

Bayerisches Zentrum für
Angewandte Energieforschung e.V.

Techniken der Wärmespeicherung



Dipl.-Phys. Manfred Reuß

ZAE Bayern, Walther-Meißner-Str.6, 85748 Garching
reuss@muc.zae-bayern.de; www.zae-bayern.de

MIT SONNE UND VERSTAND.

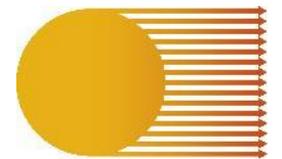
© ZAE Bayern



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

NOTWENDIGKEIT DER SPEICHERUNG

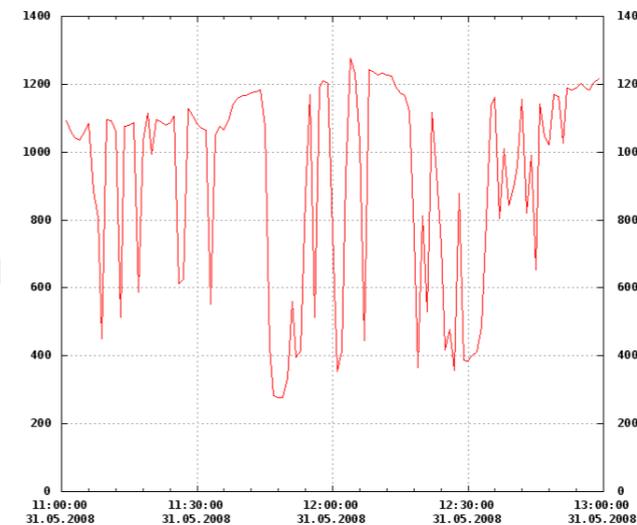


ZAE BAYERN

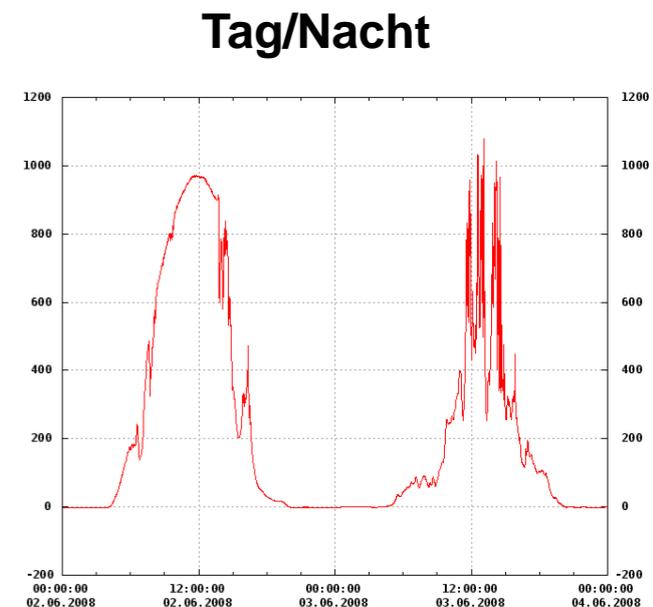
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Solares Strahlungsangebot (Wärmequelle) und Nachfrage (Wärmebedarf) differieren

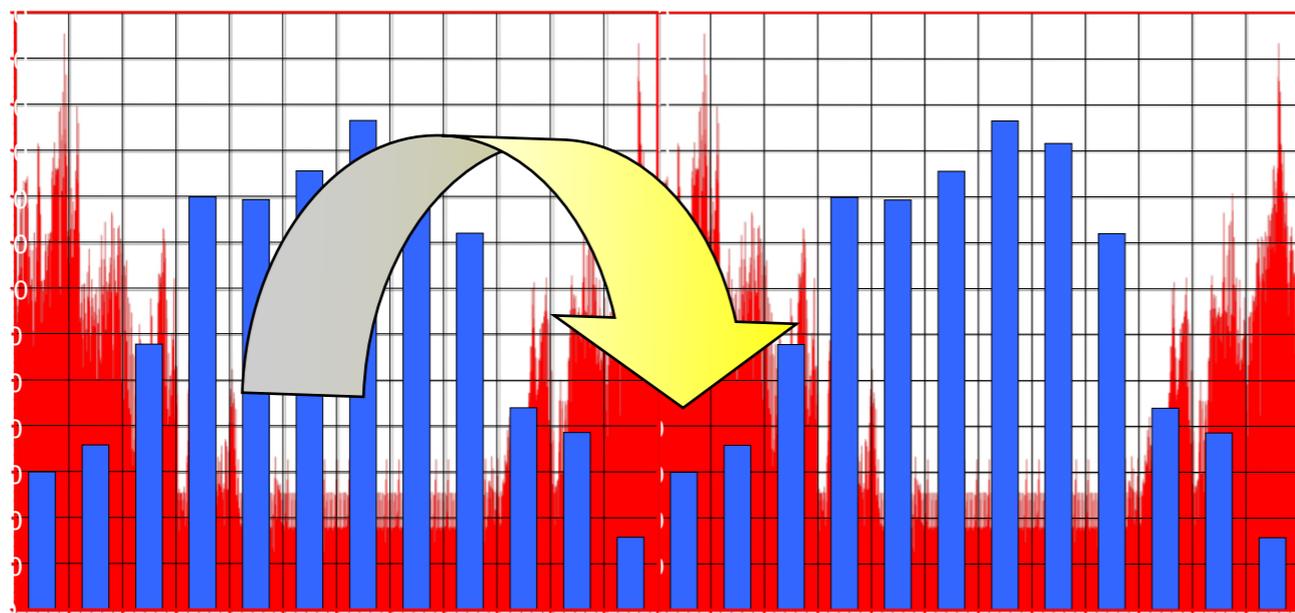
- zeitlich
- in der Leistung
- Kurzzeit-Leistungsschwankungen
- Tag/Nacht Variation
- Sommer/Winter



Kurzzeit/Minutenbereich



Tag/Nacht

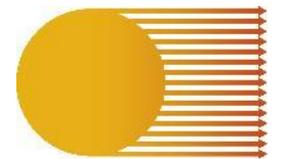


Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

Saisonale Schwankungen

Wärmebedarf █
Solarstrahlung █

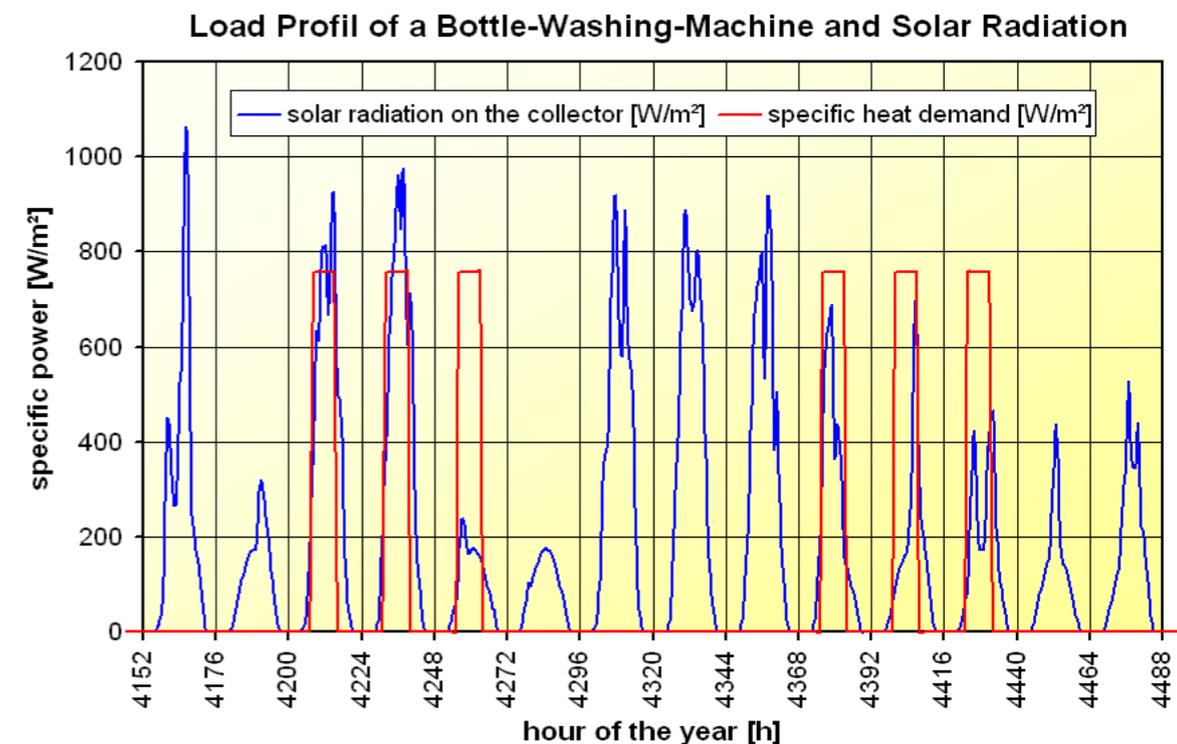
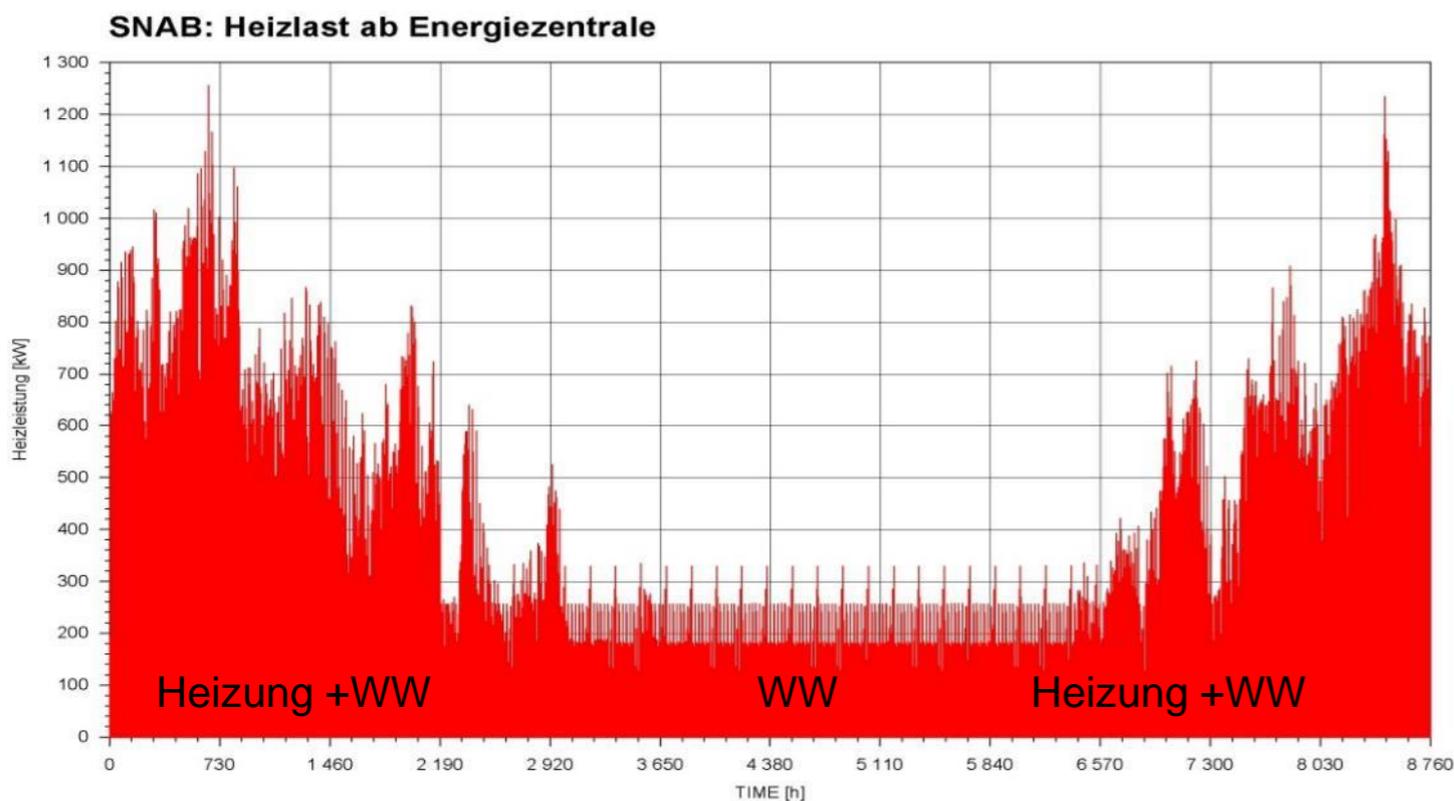
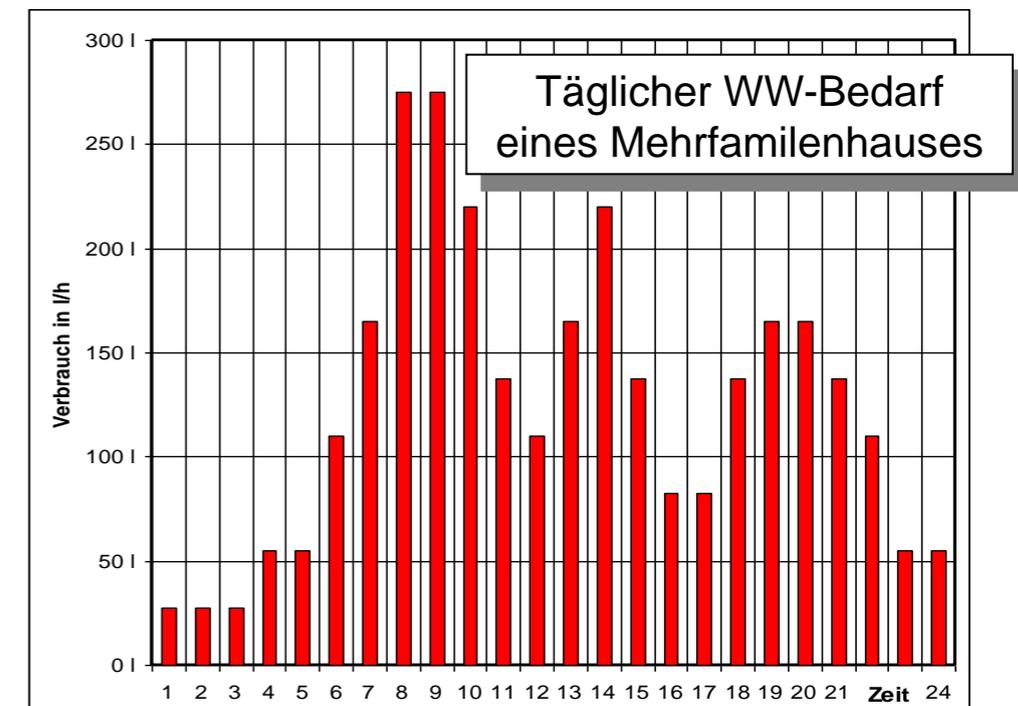
DYNAMIK DES WÄRMEBEDARFS



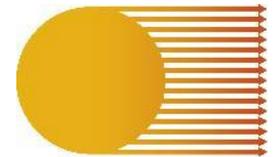
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- WW hat eine typische Tagesdynamik
- Heizung hat eine stark saisonale Dynamik
- Prozesswärme ist sehr stark geprägt von der Anwendung, z.B. nur 3 – 4 Tage/Woche Bedarf



THERMISCHE ENERGIESPEICHER



ZAE BAYERN

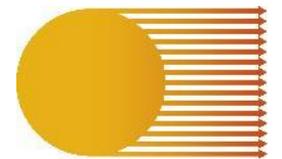
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Methoden der thermischen Energiespeicherung:

- Speicherung fühlbarer Wärme
Speicherkapazität $\approx 100 \text{ MJ/m}^3$ ($\sim 30 \text{ K}$)
Speichervolumen $\approx 10 \text{ m}^3$
- Speicherung latenter Wärme
Speicherkapazität $\approx 300 - 500 \text{ MJ/m}^3$
Speichervolumen $\approx 2,5 \text{ m}^3$
- Thermochemische Wärmespeicherung
Speicherkapazität $\approx 1000 \text{ MJ/m}^3$
Speichervolumen $\approx 1 \text{ m}^3$



THERMISCHE ENERGIESPEICHER



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

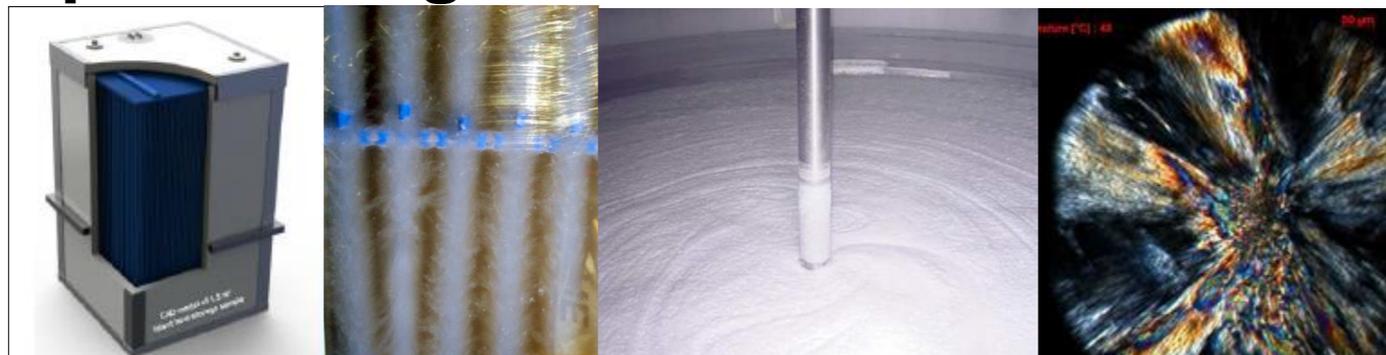
- **Speicherung sensibler Wärme**



© ZAE Bayern

- Warmwasser-Speicher
- Erdwärmesonden u.Ä.
(Underground Thermal
Energy Storage, UTES)

- **Speicherung latenter Wärme**



© ZAE Bayern

- Makro- / Mikro-
verkapselte Phasen-
Wechsel-Materialien
(PCM), Slurries

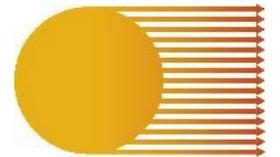
- **Thermo-chemische Energiespeicherung**



© ZAE Bayern

- Adsorptions- (Zeolith) und
Absorptions-Speicher (LiCl)
- Thermo-chemische
Materialien (TCM)

Latente Wärme



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

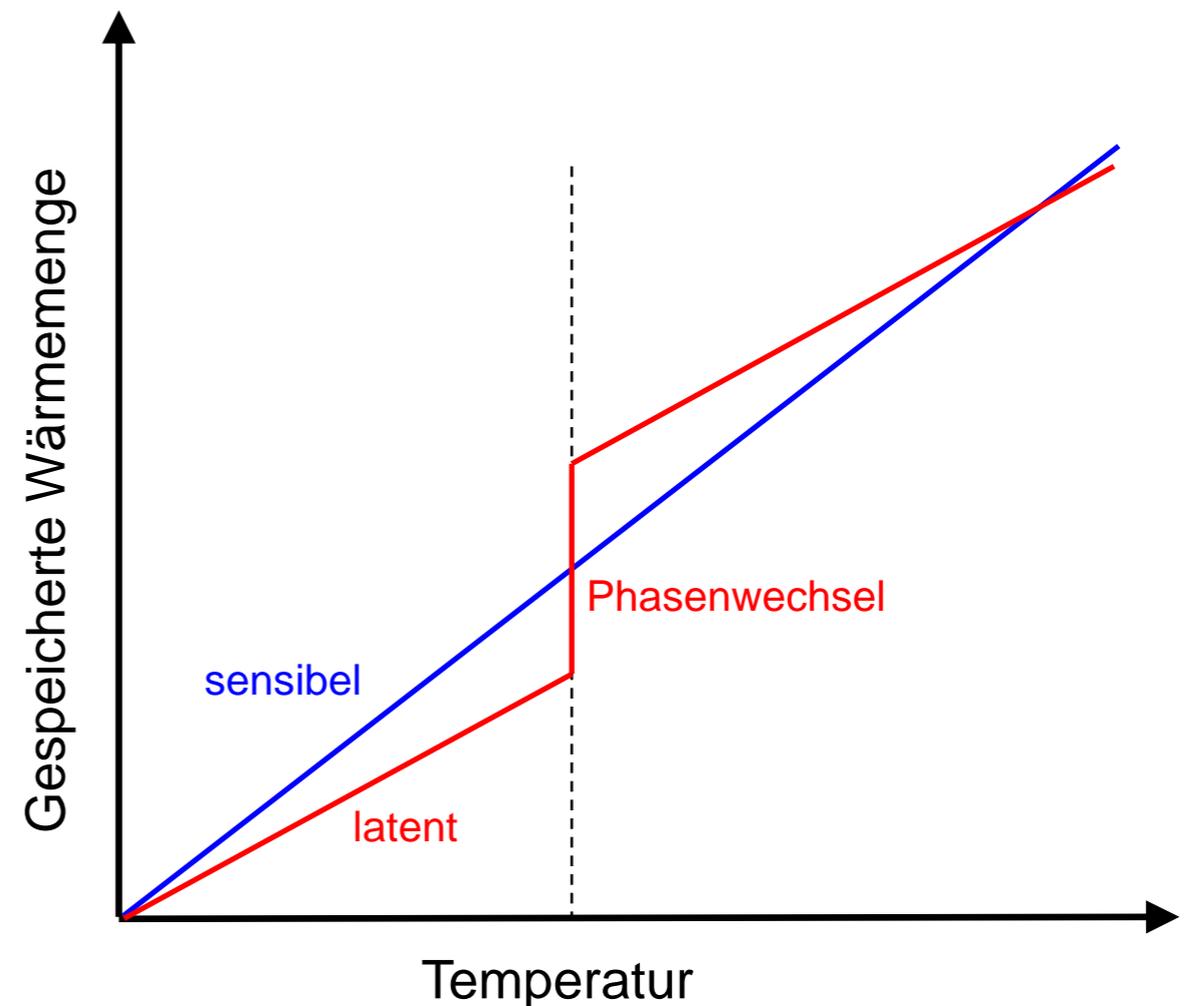
Latente Wärme = verborgene Wärme, ohne Änderung der Temperatur

Phasenwechsel fest-flüssig

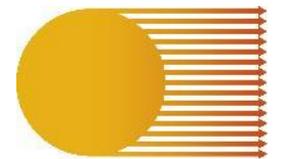
- z.B. Schmelzen von Eis
- bei konstanter Temperatur
- bei nahezu konstantem Volumen
- unabhängig vom Druck

Phasenwechsel flüssig-gasförmig

- z.B. Verdampfen von Wasser
- bei Temperatur die vom Druck abhängt
- starke Volumenänderung durch Verdampfung



SENSIBLE WÄRMESPEICHER – AUSWAHL SPEICHERMATERIAL



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

bis 100 °C:

- Speichermedium Wasser erfüllt alle Anforderungen
- Speichermedium Untergrund für Langzeitspeicher

100 °C - 200 °C:

- Druckheißwasserspeicher
- druckloser Speicher mit Thermalöl
 - niedrige Wärmekapazität ($c_{vol.} = 1,5 - 2,0 \text{ MJ/m}^3$)
 - hoher Preis
 - Kombination mit Feststoffen möglich ($c_{vol.} = 2,5 - 3,0 \text{ MJ/m}^3$)

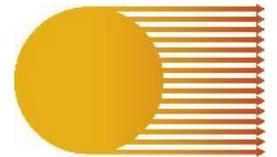


> 200 °C:

- Feststoffe
 - Gesteinsschüttungen
 - Gusseisen
 - Keramikwerkstoffe $T > 600 \text{ °C}$
- Thermalöl



SPEICHERKONSTRUKTION

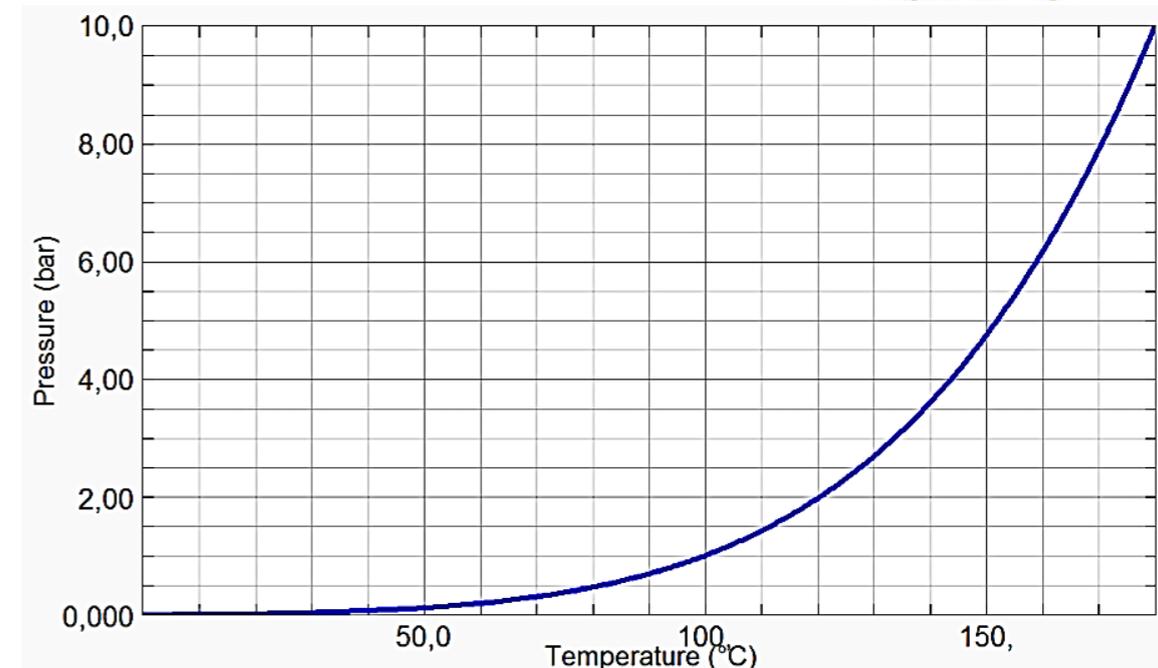


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Behältermaterial muss für das Speichermedium geeignet sein:

- => Temperatur
- => Druck
- => Korrosion



Materialien:

- => Stahl, Edelstahl, Kunststoff, Beton, Untergrund ...

Speichergeometrie:

- => schlanker, hoher Zylinder ($H/D = 2:1 - 5:1$)

Wärmedämmung:

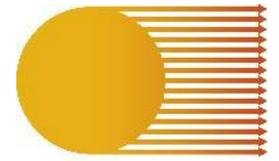
- => gängige Dämmmaterialien – Temperatur- und Feuchtebeständigkeit, Vakuumsuperisolation

Transport:

- => Größenbeschränkung – Transport auf der Straße, Einbringen ins Gebäude

Langzeitwärmespeicher – Untergrundspeicher: Wasser-, Aquifer-, Erdwärmesonden-Speicher, Kies/Wasser-Speicher, Hybridspeicher

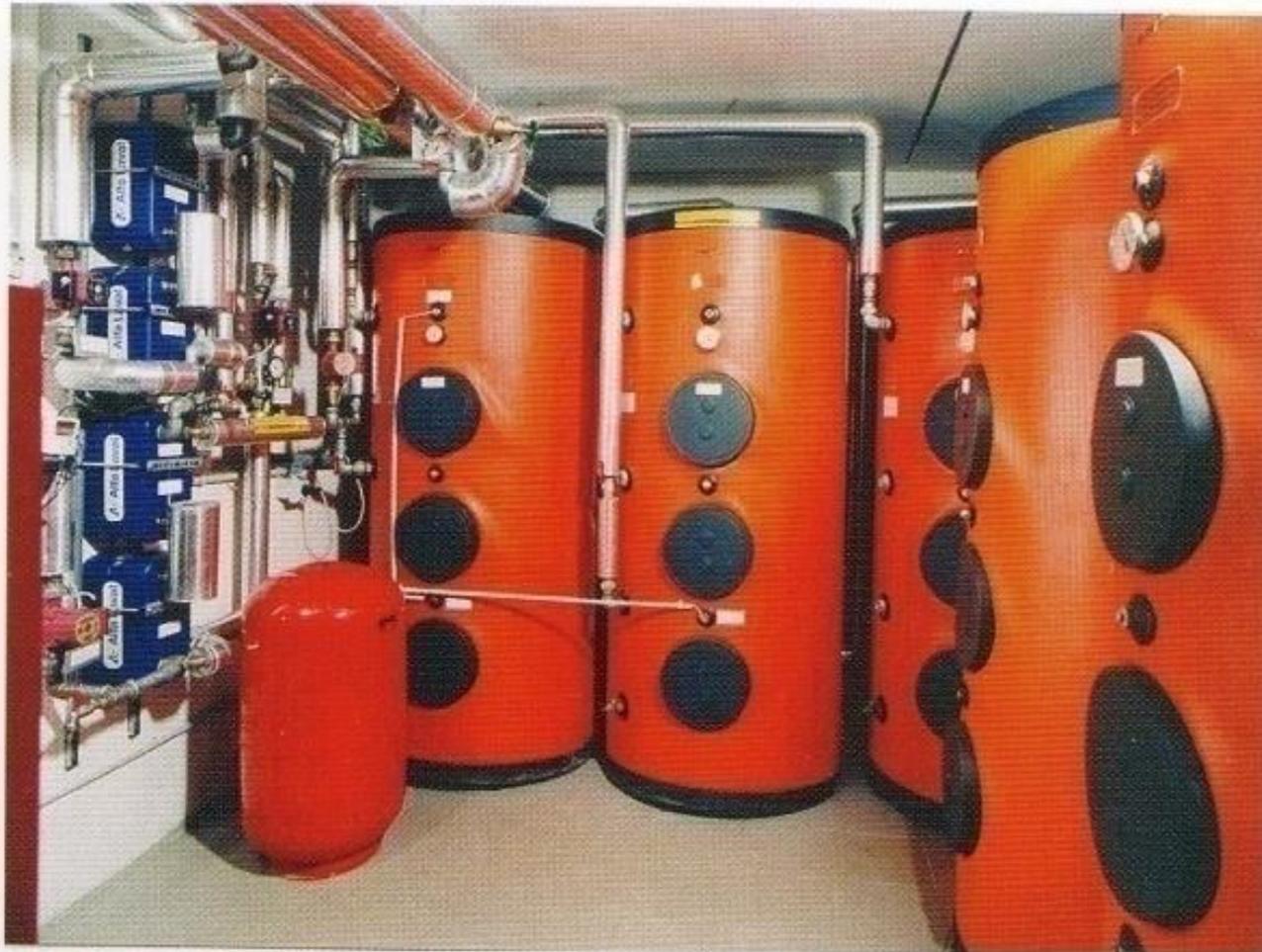
AUSFÜHRUNG VON WASSERSPEICHERN



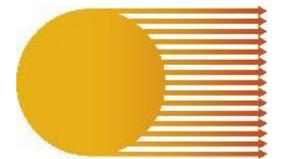
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Kurzzeitwärmespeicher - BWW: Tages-/Pufferspeicher



AUSFÜHRUNG VON WASSERSPEICHERN



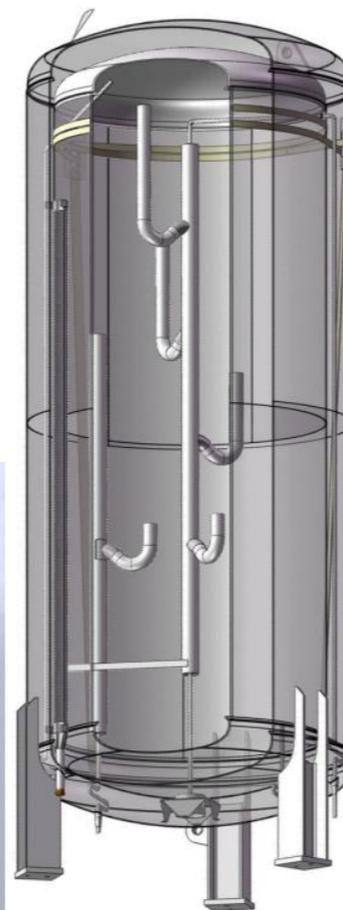
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

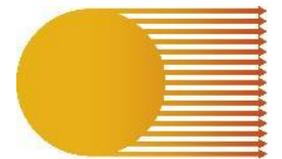
Langzeitspeicher BWW + Heizen: Monats- oder Saisonalspeicher



Bild: Sonnenhaus Institut



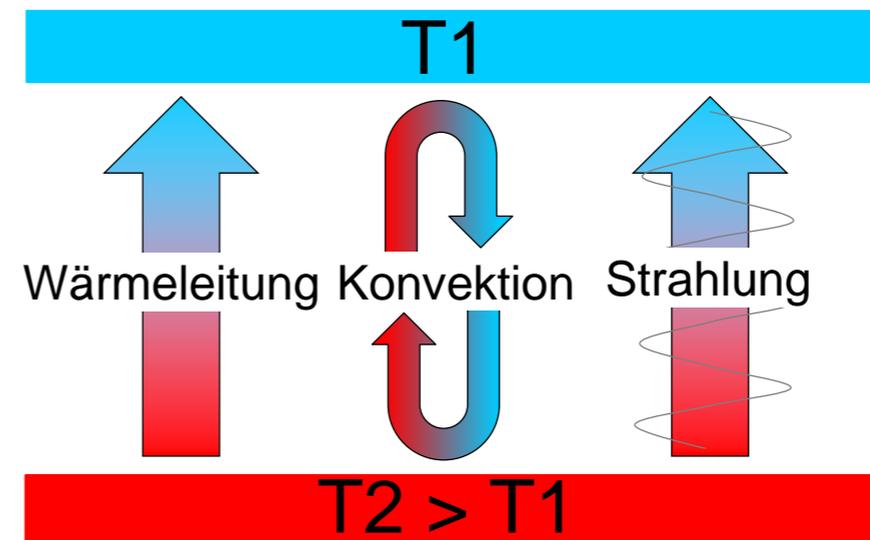
WÄRMEDÄMMUNG



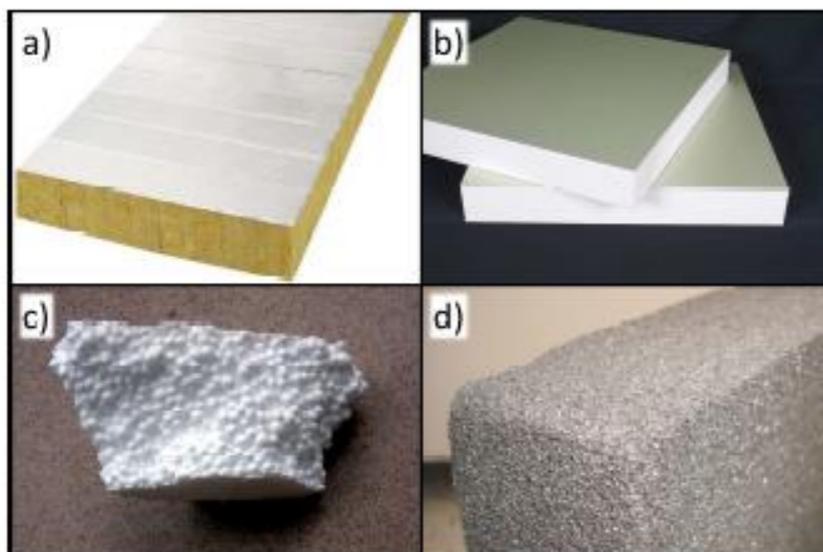
ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Wärmetransportmechanismen:

- Wärmeleitung
- Konvektion
- Strahlung

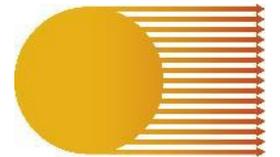


Konventionelle Dämmmaterialien reduzieren den Wärmetransport erheblich



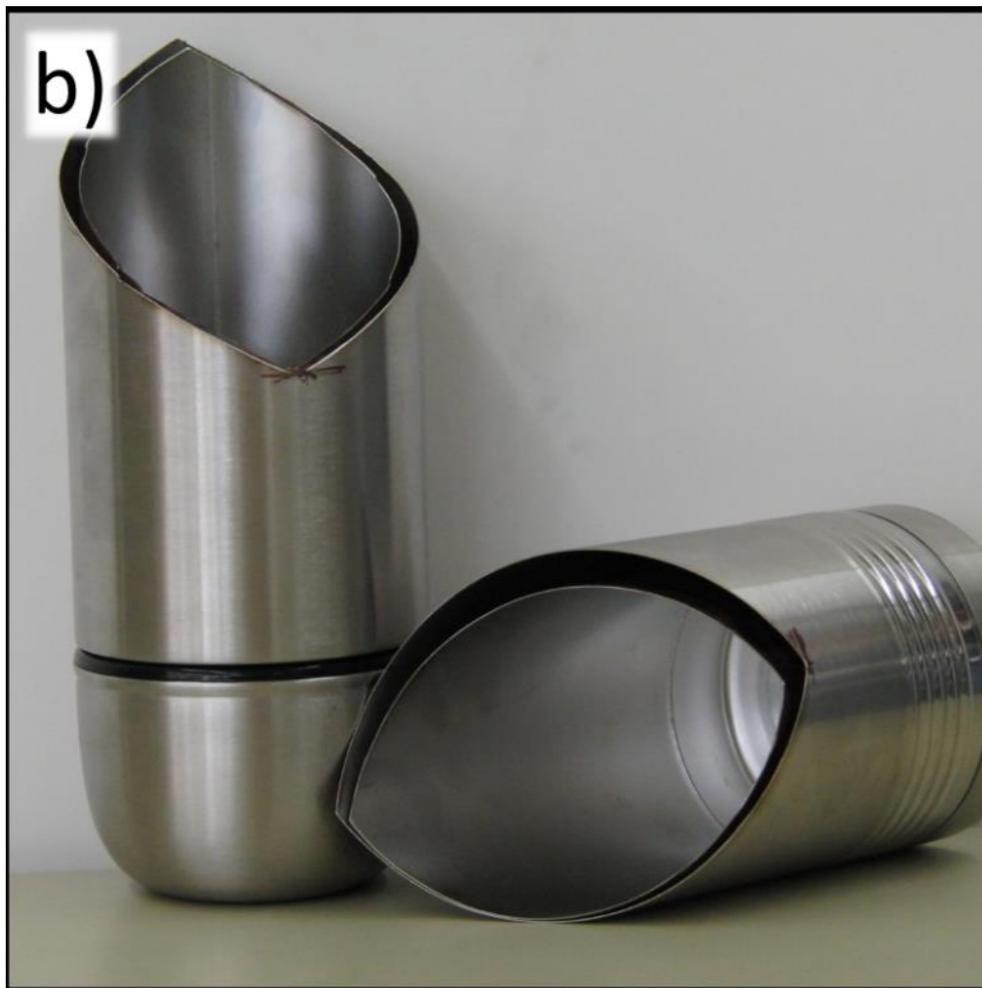
Material		Wärmeleitfähigkeit (20 °C)
a	Stein- / Glaswolle	0.032 ... 0.045 W/(m*K)
b	Polyurethan	0.024 ... 0.035 W/(m*K)
c	Polystyrol	0.030 ... 0.050 W/(m*K)
d	Foamglas	0.040 ... 0.050 W/(m*K)

VAKUUMDÄMMUNG („THERMOSKANNE“)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



- Doppelwandiger Behälter
- Evakuierung des Wandzwischenraumes auf unter 10^{-3} mbar
- Keine Konvektion, keine Gaswärmeleitung

$$\dot{Q} = \frac{A \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}$$

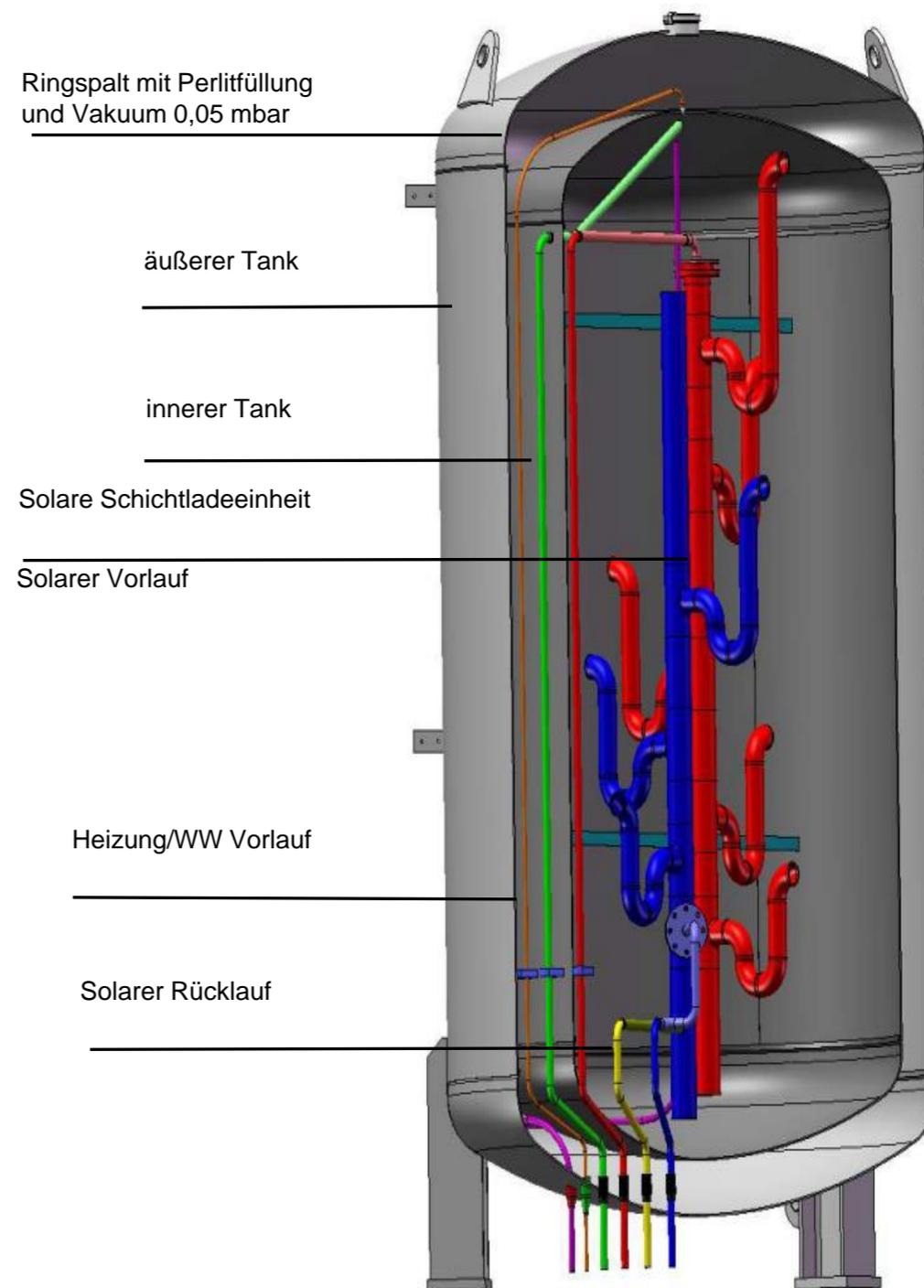
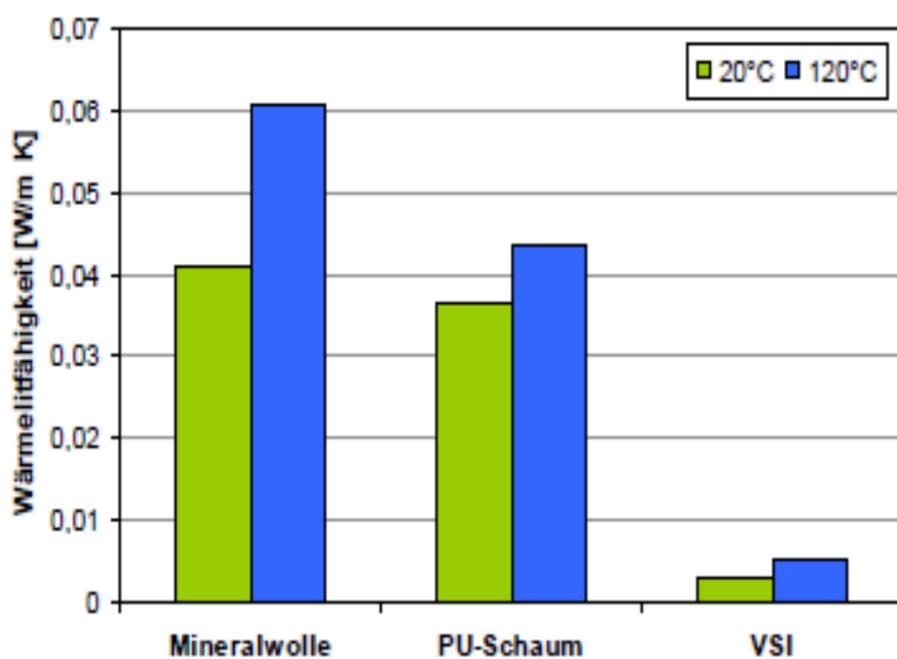
- **Nur Strahlungswärmetransport** (ungehinderter Strahlungsaustausch, abhängig von Emissionsgrad der Wände ε und unabhängig vom Wandabstand d)
- Vorteil gegenüber konventioneller Dämmung nur bei kleinen Abständen

VSI-SPEICHER

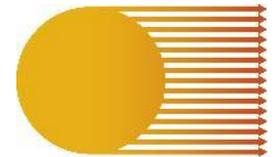
Heißwasserspeicher mit minimierten Wärmeverlusten

Doppelwandiger Stahlbehälter

- Zwischenraum mit mikroporöser Pulverisolation
- evakuiert auf 0,01 bis 0,05 mbar
- Konvektion und Gaswärmeleitung unterdrückt
- Wärmetransport durch Strahlung reduziert durch opake Füllmaterial (Perlit)
- Festkörperwärmeleitung gering (hochporöse Struktur des Perlit)
- $\lambda_{VSI} \sim 1/5 \lambda_{PUR}$



TEMPERATURSCHICHTUNG

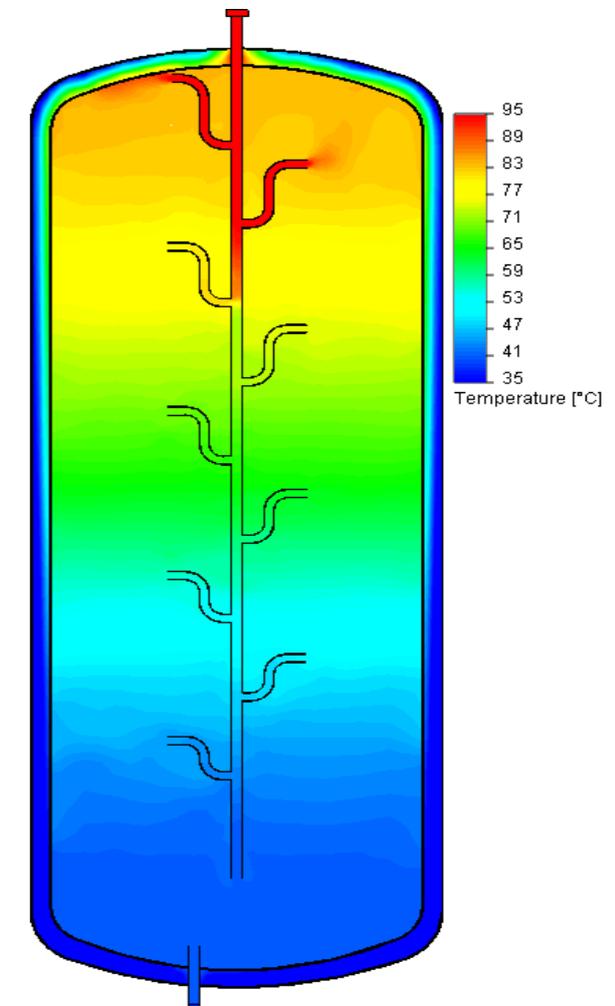


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Temperaturschichtung hat Betriebsvorteile - Idealfall:
Entladen des gesamte Wärmeinhalts auf hohem
Temperaturniveau

Betriebsvorteile (höhere Effizienz) bei Wärmebereitstellung
mit: Solarkollektoren, Wärmepumpen oder
Brennwertgeräten



TEMPERATURSCHICHTUNG

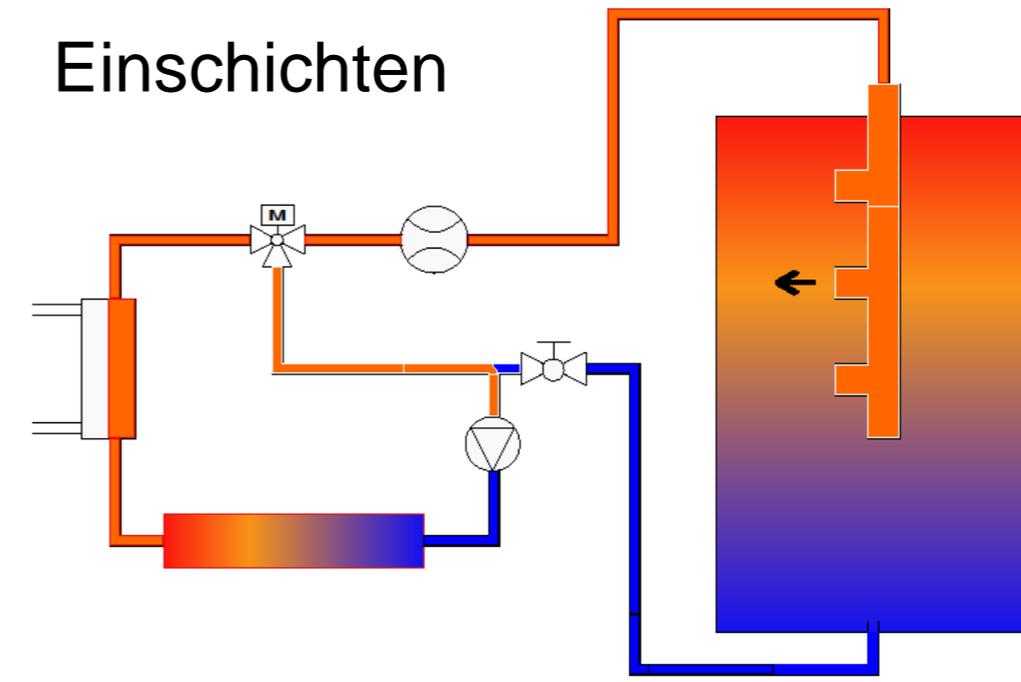
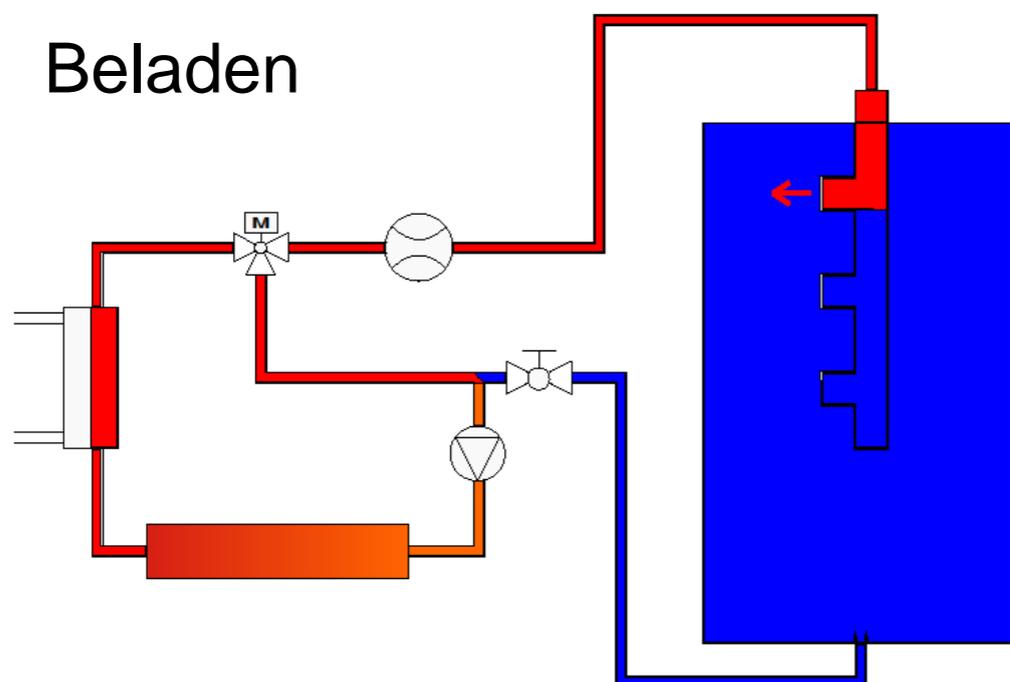


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

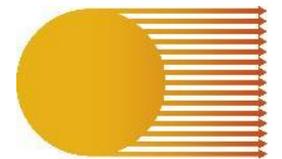
Schichtung:

1. Erzeugen einer Temperaturschichtung beim Beladen
2. Einleitung des Fluids in die Schicht derselben Temperatur



- innenliegende Rohr-Wärmeübertrager eignen sich nur begrenzt zum Aufbau einer ausgeprägten Schichtung
- Einschichten ist damit nicht möglich

WIRTSCHAFTLICHKEIT

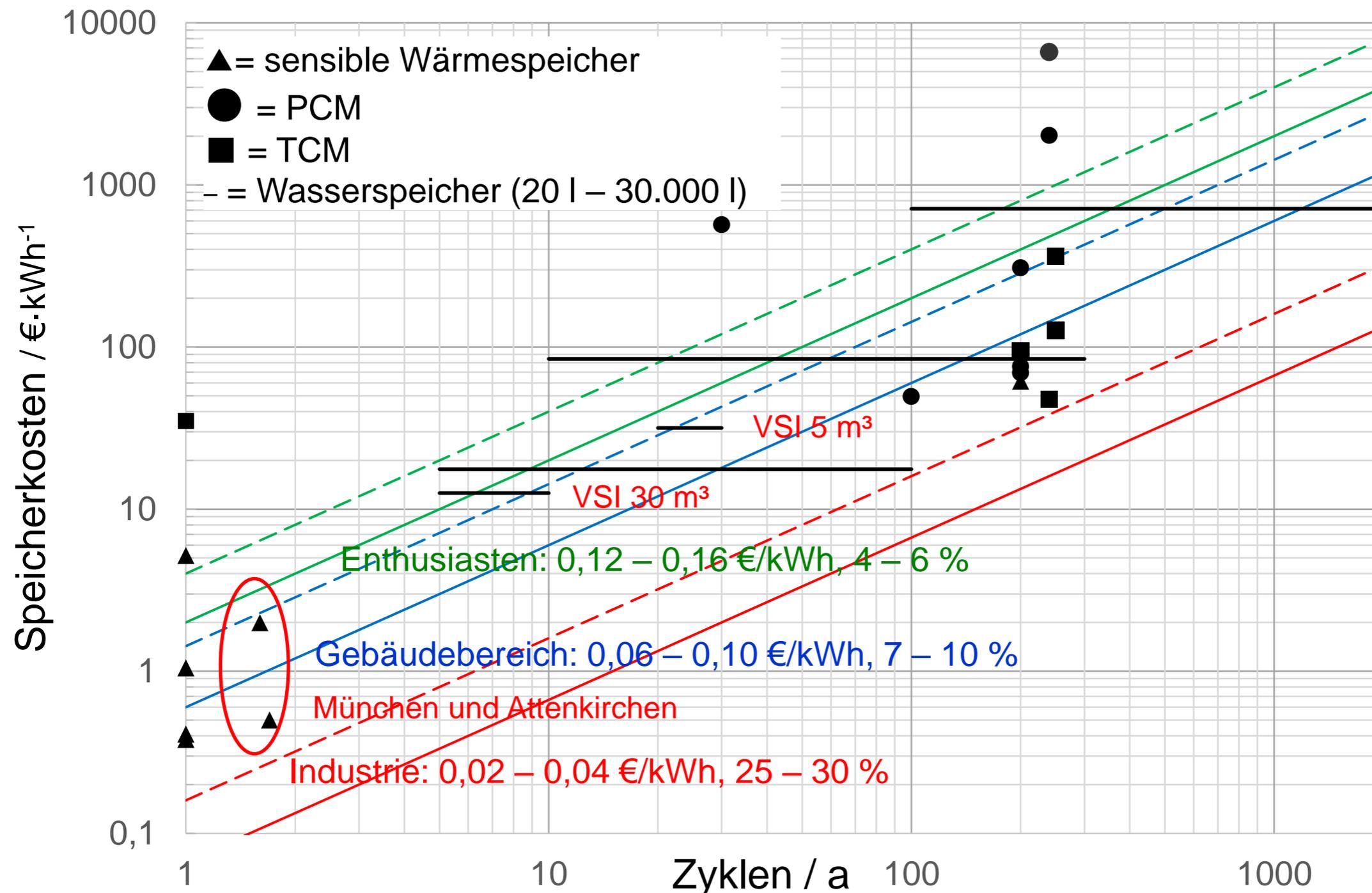


ZAE BAYERN

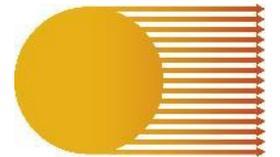
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Speicherkosten = Investition / Speicherkapazität

Investition = Behälter + Speichermaterial + Belade-/Entladeeinrichtung



ZUSAMMENFASSUNG



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- Wärmespeicherung ist zwingend zur Anpassung von Angebot und Bedarf
- Sensible Speicher dominieren heute den Markt für Kurz-, Mittel- und Langzeitspeicher insbesondere aus wirtschaftlichen Gründen
- Langzeitspeicher benötigen eine hocheffiziente Wärmedämmung oder müssen sehr groß gebaut werden
- Als Untergrundwärmespeicher kommen Lösungen wie Aquiferspeicher, Erdwärmesonden-Speicher und eingegrabene Tankspeicher in Frage – eine Sonderform ist der Hybridspeicher
- Die Wirtschaftlichkeit orientiert sich am konventionellen Wärmepreis
- Die Speichertypen „München“ und „Attenkirchen“ können im Gebäudebereich wirtschaftlich eingesetzt werden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

TEMPERATURSCHICHTUNG



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Schichtung bei großen saisonalen Speichern:

Frühjahr: gezieltes Aufheizen des oberen Puffervolumens

in kurzer Zeit auf 60 °C
Netzvorlauftemperatur

dann Speicher von oben
nach unten durchladen

