

---

# PSW Atdorf

## Flexibilität für die Energiewende

---

Prof. Dr. Kurt Rohrig

Fraunhofer Institut für Windenergie  
und Energiesystemtechnik Kassel

# Energiewende zur Erreichung der Klimaziele

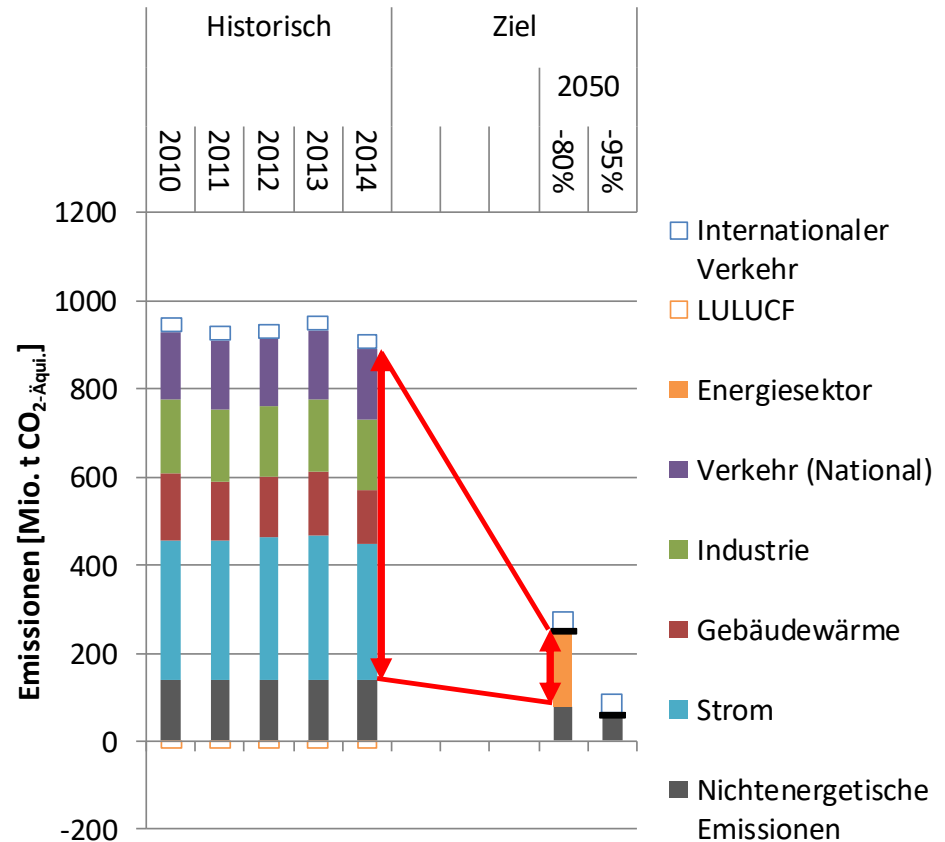
■ Klimaziele 2050 erfordert Einsparung von 80% bis 95% der Treibhausgase

■ Hohe Anforderungen für alle Energiesektoren

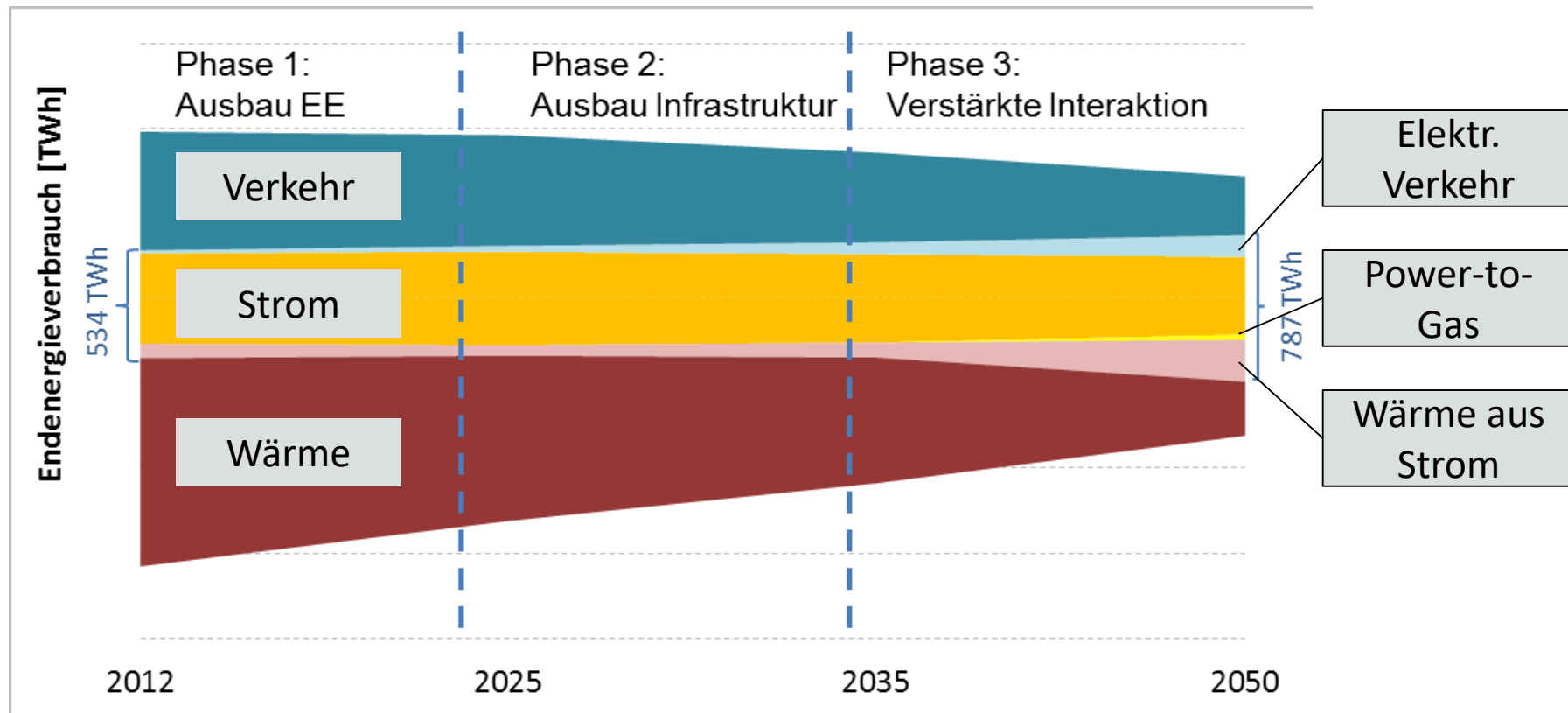
■ Strom

■ Wärme/Industrie

■ Verkehr

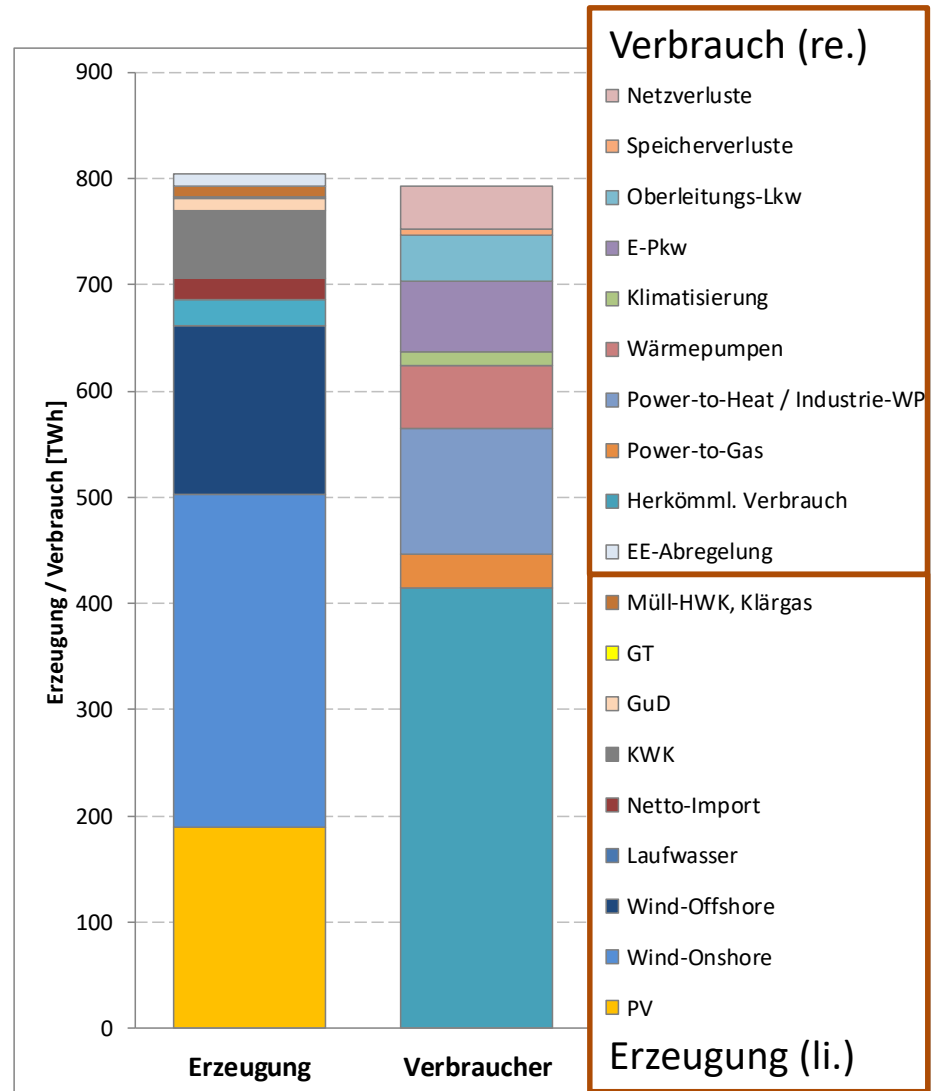


# Energiewende in allen Sektoren des Energieverbrauchs



# Energieerzeugung und Verbrauch in 2050

- Strom als Hauptenergieträger
- Heute ca. 3.500 TWh
- Ziel
  - 800 TWh Stromerzeugung
  - 180 GW Wind, 200 GW Solar
- Übertragungskapazitäten in Deutschland und Europa
- 380 GW fluktuierende EE
- Flexibilität durch Anpassung des Stromverbrauchs und Speicherung!



# Flexibilitätsoptionen

Welche Optionen der Flexibilität außer Speicher gibt es überhaupt?

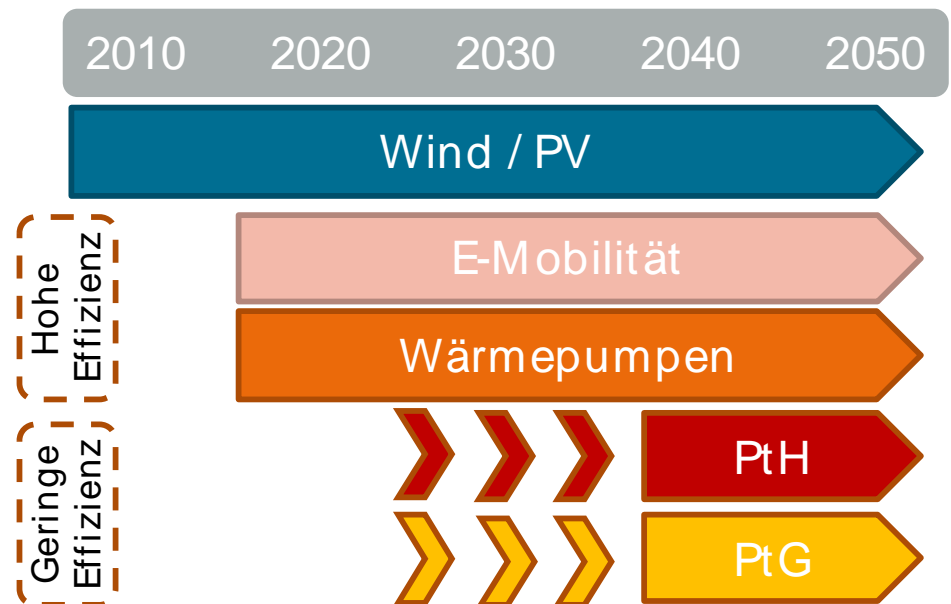
- Stromerzeugung aus Biomasse und letzten konventionellen Kraftwerken

- Elektromobilität

- Wärmepumpen

- Power-to-Heat

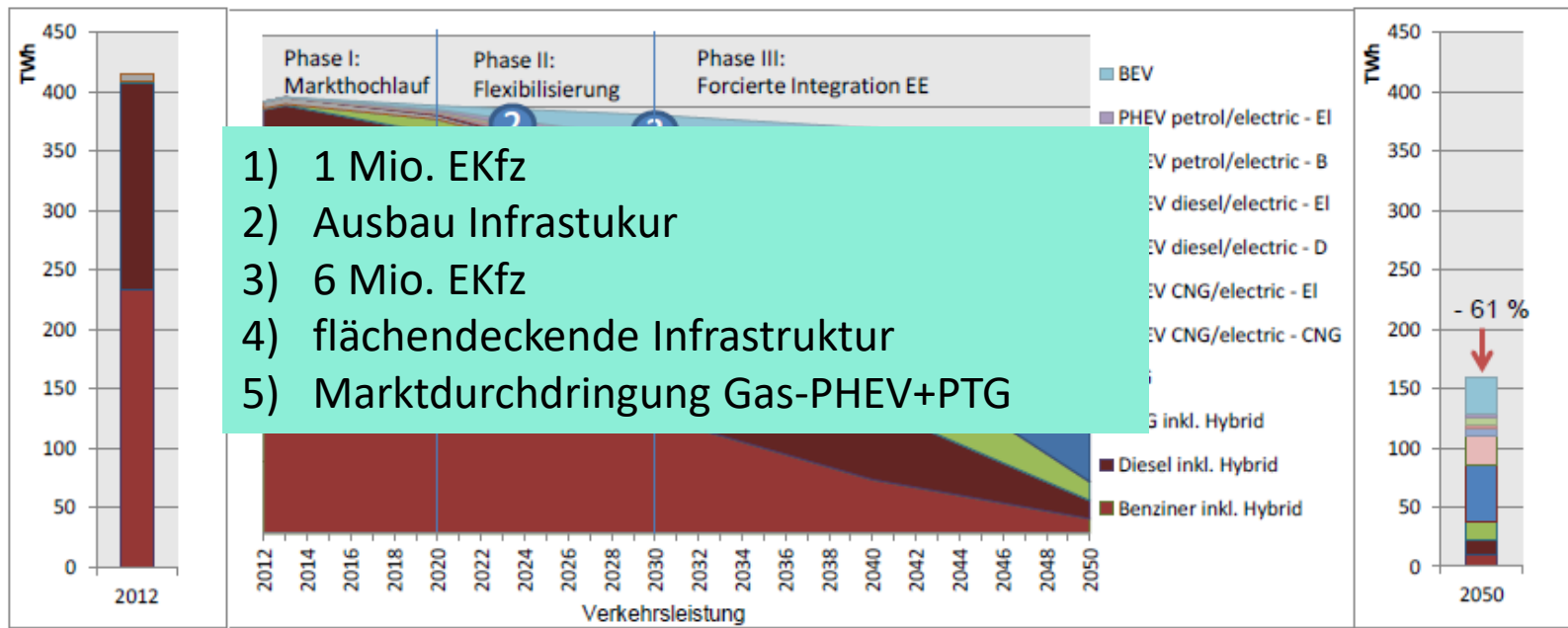
- Power-to-Gas



# Flexibilitätsoption Elektromobilität

## Roadmap

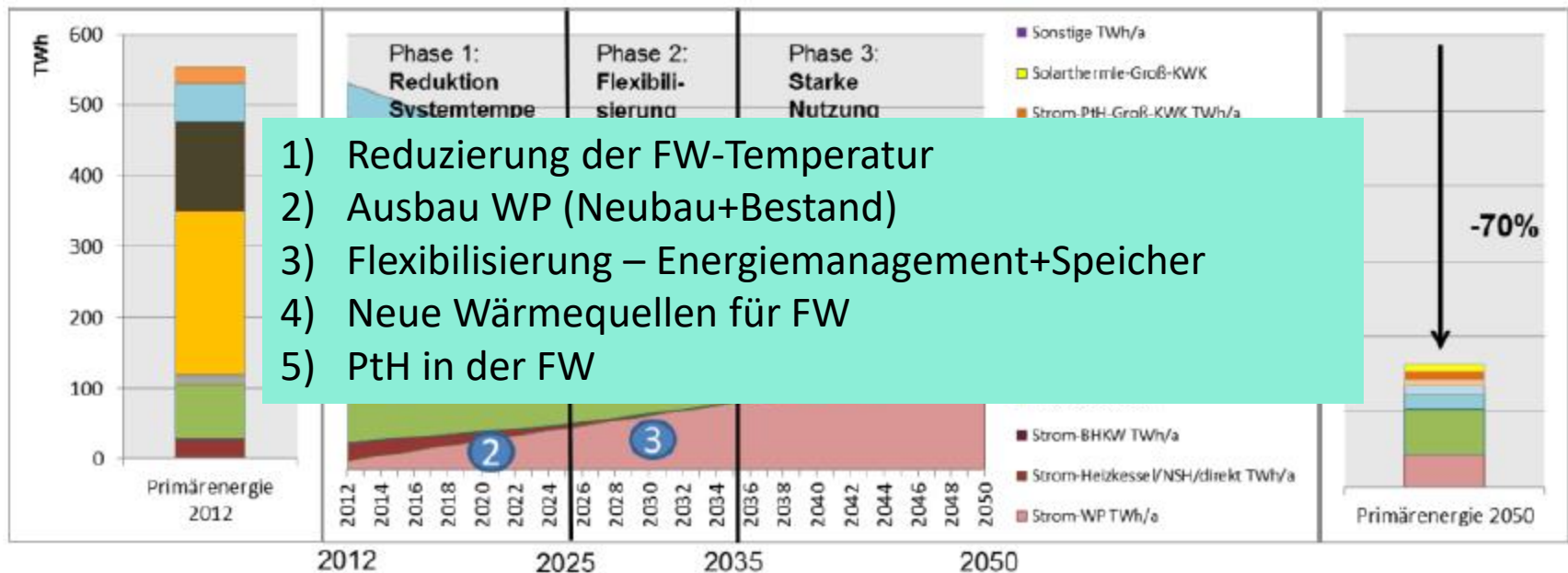
- Motorisierter Individualverkehr (s.u.) kann größtenteils auf Elektroautos, Hybride und Plug-In-Hybride, vor allem mit Gas, umgestellt werden
- Straßengüterverkehr kann teilweise mit Oberleitungs-LKW elektrifiziert werden, es verbleibt aber ein großer Einsatz von Diesel
- Einsparungen von ca. 61%



# Flexibilitätsoption Wärmepumpen und Power-to-Heat

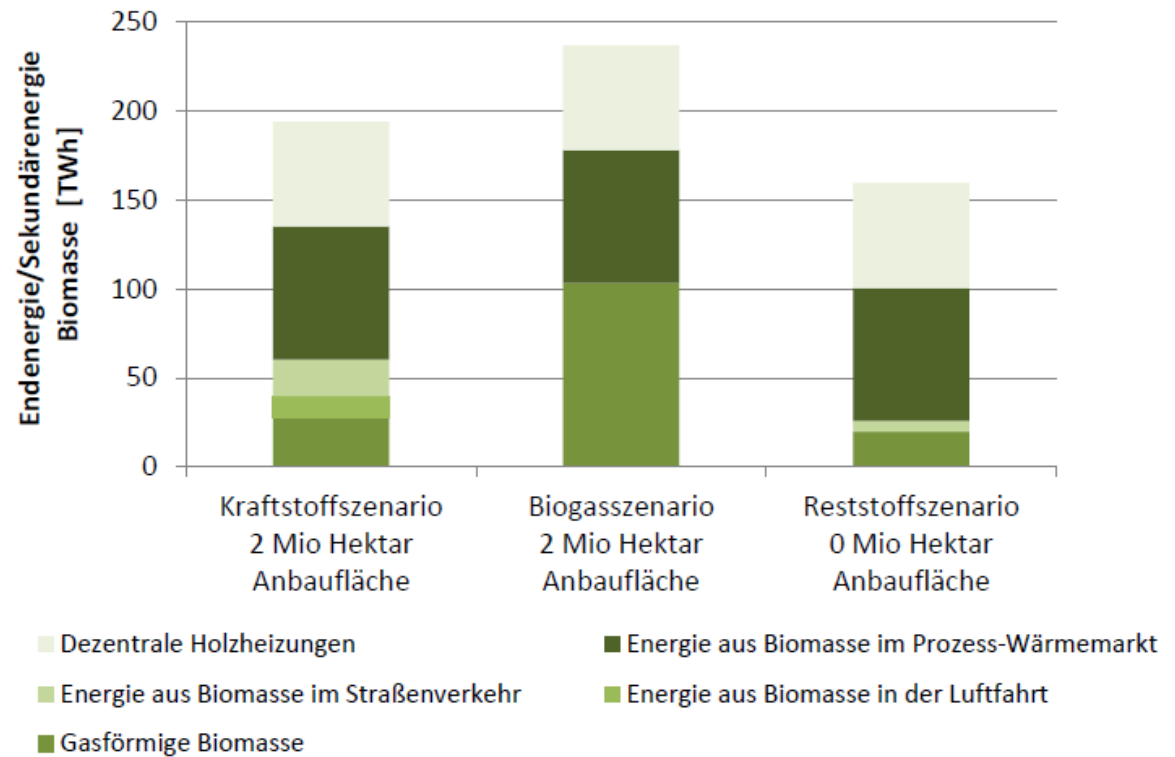
## Roadmap Wohnen

- Gebäude (Wohnen (s.u.) sowie Handel, Gewerbe und Dienstleistung) können überwiegend mit Wärmepumpen und Biomasse beheizt werden
- Power-to-Heat, Gase und große KWK-Kraftwerke werden vor allem für höhere Prozesstemperaturen in der Industrie benötigt
- Einsparungen von ca.70% (Wohnen) bzw. 74% (GhD)



# Flexibilitätsoption Biomasse

- Nutzung biogener Reststoffe für **Heizung** und industrielle **Prozesswärme**, direkte Holz- und Gasfeuerung für Hochtemperaturbereich  $>500^{\circ}\text{C}$
- zusätzlicher Anbau auf 2 Mio.  $\text{m}^2$  (heute)
- Effiziente Nutzung als
  - Kraftstoff oder als
  - Gas möglich
- Kein Zuwachs des Biomasseanbaus zur energetischen Nutzung erwartet





# Flexibilitätsoptionen

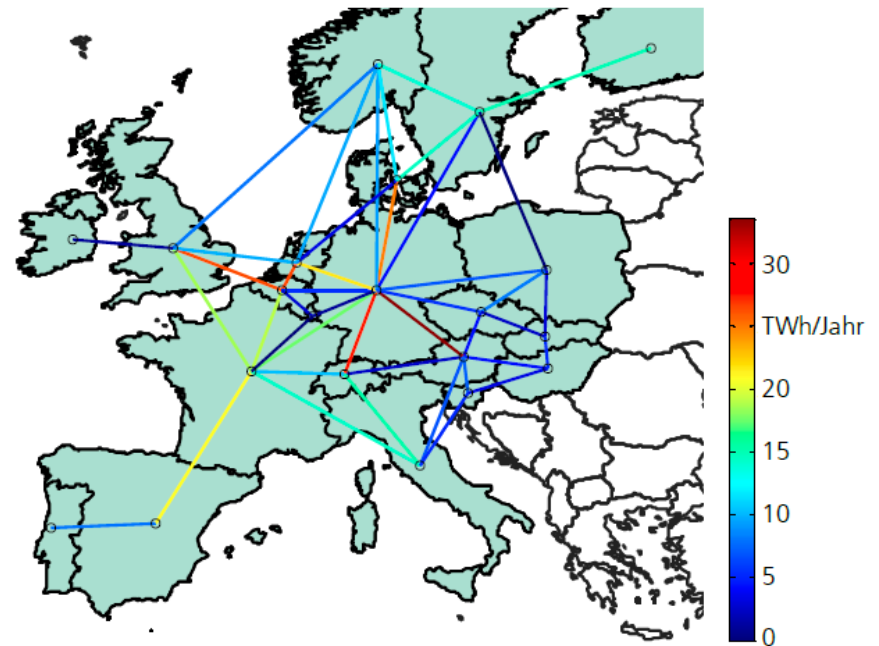
- Hohe Marktdurchdringung bei Verbrauchern und dezentralen Anlagenbetreibern erforderlich
- Hoher technischer Aufwand für Umrüstung der Infrastruktur
- In weiten Teilen nicht wirtschaftlich
- Regulatorische Hemmnisse
- Gravierende und umstrittene Gesetzesänderungen zur Verbesserung der wirtschaftlichen Chancen erforderlich

# Flexibilitätsoption Power-to-Gas

- Elektrolytischer Wasserstoff oder synthetisches Methan können ab ca. 2035 sukzessive Erdgas verdrängen. Erdgas befindet sich im Einsatz für
  - Verkehr: Gas-Plug-In-Hybride
  - Wärme: Hochtemperatur Prozesswärme in der Industrie
- In diesen beiden Bereichen ist ein **chemischer Energieträger aus Power-to-Gas wirtschaftlicher als andere Techniken.**
- Für **die Stromerzeugung** ist Power-to-Gas **weniger wirtschaftlich** als andere Speichertechniken. Langzeitspeicherung wird im Sinne von Strom-zu-Strom wird im europäischen Strommarkt nicht erforderlich.

# Ist der Ausbau des Stromnetzes eine Flexibilitätsoption?

- Stromnetzen ermöglichen einen Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch durch eine großräumige Kopplung.
- Der Ausbau von Grenzkuppelstellen erhöht den Austausch zwischen den Ländern in Europa.
- Studien zum zukünftigen Energiesystem berücksichtigen die langfristige Ausbauplanung der Grenzkuppelstellen oder schaffen sogar „optimale“ Szenarien für EE-und Netzausbau
- Kein Ersatz für Stromspeicher



# Speicherbedarf (Kurzzeit) aus verschiedenen Studien

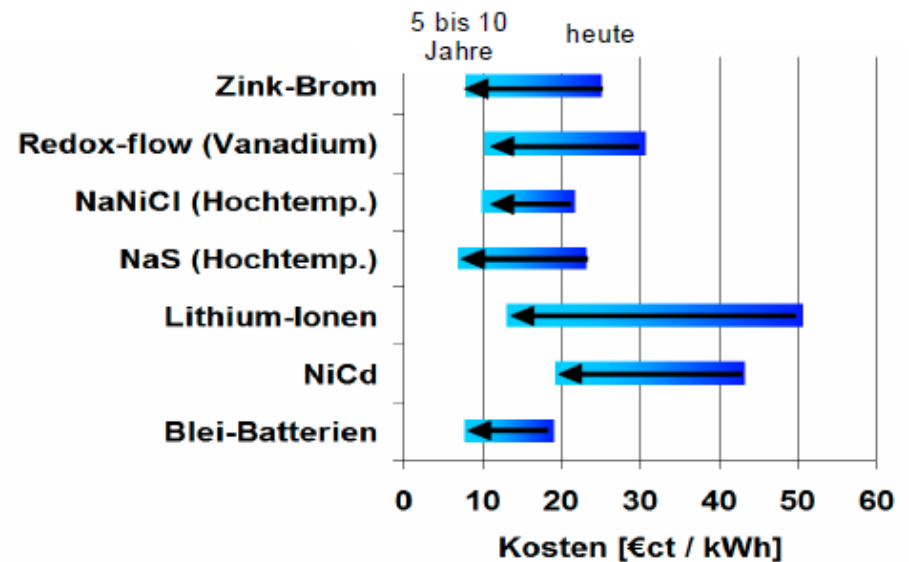
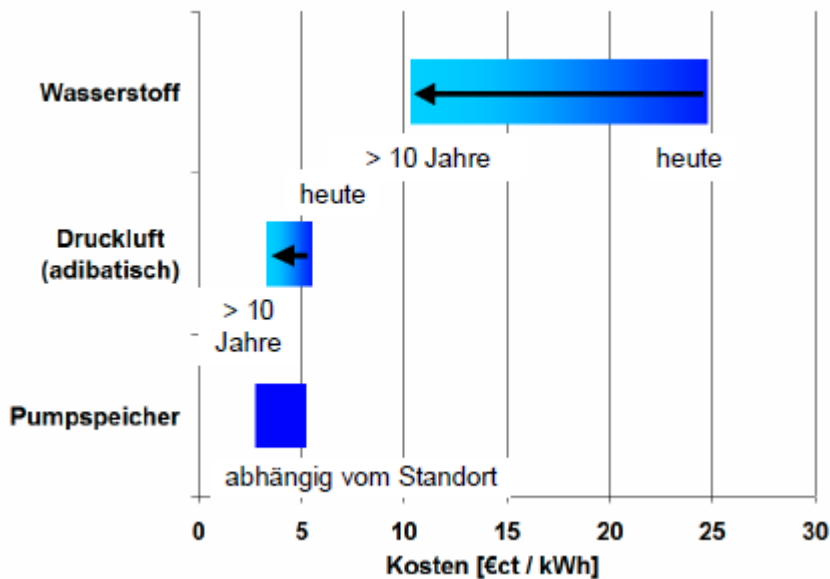
Studie	Ziel	Bedarf Kurzzeitspeicher
Interaktion Strom, Wärme und Verkehr, <b>Fraunhofer IWES et al. 2015.</b>	80% - 95% CO <sub>2</sub> -Red. (Strom/Wärme/ Verkehr)	<b>15 GW (D)</b>
Tangible ways towards climate protection in the European Union (EU Long-term scenarios 2050), <b>Fraunhofer ISI 2011.</b>	95% CO <sub>2</sub> -Red. (Strom)	50 GW (EU)
Wege zur 100% erneuerbaren Stromversorgung, <b>SRU 2011.</b>	100% EE (Strom)	<b>13 - 30 GW (D)</b> 330 - 468 GW (EU)
Roadmap Speicher, <b>Fraunhofer IWES 2014 et al.:</b> Szenario ohne CSP aus Nordafrika	90% EE (Strom)	<b>5,5 - 19 GW (D)</b> 66 - 130 GW (EU)
Large-scale integration of renewable energies and impact on storage demand in a European renewable power system of 2050, <b>RWTH Aachen et al. 2016</b>	100% EE (Strom)	510 GW (EU+)

# Fazit zum Speicherbedarf

- Verschiedene Annahmen, Szenariorahmen und Studienziele führen zu unterschiedlichen Kapazitäten für den kurzfristigen Speicherbedarf.
- Dabei werden zu den Flexibilitätsoptionen sehr positive Annahmen für die Marktreife, Kosten und Marktdurchdringung angenommen.
- Trotz weitestgehender Nutzung all dieser möglichen Flexibilitätsoptionen berechnen die Forschungsinstitute einen erheblichen Speicherbedarf.
- Speicher sind notwendig zur Umsetzung der Energiewende.

# Welche Speicher sind heute energiewirtschaftlich sinnvoll?

- In letzten 10 Jahren Erfolge bei der Entwicklung von Technik und Kosten
- Kostenreduktion bei Batterien, jedoch nicht bei Druckluftspeicher
- Pumpspeicherwerke sind deutlich die kostengünstigste Speichertechnik



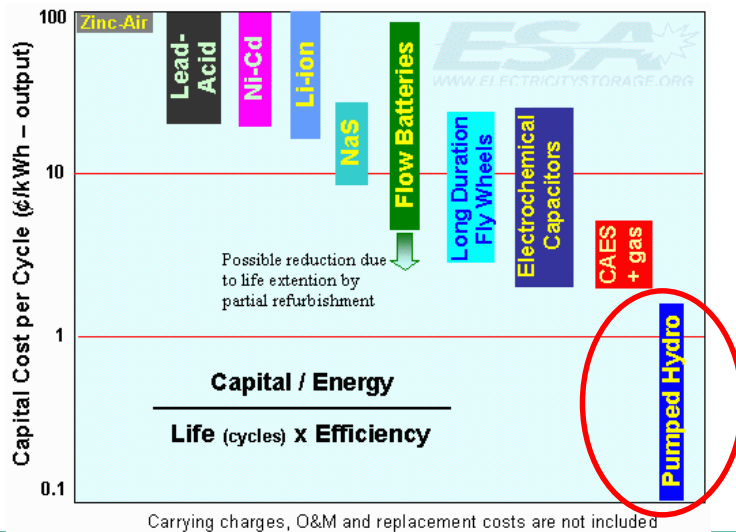
# Welche Speicher sind heute energiewirtschaftlich sinnvoll?

- Auch im internationalen Vergleich sind Pumpspeicherwerke die kostengünstigste Speichertechnologie



Compressed Air	\$192	
Flow Battery	\$290	\$892
Lead-Acid	\$461	\$1,429
Lithium-Ion	\$347	\$739
Pumped Hydro	\$188	\$274
Sodium	\$396	\$1,079
Zinc	\$230	\$376

Lazard: <https://www.lazard.com/media/2391/lazards-levelized-cost-of-storage-analysis-10.pdf>



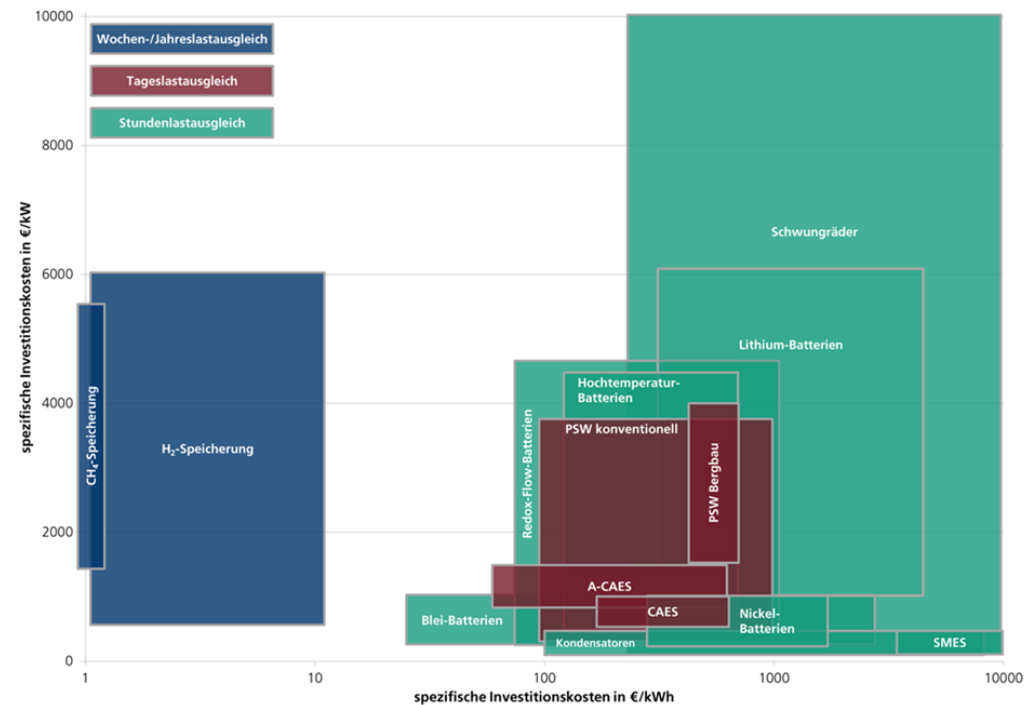
Energy Storage Association:

[http://www.energy-without-carbon.org/sites/default/files/storage%20cycle\\_large.gif](http://www.energy-without-carbon.org/sites/default/files/storage%20cycle_large.gif)

# Warum sind andere Speichertechniken vermeintlich günstiger?

- Investitionskosten insbesondere von Li-Ionen-Batterien deutlich gesunken
- Investitionskosten werden in €/kW und €/kWh der Speicherkapazität verglichen (s. Abb.).

- Entscheidend sind gesamte Kosten pro umgesetzte kWh
  - Lebensdauer hat größten Einfluss auf Kosten
  - Wirkungsgrad wirkt auch auf Kosten
- Daher sind Pumpspeicherwerke kostengünstiger!





# Schlussfolgerung unter energiepolitischer Betrachtung

- Energiepolitik zielt auf
  - sichere
  - wirtschaftliche und
  - umweltverträgliche Energieversorgung.
- Ausbau erneuerbarer Energien erfordert **erhebliche Kapazitäten** zur **Kurzzeitspeicherspeicherung**. Speicher müssen **ab 2035 sicher zur Verfügung** stehen.
- Pumpspeicherwerke müssen zusammen mit anderen Speichertechniken den Speicherbedarf decken. **Prognosen** zur Entwicklung von **alternativen Techniken** und jeweiligen Kosten sind jedoch **nicht sicher**.
- **Pumpspeicherwerke** sind heute die **kostengünstigste Speichertechnik** und müssen ab 2035 zu einer sicheren, wirtschaftlichen und umweltverträglichen Energieversorgung beitragen.