

Speicherkonzept und Verfahrensschema des Power-to-Gas Modules (Teil III)

Matthias Puchta, Jochen Bard

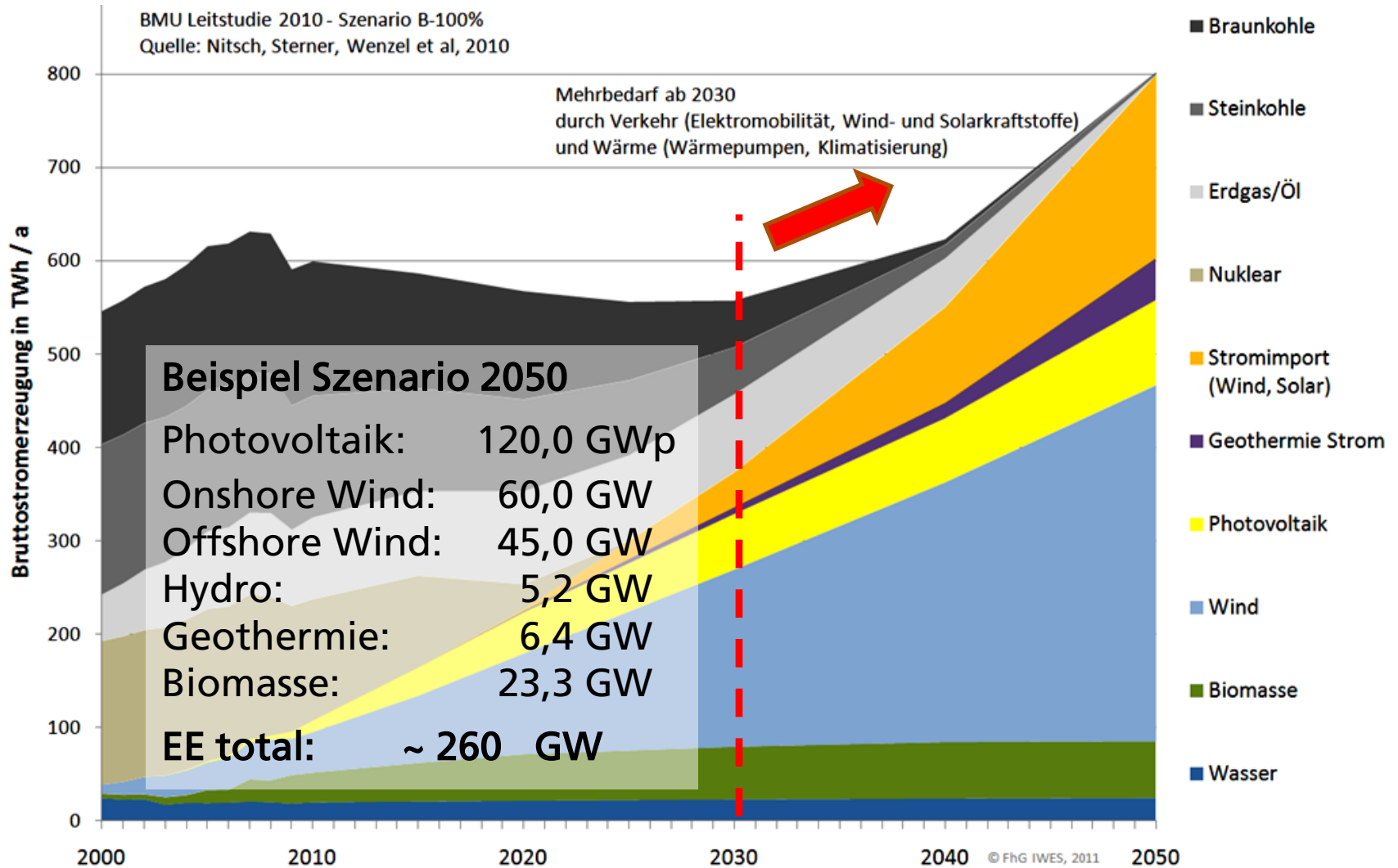
VDI Vortragsreihe Wind-to-Gas - Speicherlösung Elektrolyse, Wasserstoff, Methan -

Umweltfreundliche Speicherung elektrischer Energie aus Windkraft, Biogas und Solar-Energie, Gießen, 26.11.2012

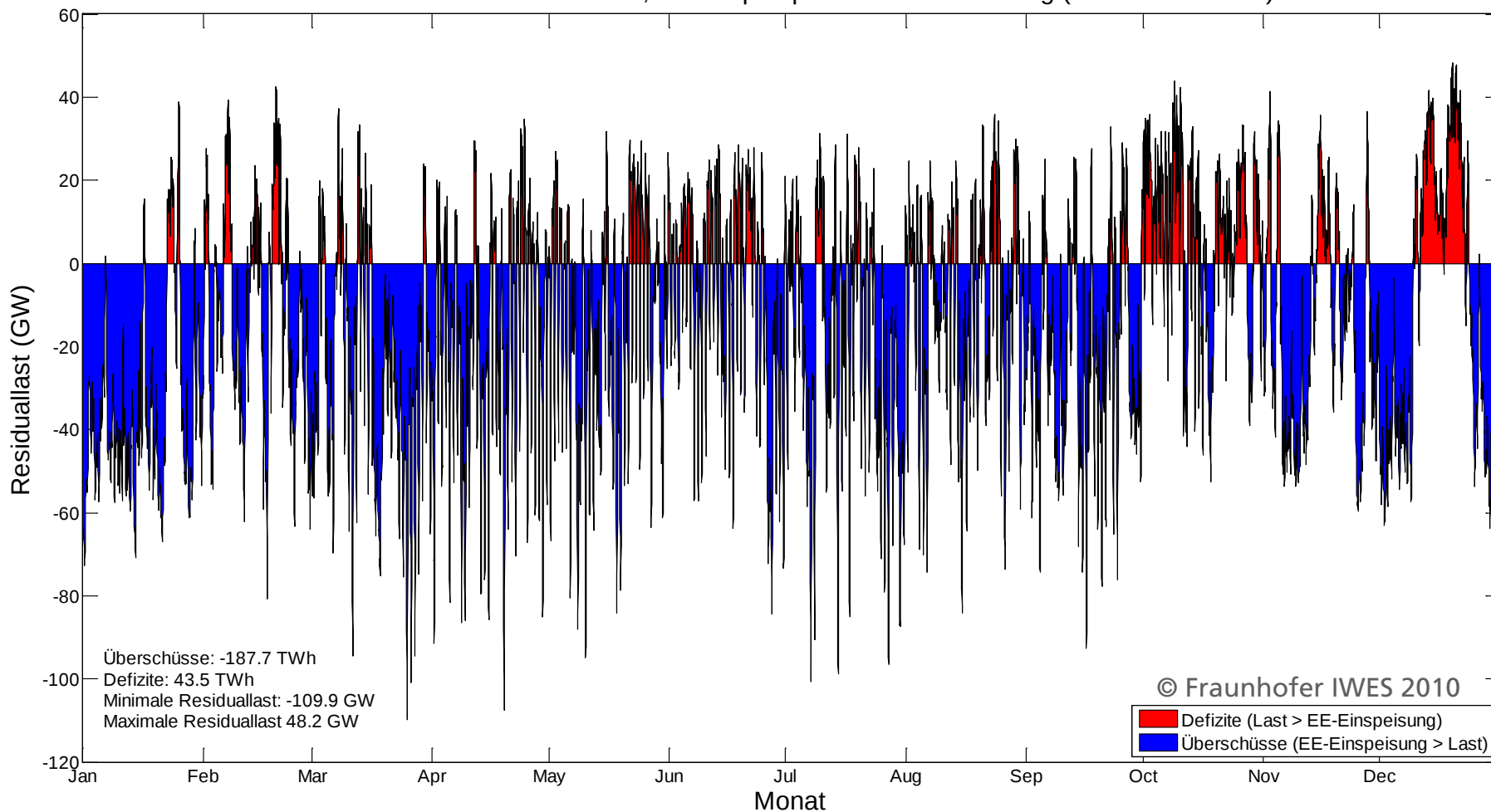


IWES Biogas/Biomethan Testanlage

Transformation des Energiesystems bis 2050



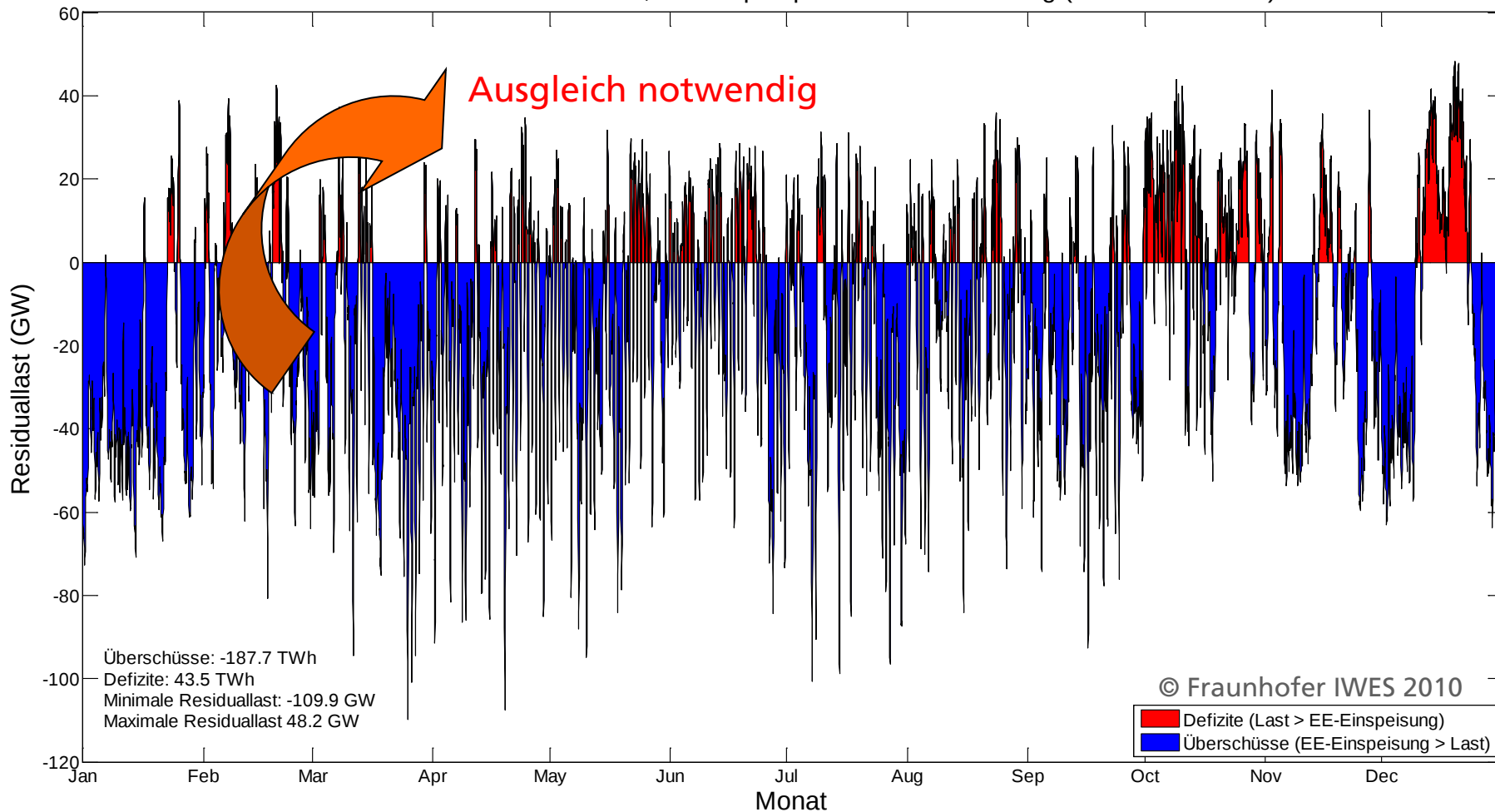
Residuallast ohne E-Mobilität, Wärmepumpen und Klimatisierung (Meteo-Jahr 2007)



Quelle: IWES-Berechnungen für UBA Energieziel 100% Strom aus EE

© Fraunhofer IWES

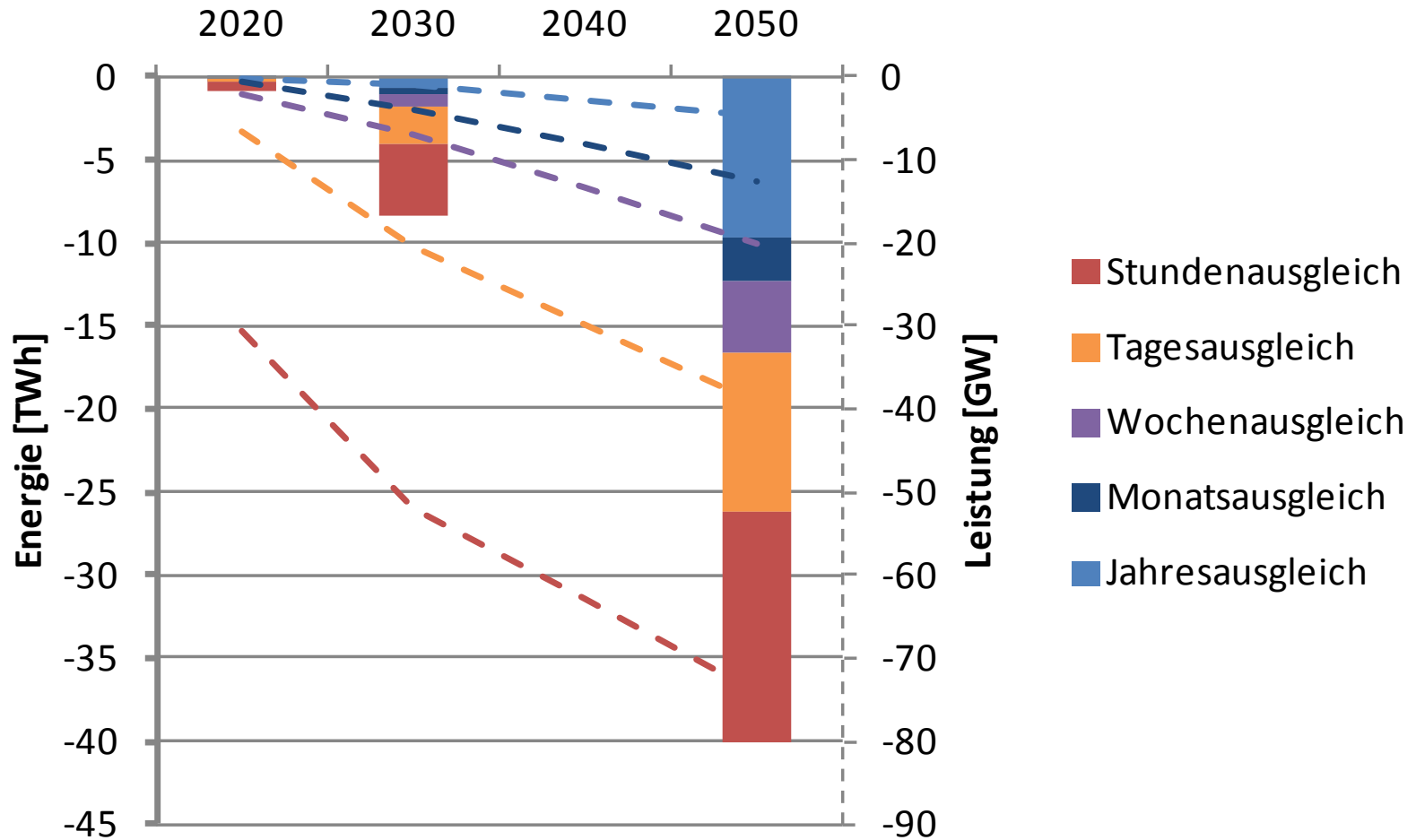
Residuallast ohne E-Mobilität, Wärmepumpen und Klimatisierung (Meteo-Jahr 2007)



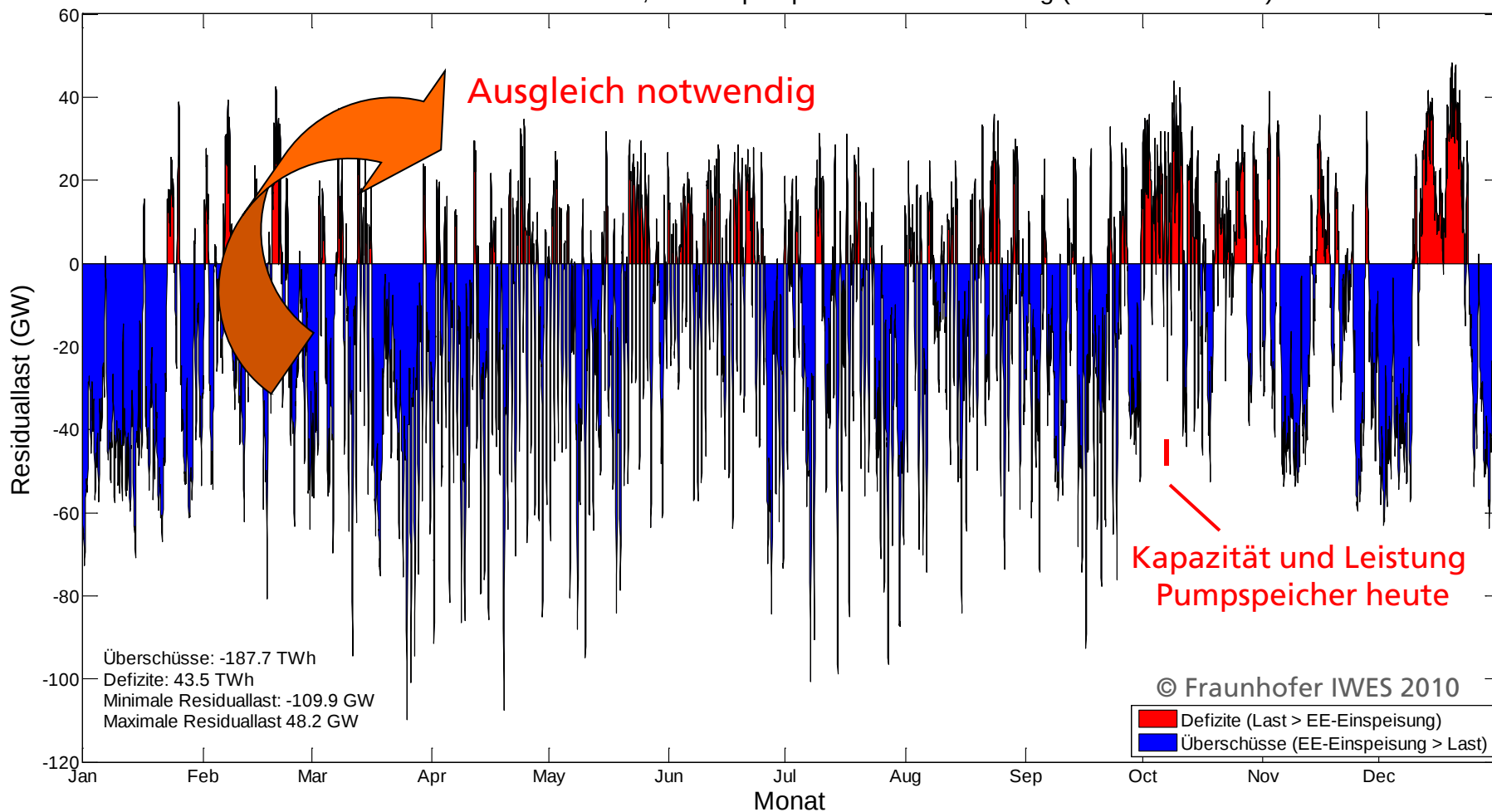
Quelle: IWES-Berechnungen für UBA Energieziel 100% Strom aus EE

© Fraunhofer IWES

BMU Leitstudie 2011: Ab 2030 relevante Überschussmengen für Langzeitspeicher zu erwarten



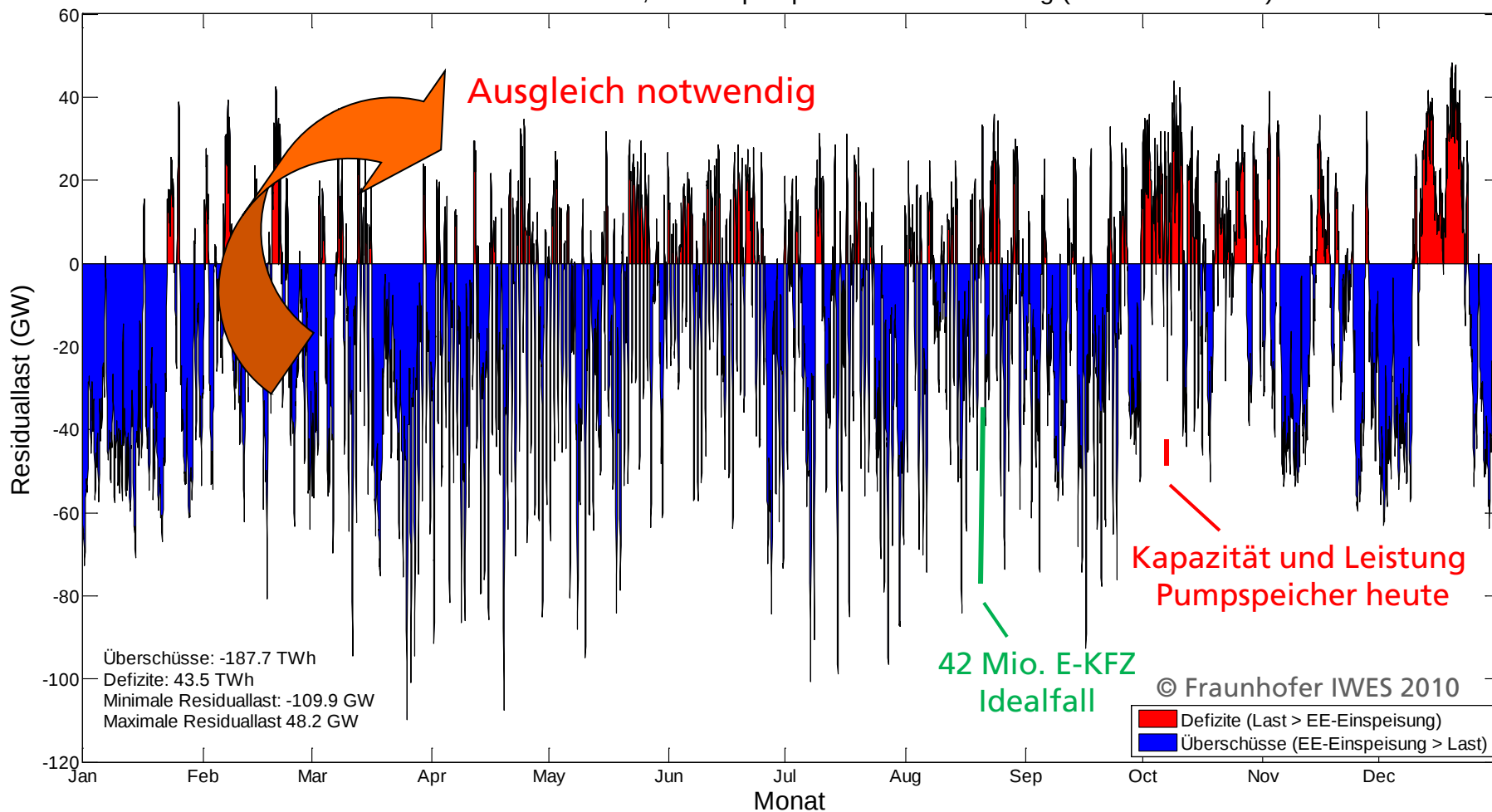
Residuallast ohne E-Mobilität, Wärmepumpen und Klimatisierung (Meteo-Jahr 2007)



Quelle: IWES-Berechnungen für UBA Energieziel 100% Strom aus EE

© Fraunhofer IWES

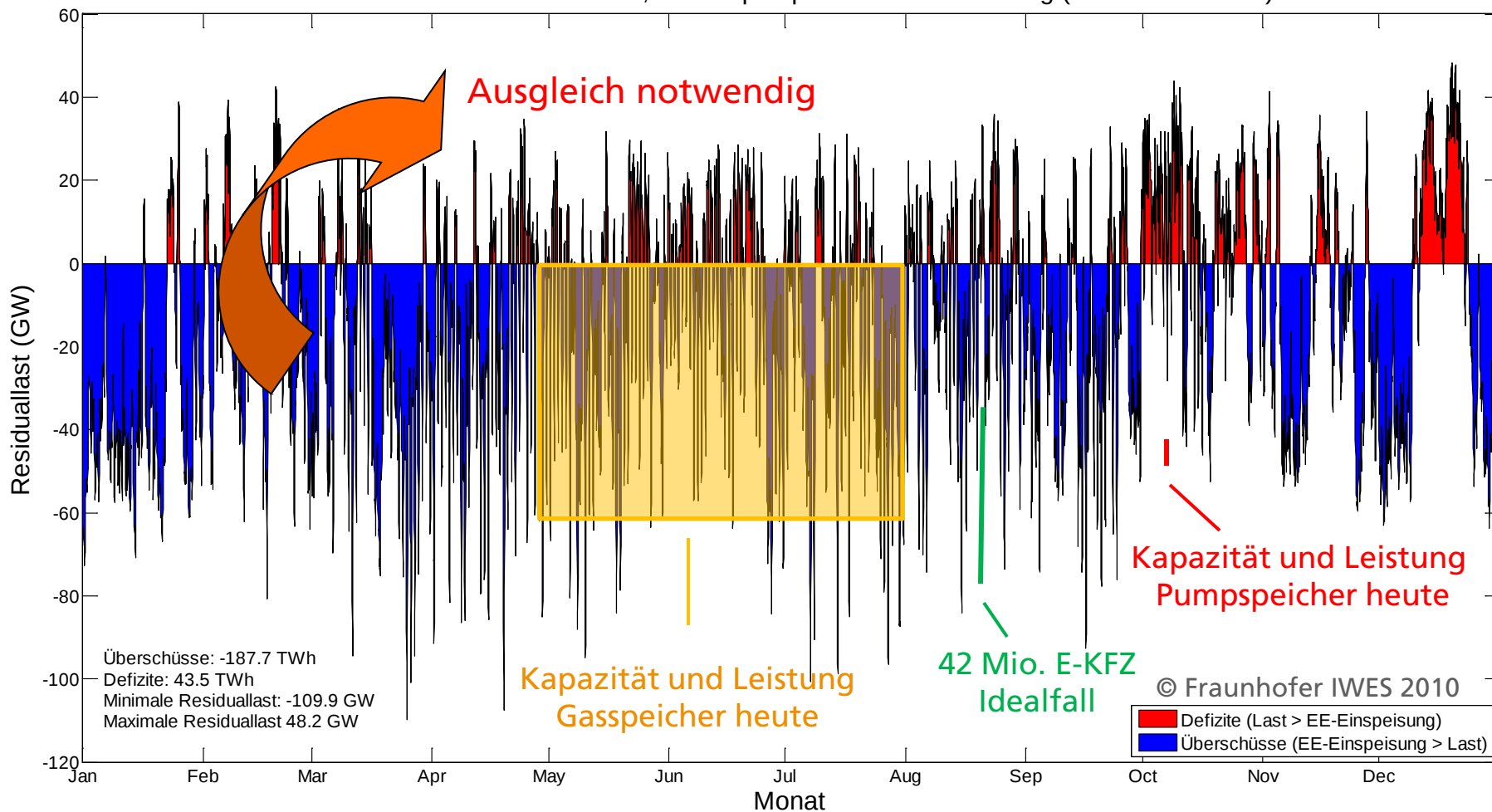
Residuallast ohne E-Mobilität, Wärmepumpen und Klimatisierung (Meteo-Jahr 2007)



Quelle: IWES-Berechnungen für UBA Energieziel 100% Strom aus EE

© Fraunhofer IWES

Residuallast ohne E-Mobilität, Wärmepumpen und Klimatisierung (Meteo-Jahr 2007)



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

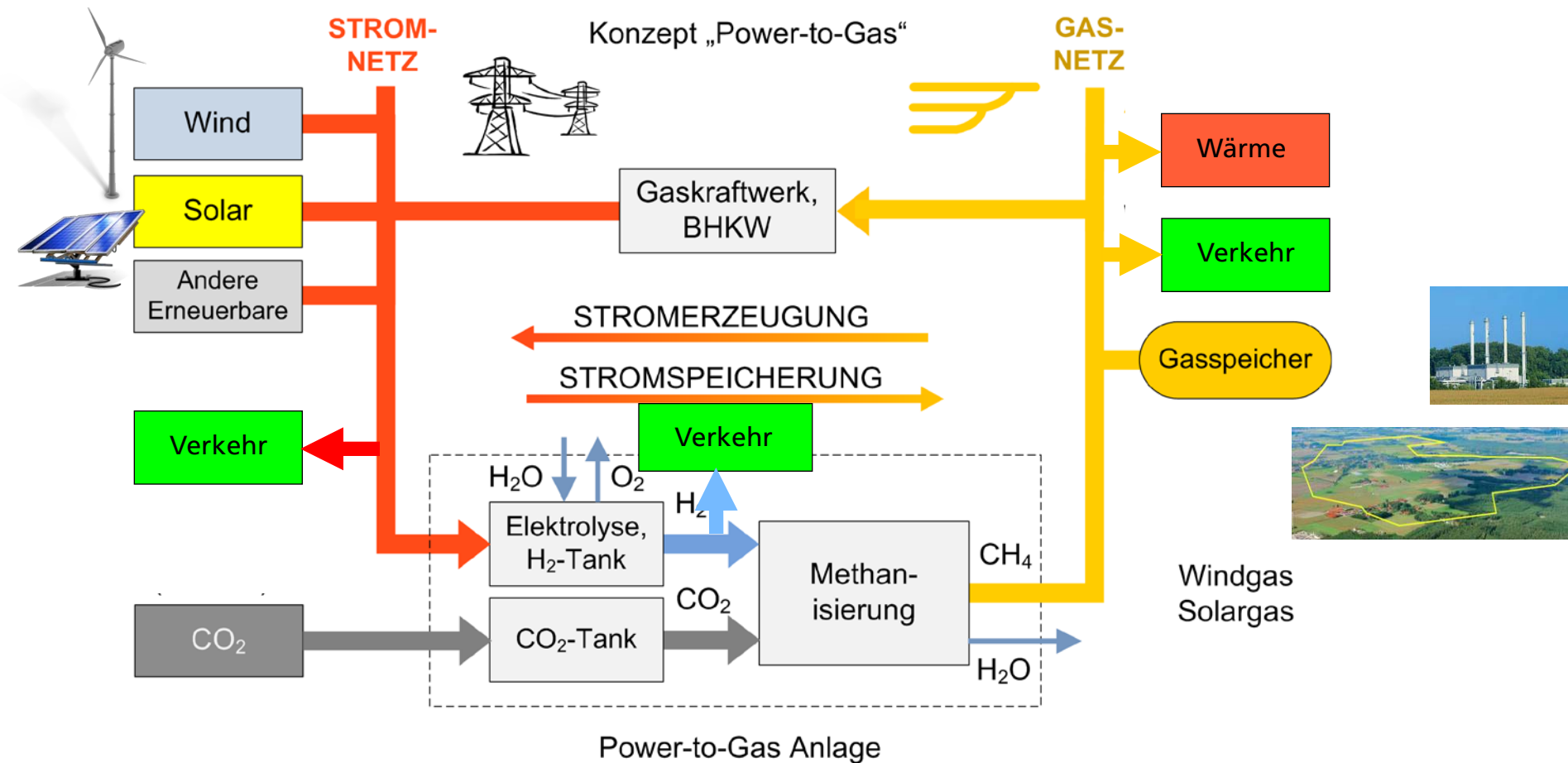
Quelle: IWES-Berechnungen für UBA Energieziel 100% Strom aus EE

© Fraunhofer IWES

Erneuerbares Gas – Power-to-Gas

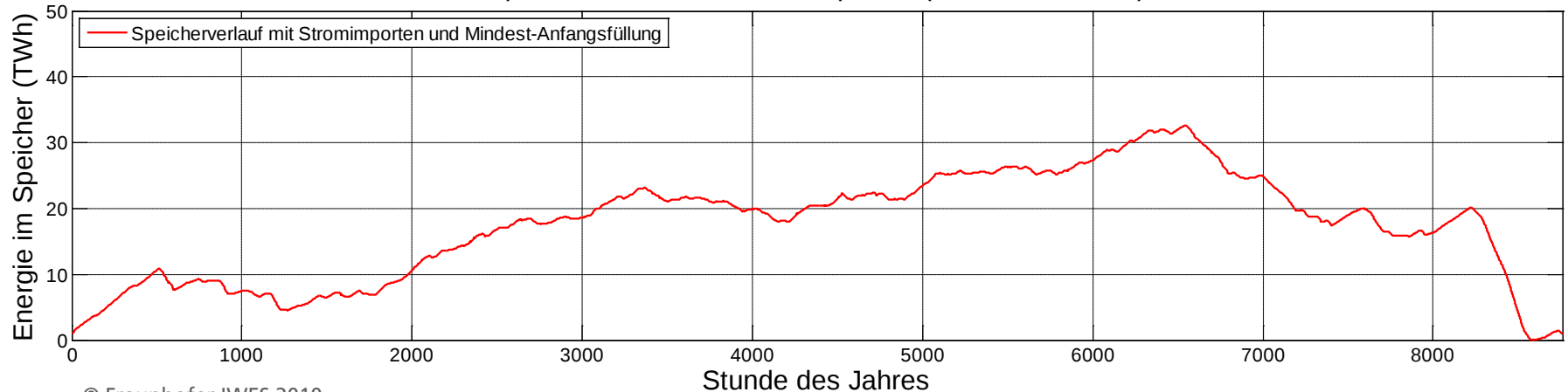
Energiespeicherung durch Kopplung von Strom- und Gasnetz

→ Technische Nachbildung der Photosynthese

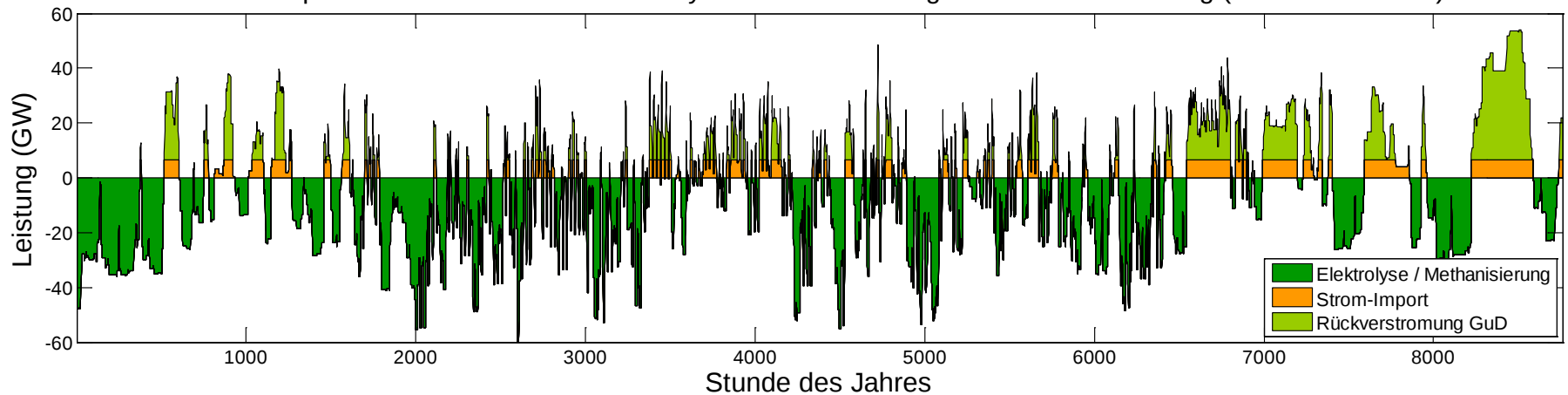


Gasspeichernutzung im 100 %-EE-Szenario des Umweltbundesamtes

Speicherverlauf mit Strom-Importen (Meteo-Jahr 2007)



Strom-Importe sowie Einsatz von Elektrolyse / Methanisierung und Rückverstromung (Meteo-Jahr 2007)



Quelle: IWES-Berechnungen für UBA Energieziel 100% EE-Versorgung

Power-to-Gas – Vorzüge der Energienetze kombinieren

Stromnetz



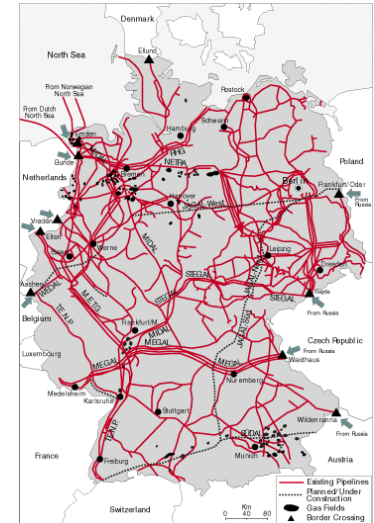
Übertragungskapazität
Einstellige GW

Speicherkapazität
 $0,04 \text{ TWh}_{\text{el}}$

Gasnetz

Zweistellige GW

$220 \text{ TWh}_{\text{th}} + \text{Netze}$



Vor- und Nachteile

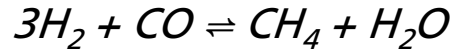
- + **Hochwertige Energie**
Hochpreisige Energie
- Strom kaum speicherbar
- + **Direkte Nutzung hocheffizient**
- AC-Übertragungsverl. 3-10% / 1000km

- + **Universeller Energieträger**
Niedrigpreisige Energie
 - + **Große Speicher**
 - Umwandlungsverluste hoch
 - **Übertragungsverluste 0,5% / 1000 km**
- H₂ Grenzen heute:
2% KFZ; 1% Gas-KW und Speicher

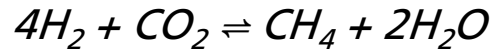
Quelle: IWES, 2011

Methanisierung (Sabatier-Prozess)

Methanisierung:

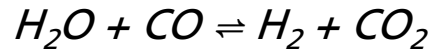


$$\Delta H_R^0 = -206,4 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta H_R^0 = -164,9 \text{ kJ/mol}$$

Shift-Reaktion:



$$\Delta H_R^0 = -41,5 \text{ kJ/mol}$$

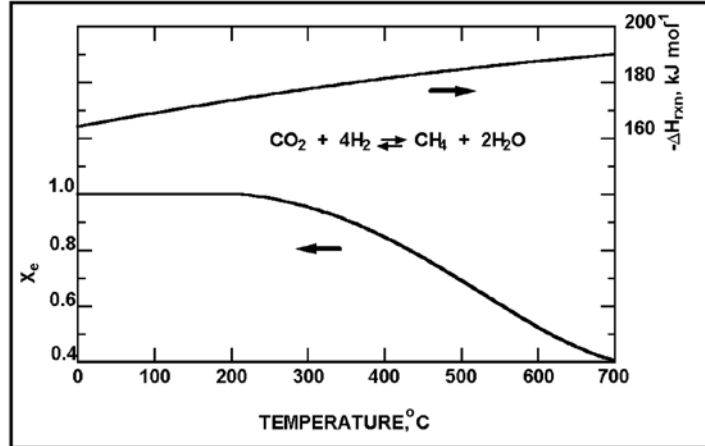


Figure 1. Thermodynamic equilibrium conversion and the enthalpy of reaction for the Sabatier reaction.

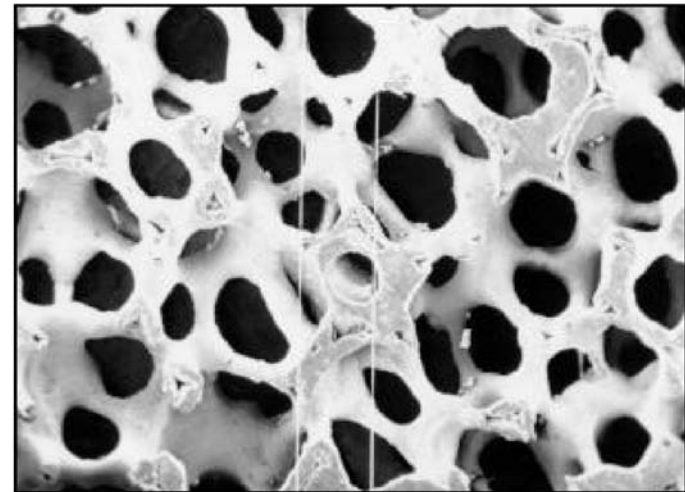
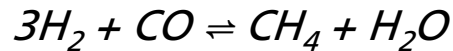


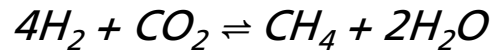
Fig. 2. Microstructure of 30 PPI α - Al_2O_3 ceramic foam

Methanisierung (Sabatier-Prozess)

Methanisierung:

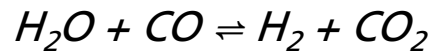


$$\Delta H_R^0 = -206,4 \text{ kJ/mol}$$

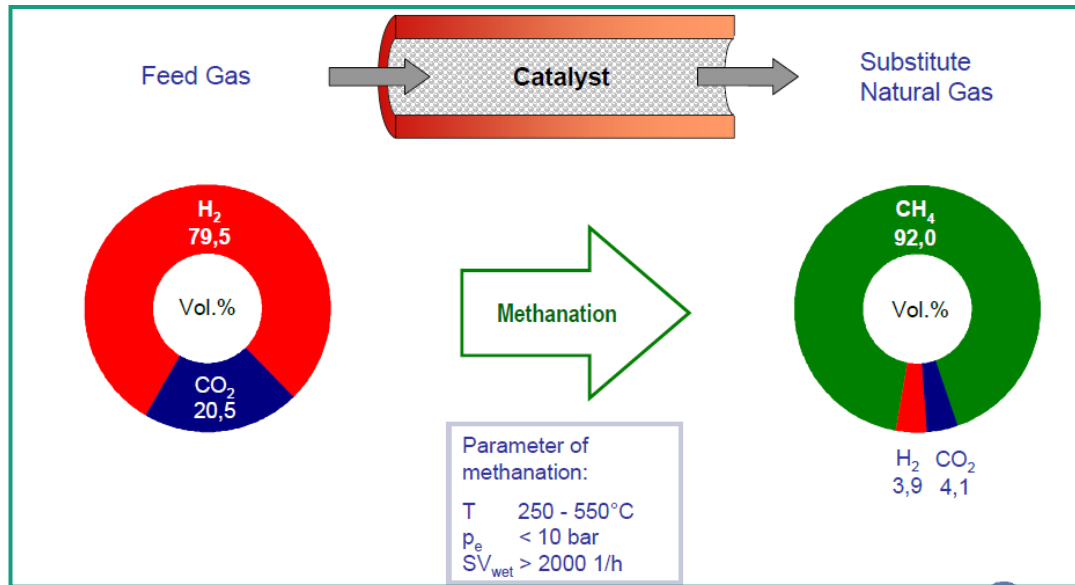


$$\Delta H_R^0 = -164,9 \text{ kJ/mol}$$

Shift-Reaktion:



$$\Delta H_R^0 = -41,5 \text{ kJ/mol}$$



Katalysatoren:

- Nickel
- Ruthenium
- Rodium
- Platin
- Eisen
- Cobalt

Sabatier-Prozess (Laboraufbau 1963, entdeckt 1902)



FIGURE 5. PHOTOGRAPH OF CO₂ REDUCTION SYSTEM

Quelle Bild: T. J. Baker, 1963

© Fraunhofer IWES

Sabatier-Prozess (Laboraufbau 1963, entdeckt 1902)

Heutige Anwendungen:

**Raumfahrt (Lebenserhaltende Systeme,
Raketentreibstoff)**

Power-to-Gas (Energiespeicherung)

Carbon-Capture (CO₂ Abscheidung aus der Luft)

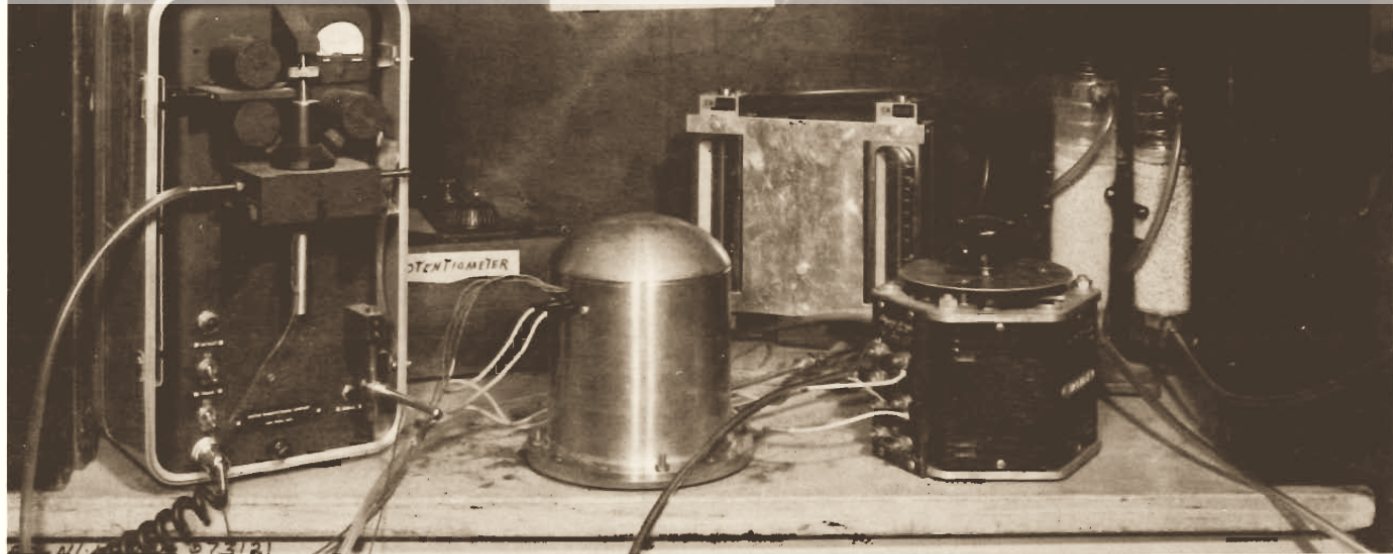
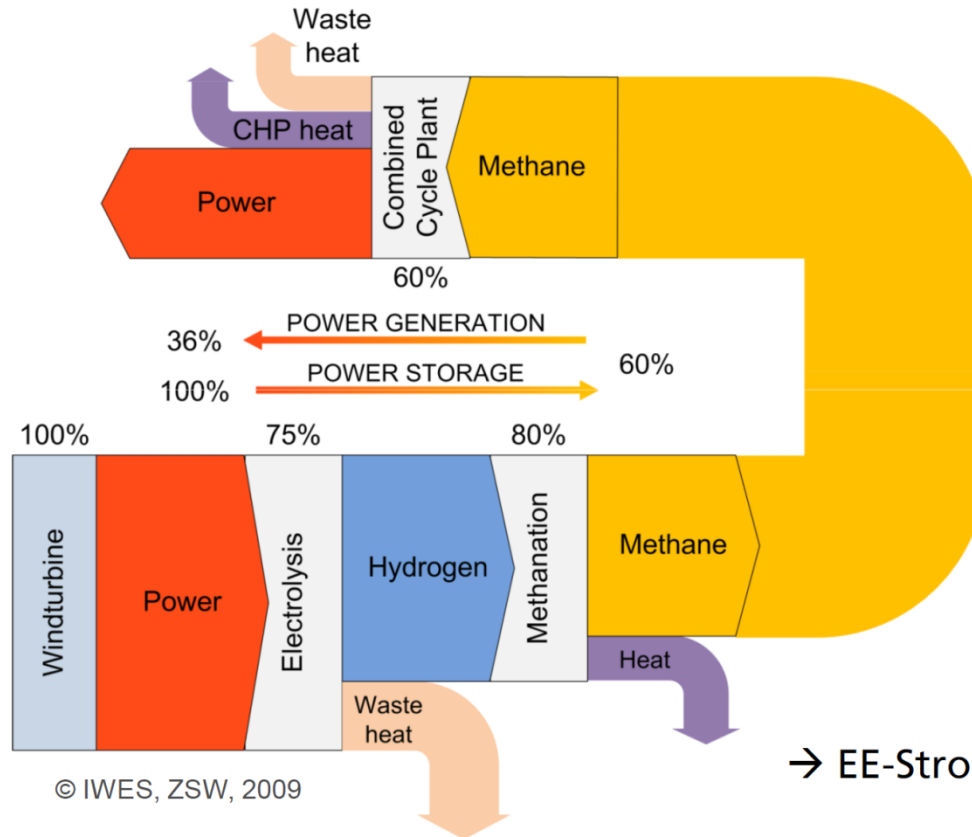


FIGURE 5. PHOTOGRAPH OF CO₂ REDUCTION SYSTEM

Quelle Bild: T. J. Baker, 1963

© Fraunhofer IWES

Erneuerbares Gas – Strom-zu-Gas Wirkungsgradkette



Wirkungsgrade:

60-65% Methan

35-40% Strom

50-60% KWK

Vs. 0% durch Abregelung

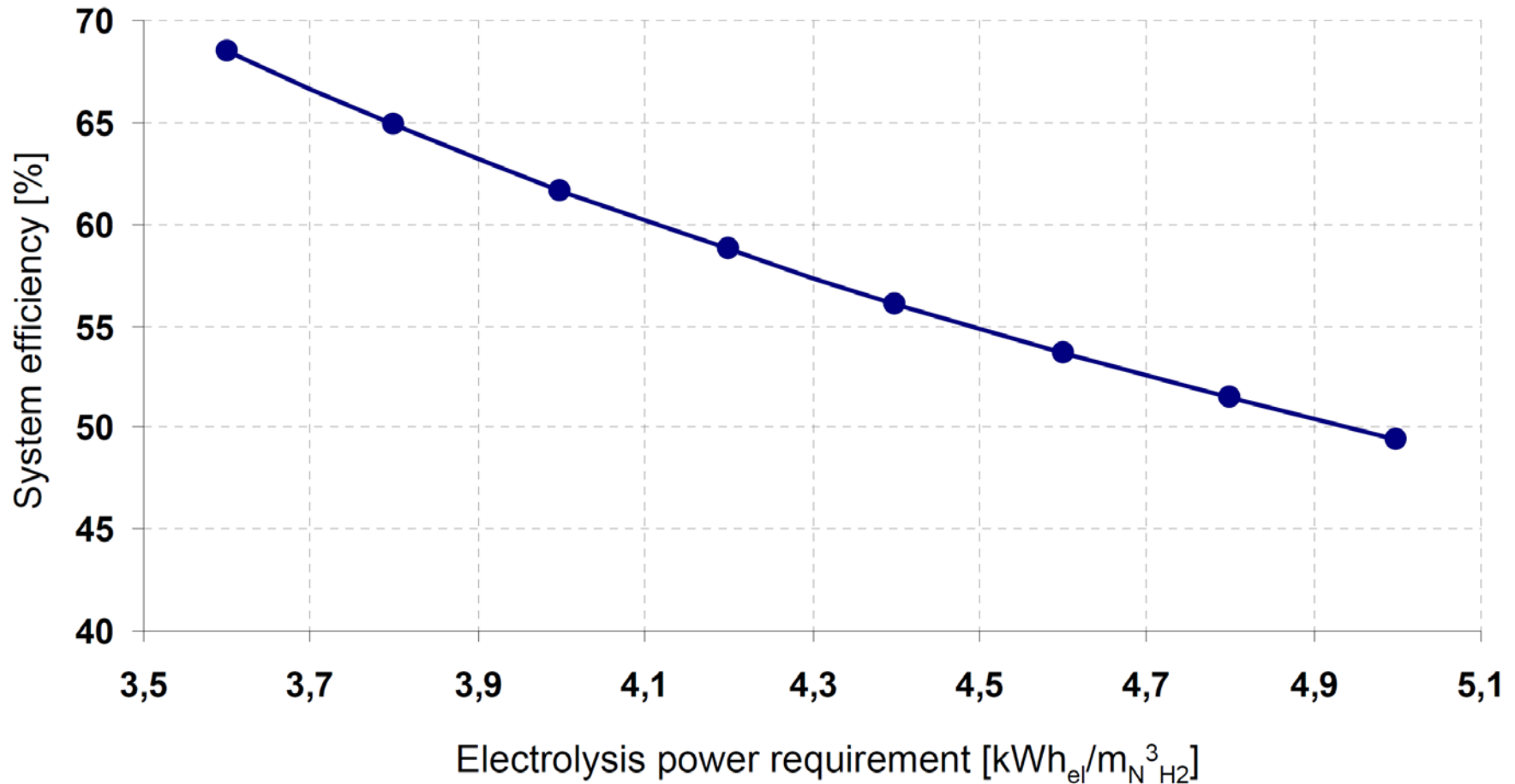
Vs. effizientere aber kapazitätslimitierte Speicheralternativen

→ EE-Strom wird zur Primärenergie

Quelle: Sterner, 2009; Specht et al, 2010

© Fraunhofer IWES

Einfluss Elektrowirkungsgrades auf den Power-to-Gas Systemwirkungsgrad ($\text{CO}_2/\text{H}_2 \rightarrow \text{Methan}$)



Quelle: Specht, 2011

© Fraunhofer IWES

Biogene CO₂-Quellen ausreichend vorhanden

Quelle: Vergärungs- und Vergasungsprozesse

■ Biogas mit Einspeisung ins Erdgasnetz

Heute:

Biomethaneinspeisung von 42.000 Nm³/h aus 50 BGAA

→ 290 Mio. m³ hochkonzentriertes CO₂

→ Potenzial zur Methanisierung von 4,8 TWh_{el}

(ca. 120 Anlagen mit 10 MW_{el} bei 4000 Volllaststunden)

2030:

30- bis 40-Fache Potenzial der Biomethaneinspeisung politisch angestrebt

■ Verwendung von Rohbiogas aus Biogasanlagen

→ Annahme: 85% der heutigen 6000 Anlagen auf Basis NaWaRo-Substrat

→ 10-20% der Anlagen besitzen ausreichende CO₂-Volumenströme für
Methanisierung im MW_{el}-Maßstab

→ Potenzial zur Methanisierung von 9,7-19,4 TWh_{el}

(ca. 240 - 490 Anlagen mit 10 MW_{el} bei 4000 Volllaststunden)

■ Weitere biogene CO₂-Potenziale aus Bio-SNG, Bioethanol, Brauereien und Klärgas

Weitere CO₂-Quellen ebenfalls vorhanden

■ CO₂ aus stofflichen industriellen Prozessen

- Herstellung von Metall, insbesondere bei der Stahlerzeugung

→ jährlich etwa 30,8 Mio. t CO₂

→ Potenzial zur Methanisierung von 273 TWh_{el}

(ca. 6800 Anlagen mit 10 MW_{el} bei 4000 Volllaststunden)

- Zementindustrie bei der Kalksteinentsäuerung

→ jährlich etwa 14,3 Mio. t CO₂

→ Potenzial zur Methanisierung von 127 TWh_{el}

(ca. 3200 Anlagen mit 10 MW_{el} bei 4000 Volllaststunden)

- chemischen Industrie

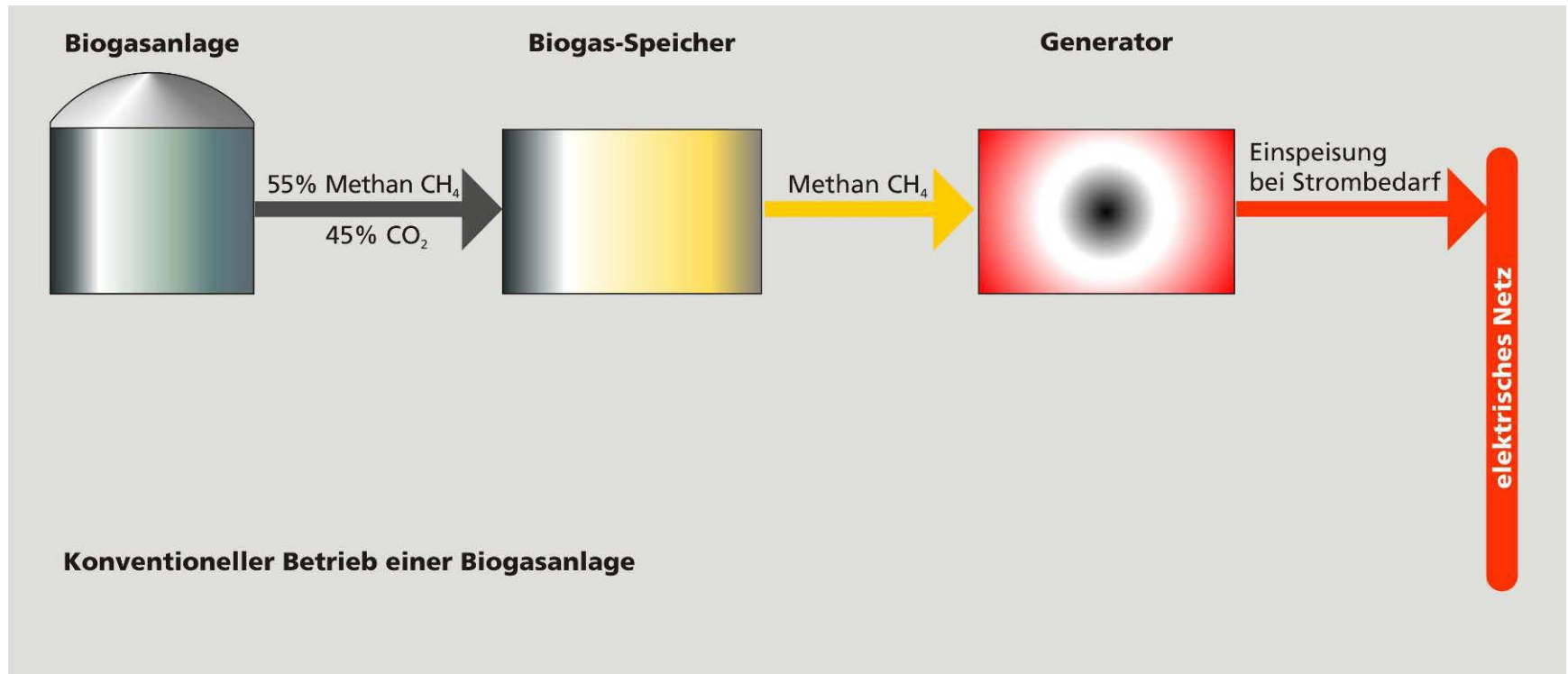
→ jährlich etwa 14,4 Mio. t CO₂, jedoch nicht jeder Prozess sinnvoll

■ CO₂ aus Verbrennungsprozessen von fossilen Brennstoffen

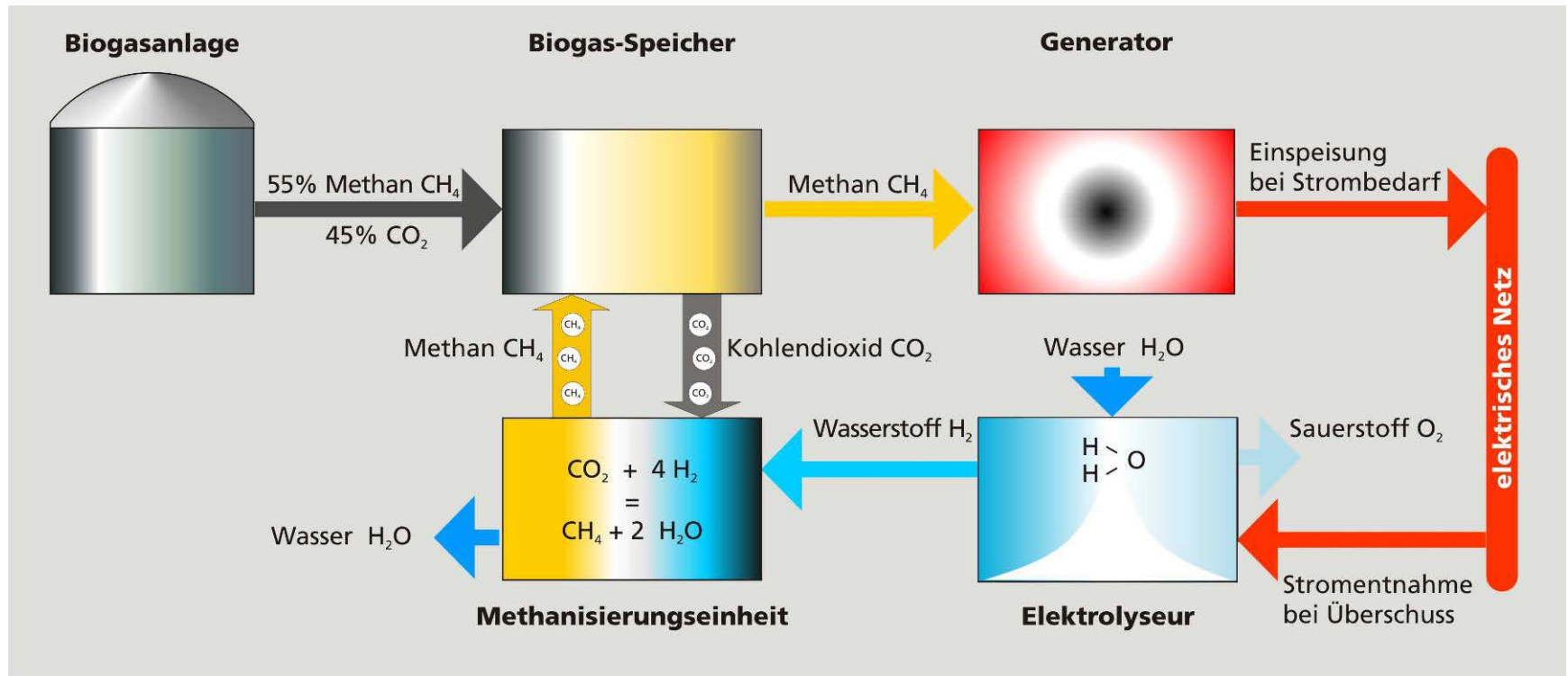
■ CO₂ Aus der Atmosphäre

- energieintensives Absorptionsverfahren notwendig
- Verminderung des Wirkungsgrads der Gesamtanlage um 15%

Konventionelle Biogasanlagen

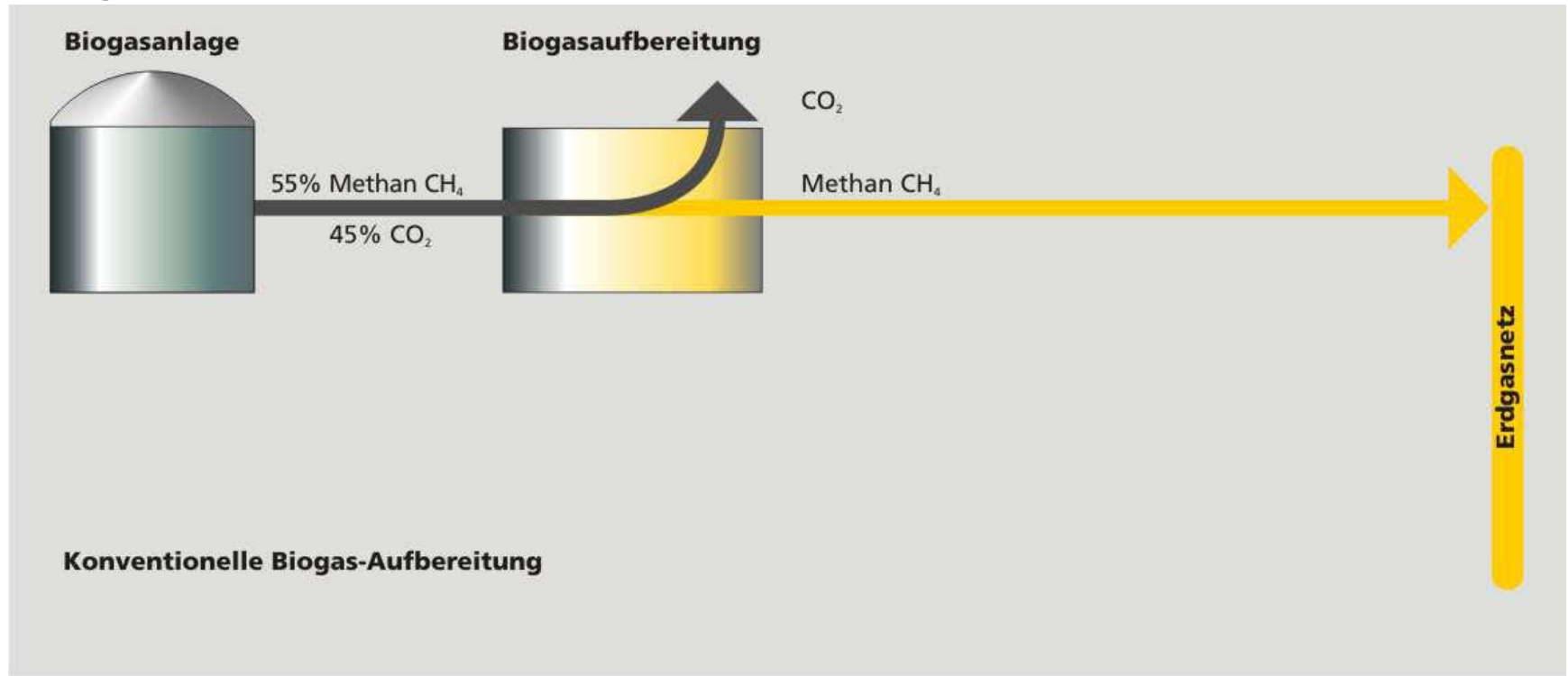


Neue Biogasanlagen mit Methanisierungsreaktor

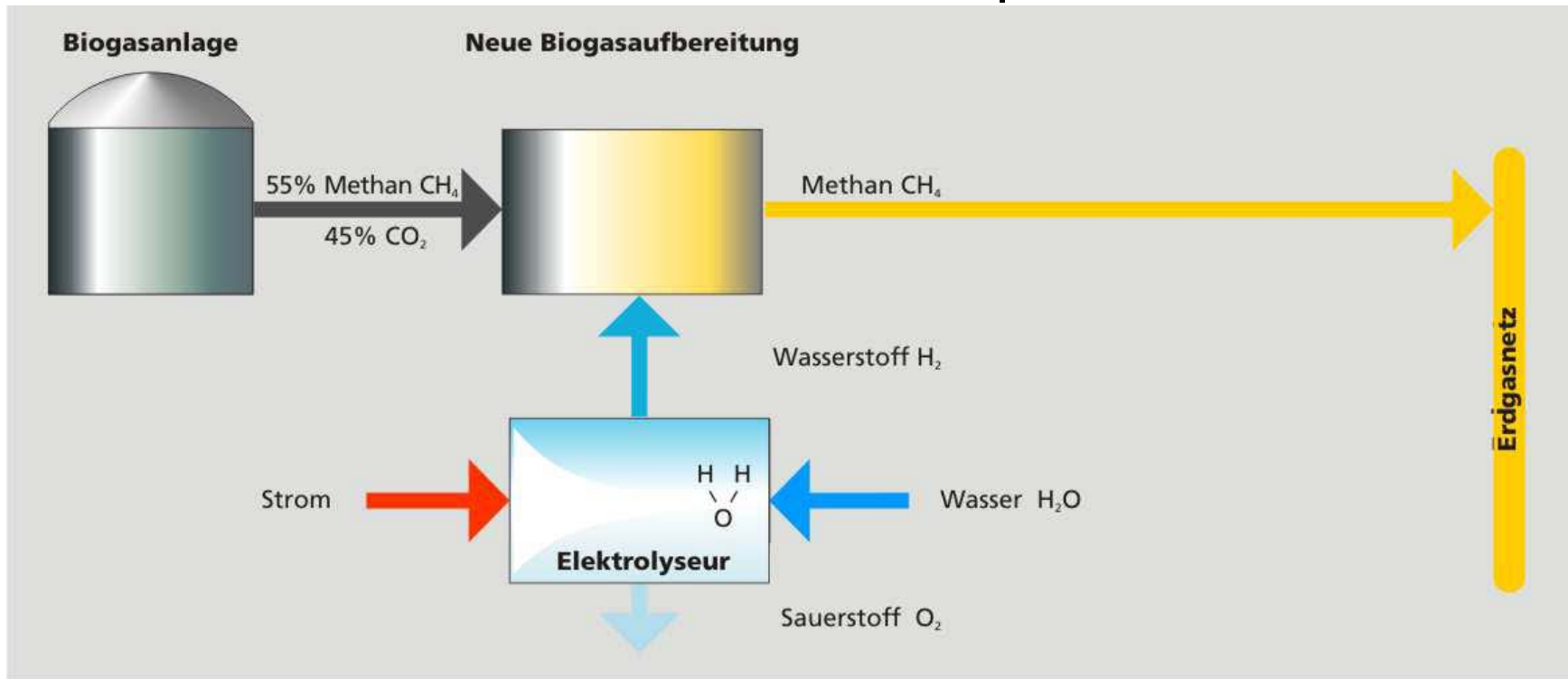


- Steigert die Leistungsfähigkeit der Biogas-Speicherung
- Effizientes System zum Ausgleich von Leistungsschwankungen
- Biogasanlagen werden zu Energiespeichern ausgebaut

Konventionelle Aufbereitung von Biogas zur Einspeisung in Erdgasnetze



Neues Verfahren: in Biogas enthaltenes CO_2 reagiert mit Wasserstoff zu Methan und Wasserdampf

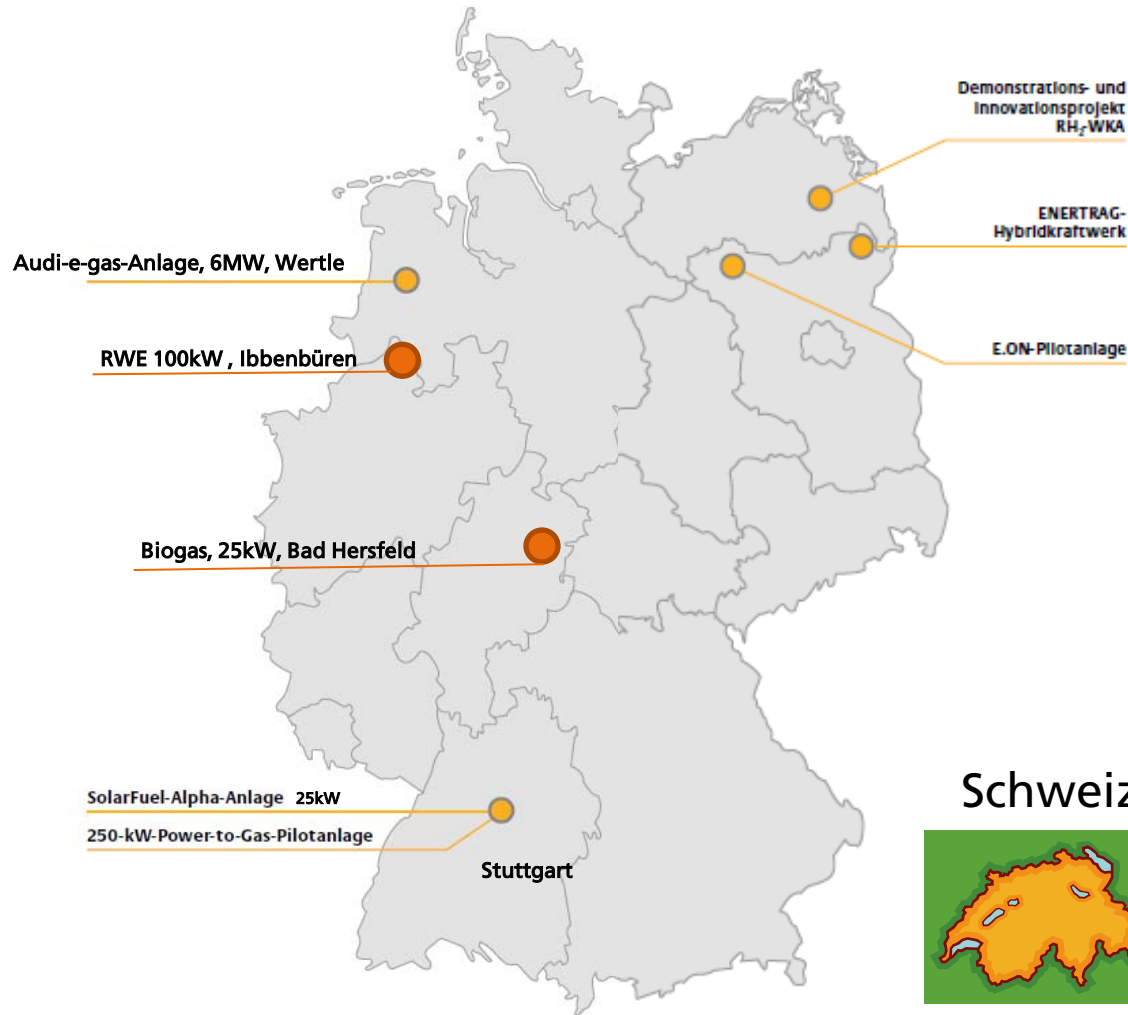


- Ersatz der Aufbereitung von Biogas zur Einspeisung in Erdgasnetze
- Wasserdampf ist vor Einspeisung in Erdgasnetze zu entfernen
- Wasserstoffherstellung ist ein etablierter Prozess
- Energie aus elektrischem Netz, wenn Überschüsse vorhanden

Hessisches Biogas-Forschungszentrum in Bad Hersfeld



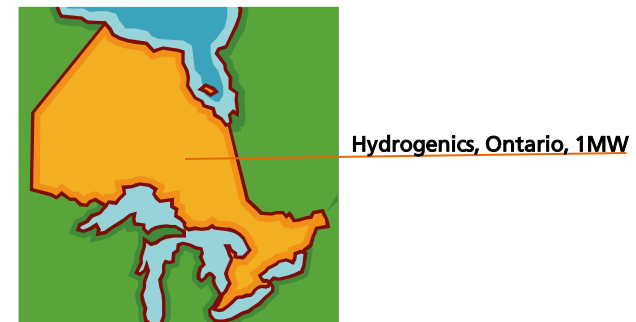
Nationale & Internationale Projekte



Dänemark



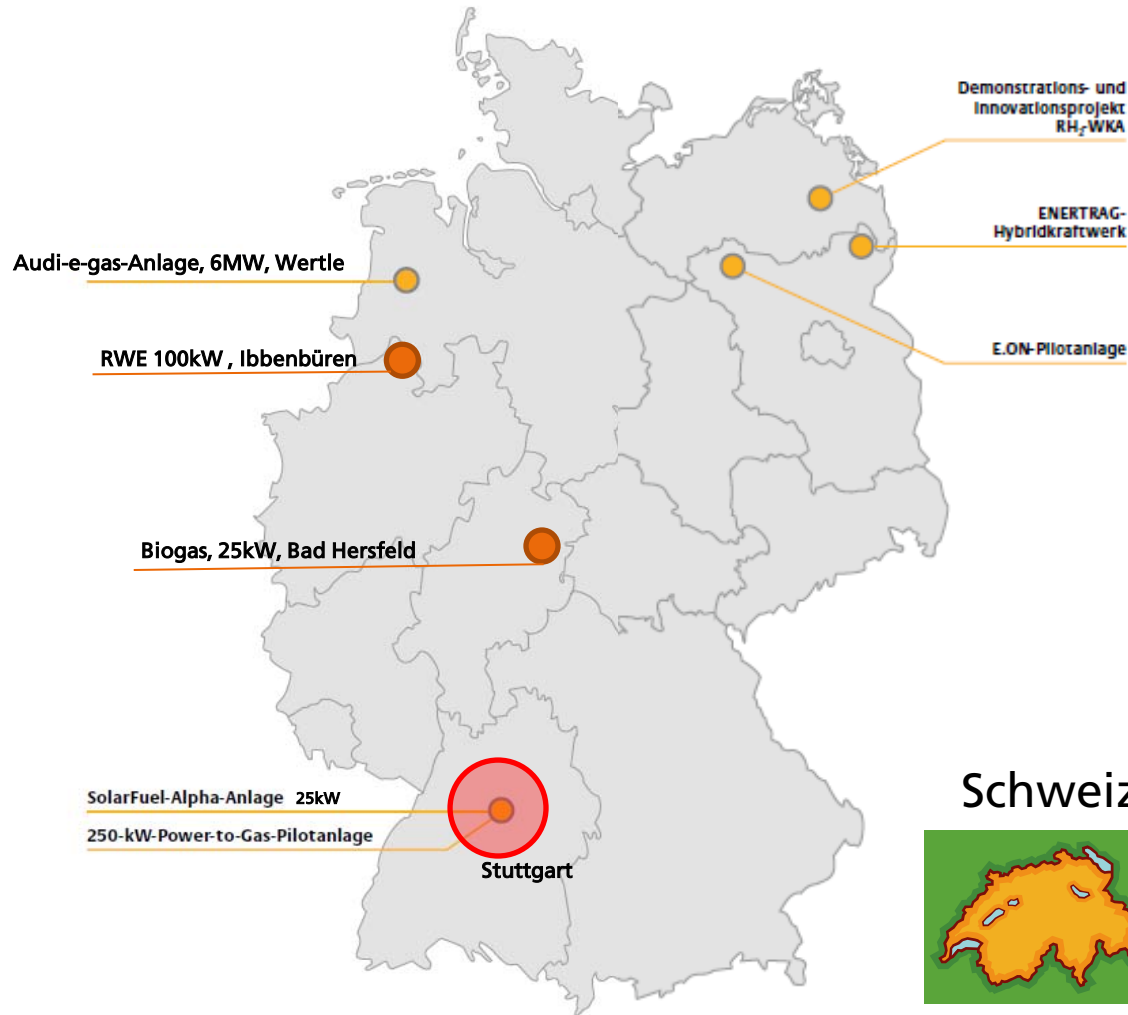
Kanada



Schweiz



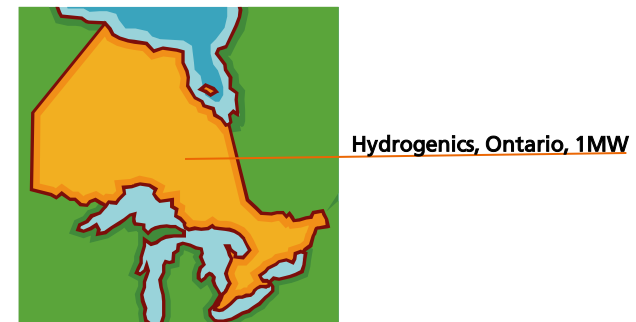
Nationale & Internationale Projekte



Dänemark



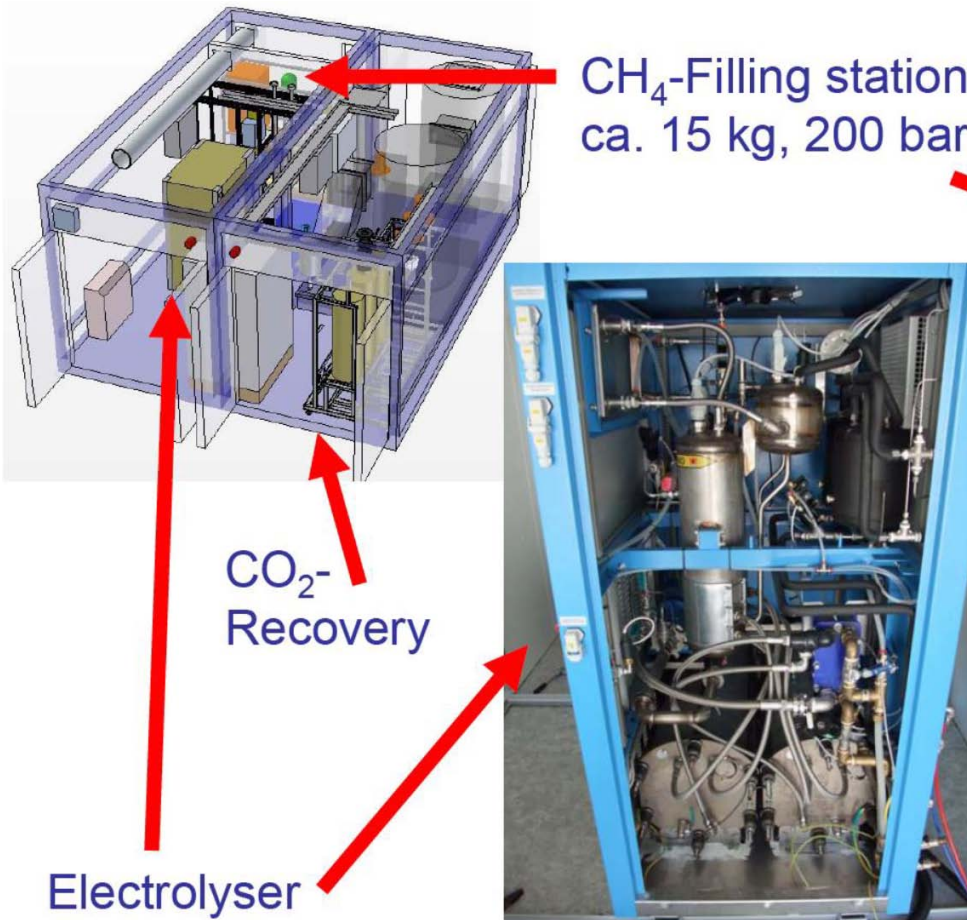
Kanada



Schweiz



25kW Solar-Fuel Alpha Anlage, Stuttgart



Projektname	SolarFuel-Alpha-Anlage, Stuttgart
Betreiber / Beteiligte	— Betreiber / Investor: SolarFuel GmbH — ZSW (Planung, Aufbau und Versuchsbetrieb) — Fraunhofer IWES (technische, volkswirtschaftliche und ökologische Analyse und Bewertung)
Kategorie	Pilotanlage
Status	Betriebs- und Testphase
Prozess	Wasserelektrolyse – Methanisierung – Zwischenspeicherung – Treibstoffnutzung
Anlagendaten	— Anschlussleistung: 25 kW — CO₂-Gewinnung aus Umgebungsluft als Vision einer infrastrukturunabhängigen CO₂-Versorgung (Insel- / Offgrid-Einsatz)
Besonderheiten	— Erste Anlage zur Erzeugung „erneuerbaren Methans“ — Aufzeigen der grundsätzlichen Funktionsfähigkeit des Power-to-Gas-Prinzips

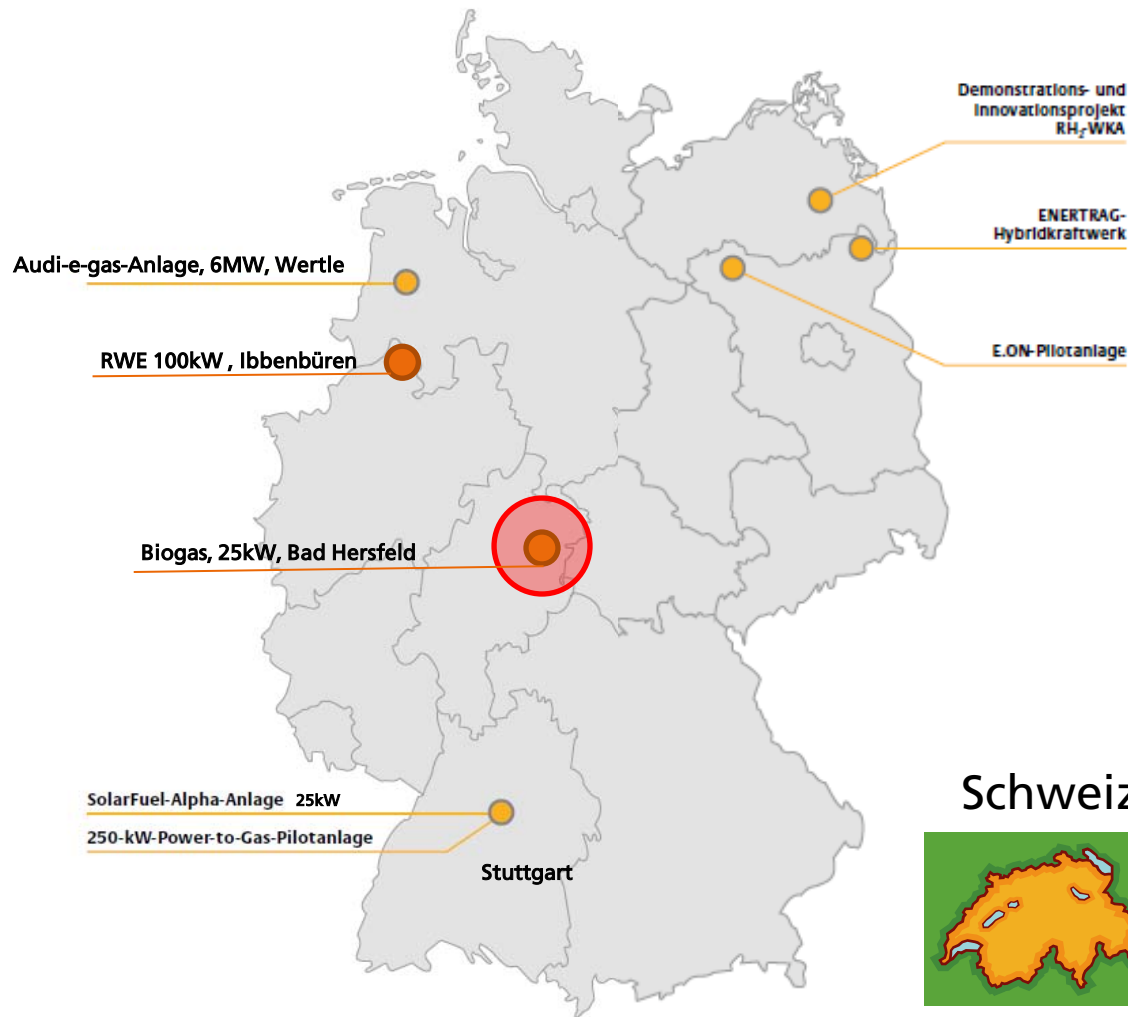
Quellen: Solar Fuel 2009, Specht, Waldstein, Sterner et al. 2009 und www.powertogas.info 2012

250kW Power-to-Gas Pilotanlage, Stuttgart



Projektname	250-kW-Power-to-Gas-Pilotanlage, Stuttgart
Betreiber / Beteiligte	— Betreiber: ZSW (Planung, Aufbau und Versuchsbetrieb) — SolarFuel GmbH (Betriebskonzepte, Wirtschaftlichkeitsanalysen) — Fraunhofer IWES (technische, volkswirtschaftliche und ökologische Analyse und Bewertung)
Kategorie	Pilotanlage
Status	Bauphase, Betriebsstart Sommer 2012
Prozess	Wasserelektrolyse – Methanisierung – Zwischenspeicherung – externe Nutzung
Anlagendaten	— Anschlussleistung: 250 kW — Variable CO₂-Quelle durch Trailerversorgung
Besonderheiten	— Erprobung und Optimierung des dynamischen Betriebs eines Elektrolyseurs — Weiterentwicklung der Methanisierung und des Systemverschlusungskonzepts — Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an der 250-kW-Anlage werden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) finanziell gefördert.

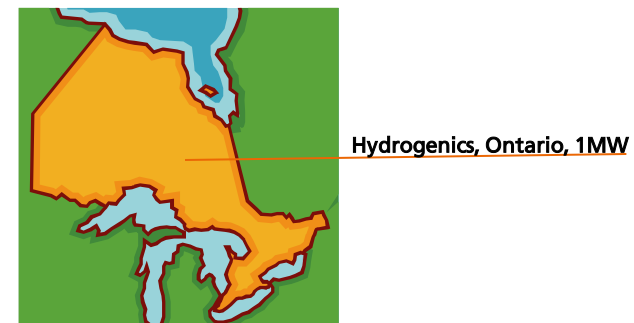
Nationale & Internationale Projekte



Dänemark



Kanada



Schweiz



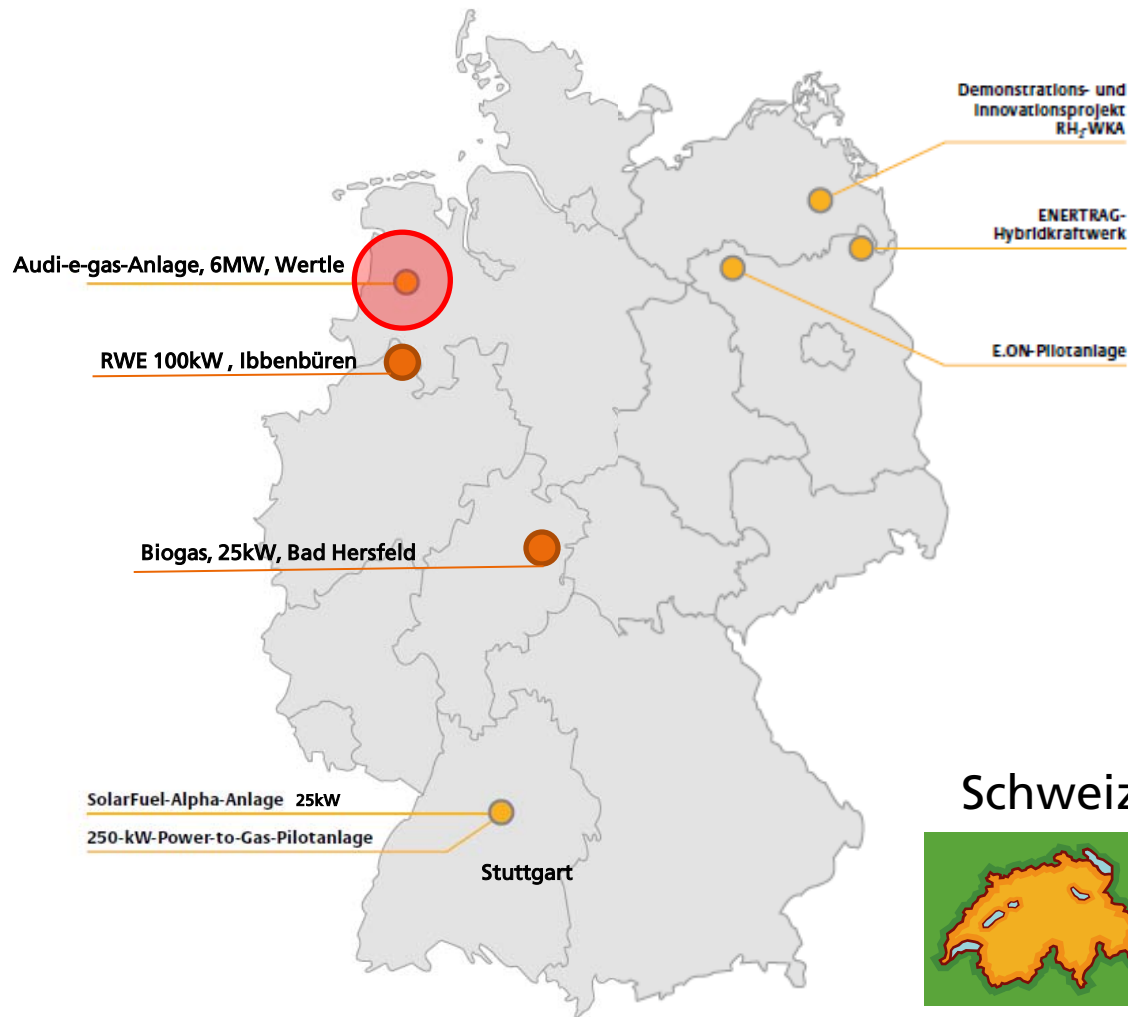
Methanisierungskooperation Hessen-Thüringen



Forschungsbiogas- & Methanisierungsanlage
(3 Monatiger Testbetrieb in Bad Hersfeld)



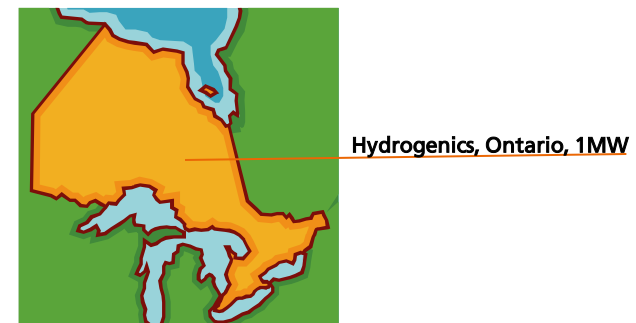
Nationale & Internationale Projekte



Dänemark



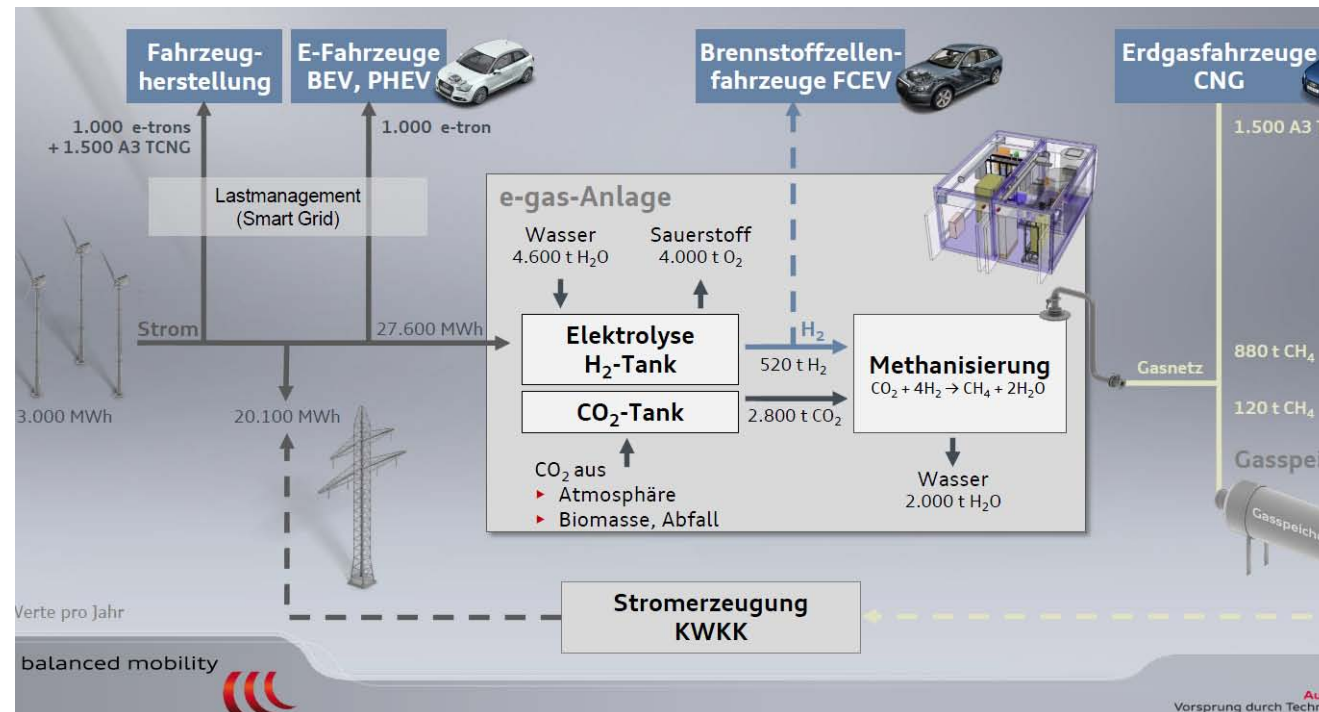
Kanada



Schweiz

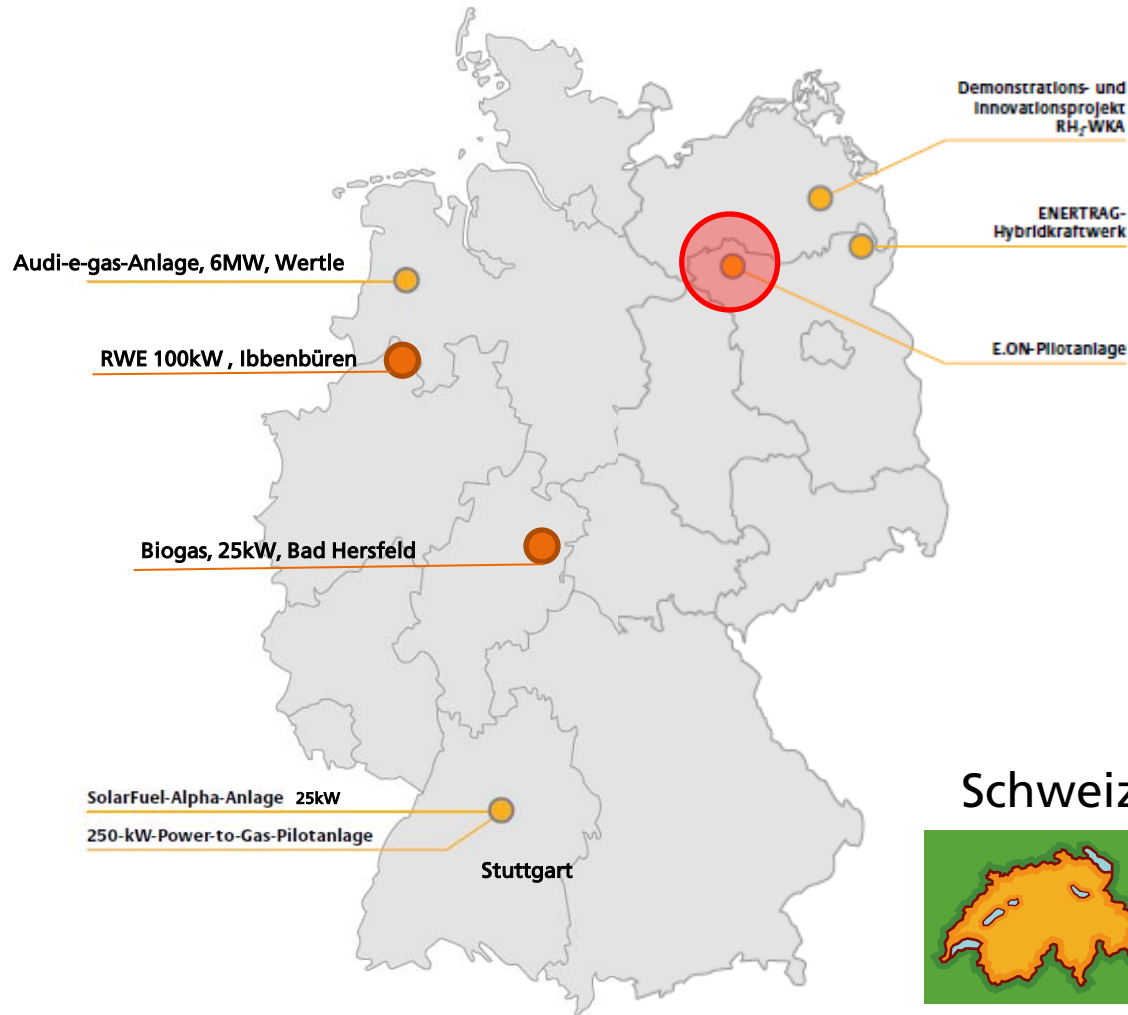


Audi-e-Gas-Anlage, Wertle



Projektname	Audi-e-gas-Anlage, Wertle
Betreiber / Beteiligte	- Betreiber: AUDI AG - Generalunternehmer: SolarFuel GmbH - Lieferant regenerativen Kohlendioxids und Standort: EWE Energie AG in Oldenburg - Forschungspartner: Fraunhofer IWES in Kassel, ZSW in Stuttgart
Kategorie	Demonstrationsprojekt
Status	Bauphase, ab 2013 Betriebsphase
Prozess	Wasserelektrolyse – Methanisierung – Einspeisung ins Erdgasnetz
Anlagendaten	- Anschlussleistung: ca. 6 MW - angestrebte durchschnittliche Tagesproduktion: 3.900 m³ - angestrebter Wirkungsgrad > 54 % mit zusätzlich hohem Wärmenutzungsanteil - CO₂-Gewinnung aus Abfall-Biogasanlage
Besonderheiten	- Methaneinspeisung ins Erdgasnetz und Anwendung als Kraftstoff für den neuen Audi A3 TCNG - Erprobung im industriell nutzbaren Maßstab - liefert Erfahrungen zur Weiterentwicklung hin zu einer modularisierbaren Gamma-Anlage

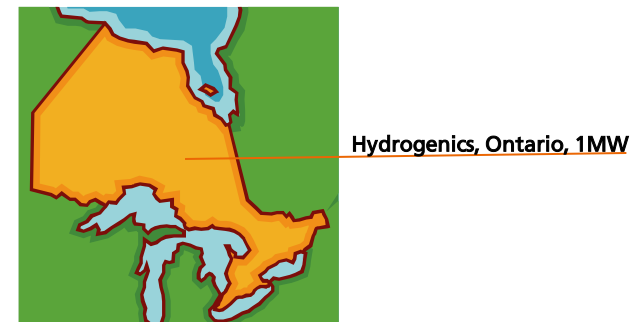
Nationale & Internationale Projekte



Dänemark



Kanada

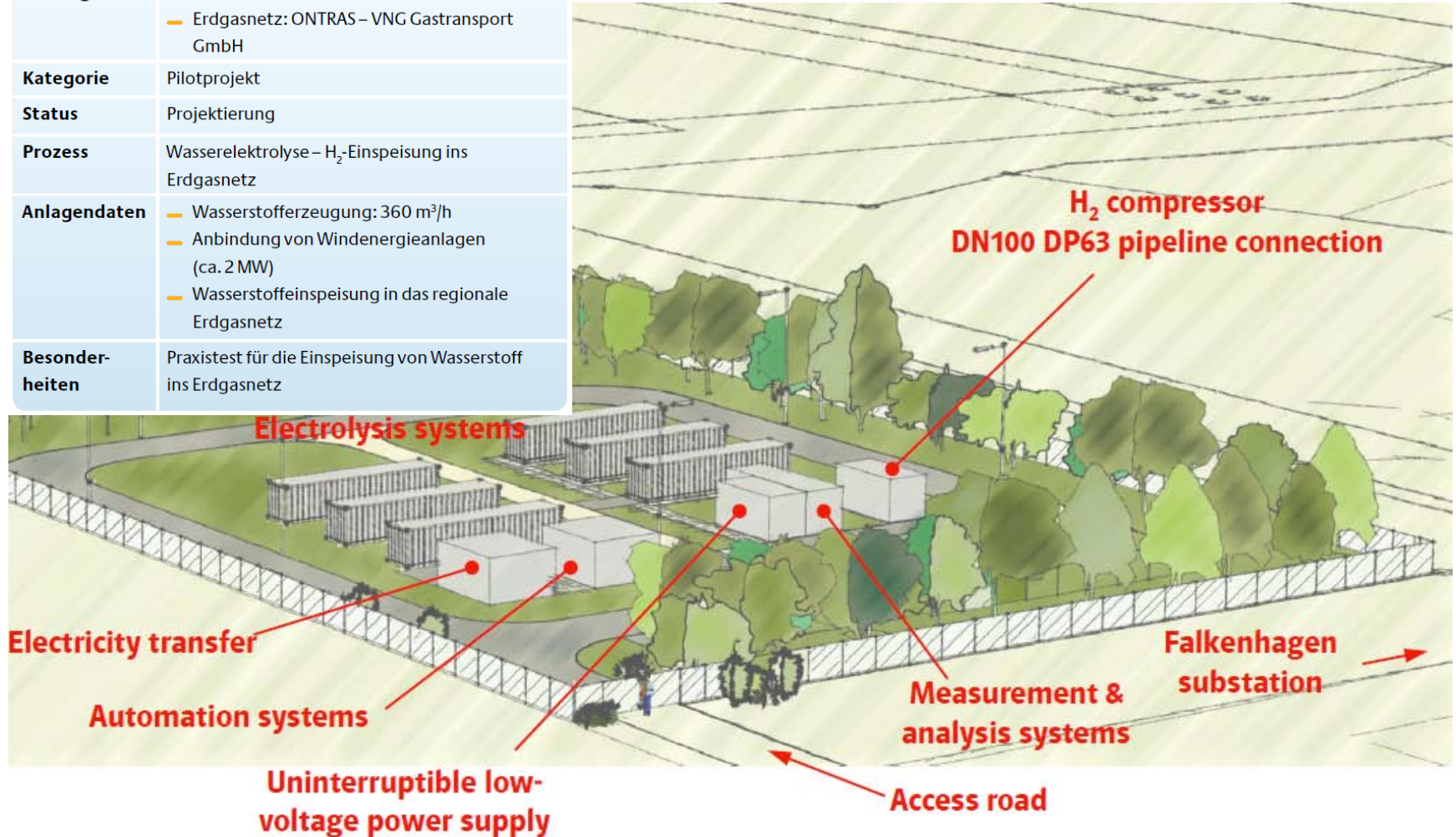


Schweiz



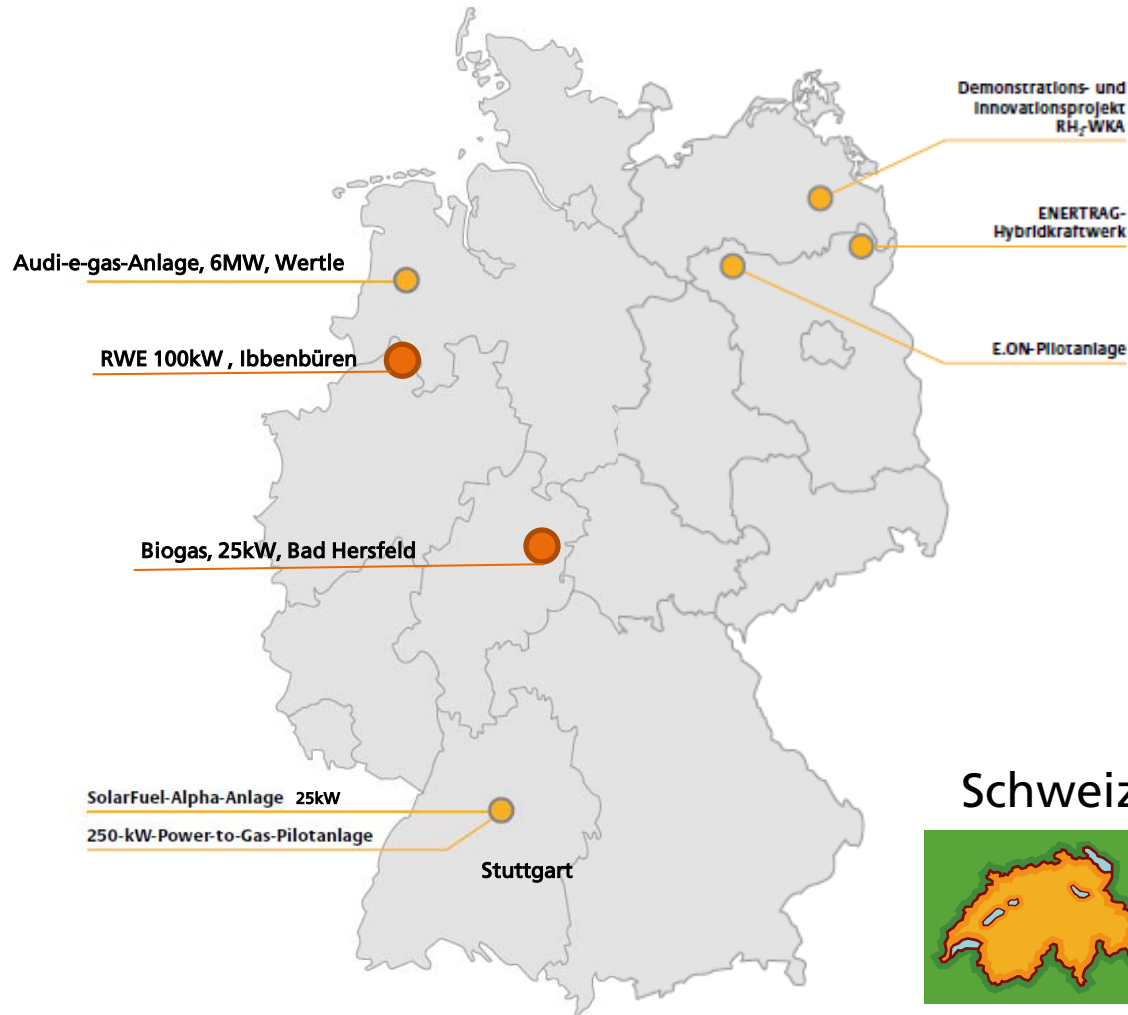
2MW E.ON Pilotanlage, Falkenhagen

Projektname	E.ON-Pilotanlage, Falkenhagen
Betreiber / Beteiligte	— Betreiber: E.ON Gas Storage GmbH — Stromnetz: E.ON edis AG — Erdgasnetz: ONTRAS – VNG Gastransport GmbH
Kategorie	Pilotprojekt
Status	Projektierung
Prozess	Wasserelektrolyse – H ₂ -Einspeisung ins Erdgasnetz
Anlagendaten	— Wasserstoffherzeugung: 360 m³/h — Anbindung von Windenergieanlagen (ca. 2 MW) — Wasserstoffeinspeisung in das regionale Erdgasnetz
Besonderheiten	Praxistest für die Einspeisung von Wasserstoff ins Erdgasnetz



Quellen: RPE-Steiner & Team, E.ON (Folke) 2012 und www.powertogas.info 2012

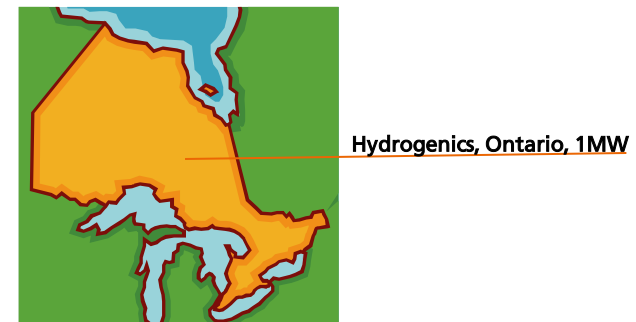
Nationale & Internationale Projekte



Dänemark



Kanada



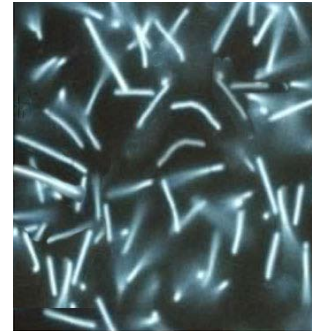
Schweiz



Internationale Projekte

Dänemark:

- 250-kW System mit Kohlendioxid aus Biogas
- Biologische Methanisierung (Methan bildende Bakterien)
- Partner: Electrochaea, E.ON, Nordjysk Elhandel AS, Aarhus University
- Start in 2012
- Vorstudie für kommerzielles System



Schweiz:

- Erste Potentialabschätzungen "Swiss Renewable Power-to-Gas"

Kanada:

- 1MW Anlage geplant
- Partner: Hydrogenics, Enbridge, IESO, Canadian Gas Association

Fazit Power-to-Gas:

1. Für eine regenerative Vollversorgung ist Langzeitspeicherung unverzichtbar
2. Methanisierung erschließt die komplette Infrastruktur der Erdgaswelt
3. Weiterentwicklung des Verfahrens muss jetzt vorangetrieben werden
4. Kombination mit Biogas bietet viele Vorteile
5. Größte Herausforderung ist die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens im Wettbewerb mit anderen Lösungen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dipl.-Ing. Matthias Puchta

Gruppenleiter Energiespeicher

Bereich Regelungstechnik und Energiespeicher

Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik

Telefon: 0561-7294-367

E-Mail: matthias.puchta@iwes.fraunhofer.de