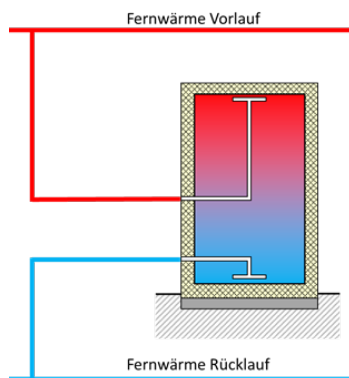
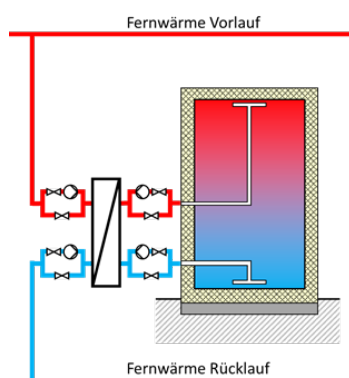


Systemintegration

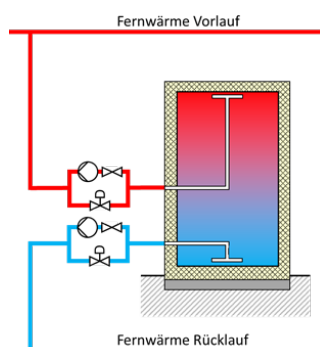
Faktenblatt 7: Wärmespeicher in thermischen Netzen



Schema direkte Einbindung



Schema Einbindung über Wärmeübertrager



Schema indirekte Einbindung über Pumpen und Ventile

Ein Wärmespeicher ist eine passive Komponente, die Wärme nicht selbst erzeugt, sondern diese nur bereitstellen kann, wenn ihr Ladezustand dies zulässt bzw. wenn zuvor genügend Wärme eingespeichert wurde. Massgeblich für eine hohe Speichereffizienz bzw. für einen hohen Nutzen des Speichers im angeschlossenen Versorgungssystem, ist sowohl die hydraulische als auch die regelungstechnische Systemintegration. Selbst der beste Speicher hat nur einen geringen Wert für das Versorgungssystem, wenn sein Potenzial nicht ausgenutzt wird. Folgende Aspekte sind in diesem Zusammenhang von Belang:

- **Druckniveau und Systemtrennung**
Je nach Druckniveaus im Speicher und im angeschlossenen Versorgungssystem stehen grundsätzlich drei hydraulische Einbindevarianten zur Verfügung (links dargestellt).

Bedruckte Speicher werden in der Regel so konstruiert, dass sie auf dem Druckniveau des angeschlossenen Systems betrieben und somit direkt eingebunden werden können (Schema direkte Einbindung). Ein sehr grosser «druckloser Speicher» kann im untersten Volumen allein durch die Höhe der Wassersäule einen hydrostatischen Druck von mehreren bar erreichen. Ist dieser Druck hoch genug, kann der Speicher auch zur Druckhaltung für das Wärmenetz und zur Aufnahme des Expansionsvolumens genutzt werden. Die Be- und Entladung kann erfolgen, indem wie bei einer hydraulischen Weiche automatisch auftretende Differenzvolumenströme in den Speicher ein- oder ausgeleitet werden. Alternativ kann die Be- und Entladung aktiv über zusätzliche Pumpen und Ventile erfolgen.

Liegt der hydrostatische Druck des Speichers unterhalb des Ruhedrucks des Wärmenetzes, muss bei drucklosen Speichern in der Regel eine Systemtrennung erfolgen, um den Speicher hydraulisch vom höheren Systemdruck im Wärmenetz zu trennen. Dies kann durch einen Wärmeübertrager erfolgen, was insbesondere bei hohen Be- oder Entladeleistungen aufwändig und teuer werden kann. Im Normalfall sorgt bei grossen Speichern ein aufeinander abgestimmtes System aus Pumpen, Druckregel- und Absperrventilen für eine kontinuierliche Trennung der Druckniveaus während des Betriebs und im Stillstand (Schema indirekte Einbindung über Pumpen und Ventile).

- **Temperaturen und Anzahl Be- / Entladeebenen**
Wenn auf der Quell- und/oder der Entnahmeseite des Speichers variable oder unterschiedliche Temperaturniveaus bereitgestellt oder gefordert werden, z.B. durch mehrere Wärmeerzeuger, kann eine Unterteilung des Speichervolumens in unterschiedliche Temperaturbereiche sinnvoll sein. Dies kann durch zusätzliche Be- und Entladeebenen mit entsprechenden Speichereinbauten und Anbindeleitungen erfolgen. Wenn ein Speicher deutlich über die Nutztemperatur beladen wird, können Beimischungen für die Entladung auf bestimmte Zieltemperaturen vorgesehen werden.

Wärmekapazität

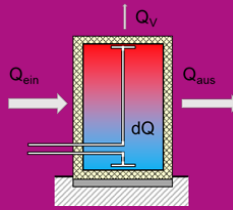
$$Q_{TES} = V_{TES} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{TES,max} - T_{TES,min})$$

Speichereffizienz

$$\eta_{TES} = \frac{Q_{aus} + dQ}{Q_{ein}}$$

Speicher-Zykluszahl

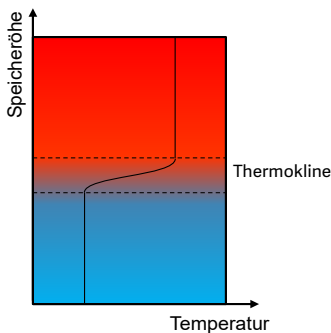
$$N_{Zyk} = \frac{Q_{aus}}{Q_{TES}}$$



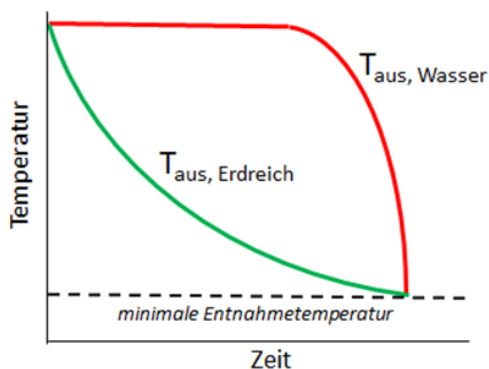
Wärmebilanz

$$Q_{aus} - Q_{ein} = -Q_v + dQ$$

V_{TES}	Volumen des Speichers
ρ	Dichte Medium (Wasser: 998 kg/m ³)
c_p	Wärmekapazität (Wasser: 4.19 kJ/[kgK])
$T_{TES,max/min}$	maximale/minimale Temperatur im Speicher
$Q_{ein/aus}$	ein-/ausgespeicherte Wärme
dQ	Änderung des Energieinhalts im Speicher



Temperatur im Schichtspeicher mit Thermokline



Exemplarischer Verlauf der Entnahmetemperaturen bei den Speichermedien Wasser und Erdreich

Betriebsstrategie

Eine etablierte Anwendung für Wärmespeicher ist, z.B. die vollständige Speicherbeladung während der Nacht zur Deckung morgendlicher Lastspitzen. Ausserdem können die Laufzeiten der Wärmeerzeuger optimiert und somit Taktzyklen verringert werden. Jedoch ist die Entscheidung, ob aktuell vorhandener Wärmebedarf direkt von einem bestimmten Erzeuger oder besser aus dem Speicher gedeckt werden sollte, häufig nicht trivial. Vor allem dann, wenn mehrere Energieerzeuger im System vorhanden sind. Ev. darf der Anteil fossiler Energieträgern eine bestimmte Zielmarke nicht überschreiten. Ebenfalls sollten effiziente System-Betriebsstrategien bzw. Einsatzplanungen von Energieerzeugern in grösseren Wärmenetzen betriebswirtschaftliche Belange wie die kostengünstige Wärme- oder gekoppelte Wärme- und Stromerzeugung in besonders attraktiven Zeiträumen berücksichtigen. In all diesen Szenarien bietet ein Speicher die Flexibilität, um die Erzeugung vom Bedarf zeitlich zu entkoppeln. Welche Betriebsstrategie für das Gesamtsystem langfristig die technisch und wirtschaftlich effizienteste Lösung ist, lässt sich jedoch oft nur durch aufwändige Szenarien-Betrachtungen oder Systemsimulationen beantworten.

Thermische Schichtung bei Wasserspeichern

Für eine effiziente Systemintegration von Wärmespeichern ist eine gute thermische Schichtung von grosser Bedeutung. Sie wird bei Wasserspeichern durch die Dichteunterschiede von Wasser bei unterschiedlichen Temperaturen ermöglicht. In der Praxis verbleibt heisses Wasser mit einer geringeren Dichte im oberen Teil des Speichers. Bei entsprechendem Schichtungsvermögen vermischt es sich nicht oder nur geringfügig mit dem kälteren Wasser im unteren Teil des Speichers, welches eine höhere Dichte aufweist. Weil heisses Wasser bei der Beladung in den oberen Bereich des Speichers, kalter Rücklauf aus der Verteilung aber in den unteren Teil des Speichers eingeleitet wird, bildet sich im Betrieb eine sogenannte Trennschicht (Thermokline, siehe Grafik links). Diese verschiebt sich während den Be- und Entladebetriebsphasen im Speicher nach unten, bzw. oben. Die thermische Schichtung kann insbesondere durch fehlende Beruhigung von Eintrittsströmungen negativ beeinflusst werden, weil zu hohe Eintrittsgeschwindigkeiten zu Verwirbelungen innerhalb des Speichers führen. Dies ist unbedingt zu vermeiden, da es sowohl die nutzbare Speicherkapazität als auch die Effizienz angeschlossener Erzeuger, insbesondere von Wärmepumpen oder Solarkollektoren, deutlich reduziert.

Temperaturverhalten bei der Wärmeentnahme

Je nach Speichermedium treten unterschiedliche Verläufe der Entnahmetemperaturen bei der Speicherentladung auf (Grafik links).

- Bei Wasser als Speichermedium und guter thermischer Schichtung sinken die Temperaturen während der Entladung über lange Zeiten nicht oder nur geringfügig (rote Linie in der Grafik). Erst wenn der Speicher nahezu entladen ist, fallen die Temperaturen ab.
- Bei Erdreich oder Kies-Wasser-Gemischen als Speichermedium fallen die Entnahmetemperaturen durch den zusätzlichen Wärmeübergang vom Feststoffanteil an das Wärmeträgerfluid von Beginn an kontinuierlich ab (grüne Linie).

Relevante Quellen / weiterführende Informationen

- Haller M., Ruesch F.: Saisonale Wärmespeicher – Stand der Technik und Ausblick, Fokusstudie im Auftrag des Forums Energiespeicher Schweiz, Institut für Solartechnik SPF, OST-Ostschweizer Fachhochschule Campus Rapperswil, 2019
- Pauschinger T., Schmidt T., Sørensen P.A., Snijders A., Djebbar R., Boulter R., Thornton J.: Design Aspects for Large-Scale Aquifer and Pit Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling, [IEA DHC Annex XII Report](#), 2020
- [Saisonalspeicher.de](#) - Das Wissensportal für die saisonale Wärmespeicherung, Solites, Stuttgart (DE), 2022

Kontakt

Florian Ruesch
OST – Ostschweizer Fachhochschule,
Campus Rapperswil-Jona
Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil
+41 058 257 48 31, florian.ruesch@ost.ch