Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

JÜLICH FORSCHUNGSZENTRUM

# Power to Gas – Möglichkeiten und Grenzen

Dr. Peter Markewitz

Institut für Energie- und Klimaforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEK-STE)

Forschungszentrum Jülich GmbH

9. Master Class Course „Renewable Energies“ 2014

Berlin/Eberswalde, 3. Dezember 2014

# Gliederung

## Power to Gas – Möglichkeiten und Grenzen

- Energiepolitische Ziele, Ausgangslage
- Speicher - Versorgungsaufgaben
- Power to Gas – Technische Verfahren
- Überschussstrom – Langzeitspeicherbedarf
- Fazit

JÜLICH FORSCHUNGSZENTRUM

# $CO_2$-Emissionen 2013

| | | | |
|---|---|---|---|
| Weltweit | 32.773 Mio. t | 100% | Änderung 2013/2012: + 588 Mio. t |
| USA | 5.515 Mio. t | 16,8% | Änderung 2013/2012: + 140 Mio. t |
| China | 8.775 Mio. t | 26,1% | Änderung 2013/2012: + 330 Mio. t |
| EU-28 | 3.658 Mio. t | 11,3% | Änderung 2013/2012: - 69 Mio. t |
| Deutschland | 839 Mio. t | 2,5% | Änderung 2013/2012: + 17 Mio. t |
| Davon[1)] | | | |
| Umwandlung | | 43,8% | |
| Haushalte | | 11,4% | |
| Verkehr | | 18,7% | |
| Industrie | | 20,4% | |
| GHD | | 5,7% | |

1) Prozentuale Anteile Deutschland : Zahlen 2012

Quelle: Ziesing, Energiewirtschaftliche Tagesfragen Heft 9 (2013), Heft 5 (2014)

# Ausgangslage (2)

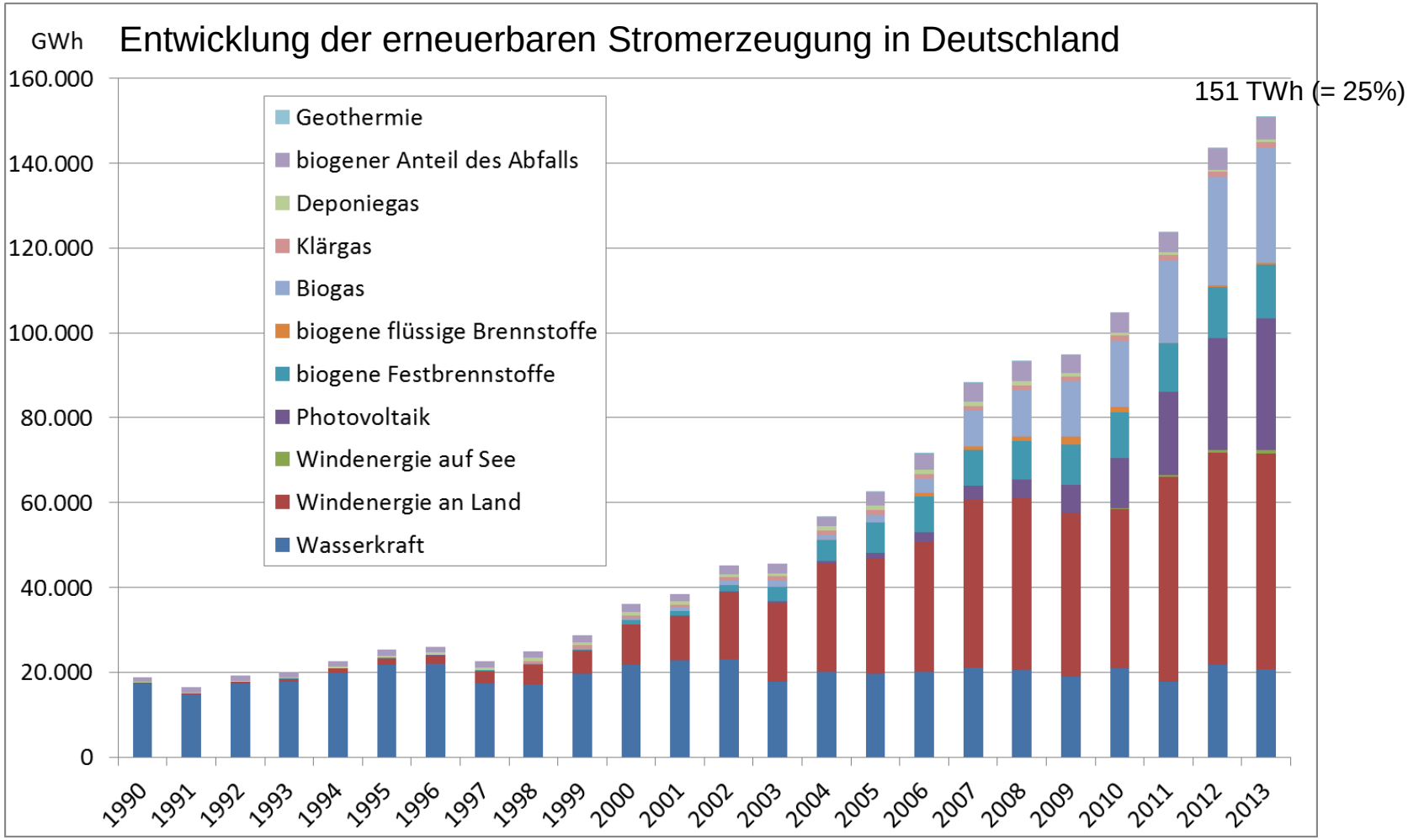
JÜLICH FORSCHUNGSZENTRUM

## Energiekonzept der Bundesregierung (Auswahl einiger Ziele)

- Reduktion[1)] der Treibhausgasemissionen: **2020** (-40%), **2030** (-55%), **2050** (-80 bis -95%)
- Reduktion[1)] des Primärenergieverbrauchs: **2020** (-20%), **2050** (-50%)
- Reduktion[2)] des Bruttostromverbrauchs: **2020** (-10%), **2050** (-25%)
- Anteil der Stromerzeugung aus KWK: **2020** (25%)
- Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch: **2020** (35%), **2030** (50%), **2040** (65%), **2050** (80%)
- ….

1) bezogen auf 1990 2) bezogen auf 2008

# Ausgangslage (3)



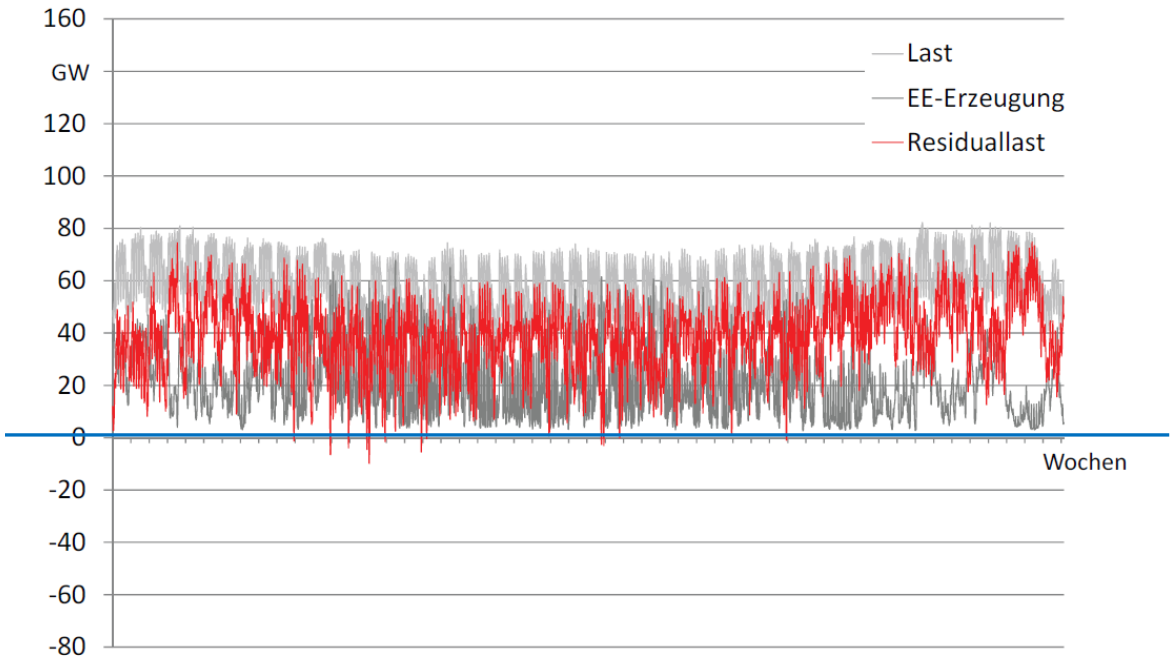

Quelle: BMWi, 2014 (www.erneuerbare-energien.de)

2050: Anteil 80% EE am Bruttostromverbrauch → Erzeugung: 370[1)] bis 494 TWh

1) Reduktion des Bruttostromverbrauchs um 25%

→ Starker Anstieg volatiler Stromerzeugung

# Last, EE-Erzeugung, Residuallast




heute

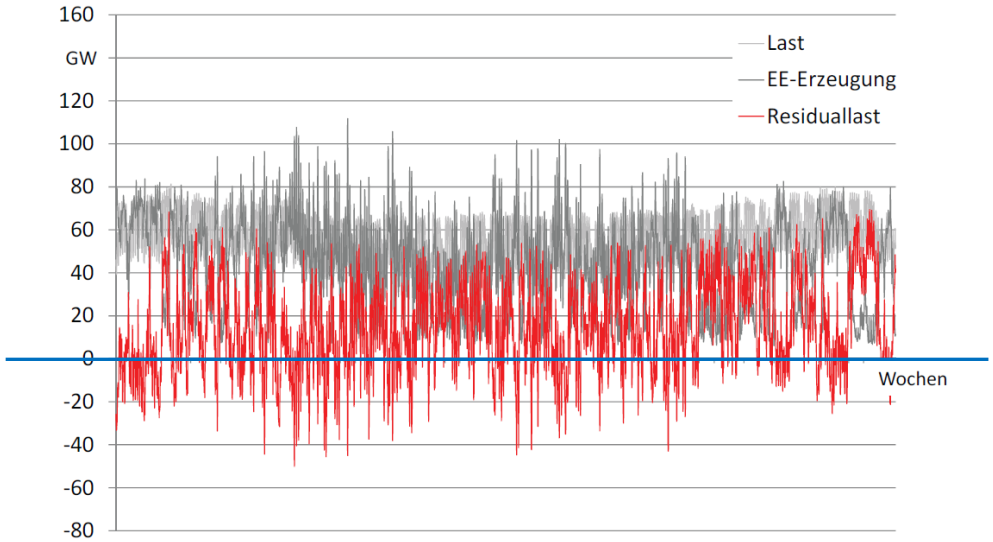
Quelle: VDE, Energiespeicher für die Energiewende (2012)

**Last** = Verbrauchernachfrage (Haushalte, GHD, Industrie, Verkehr, Export/Importe)

**Residuallast** = Last – Stromeinspeisung durch Erneuerbare (Must run)

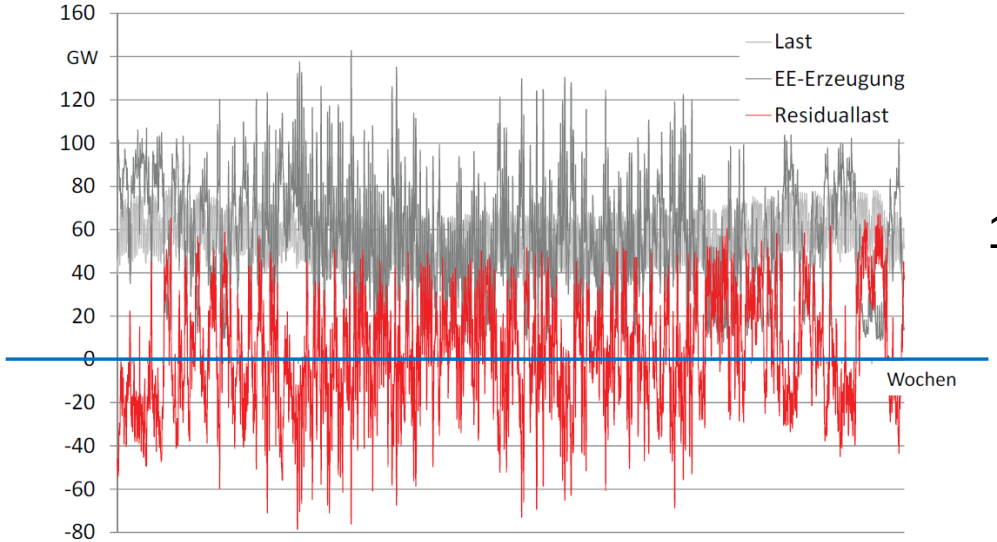
Positive Residuallast: Last > Einspeisung bzw. Erzeugung
Negative Residuallast: Last < Einspeisung bzw. Erzeugung (= Überschussstrom)

# Zukünftige Einspeisung von EE und Residuallast




80% Erneuerbare

**Last = Erzeugung**




100% Erneuerbare

Versorgungsaufgaben müssen zunehmend von Erneuerbaren übernommen werden , Bedeutung von Speichern nimmt zu

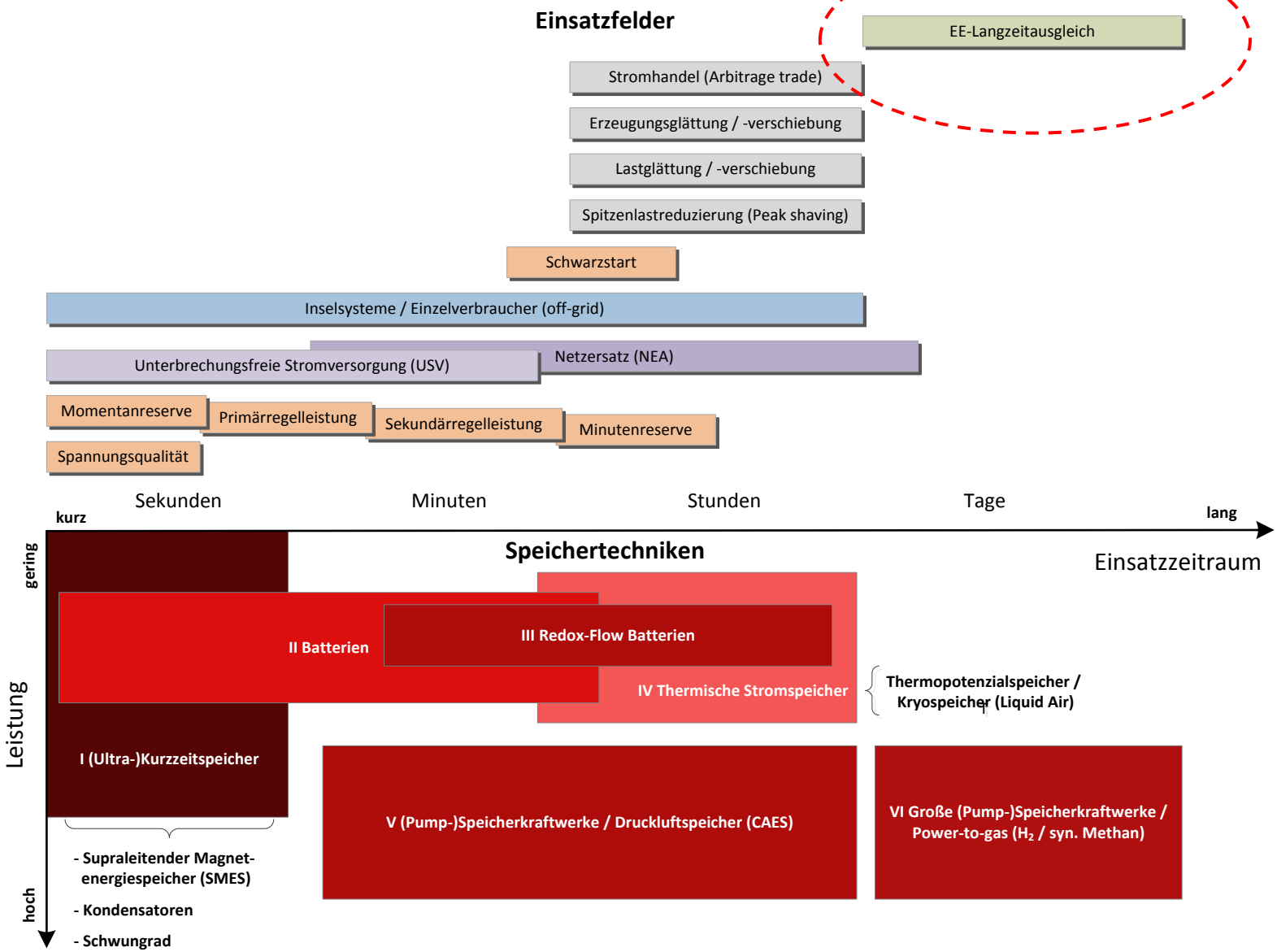
Quelle: VDE, Energiespeicher für die Energiewende (2012)

# Versorgungsaufgaben von Speichern

**Ziel: Ausgleich von Erzeugung und Last**

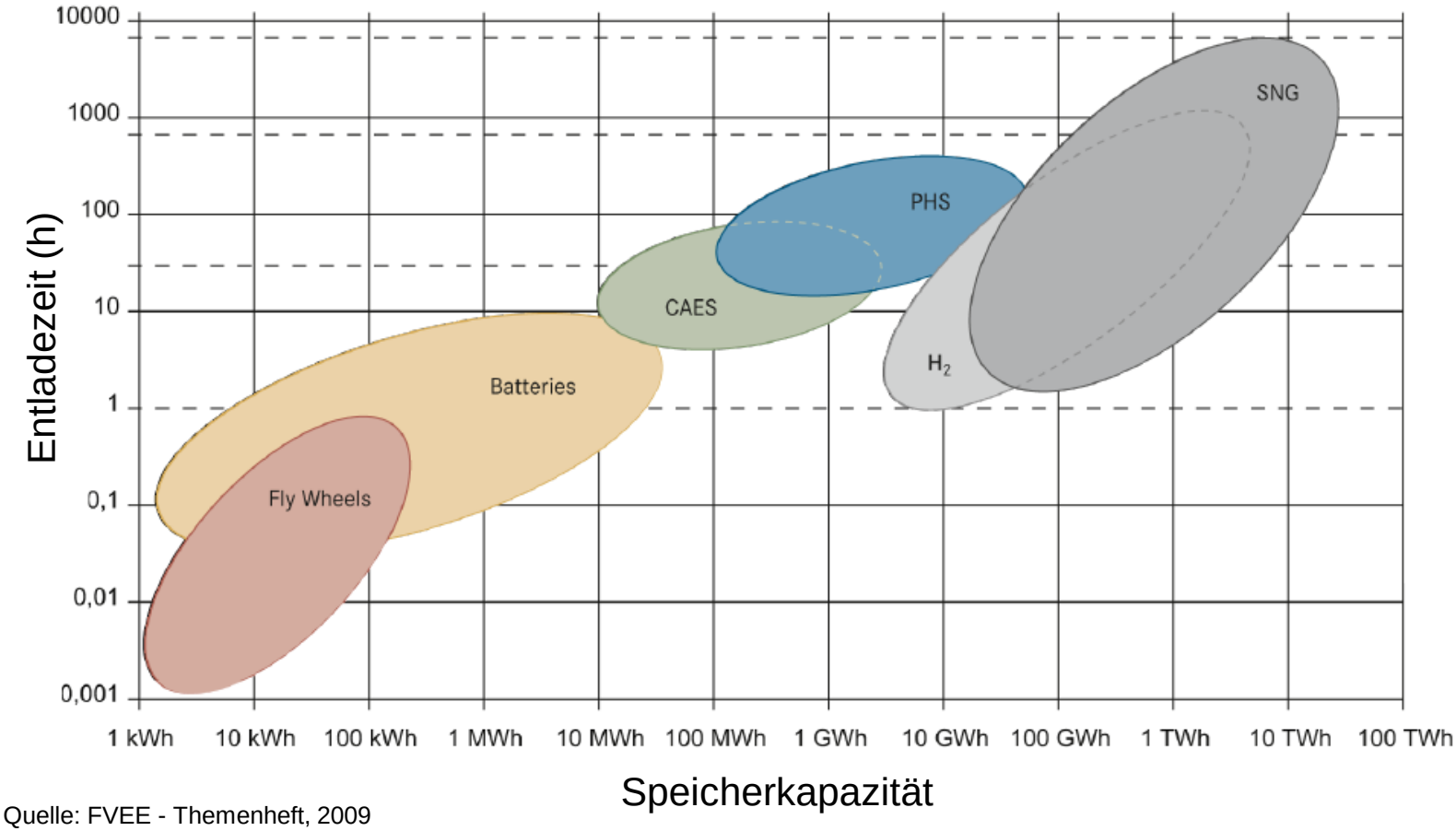
- **Netzdienstleistungen** (stabiler Betrieb von Übertragungs- u. Verteilnetzen)
  - Spannungsqualität (Spannungshöhe, Frequenz etc.)
  - Regelleistung (z.B. Abweichungen von Soll- und Isteinspeisung)
  - Schwarzstart (Wiederanfahren des Netzes nach einem Netzausfall)
  - …
- **Spitzenlastreduzierung** (z.B. Absenken der maximalen Netzlast)
- **Last-/Erzeugungsglättung** (Ausgleich von verbraucherseitigen Schwankungen)
- **Stromhandel (arbitrage trade)**
- **Langzeitausgleich**

# Speicher und Versorgungsaufgaben



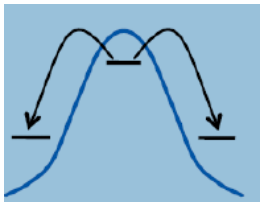

Quelle: Stenzel et al. Brennstoff-Wärme-Kraft Heft 4 (2013)

# Klassifizierung von Energiespeichern




Quelle: FVEE - Themenheft, 2009

# Nutzungsmöglichkeiten von Überschussstrom



- Bessere Nutzung des Überschussstroms durch Demand side management
- Netzausbau (Transport in andere Regionen oder Export)
- Wärmeerzeugung (Power to heat) z.B. in Häusern, Fernwärmenetzen etc.
- Speicherung (Kurz- und Langzeitspeicher)

  *Langzeitspeicheroptionen*

  – Erzeugung von Wasserstoff ($H_2$)

  – Erzeugung von synthetischem Methan ($CH_4$)

  **Power to Gas**

- Keine Nutzung („Abregeln“), 2012: 0,385 TWh = 0,25% EE Stromerzg.

# Pumpspeicherkraftwerke (PSKW)

## PSKW in Deutschland heute

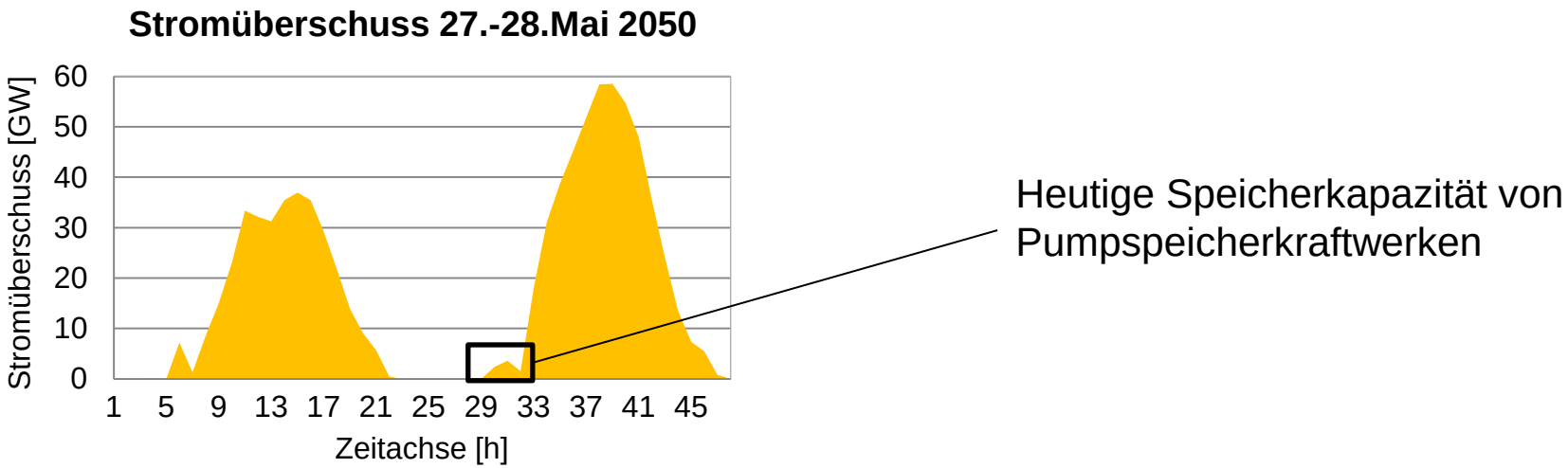
Installierte Leistung: ca. 6,8 GW,

tägliche Nutzungsdauer: 4 – 8 h, Gesamtspeicherkapazität: 40-50 GWh

2010: 6.291 GWh, Abgabe (ohne nat. Zufluss), 8.691 GWh Pumparbeit

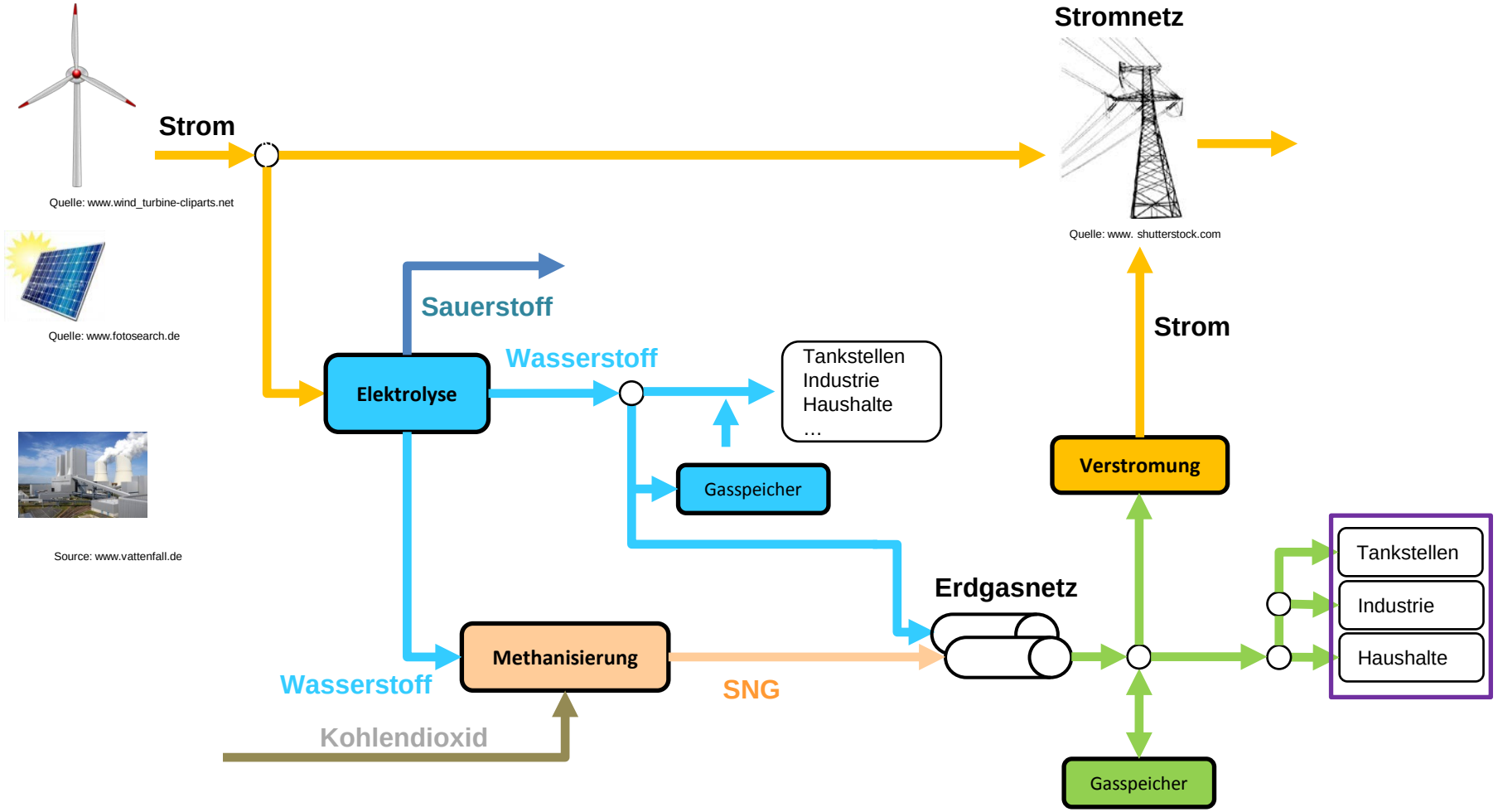
Äquivalente Vollzyklen: ca. 125-150

Volllastbenutzungstunden. ca. 920




Quelle: eigene Rechnungen, IEK-STE 2012

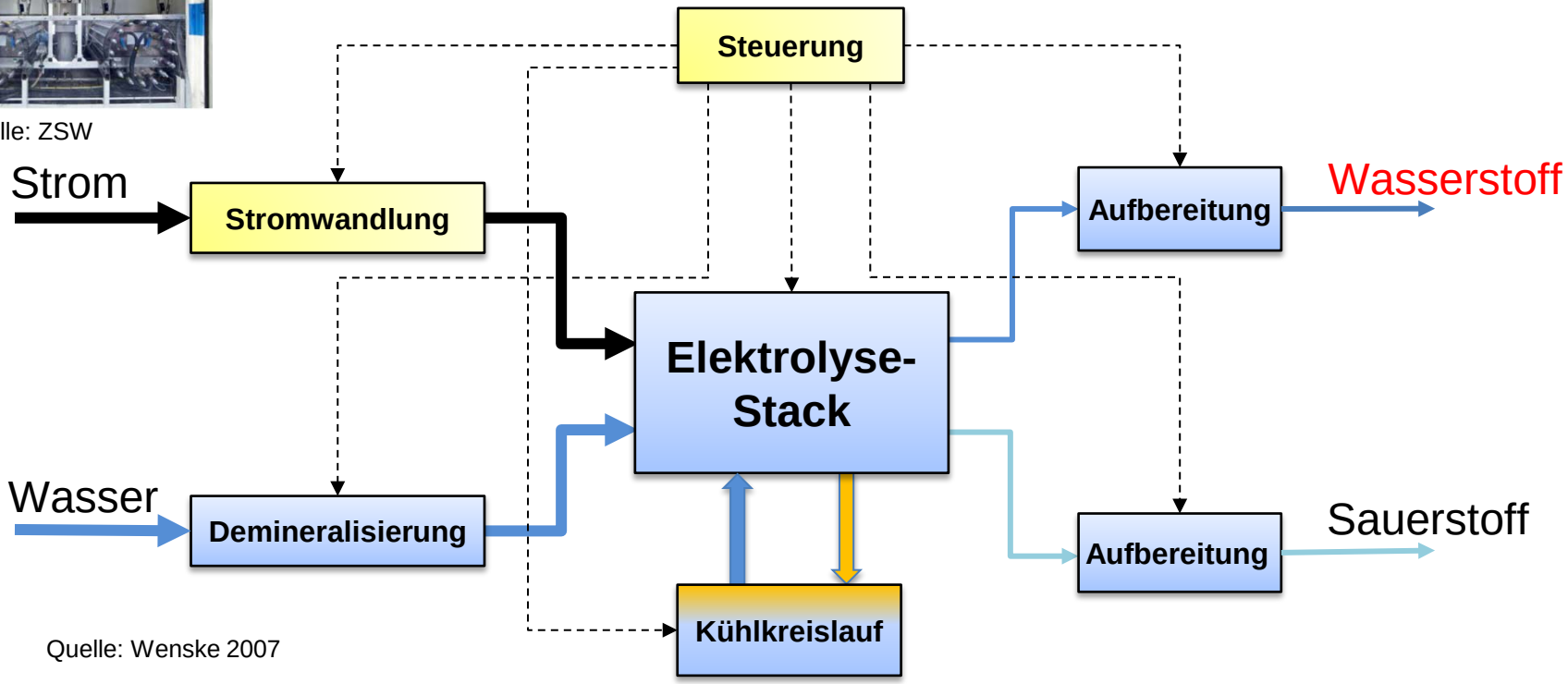
# Power to Gas




SNG: Substitute Natural Gas

# Elektrolyse

Quelle: ZSW



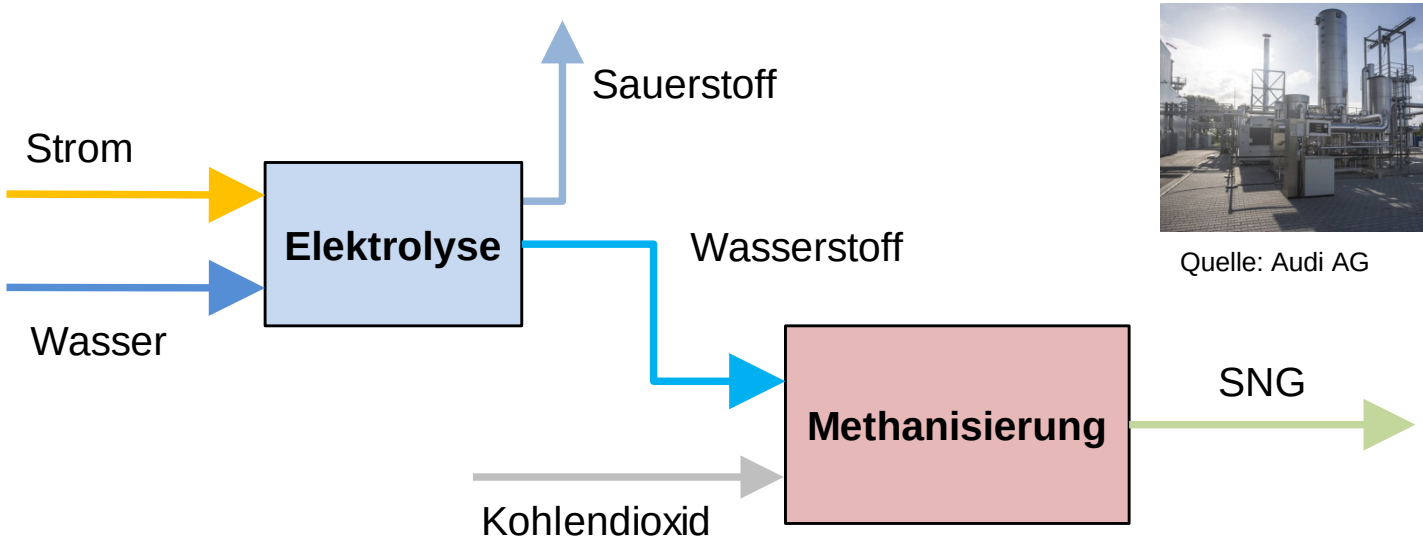

Quelle: Wenske 2007

| | |
|---|---|
| **Reaktionsgleichung** | $2\ H_2O^{(l)} \rightarrow 2\ H_2 + O_2$ |
| **Reaktionsenthalpie** | **286 kJ/mol** |

Wirkungsgrade: heute ca. 65 -70% → mittelfristig 75% → langfristig >75%

Elektrolyse ist ein etabliertes Verfahren ! zukünftig: hohe Flexibilitätsanforderungen etc.

# Methanisierung

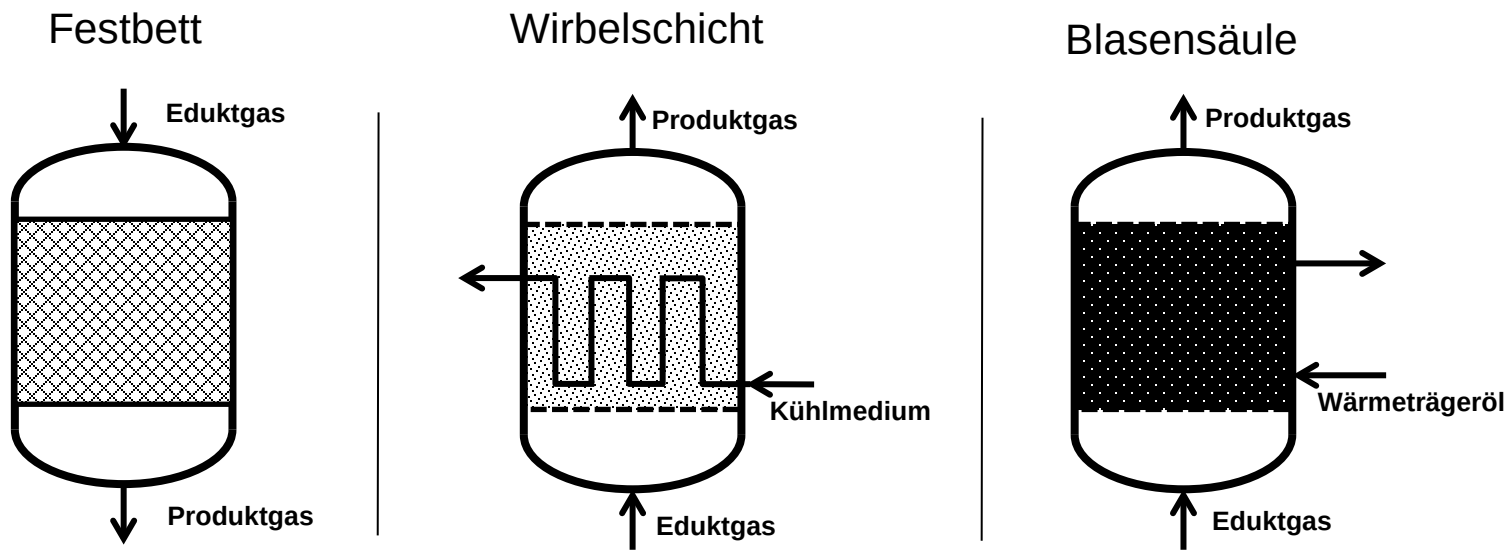


Quelle: Audi AG

| | |
|---|---|
| **Sabatier [1]-Reaktionsgleichung**<br><br>1) franz. Chemiker Paul Sabatier 1854-1941 | $H_2 + CO_2 \leftrightarrow CO + H_2O$ (+41 kJ/mol)<br>$3H_2 + CO \leftrightarrow CH_4 + H_2O$ (- 206 kJ/mol)<br>$4\,H_2 + CO_2 \leftrightarrow CH_4 + 2\,H_2O$ (-165 KJ/mol)<br>(200-600°C), 1-100 bar |
| **Thermodynamischer Umwandlungswirkungsgrad** | $\eta_{Sabatier} = \frac{H_{u,CH_4}}{4 \cdot H_{u,H_2}} = 83\ \%$ |

- Idee der SNG Herstellung stammt aus den 70er Jahren
- Katalysatoreinsatz ist notwendig (z.B. Nickel, Ruthenium), derzeit nur CO-Katalysatoren
- Herausforderungen: Flexibilität, Wärmeabfuhr/-nutzung (→ Umwandlungswirkungsgrad)

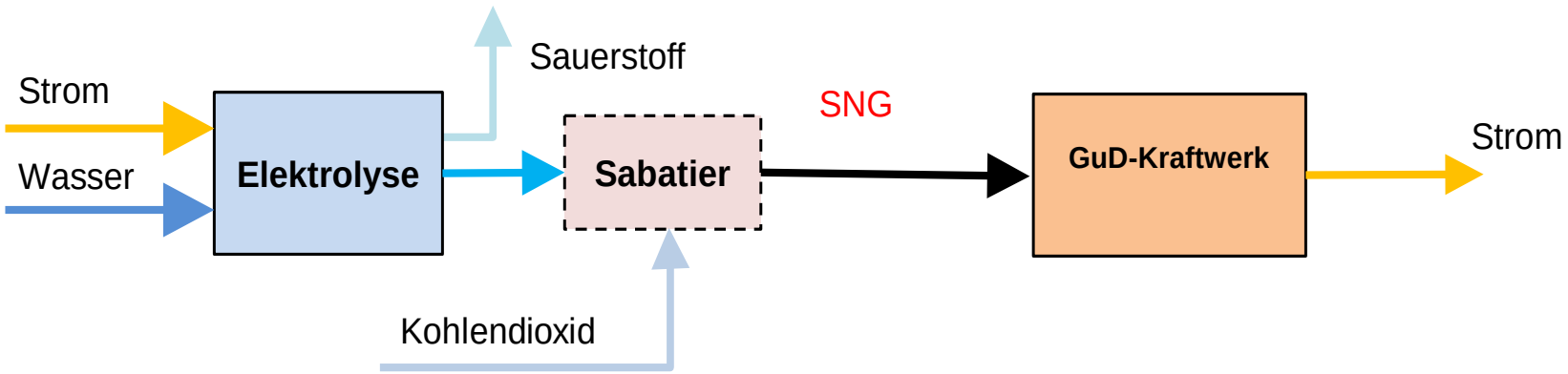
# Methanisierungsverfahren




| Reaktortyp | Festbett | Wirbelschicht | Blasensäule |
|---|---|---|---|
| Phasen | Edukte gasförmig, Katalysator fest | Edukte gasförmig, Katalysator aufgewirbelt | Edukte gasförmig, Wärmeträgermedium flüssig, Katalysator fest |
| Anzahl Reaktoren | - | ++ | ++ |
| Katalysatorbelastung | + | -- | 0 |
| Wärmeabfuhr | - | + | ++ |
| Flexibilität | - | -- | + |

Quelle: Bajohr 2011

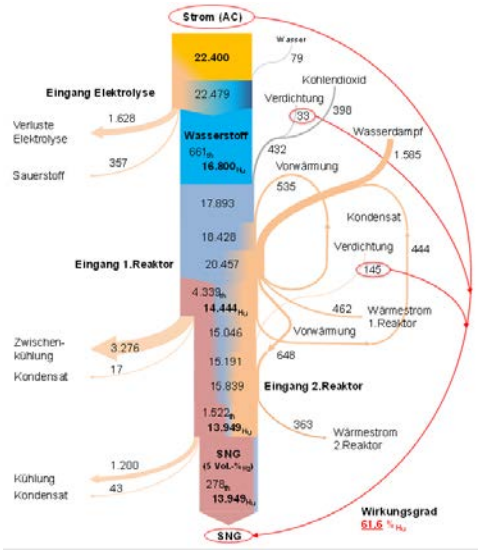
# Wirkungsgradkette, Kosten




Heute [1]: 70% x 75% x 60% = **32%**

1) Ohne Verdichtung, Transportverluste etc.

Literaturangaben: 28 – 35%
Maximal möglich: 45% (Sterner, 2010)




## Gestehungskosten SNG

Heute: ca. 18 €cts/KWh $_{SNG}$

Mittelfristig: ca. 13 €cts/KWh $_{SNG}$

Langfristig: ca. 10 €cts/kWh $_{SNG}$

Heutiger Erdgaspreis: ca. 2,2 €cts/kWh

Quelle: eigene Rechnungen, BAFA 2014

# Vorteile von Power to Gas

- Nutzung der vorhandenen Erdgasinfrastruktur (Transport-, Verteilnetz, Speicher)
- Speicherung von $H_2$ bzw. SNG über <u>längere Zeiträume</u> und in <u>großen Mengen</u> möglich, insb. vor dem Hintergrund eines zukünftig abnehmenden Erdgasverbrauchs

**SNG Einspeisung**

Erdgasspeicher: 230 TWh (zukünftig: 400 TWh)
Netz: 895 TWh (heutiger Erdgasverbrauch)

**Wasserstoffeinspeisung:** 5% $H_2$-Zumischung <u>derzeit</u> zulässig (G262)

**Maximal theoretisches Potenzial**
Heutiger Erdgasverbrauch: ca. 90 Mrd. $m^3$
→ ca. 4,5 Mrd. $H_2m^3$ → ca. 19 TWhel

(allerdings keine perfekte Verteilung und gleichmäßige Zumischung → ggfs. Methanisierung notwendig)

(bei Methanisierung werden 2,2 Mio. t $CO_2$ benötigt)
$CO_2$-Abscheidung durch heutige Biogasaufbereitung: 0,6 Mio t

# Kurzvergleich

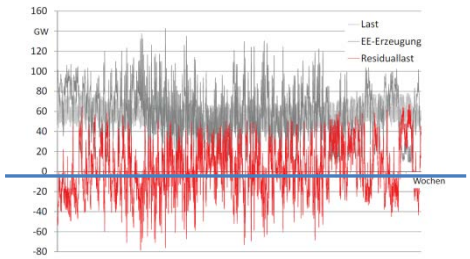
## $H_2$-Direkteinspeisung

- Elektrolyseanlagen sind Stand der Technik (kommerziell verfügbar)
- Hohe Wirkungsgrade realisierbar
- Geringere Investitions- und Betriebskosen
- Geringerer Energieinhalt im Vergleich zu Methan (→ Speicherkapazität)
- Zumischbarkeit an Grenzkonzen-trationen gebunden
- Ggf. technische Anpassungen im Gasnetz bzw. bei Endverbrauchsgeräten notwendig

## Methanisierung

- Speicherung großer Mengen
- Keine Zumischbeschränkungen
- Keine bzw. kaum Anpassung im Gasnetz notwendig
- Geringere Wirkungsgrade
- Höhere Investitions- und Betriebskosten
- Technik noch nicht ausgereift – Pilotanlagen
- Evtl. begrenzte Verfügbarkeit von „grünen“ $CO_2$-Quellen

# Langzeitspeicherbedarf




| VDE Variante D | 40% | 80% | 100% |
|---|---|---|---|
| Einspeicherleistung (GW) | 23,3 | 35,7 | 68,3 |
| Ausspeicherleistung (GW) | 16,9 | 28,6 | 41,7 |
| Speichervolumen (GWh) | 2.111 | 7.982 | 26.000 |
| Äquivalente Vollzyklen/a | 1,1 | 1,8 | 2,7 |
| Volllaststunden – Einspeicherung (h) | 154 | 650 | 1.604 |
| Volllaststunden – Ausspeicherung (h) | 86 | 328 | 1.053 |

Quelle: VDE, Energiespeicher für die Energiewende (2012)

Zum Vergleich PSKW in Deutschland heute

Installierte Leistung: ca. 6,8 GW,
2010: 6.291 GWh, Abgabe (ohne nat. Zufluss), 8.691 GWh
Pumparbeit: Äquivalente Vollzyklen: ca. 125-150
Volllastbenutzungstunden. ca. 920 VBH

# Überschussstrom, $H_2$-Zumischung, $CO_2$-Bedarf

Erdgasverbrauch 2013: 3106 PJ (ca. 86 Mrd. $m^3$)

| Überschussstrom (TWh) | $H_2$ Zumischung |
|---|---|
| 0,385 (heute) | 0,1% |
| 24,5[1)] (2050) | 6,7% |
| 30 [2)] (2050) | 8,1% |

1) eigene Schätzung, 2) VDE 2012

**Vollständige Methanisierung**

| $CO_2$ Bedarf (Mio. t) | SNG (Mrd. $m^3_N$) | Anteil am Erdgasverbrauch 2013 |
|---|---|---|
| 0,044 | 0,022 | 0,03% |
| 2,83 | 1,43 | 1,66% |
| 3,46 | 1,75 | 2,04% |

Verfügbarkeit von $CO_2$ heute:

Biogasaufbereitung: ca. 0,6 Mio. t
Bioethanolherstellung: ca. 1,0 Mio. t

Summe ca. 1,6 Mio. t

# Demonstration und Pilotanlagen

18 Pilotprojekte

- 2x $CH_4$ Einspeisung
- 5x $H_2$ Einspeisung
- 8 E-gas Mobilität

5 Projekte in Vorbereitung

Quelle: DVGW, 2014
www.dvgw-innovation.de

# Fazit

- Langzeitspeicherung erst ab >80% EE Anteil an der Stromerzeugung von Relevanz, bei 100% EE unbedingt notwendig

- $H_2$- und SNG-Speicherung sind die einzigen Langzeitspeicherpotionen

- Vorteil von Power to Gas (P2G): Nutzung der bestehenden Erdgasinfrastruktur (Transport- u. Verteilungsnetz, Speicher)

- Zu lösende Probleme: Wirkungsgrade, Kosten, Wasserstoffverträglichkeit, Technik (z.B. $CO_2$-Methanisierung), $CO_2$-Quellen, Flexibilität, Marktumfeld…

- Zukünftig: In-Situ Methanisierung ? (Umsetzung von $H_2$ und $CO_2$ mit Bakterien)

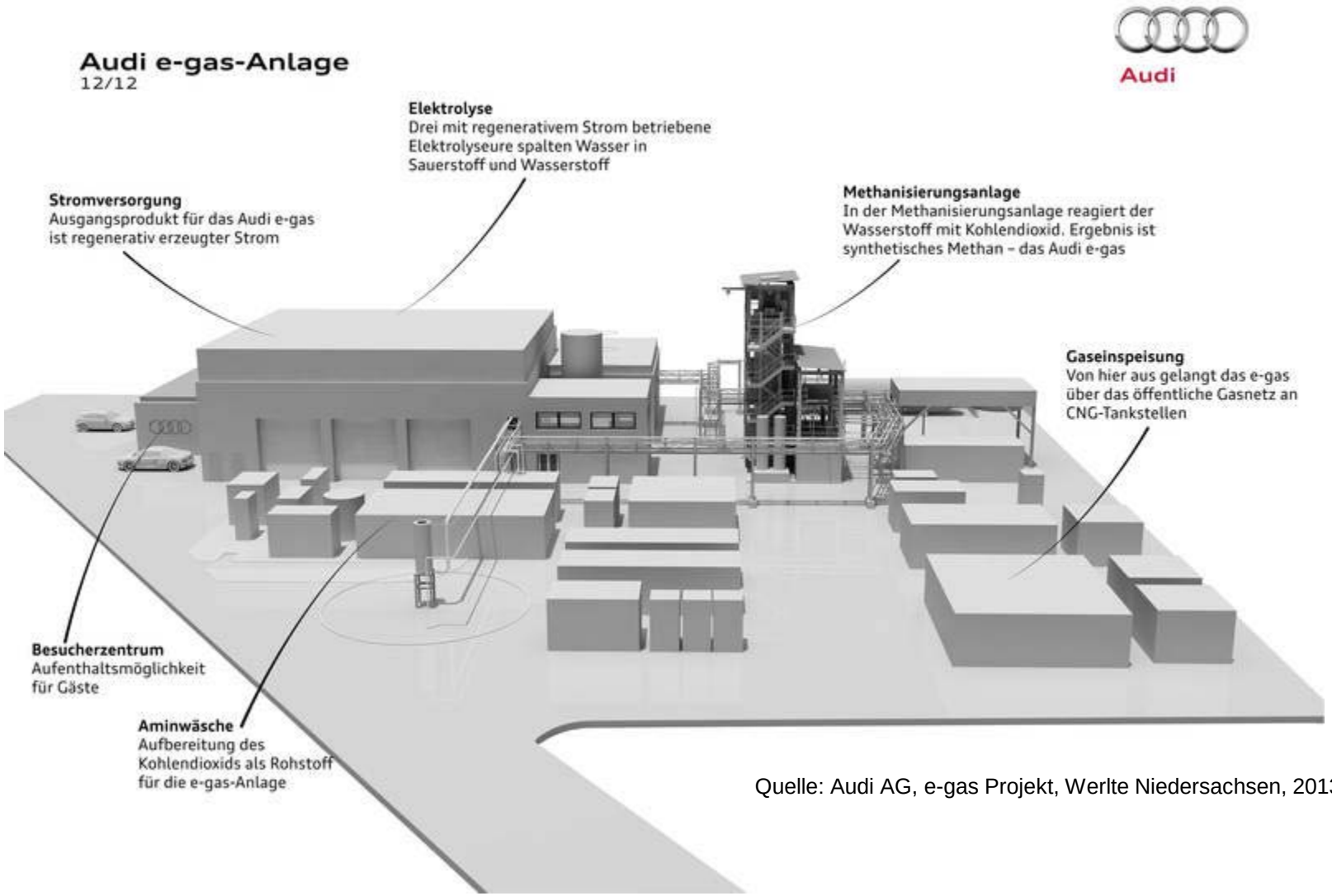
- Prioritäten bei der Nutzung von Überschussstrom:

  1. Vermeidung oder direkte Nutzung
  2. Wasserstoffeinspeisung bzw. Nutzung
  3. Methanisierung

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

# Fragen ?

# Backup




Quelle: Audi AG, e-gas Projekt, Werlte Niedersachsen, 2013

# Reaktoren für die CO-Methanisierung

| Name | TREMP | Hicom | RMP | Lurgi/ Sasol | Bi-Gas | Comflux | LPM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Entwickler | Haldor Topsøe | British Gas Corp./ Lurgi | Ralph M. Parson Co. | Lurgi | Bituminous Coal Research Inc. | Thyssengas/ EBI (PSI) | Chem. Systems |
| Reaktortyp | FB | FB | FB | FB | WS | WS | 3-P-WS |
| Stufen | 3 | 4 | 4 - 6 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Entwicklungs-stand | Komm. | Komm. | k. A. | Komm. | Pilot | Pilot | Techn. |
| Druck in bar | 30 | 25 - 70 | 1 – 70 | 18 | 86 | 20 – 60 | 70 |
| Temperatur in °C | 300 – 700 | 230 – 640 | 315 – 780 | Bis 450 | k. A. | 400 – 500 | 340 |
| Jahr | 1980 | 1981 | 1974 | 1974 | 1965 | 1980 (2008) | 1976 |

FB: Festbett, WS: Wirbelschicht, 3-P-WS: Dreiphasen-Wirbelschicht

Quelle: Müller-Syring et al. 2013

# Demonstrationsanlagen

DBI GUT
Gas- und Umwelttechnik GmbH

**Lübeck - USV aus Windenergie**
Windstromelektrolyse

**Rostock - NEMO-Initiative**
Windstromelektrolyse zur Energieversorgung
Vermarktung der Produkte (Kfz)

**P2G Hamburg - E.ON Hanse AG**
In Planung
$H_2$-Einspeisung

**P2G Werlte - Audi AG**
Leistung: 6,3 MW, 4.000 m³/Tag $CH_4$
In Bearbeitung (Betrieb Anfang 2013)
Methanisierung und Einspeisung (Kraftstoff), später auch direkt $H_2$

**DEW21**
In Planung
$H_2$-Einspeisung / Industrie

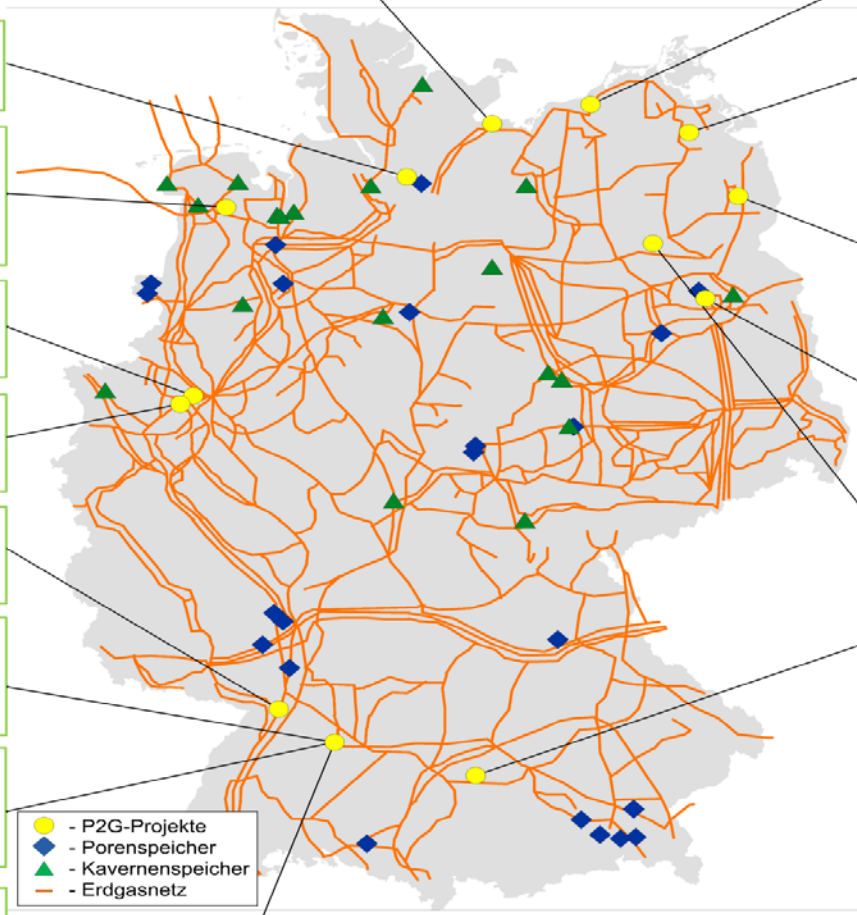
**P2G Herten - Evonik AG**
Mitte 2012 vollständiger Betrieb
Windstromelektrolyse

**P2G Karlsruhe – DVGW-EBI**
Machbarkeitsstudie bis 30.06.2012
Methanisierung

**P2G Stuttgart - SolarFuel GmbH**
Leistung: 25 kW (ohne Optimierung)
In Betrieb (11/2009)
Methanisierung

**P2G Stuttgart - SolarFuel GmbH**
Leistung: 250 kW, < 10 m³/h $CH_4$
In Bearbeitung (Betrieb 2012)
Methanisierung

**Projekt Clean Energy Partnership**
Wasserstoff für den Straßenverkehr
Orte: Berlin, Hamburg, Herten, Bottrop, Karlsruhe, Stuttgart
(Support NOW)




**P2G Stuttgart - EnBW AG**
Forschung (2012)
$H_2$-Tankstelle

**P2G Werder/Kessin/Altentreptow - WIND-projekt GmbH**
Leistung: 1 MW Elektrolyseur
In Bearbeitung (Betrieb 2014)
Verstromung / später $H_2$-Einspeisung

**P2G Prenzlau - ENERTRAG AG**
Leistung: 120 m³/h $H_2$
In Betrieb (11/2011)
$H_2$-Tankstelle / Verstromung mit Biogas

**P2G Berlin Flughafen – Total**
Wasserstoffherstellung aus WEA
Verwendung als Kraftstoff

**P2G Falkenhagen - E.ON AG**
Leistung: 360 m³/h $H_2$
In Bearbeitung (Betrieb Ende 2013)
$H_2$-Einspeisung

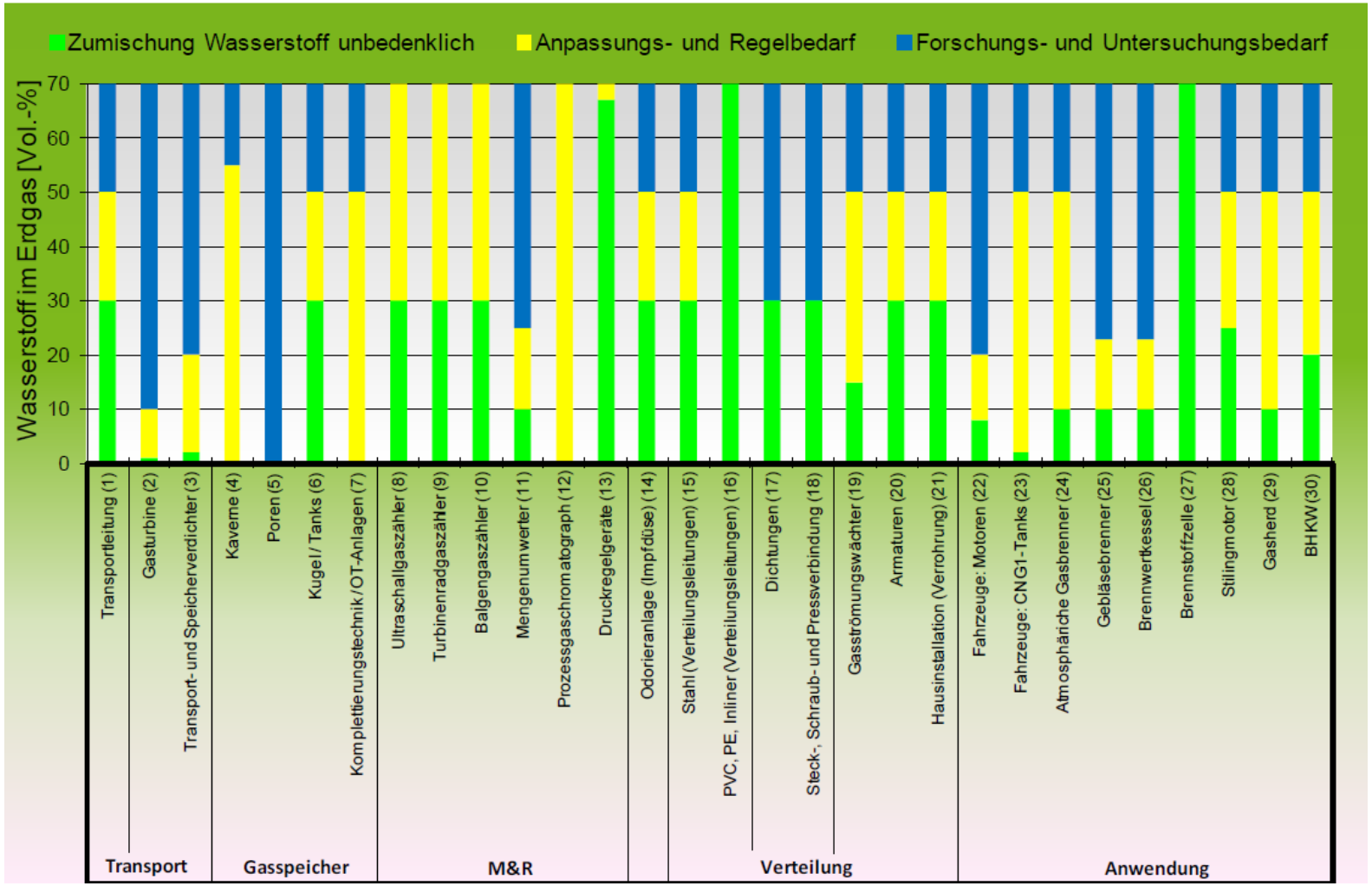
**P2G Graben - Erdgas Schwaben GmbH**
Machbarkeitsstudie 1 MW Anlage
Methanisierung und Einspeisung

**Thüga AG**
Demoanlage 2013
Machbarkeitsstudie zur Windstromelektrolyse / Einspeisung

**P2G – Greenpeace Energy**
Windstromelektrolyse
Projektstart 2012
$H_2$-Einspeisung

Stand: 05/2012

# Wasserstoffverträglichkeit




Quelle: Müller-Syring et al. 2013