** etablieren (2) (?)
  - Alle neuen Verbraucher über Lastmanagement an EE binden
  - Alle flexiblen EE-Quellen (v.a. Biomasse) auch flexibel einsetzen
- **Speicher** konzipieren, bauen, einsetzen (3) (?)
  - Wir brauchen alle nur verfügbaren Speicher (Kurzzeit und Langzeit)
  - EE „grundlastfähig" machen - dauerhafter Ersatz von konv. KW
  - Gas-KW als Brückentechnologie etablieren und später mit EE-Gas nutzen
- **Gesamtbewertung** der Ausgleichsoptionen **global** und **lokal** durchführen und **Einsatz** entsprechend **optimieren**

Vielen Dank

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Quellen und weiterführende Informationen (1)

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

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

Bauer 50 HzT, 2010: Netzausbau – Auswirkungen der dezentralen Energieerzeugung auf den Ausbau der Übertragungsnetze – Energieforen Leipzig, 20.10.2010. 50 Hertz Transmission GmbH, Berlin.

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Quellen und weiterführende Informationen (2)

Sterner, M.; Specht, M.; Ebert, G. (2010): Technologievergleich einer regenerativen Energieversorgung des Verkehrs. FVEE Jahreskonferenz 2010, Berlin.

Jentsch, M.; Sterner, M. (2010): Betriebskonzepte von SolarFuel Anlagen und deren Wirtschaftlichkeit. Fraunhofer IWES, Kassel.

UBA Klaus, T. et al. (2010): Energieziel 2050: 100% EE – UBA, Dessau.

DBFZ Müller-Langer, F. et al. (2008): Technische und ökonomische Bewertung von Bioenergie-Konversionspfaden. WBGU Expertise. Deutsches BiomasseForschungsZentrum, Leipzig.

EWI Richter, J. et al. (2010): Potentiale der Elektromobilität bis 2050. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, Köln.

LBST und Fraunhofer ISI Wietschel et al. (2010): Vergleich von Strom und Wasserstoff als CO_2-freie Endenergieträger. Fraunhofer ISI und Ludwig-Bölkow-Systemtechnik, Karlsruhe / Ottobrunn.

Van Hulle, 2009: Developing Europe's power market for the large-scale integration of wind power - results from TradeWind Study, 14th Kassel Symposium Energy Systems Technology, 24-25 September 2009

Hoffmann, von Bremen 2009: Storage and Transport Capacities in Europe for a full renewable power supply system – Siemens – ISET Study, Siemens Corporate Technology, , 14th Kassel Symposium Energy Systems Technology, 24-25 September 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Kontakt

Fraunhofer IWES

Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik

Gruppe Energiewirtschaft und Systemanalyse

Dr.-Ing. Michael Sterner

+49 – 561 – 72 94 361

michael.sterner_at_iwes.fraunhofer.de

M.Sc. Norman Gerhardt

+49 – 561 – 72 94 274

norman.gerhardt_at_iwes.fraunhofer.de

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES