Druckluftspeicherkraftwerke -
Bewertung und Charakterisierung von netzintegrierten druckluftbasierten Energiespeicherkonzepten

VDI Wissensforum

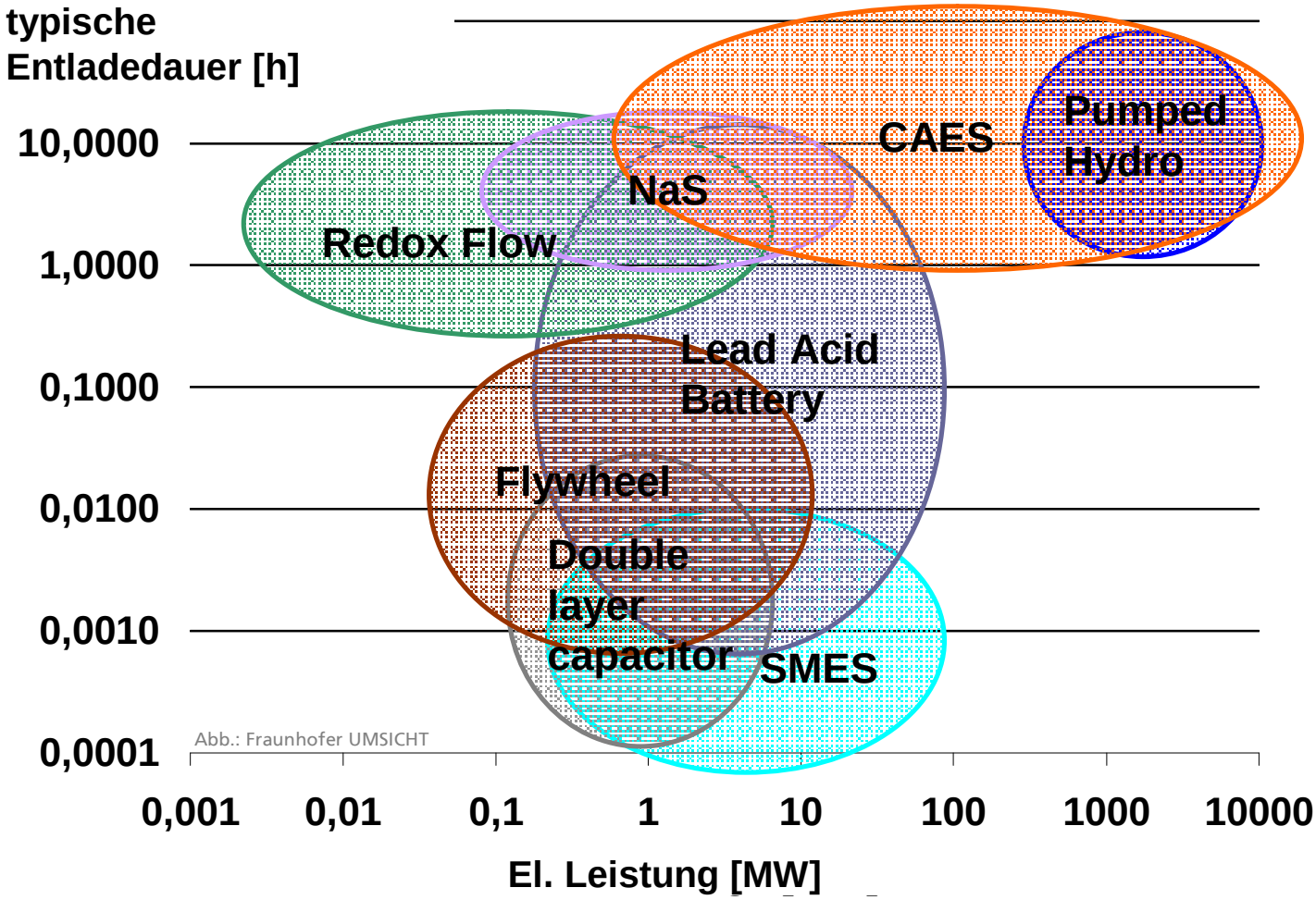
Elektrische Energiespeicher -
Schlüsseltechnologie für energieeffiziente Anwendungen
Session: Speichertechniken II
Fulda, 25.03.2009

Daniel Wolf, Christian Dötsch

IUSE

Fraunhofer Institut
Umwelt-, Sicherheits-,
Energietechnik UMSICHT

Übersicht der Anwendungsbereiche



- Lastverschiebung
- Integration flukt. Erneuerbarer Energien
- Stromhandel
- Lastspitzenglättung
- Schwarzstartfähigkeit
- Inselnetz

- Netzdienstleistungen
- USV

- Flicker Kompensierung
- Spannungshaltung

Fraunhofer IUSE Institut
Umwelt-, Sicherheits-,
Energietechnik UMSICHT

Weltweit installierte und geplante CAES

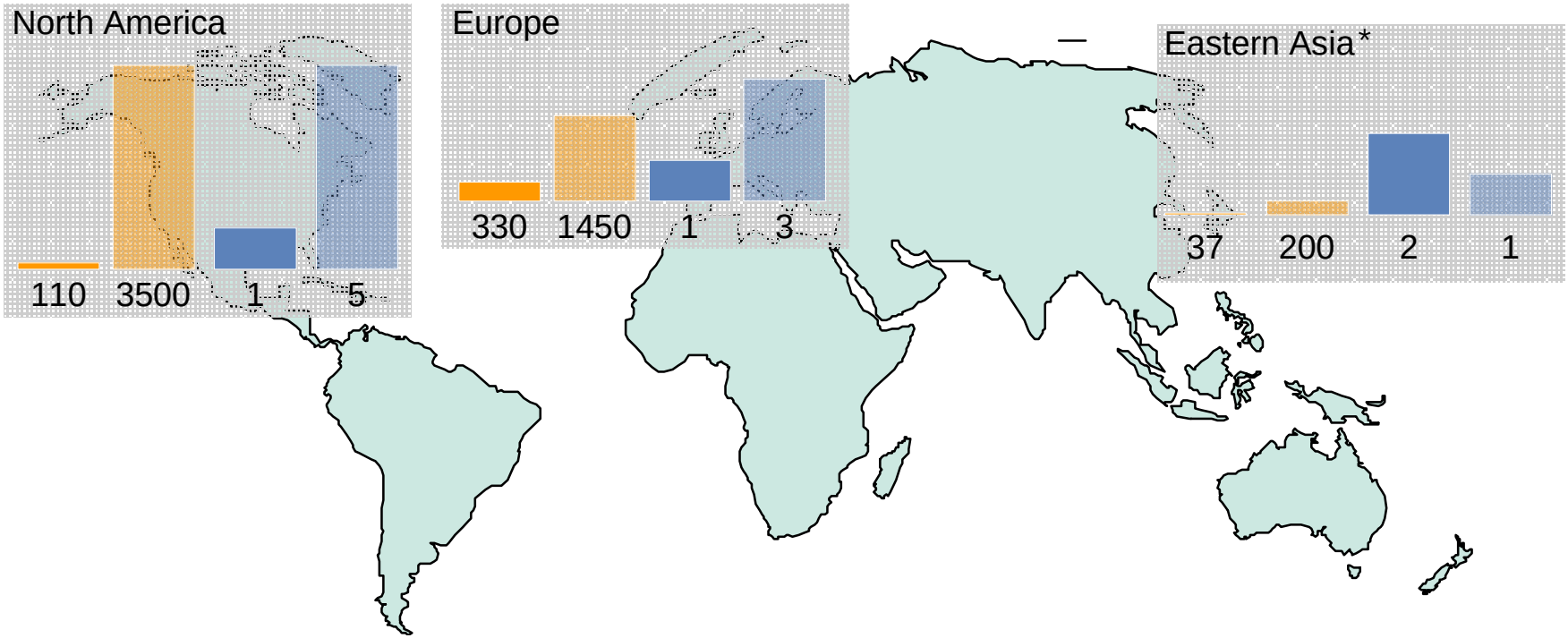


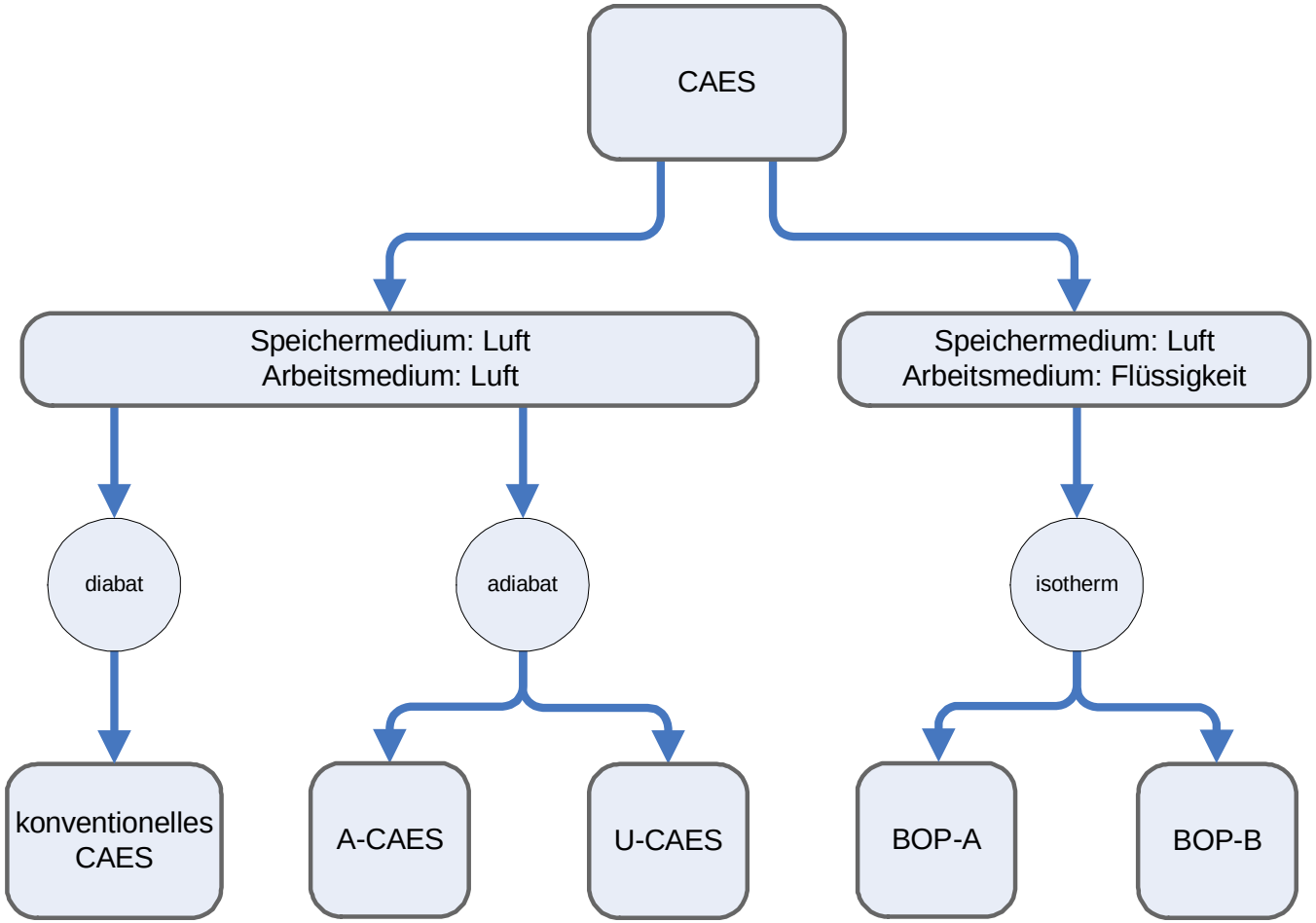
Abb.: Fraunhofer UMSICHT

* Japan, China, Korea, Taiwan

Fraunhofer IUSE Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT

Klassifizierung von Druckluftspeicherkonzepten

Klassifizierung von Druckluftspeicherkonzepten



Fraunhofer IUSE Institut
Umwelt-, Sicherheits-,
Energietechnik UMSICHT

Diabate CAES

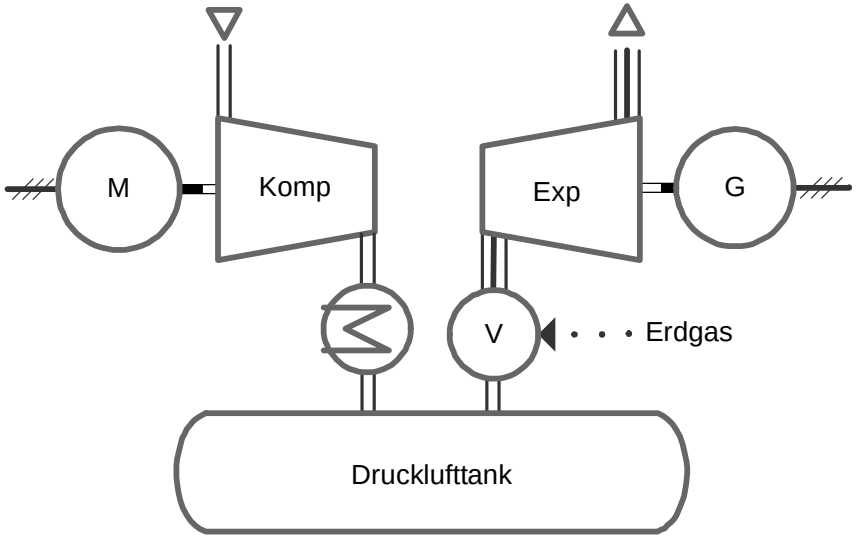
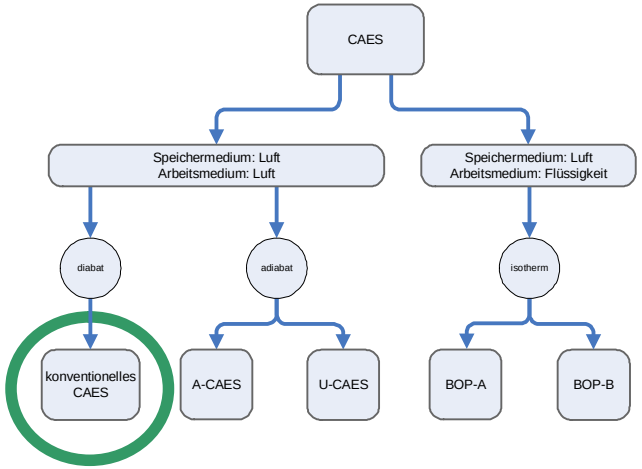


Abb.: Fraunhofer UMSICHT



Vorzüge

+ großer Regelbereich der Ausgangsleistung (>30%P_N)
+ Rel. niedrige spez. Investitionskosten
+ Keine Standzeitverluste
+ Bereits praxiserprobt

Nachteile

- Niedriger Zykluswirkungsgrad >0,55
- Zufeuerung von Erdgas notwendig
- Kein echter “Stromspeicher”

Fraunhofer IUSE Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT

Adiabate CAES

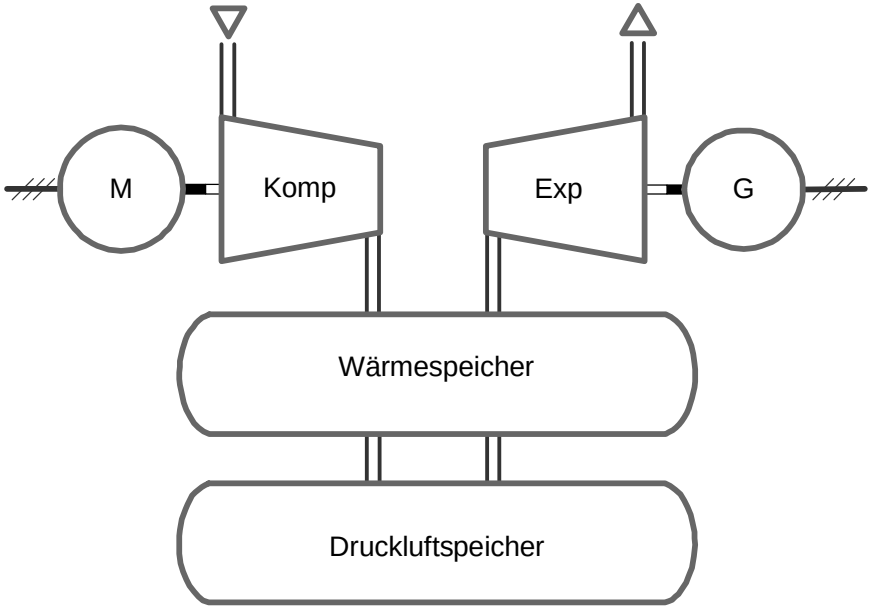
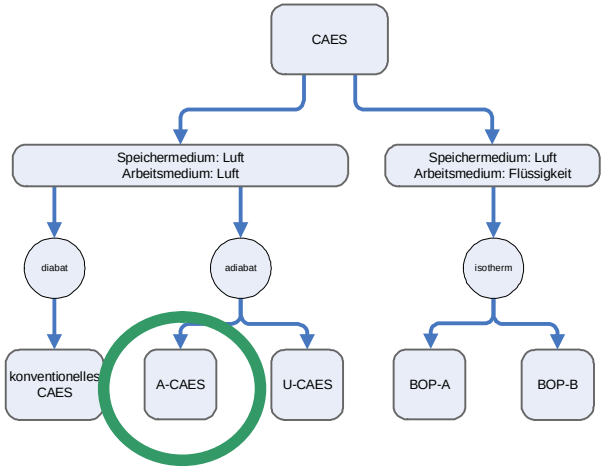


Abb.: Fraunhofer UMSICHT



Vorzüge

+ Keine Emissionen im Betrieb
+ Relativ hoher Zykluswirkungsgrad (~0,7)
+ Keine Abhängigkeit von volatilen Brennstoffpreisen

Nachteile

- Geringerer Regelbereich der Ausgangsleistung (>50%P_N)
- Höhere speicherspez. Investitionskosten
- Standzeitverluste (1-3%/d)

Fraunhofer IUSE Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT

Ungekühlte adiabate CAES

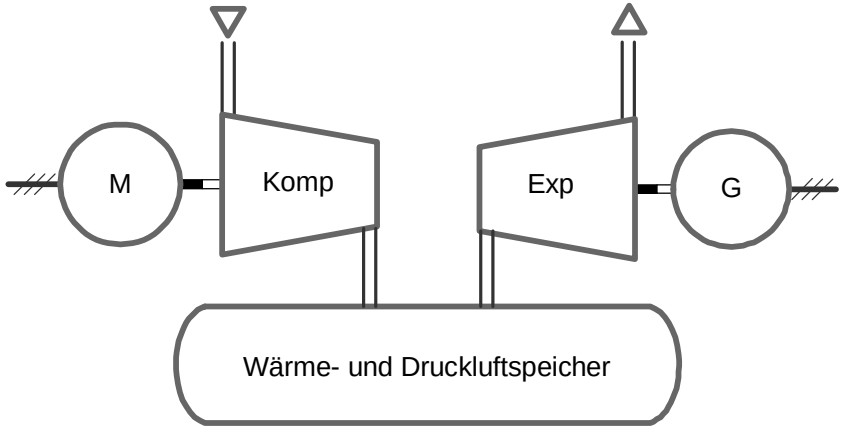
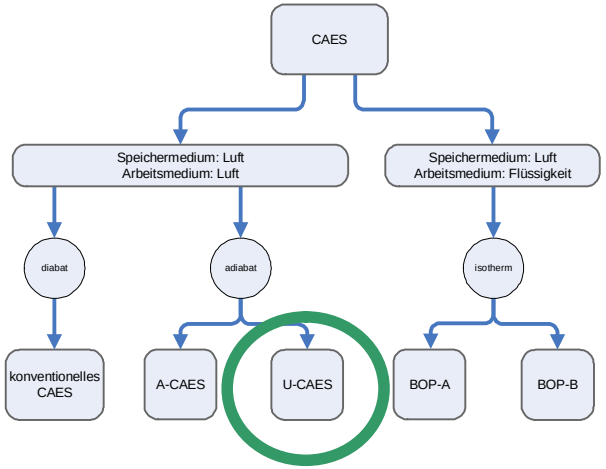


Abb.: Fraunhofer UMSICHT



Vorzüge

+ Keine Emissionen im Betrieb
+ Keine Abhängigkeit von volatilen Brennstoffpreisen

Nachteile

- Großtechnisch schwer zu realisieren
- Merkliche Standzeitverluste
- Sicherheitstechnisch bedenklich

Fraunhofer IUSE Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT

Hydropneumatische CAES – BOP A

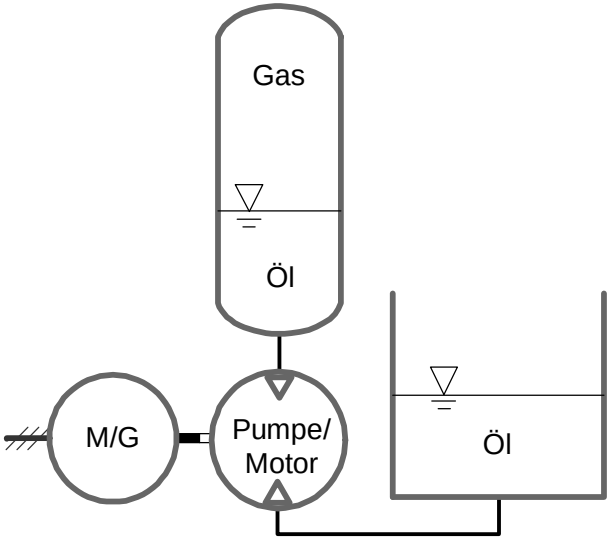
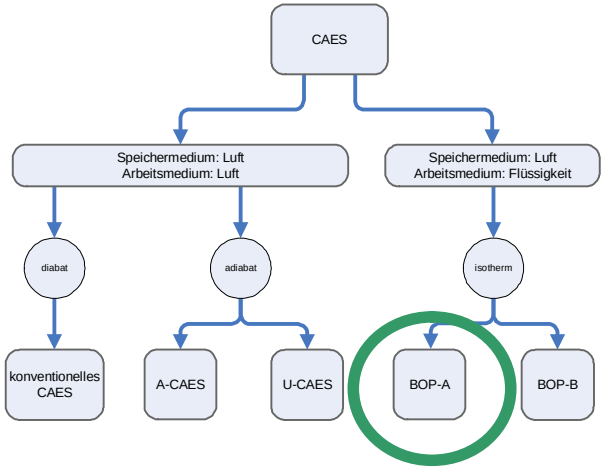


Abb.: Fraunhofer UMSICHT



Vorzüge

+ Keine Emissionen im Betrieb
+ Kein Brennstoffeinsatz
+ Geräuscharm
+ Frei skalierbar

Nachteile

- Geringe Speicherdichte (<3Wh/l)
- Ausgleichsbehälter notwendig
- Hohe speicherspez. Investitionskosten

Fraunhofer IUSE Institut
Umwelt-, Sicherheits-,
Energietechnik UMSICHT

Hydropneumatische CAES – BOP B

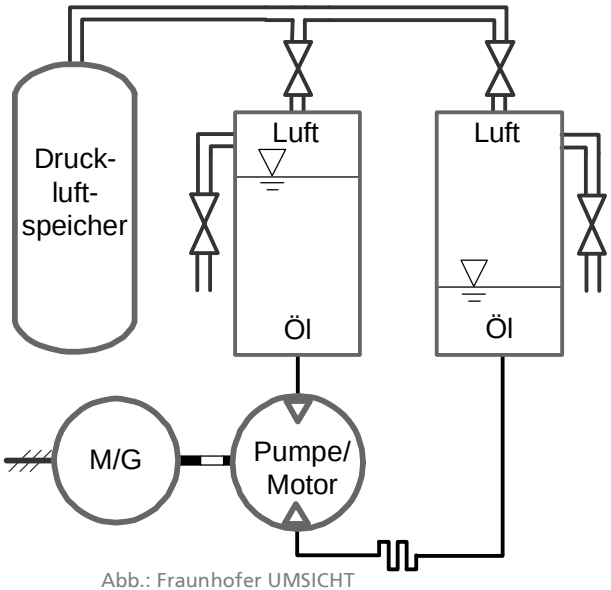
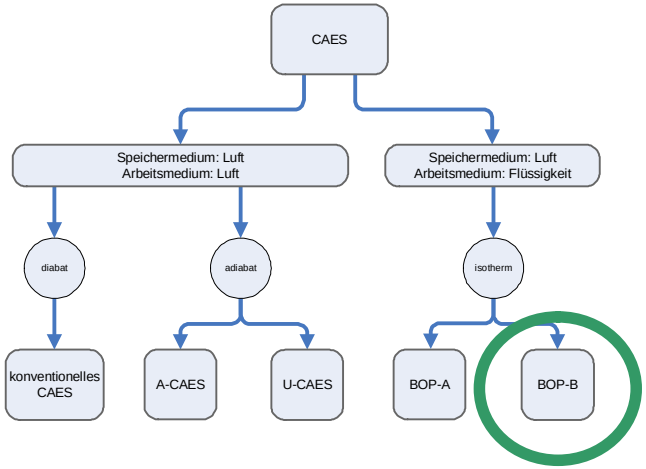


Abb.: Fraunhofer UMSICHT



Vorzüge

+ Keine Emissionen im Betrieb
+ Kein Brennstoffeinsatz
+ Rel. hohe Speicherdichte

Nachteile

- Komplexes hydropneumatisches Interface
- Geringerer zu erwartender Wirkungsgrad
- Diskontinuierlicher Betrieb

Fraunhofer IUSE Institut
Umwelt-, Sicherheits-,
Energietechnik UMSICHT

Realisierte Anlagen

Diabate CAES Huntorf / McIntosh

Abb.: E.ON Energie

Huntorf, Deutschland (1978)

- 60 MW_{komp} / 321 (290) MW_{exp}
- η_{zyklus} = 42% **à** 0,8 kWh_{el} / 1,6 kWh_{gas}
- Speichervolumen: 560 MWh_{el} / 310.000 m³
- Volllast: 8h_{komp} / 2h_{exp}

McIntosh, USA (1991)

- 50 MW_{komp} / 110 MW_{exp}
- η_{zyklus} = 54% **à** 0,69 kWh_{el} / 1,17 kWh_{gas}
- Speichervolumen: 2640 MWh_{el} / 538.000 m³
- Volllast: 38h_{komp} / 24h_{exp}

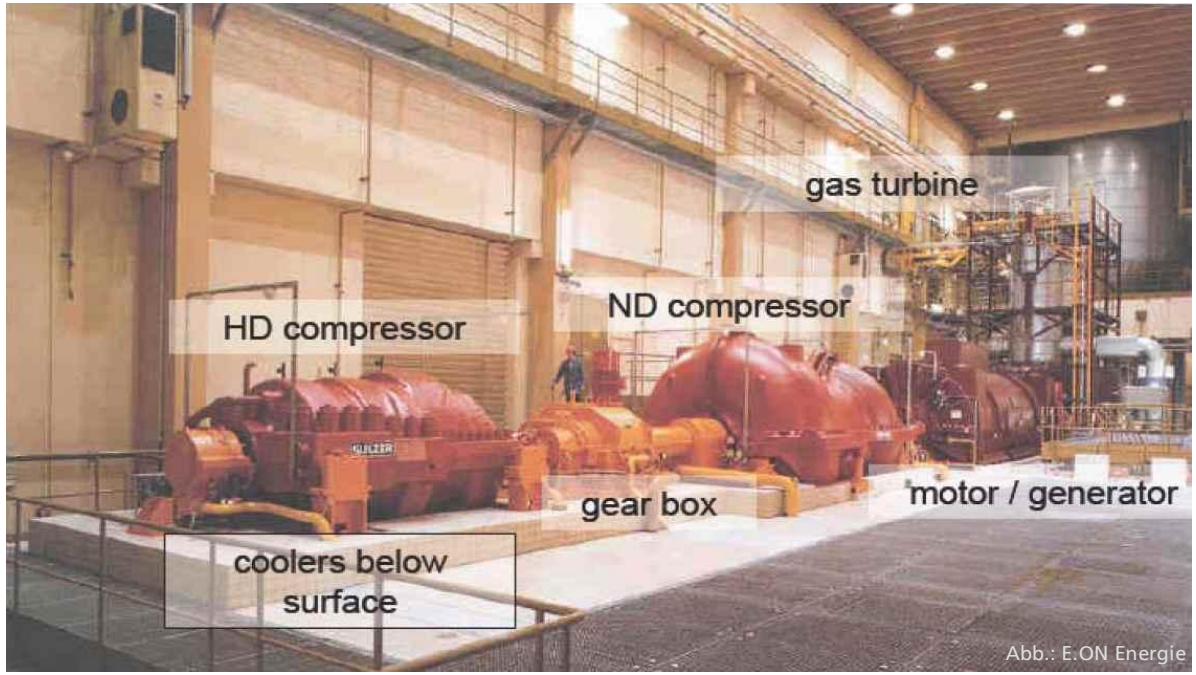
Abb.: Energy Storage & Power LLC

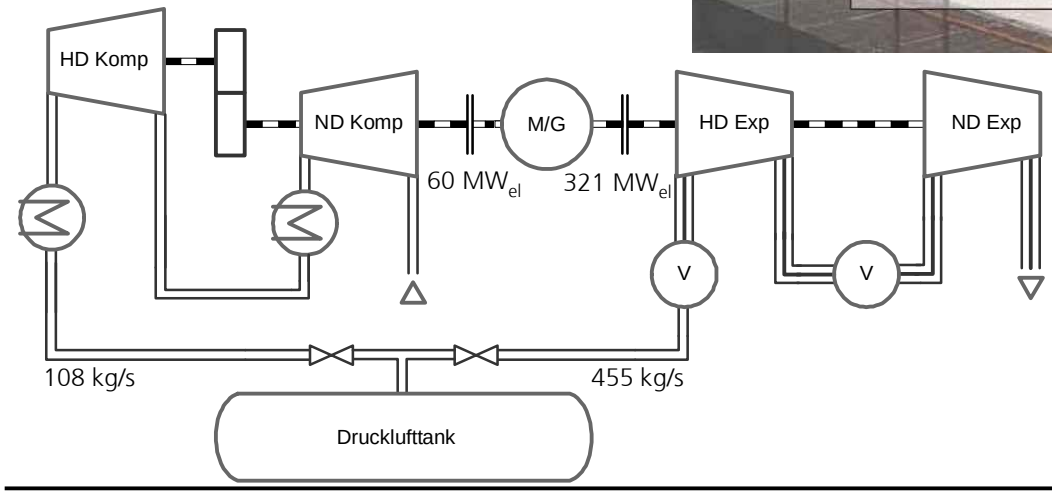
Fraunhofer IUSE Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT

Diabate CAES Huntorf

Innovationen:

- Hochdruckbrennkammer (42 bar) für Gasturbinen
- Hochdruckturbine mit Schnellstartfähigkeit
- Leistungsverhältnis Motor/Generator-Betrieb von 1:5
- Salzkavernen zur Druckluftspeicherung

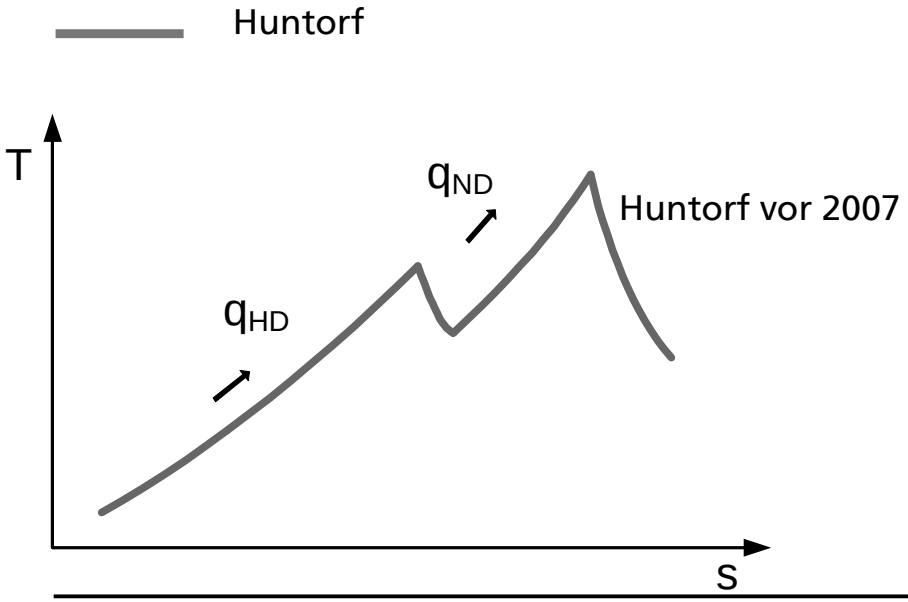




Fraunhofer IUSE Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT

Retrofit des Ausspeicherstranges im CAES Huntorf

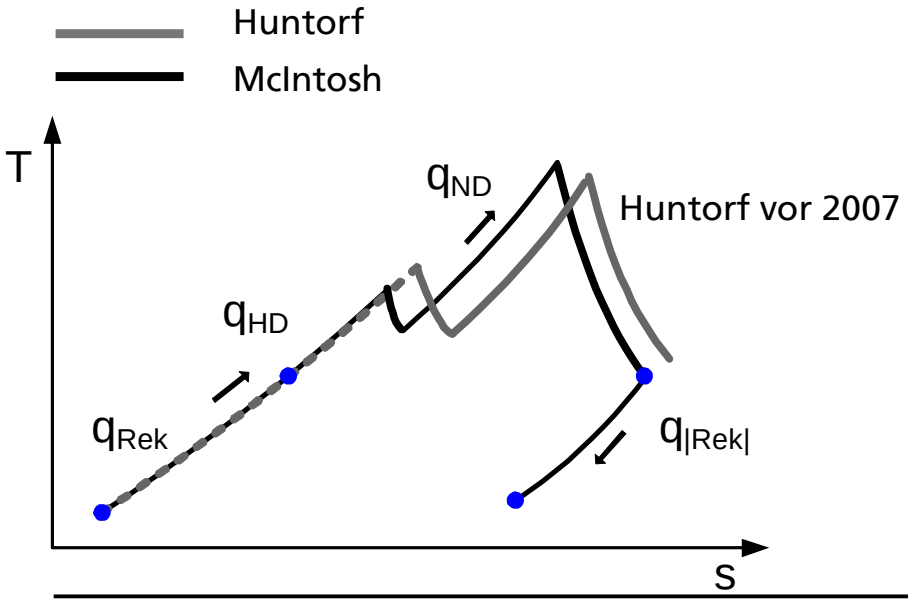
Ausspeicherstrang	Huntorf		McIntosh
	Vor 2007	Nach 2007	
Ausspeicherleistung	290 MW_{el}	321 MW_{el}	110 MW_{el}
Anfahrdauer (normal / Notfall)	9 / 6 min	14 / 8 min	12 / 7 min
Max. Massenstrom	417 kg/s	455 kg/s	154 kg/s
HD Turbineneintritt	~40 bar / 550°C	41,3 bar / 490°C	42 bar / 538°C
ND Turbineneintritt	10 bar / 825°C	12,8 bar / 945°C	15 bar / 871°C
Abgastemperatur	395°C	480°C	370°C (vor Rekuperator)



Fraunhofer Institut
Umwelt-, Sicherheits-,
Energietechnik UMSICHT

Retrofit des Ausspeicherstranges im CAES Huntorf

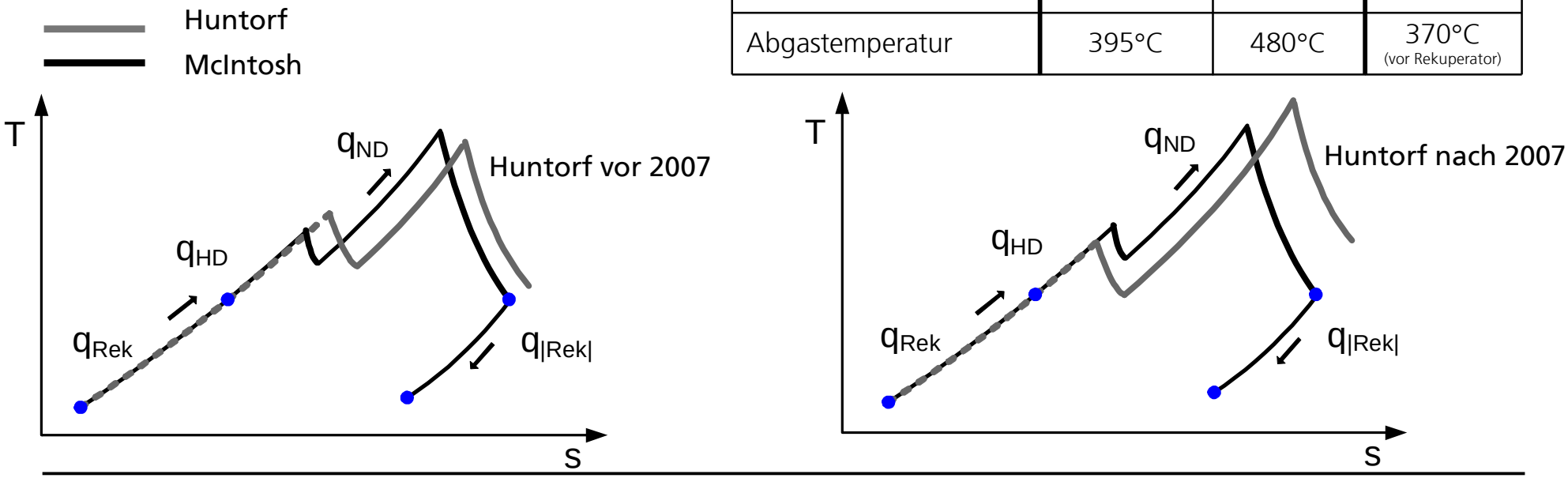
Ausspeicherstrang	Huntorf		McIntosh
	Vor 2007	Nach 2007	
Ausspeicherleistung	290 MW_{el}	321 MW_{el}	110 MW_{el}
Anfahrdauer (normal / Notfall)	9 / 6 min	14 / 8 min	12 / 7 min
Max. Massenstrom	417 kg/s	455 kg/s	154 kg/s
HD Turbineneintritt	~40 bar / 550°C	41,3 bar / 490°C	42 bar / 538°C
ND Turbineneintritt	10 bar / 825°C	12,8 bar / 945°C	15 bar / 871°C
Abgastemperatur	395°C	480°C	370°C (vor Rekuperator)



Fraunhofer IUSE Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT

Retrofit des Ausspeicherstranges im CAES Huntorf

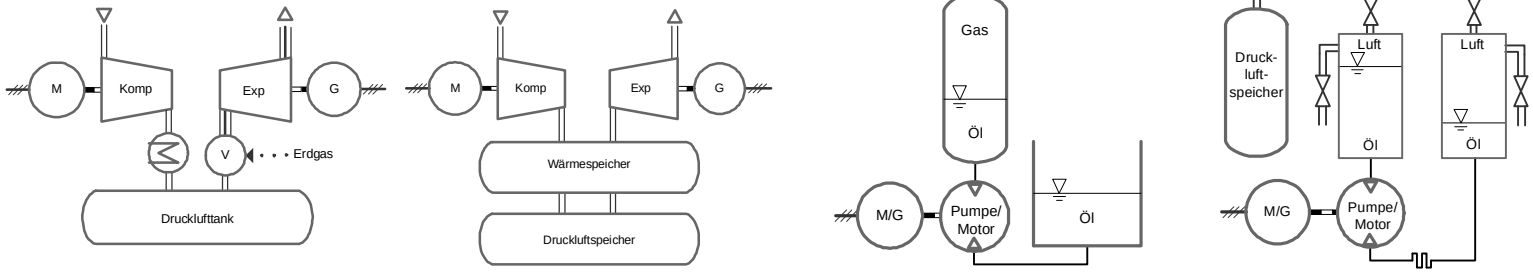
Ausspeicherstrang	Huntorf		McIntosh
	Vor 2007	Nach 2007	
Ausspeicherleistung	290 MW_{el}	321 MW_{el}	110 MW_{el}
Anfahrdauer (normal / Notfall)	9 / 6 min	14 / 8 min	12 / 7 min
Max. Massenstrom	417 kg/s	455 kg/s	154 kg/s
HD Turbineneintritt	~40 bar / 550°C	41,3 bar / 490°C	42 bar / 538°C
ND Turbineneintritt	10 bar / 825°C	12,8 bar / 945°C	15 bar / 871°C
Abgastemperatur	395°C	480°C	370°C (vor Rekuperator)



Fraunhofer Institut
Umwelt-, Sicherheits-,
Energietechnik UMSICHT

Technische und Wirtschaftliche Kenndaten von CAES-Konzepten

Technische Kenndaten der betrachteten CAES-Konzepte



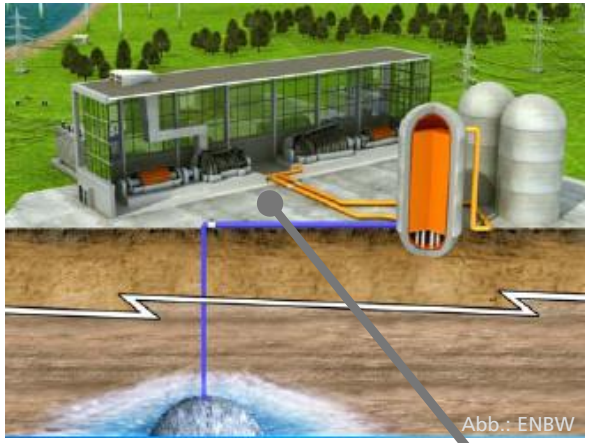
	konv. CAES		A-CAES		BOP-A		BOP-B	
Wirkungsgrad AC/AC	heute	real. Ziel	heute	real. Ziel	heute	real. Ziel	heute	real. Ziel
	0,54	0,6	-	0,7	0,38	0,8	-	0,75
Speicherdichte	2 - 15 kWh/m³		2 - 10 kWh/m³		bis 3 kWh/m³		bis 24 kWh/m³	
Hochfahrdauer	~15 min		~15 min		~1 min		~1 min	
Leistungsbereich	1 MW – 1 GW		1 MW – 1 GW		5 kW – 1 GW		5 kW – 1 GW	
Entwicklungs-stand	Anwendung / Demonstration		Forschung / Demonstration		Forschung		Forschung	

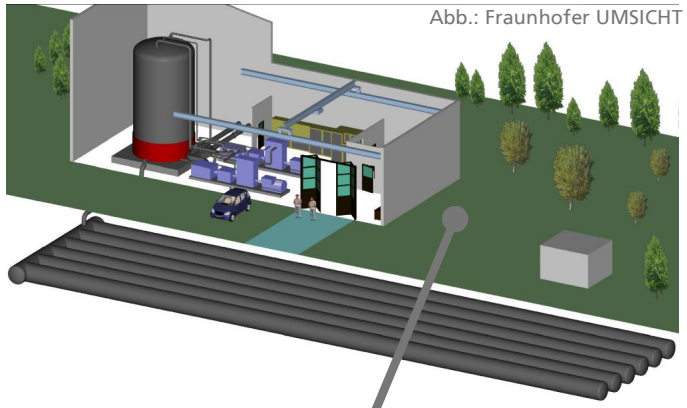
Forschungsbedarf:

- § Betriebserfahrung
- § Ad. Verdichter
- § HT-Wärmespeicher
- § Schnittstelle Fl./Gas
- § Scale up
- § Schnittstelle Fl./Gas
- § Regelungstechnik
- § Scale up

Fraunhofer IUSE Institut
Umwelt-, Sicherheits-,
Energietechnik UMSICHT

Wirtschaftliche Kenndaten der betrachteten CAES-Konzepte





	300MW / 8h				15MW / 2h			
	konv. CAES	A-CAES	BOP-A	BOP-B	konv. CAES	A-CAES	BOP-A	BOP-B
Leistungsspez. Kosten [€/kW]	600	700	*500 – 600**	*700 - 800*	1200	1000 – 1500	*700 – 800*	*1000 – 1500*
Arbeitsspez. Kosten [€/kWh]	5-30	60-100	*20-100*	*5-30*	100	250	*900*	*200*
Kostensenkungs-potenzial	Gering	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Hoch	Hoch	Hoch

* kursiv: geschätzte Werte

Fraunhofer IUSE Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT

Fazit

§ Eine Vielzahl von druckluftbasierten Energiespeicherkonzepten stehen zur Verfügung

- à mit individuelle Stärken und Schwächen
- à in sehr unterschiedliche Entwicklungsstadien
- à sehr gute Anpassbarkeit der Leistung und des Speichervolumens

§ Diabate Technik erprobt, wirtschaftlicher Einsatz heute fraglich (Erdgas / Wirkungsgrad)

- à Nicht festhalten, an dem was man hat und beherrscht!

§ Adiabate CAES logische Weiterentwicklung

- à von allen alternativen Konzepten höchste Marktnähe
- à Demonstrationsprojekte von außerordentlicher Wichtigkeit

Fraunhofer IUSE Institut
Umwelt-, Sicherheits-,
Energietechnik UMSICHT

Noch Fragen?

Dipl.-Ing. Daniel Wolf

Geschäftsfeld Energiesysteme
+49 208 8598-1422
daniel.wolf@umsicht.fraunhofer.de

Fraunhofer Institut
Umwelt-, Sicherheits-,
Energietechnik UMSICHT