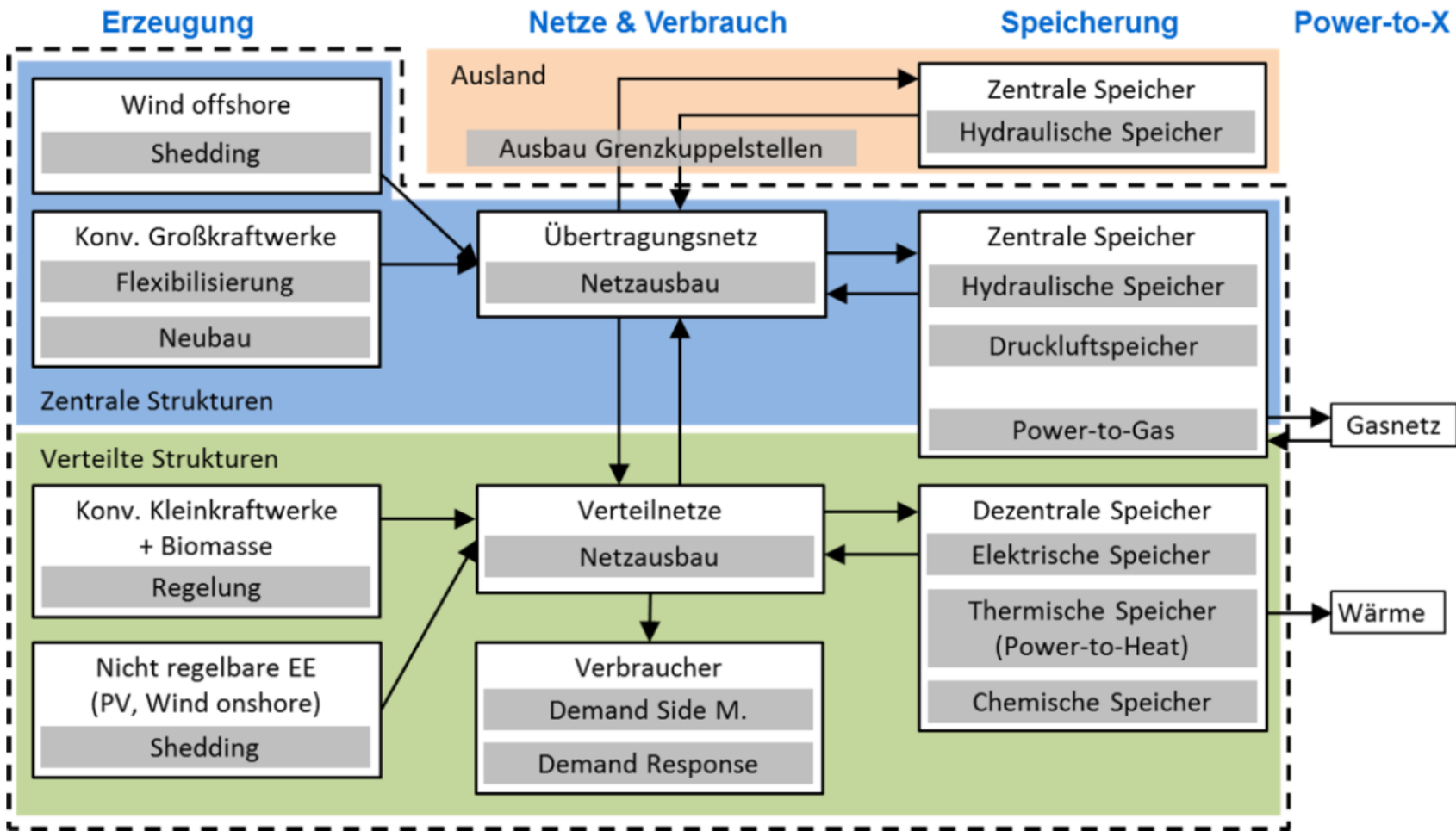


Speichertechnologien – technische und ökonomische Analyse (unter dem Blickwinkel eines Investors)

Universität Bremen
Lehrstuhl für Systemdynamik und Regelungstechnik
Prof. Dr.-Ing. Kai Michels
Otto-Hahn-Allee 1
28359 Bremen

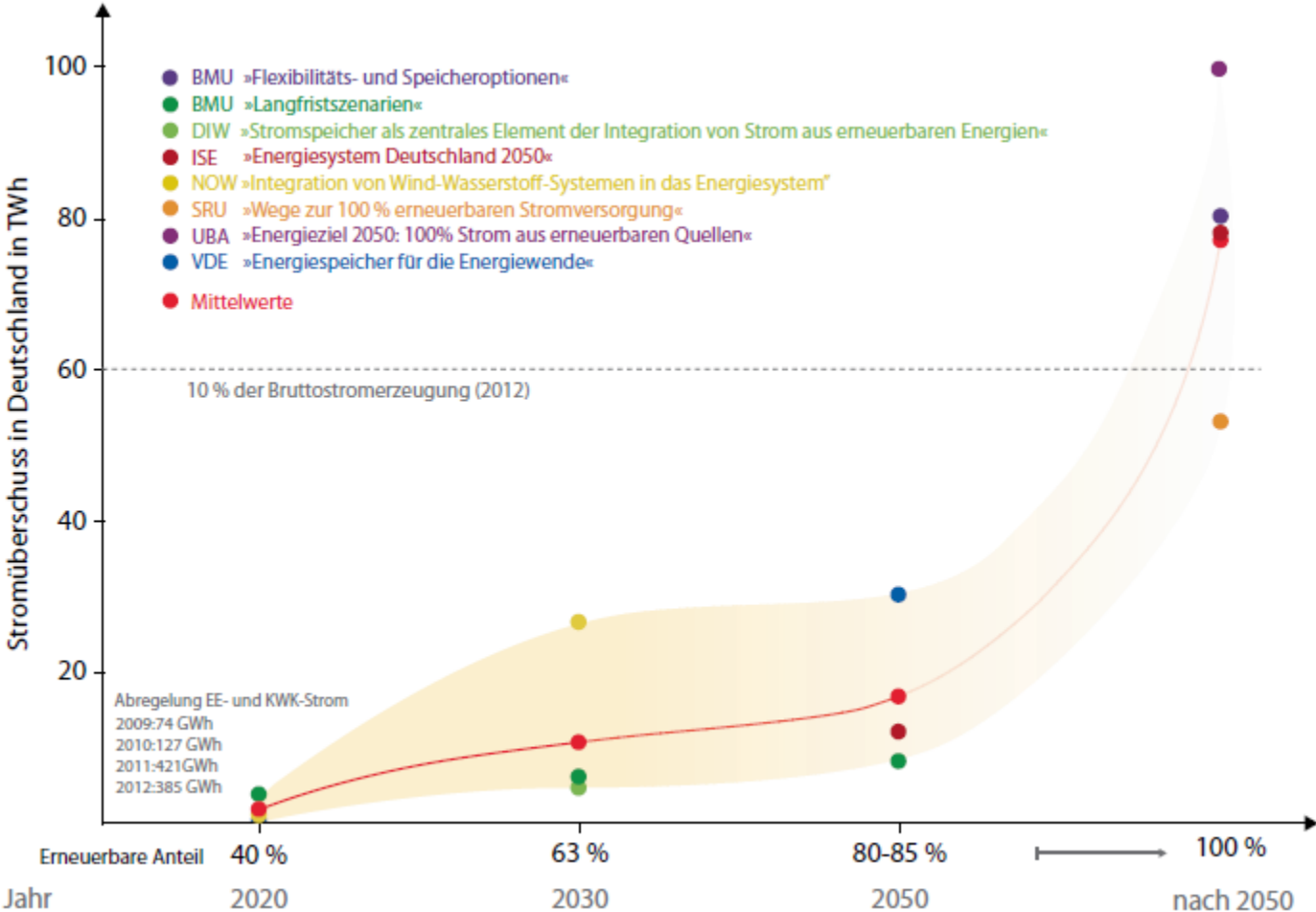
- **Einleitung**
- **Technologien**
- **Rechtliche Aspekte**
- **Regelleistung**
- **Simulation**
- **Kostenvergleich**
- **Fazit**

Optionen in der Energieversorgung



Flexibilisierungs- und Integrationsoptionen im Elektrizitätssystem
 Quelle: (Bothor, S. et al. 2015)

Speicherbedarf in Deutschland



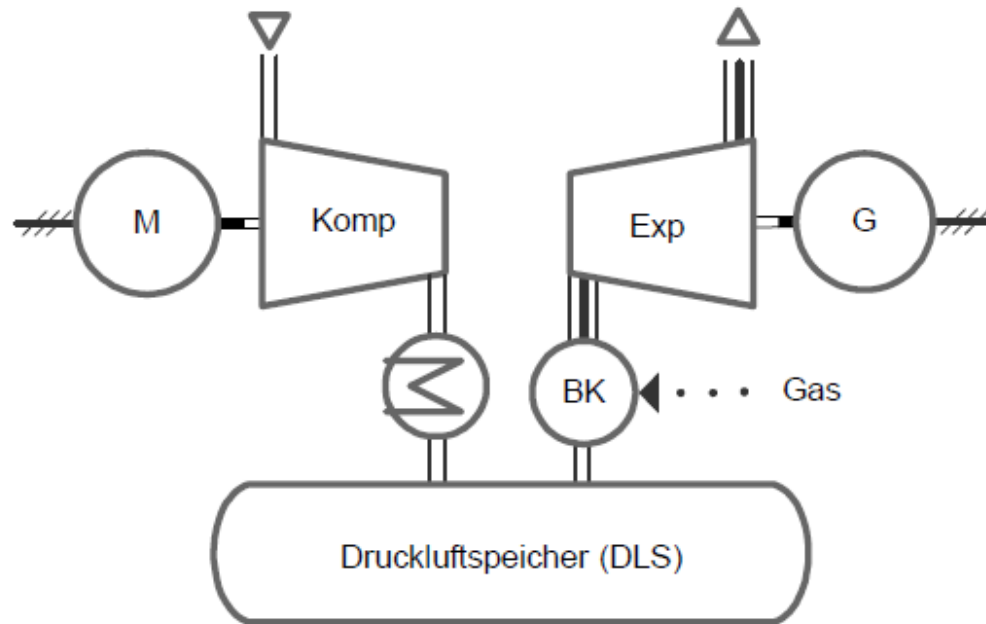
Abschätzung der Stromüberschüsse (Flexibilitäts- und Speicherbedarf) in Deutschland bis 2050;
 Quelle: (Stern und Stadler 2014), S. 114

CAES = Compressed Air Energy Storage

Benötigt werden unterirdische Kavernen. Randbedingungen:

- **Geologische Bedingungen / gebirgsmechanische Sicherheit und technisches Konzept (Gasdruck) müssen zusammenpassen:**
- **Umwelt- und Naturschutzauflagen**
- **Netzanbindung (Leitungen, Kurzschlussleistung von Schaltanlagen)**
- **Anschluss an bestehende Speicheranlagen (vorhandene Stromversorgung / Kompressoren) spart Kosten**

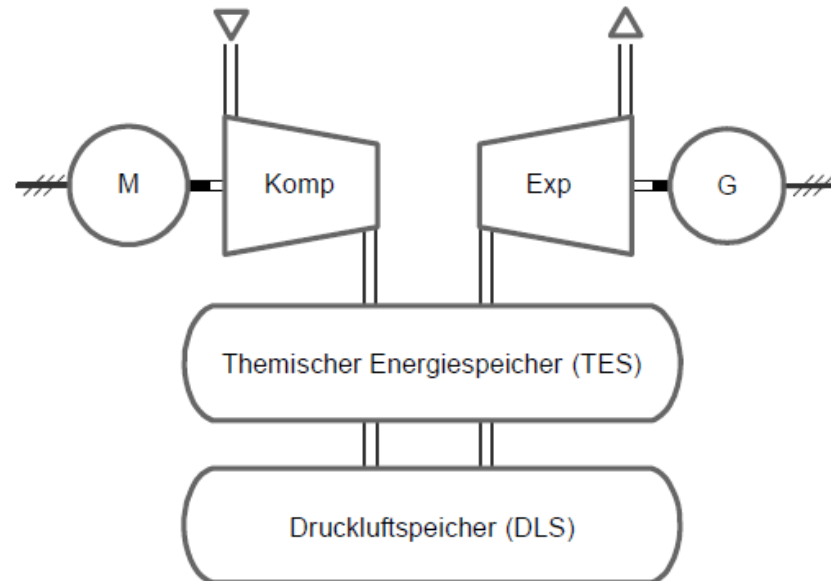
Diabate Druckluftspeicherung



Beispiel: Kraftwerk Huntorf, E.ON, 321 MW, 2 h Vollast, 42% Wirkungsgrad el.

Quelle: Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik 2012

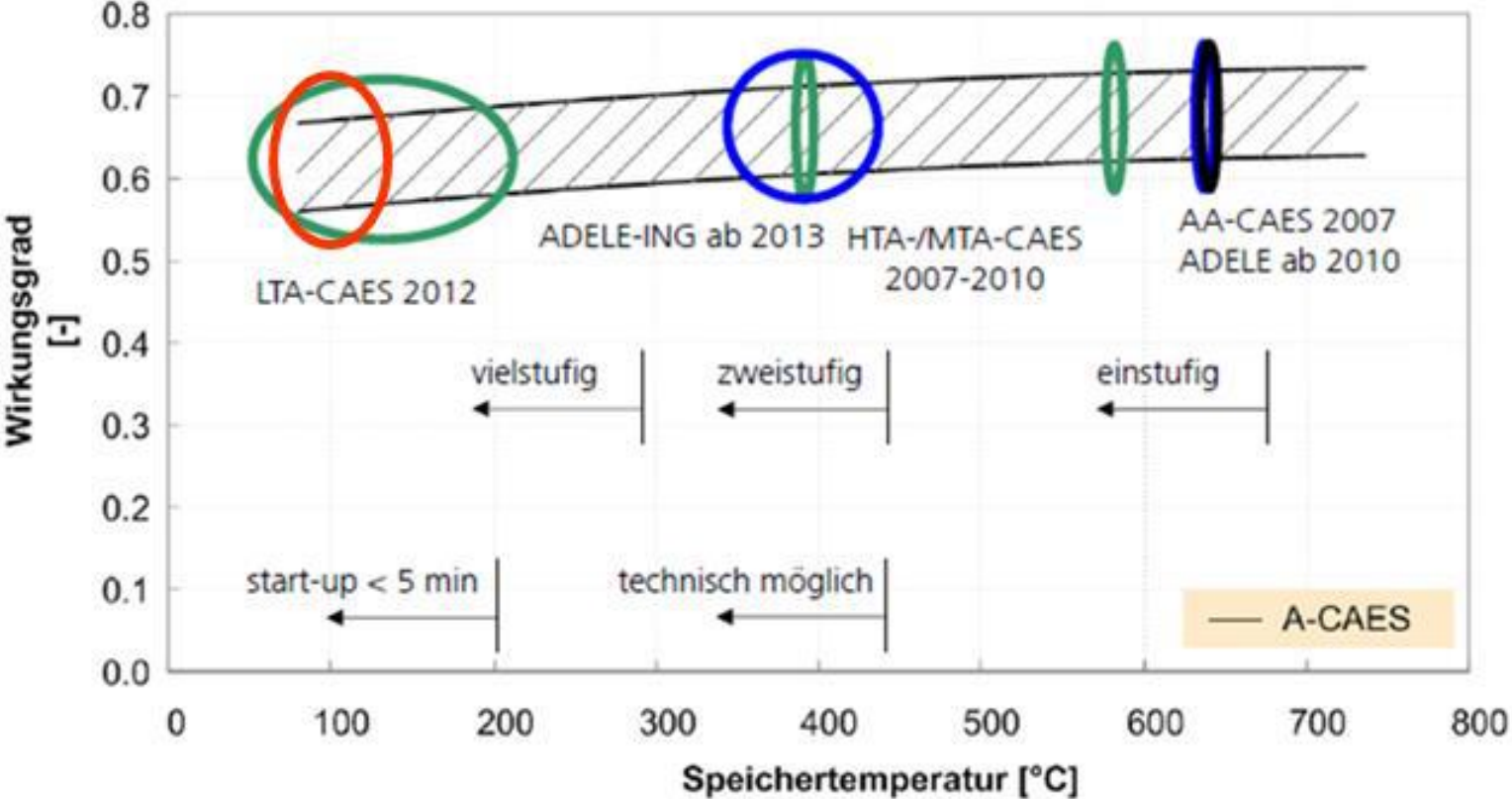
Adiabate Druckluftspeicherung



Bisher kein großtechnischer Einsatz, z.B. Forschungsprojekt ADELE
Zielsetzung: 90 MW Leistung, 360 MWh Speicherkapazität, Wirkungsgrad 70% el.

Quelle: Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik 2012

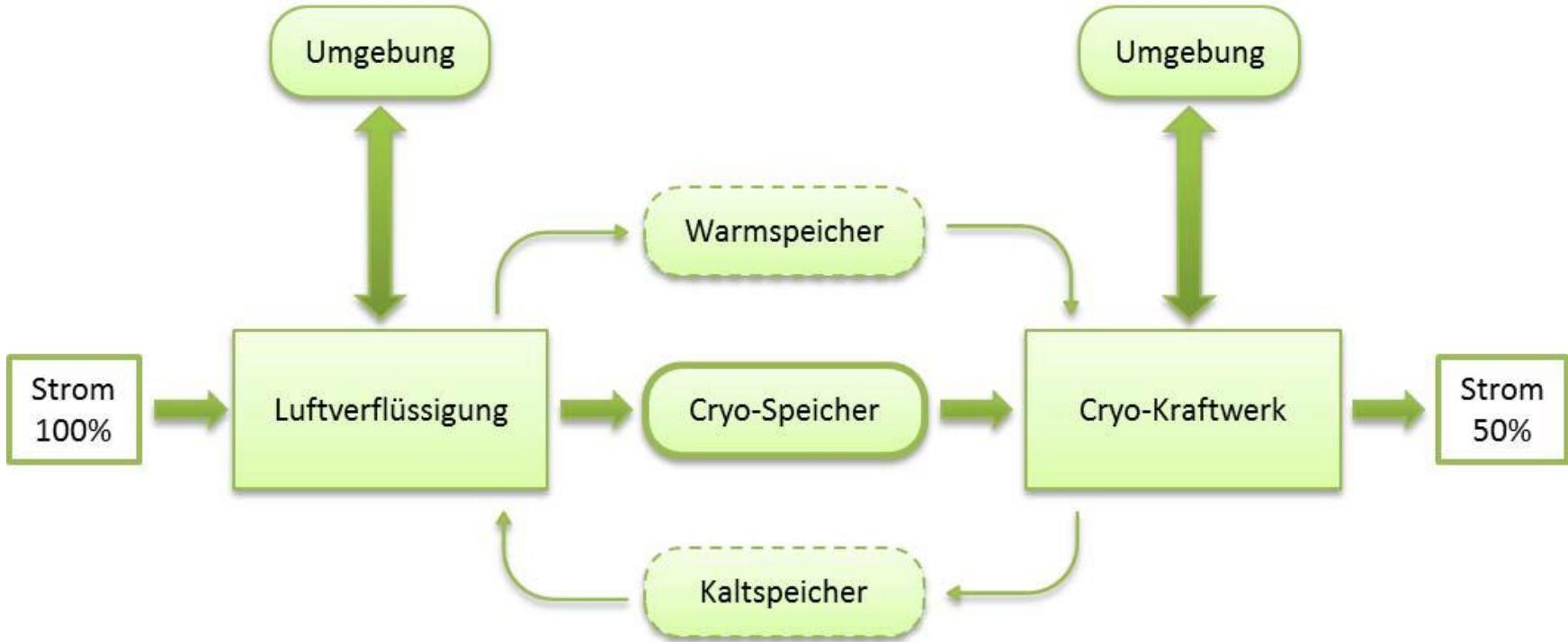
Adiabate Druckluftspeicherung



Kennfelder verschiedener Druckluftspeicher-Konzepte

Quelle: Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT 2013

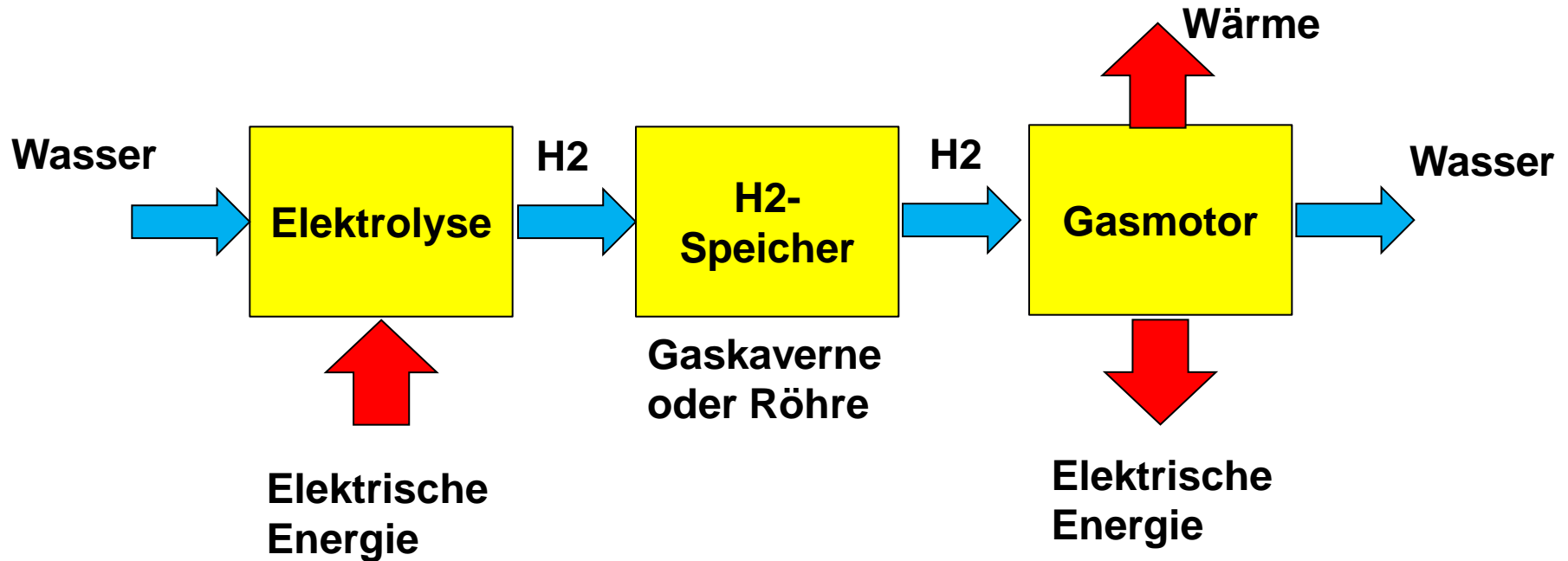
Flüssigluftspeicherung (LAES)



Berechneter Wirkungsgrad mit Standardkomponenten: 30%
Möglicher Wirkungsgrad mit optimierten Komponenten: 50-60%

Quelle: Valuepacer GmbH, 2016

Wasserstoffspeicherung (PtG)



Größte jemals gebaute Anlage am Assuan-Staudamm: 156 MW el.

Wirkungsgrade: Elektrolyse: bis 65%

Gasmotor: bis zu 45% el. + 45% th.

Gesamtwirkungsgrad el. 29%

Elektrochemische Speicher

Blei-Säure-Batterien:

50€/kWh (konstant), Wirkungsgrad 85% DC-DC, Lebensdauer < 3.000 Zyklen, erprobter Recycling-Kreislauf

Lithium-Ionen-Batterien:

200€/kWh (fallend), Wirkungsgrad 95% DC-DC, Lebensdauer < 5.000 Zyklen, hohe Energiedichte

Hochtemperaturbatterien (NaS oder NaNiCl),

250€/kWh, Wirkungsgrad 92% DC-DC, Lebensdauer < 4.500 Zyklen, 350 Grad C Betriebstemperatur, bis zu 20%/Tag Entladeverluste bei schlechter Isolierung, hohe Energiedichte

Redox-Flow-Batterien:

1.000 €/kWh (fallend), Wirkungsgrad 90% DC-DC, Lebensdauer bis 20 Jahre, keine Alterung durch Be- und Entladen, vollständiges Entladen möglich, Kapazität skalierbar (Elektrolyt-Tankgröße)

Atypische Netznutzung:

NEV § 19 Abs. 2 Satz 1 : „Ist auf Grund vorliegender oder prognostizierter Verbrauchsdaten oder auf Grund technischer oder vertraglicher Gegebenheiten offensichtlich, dass der Höchstlastbeitrag eines Letztverbrauchers vorhersehbar erheblich von der zeitgleichen Jahreshöchstlast aller Entnahmen aus dieser Netz- oder Umspannebene abweicht, so haben Betreiber von Elektrizitätsversorgungsnetzen diesem Letztverbraucher ... ein individuelles Netzentgelt anzubieten, das dem besonderen Nutzungsverhalten des Netzkunden angemessen Rechnung zu tragen hat und nicht weniger als 20 Prozent des veröffentlichten Netzentgeltes betragen darf.“

Befreiung von Speichern von Netzentgelten:

**Für Rückspeisung elektrischer Energie keine Netzentgelte
(StromNEV §15 Abs. 1)**

Strombezug (EnWG §118 Abs. 6):

Neue Stromspeicher sind für 20 Jahre netzentgeltbefreit bei

- Inbetriebnahme zwischen 08/2011 – 08/2026
- tatsächliche elektrische, chemische, mechanische oder physikalische Speicherung
- Rückspeisung in dasselbe Netz (außer PtG)

Power-to-Gas (Herstellung von Wasserstoff bzw. Methan):

Die Anlagen sind für 20 Jahre befreit von Netzentgelten Strom und Gas.

Befreiung von Speichern von der EEG-Umlage (§60 Abs. 3)

- bei Stromlieferung an Speicher (elektrisch, chemisch, mechanisch oder physikalisch) mit Zweck Zwischenspeicherung
- ausschließlich zur Wiedereinspeisung von Strom in das Netz bzw.
- bei Erzeugung von Speichergas, das in das Erdgasnetz eingespeist wird, mit anschließender Rückverstromung und Einspeisung in das Stromnetz

Keine Befreiung von der EEG-Umlage, wenn gespeicherte Energie Stromsystem verlässt, z.B. bei Nutzung für Wärme oder Mobilität

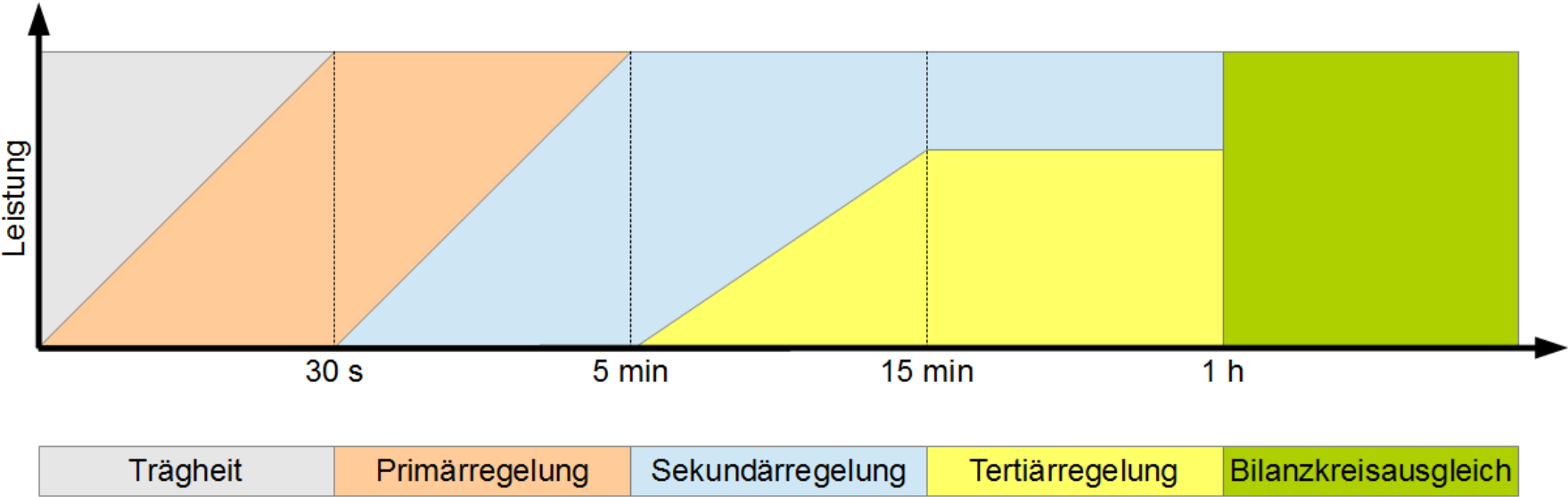
Aus: Dr. Ralf Sitte, BMWi: Speicher in der Energiewende

Befreiung von Stromsteuer (StromStG §9 Abs. 1):

- **Bei Stromentnahme zur Stromerzeugung**
 - **beschränkt auf Pumpspeicher + Batterien (StromStV §12)**
- **Für andere Speicher entfällt Stromsteuer bei**
 - **Speisung ausschließlich mit EE-Strom**
 - **Anlagen bis 2 MW bei Eigenverbrauch bzw. Letztverbraucher in räumlichem Zusammenhang**
 - **Notstromanlagen**
 - **Wasserelektrolyse: auf Antrag für versteuerten Strom für Produzierendes Gewerbe (StromStG §9a Abs. 1)**

Aus: Dr. Ralf Sitte, BMWi: Speicher in der Energiewende

Regelleistung

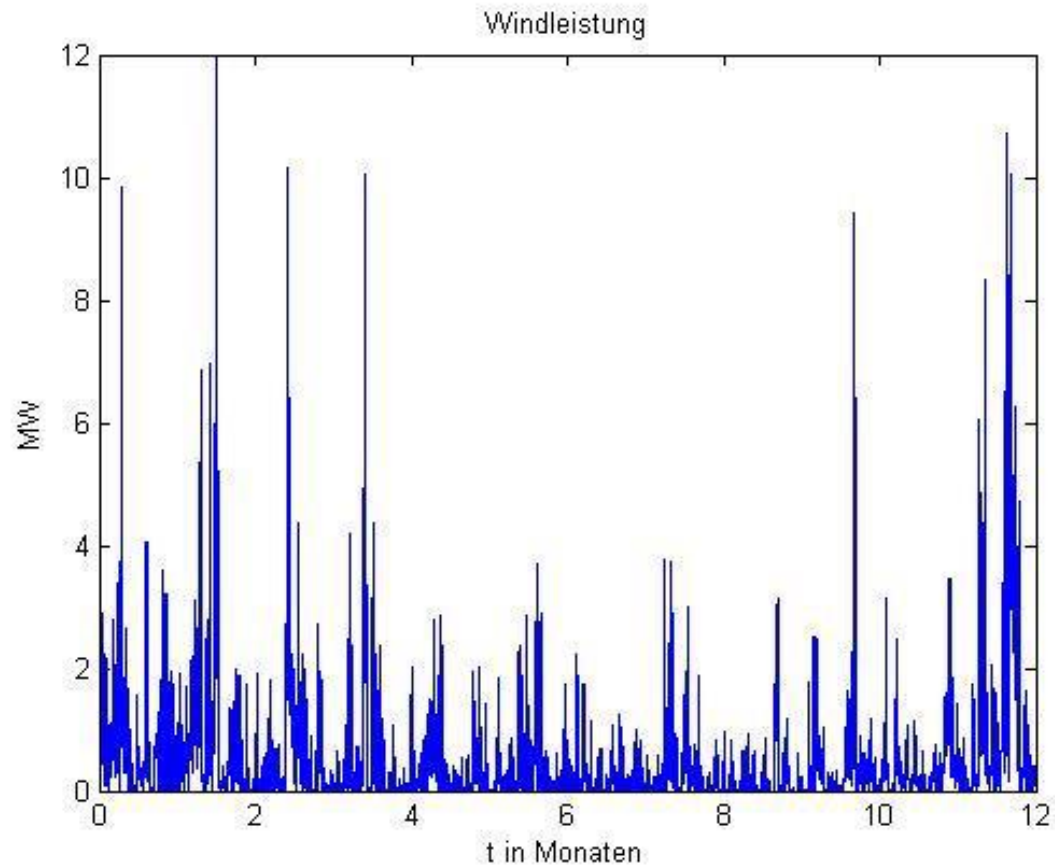


Regelleistung (aus Wikipedia)

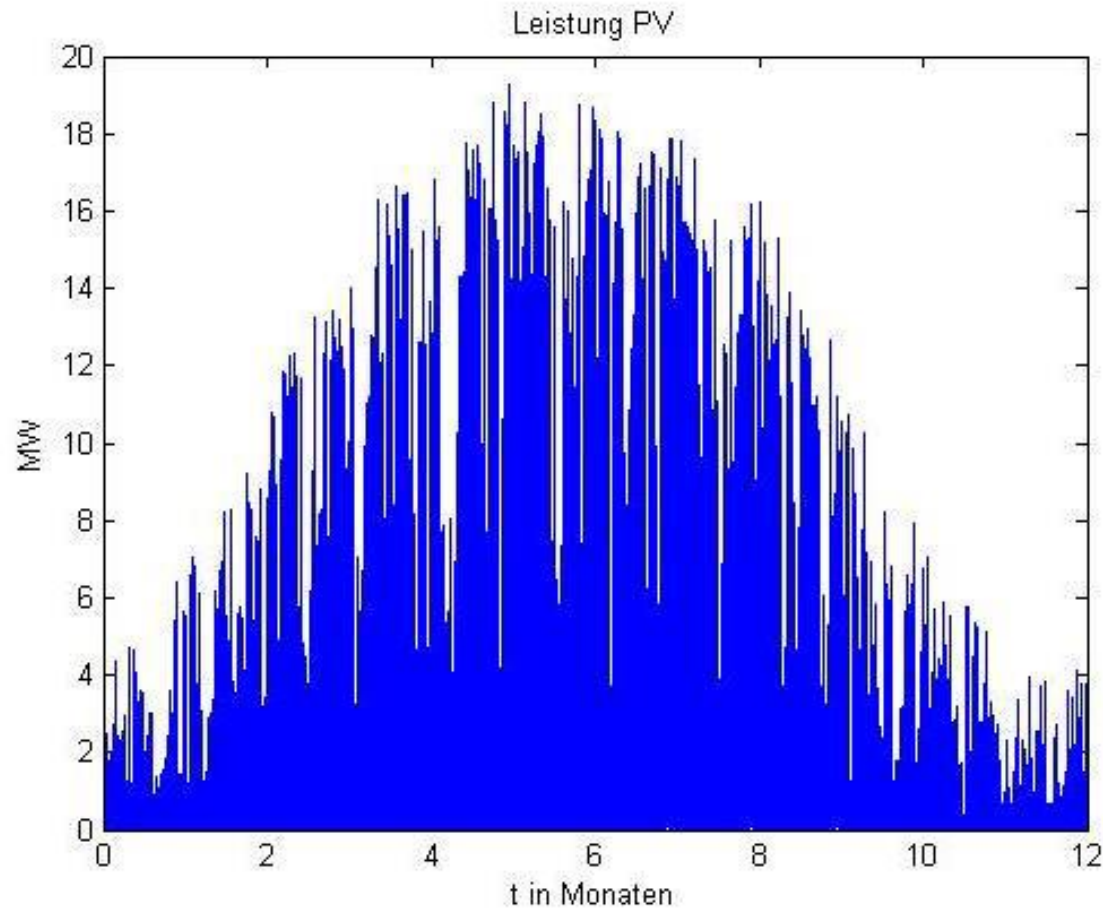
Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen von Energiespeichern basieren üblicherweise auf Annahmen über Ladezyklen, Bezugspreise, Verkaufspreise, usw.

Genauere Ergebnisse durch Simulation anhand VORHANDENER Daten (z.B. der letzten 12 Monate), basierend auf:

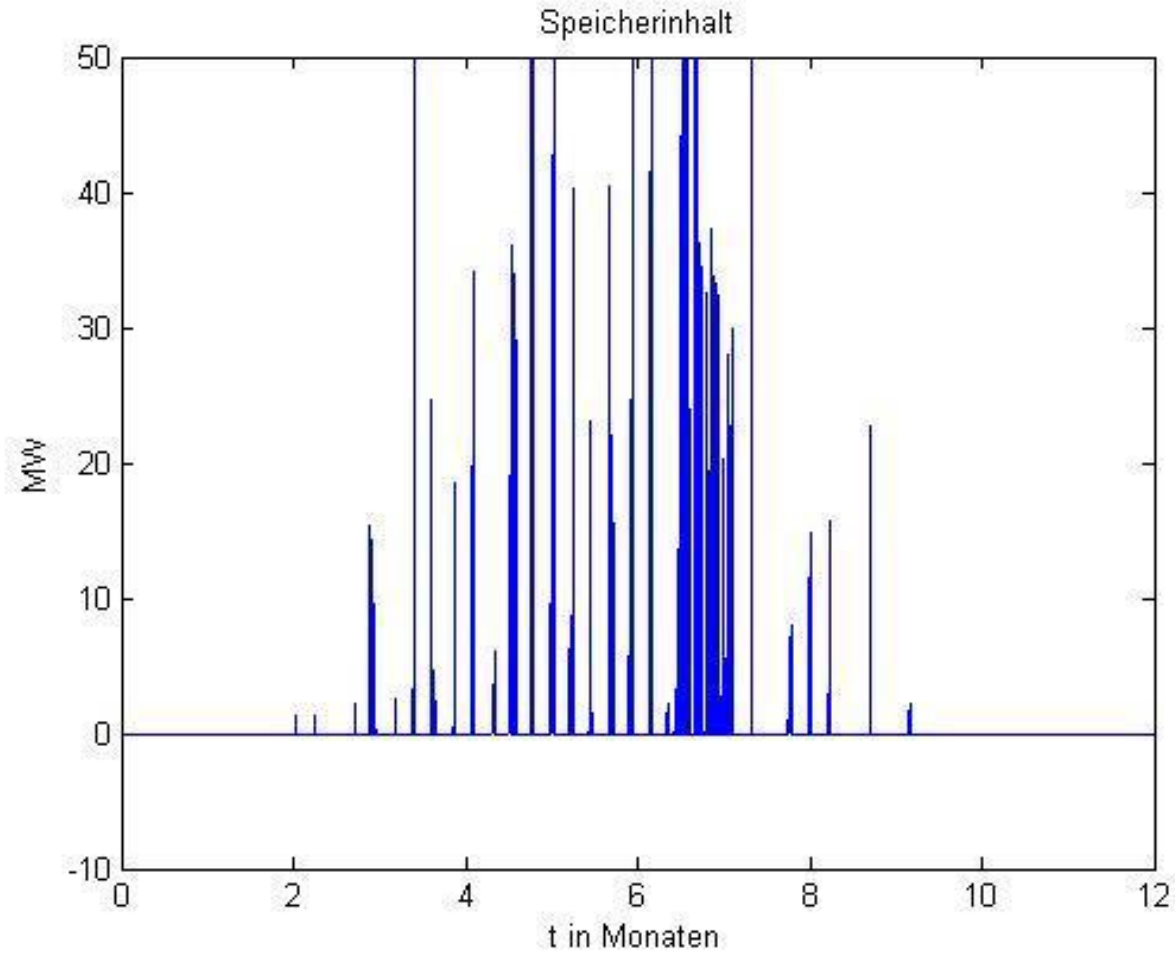
- **Realen Lastverläufen**
- **Realen Wetterdaten (Sonne, Wind)**
- **Realen Daten vom Strommarkt**
- **Realer Be- und Entladestrategie (kann in Simulation optimiert werden)**



Auf dem Werksgelände erzeugte, zukünftige Windleistung



Auf dem Werksgelände erzeugte, zukünftige Solarleistung



**Ladezustand des Speichers unter bestimmten
Größenannahmen und bei einer bestimmten Ladestrategie**

Kostenvergleich

	Batterie Blei	Druckluft Kaverne	Wasserstoff Kaverne	Wasserstoff Röhre	LAES
Hard Facts					
P_ein / MW	3,60	18,20	18,20	18,20	3,60
P_aus / MW	3,60	39,00	39,00	39,00	3,60
Effizienz el.	0,85	0,3 - 0,65	0,28	0,28	0,3 - 0,5
Kapazität / MWh el.	200,00	624,00	15.912,00	624,00	200,00
Investition / Mio €	28,00	60,00**	90,00	103,00	14,00
Fixkosten / Mio € pro Jahr	0,00	1,80	1,40	2,20	0,80
Variable Kosten / € pro MWh	0,00	0,00	6,93	6,93	0,80
Lebensdauer / Jahre	10	30	20	20	30
volle Leistung in <5 min	ja	nein	ja	ja	ja
Soft Facts					
Technologie verfügbar	ja	teilweise	teilweise	teilweise	teilweise
Skalierbarkeit	ja	nein	ja	ja	ja
Umweltverträglichkeit	nein	ja	ja	ja	ja
Ortsunabhängigkeit	ja	nein	nein	ja	ja
Inhärente Sicherheit	ja	ja	nein	nein	ja

** sehr grobe Schätzung

- **Reiner Speicherbetrieb als Energiehändler ist bis auf Weiteres ein Zuschussgeschäft**
- **Zusatznutzen wichtig: Versorgungssicherheit, Marketing, atypische Netznutzung, Unabhängigkeit, Schonung von Erzeugungsanlagen, USV**
- **Zusatznutzen hat Auswirkung auf Technologie (z.B. Speicherleistung, Speichervolumen, Speicherort)**
- **Zusatzeinnahmen bei Teilnahme am Regelleistungsmarkt: Mittlerer Leistungspreis, hoher Arbeitspreis für pos. RL, geringer Arbeitspreis für neg. RL**