



Universität Stuttgart

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE)



Thermische Energiespeicher eine Schlüsseltechnologie für die Energiewende?

1. IGTE-FORUM 2019 in Stuttgart

am 04.04.2019

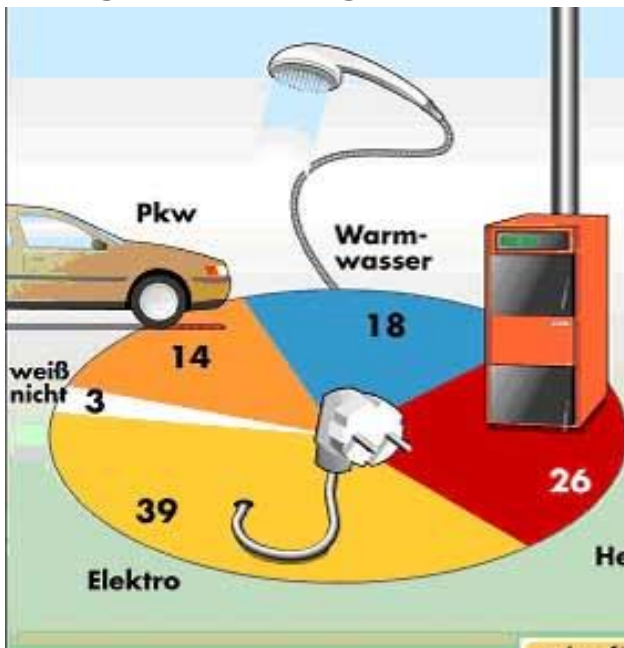
Dr.-Ing.
Henner Kerskes



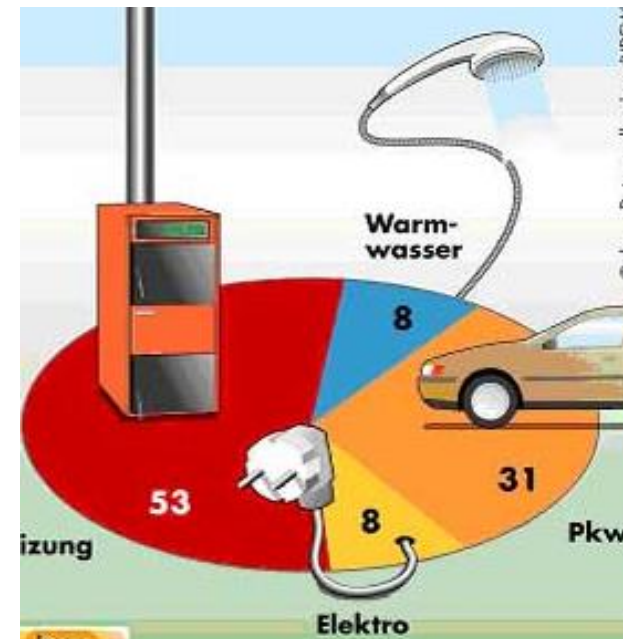
Hätten Sie es gewusst ?

Befragung zum Energiebedarf

Von je hundert Befragten glaubten in den folgenden Bereichen die meiste Energie zu benötigen



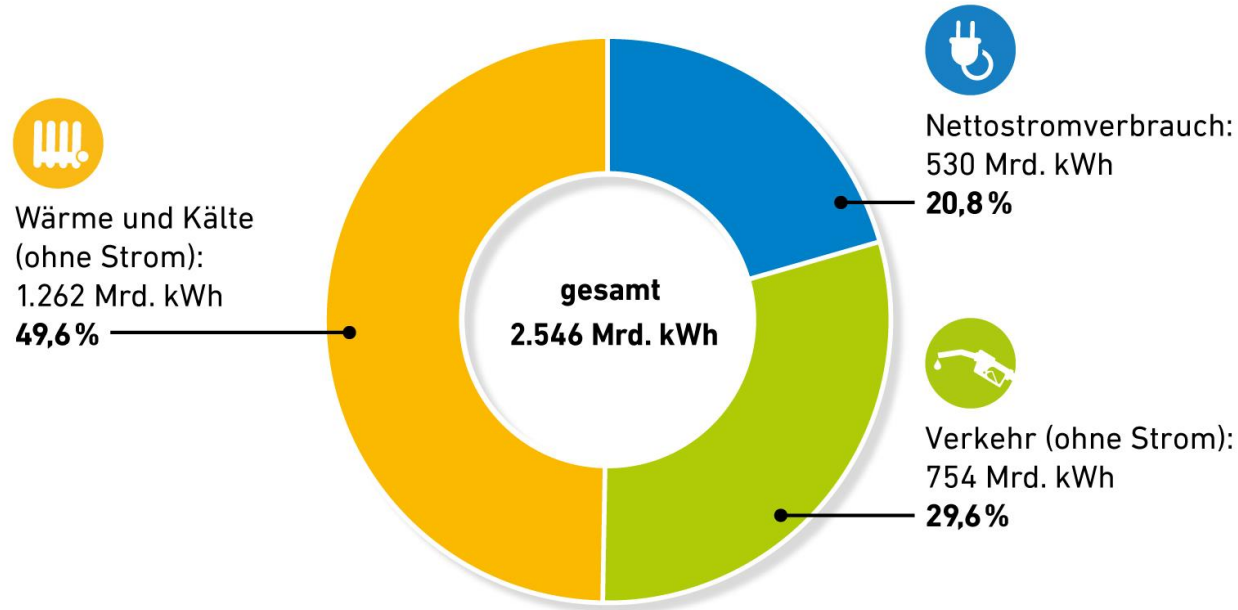
tatsächlicher Bedarf in Prozent



Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2017

nach Strom, Wärme und Verkehr

in Milliarden Kilowattstunden



Quelle: eigene Darstellung auf Basis von AG Energiebilanzen, AGEE-Stat; Stand: 7/2018

© 2018 Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

eine nahezu vollständige Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen in der nahen Zukunft



Die Herausforderung ist nicht die Energieerzeugung

- ➔ Die Herausforderung ist die **zeit- und leistungsgerechte Bereitstellung**
 - Speicherung elektrischer Energie
 - Speicherung thermischer Energie

Herausforderung Thermische Energiespeicher

Breites Temperatur- und Anforderungsprofil



0-100°C



100 – 300°C



300 – 1000°C



Leistung
Speicherkapazität
Speicherzeiten

von kW bis MW
von kWh bis GWh
Minuten bis Stunden bzw. Tage bis Monate

Anforderung an thermische Energiespeicher

Entwicklungsziele

- hohe thermische Speicherkapazität
 - großes Volumen bzw. hohe Speicherdichte
- modularer Aufbau und flexible Größe
- hohe thermische Leistungsfähigkeit
 - Reduzierung der Wärmeverluste
 - gute Temperaturschichtung
 - hohe Be- und Entladeleistungen
- Kostengünstig und universell einsetzbar

Anforderung an thermische Energiespeicher und Entwicklungsziele

- hohe thermische Speicherkapazität
 - großes Volumen bzw. hohe Speicherdichte
- **modularer Aufbau und flexible Größe**
- hohe thermische Leistungsfähigkeit
 - **Reduzierung der Wärmeverluste**
 - gute Temperaturschichtung
 - hohe Be- und Entladeleistungen
- Kostengünstig und universell einsetzbar

Große Warmwasserspeicher für solare Gebäudebeheizung

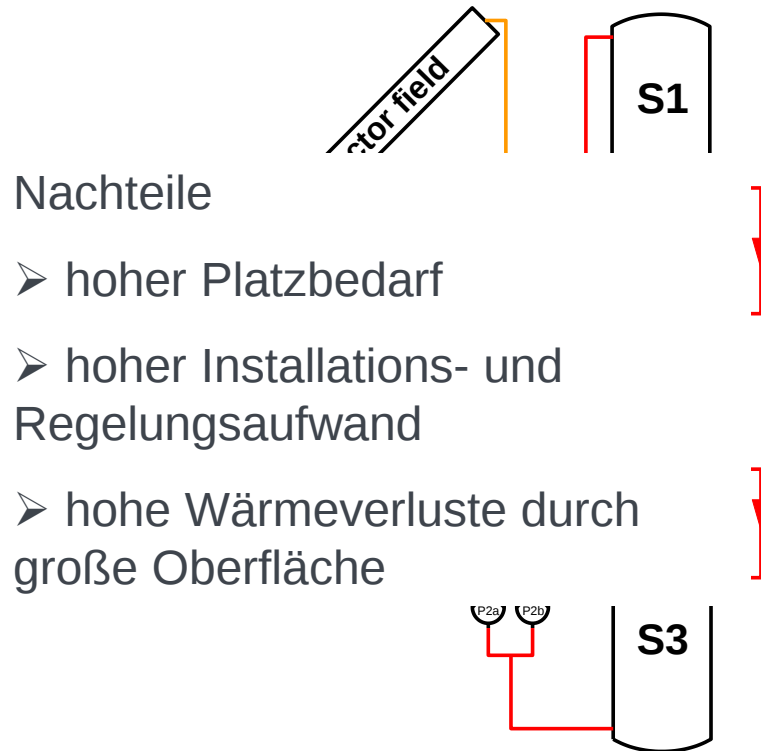
Realisierung im Neubau



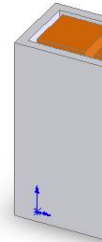
Große Warmwasserspeicher für solare Gebäudebeheizung

Realisierung im Gebäudebestand

Realisierung großer Volumina via Kaskade



- Entwicklung eines modularen Konzepts aus einzelnen Speichermodulen
- In einer gemeinsamen Dämmhülle
- flexible Geometrie
- Volumen 2 - 10 m³
- leichte Einbringung und Montage



VARICAL



Quelle Consolar

Modularer Warmwasserspeicher *Varical*

Besondere Vorteile und Nutzen

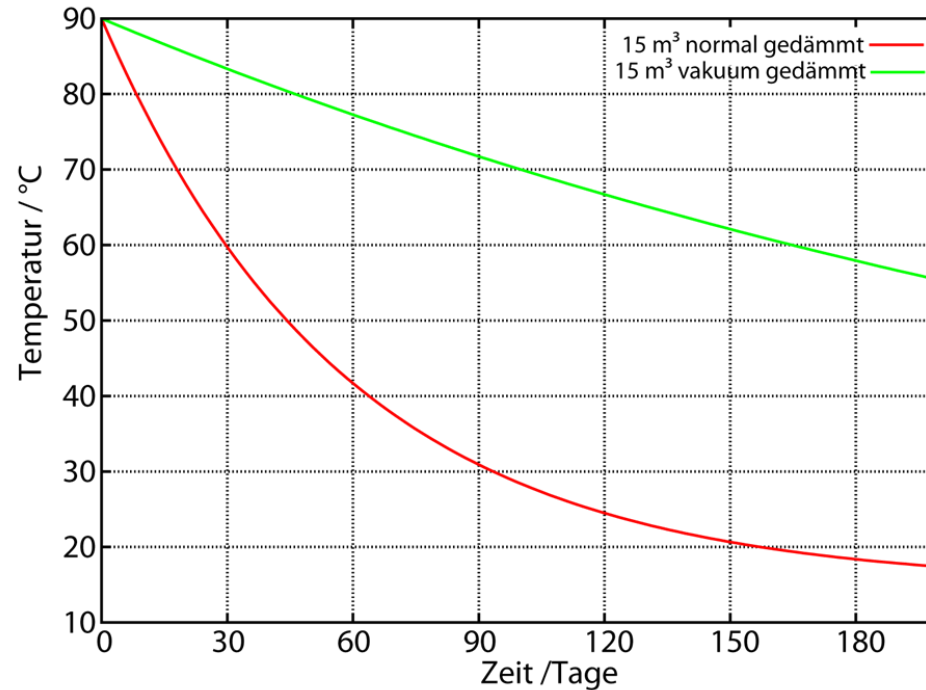
- platzsparende Aufstellung
- turgängiges Modulsystem
(Module ca. 1.300 L Speichervolumen)
 - von 2.600 L bis über 10.000 L
- Stahl-Druckspeicher
- flexibel integrierbar
- Wärmedämsystem mit optionaler Vakuumwärmedämmung



Speicher mit Vakuumwärmedämmung

Minimierung der Wärmeverluste

Abkühlkurven: Vergleich normale PU-Weichschaum-Dämmung, Vakuum-Dämmung



Speichervolumen $V_{sto} = 15000 \text{ l}$

für die Berechnung verwendete Werte

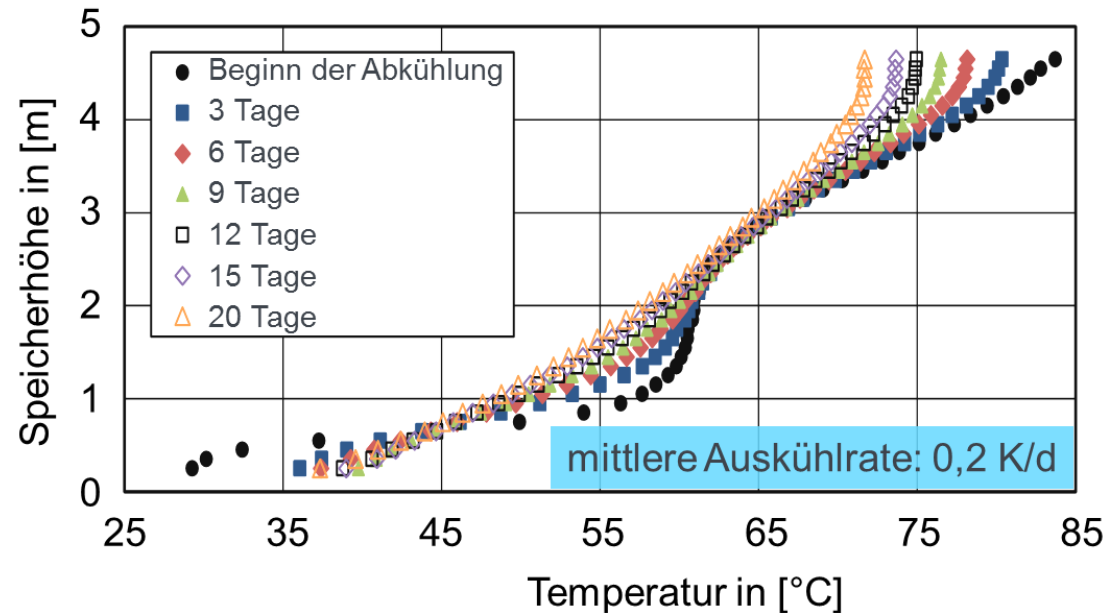
PU-Weichschaum-Dämmung:	$UA = 12,0 \text{ W/K}$
Vakuum-Dämmung:	$UA = 2,25 \text{ W/K}$

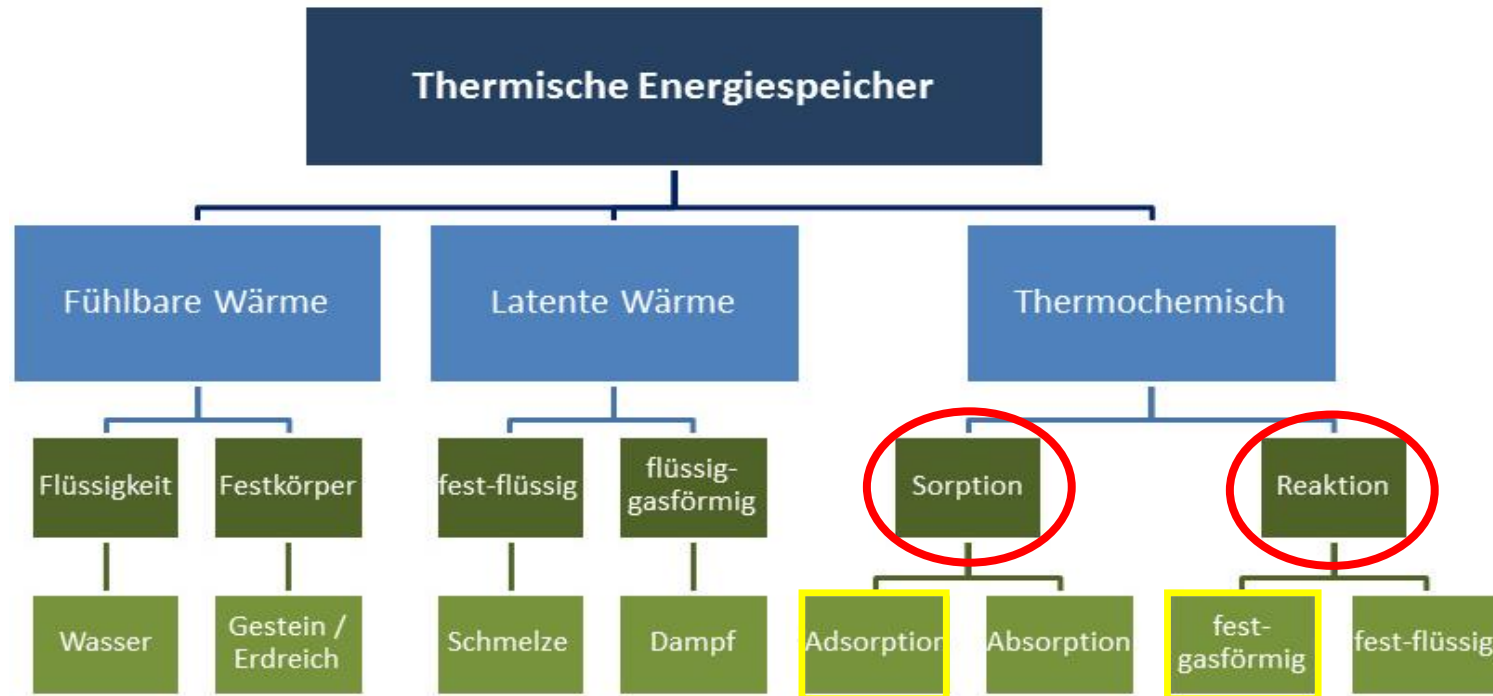
Speicher mit Vakuumwärmemedämmung

zur Aussenaufstellung

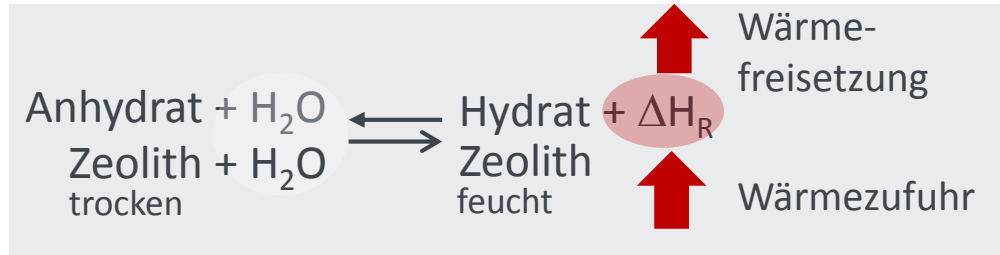


- **Forschungsziel**
Entwicklung einer vakuumwärmegedämmten Speicherbaureihe für Volumina von 10 bis 100 m³ zur Aussenaufstellung





- Gas-Feststoffreaktionen zur thermochemischen Energiespeicherung



Material	Dissoziationsreaktion				GG-Temp.
	A	+	B	$\rightleftharpoons$ C	°C
Magnesiumsulfat	MgSO ₄		H ₂ O	MgSO ₄ 7H ₂ O	122
Calciumchlorid	CaCl ₂		H ₂ O	CaCl ₂ 6H ₂ O	130
Calciumoxid	CaO		H ₂ O	Ca(OH) ₂	350

➤ hohe Energiespeicherdichte

➤ verlustfreie Wärmespeicherung	Energiespeicherdichte	Faktor
Erdreich*	ca. 35 kWh/m ³	0,5
➤ Nachteil: hohe Wärmeleistung schwierig Wasser *	60 kWh/m ³	1
Latent	50 - 120 kWh/m ³	1 – 2
Adsorption	120 - 180 kWh/m ³	2 – 3
Reaktion	200 - 600 kWh/m ³	4 – 10

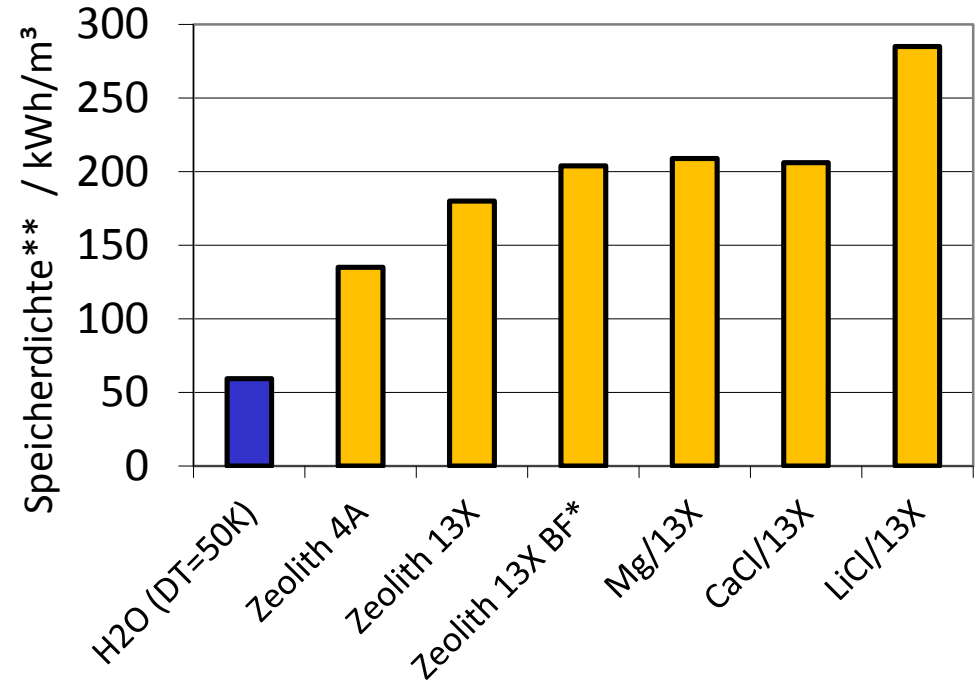
* bei $\Delta T = 50 \text{ K}$

kommerziell verfügbare Adsorbentien

- Silikagele
- Zeolith Typ 4A, 13X, NaY
- neue Entwicklungen:
 - binderfreie Zeolithe
 - höhere Adsorptionskapazität

Materialien in der Entwicklung

- Kompositmaterialien
 - Salz + Zeolith, Salz + Träger
 - Metal Organic Framework (MOF)

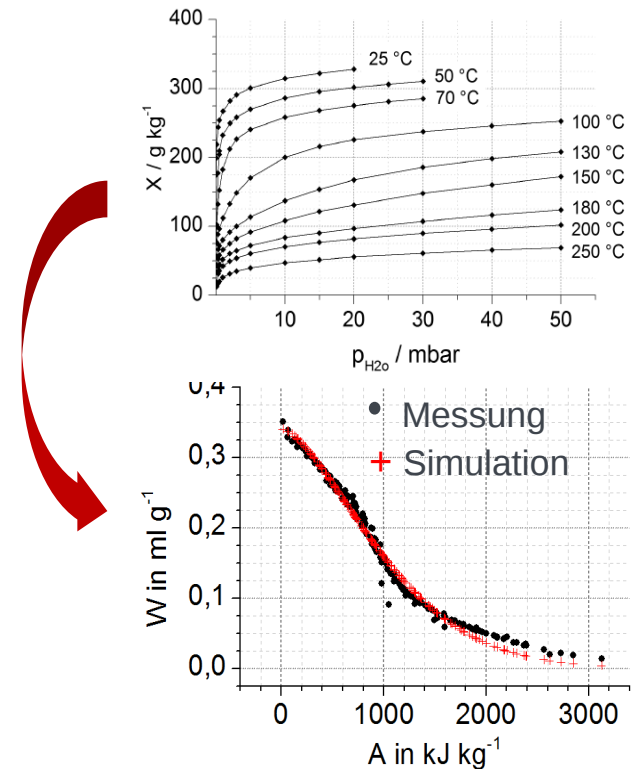


- Reaktionsgleichgewicht:
 - Experimentelle Bestimmung über Sorptionsmessungen
 - Numerische Darstellung über die charakteristische Kurve (Dubinin / Polanyi – Theorie):

$$X^* = W \cdot \rho(T) = W_0 \cdot \rho(T) \cdot \exp \left[- \left(\frac{A}{E} \right)^n \right]$$

- Reaktionskinetik:
 - Überlagerung von Makroporendiffusion und freier Gasdiffusion

$$\delta_{\text{eff}} = \frac{D_{\text{ges}}/\mu_p}{1 + \alpha(X)} \approx \frac{D_{\text{ges}}/\mu_p}{\alpha(X)} \quad D_{\text{ges}} = \frac{1}{\frac{1}{D_{\text{Kn}}} + \frac{1}{D_{i,j}}}$$



B. Mette, et. al. Experimental and numerical investigations on the water vapor adsorption isotherms and kinetics of binderless zeolite 13X, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Volume 71, 2014

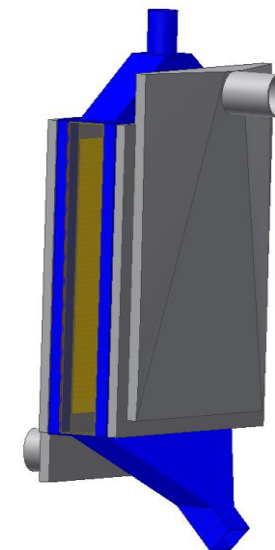
S.Semprini, et. al. , Numerical modelling of water sorption isotherms of zeolite 13XBF based on sparse experimental data sets for heat storage applications, *Energy Conversion and Management*, Volume 150, 2017

Offene Adsorption - Speicherkonzepte



Internes Reaktordesign:
Material-Bevorratung ist gleichzeitig Reaktionsort

Externes Reaktordesign:
Trennung zwischen
Material-Bevorratung und
Reaktionszone

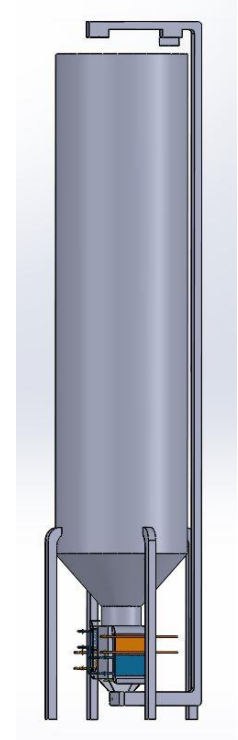
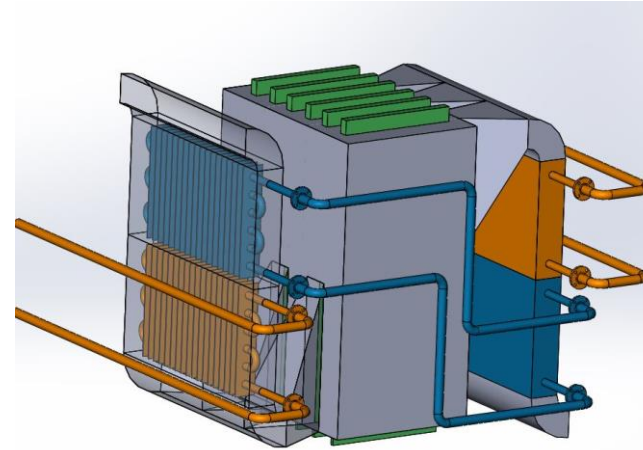


Thermochemische Speicher

Externes Reaktordesign

Vorteile

- Trennung von Leistung und Kapazität
- Reaktor/Adsorber wird individuell auf Anforderungen abgestimmt
- Sehr einfache Behälter für Speichermaterialbevorratung
- Sehr gute Skalierbarkeit

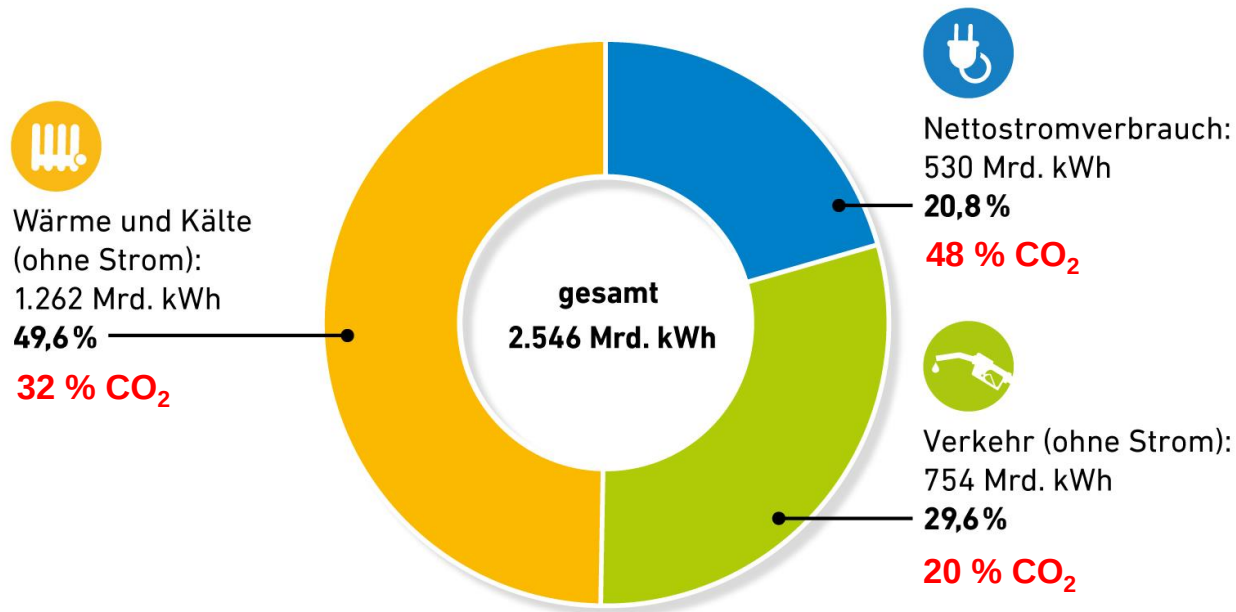


S. Bonk, et. al., Development and Testing of a Thermochemical Energy Store, ISES Solar World Congress 2017

Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2017

nach Strom, Wärme und Verkehr

in Milliarden Kilowattstunden



Quelle: eigene Darstellung auf Basis von AG Energiebilanzen, AGEE-Stat; Stand: 7/2018

© 2018 Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

Erzeugung

Speicherung

Nutzung



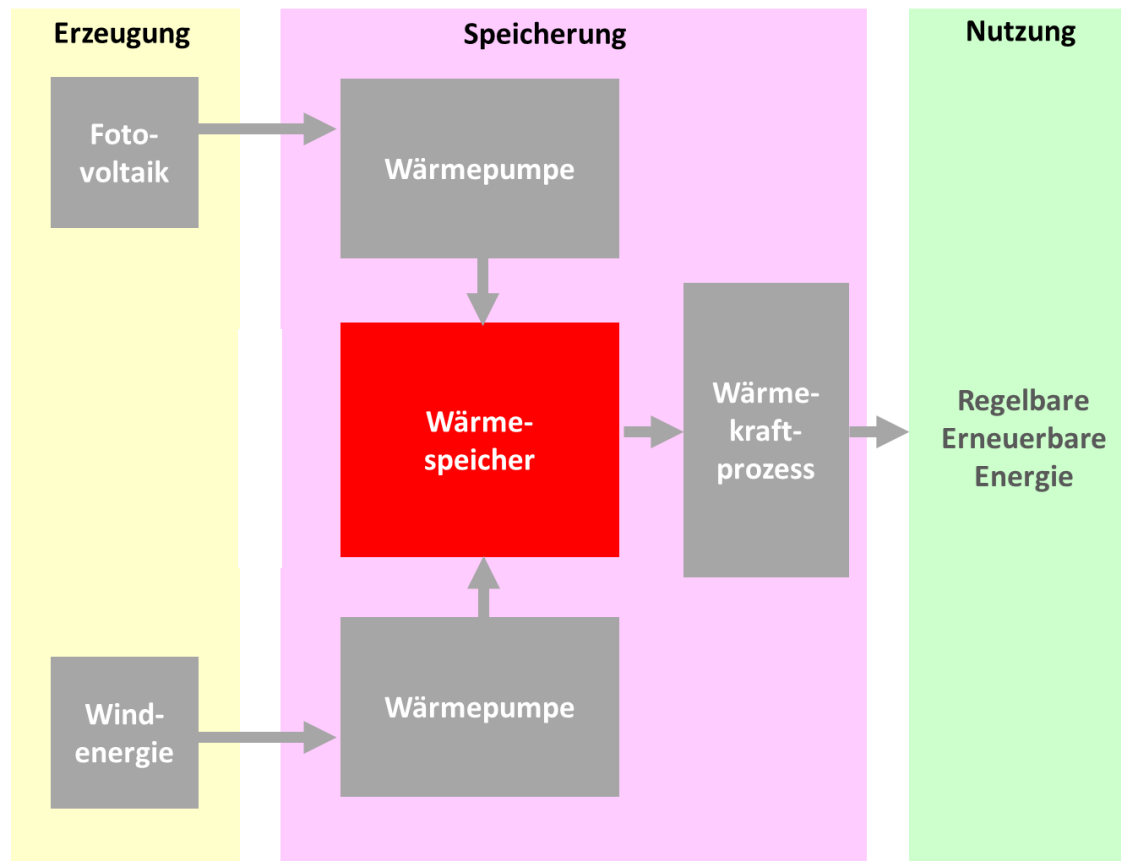
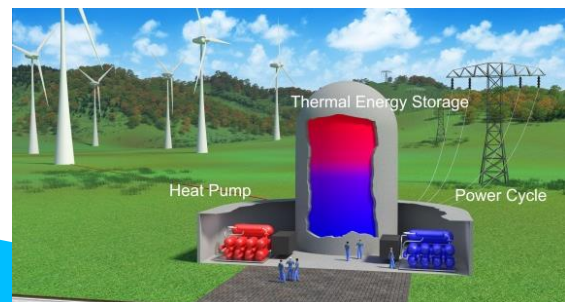
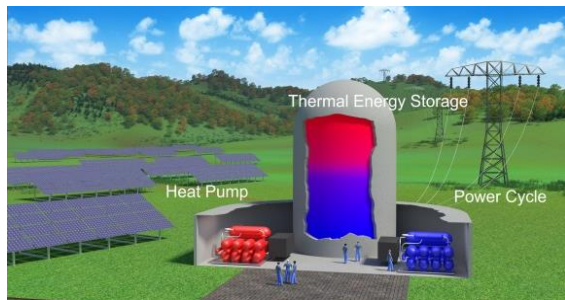
Pumpspeicher?
geringes Potenzial

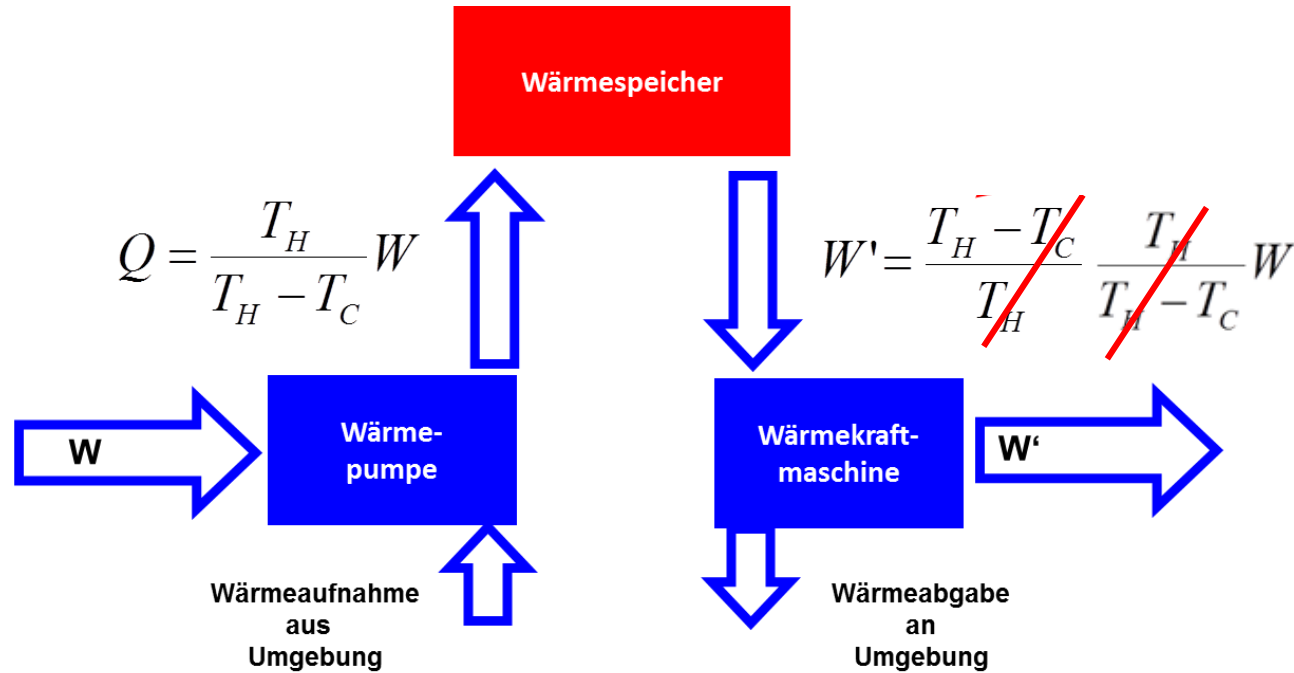
Batterie?
Hoher Preis!

Isentrope Speicher
Hohes Potenzial
und niedriger Preis?



Was ist eine Carnot Batterie





→ Theoretischer Wirkungsgrad: $\Psi=1=100\%$

IZahlreiche Konzepte zur Carnot-Batterie

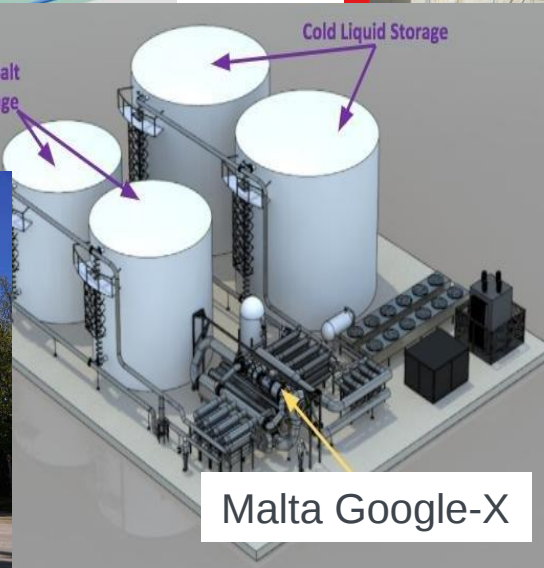


MAN Energy Solutions

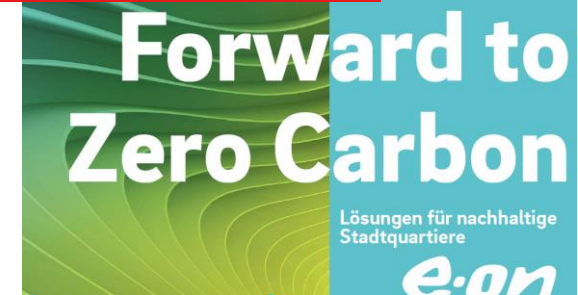


Testanlage

Siemens-Gamesa



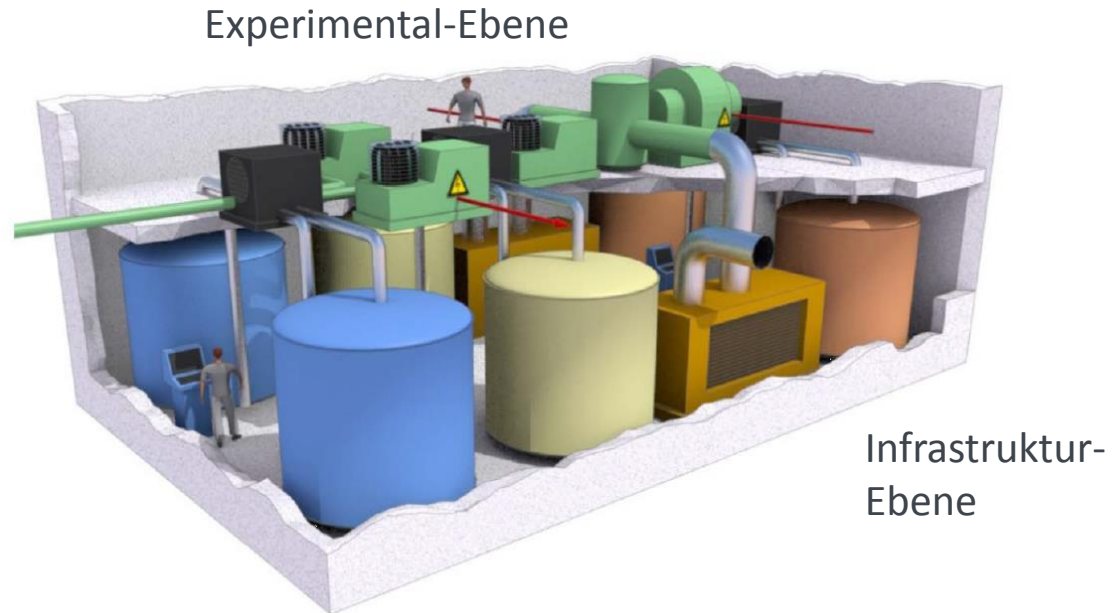
Malta Google-X



Lösungen für nachhaltige Stadtquartiere

e-on

Schaffung einer gemeinsam von Universität Stuttgart, DLR und KIT getragenen Forschungs-Infrastruktur am Standort Stuttgart zur Erforschung der isentropen Energiespeicherung



Zusammenfassung

- Thermische Energiespeicherung hat sehr großes Anwendungsspektrum
- Für viele Anwendungen stehen ausgereifte Technologien zur Verfügung
- Im Wärmesektor (Gebäude, Industrie) spielen sie eine wichtige Rolle
- Im Stromsektor spielen sie noch keine Rolle, Szenarien zeigen jedoch, dass mit größer werdendem Anteil die Bedeutung der Speicherung deutlich ansteigt
- Übergeordnete Forschungsfelder sind
 - Weiterentwicklung von Wasser- und Feststoff basierten Speichern
 - Technologieentwicklung im Bereich Phasenwechselmaterialien und Thermochemische Energiespeicher
 - Erforschung von Prozessen zur isentrope Energiespeicher als „thermische“ Stromspeicher und für die Sektorenkopplung



Universität Stuttgart

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE)

Thermische Energiespeicher



Dr. Henner Kerskes

E-Mail Henner.kerskes@igte.uni-stuttgart.de

Telefon +49 (0) 711 685 - 63534

www.igte.uni-stuttgart.de

Universität Stuttgart

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung

70550 Stuttgart



M.Schäfer, A.Thess. One-dimensional model of a closed low-pressure adsorber for thermal energy storage. Int. J. Heat and Mass Transfer. 117. 571-583, 2018.

S.Semprini, et. al. , Numerical modelling of water sorption isotherms of zeolite 13XBF based on sparse experimental data sets for heat storage applications, Energy Conversion and Management, Volume 150, 2017

B. Mette, et. al. Experimental and numerical investigations on the water vapor adsorption isotherms and kinetics of binderless zeolite 13X, Int. J. Heat and Mass Transfer, Volume 71, 2014

S. Bonk, et. al., Development and Testing of a Thermochemical Energy Store, ISES Solar World Congress 2017

Th. Nonnen, et. al., A Thermochemical Long-Term Heat Storage System Based on a Salt/Zeolite Composite, Chem. Ing. Tech. 2016, 88

- Thermische Energiespeicher haben bereits gezeigt welche wichtige Rolle sie spielen für die effiziente Wärmeversorgung
- Im Gebäudesektor
- In industriellen Anwendungen
- Genauso wie in Wärmenetzen wichtiger denn je
- Sie haben hohen technischen Stand erreicht und werden kontinuierlich weiter entwickelt



- **Forschungsziel**
Entwicklung einer vakuumwärmegeprägten Speicherbaureihe für Volumina von 10 bis 100 m³ zur Aussenaufstellung
- **Projektpartner:**



Fa. Sirch Tankbau-Tankservice-
Speicherbau GmbH

