
Klimaschutz durch eine Vollversorgung mit erneuerbaren Energien – unser Weg dahin

Dr.-Ing. Michael Sterner, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmid, Dr. Michael Specht et al.



30.04.2010
Greenpeace
Energie-Treffen

© Fraunhofer IWES



WBGU

Fraunhofer
IWES

Inhalt

- 1) Klimaschutz durch eine Dekarbonisierung des Energiesystems
Warum wir eine Transformation brauchen
- 2) Wege aus dem Energie-Klima-Dilemma
Warum das am besten mit EE geht
- 3) Energieeffizienz durch erneuerbare Energien
Warum erneuerbarer Strom zur Primärenergie wird
- 4) Herausforderungen im Übergang zu 100% EE
Welche Probleme / Blockaden überwunden werden müssen
- 5) Lösungsansätze zur Integration erneuerbarer Energien
Wie wir den Übergang schaffen
- 6) Die Transformation der Energiesysteme
Wie unsere regenerative Zukunft aussehen kann

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer
IWES

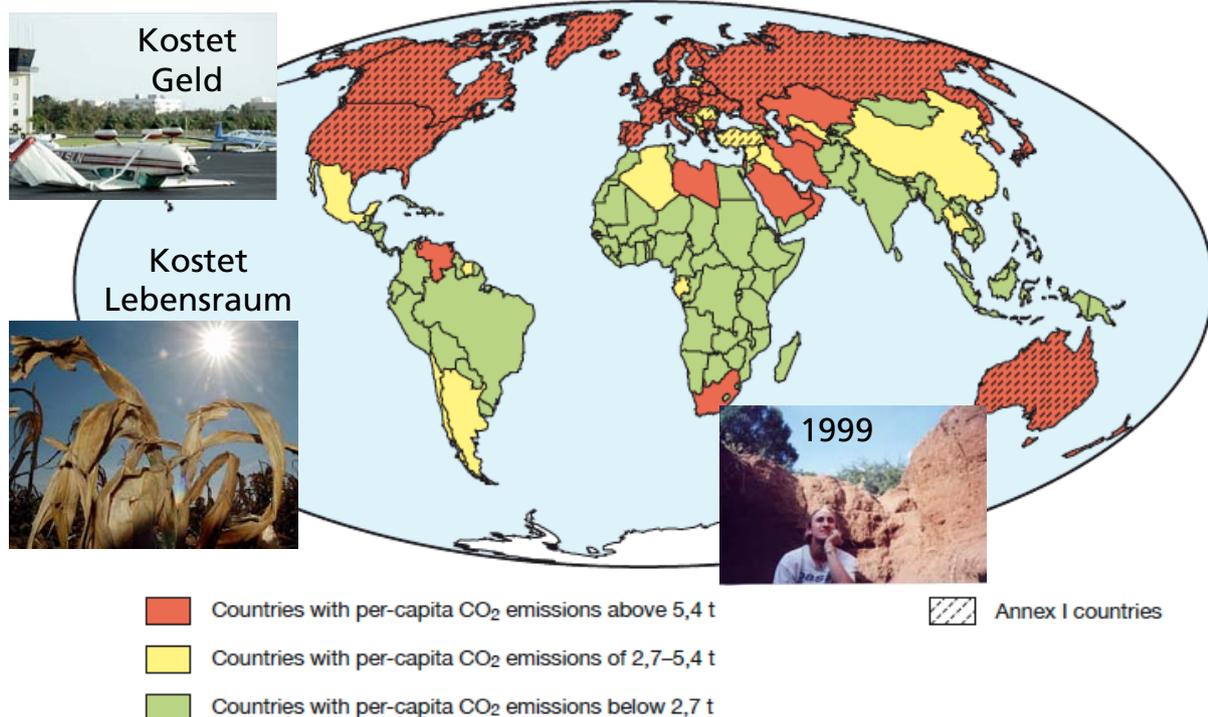
Inhalt

- 1) Klimaschutz durch eine Dekarbonisierung des Energiesystems
Warum wir eine Transformation brauchen
- 2) Wege aus dem Energie-Klima-Dilemma
Warum das am besten mit EE geht
- 3) Energieeffizienz durch erneuerbare Energien
Warum erneuerbarer Strom zur Primärenergie wird
- 4) Herausforderungen im Übergang zu 100% EE
Welche Probleme / Blockaden überwunden werden müssen
- 5) Lösungsansätze zur Integration erneuerbarer Energien
Wie wir den Übergang schaffen
- 6) Die Transformation der Energiesysteme
Wie unsere regenerative Zukunft aussehen kann

© Fraunhofer IWES

 **Fraunhofer**
IWES

CO₂ Emissionen pro Kopf – Stand heute



Quelle: WBGU, 2009

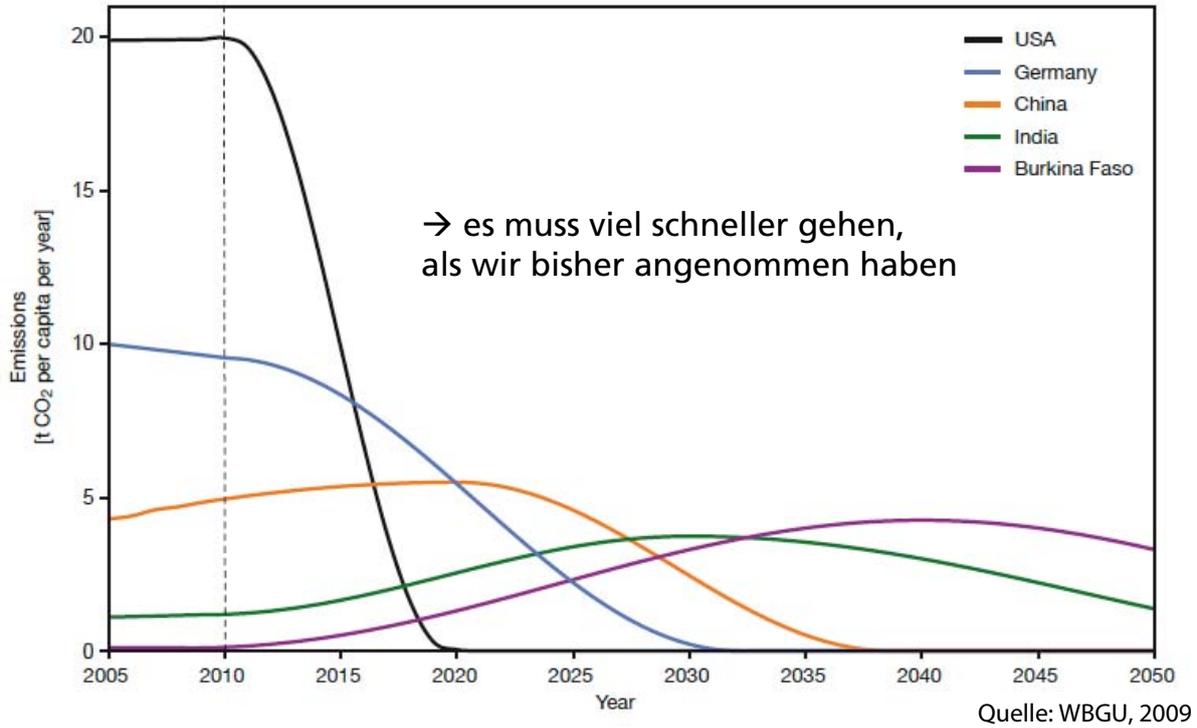
© Fraunhofer IWES



WBGU

 **Fraunhofer**
IWES

CO₂ Emissionen pro Kopf – Beispiele für verbleibende Budgets



© Fraunhofer IWES

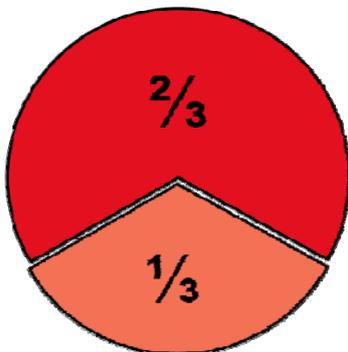


WBGU

Fraunhofer IWES

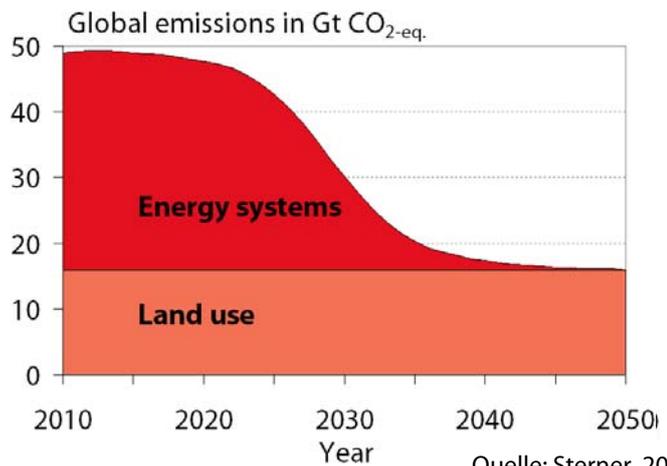
Globale Emissionen & erforderliche Reduktionen

Energiesysteme
(Strom, Wärme, Transport)



Landnutzung
(Land- und Forstwirtschaft, Abfall)

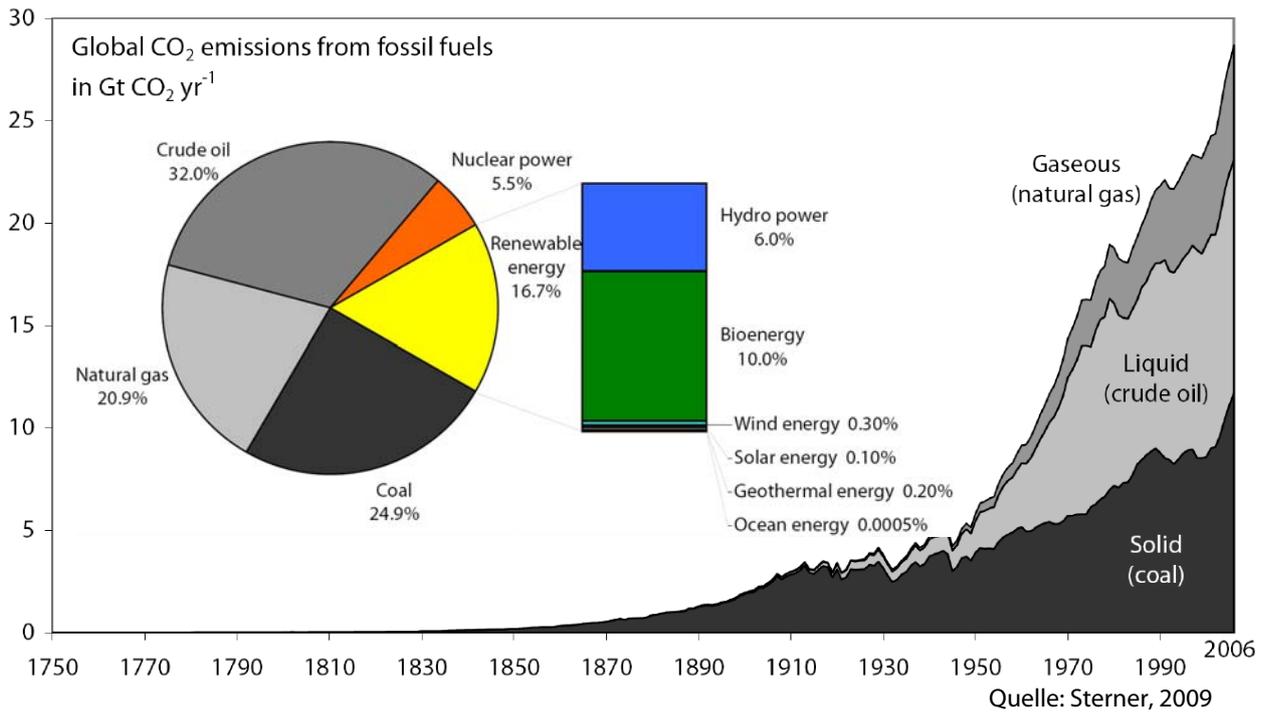
Jährliche Emissionen: 50 Gt CO₂-eq.
 Begrenzung der Erderwärmung auf 2°C
 Budget bis 2050: 1,300 Gt CO₂-eq.
 Energie-Budget: ca. 700 Gt CO₂-eq.



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

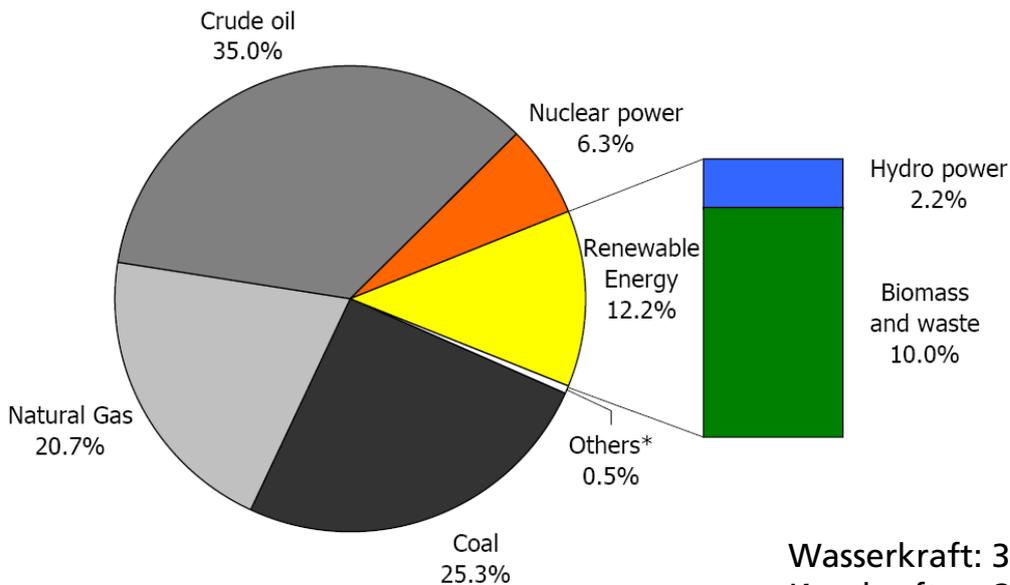
Energiebedingte Emissionen zwischen 1750 und 2006



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Globaler Primärenergiebedarf - Wirkungsgradmethode



Wasserkraft: 3110 TWh
Kernkraft: 2970 TWh

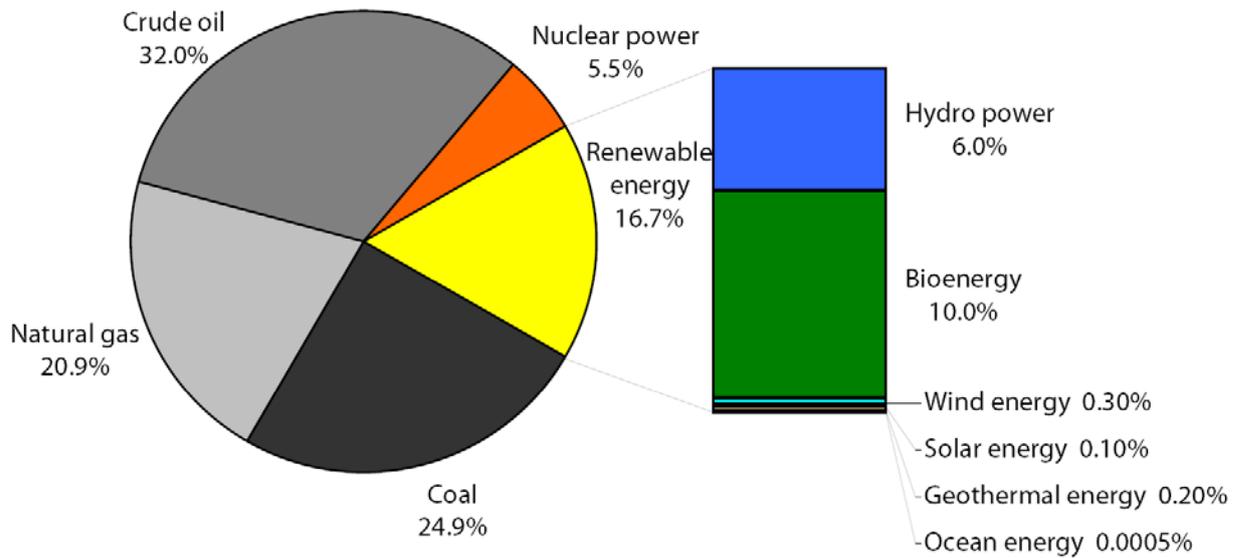
(thermodynamisch umstritten, bzw. nicht korrekt) – Quelle: IEA, 2008, * other renewables

Quelle: Sterner, 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Globaler Primärenergiebedarf - Substitutionsmethode



(thermodynamisch korrekt) Quelle: BP, 2008; REN21, 2008; GWEC, 2008

Quelle: Sterner, 2009

Inhalt

- 1) Klimaschutz durch eine Dekarbonisierung des Energiesystems
Warum wir eine Transformation brauchen
- 2) Wege aus dem Energie-Klima-Dilemma
Warum das am besten mit EE geht
- 3) Energieeffizienz durch erneuerbare Energien
Warum erneuerbarer Strom zur Primärenergie wird
- 4) Herausforderungen im Übergang zu 100% EE
Welche Probleme / Blockaden überwunden werden müssen
- 5) Lösungsansätze zur Integration erneuerbarer Energien
Wie wir den Übergang schaffen
- 6) Die Transformation der Energiesysteme
Wie unsere regenerative Zukunft aussehen kann

Wege aus dem Energie-Klima-Dilemma (1)

Energieeffizienz

- Energieeinsparungen ohne Komforteinbußen

Kernkraft

- Energiebeitrag global: knapp 6%
- Verdoppelung spart im Idealfall 6% fossile Energieträger ein
- 6% von 67% Emissionen sind 4%
 - 4% Emissionsreduktion durch die Verdoppelung der Kernkraft
 - Verdoppelung der ungelösten Probleme (Ressourcenknappheit, Proliferation, GAU & Terror, Entsorgung)

Wege aus dem Energie-Klima-Dilemma (2)

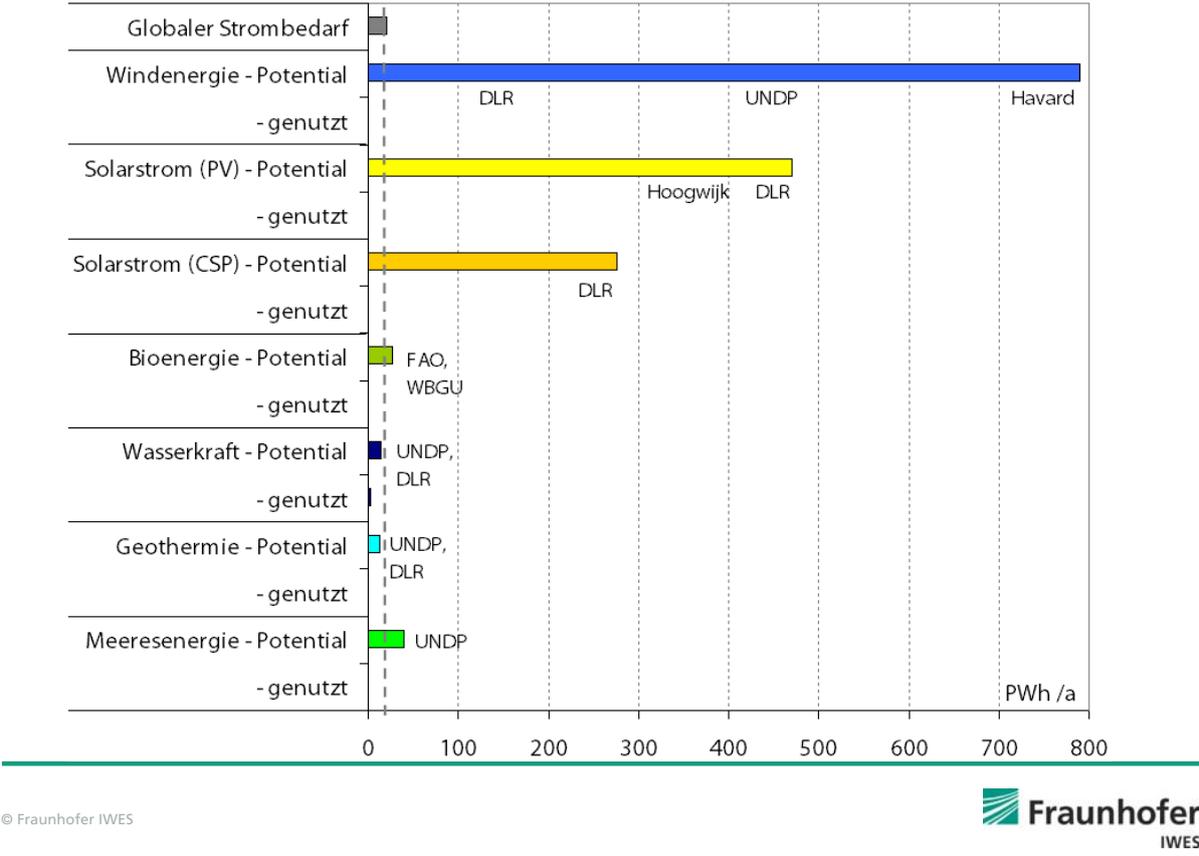
Saubere fossile Energie durch CCS

- Nur etwa 80% können abgetrennt werden
- Für nur etwa 50% der fossilen CO₂-Emissionen praktikabel (50% aus verteilten & mobilen Quellen) → maximal 40% CO₂ (ca. 13% globaler THG) vermeidbar
- Global noch nicht verfügbar & Konkurrenz zu Geothermie & Gasspeichern
- Ungelöste „Endlagerung“ (begrenzte Speicher, Lecks, Kosten, Akzeptanz)

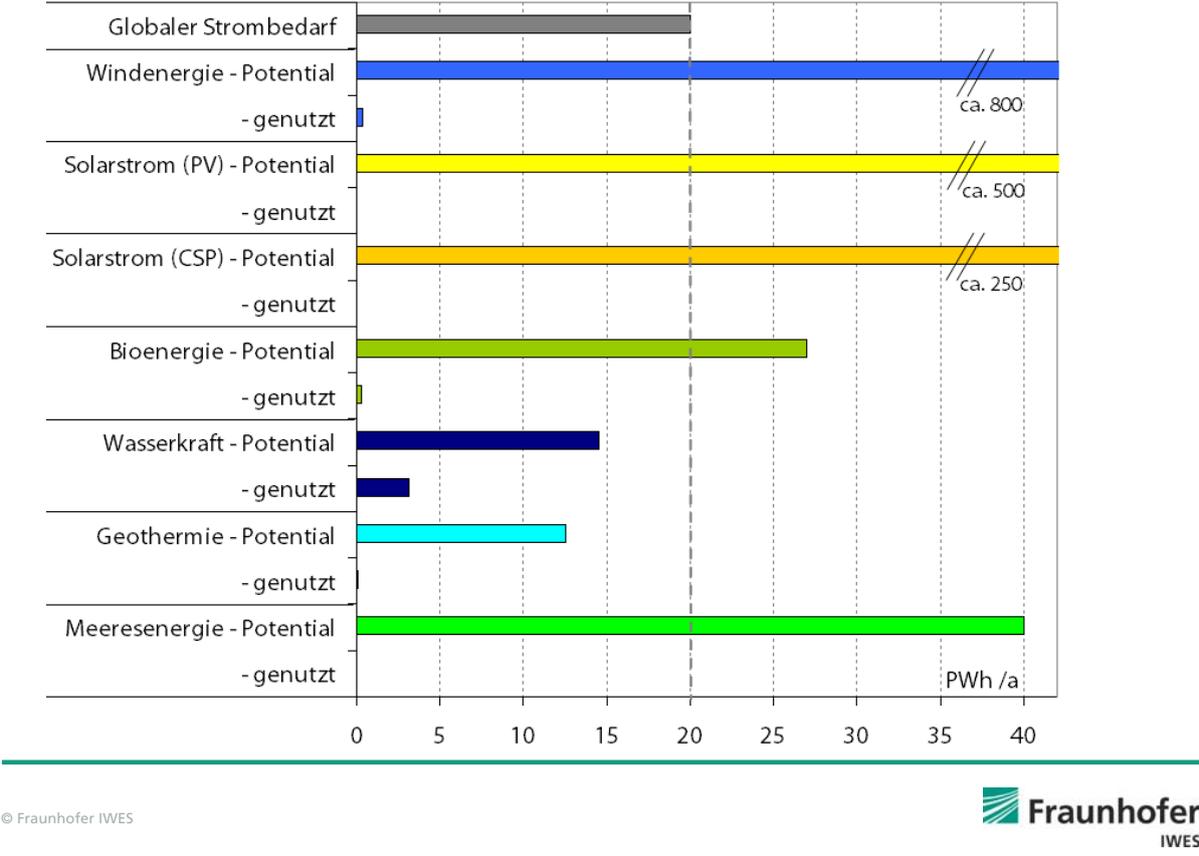
Wechsel von Kohle / Erdöl auf Erdgas

- begrenzte Ressourcen und Potentiale (Kohleersatz → - 10%; Ölersatz → - 7%)

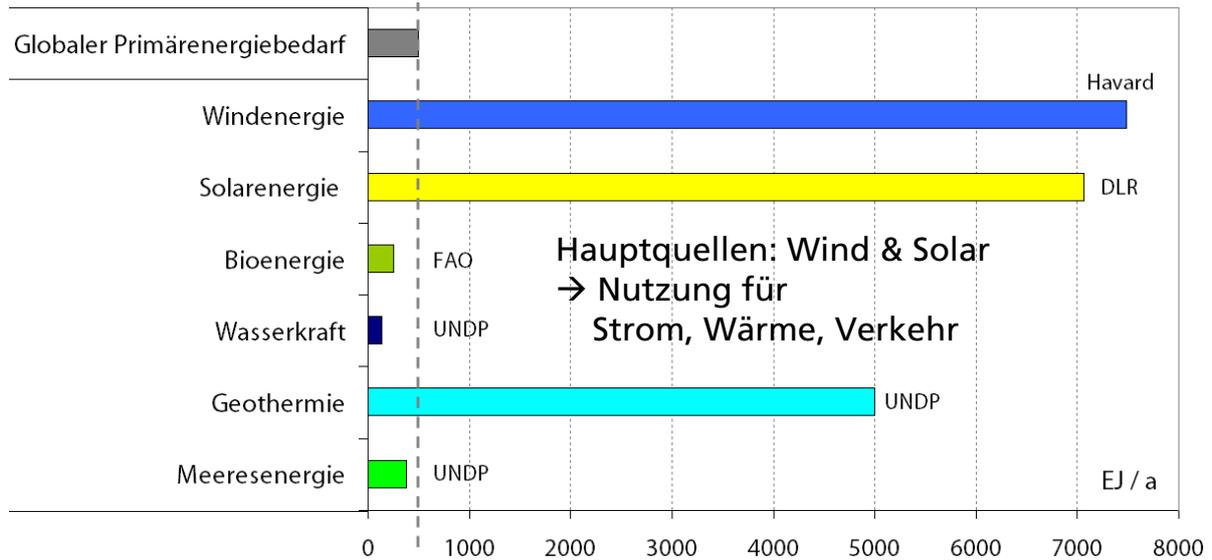
Das technische Potential erneuerbarer Energien weltweit



Das technische Potential erneuerbarer Energien weltweit



Das technische Potential erneuerbarer Energien weltweit



Wege aus dem Energie-Klima-Dilemma (3)

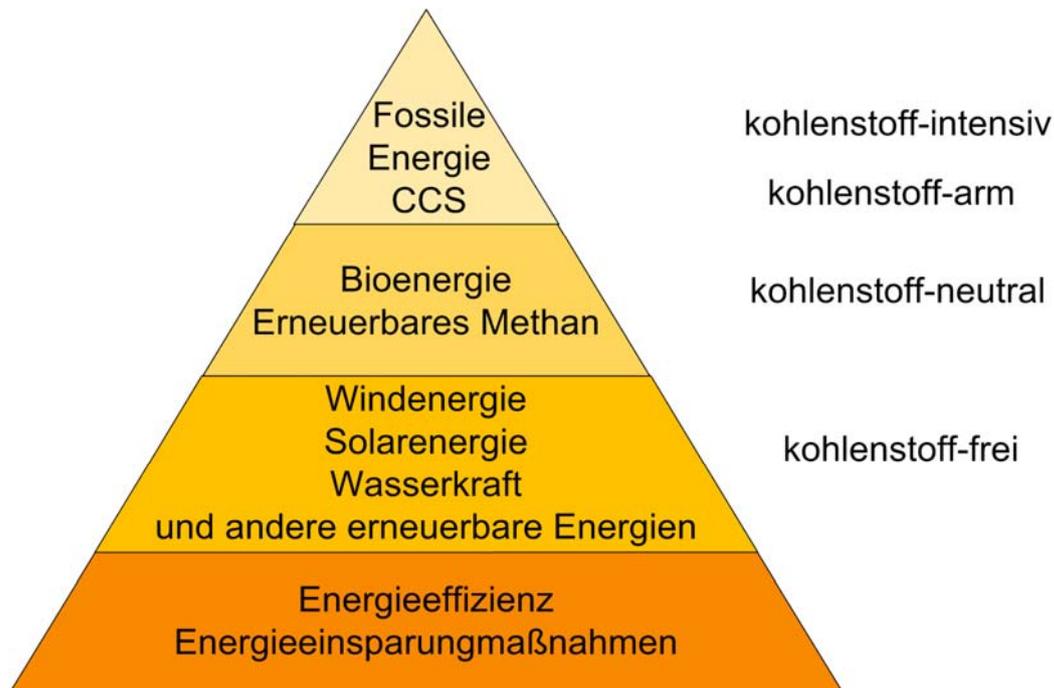
Erneuerbare Energien – Wind / Solar / Wasserkraft / Meeresenergie:

- „Direkt“ erzeugter Strom – ohne thermische Verluste
- Nahezu „null“ Emissionen
- Ausreichend Potential
- Hauptproblem: meteorologische Abhängigkeit – Speicherung – Ausgleich

Erneuerbare Energien - Bioenergie:

- Flexibel einsetzbar, speicherbar, geografisch gut verteilt
- Potential begrenzt durch Nutzungskonkurrenzen (Nahrung, Futtermittel, Material, Chemie, Boden, Wasser, Biodiversität)
- Klimaschutzwirkung nicht immer positiv:
Landnutzung ← Bioenergie → Energie

Optionen für eine emissionsarme Energieversorgung

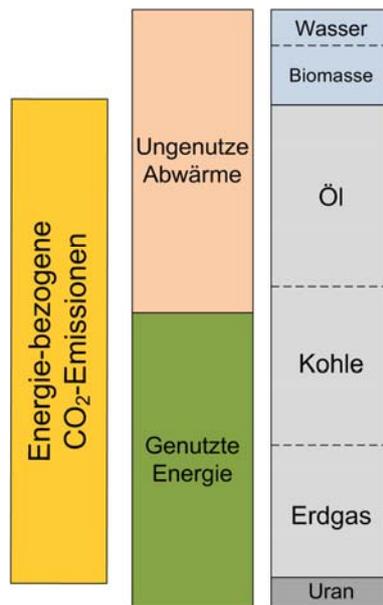


Quelle: Sterner, 2009

Inhalt

- 1) Klimaschutz durch eine Dekarbonisierung des Energiesystems
Warum wir eine Transformation brauchen
- 2) Wege aus dem Energie-Klima-Dilemma
Warum das am besten mit EE geht
- 3) Energieeffizienz durch erneuerbare Energien
Warum erneuerbarer Strom zur Primärenergie wird
- 4) Herausforderungen im Übergang zu 100% EE
Welche Probleme / Blockaden überwunden werden müssen
- 5) Lösungsansätze zur Integration erneuerbarer Energien
Wie wir den Übergang schaffen
- 6) Die Transformation der Energiesysteme
Wie unsere regenerative Zukunft aussehen kann

Ziel: Vermeidung von Abwärme und Emissionen



Heute

Quelle: Sterner, 2009

© Fraunhofer IWES



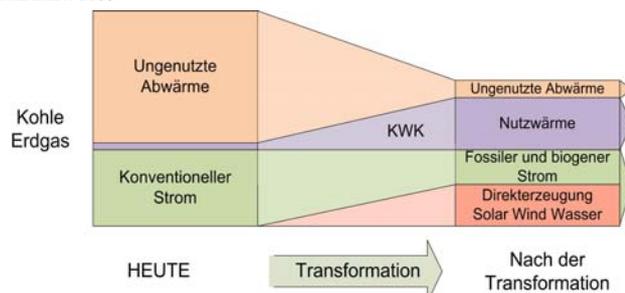
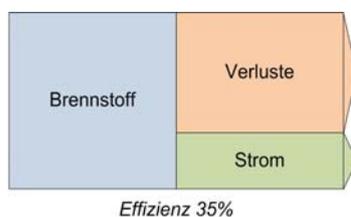
Effizienzsprung KWK und direkt erzeugter Strom aus EE

1) Energieeffizienz (trad. Biomasse, etc.)

Stromerzeugung

2) Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung

3) Ausbau der erneuerbaren Energien (Wind, Solar, Wasser)



Quelle: Sterner, Schmid, Wickert, BWK 06/08, 2008; WBGU, 2008

© Fraunhofer IWES



WBGU

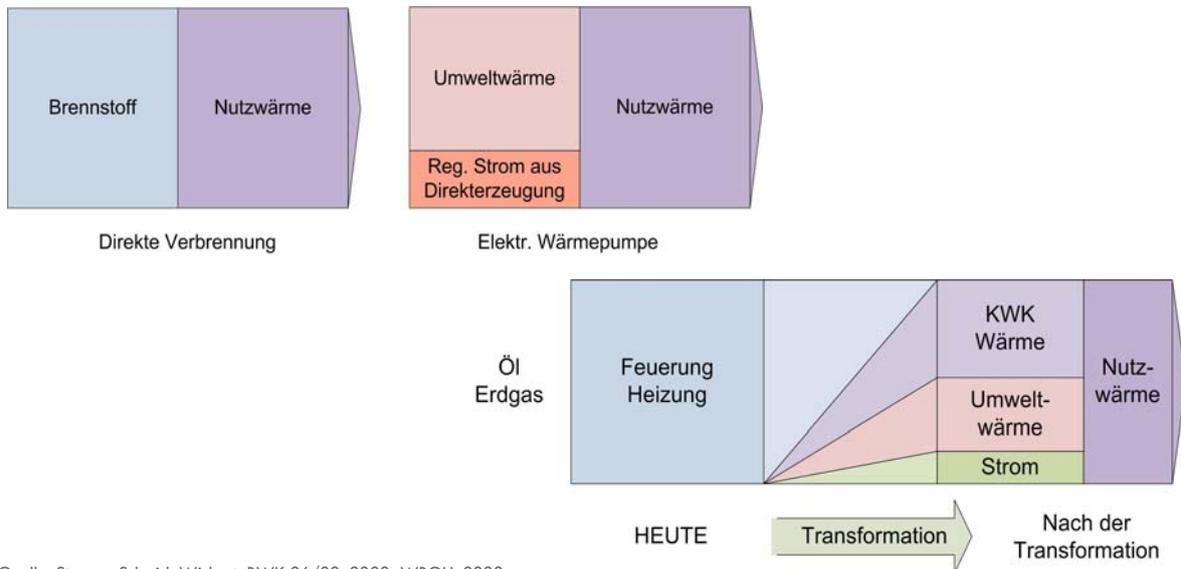


Effizienzsprung regenerative Wärmepumpen (Geothermie)

Wärmebereitstellung

4) Nutzung von Elektrowärmepumpen

2) Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung



Quelle: Sterner, Schmid, Wickert, BWK 06/08, 2008; WBGU, 2008

© Fraunhofer IWES



WBGU



Effizienzsprung Elektromobilität: Faktor 3 - 4

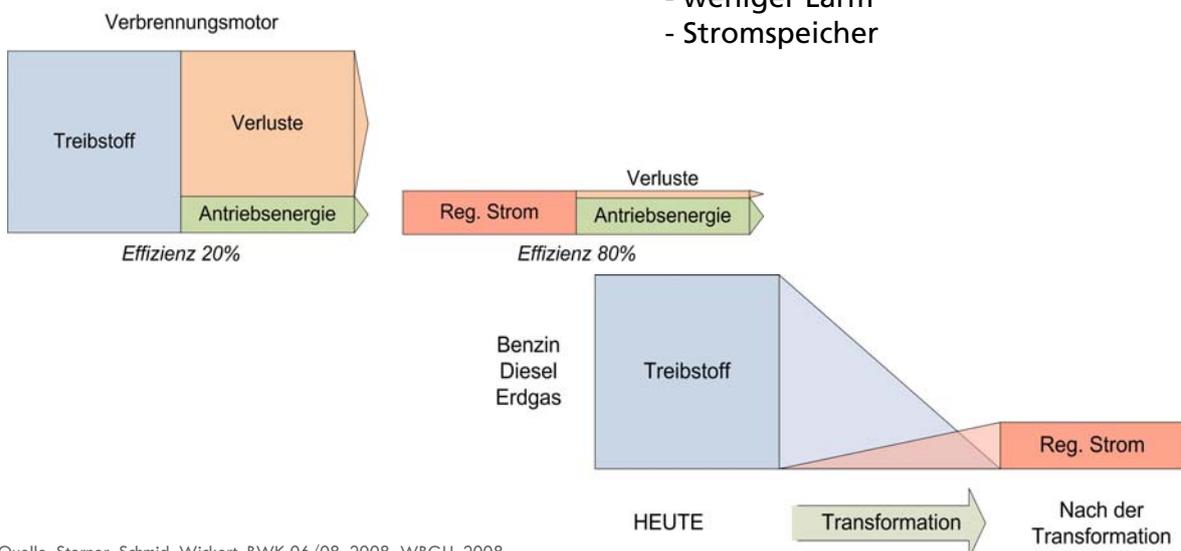
Verkehr

5) Umstieg auf Elektromobilität

2) Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung

Vorteile der Elektromobilität:

- Abwärmenutzung möglich
- CO₂-Abtrennung möglich
- weniger Feinstaub in den Städten
- weniger Lärm
- Stromspeicher



Quelle: Sterner, Schmid, Wickert, BWK 06/08, 2008; WBGU, 2008

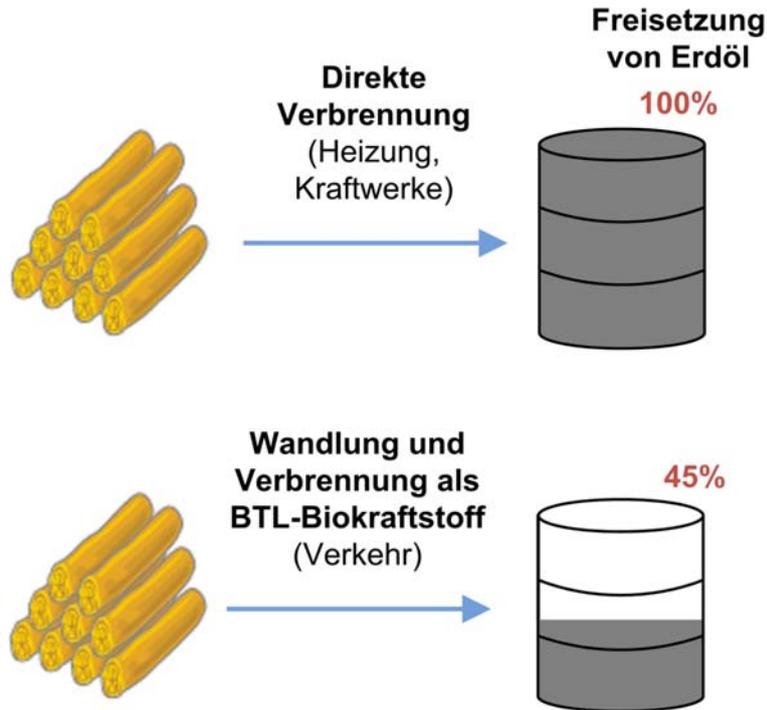
© Fraunhofer IWES



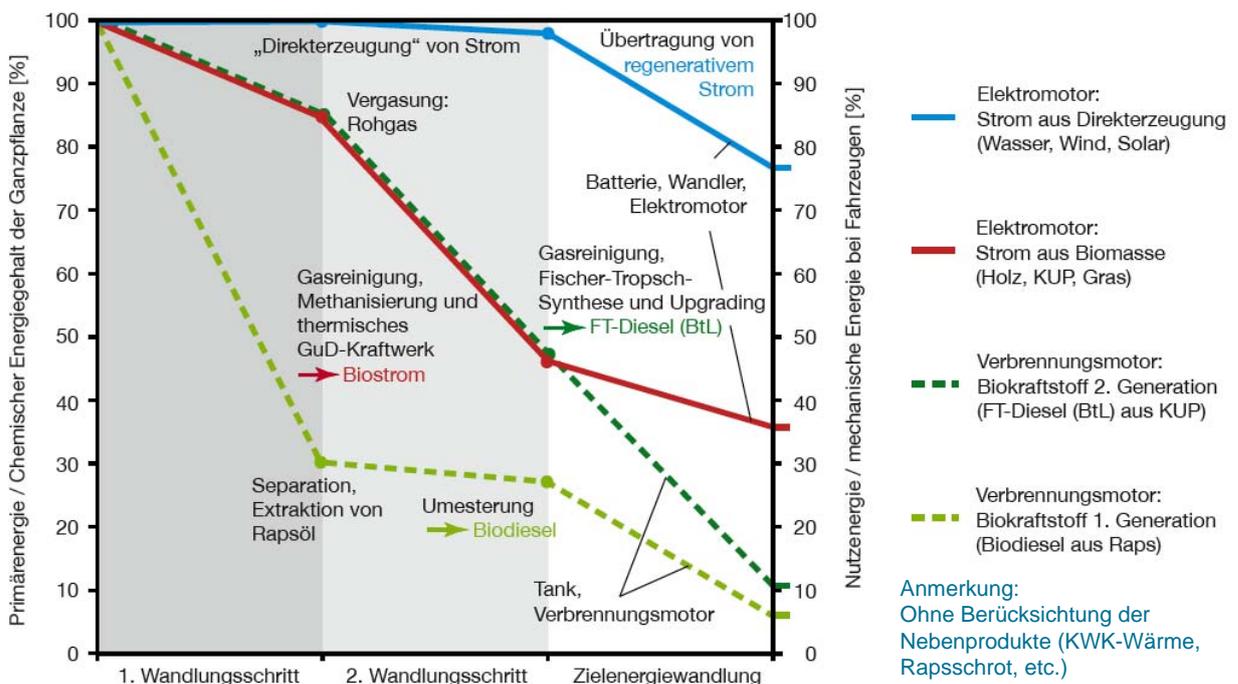
WBGU



Holzartige Biomasse als Erdölersatz



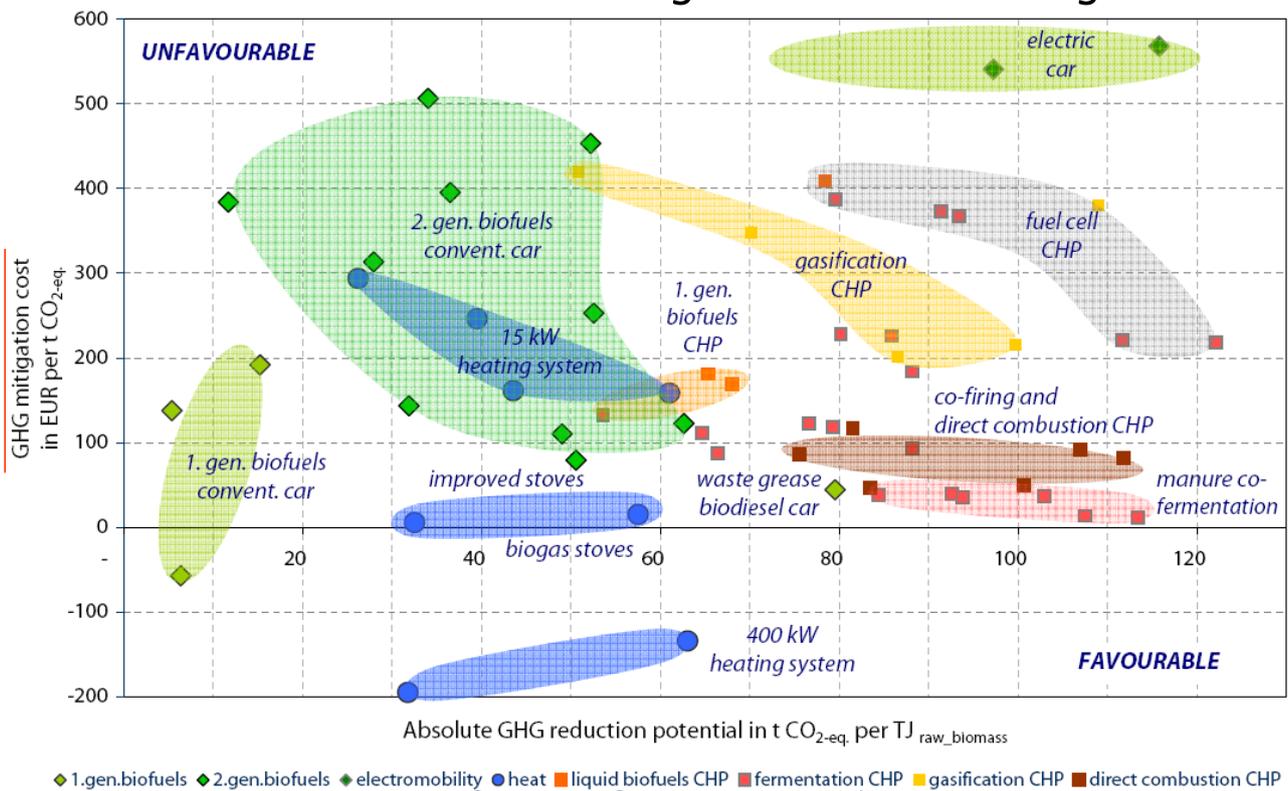
Bioenergie im Verkehr - Wirkungsgrade



Anmerkung:
Ohne Berücksichtigung der Nebenprodukte (KWK-Wärme, Rapsschrot, etc.)

Quelle: WBGU, 2008

THG-Bilanzen und Vermeidungskosten von Bioenergie

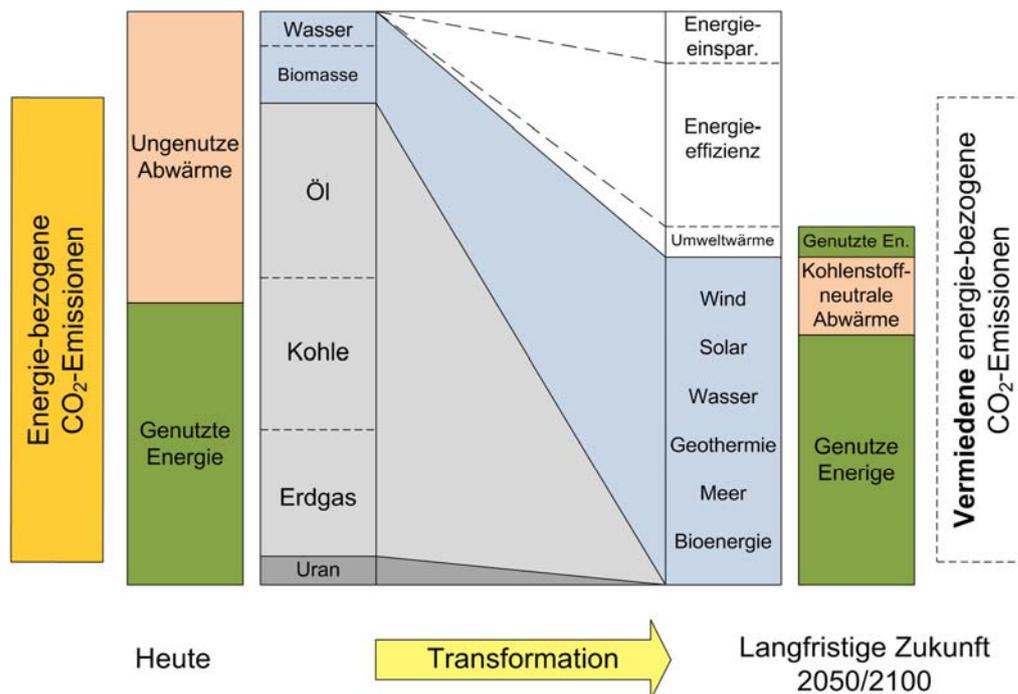


Source: Sterner, 2009

© Fraunhofer IWES



Lösung: Vermeidung von Abwärme und Emissionen durch EE
→ Erneuerbarer Strom wird zur Primärenergie



Quelle: Sterner, 2009

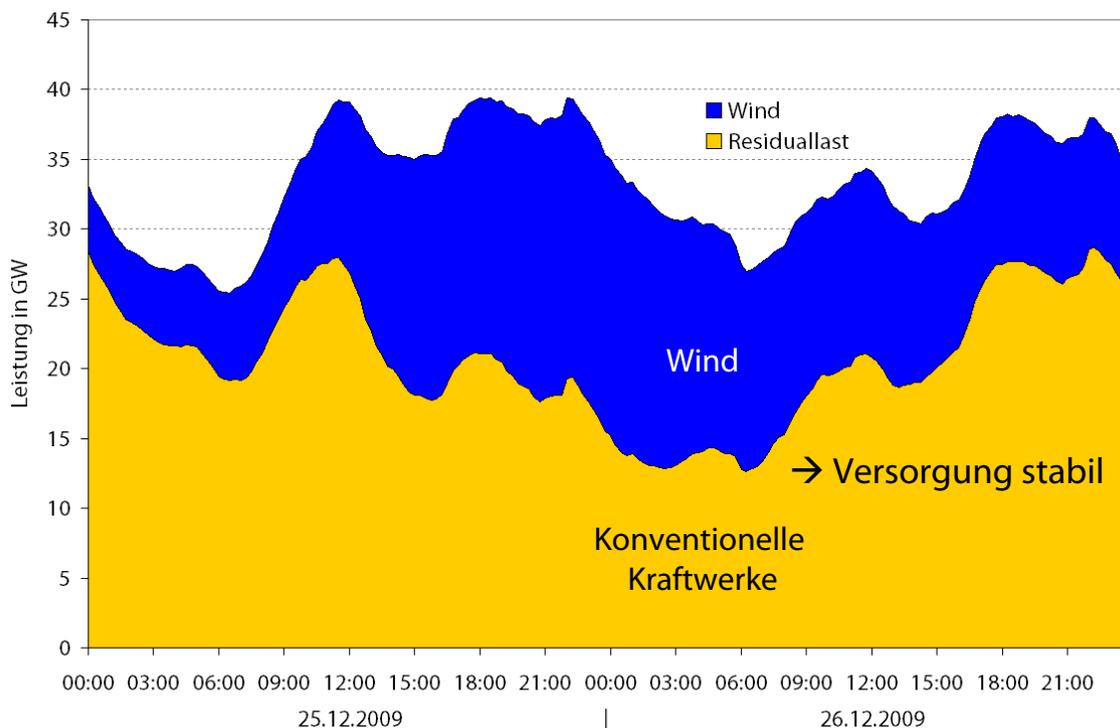
© Fraunhofer IWES



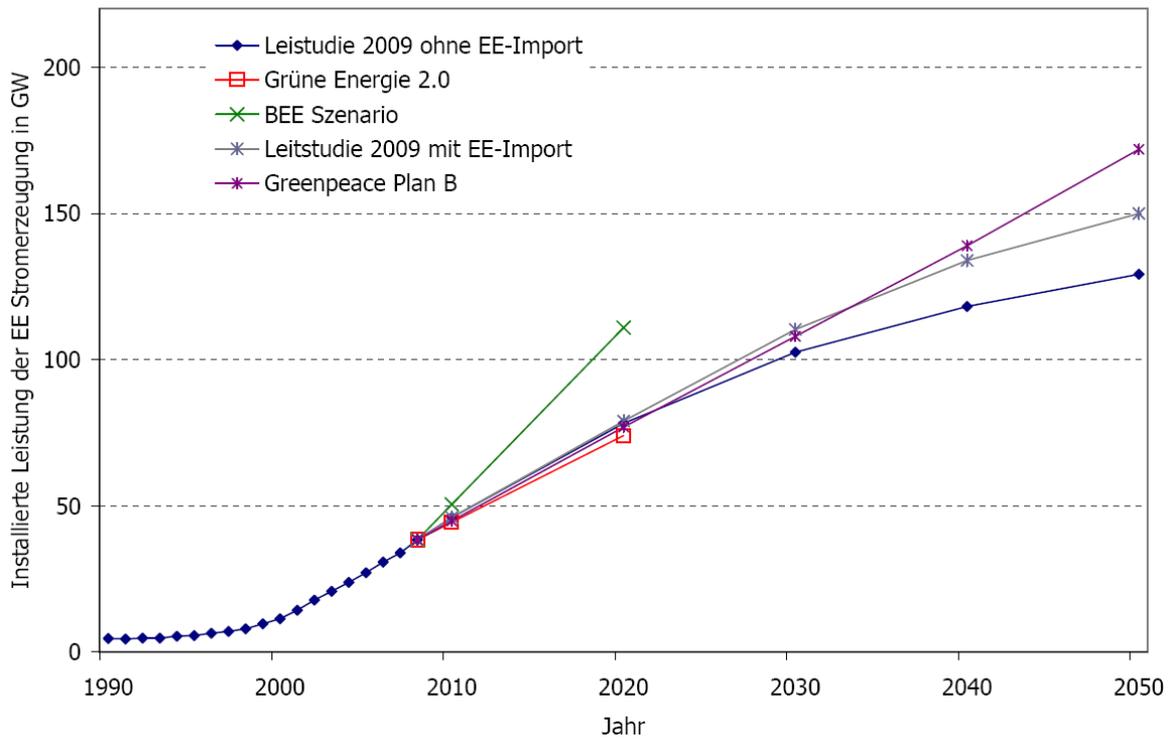
Inhalt

- 1) Klimaschutz durch eine Dekarbonisierung des Energiesystems
Warum wir eine Transformation brauchen
- 2) Wege aus dem Energie-Klima-Dilemma
Warum das am besten mit EE geht
- 3) Energieeffizienz durch erneuerbare Energien
Warum erneuerbarer Strom zur Primärenergie wird
- 4) Herausforderungen im Übergang zu 100% EE
Welche Probleme / Blockaden überwunden werden müssen
- 5) Lösungsansätze zur Integration erneuerbarer Energien
Wie wir den Übergang schaffen
- 6) Die Transformation der Energiesysteme
Wie unsere regenerative Zukunft aussehen kann

Die Situation heute – Einspeisung Weihnachten 2009



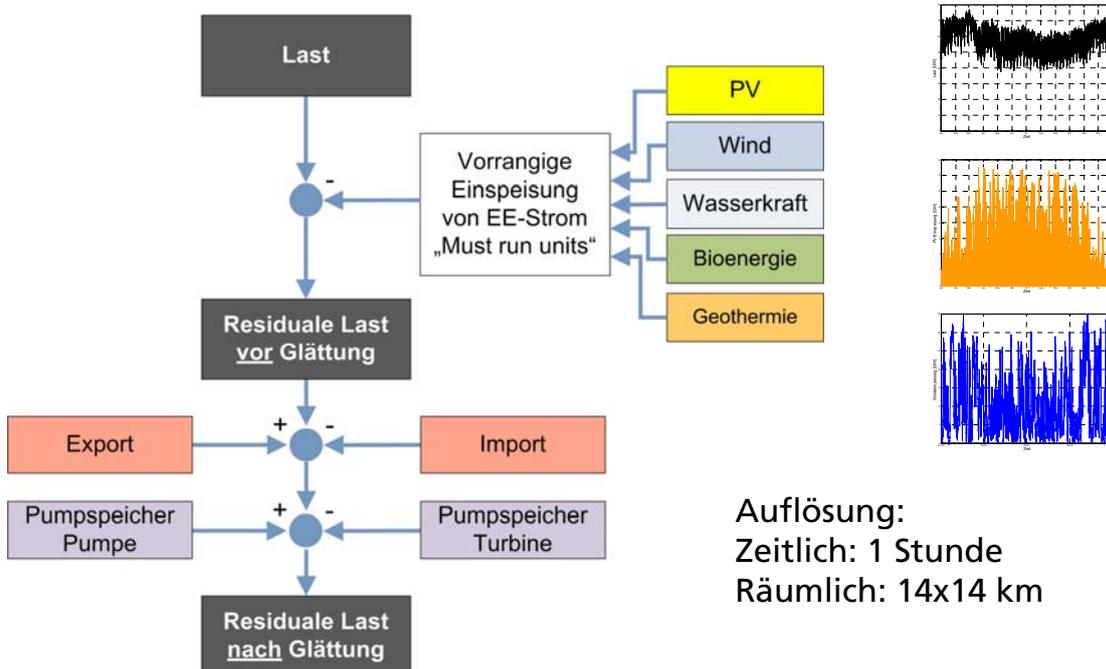
Szenarienvergleich: Installierte EE-Leistung



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Dynamische Modellierung der erneuerbaren Einspeisung Aufbau des Modells SimEE



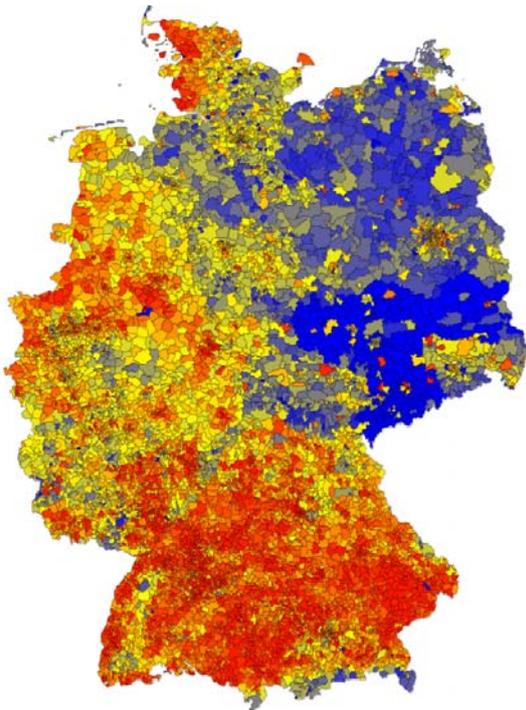
Auflösung:
Zeitlich: 1 Stunde
Räumlich: 14x14 km

Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

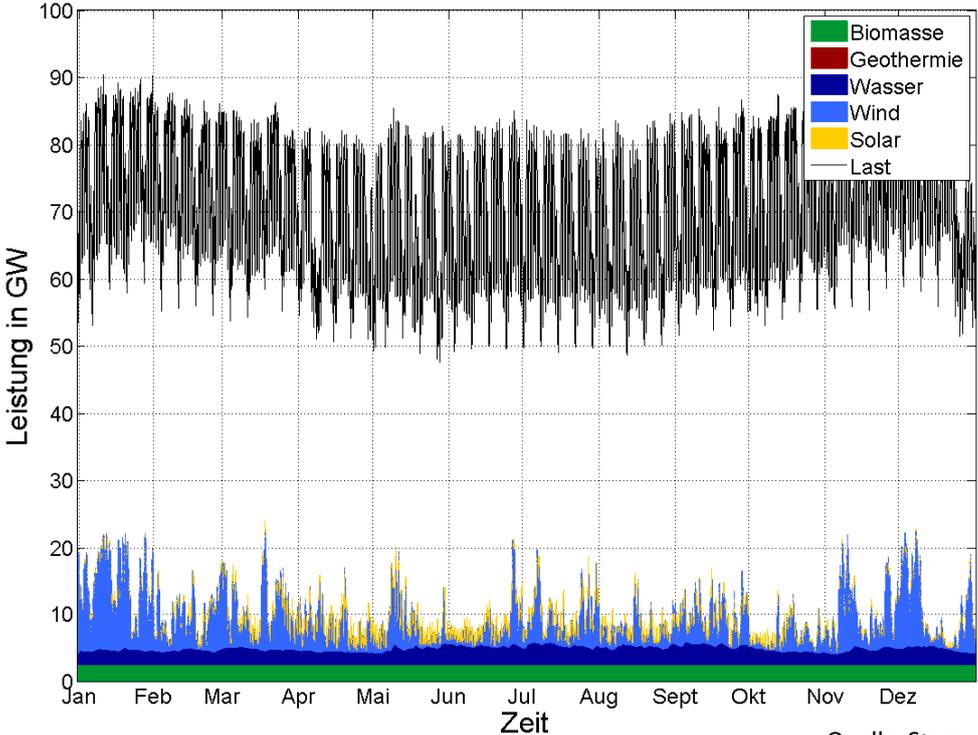
Dynamische Modellierung - Regionale Verteilung - Beispiel PV



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

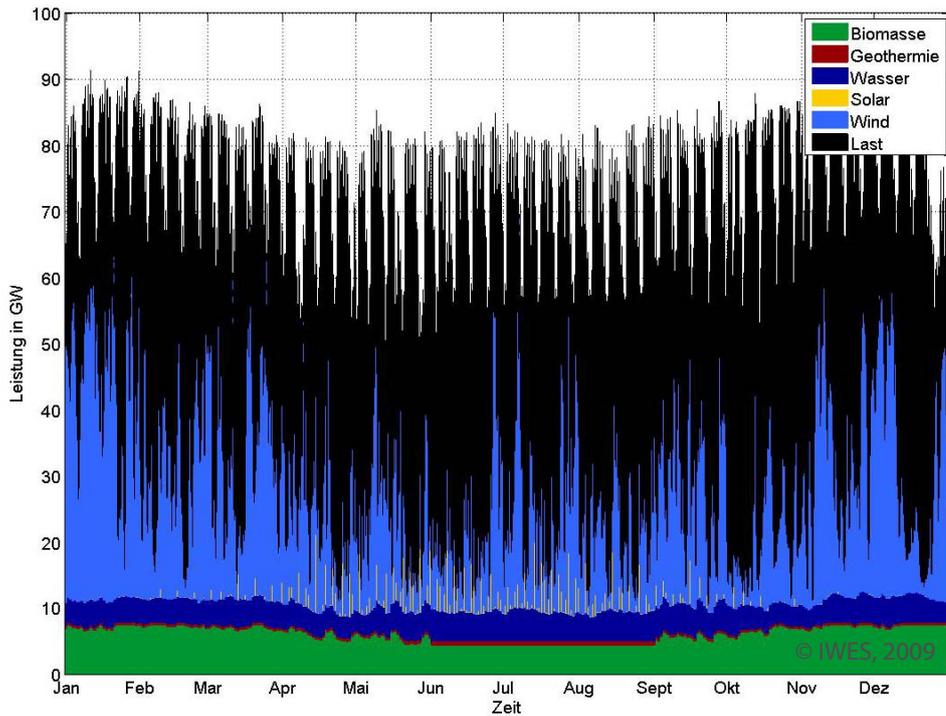
Starke Abhängigkeit vom Wetter
→ Untersuchungszeitraum
über mehrerer Jahre erforderlich

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



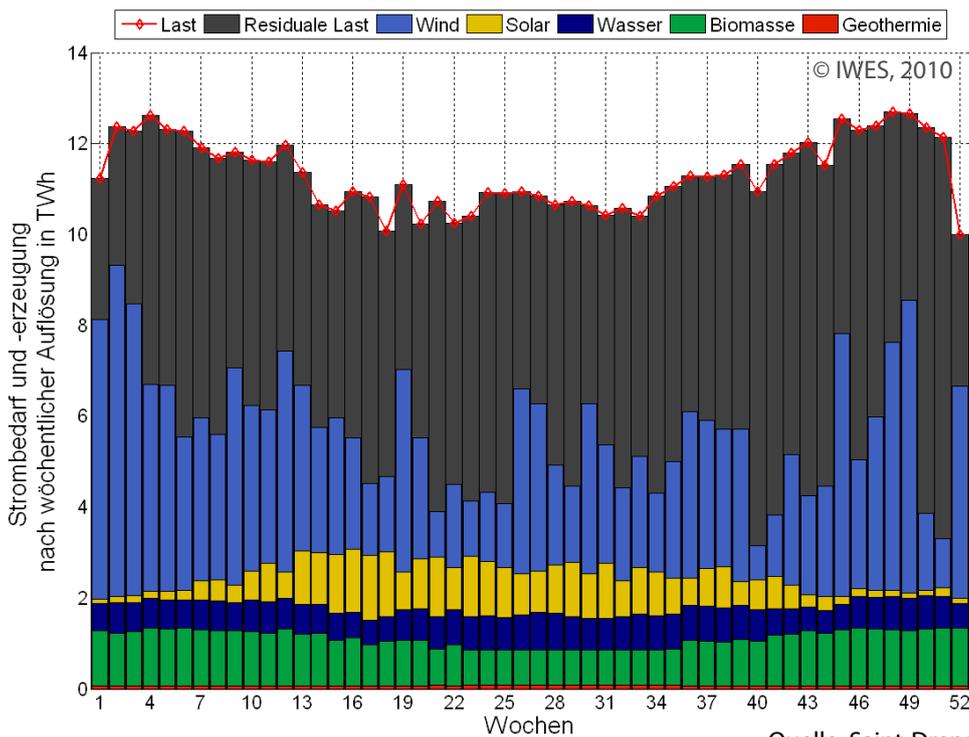
Quelle: Sterner et al., 2010

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



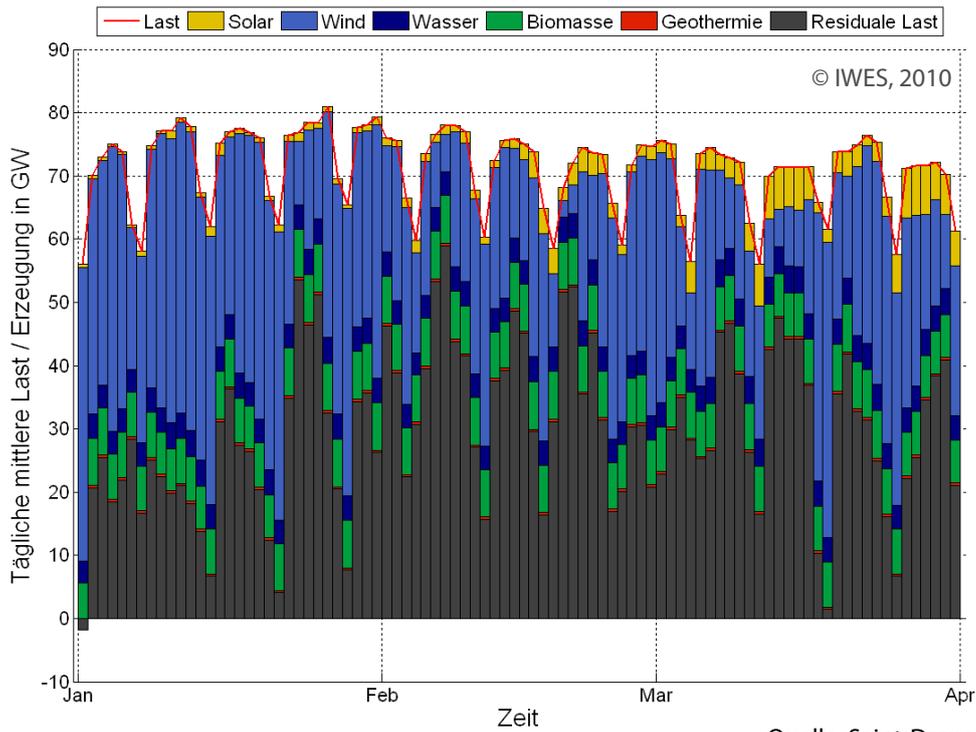
Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

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



Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

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

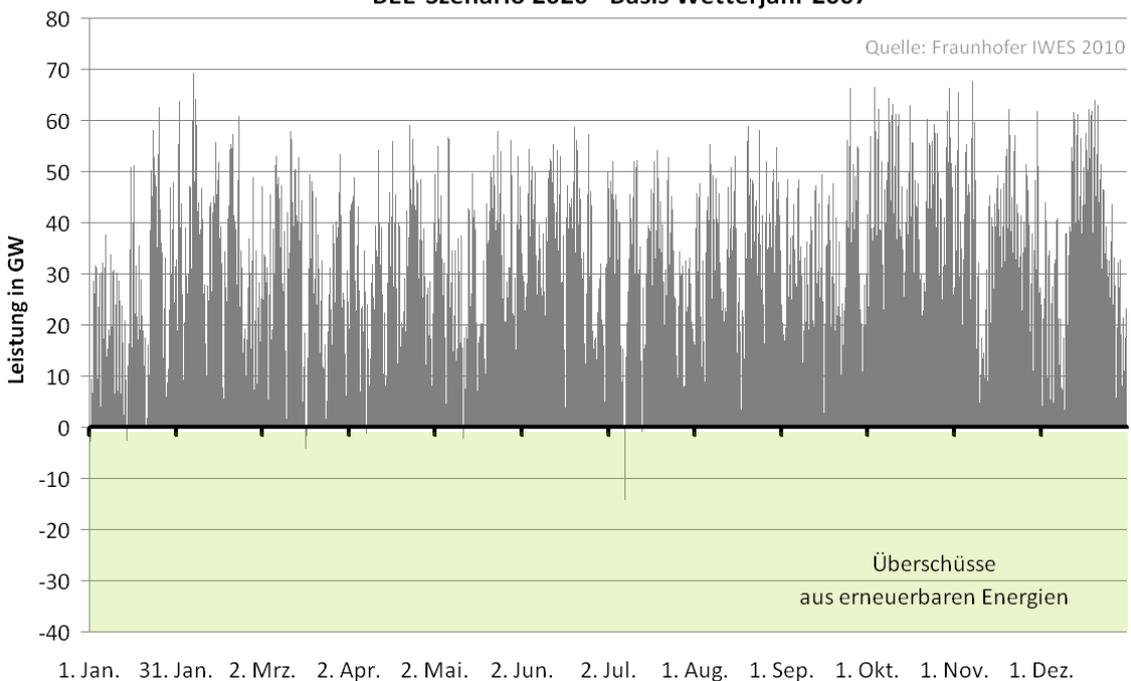


© Fraunhofer IWES

Fraunhofer
IWES

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

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

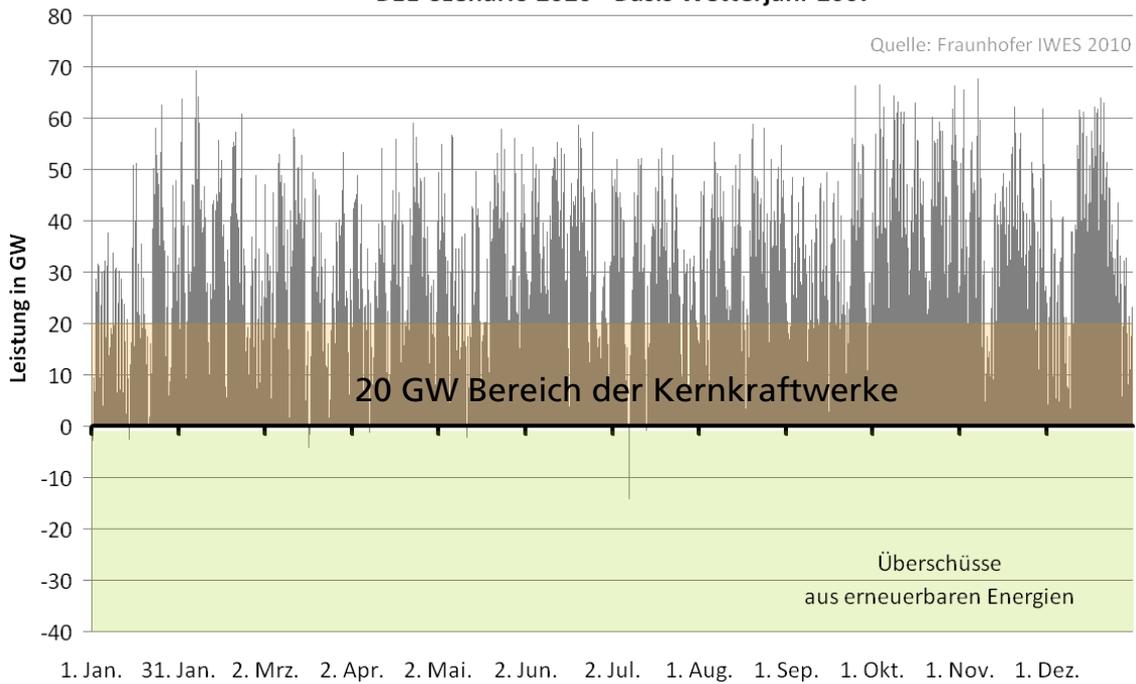


© Fraunhofer IWES

Fraunhofer
IWES

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

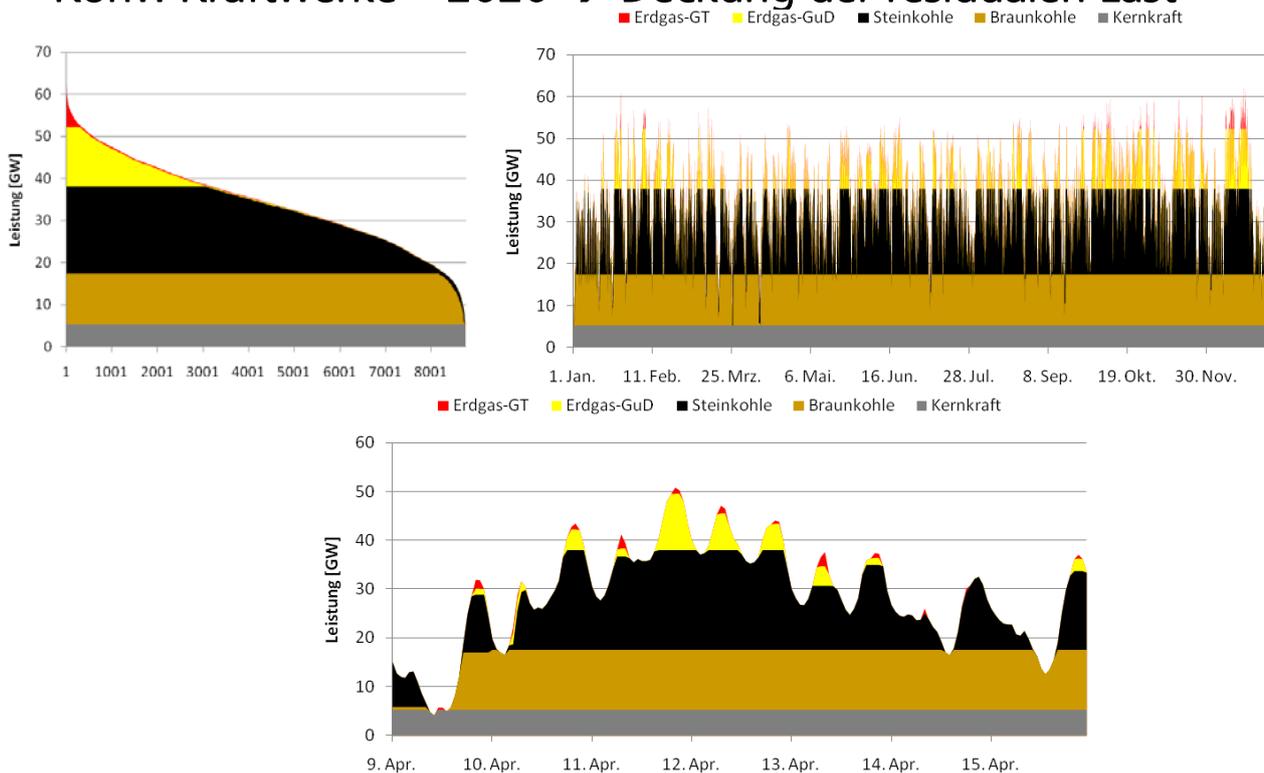
Residuale Last (Last minus ungesteuerte EE-Einspeigung)
BEE-Szenario 2020 - Basis Wetterjahr 2007



© Fraunhofer IWES



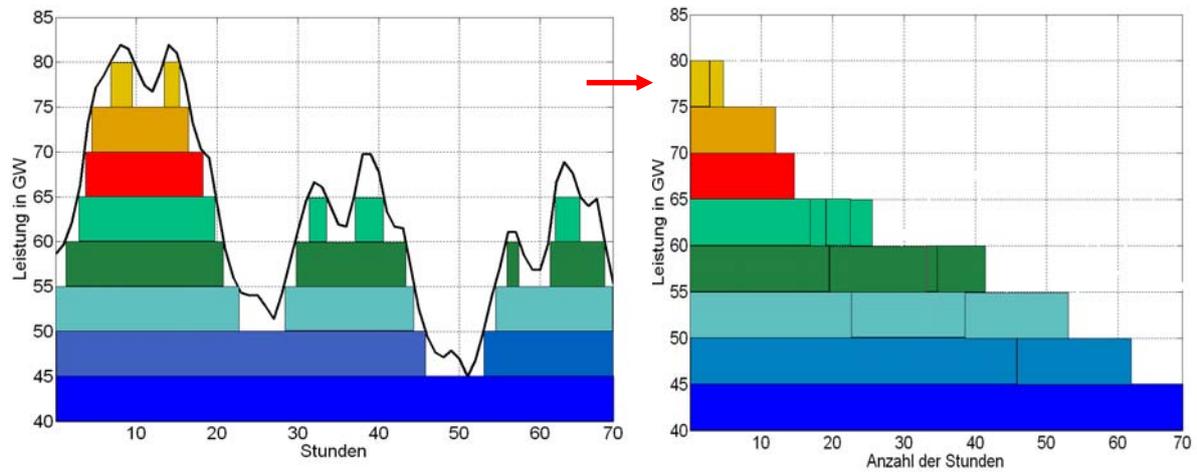
Konv. Kraftwerke – 2020 → Deckung der residualen Last



© Fraunhofer IWES



Aufbau der Jahresdauerlinie

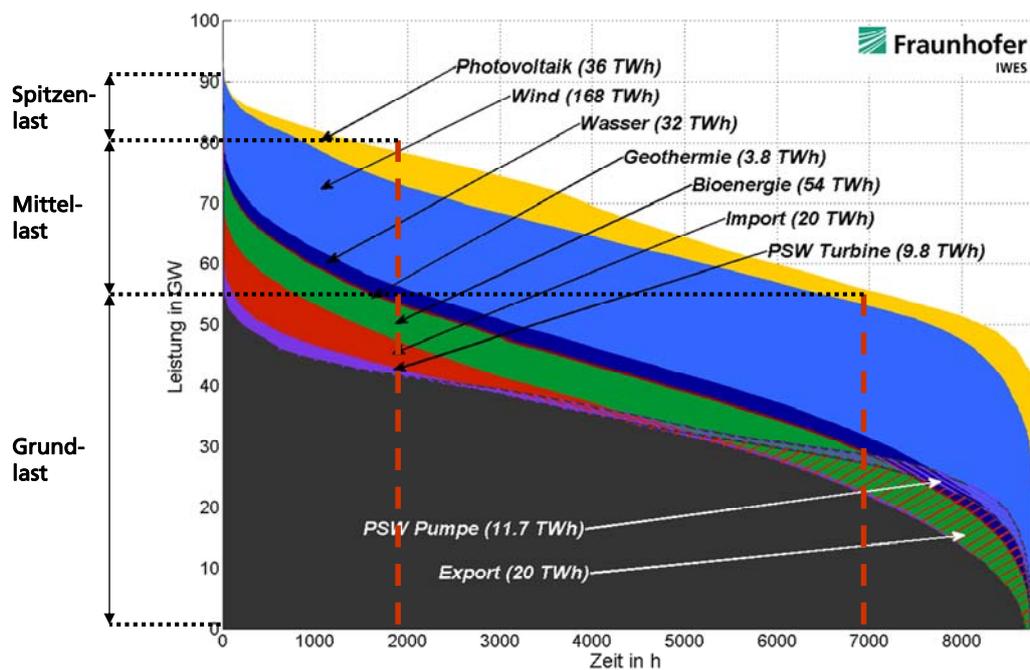


Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer
IWES

Auswertung: deutlich weniger Grundlastbedarf

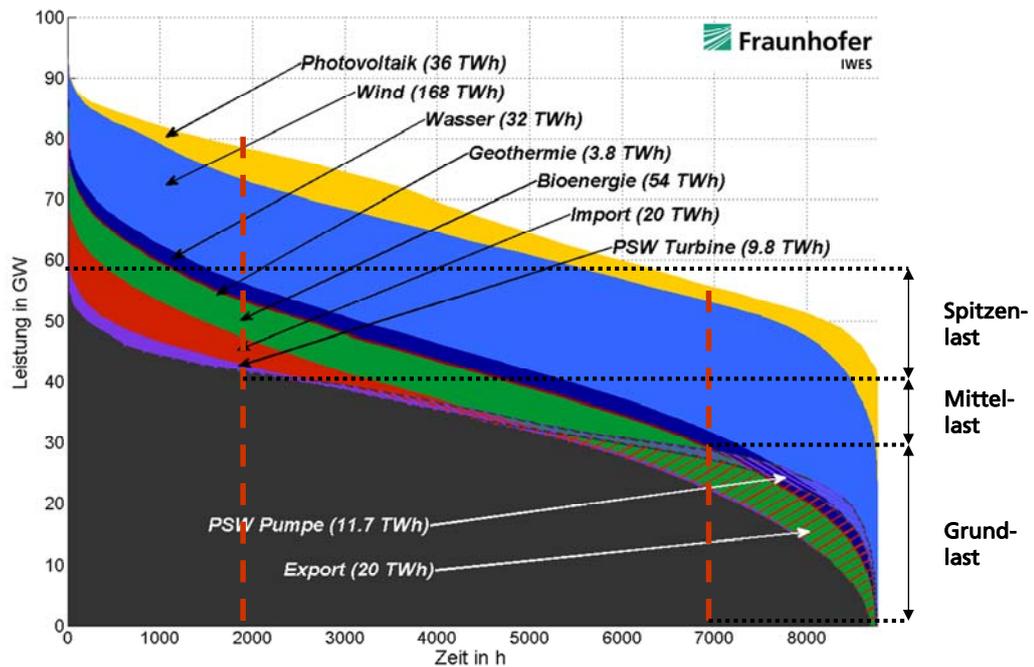


Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer
IWES

Auswertung: deutlich weniger Grundlastbedarf

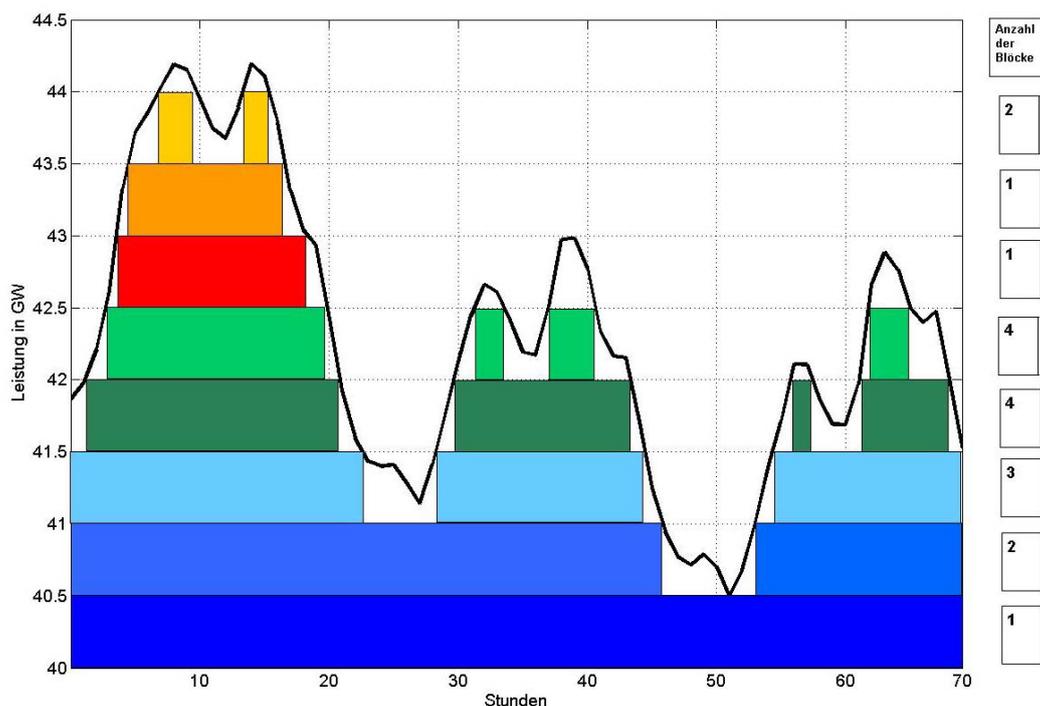


Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

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

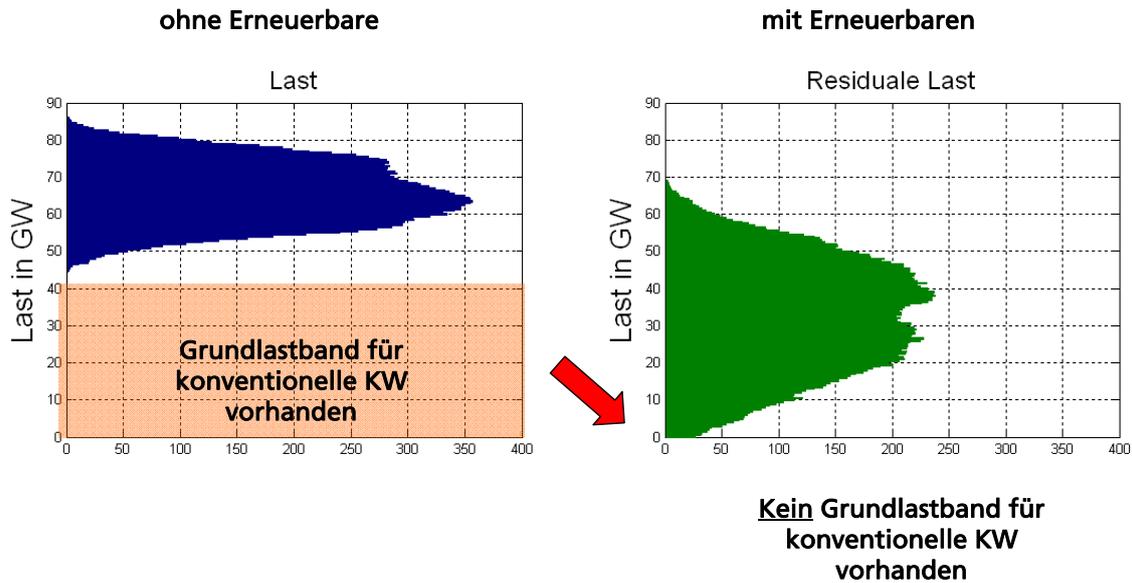


Quelle: Saint-Drenan et al., 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

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



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, v.a. für Zubau

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

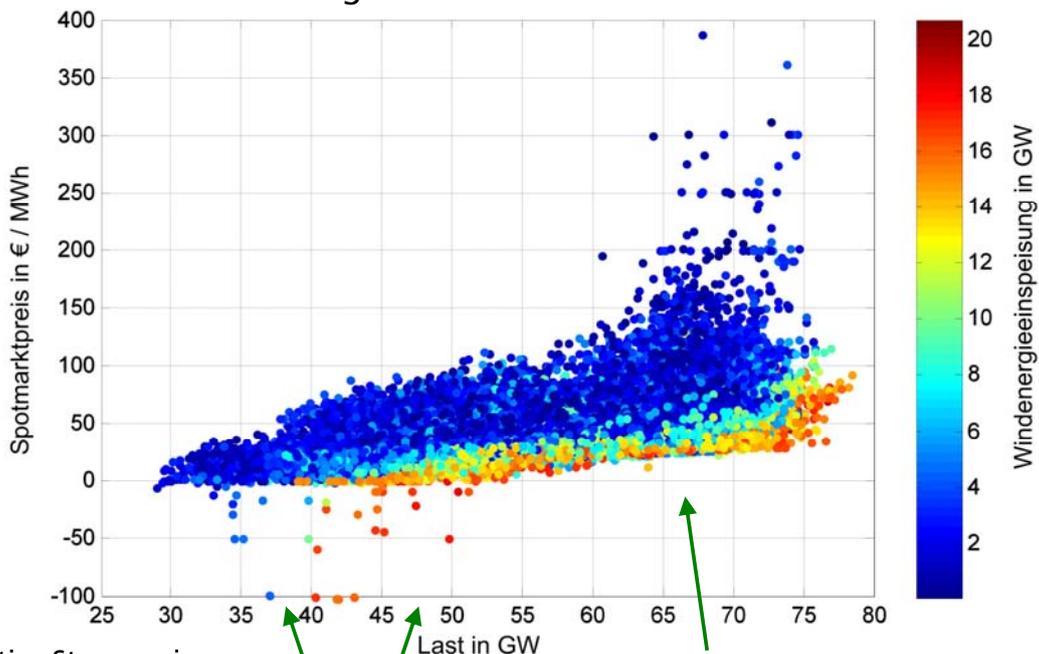
Neue Betreibermodelle aufgrund absehbar geringer Betriebsstunden erforderlich (z.B. Kapazitätsmarkt:

Leistungspreis für das Vorhalten einer gewissen Leistung)

(RWE, 2009): „Nur flexible Kohle- und Gas-Kraftwerke sind den veränderten Marktanforderungen gewachsen“

Korrelation Wind & Last & EEX – deutliche Zusammenhänge

stündliche aufgelöste Daten für 2007 und 2008

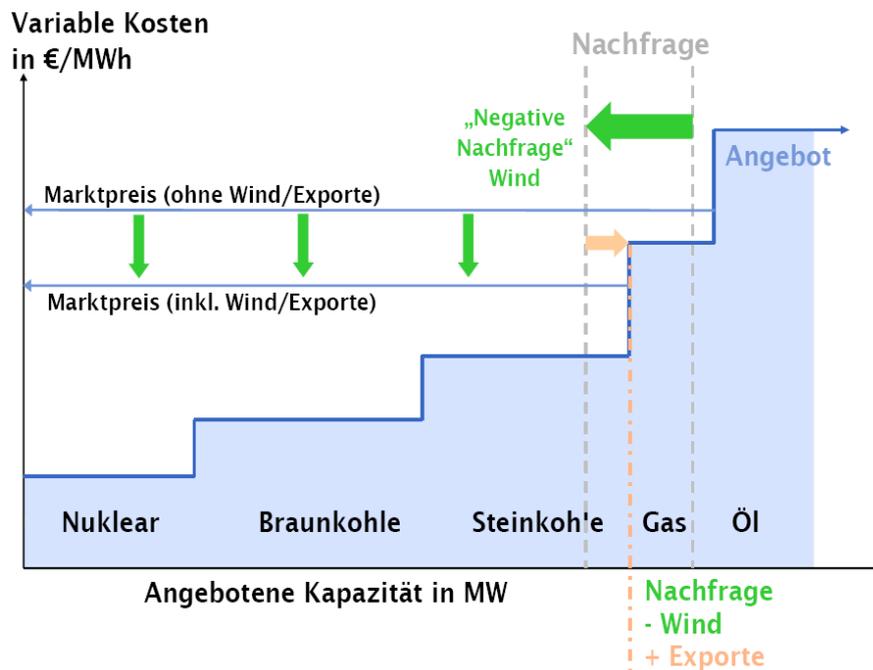


Negative Strompreise
zu Schwachlastzeiten bei wenig / viel Wind

Wind senkt den Spotmarktpreis

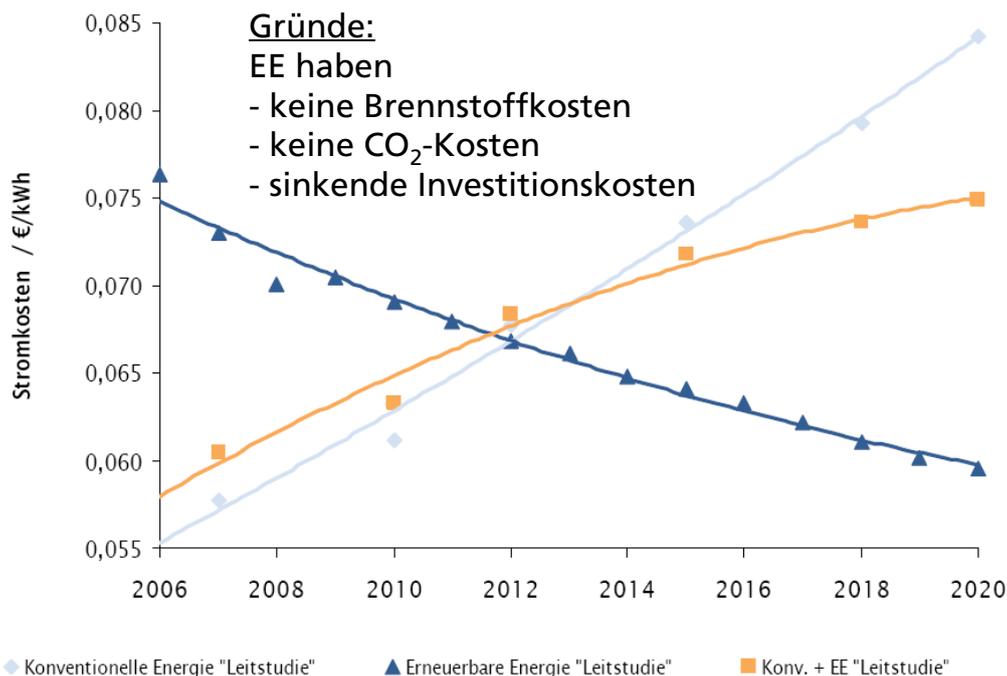
Quelle: IWES - work in progress, 2010

Auswirkungen von EE auf die Merit-Order



Quelle: RWE, LBBW Research., 2010

EE haben einen Strompreis-dämpfenden Effekt



Quelle: LBBW Research., 2010

Generelle Tendenzen

Erneuerbare Energien reduzieren den Grundlastbedarf drastisch
Anforderungen an den konventionellen Kraftwerkspark

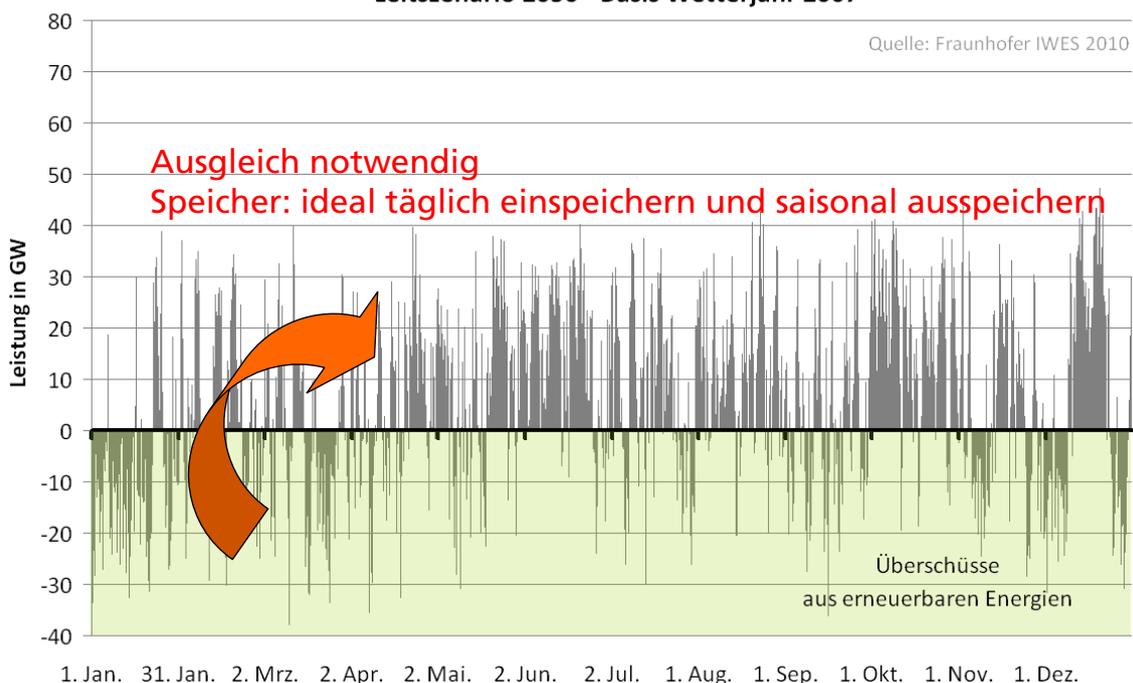
- Technologische Herausforderungen
 - hohe Flexibilität, hohe Robustheit
 - hohe Regelbarkeit, dafür entscheidend:
(1) Mindest-Stillstandzeiten, (2) Anfahrtdauer, (3) Mindest-Betriebszeiten
- Wirtschaftlichkeit unsicher
 - geringere Auslastung
 - nur Back-up für gesicherte Leistung für wenige Stunden

Potentieller Systemkonflikt ab ca. 50% EE-Anteil

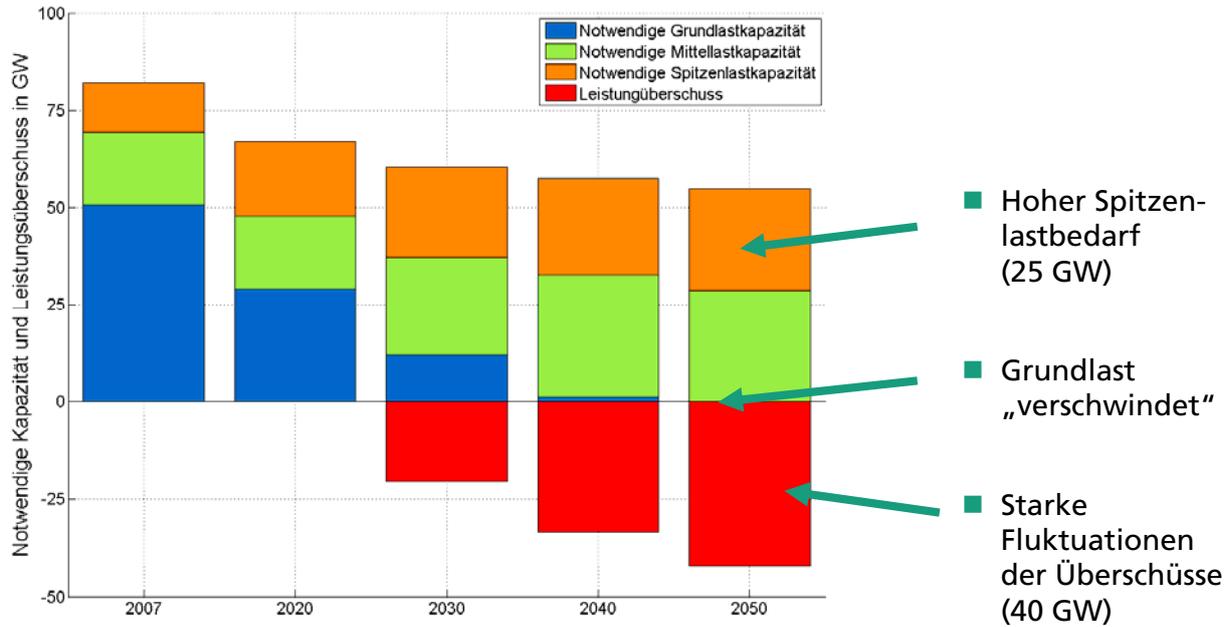
- technisch: (1) Abregelung von konvention. vs. erneuerbare Energien
(2) Ausbau von allen Erzeugungsarten (Überkapazitäten)
- wirtschaftlich: z.B. viel Wind → geringere Großhandelspreise (EEX)
→ geringere Einnahmen mit Grundlast-KW

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

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



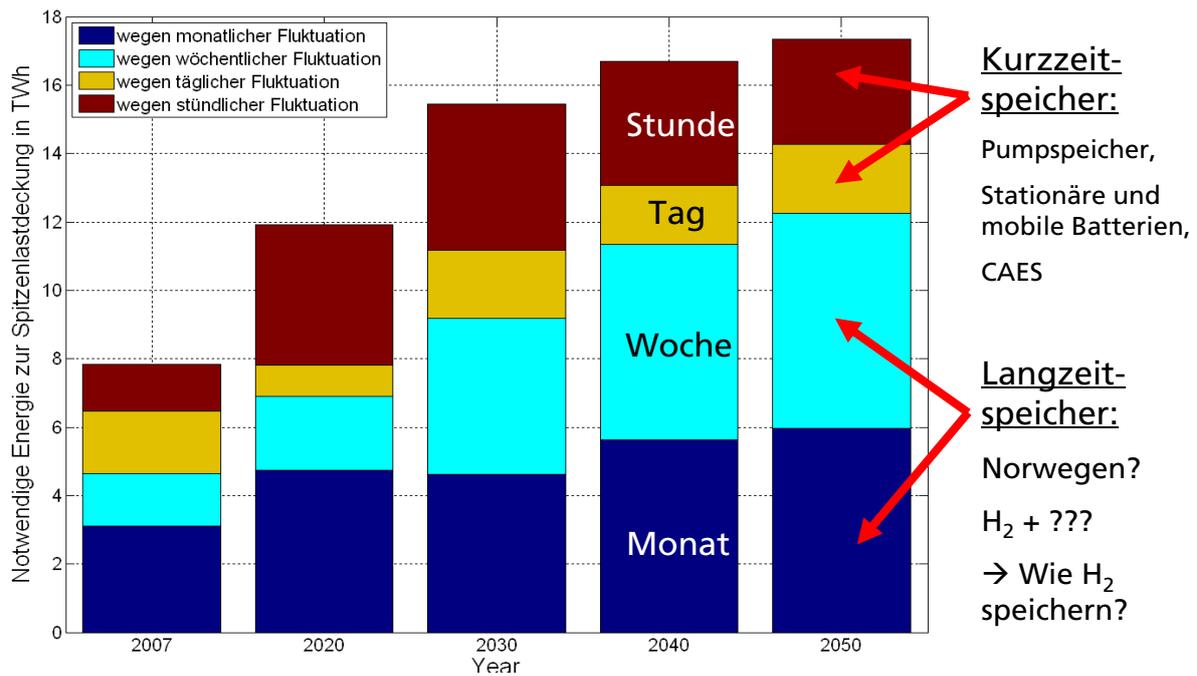
Benötigter Bedarf an konventioneller Leistung und EE-Überschüsse



Herausforderung: Überschüsse mit Spitzenbedarf übereinbringen

Quelle: Sterner et al., 2010

Verteilung der benötigten Spitzenlastenergie in TWh



Größte Herausforderung: Ausgleich von Langzeitfluktuationen

Quelle: Sterner et al., 2010

Inhalt

- 1) Klimaschutz durch eine Dekarbonisierung des Energiesystems
Warum wir eine Transformation brauchen
- 2) Wege aus dem Energie-Klima-Dilemma
Warum das am besten mit EE geht
- 3) Energieeffizienz durch erneuerbare Energien
Warum erneuerbarer Strom zur Primärenergie wird
- 4) Herausforderungen im Übergang zu 100% EE
Welche Probleme / Blockaden überwunden werden müssen
- 5) Lösungsansätze zur Integration erneuerbarer Energien
Wie wir den Übergang schaffen
- 6) Die Transformation der Energiesysteme
Wie unsere regenerative Zukunft aussehen kann

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

Transport

- Netzausbau
- Europäisches Supergrid für Strom und Gas

Speicher

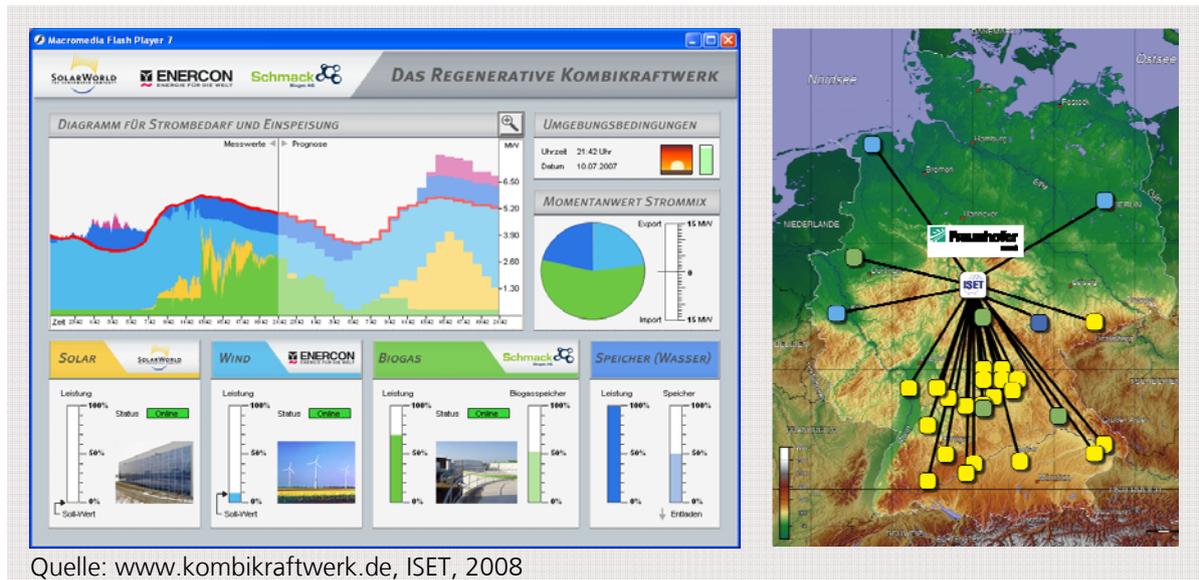
- Kurzzeit (Tage): Pumpspeicher, Druckluft, Batterien
- Langzeit (Saisonal): Pumpspeicher in Norwegen,
Wind / Solarstrom im Erdgasnetz als EE-Methan

Energiemanagement

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

Regenerative Kombikraftwerke

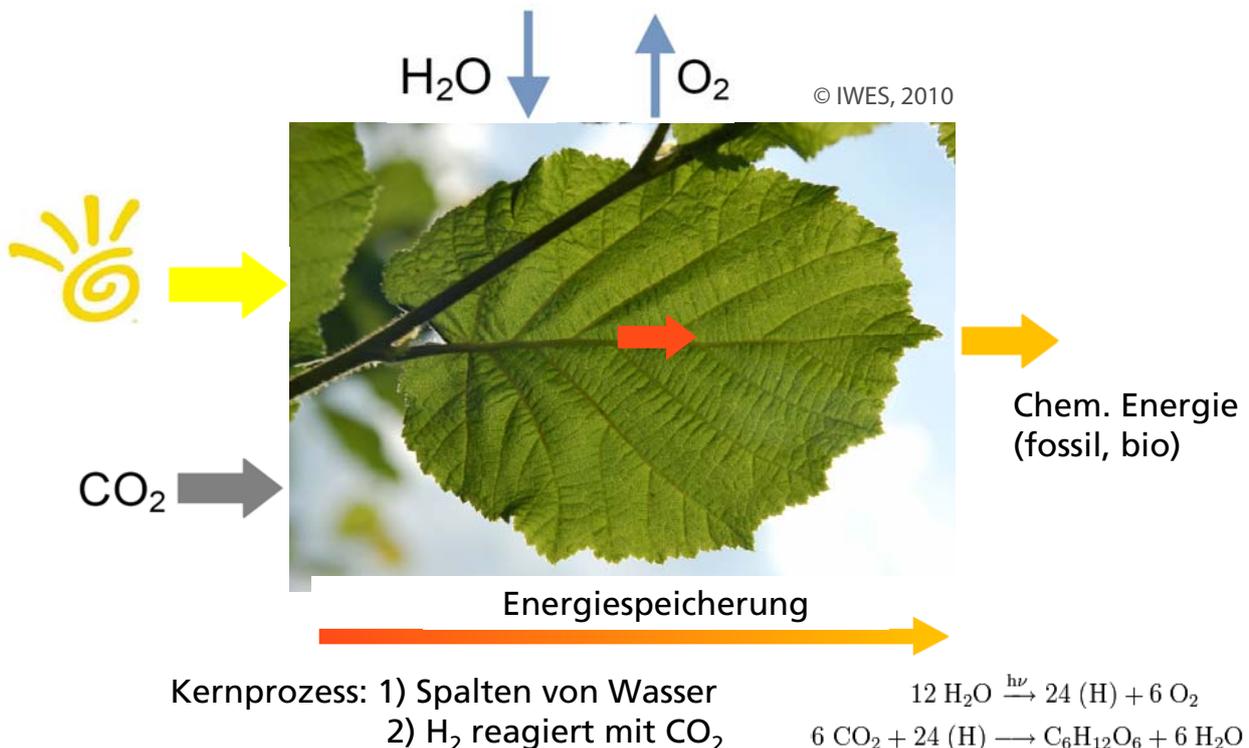
- Kombination von Windenergie, Photovoltaik, Biogas, Wasserkraft und Speichern zur stabilen Stromversorgung – Prognose → Cluster → Kombi-KW
- EE bekommen Kraftwerkseigenschaften



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer
IWES

Wie speichert die Natur Energie über lange Zeiträume?

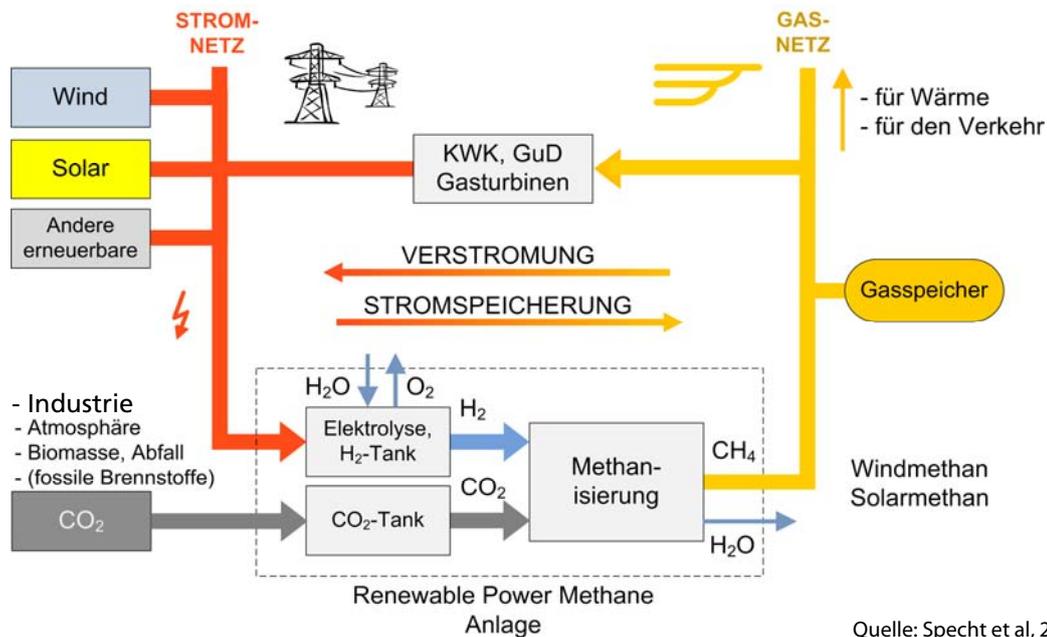


© Fraunhofer IWES

Fraunhofer
IWES

Renewable Power (to) Methane – erneuerbares Methan

Stromspeicherung durch Kopplung von Strom- und Gasnetz



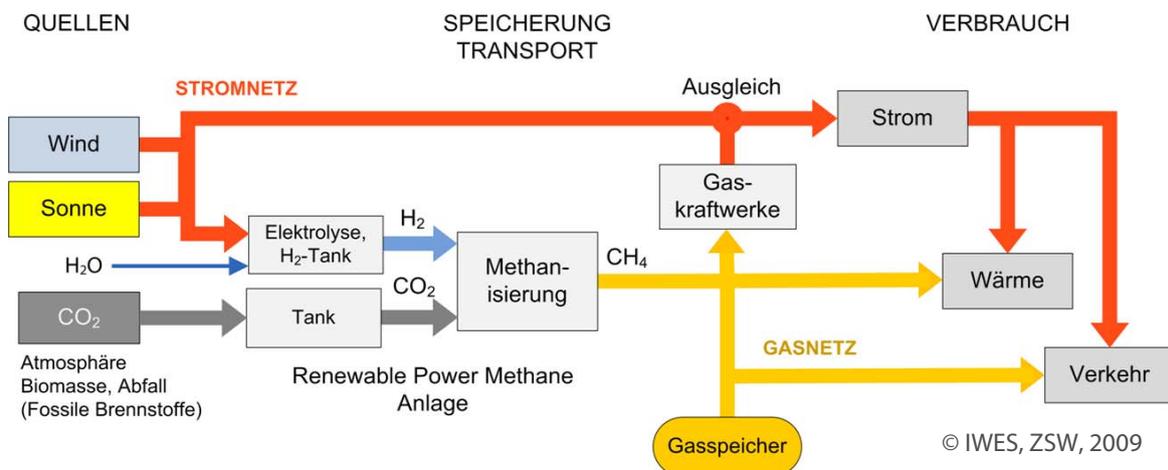
Quelle: Specht et al, 2009
Stern, 2009

© Fraunhofer IWES



Renewable Power (to) Methane – erneuerbares Methan

Energievektor für Wind und Solar in den Verkehrssektor



© IWES, ZSW, 2009

Quelle: Specht et al, 2010
Stern, 2009

Vorteile:

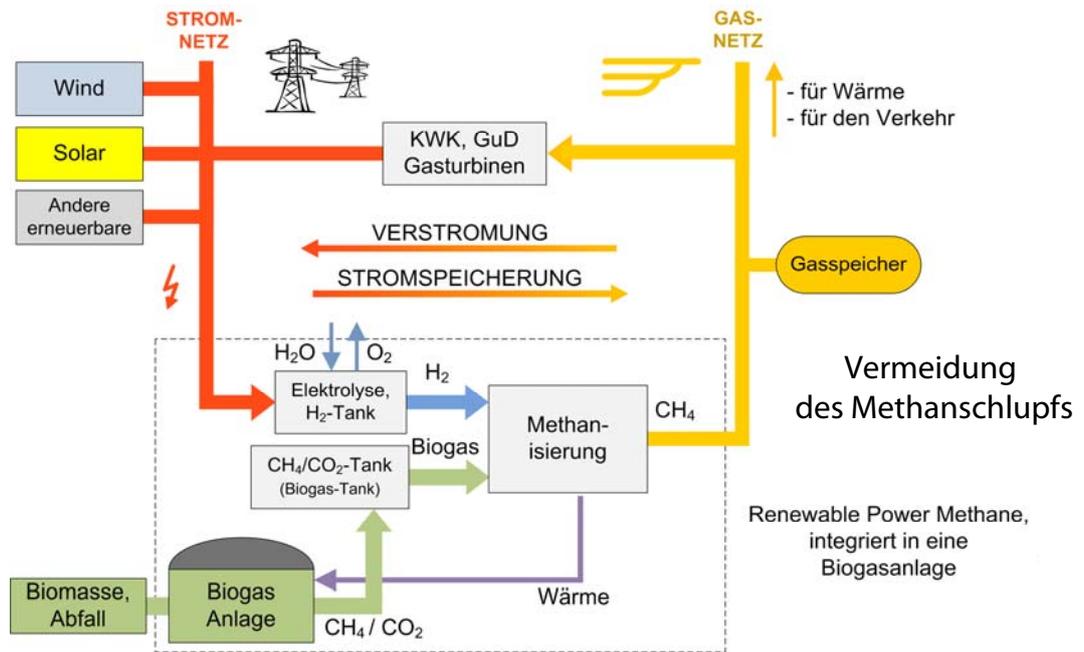
- nationale Langzeitspeicherung mit vorhandener Infrastruktur (Speicher, Pipelines, Gas-Kraftwerke + BHKW)
- „Grundlast“ mit EE – stabile Stromversorgung möglich

© Fraunhofer IWES



Renewable Power (to) Methane – erneuerbares Methan

Kopplung mit einer Biogasanlage – Verdopplung des Ertrages



© Fraunhofer IWES



Renewable Power (to) Methane – Wind-to-SNG

Erste Pilotanlage am ZSW Stuttgart von Solar Fuel Technology GmbH

CH₄-Filling station
ca. 15 kg, 200 bar

CO₂-
Recovery

Electrolyser

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

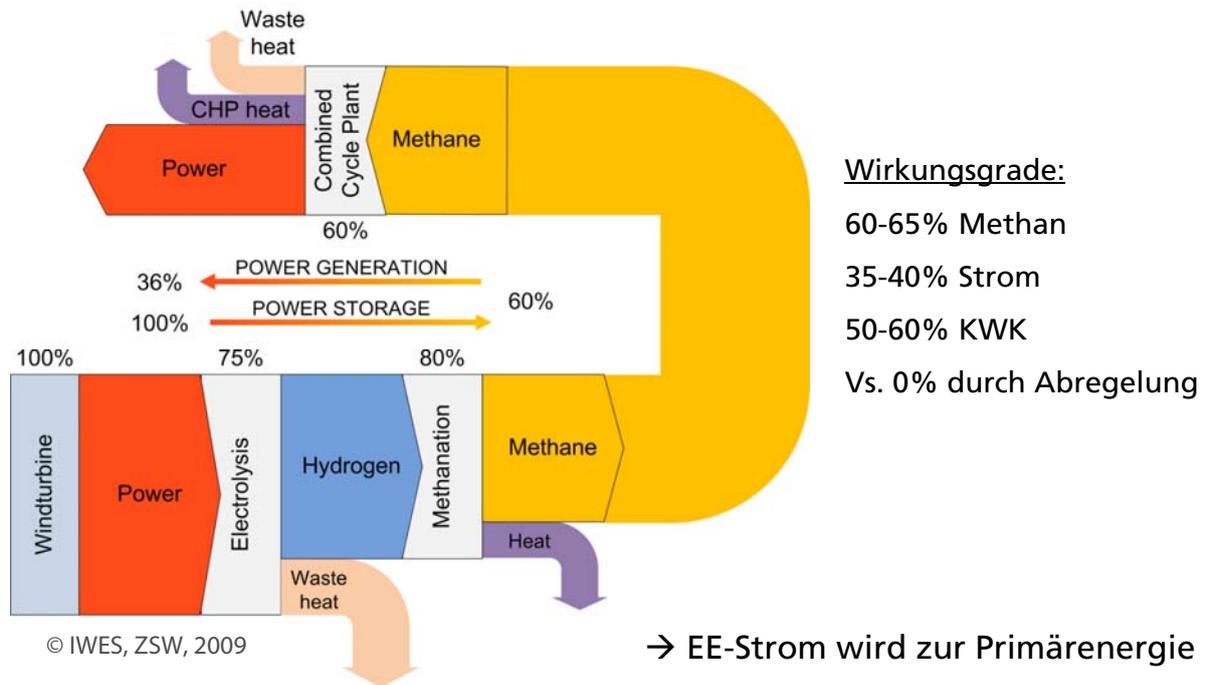
CO₂ Absorptionsleistung = 1,5 ha Mais / a

© Fraunhofer IWES



Renewable power (to) methane / erneuerbares Methan

Wirkungsgrade, Kapazitäten, Kosten (1)



Quelle: Sterner, 2009; Specht et al, 2010

© Fraunhofer IWES



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



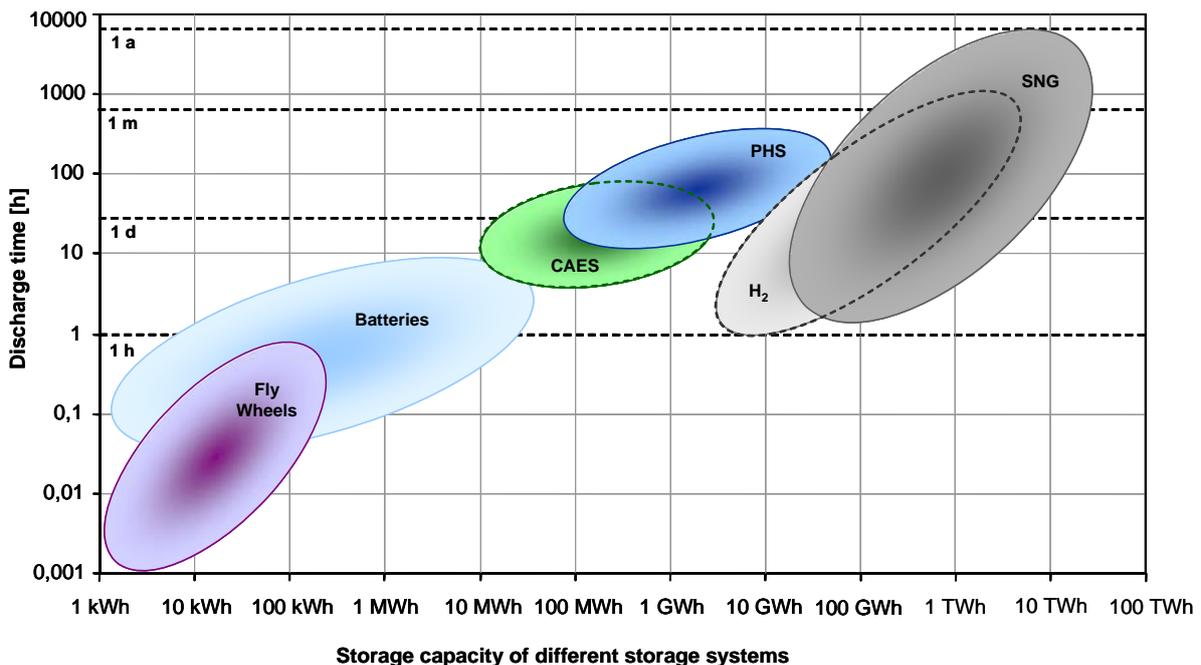
Dekarbonisierung des Energiesektors in Deutschland

Energieverbrauch und -speicherkapazitäten in Deutschland (2008)

		Strom	Erdgas	Flüssigkraftstoffe ¹⁾
Verbrauch	[TWh/a]	615	930	707
durchschnittliche Leistung	[GW]	70	106 ²⁾	81
Speicherkapazität	[TWh]	0,04 ³⁾	217 ⁴⁾	250 ⁵⁾
rechnerische Speicherreichweite ⁶⁾	[h]	0,6	2000	3100

- 1) Benzin, Diesel, Kerosin
- 2) jahreszeitlich stark schwankend
- 3) Pumpspeicherwerke
- 4) 47 Untertage-Gasspeicher (zzgl. 79 TWh in Bau / Planung)
- 5) Bevorratung an Benzin, Diesel, Kerosin und Heizöl EL
- 6) bezogen auf die durchschnittliche Leistung

Speicherkapazitäten und Reichweiten



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

Ausgleichsmaßnahmen

- Transport
- Speicher
- Energiemanagement

Technische Stabilität durch alle 3 Maßnahmen gegeben

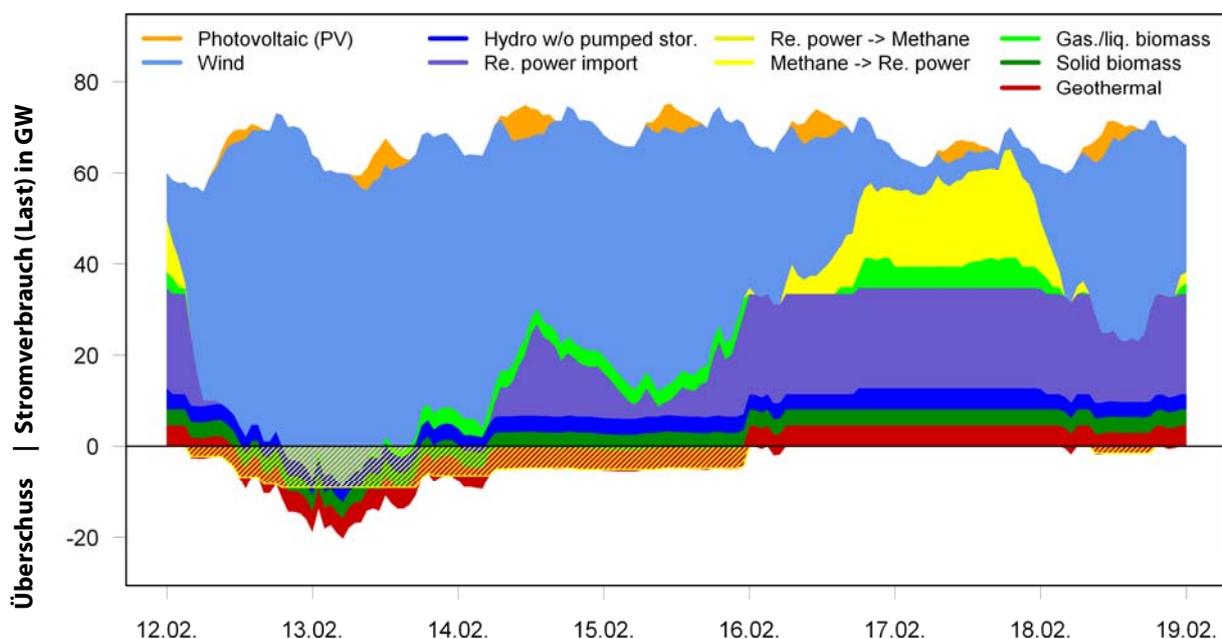
- dafür notwendig:
- Anpassung der Teilnahmebedingungen für EE am Regelenergiemarkt (d.h. Verkürzung der Ausschreibungszeiträume auf 1 Tag)
- Hohe Kapazität an Gas-KW mit EE-Methan am Höchst- und Hochspannungsnetz bzw. Pumpspeicherwerken
- Ökonomisches Optimum zwischen Ausgleichsmaßnahmen und EE-Abregelung
- 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

Fraunhofer
IWES

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



Quelle: Sterner, 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer
IWES

Optionen für regenerative Mobilität

Biokraftstoffe

- + hohe Energiedichte → lange Reichweiten
- + (meist) infrastrukturkompatibel
- - hohe Landnutzungskonkurrenzen → gesellschaftl. Akzeptanz
- - „schwierige“ Treibhausgasbilanzen
- - begrenztes Potential

Elektromobilität

- + effizient
- + Feinstaub, Lärm
- + „unbegrenzt“ nachhaltiges Energiepotential
- - Fahrzeugtechnologie noch zu entwickeln
- - begrenzte Reichweite

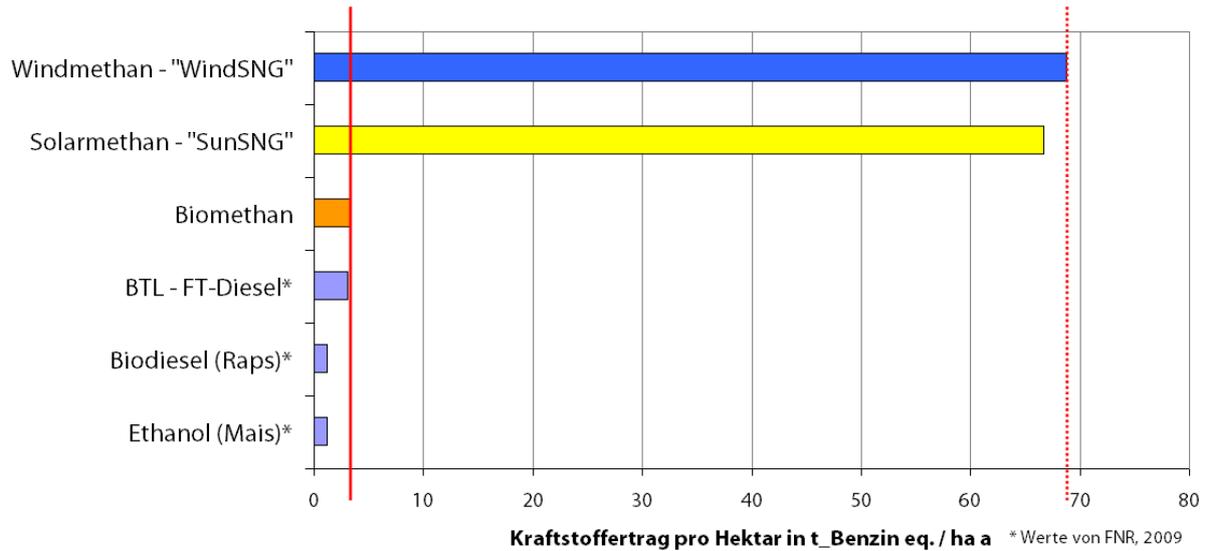
Renewable power (to) methane - erneuerbares Methan Effiziente Landnutzung mit weniger Konkurrenz zu Nahrung

Pfad	Solare Einstrahlung	Wandlungs-effizienz	Gespeicherte chemische Energie
Solar → Pflanze → Biokraftst.	100%	1%	0,5% (Biomethan)
Solar → PV → PV-SNG	100%	15%	10% (Solarmethan)

■ Ertrag auf einem Hektar in Deutschland (Idealfall) :

- 15 t Trockenmasse Mais → 60 MWh_{th} → Vergärung → 40 MWh_{th} Biomethan
- PV: 1 kWp auf 8 m² und 1000 Volllast h → 1.25 GWh_{el} → 800 MWh_{th} Solarmethan
- Wind: 2.5 MW auf 1 ha und 2000 Volllast h → 5.0 GWh_{el} → 3300 MWh_{el} Windmethan
Reale Dichte: 1 MW auf 5-7 ha → weniger

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



Optionen für regenerative Mobilität

- Erneuerbares Methan aus EE-Strom
 - + keine Begrenzung von Potential und Reichweite
 - + infrastrukturkompatibel
 - + Fahrzeugtechnologie / „Schwarmstrom“-KW vorhanden
 - - noch am Anfang

© Fraunhofer IWES



Renewable Power (to) Methane

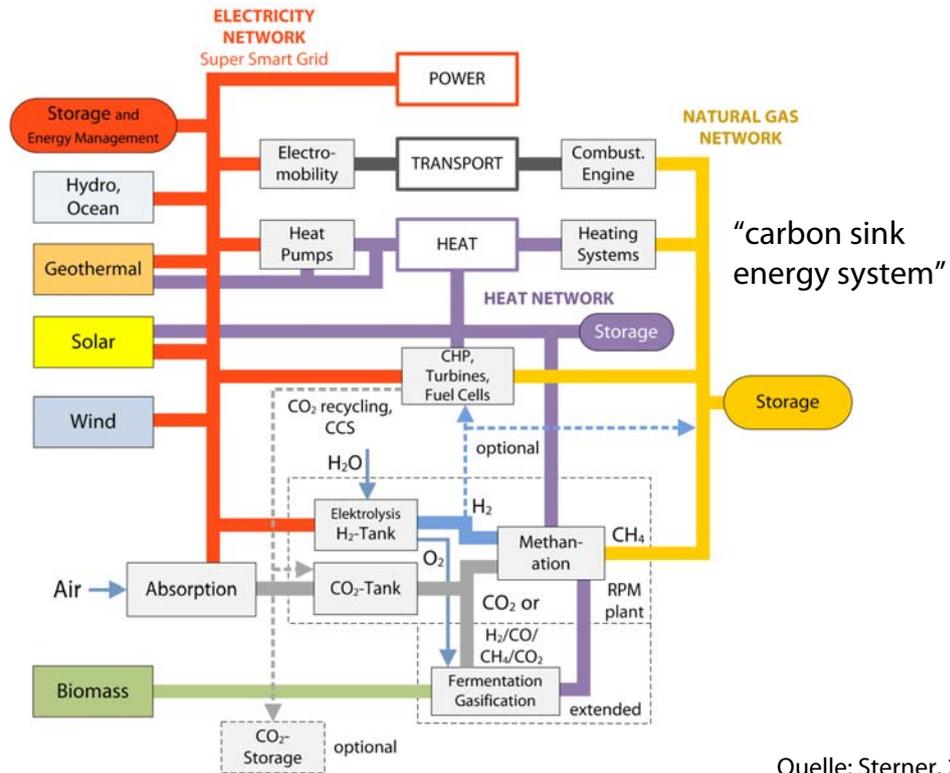
Vorteile

- Speicherung von EE im Erdgasnetz und flexibler Einsatz
 - Langzeitspeicher, „keine“ Speicherbegrenzung, vorhandene Infrastruktur
- Stabile, sichere Stromversorgung mit EE
 - Regel- und Ausgleichsenergie für fluktuierende Stromerzeugung aus EE
- CO₂-neutraler kohlenstoff-basierter Energieträger für Verkehr (und Wärme)
 - hohe Energiedichte, keine Begrenzung der KFZ-Reichweite, keine Konkurrenz zu Nahrung bzw. landwirtschaftlichen Nutzflächen
- Minderung der Importabhängigkeit von Erdgas
 - → Erhöhung der Versorgungssicherheit
 - → „Gas“ aus der Sahara – Pipeline zwischen Algerien und Spanien vorhanden

Inhalt

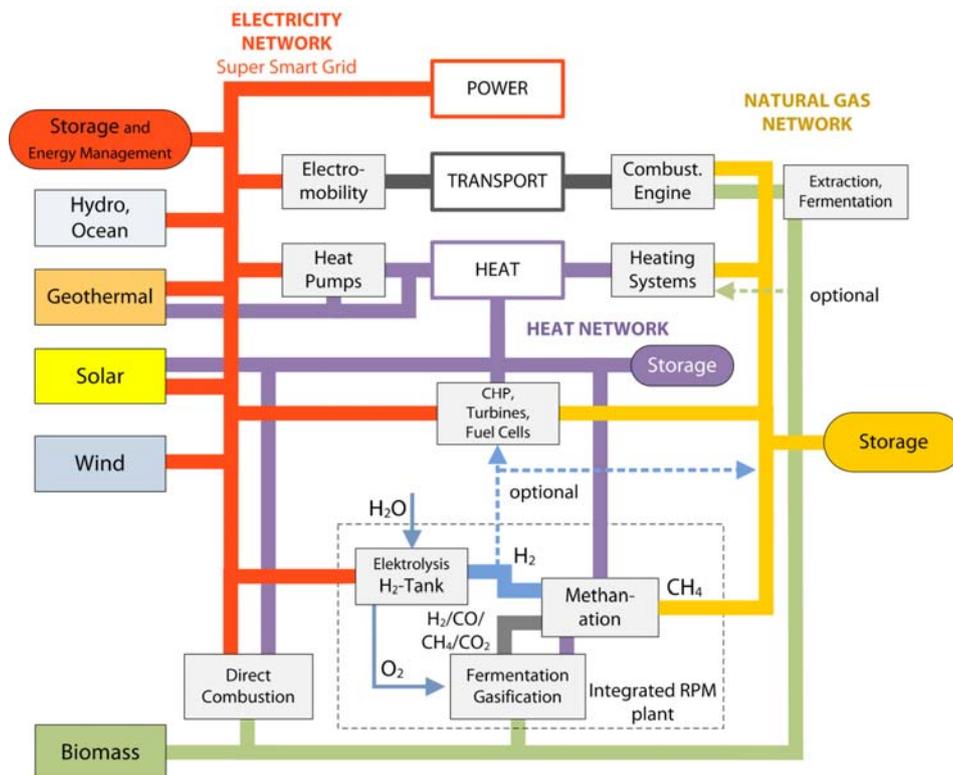
- 1) Klimaschutz durch eine Dekarbonisierung des Energiesystems
Warum wir eine Transformation brauchen
- 2) Wege aus dem Energie-Klima-Dilemma
Warum das am besten mit EE geht
- 3) Energieeffizienz durch erneuerbare Energien
Warum erneuerbarer Strom zur Primärenergie wird
- 4) Herausforderungen im Übergang zu 100% EE
Welche Probleme / Blockaden überwunden werden müssen
- 5) Lösungsansätze zur Integration erneuerbarer Energien
Wie wir den Übergang schaffen
- 6) Die Transformation der Energiesysteme
Wie unsere regenerative Zukunft aussehen kann

100% EE-Struktur für Strom, Wärme, Verkehr – mit Bioenergie Reststoffen

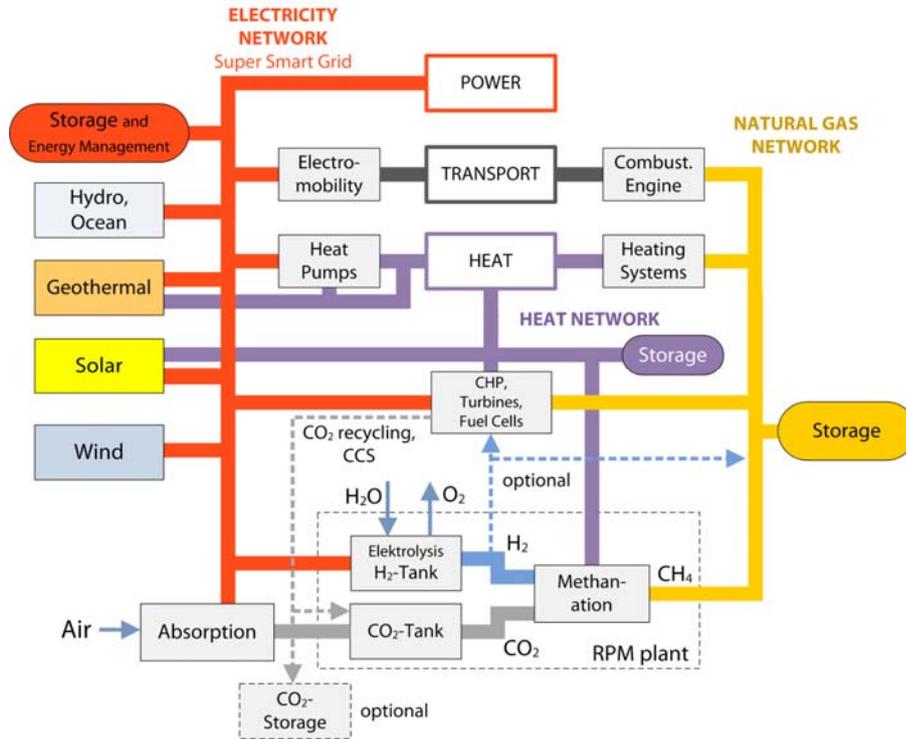


Quelle: Sterner, 2009

100% EE-Struktur für Strom, Wärme, Verkehr – mit Bioenergie überall



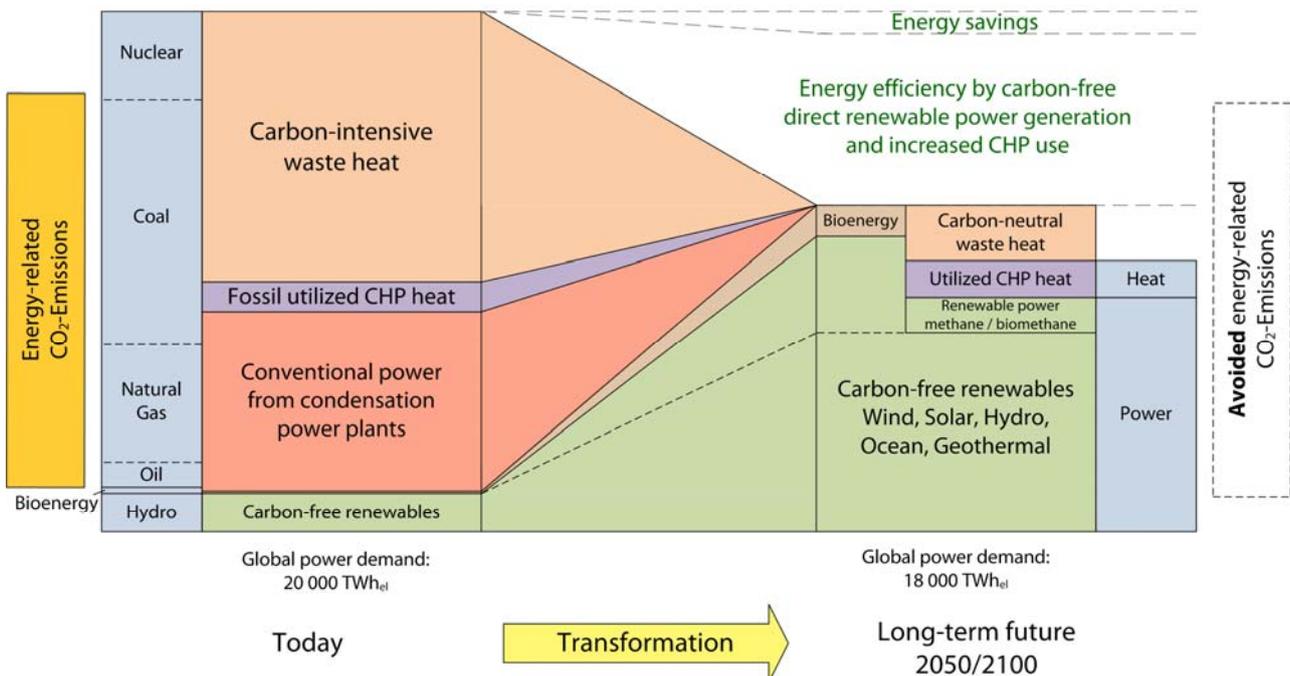
100% EE-Struktur für Strom, Wärme, Verkehr – ohne Bioenergie



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer
Source: Sterner, 2009
IWES

Globale Transformation der Stromversorgung

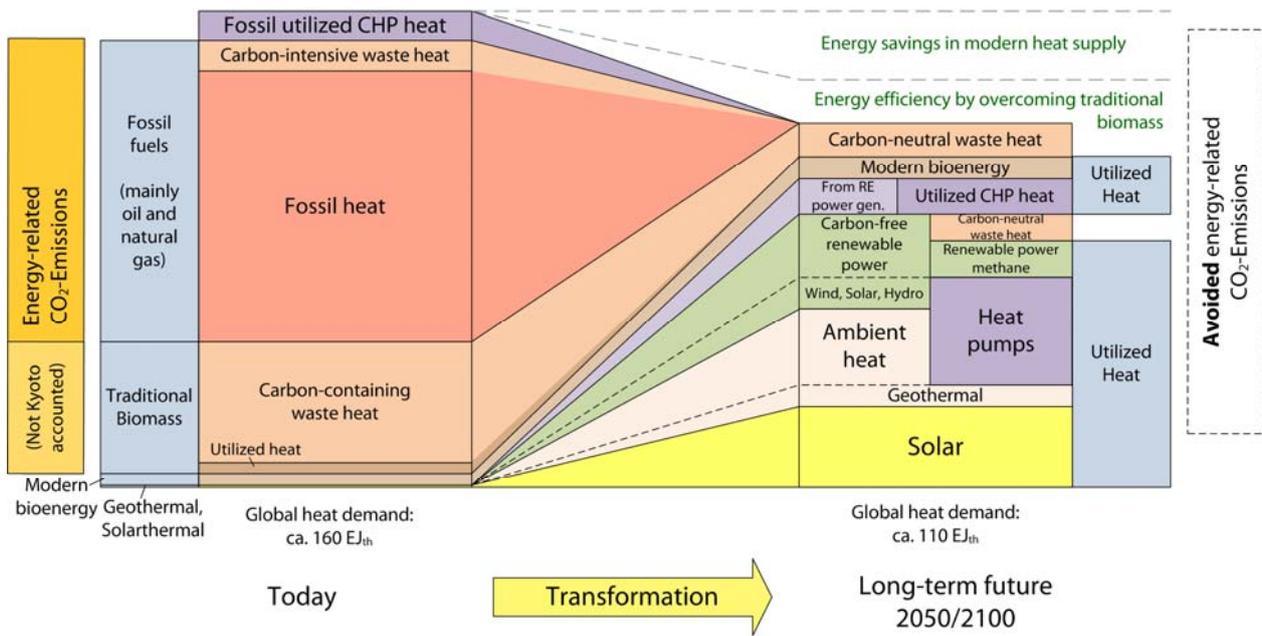


© Fraunhofer IWES

Source: Sterner, 2009

Fraunhofer
IWES

Globale Transformation der Wärme- und Kälteversorgung

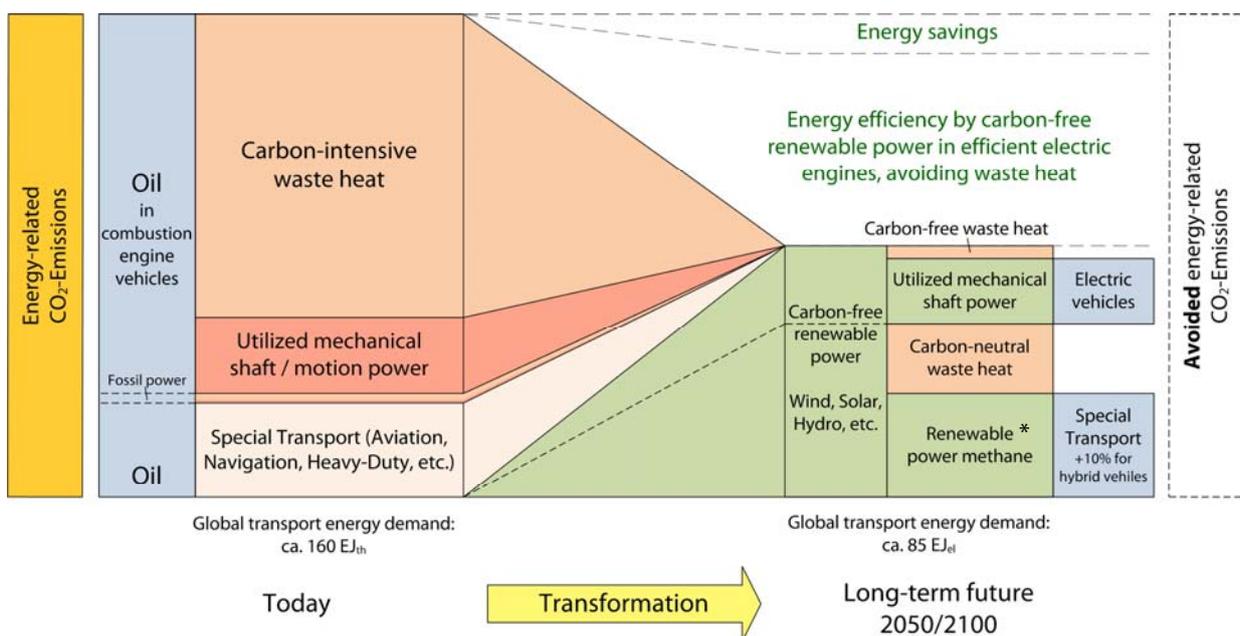


Source: Sterner, 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer
IWES

Globale Transformation des Verkehrs



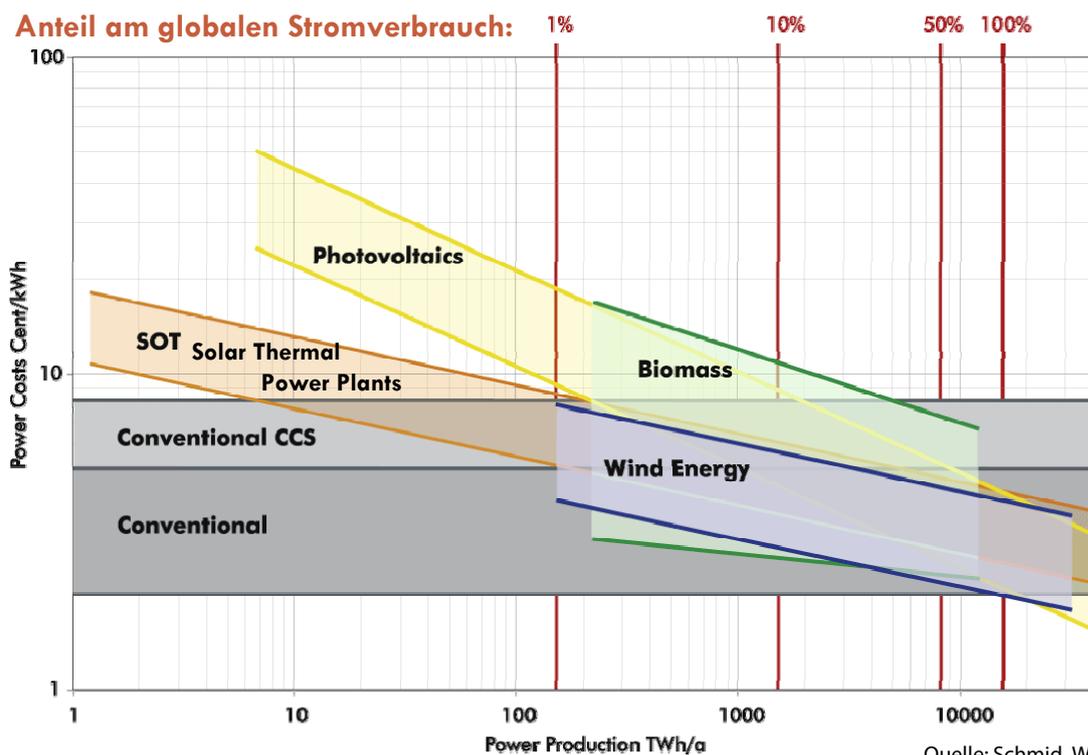
* und anderen regenerativen Kraftstoffen aus Wind / Solar und Co.

Source: Sterner, 2009

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer
IWES

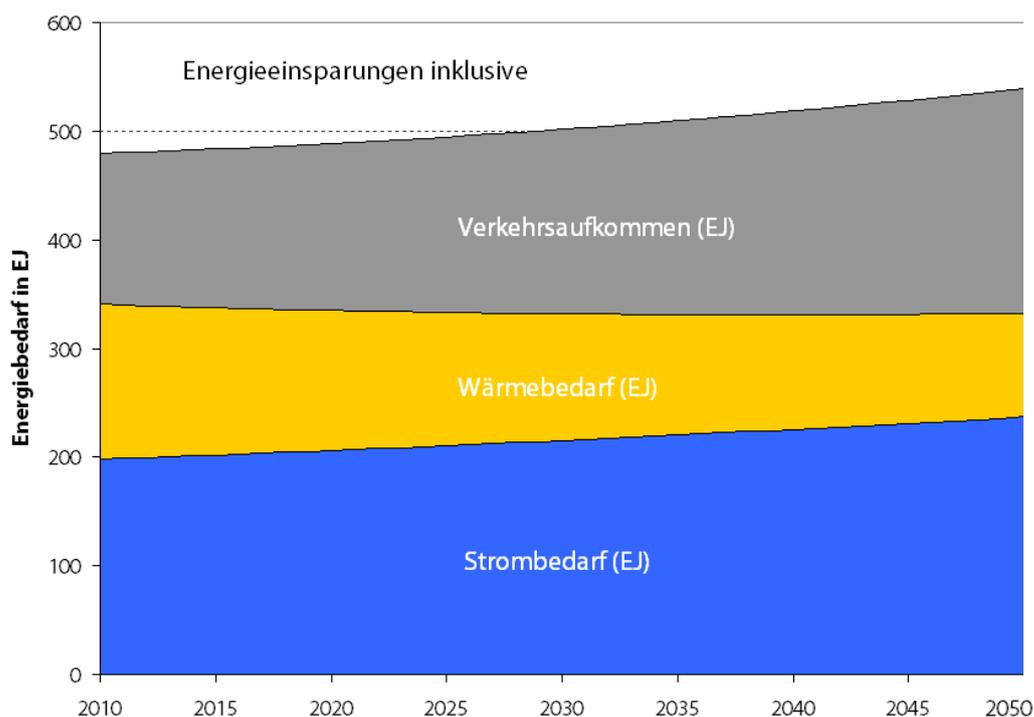
Lernkurven für Stromgestehungskosten aus EE



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer
IWES

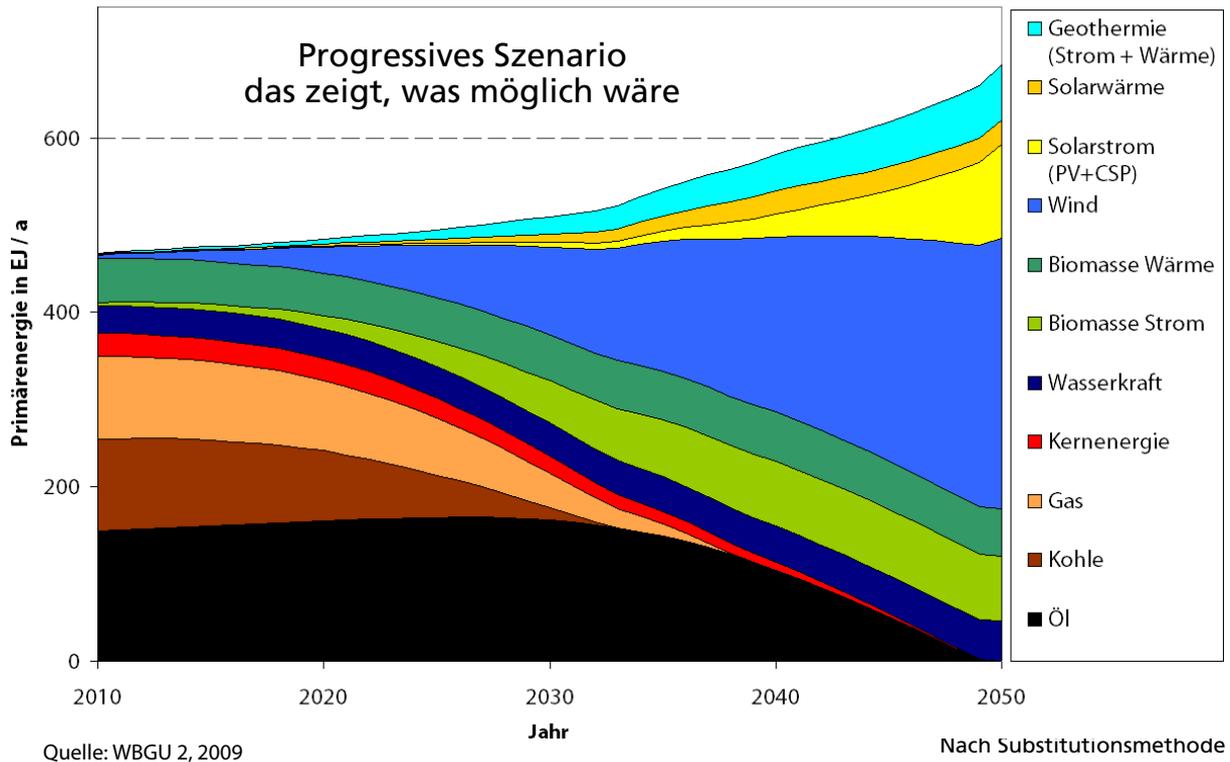
IWES Szenario 100% EE für WBGU: Annahmen zum Energiebedarf



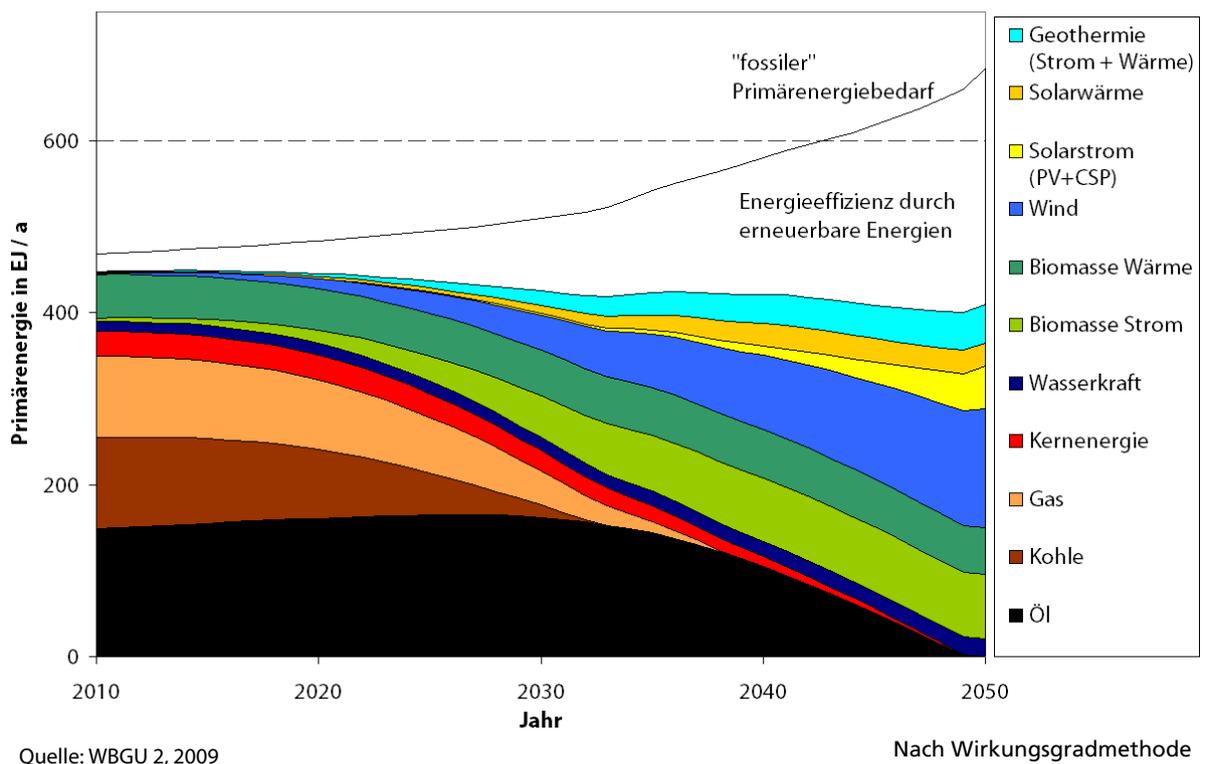
© Fraunhofer IWES

Fraunhofer
IWES

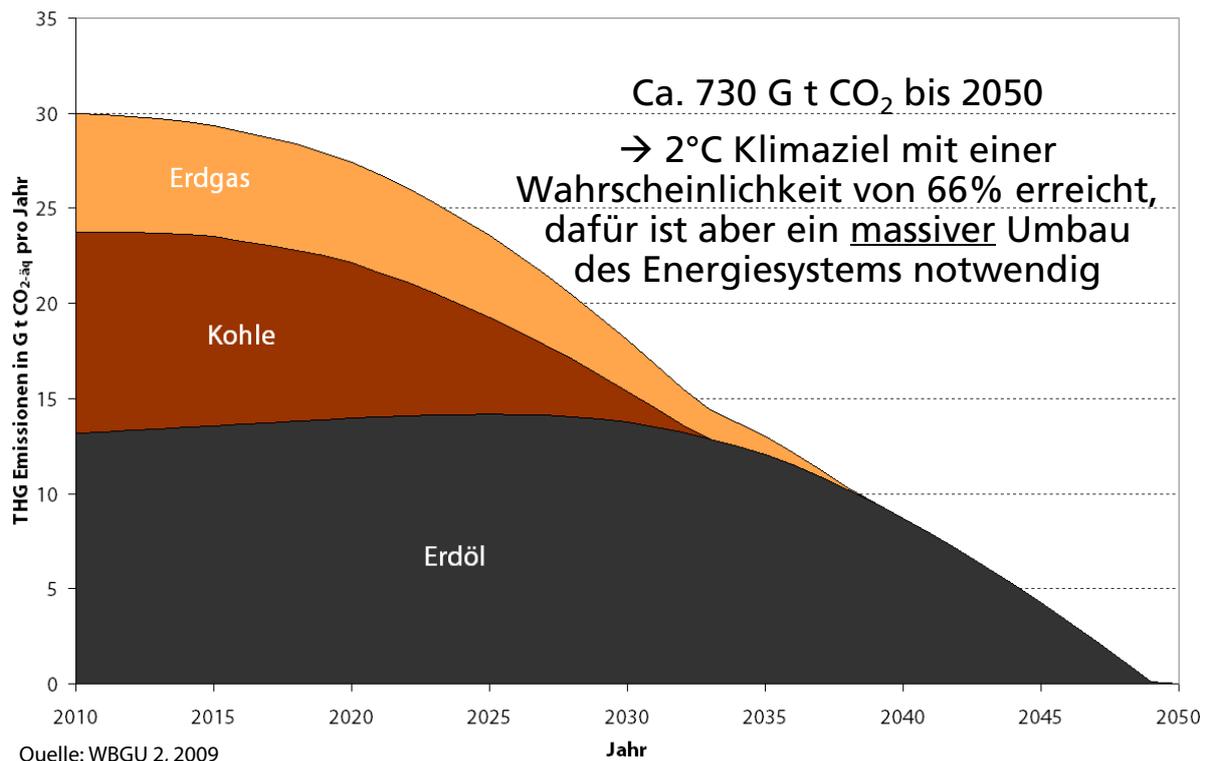
IWES Szenario 100% EE für WBGU: Primärenergiebedarf (1)



IWES Szenario 100% EE für WBGU: Primärenergiebedarf (2)



IWES Szenario 100% EE für WBGU: Energiebedingte Emissionen



Zusammenfassung

- Eine Vollversorgung mit erneuerbaren Energien ist
 - technisch möglich
 - ökonomisch vorteilhaft auf lange Sicht
 - ökologisch / klimatechnisch notwendig
- Herausforderungen
 - Umbau der Energieversorgungsstrukturen
 - Hoher Investitionsaufwand zu Beginn
 - Technologie- und Wissenstransfer
 - "Transformation" des Bewusstseins
(EE und konv. Energiewirtschaft zusammenbringen & Menschen mitnehmen)
- Entscheidend
 - politischer Wille und Bewusstseinswandel

Vielen Dank

Quellen (1) zu Klima, Energie und erneuerbarem Methan und 100% EE-Systemen / Transformation

WBGU (2009): Kassensturz zum Weltklimavertrag – Der Budgetansatz. Sondergutachten 2009. Berlin: WBGU – Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen. <http://www.wbgu.de>

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

WBGU (2007): Politikpapier 5. Berlin: WBGU – Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen. <http://www.wbgu.de>

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

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.

Solar-fuel (2009): www.solar-fuel.com

Quellen (2) zum Systemkonflikt / Mix konv. und EE

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

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>

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>

Quellen (3) zu EE-Potentialen

(Harvard) Lu, X.; McElroya, M. B.; Kiviluomac, J. (2009): Global potential for wind-generated electricity. In: PNAS.

<http://www.pnas.org/content/early/2009/06/19/0904101106>

(UNDP) Goldemberg, J. (2000): World Energy Assessment. Energy and the Challenge of Sustainability. 1. print. New York, NY: UNDP / UN-DESA / World Energy Council

(DLR) Teske, S.; Schäfer, O.; Zervos, A.; Beranek, J.; Tunmore, S.; Krewitt, W. et al. (2008): energy [r]evolution. A Sustainable Global Energy Outlook. Greenpeace und European Renewable Energy Council. Berlin. Online available at www.energyblueprint.info/

FAO (2008b): The State of Food and Agriculture 2008: Biofuels - Prospects, Risks and Opportunities. Rome: FAO

ISET (2008): Präsentationen zur Netzintegration – Das Kombikraftwerk. Kassel: Fraunhofer IWES. <http://www.iset.de>

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



www.iwes.fraunhofer.de

www.wbgu.de (Gutachten frei verfügbar)