



FACT SHEET SPEICHERTECHNOLOGIEN

Sensibler Wärmespeicher im Niedertemperaturbereich (bis 150 °C)

ALLGEMEINE BESCHREIBUNG:

Form der Energieaufnahme und -abgabe: Wärme zu Wärme

Kurzbeschreibung des Speicherprozesses: Beim Laden des Speichers wird die Bewegungsenergie der Moleküle des Speichermaterials erhöht, was sich in einer Temperaturerhöhung des Speicherinhaltes äußert, jedoch findet kein Phasenübergang (z.B. fest-flüssig) statt. Geeignet sind ungiftige und preiswerte Materialien mit einer hohen Wärmekapazität c in $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, wie Wasser mit $c=4,2 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, wo bereits eine geringe Temperaturerhöhung einer großen gespeicherten Wärmemenge entspricht. Bei Wasser sind es $4,2 \text{ kJ}$ ($= 1,17 \text{ Wh}$) pro 1 Liter Wasser und 1 Grad Temperaturerhöhung. Bei einem 300 Liter Wasserspeicher und 70 Grad Temperaturerhöhung (z.B. von 20 auf 90°C) sind das 24,5 kWh gespeicherte Wärmenergie bei 90°C. Beim Entladen wird der Speicherinhalt abgekühlt. Da heißes Wasser leichter als kaltes Wasser ist, bildet sich durch Auftriebskräfte eine thermische Schichtung im Speicher. Oben ist die höchste Temperatur entnehmbar, unten ist der Speicher kälter. Diese Schichtung sollte beim Laden und Entladen nicht durch Durchmischung zerstört werden, da sich ansonsten im ganzen Speicher eine tiefere Mitteltemperatur einstellt, die oft nicht ohne zusätzliche Nachheizung genutzt werden kann.

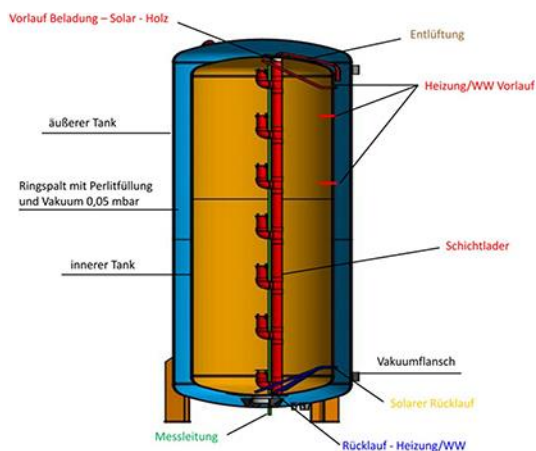


Abbildung 1: Am ZAE Bayern (BMU gefördertes Projekt 0325964 A) entwickelter bivalenter sensibler VSI-Wasserpufferspeicher (2-50 m³, vakuumpufferspeicher.de) der Fa. Hummelsberger mit patentiertem Schichtlader und externen Wärmetauschern (nicht abgebildet).

Speichersystem: Das Laden erfolgt gewöhnlich indirekt durch Wärmeleitung über meist metallische und damit gut Wärmeleitende Wärmetauscher im Speicher, wobei das Speichermaterial, hydraulisch vom Lastkreis, wo Wärme benötigt und dem Wärme erzeugungskreis, der Wärme bereitstellt, getrennt ist, siehe Abb. 2. Die Wärmeübertragung kann aber auch außerhalb erfolgen. Es können auch mehrere Lade- und Entladekreise mit dem Speicher verbunden sein (multivalenter Speicher), beispielsweise Ladung durch Solaranlage und konventionelle Nachheizung. Speicher für Trink- oder Brauchwarmwasser im Wohnbereich sind aus hygienischen Gründen meist aus Edelstahl ausgeführt. Da Edelstahlspeicher teuer sind, ist es zweckmäßig, größere Volumina heißes Wasser in gewöhnlichen Stahlbehältern, sogenannten Pufferspeichern, direkt zu speichern und das häusliche Brauchwarmwasser über einen Wärmetauscher hydraulisch getrennt bei Bedarf über den Pufferspeicher zu erwärmen, vergleichbar einem elektrischen Durchlauferhitzer. heißem Wasser im obersten Bereich des Speichers auf z.B. 80°C vermischt wird.

Oder es wird zusätzlich ein kleinerer Edelstahlspeicher betrieben, der durch den Pufferspeicher indirekt be- und entladen wird (Zweispesichieranlage, Abb. 2). Hierzu ist aber eine aufwendigere Verschaltung und Regelung nötig. Zur Bewahrung der Schichtung im Pufferspeicher bei der direkten Einströmung von heißem Wasser, z.B. aus einer Solaranlage, sind Schichtladeeinrichtungen vorteilhaft, siehe Abb. 1. Diese sorgen zum einen für langsamere Einströmungsgeschwindigkeiten und zum anderen dafür, dass warmes Wasser genau in der Höhe eingespeist wird, wo die entsprechende Temperatur im Speicher vorherrscht. Damit wird z.B. verhindert, dass 70 °C heißes Wasser aus der Solaranlage mit 90°C heißem Wasser im obersten Bereich des Speichers auf z.B. 80°C vermischt wird.

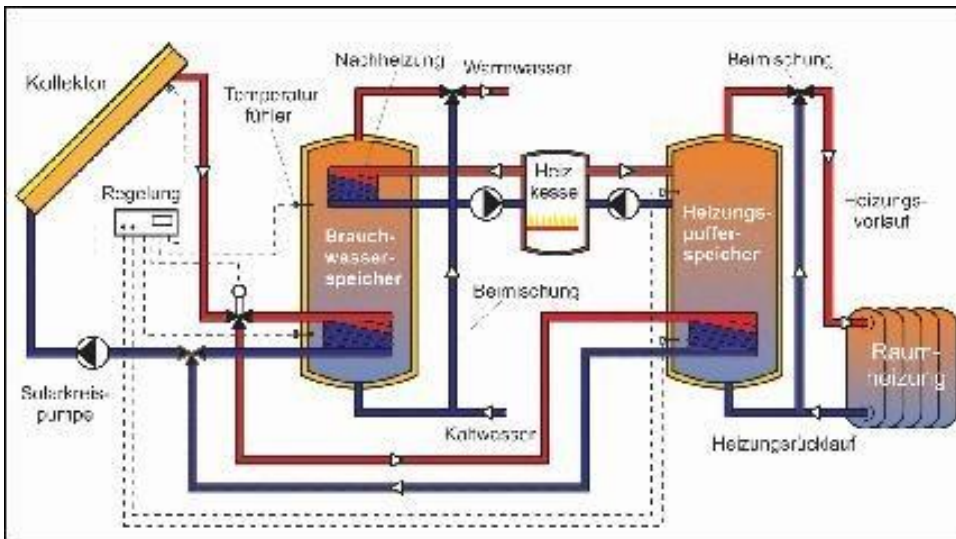


Abbildung 2: Bivalente sensible Zweispeicheranlage im Wohnbereich. Der Brauchwasserspeicher ist aus Edelstahl (typisch 200 l) und kleiner als der Pufferspeicher (typisch 1000 l). Beide Speicher werden indirekt beladen über Wärmetauscher, die durch metallische Rohrschlangen im Speicher-inneren realisiert sind. Grafik: Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik (ITW) der Universität Stuttgart.

Zur Erhaltung der Speichertemperatur sind sensible Speicher wärmege-dämmt, entweder konventionell, z.B. bei kleinen (500 l) Speichern im EFH durch 10-20 cm PU oder Mineralwolle, oder bei sehr großen saisonalen Nahwärmespeichern mit mehreren Tausend m³ Volumen, die eine ganze Siedlung versorgen können, siehe Abb. 3, durch eine ca. 1 m dicke Schicht aus geeignetem Schüttmaterial. Typische Auskühlraten im EFH-Bereich liegen bei einigen Grad pro Tag. Diese sind umso niedriger, je größer die Wärmekapazität des Speichermediums und je kleiner das Oberflächen-zu-Volumenverhältnis sowie der Dämmwert (Wärmeleitfähigkeit durch Dicke der Dämmung) ist. Am besten dämmen daher große und Vakuum-superisolierte (VSI-) Speicher (vakuumpufferspeicher.de), siehe Abb. 1, die Temperatur fällt ca. 5mal langsamer ab als bei konventionell gedämmten Speichern. Bei der konventionellen Dämmung kann Alterung auftreten, auf gute Montage und Vermeidung von Durchfeuchtung ist zu achten.



Abbildung 3: Vom ZAE Bayern entwickelter (BMU gefördertes Projekt 0329607G) saisonaler Nahwärmespeicher (6000 m³). Ladung durch Solarwärme mit 48% Deckungsgrad (3000 m² Kollektoren).

Fokus auf Leistungs- oder Energiebereitstellung: Energiebereitstellung

Geeignete Anwendungsgebiete: mit Wasser bis 100°C (150°C bei Druckbeaufschlagung) Mit unterschiedlichem Speichermedium (z.B. Thermoöl bis 400°C, Dampf) universell geeignet

Stand der Entwicklung / kommerziell verfügbar: Fertige Produkte, kommerziell verfügbar (TRL 9)



RELEVANTE TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN:

Spezifische Energiespeicherdichte	kWh/m ³	kWh/t
	60-100	60-100
Spezifische Leistungsdichte	kW/m ³	kW/t
	30-500	60-500
typische / realisierbare Speichergröße	kWh _{out}	kW _{out}
	30-1.000000	15-1000
Speicherwirkungsgrad in %	50-90	
Speicherdauer	Std. – Monate	
Reaktionszeit	Minuten	
Lebensdauer (maximal)	Zyklen	Jahre
	20-4000	-
Verluste pro Zeit in %	0,5 – 2,5 pro Tag	

Erläuterungen:

Die technischen Spezifikationen sind stark abhängig von den Randbedingungen der tatsächlichen Anwendung. Auch aufgrund der sehr großen Bandbreite von sensiblen Speichern (wenige Liter bis 10000 m³) sind die Kennzahlen stark streuend. Die jeweils erste Zahl des angegebenen Bereichs entspricht einem typischen Wasserspeicher im EFH mit 500 l Volumen und einer Entladepumpe mit 500 l/Stunde. Die jeweils zweite Zahl des angegebenen Bereichs entspricht einem saisonalen Großspeicher mit 10000 m³ Wasservolumen und 5 m³/h Entladepumpleistung. Es ist 1 Zyklus pro 2 Tage (EFH) bzw. 1 Zyklus pro Jahr (saisonalen Speicher) angenommen. Beide Speicher sind als drucklose Wasserspeicher angenommen, daher maximale Speichertemperatur 100°C. Nutzbare Temperaturdifferenz 60-100 K. Verluste pro Zeit hängen von Dämmstärke, Wärmeleitfähigkeit und Oberflächen-zu-Volumenverhältnis ab, typisch sind etwa 2 K/Tag beim EFH und 10 K/Monat beim saisonalen Speicher.

ÖKONOMISCHE SPEZIFIKATIONEN:

Investitionskosten pro kW: 1 - 15 €
Investitionskosten pro kWh: 0,4 – 10 €

Erläuterungen:

Aufgrund der zahlreichen und stark unterschiedlichen technischen Ausführungen der Speichersysteme und im Hinblick auf die Anforderungen der verschiedenen Anwendungsbereiche ergibt sich eine starke Schwankung bei den Kosten bezogen auf Leistung und Energie. Die günstigsten sensiblen Wärmespeicher sind derzeit in Dänemark zur saisonalen Speicherung im Betrieb. Die extrem einfache Ausführung sehr großer Speicher kann die Kosten auf 0,35 €/kWh drücken. Die höchsten Preise werden erreicht, wenn nicht mehr Wasser als Speichermedium eingesetzt werden kann und wenn hoch-effiziente Dämmtechnologien eingesetzt werden.

Weitere Informationen unter:

- ZAE Bayern, <http://www.zae-bayern.de>
- Fraunhofer ISE, <https://www.ise.fraunhofer.de/de/front-page>