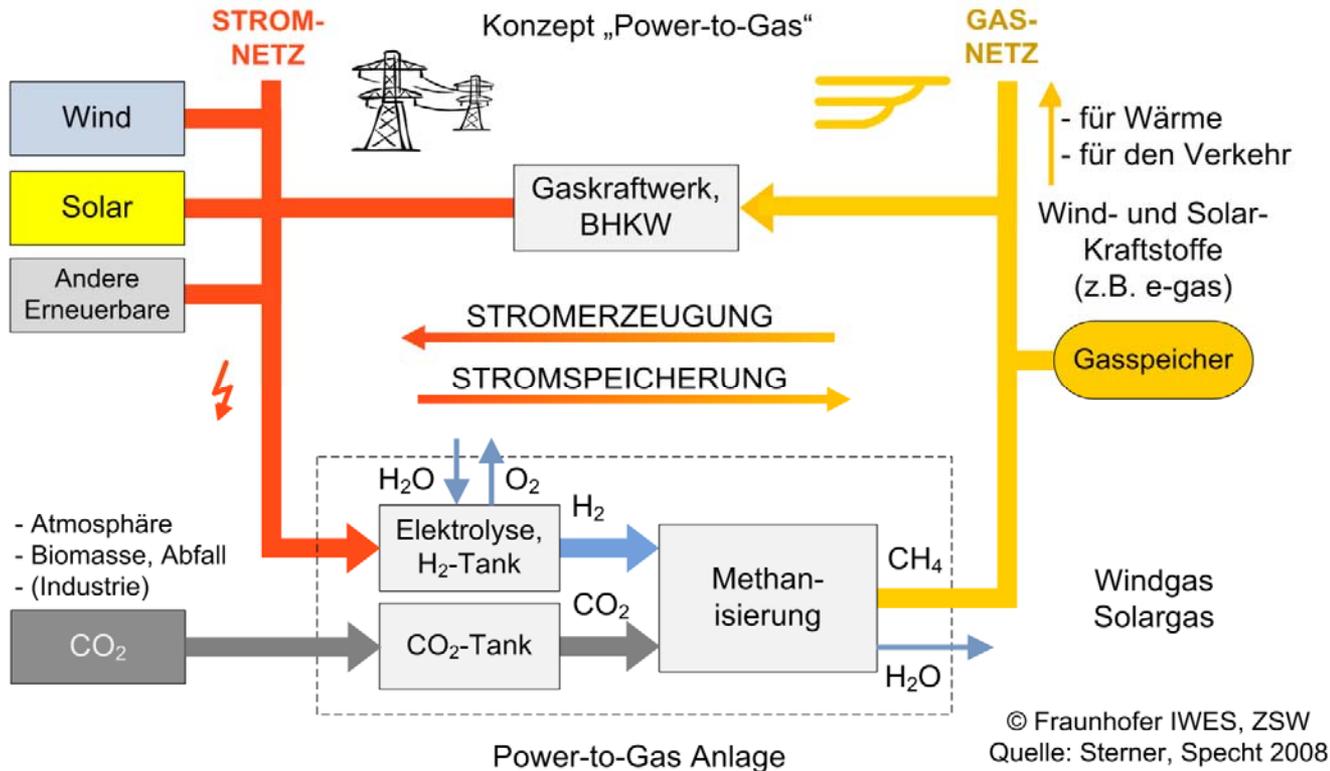


Power-to-Gas

Perspektiven einer jungen Technologie

Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner et al.



DPG Tagung
Arbeitskreis Energie
Deutsche
Physikalische
Gesellschaft

05.03.2013
TU Dresden

Inhalt

1) Ausgangslage: Wind und Solar brauchen Stützen

Fossile Energie, Potentiale, Flexibilitäten

2) Windgas / Power-to-Gas als Speicher

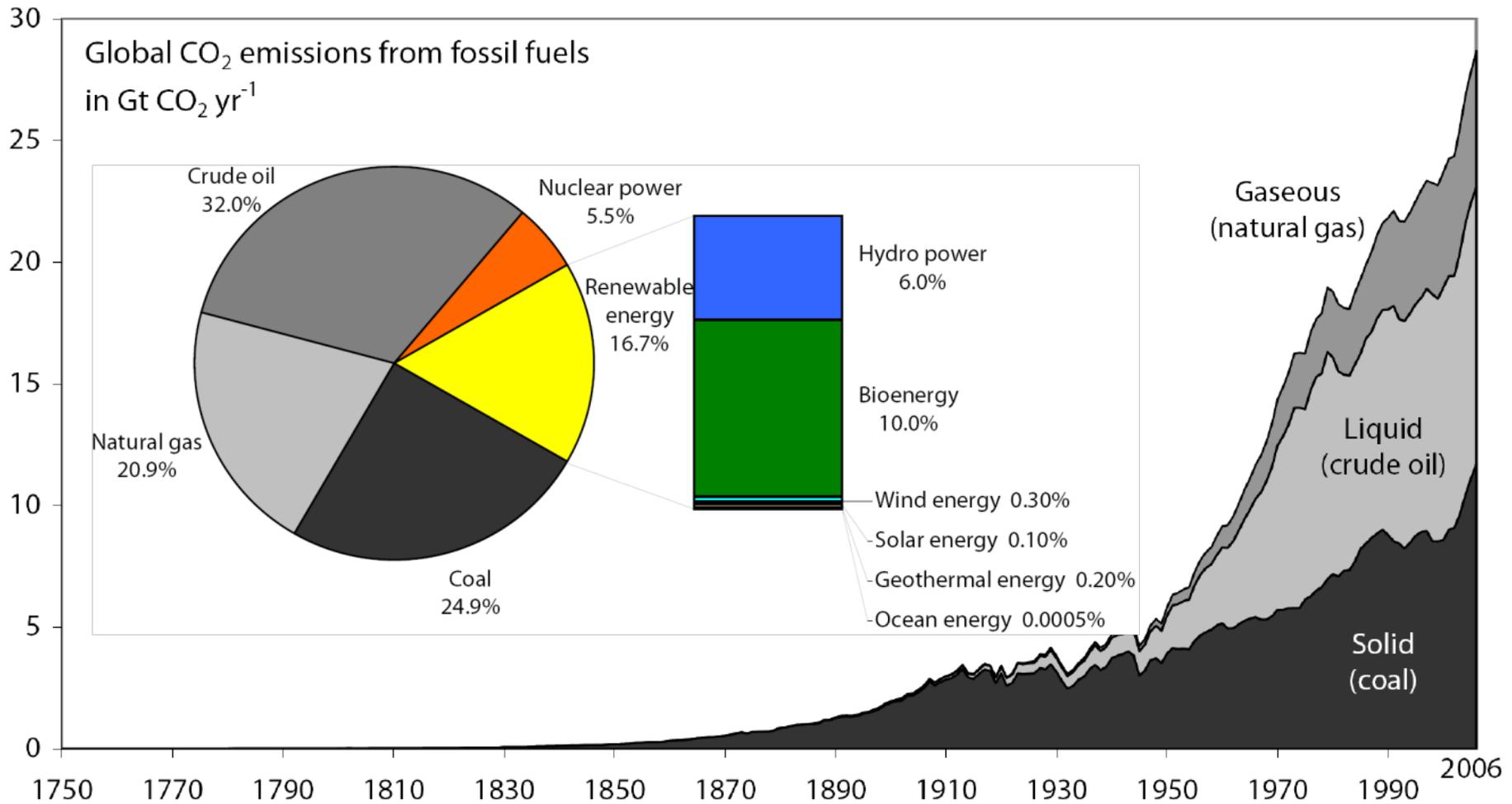
Technologie, Kosten, Pilot- und Demoanlagen

3) Power-to-Gas / Power-to-Liquid als Kraftstoff

Wind- und Solarkraftstoffe überwinden Tank/Teller- und Reichweitenproblem

4) Zusammenfassung

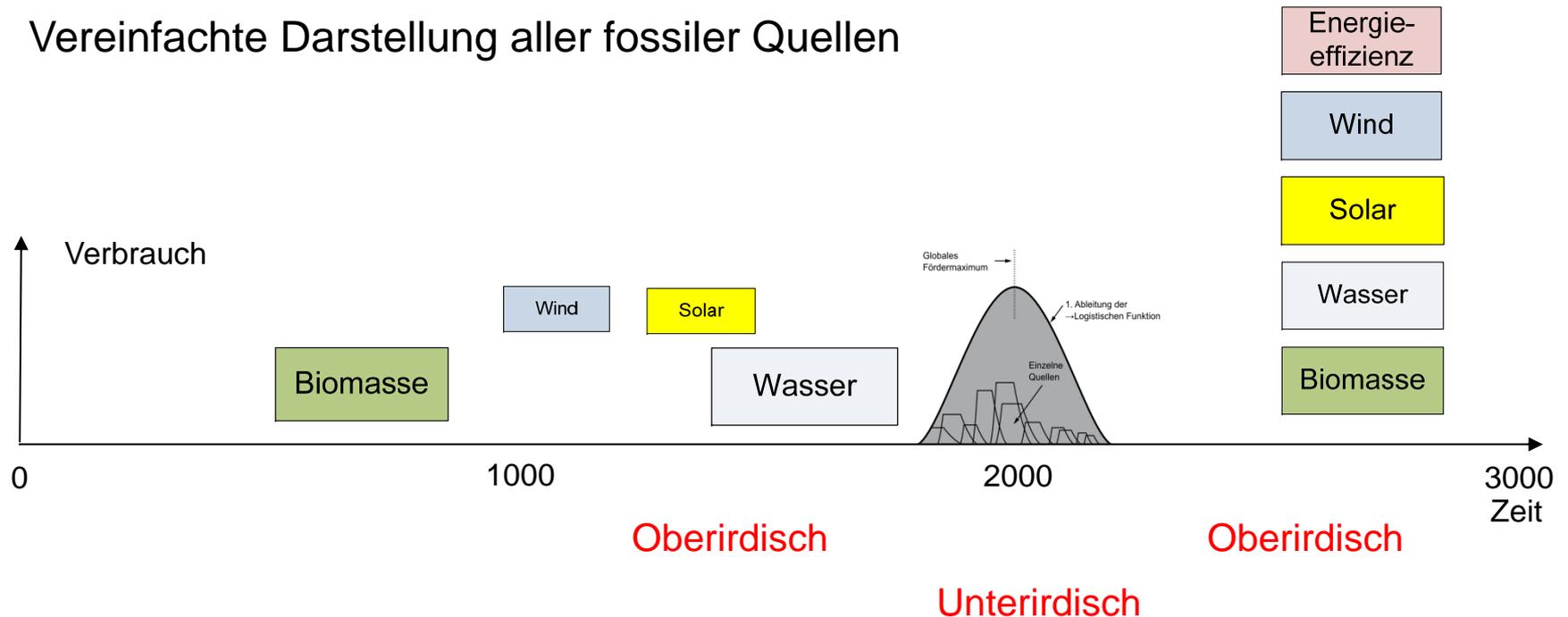
Energiebedingte Emissionen zwischen 1750 und 2006



Die Energieversorgung wird wieder oberirdisch

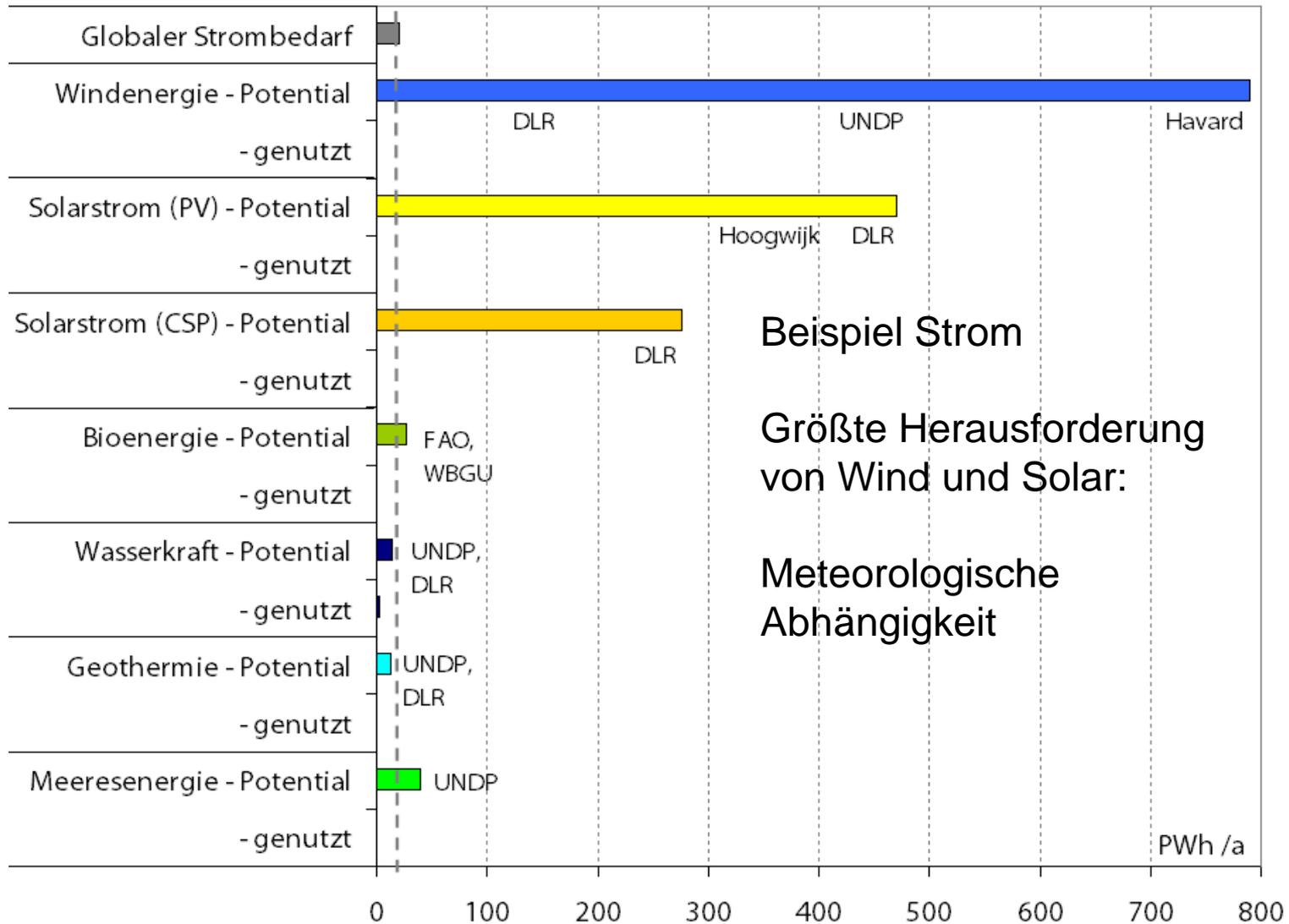
Das fossile Zeitalter: Ein infinitesimal kleines Zeitfenster der Erdgeschichte

Vereinfachte Darstellung aller fossiler Quellen

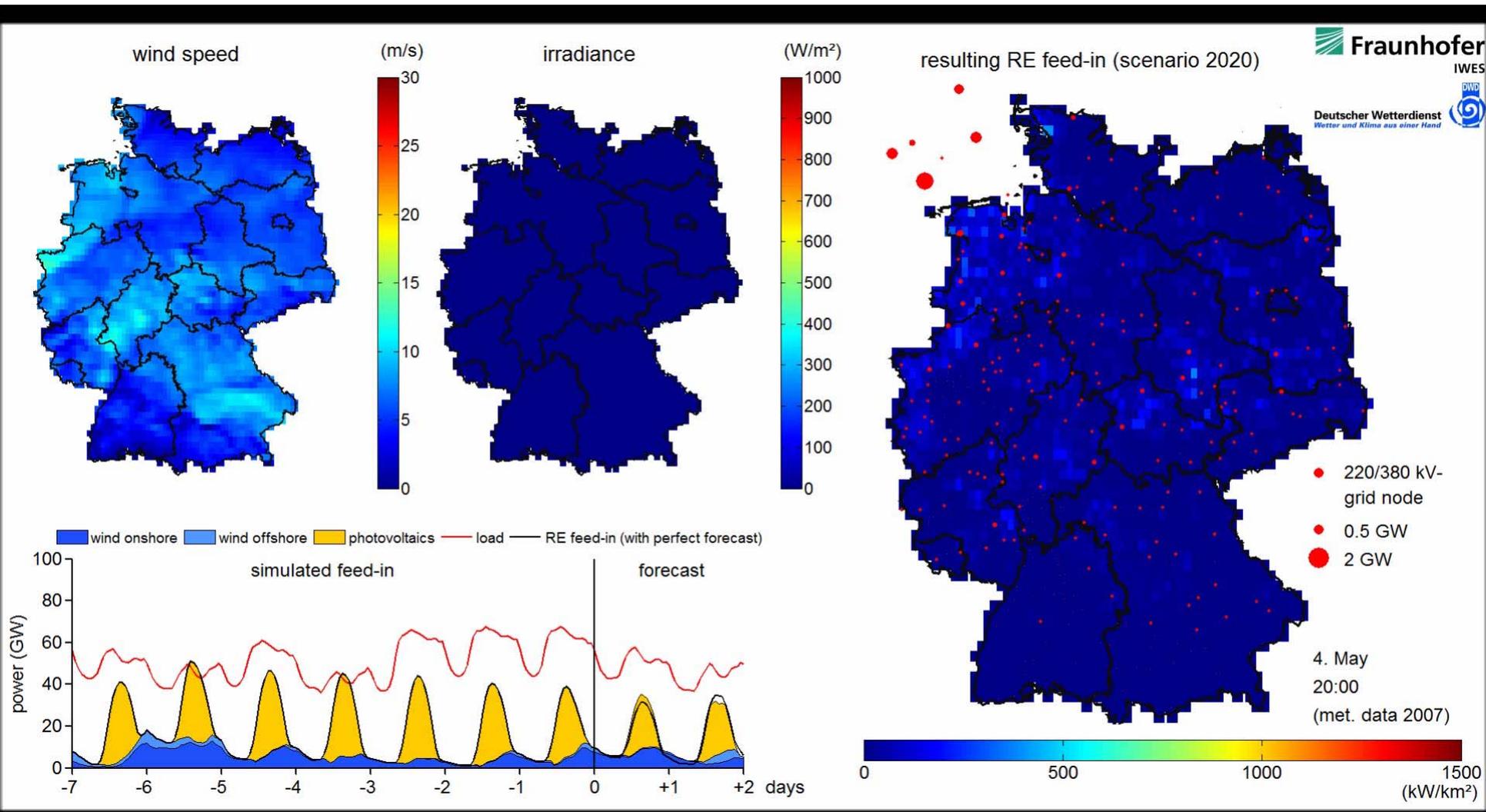


→ Energiewende = Erneuerbare Energien und Energieeffizienz

Das globale technische Potential erneuerbarer Energien



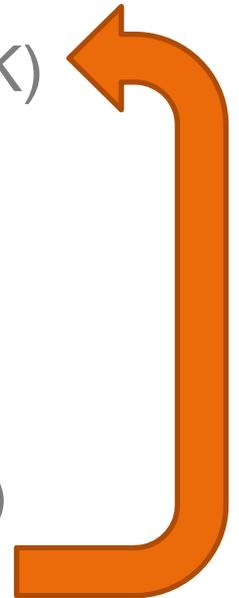
Wind und Photovoltaik werden zur leitenden Größe → Technologie und Markt danach ausrichten



Wind & Solar alleine schaffen eine stabile Wende nicht

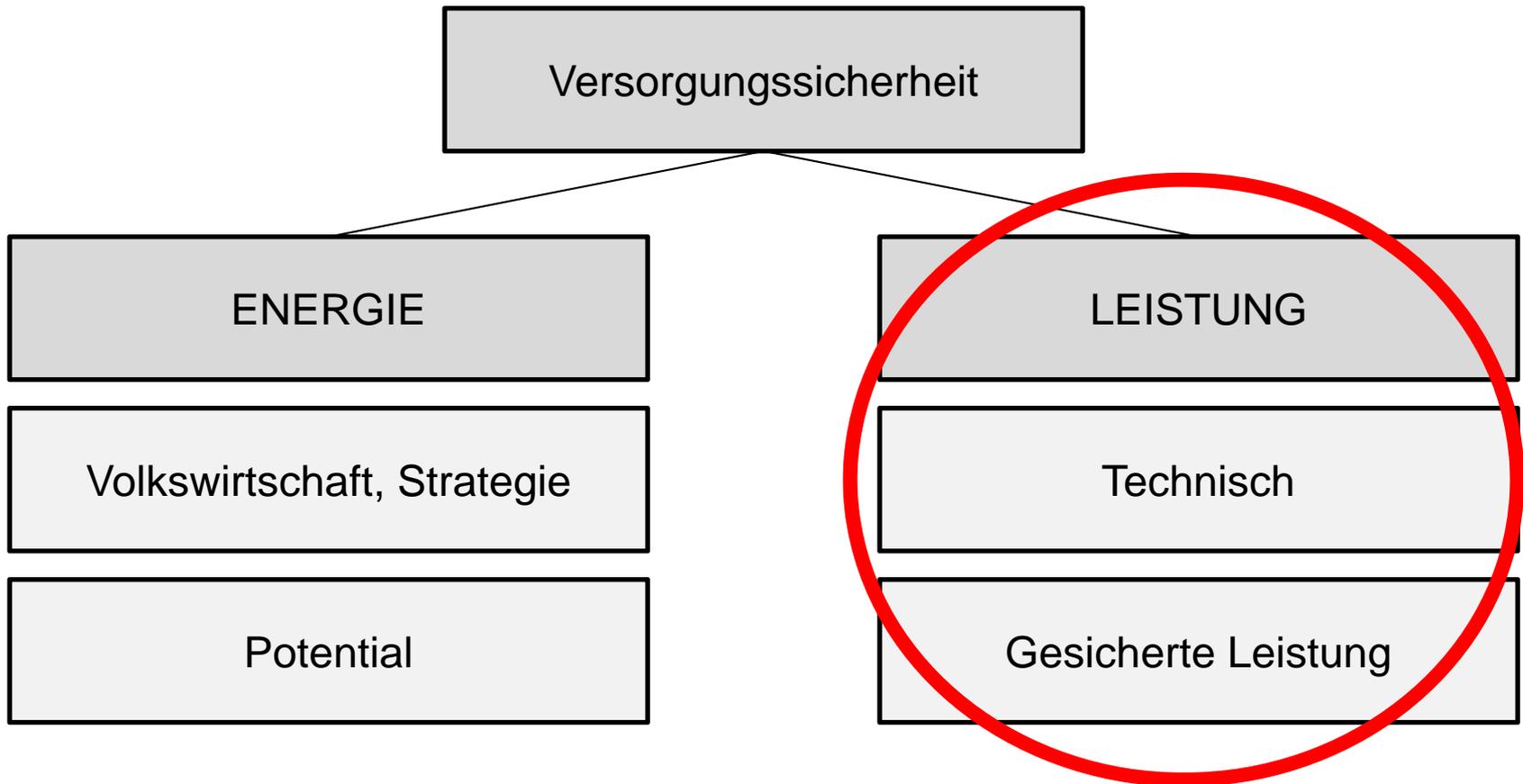
Wir brauchen Ausgleichsmaßnahmen:

1. Flexible Kraftwerke (v.a. Erdgas, Biogas, KWK)
2. Flexible Verbraucher (Lastmanagement)
3. Stromnetze (Netzaus- und -umbau)
4. Speicher
 - Kurzzeitspeicher (Pumpspeicher, Batterien)
 - Langzeitspeicher (Norwegen, Gasnetz)



Wind & Solar in das Gasnetz über Power-to-Gas

Was heißt Versorgungssicherheit?



Vergleich der Optionen zur techn. Versorgungssicherheit

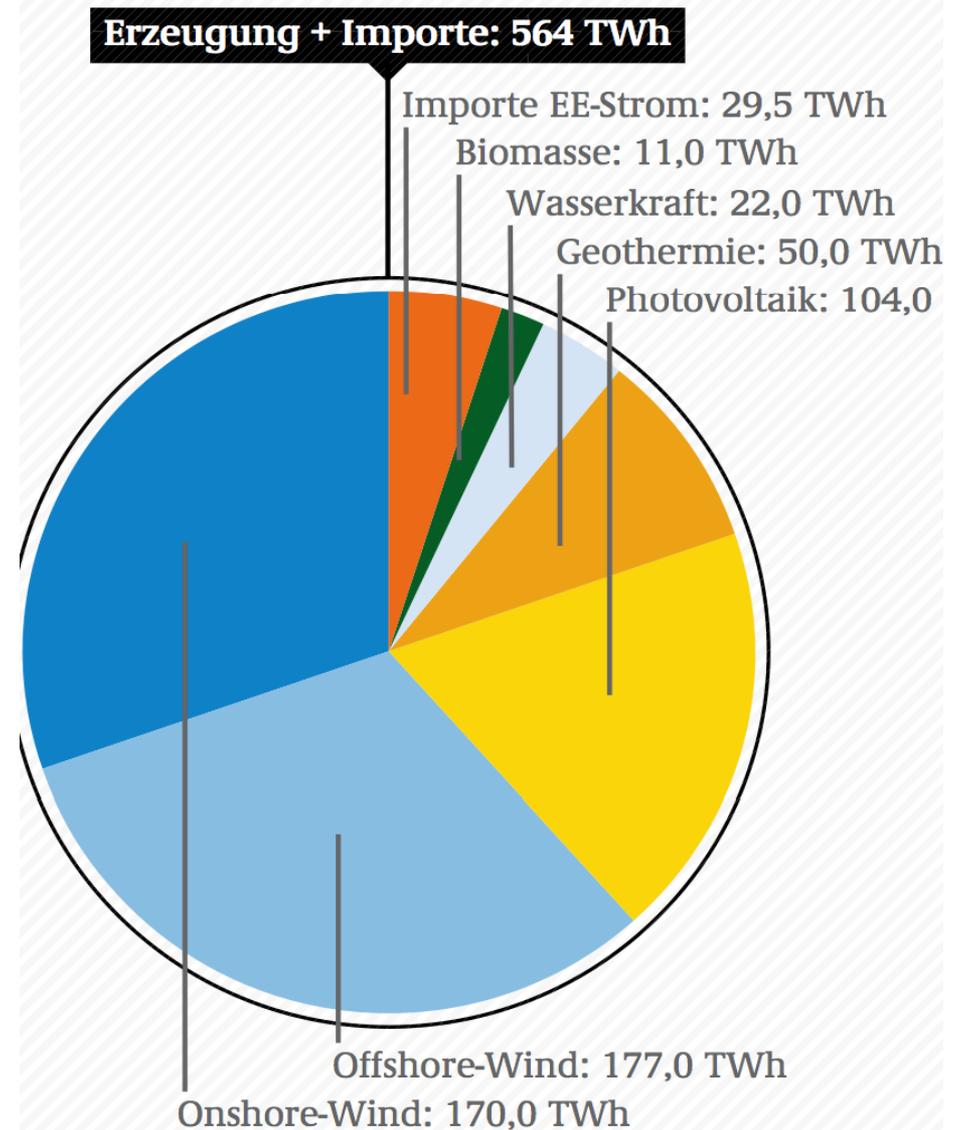
	Technisch	Wirtschaftlich	Gesellschaftlich
Netze	Green	Green	Red
Kraftwerke	Green	Yellow	Red
Speicher	Green	Red	Green

Masterplan?

→ regional leichter als national / europäisch

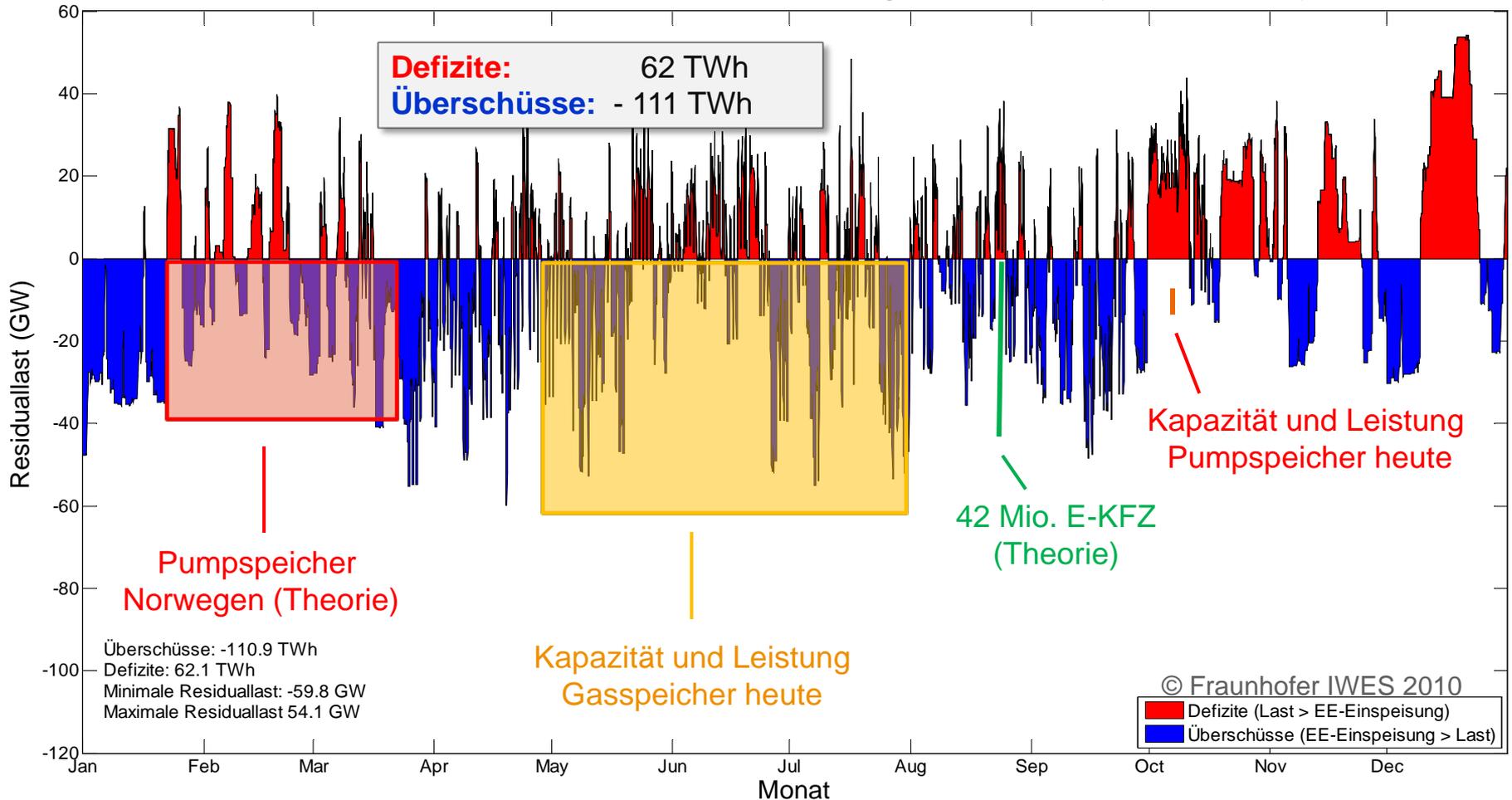
UBA Umweltbundesamt –100% regeneratives Szenario

2050:
100%
ERNEUERBARER STROM



Ab 70% erneuerbaren Energien entsteht ein großer Speicherbedarf trotz idealem Netzausbau

Residuallast nach allen Verbrauchern und Lastmanagement und PSW (Meteo-Jahr 2007)

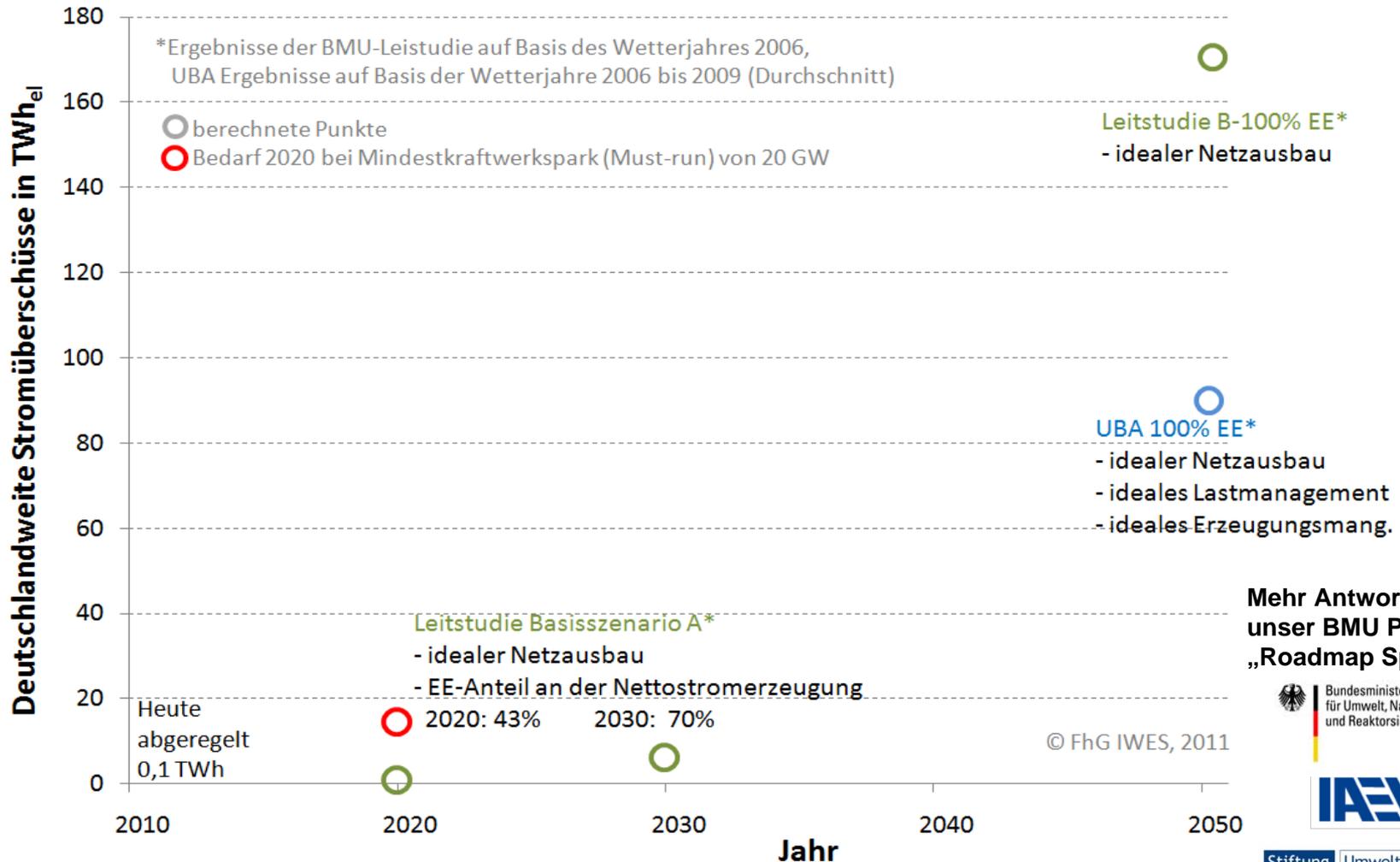


→ Gasspeicher haben die 1500 bis 3000-fache Kapazität aller Pumpspeicher (bei $\eta_{GT,GuD} = 28-55\%$)

Erste Abschätzung der Stromüberschüsse bis 2050

Speicher bei idealem Netz erst in 10-20 Jahren relevant !

Jetzt F&E notwendig!



Mehr Antworten:
unser BMU Projekt
„Roadmap Speicher“



Stiftung Umweltenergierecht

Inhalt

1) Ausgangslage: Wind und Solar brauchen Stützen

Fossile Energie, Potentiale, Flexibilitäten

2) Windgas / Power-to-Gas als Speicher

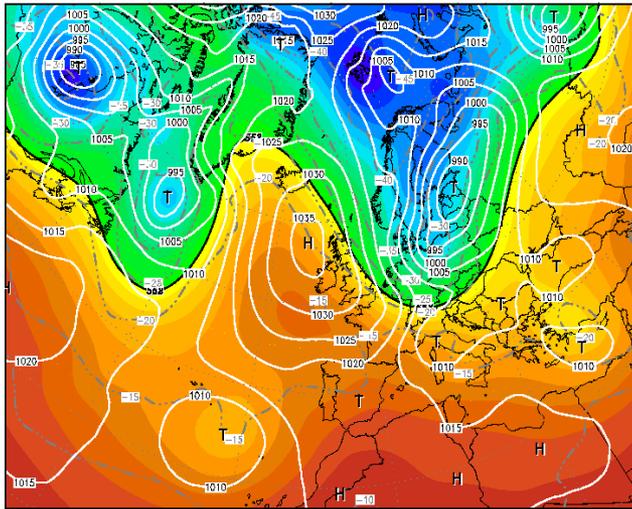
Technologie, Kosten, Pilot- und Demoanlagen

3) Power-to-Gas / Power-to-Liquid als Kraftstoff

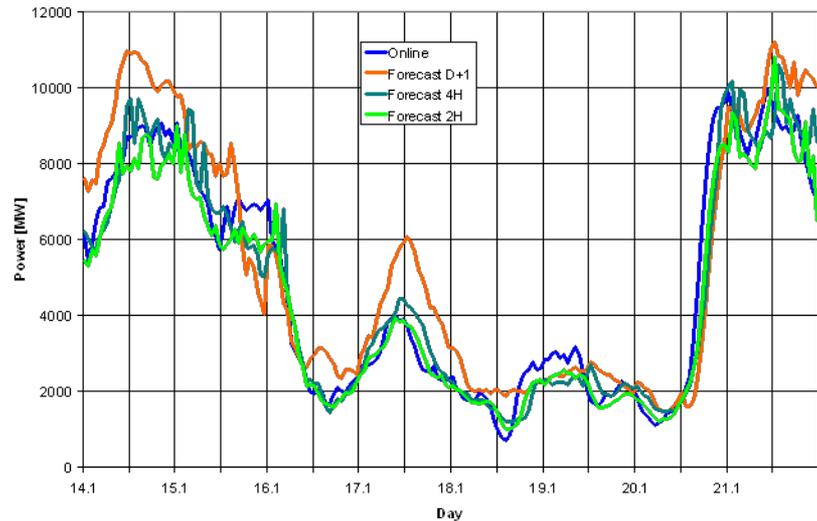
Wind- und Solarkraftstoffe überwinden Tank/Teller- und Reichweitenproblem

4) Zusammenfassung

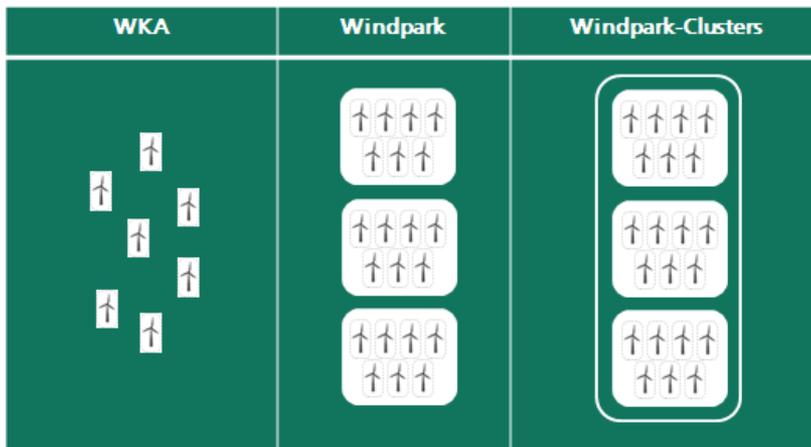
Entwicklungsschritte Integration EE bis Power-to-Gas



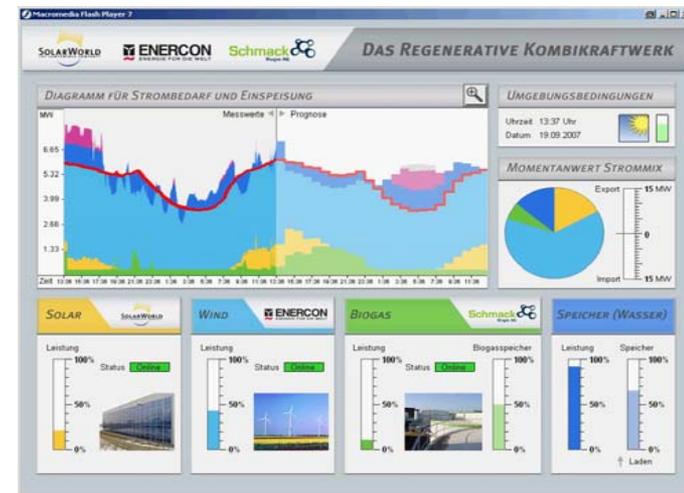
Numerisches Wettermodell



Windleistungsprognose für eine Regelzone



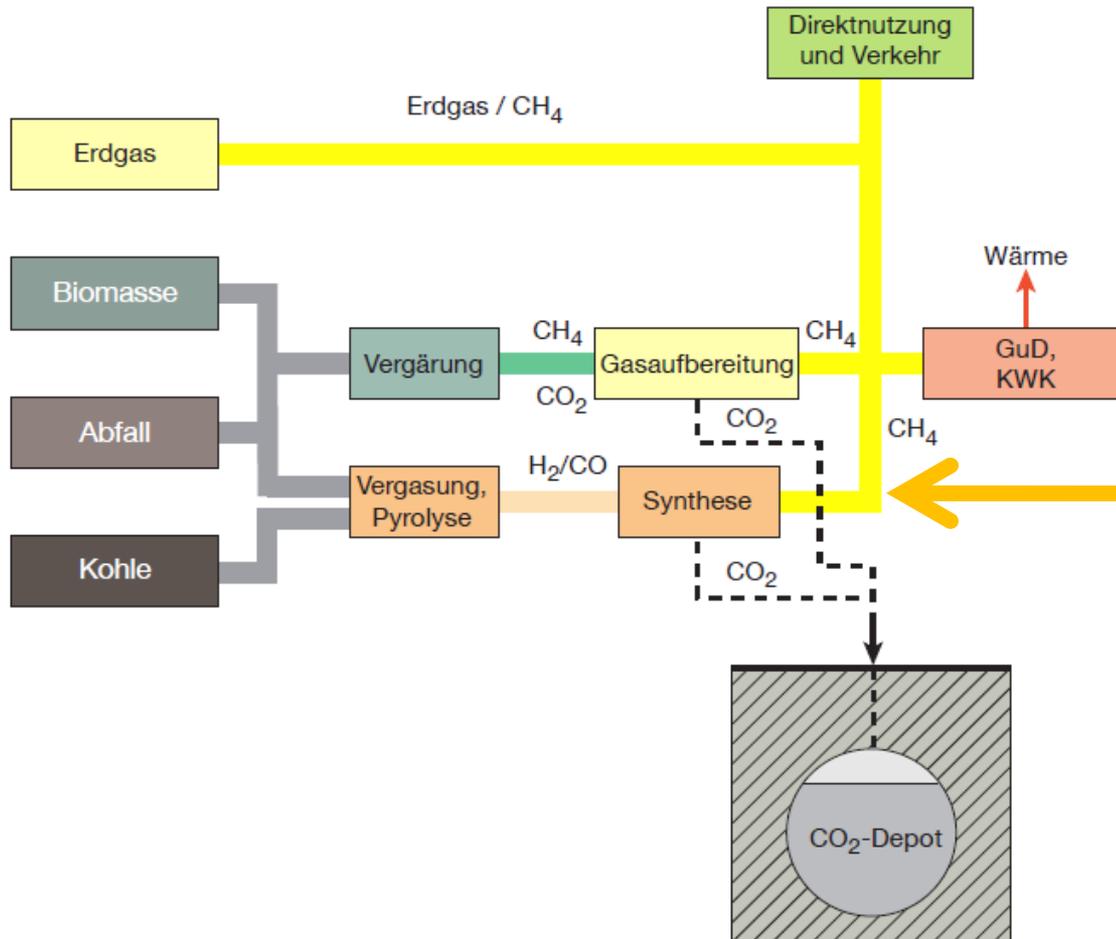
Wind Power Cluster Management



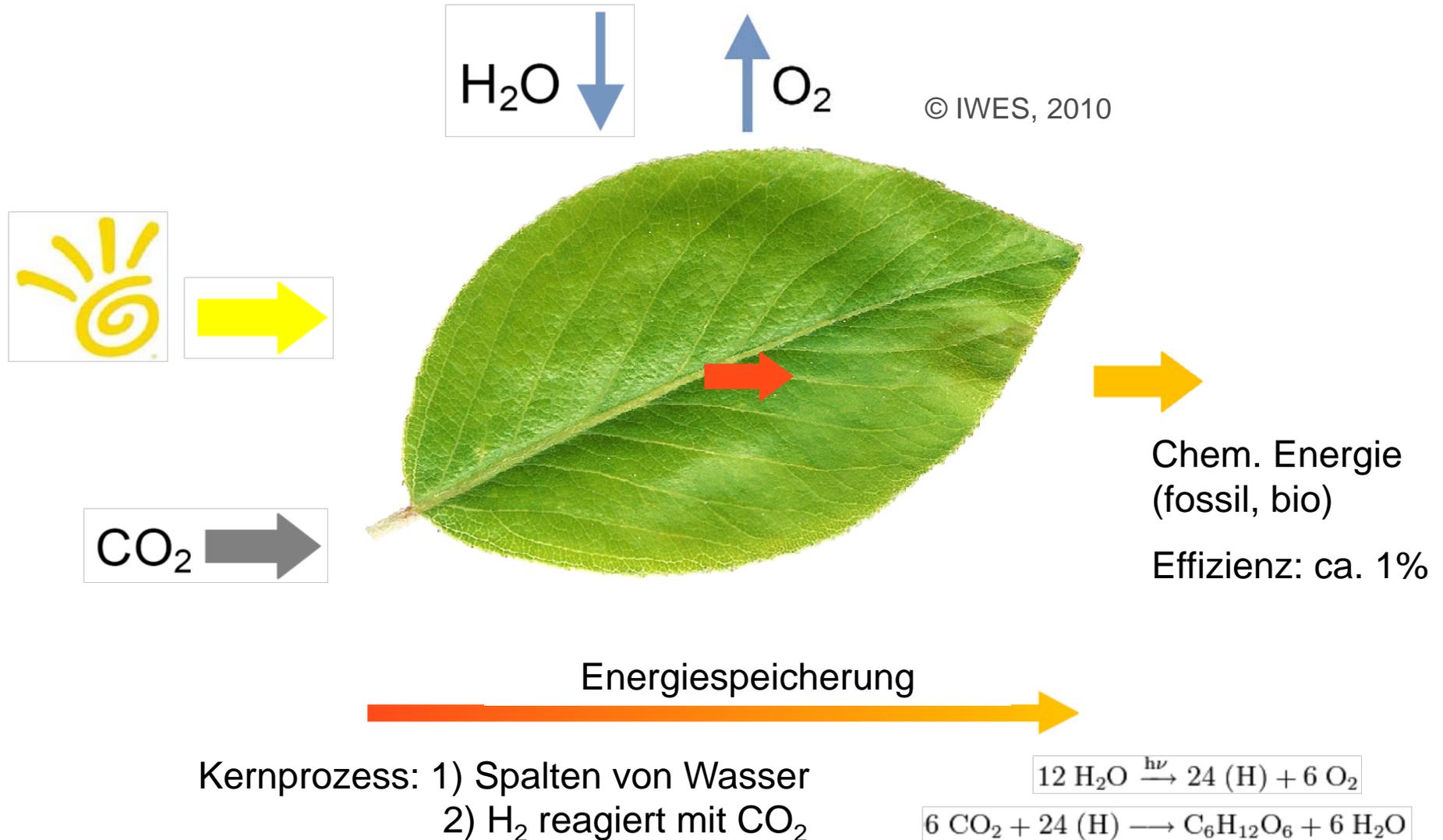
Kombikraftwerk

WBGU 2008: Integration von Biomasse: in das Gasnetz ideal

Vorstellung auf int. Biomassekonferenz in Valencia Juni 2008



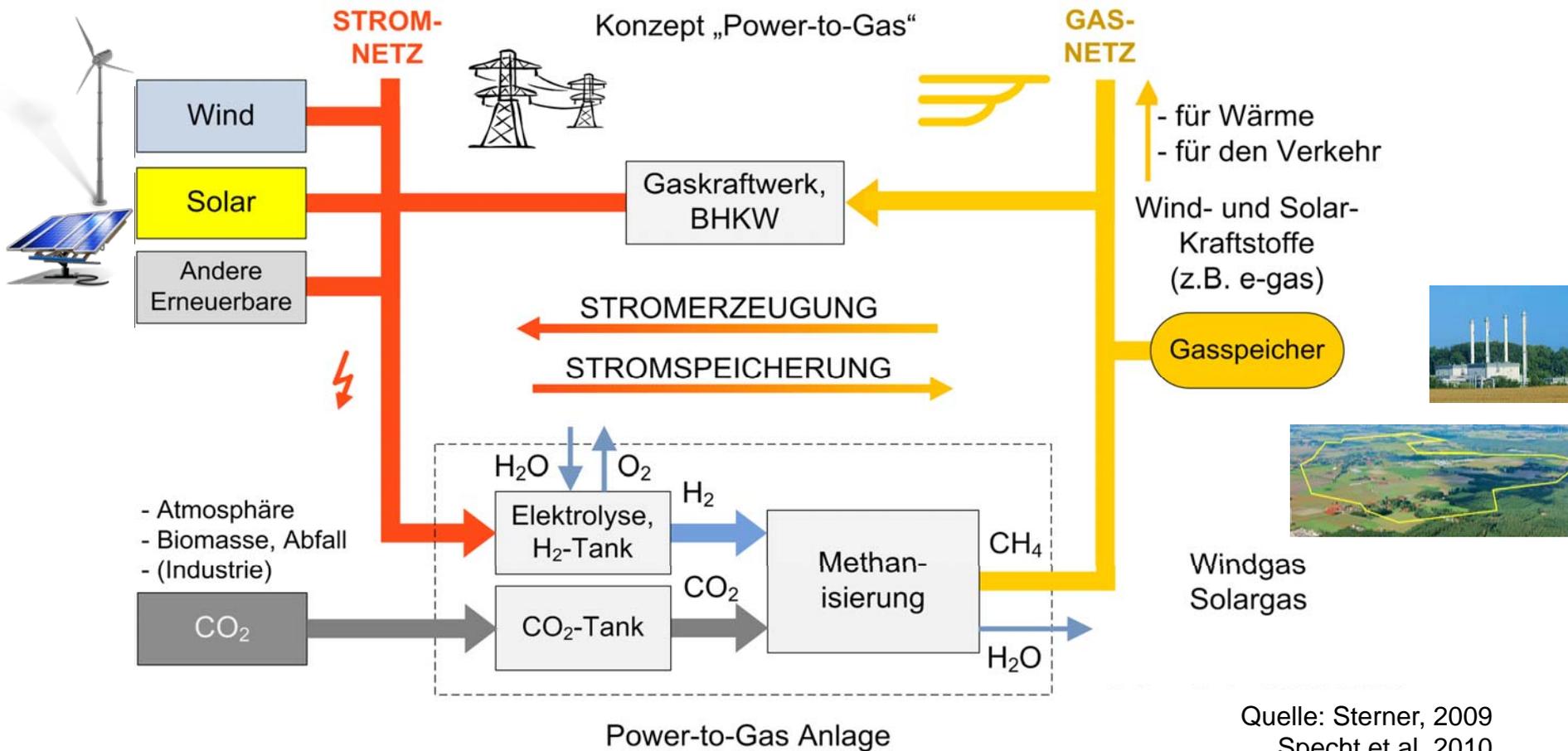
Wie speichert die Natur Energie über lange Zeiträume?



Erneuerbares Gas – Power-to-Gas

Energiespeicherung durch Kopplung von Strom- und Gasnetz

→ Technische Nachbildung der Photosynthese



Quelle: Sterner, 2009
Specht et al, 2010

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>

Wirkungsgrade von Power-to-Gas

Pfad	Wirkungsgrad	Randbedingung
Strom-zu-Gas 2/3		
Strom → Wasserstoff	54 – 72%	bei Kompression auf 200 bar (Arbeitsdruck der meisten Gasspeicher)
Strom → Methan (SNG)	49 – 64%	
Strom → Wasserstoff	57 – 73%	bei Kompression auf 80 bar (Einspeisung Fern/Transportleitung)
Strom → Methan (SNG)	50 – 64%	
Strom → Wasserstoff	64 – 77%	ohne Kompression
Strom → Methan (SNG)	51 – 65%	
Strom-zu-Gas-zu-Strom 1/3		
Strom → Wasserstoff → Strom	34 – 44%	bei Verstromung mit 60% und Kompression auf 80 bar
Strom → Methan → Strom	30 – 38%	
Strom-zu-Gas-zu-KWK (Wärme und Strom) 1/2		
Strom → Wasserstoff → KWK	48 – 62%	bei 40% Strom & 45% Wärme und Kompression auf 80 bar
Strom → Methan → KWK	43 – 54%	

vs. Norwegische Pumpspeicher mit 65-68% (75% vor Ort + 7-10% Verlust durch Stromtransport)

vs. 0% durch Abregelung oder vs. effizientere aber kapazitätslimitierte Speicheralternativen

Langzeitspeicherung: Wasserstoff vs. Methan (H₂ vs. CH₄)

	H ₂	CH ₄
Wirkungsgrad - der Herstellung - der Verstromung	54 - 77% gleich	49 - 65% gleich
Infrastruktur - Strom - Wärme - Verkehr	Zusatzgas - limitiert - limitiert - nicht kompatibel	Austauschgas - kompatibel - kompatibel - kompatibel
Energiedichte = Platzbedarf für Speicher	10 MJ / Nm ³	33 MJ / Nm ³
Transformations-Kosten	Einspeicherung Strom-H ₂ Speicherung Auspeicherung H ₂ -Strom Transport / Pipelines	Nur Einspeicherung

H₂-Einspeisegrenzen derzeit:
 2% Fahrzeuge
 1% Gaskraftwerke
 0,5% Messinstrumente
 Speicher unbekannt

Quelle: Nitsch, Sterner, et al, BMU Langfristszenarien 2010

Einspeisung von Wasserstoff in das Gasnetz: Grenzen schnell erreicht

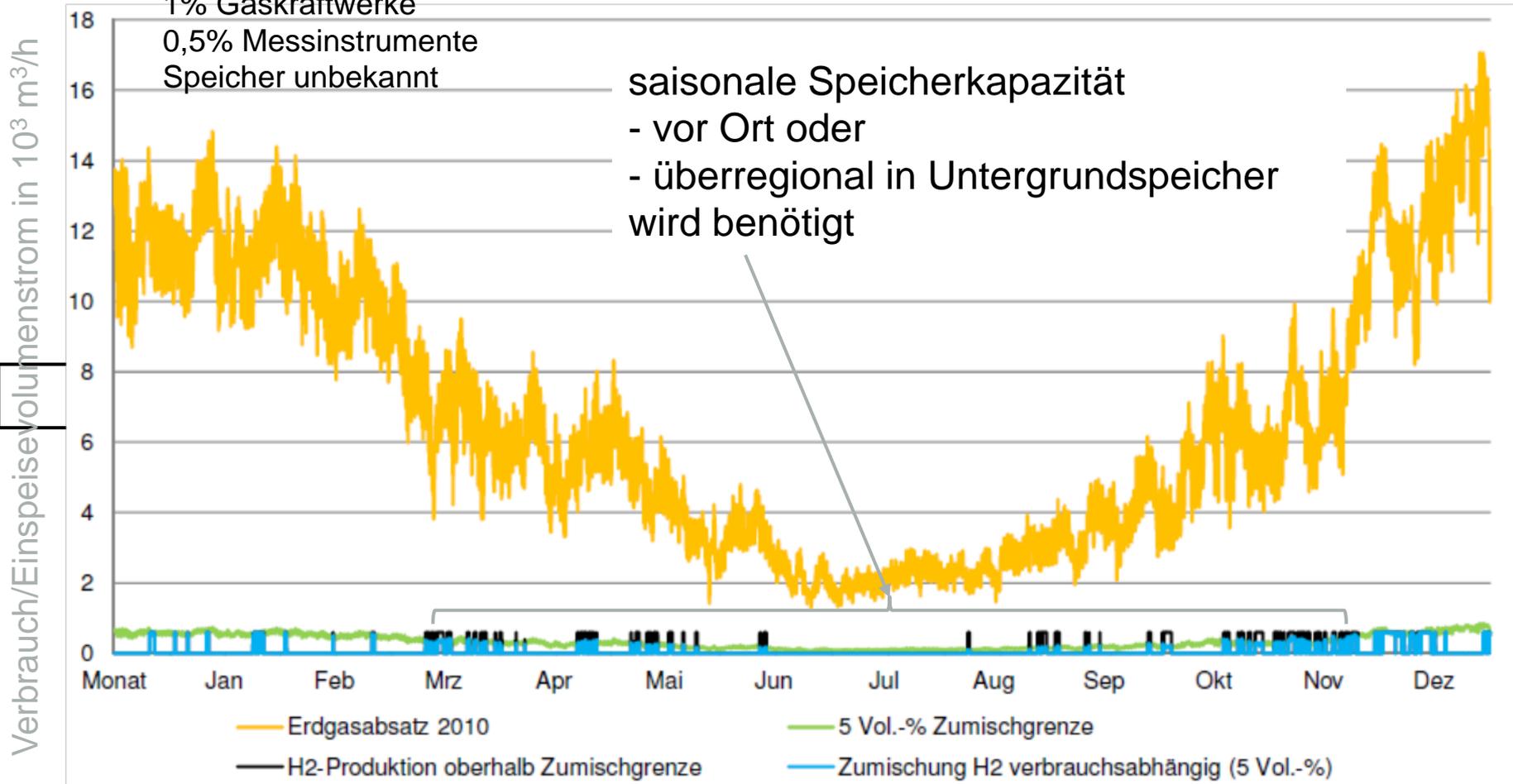
H₂-Einspeisegrenzen derzeit:

2% Fahrzeuge

1% Gaskraftwerke

0,5% Messinstrumente

Speicher unbekannt

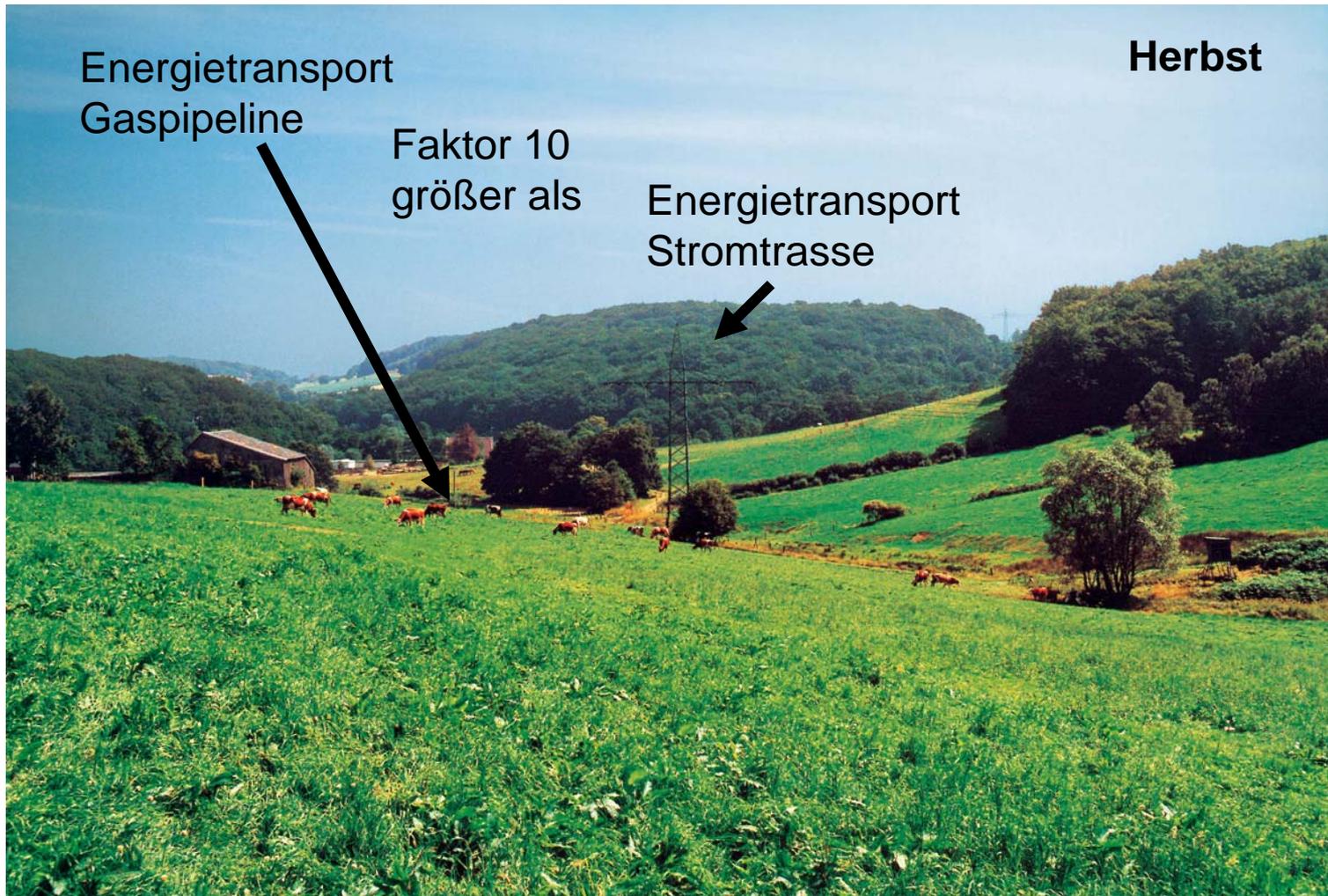


Netzausbau Strom vs. Gas Pipeline nach Belgien/UK...



Frühjahr

Netzausbau Strom vs. Gas Pipeline nach Belgien/UK...



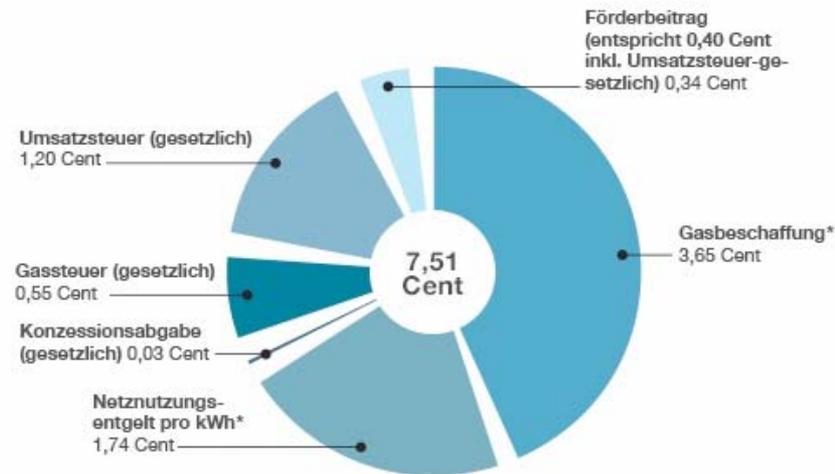
Quelle: Bauer, Wingas Transport 2011

Hybridkraftwerk Prenzlau



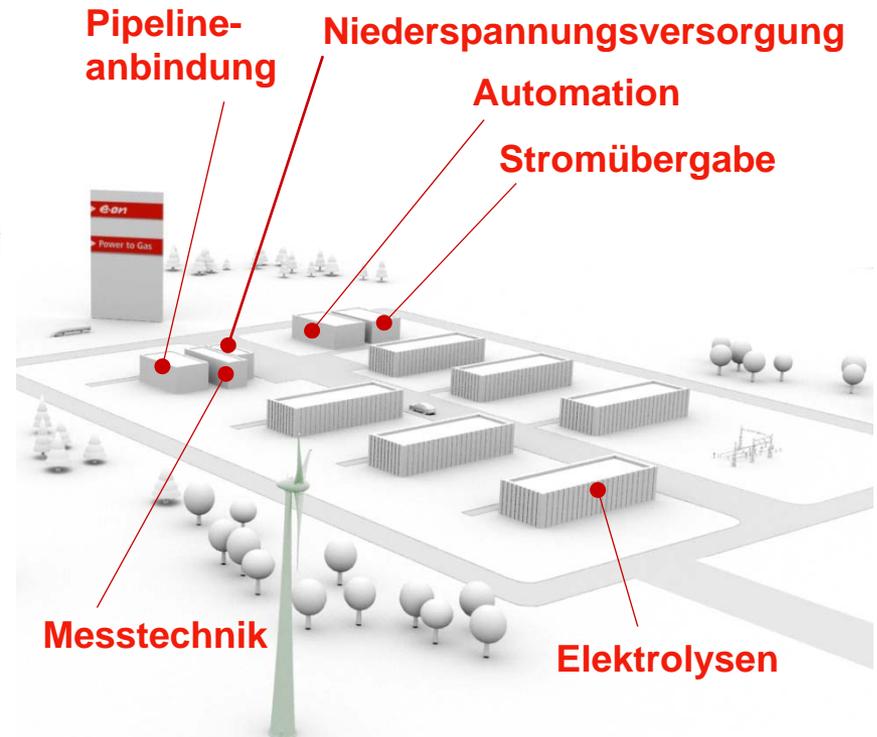
Windgas bei Greenpeace Energy

- 10 Über 6000 neue Gaskunden
- 10 Direktvermarktung des Gases



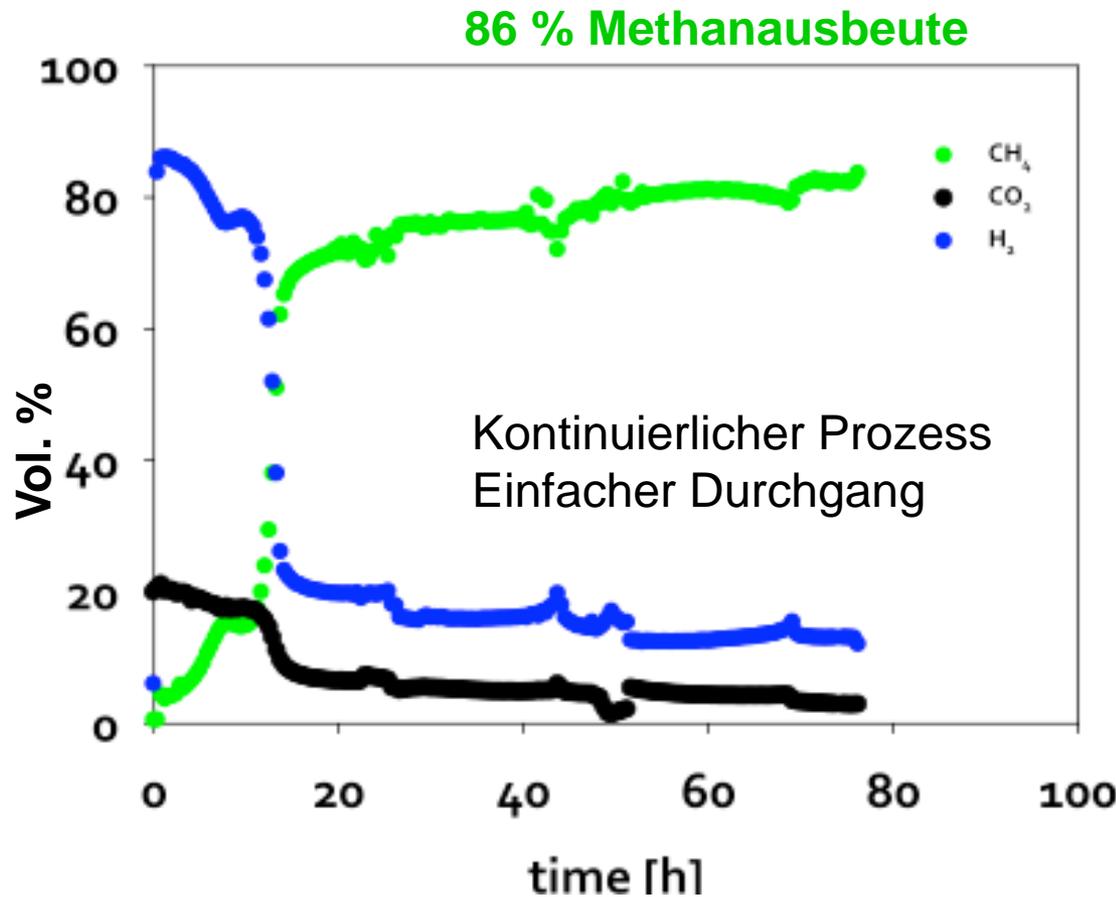
* Schätzung anhand vorsichtiger Prognosen, unterjährige Schwankungen sind möglich.
© Greenpeace Energy eG

Power-to-Gas bei E-ON Ruhrgas



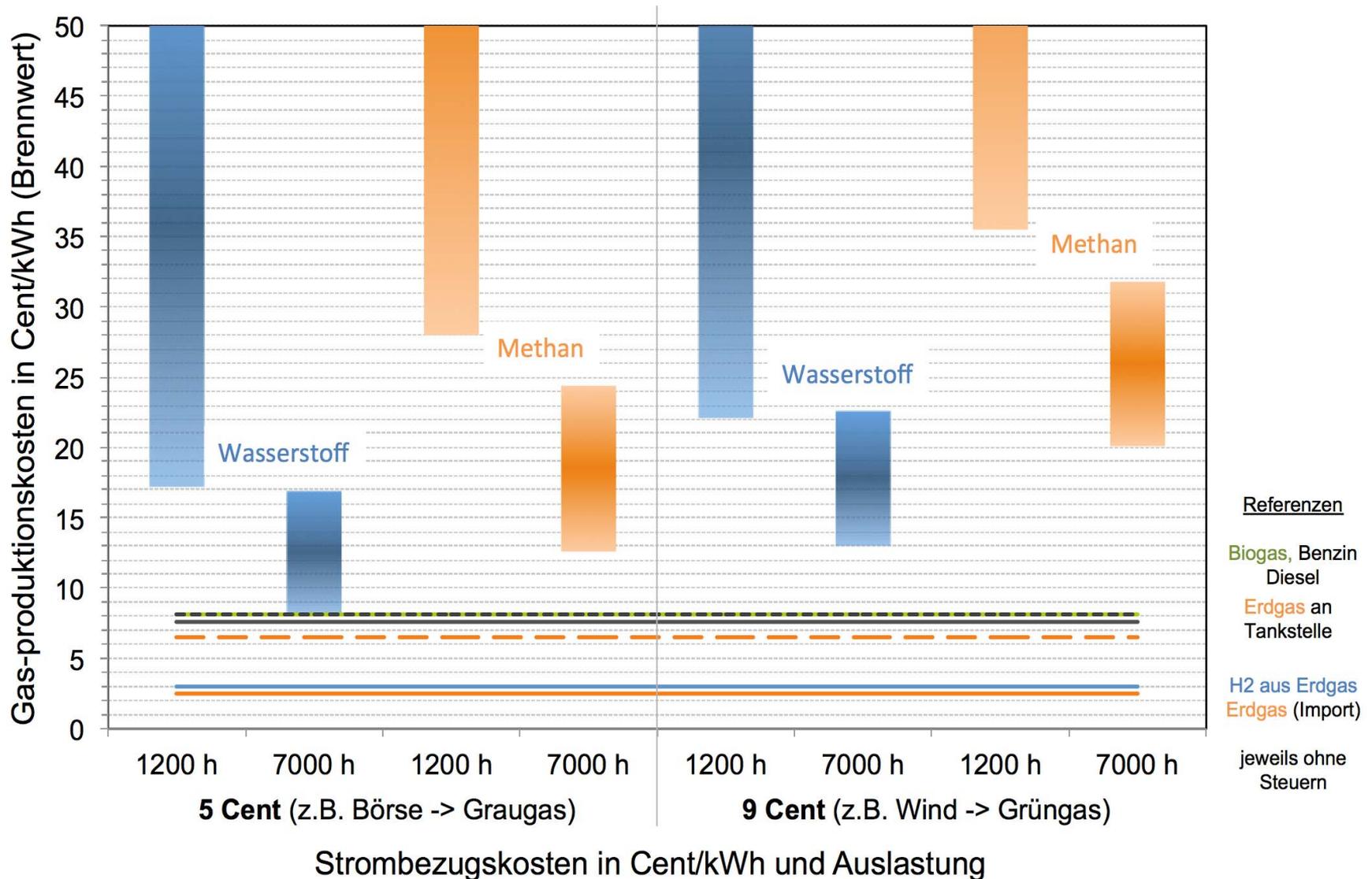
2011: Entwicklungsstand Power-to-Gas – biologisch – Methan

Pilotanlagen in Schwandorf (MicroBEnergy) und Linz (Krajete)



Gestehungskosten für EE-Gas

Ergebnisse DVGW Projekt Energiespeicherkonzepte



Inhalt

1) Ausgangslage: Wind und Solar brauchen Stützen

Fossile Energie, Potentiale, Flexibilitäten

2) Windgas / Power-to-Gas als Speicher

Technologie, Kosten, Pilot- und Demoanlagen

3) Power-to-Gas / Power-to-Liquid als Kraftstoff

Wind- und Solarkraftstoffe überwinden Tank/Teller- und Reichweitenproblem

4) Zusammenfassung

Welche Leistung liegt ständig an den deutschen Tankstellen an?



170 Mio l Benzin / Tag

=

64 GW !

Irene kontrolliert gerade einen Leistungsfluss von **16 MW**:

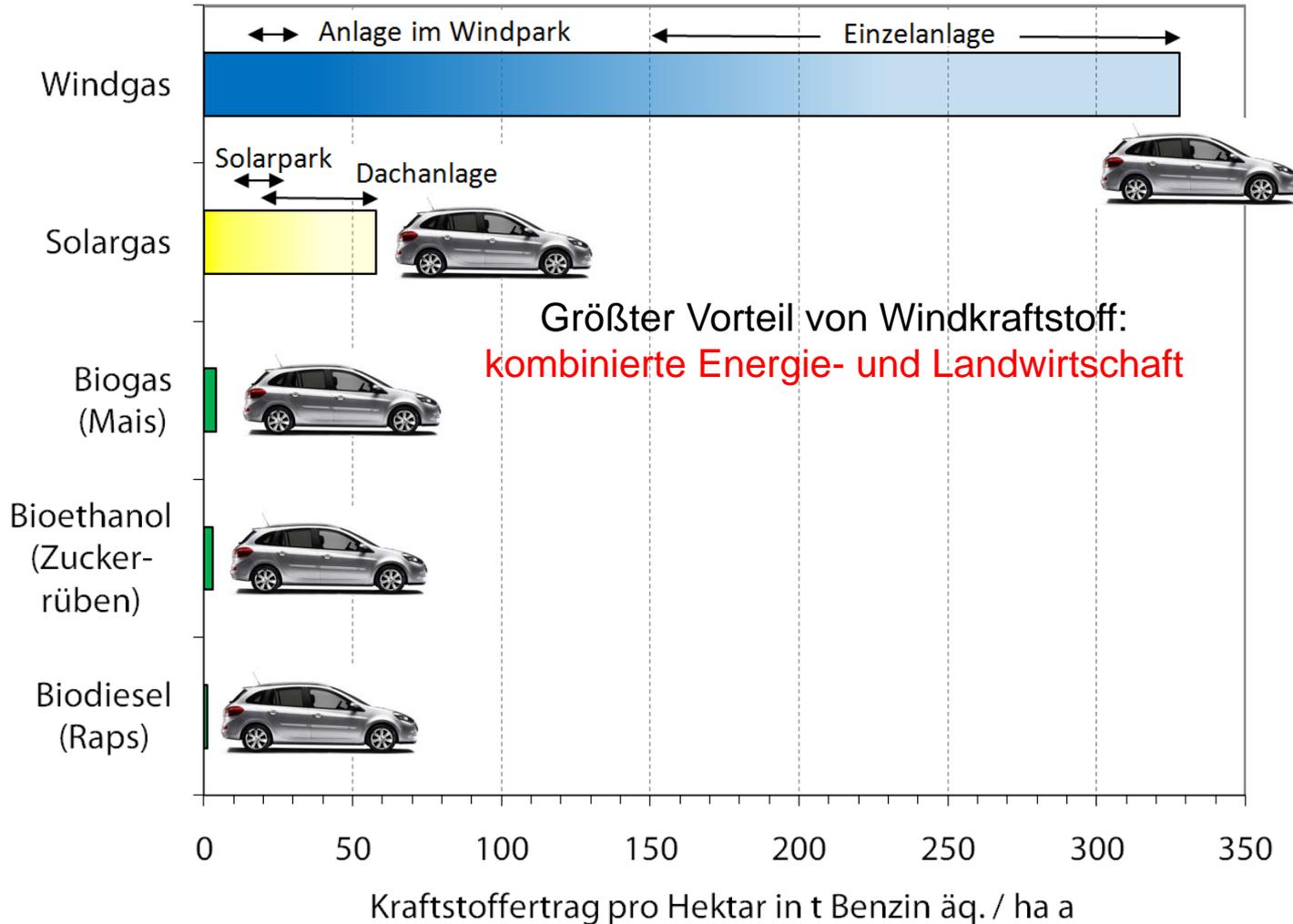
Energieinhalt Benzin: 9 kWh/l = 32 MJ/l

Durchflussmenge: 0,5 l/s)

Elektrisches Äquivalent von
32.000 Haushalten (a' 500 W Mittelwert)!

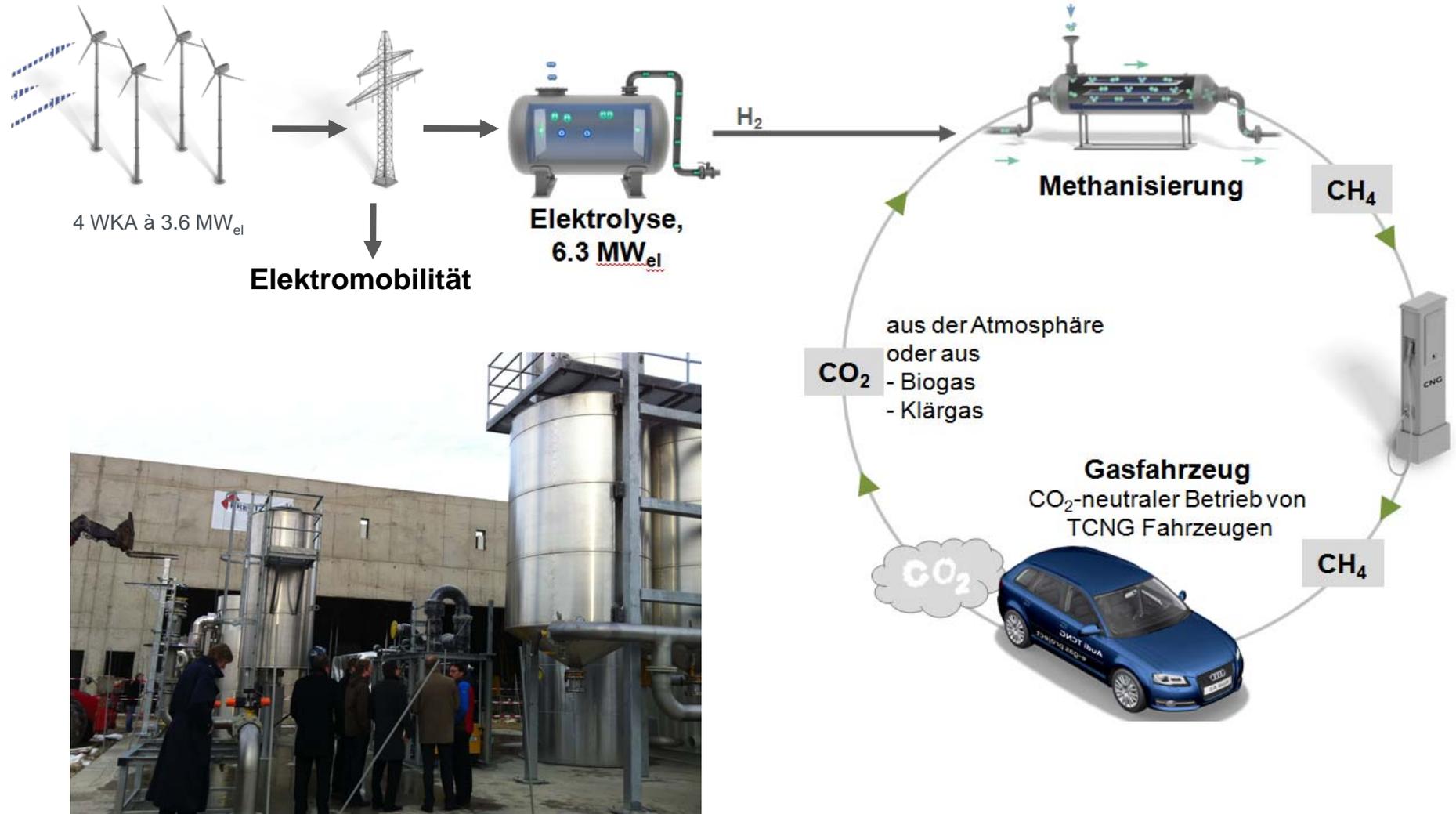
Wind- und Solarkraftstoffe entschärfen Tank-Teller-Konflikt

Hektarertrag für regenerativen Kraftstoff in t Benzin-Äquivalente

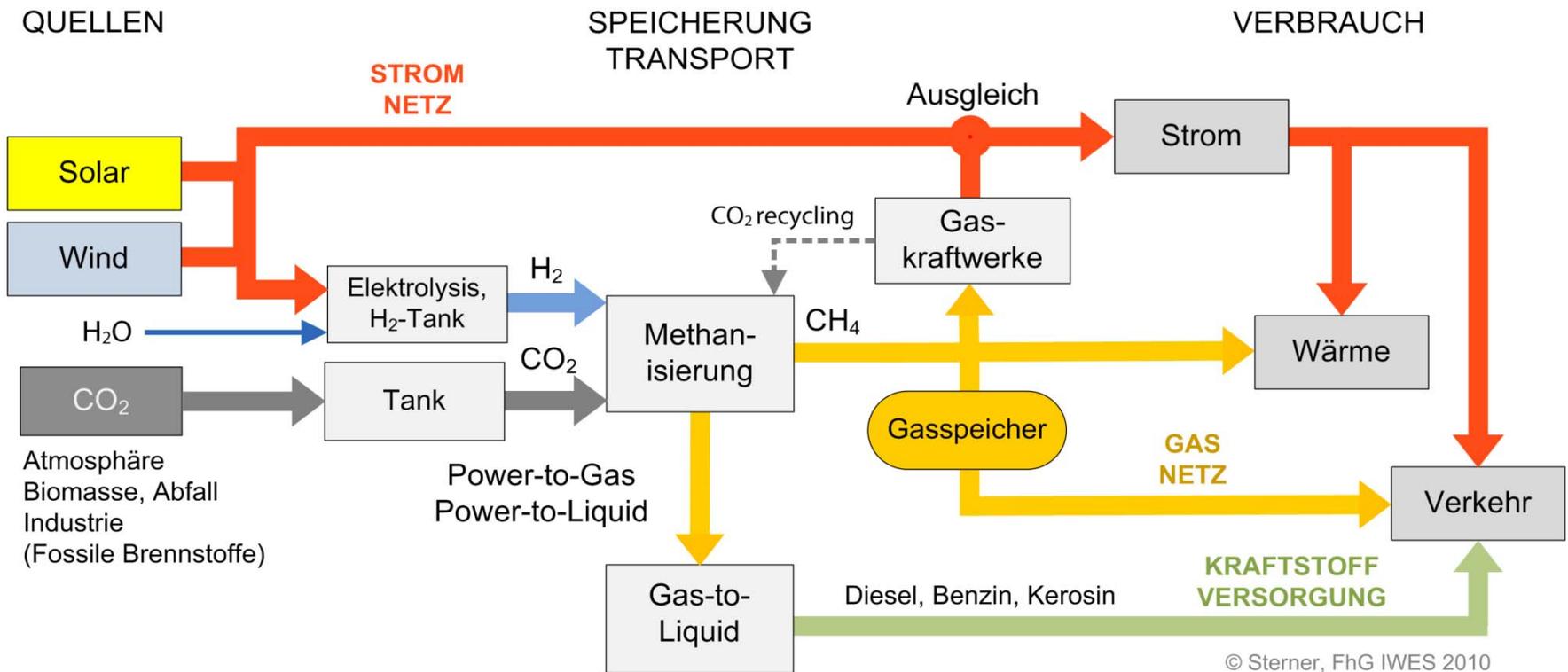


Audi e-gas Projekt in Werlte / Emsland

Richtfest am 13.12.12



Sichere, stabile Energieversorgung möglich durch Koppelung der Energienetze



Inhalt

1) Ausgangslage: Wind und Solar brauchen Stützen

Fossile Energie, Potentiale, Flexibilitäten

2) Windgas / Power-to-Gas als Speicher

Technologie, Kosten, Pilot- und Demoanlagen

3) Power-to-Gas / Power-to-Liquid als Kraftstoff

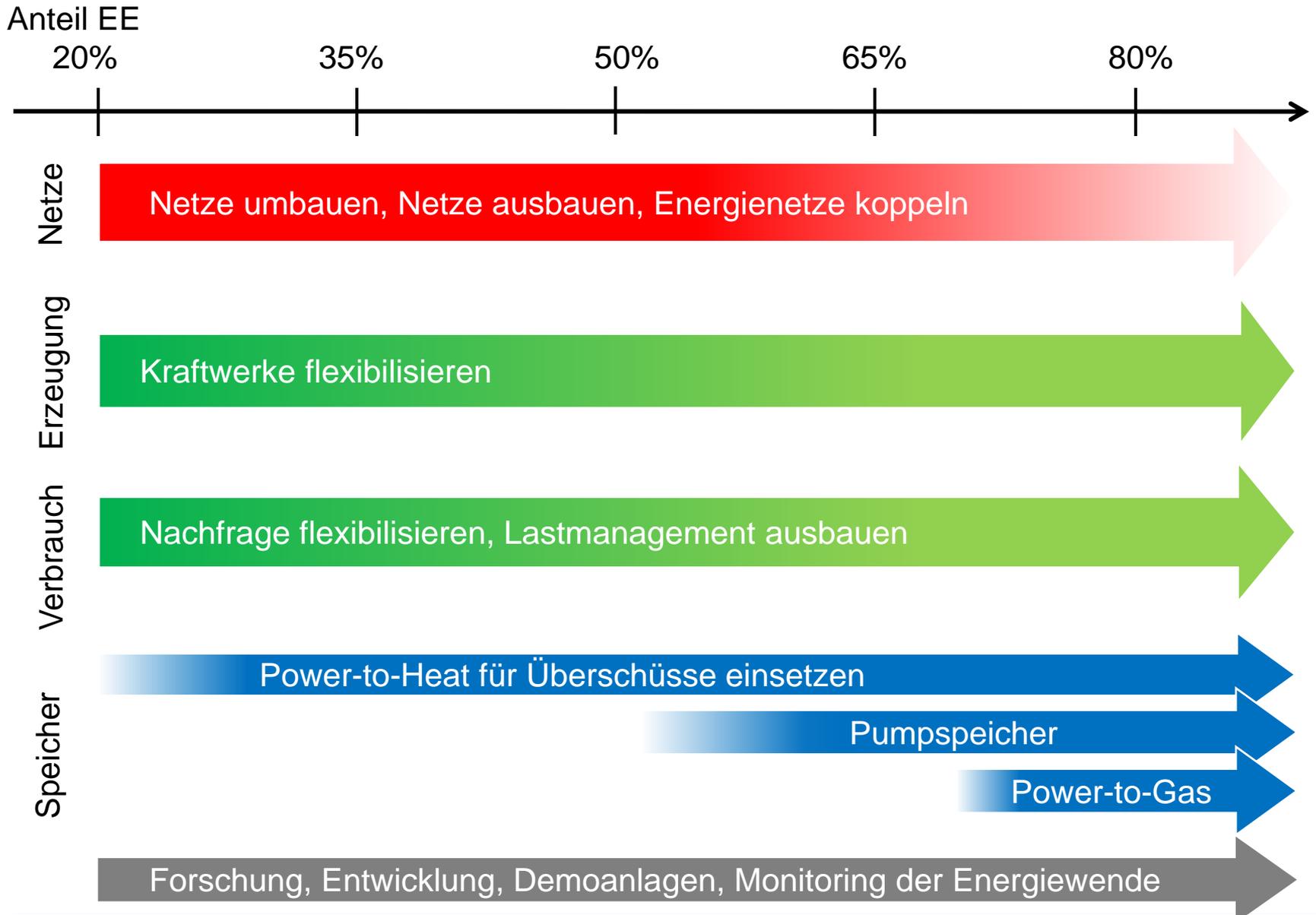
Wind- und Solarkraftstoffe überwinden Tank/Teller- und Reichweitenproblem

4) Zusammenfassung

FAHRPLAN ENERGIEWENDE

Technische und gesellschaftliche Stationen auf dem Weg
zu einem nachhaltigen Energiesystem - ein Diskussionsimpuls

Handlungsfeld Stromerzeugung: Wind / PV leitende Größen



Chancen von Power-to-Gas

- Nutzung der vorhandenen Infrastruktur
 - Pipelines, Speicher, Kraftwerke, BHKW, Herde, Heizungen, Fahrzeuge
 - Austauschgas (Methan) statt Zusatzgas (Wasserstoff)
- Erschließt enorme Speicherkapazitäten
 - Langzeitspeicherung von EE im Erdgasnetz – „ohne“ Begrenzung
 - CH₄ (Erdgas) Langzeitspeicherung technisch erprobt und vorhanden
- CO₂-neutraler Energieträger auch 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
 - Vermeidung von Übertragungsnetzengpässen (Redispatch) und deren Kosten
 - „Gas“ aus der Sahara – Pipeline zw. Algerien und Spanien vorhanden

Risiken von Power-to-Gas

- Überzogene Erwartungen → Enttäuschung → Verzögerung
 - Technologie generell sehr alt aber gleichzeitig sehr jung in der Energietechnik
 - Technologieentwicklung & Kostensenkung vorantreiben – Vermeiden v. „Growian“
 - Roadmap Power-to-Gas & Einbindung Fahrplan Energiewende angebracht
- Atomgas, Kohlegas, Erdgas-to-Gas
 - Energetischer Kurzschluss im Energiesystem durch $E_{\text{chem}} \rightarrow E_{\text{el}} \rightarrow E_{\text{chem}}$
 - Wirtschaftlichkeit nur gegeben bei hohen Vollaststunden
→ Verstetigung fossiler / nuklearer Einspeisung möglich (Chance? / Risiko?)
 - Benchmark von „Graugas“ = fossiles Gas → keine Wirtschaftlichkeit zu erwarten
 - Wärmemarkt: Alternative Heizstab → setzt Erdgas ca. doppelt so effizient & für einen Bruchteil der Kosten frei für Mobilität / Strom
- Greenwashing fossiler Energie
 - CO₂ – Quelle für Klimabilanz von Power-to-Gas irrelevant, da klimaneutral
 - Kann jedoch keine CO₂ – Senke für fossile Kraftwerke sein
→ Emissionshandel: fossile Emissionen bleiben beim fossilen Brennstoffnutzer

Ausgewählte Informationen und Quellen

- 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., Jentsch, M. (2011): Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes. Gutachten für Greenpeace Energy. Fraunhofer IWES, Kassel.
<http://www.greenpeace-energy.de/windgas/windgas-idee-mit-zukunft.html>
- Sterner, M.; Specht, M.; Ebert, G. (2010): Technologievergleich einer regenerativen Energieversorgung des Verkehrs. FVEE Jahreskonferenz 2010, Berlin.
- Nitsch (DLR), Sterner (IWES), Wenzel (IfnE) et al (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global; „Leitstudie 2011“ BMU - FKZ 03MAP146. Berlin, Stuttgart, Kassel.
http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2011_bf.pdf
- Klaus, T., Sterner, M., et al. (2010): Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen, Deutsches Umweltbundesamt, Dessau. <http://www.uba.de>
- WBGU – verschiedene Gutachten, Berlin. <http://www.wbgu.de>

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner

Hochschule Regensburg

Fakultät Elektro- und Informationstechnik

+ 49 – (0) 941 – 943 9888

[michael.sterner @ hs-regensburg.de](mailto:michael.sterner@hs-regensburg.de)

www.power-to-gas.de

Abschlussarbeiten (Bachelor, Master)

Kooperative Promotionen → einfach an mich wenden!

Vielen Dank

Potentiale erneuerbarer Energien für eine Vollversorgung Deutschlands vollständig ausreichend

TAB 5-4 TECHNISCH-ÖKOLOGISCHE POTENTIALE DER ERNEUERBAREN ENERGIEN ZUR STROMERZEUGUNG*

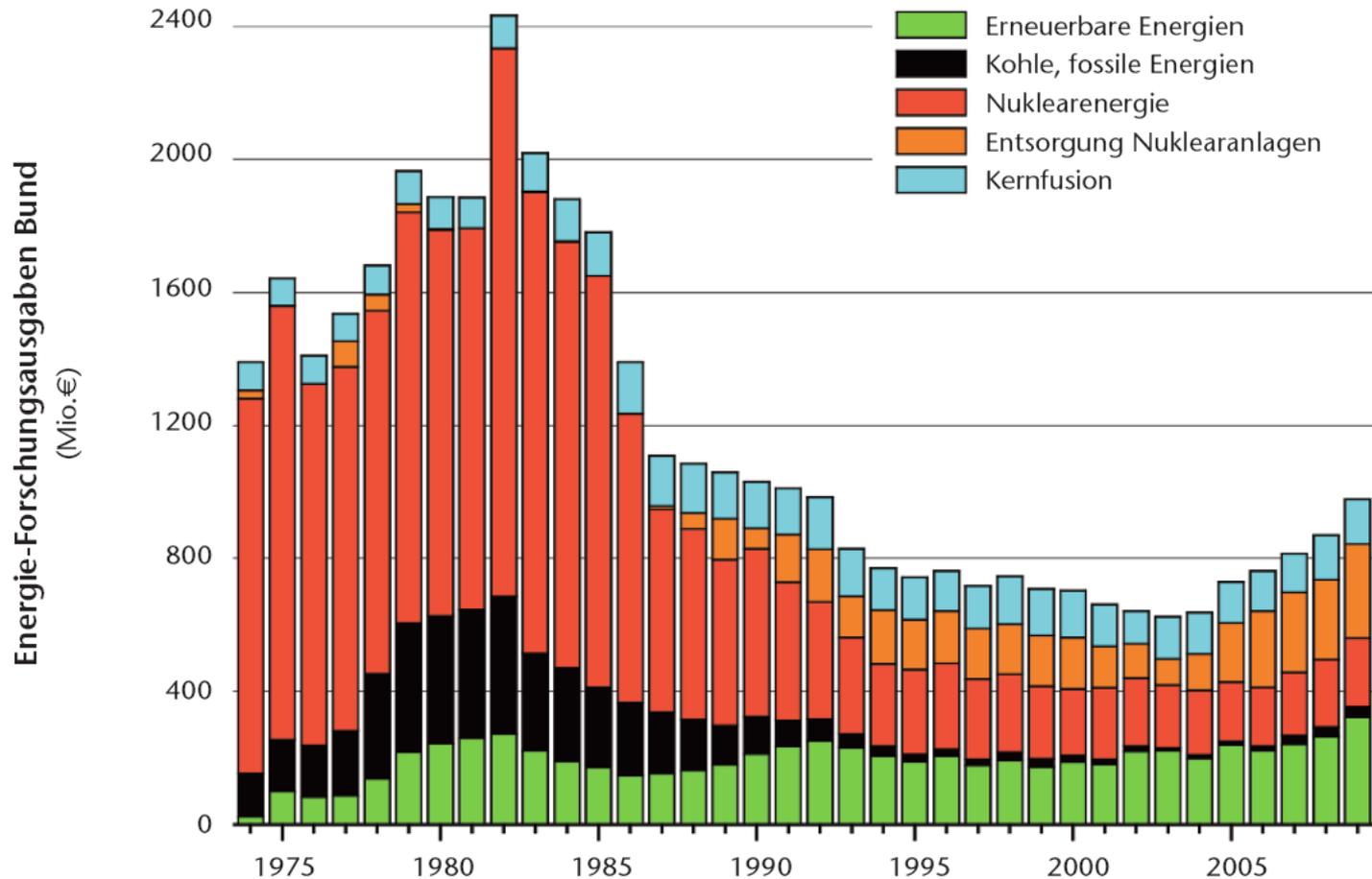
* nach konservativer Schätzung	INSTALLIERTE LEISTUNG (GW)	ERTRAG (TWh)
Photovoltaik	275	248
Windenergie an Land	60	180
Windenergie auf See	45	180
Wasserkraft	5,2	24
Geothermie	6,4	50
Abfallbiomasse (nur Biogas)	Nach Bedarf	23
Insgesamt		705

Beispiel Strom:

Technisch-ökologisches Potential (konservativ): 705 TWh

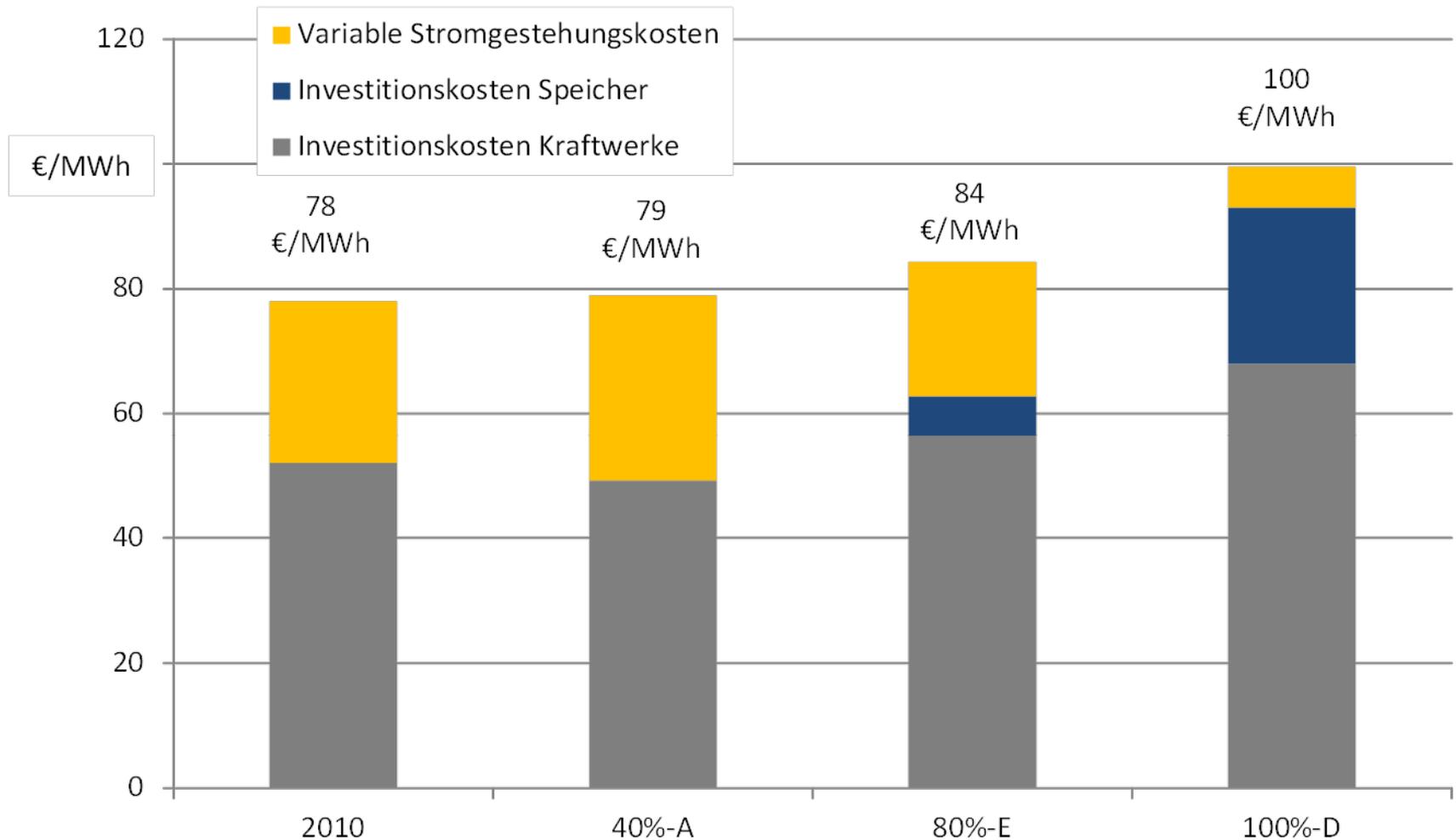
Derzeitiger Strombedarf: 600 TWh

Ausgaben für Energieforschung: die Hälfte geht nach wie vor in Atom



2009: Energie-Forschung: 979 Mio. €, davon Kernspaltung: 205 Mio. € + 284 Mio. € (Beseitigung) (50%)
 Kernfusion: 135 Mio. € (14%)
 Regenerative Energien: 323 Mio. € (33%)

Die Stromgestehungskosten steigen in der Energiewende selbst mit Speichereinsatz nur um ca. 10% bis 2050.

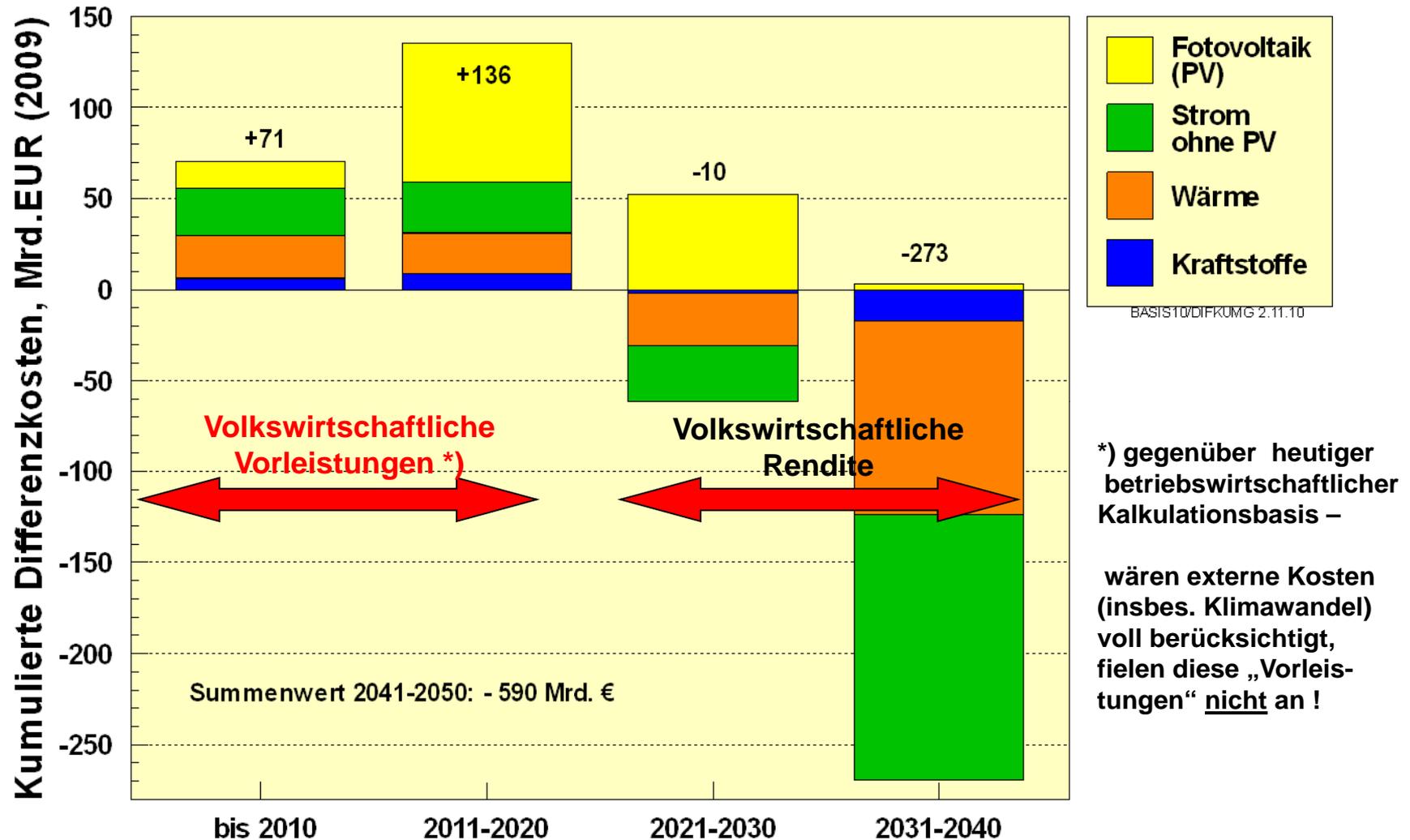


Stromgestehungskosten für ausgewählte Speicherzubauvarianten bei verschiedenen EE-Anteilen

Preiswerte und kostenstabile Energieversorgung durch EE und Eff

Volkswirtschaftliche Kosten und Erlöse

- Basisszenario 2010 A, Preispfad A -



*) gegenüber heutiger betriebswirtschaftlicher Kalkulationsbasis –

wären externe Kosten (insbes. Klimawandel) voll berücksichtigt, fielen diese „Vorleistungen“ nicht an !

Ein neues Strommarkt-Design ist notwendig

