

Energiespeicher – der Schlüssel zur Energiewende

Dampf als Energieträger – aber wie lässt sich Dampf wirtschaftlich speichern?

Energiespeicher im Allgemeinen werden im Themenkomplex der Energiewende lebhaft diskutiert und jedem wird klar, dass die Diskrepanz zwischen Energieerzeugung und Energieverbrauch nur durch wirtschaftliche Speicherung gelöst werden kann – ob als Warmwasser- oder Kältepufferspeicher oder in der öffentlich politischen Diskussion als Stromspeicher in Form von Großbatterieanlagen oder Pumpspeicherkraftwerken. Energiespeicher sind einer der Schlüssel für das Gelingen der Energiewende. Die öffentliche Diskussion fokussiert sich hierbei vornehmlich auf die Speicherung der elektrischen Energie. Jedoch gerade der Bereich der Wärmeenergie beinhaltet insbesondere im industriellen Bereich noch erheblich Effizienzpotentiale, welche durch wirtschaftliche Speicherlösungen erschlossen werden können. Bei Heiz- und Prozesswärme oder Klima- und Prozesskälte sind bedarfsgerechte Speicher heute Stand der Technik. Die Größenbestimmung derartiger Speicher stellt in der Regel keine großen planerischen Herausforderungen dar. Doch wie sieht es mit der Energieform Satttdampf aus? – Lässt sich diese Energieform auch wirtschaftlich speichern? – Welche Potentiale und vor allem welche Technologien können hier eingesetzt werden? Der nachfolgende Fachartikel versucht hier das Thema Dampfspeicher einer breiteren Öffentlichkeit näher zu bringen und zeigt auch, dass die Speicherung von Dampf schon länger bekannt ist und praktiziert wird.



Dipl. Ing.(Fh)
Christian Zeisberger
Leiter
der Projektentwicklung,
Julius Gaiser
GmbH & Co. KG

M. Eng. Martin Gauß
Projektverantwortlicher,
Julius Gaiser
GmbH & Co. KG

des 18. Jahrhunderts weit verbreitet. Heute hat sich Dampf weitgehend aus der Gebäudeheizung verabschiedet. – Hier sind moderne Niedertemperatursysteme auf Basis von Warmwasserheizungen oder Strahlungsdirektheizung in Industriebetrieben etabliert.

Aber gerade im Bereich prozesswärmetechnischer Anwendungen hat Dampf nach wie vor seine Daseinsberechtigung und besticht mit einigen technischen Vorteilen:

- Wirtschaftliches Mittel zur Übertragung großer Energiemengen,
- Prozesstemperaturen von $> 100^{\circ}\text{C}$ sind durch Dampf relativ einfach zu erzielen,
- Dampf überträgt seine Energie innerhalb eines konstanten Temperaturbereichs durch die Ausnutzung der Kondensationsenergie,
- Dampf besteht aus Wasser, ist daher überall auf der Welt verhältnismäßig einfach herzustellen und verfügt über technische

Vorteile wie Nichtbrennbarkeit, Umweltverträglichkeit.

Es könnten hier noch weitere Vorteile genannt werden. Um jedoch auf das Thema „Dampfspeicherung“ näher eingehen zu können sollen im Weiteren ein paar technische Daten zusammengestellt werden. An Hand der nachfolgenden Tabelle lässt sich erkennen, dass Dampf (hier Satttdampf) mit steigendem Überdruck einen höheren Energieinhalt besitzt, gleichzeitig nimmt mit steigendem Druck seine Dichte zu und sein spez. Volumen sinkt.

Gerade die Betrachtung des spez. Volumens von Satttdampf zeigt recht schnell, dass eine einfache Speicherung von Dampfenergie in Form eines Volumenspeichers, wie dies in der Warmwassertechnik üblich ist, nicht sehr wirtschaftlich sein kann. Um ein Kilogramm Satttdampf bei beispielsweise 5 bar

Dampf als Energieträger und seine Speicherfähigkeit

Dampf, vornehmlich Satttdampf, ist als Energieträger für Heizungs- und prozess-technische Anwendungen bereits seit Mitte

Tabelle 1: Zustandsgrößen von Satttdampf.

Satttdampf- überdruck	Satttdampf- temperatur	Enthalpie Wasser h'	Enthalpie Dampf h''	Dichte Dampf ρ''	Volumen Dampf v''
[bar]	[°C]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/m ³]	[m ³ /kg]
1,00	120,2	505,0	2706,0	1,130	0,885
5,00	158,8	670,0	2755,0	3,165	0,316
10,00	184,1	781,0	2780,0	5,637	0,177
20,00	214,9	920,0	2798,0	10,537	0,095



in einem Druckbehälter zu speichern, wäre ein Volumen von 316 Litern erforderlich. – Die Volumenspeicherung stellt hier sicherlich keine wirtschaftliche Speicherlösung dar.

Beachtenswert, gerade im Zusammenhang mit der nachfolgend beschriebenen Dampfspeicherung, ist jedoch auch die Zunahme des Energieinhaltes des Sattdampfcondensates mit steigendem Sattdampfdruck. D.h. Wasser unter einem Überdruck von 20 bar kann bis zu 920 kJ/Kg Energieinhalt aufnehmen, Wasser bei lediglich 5 bar Überdruck nur 670 kJ/kg. Dieser Zusammenhang ist in der Dampftechnik mit der Bildung von Nachdampf bei Entspannung von Siedekondensat bekannt.

Beispielrechnung für Speichergößen

Betrachtet man nachfolgendes Beispiel wird einem schnell klar, dass die Zusammenhänge der Dampfspeicherung völlig anders zu betrachten sind als bei Speicherung von Energie in Form von flüssigem Wasser in Warmwasserspeichern oder Kaltwasserspeichern.

Um beispielsweise 100 kWh Wärmeenergie in einem Warmwasserpufferspeicher einzulagern, der mit max. 90 °C Speichertemperatur geladen wird und anschließend bis auf 65°C entladen wird, ist eine Speichergöße von etwa 3.450 Litern, also 3,45 m³ erforderlich.

Möchte man 100 kWh Sattdampf bei 5 bar in einem Speicher in reiner Sattdampfform einlagern, wäre ein Volumen von etwa 41,6 m³, also 41.600 Litern erforderlich. Dies bedeutet im Vergleich zum obigen Warmwasserspeicher ein um den Faktor 11,6 größeres Speichervolumen. Diese Betrachtung spiegelt sicherlich nicht den höheren Exergieinhalt des Sattdampfes bei 5 bar(ü) und sein damit verbundenes höheres Temperaturpotential wider, sondern soll lediglich bei reiner Betrachtung der Energieinhalte beider Systeme den Unterschied im Speichervolumen darstellen.

Gleichdruckspeicher – Gefällespeicher

Sattdampf wird heute vornehmlich für Prozessanwendungen verwendet. Hier sind produktionsbedingt häufig sehr kurzfristige Lastschwankungen im Dampfverbrauch vorgegeben. Die Erzeugung von Dampf mittels fossil oder elektrischer befeuerten Dampfkesseln liefert in aller Regel jedoch einen kontinuierlichen Dampfausstoß. Kurzfristige Lastspitzen würden hier sehr groß dimensionierte Erzeuger erfordern, die häufig im unwirtschaftlichen Teillast- oder gar Stand-by-Zustand betrieben werden müssten. Gerade hier ist der Einsatz von Dampfspeichern ein

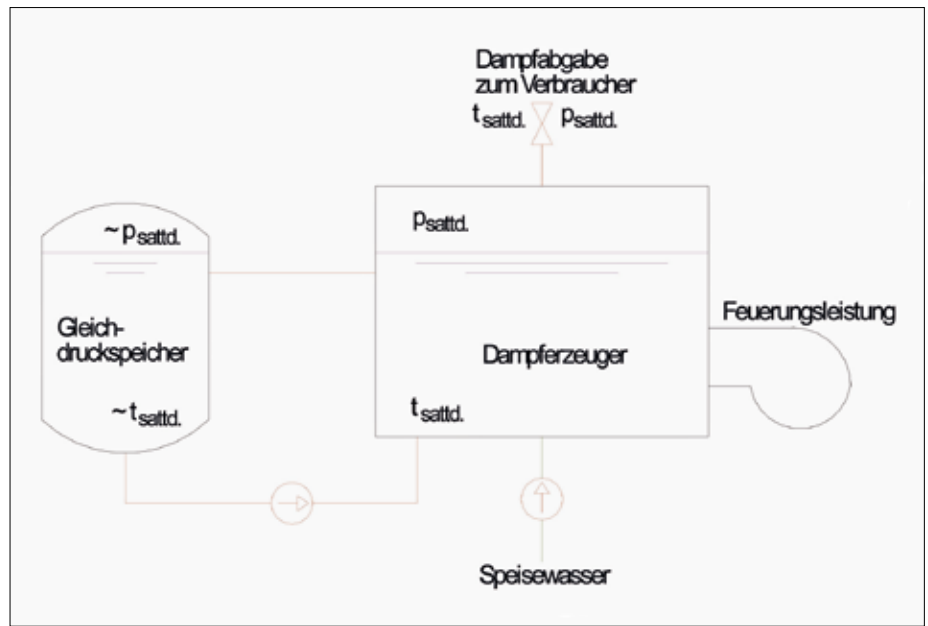


Abbildung 1: Gleichdruckspeicher.

probates Mittel zur Auslegung wirtschaftlicher und prozessstabiler Systeme.

Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Gleichdruckspeichers. Dieser Speichertyp stellt letztendlich eine Vergrößerung des Wasserraumes des eigentlichen Dampfzeugers dar. Beim Beladen des Gleichdruckspeichers wird Kesselwasser bei t_s dem Speicher zugeführt, bei Entladung entnommen. Damit kann die Feuerungsleistung des Kessels voll

der Verdampfungsleistung angerechnet werden und die Dampfabgabemenge damit kurzfristig gesteigert werden.

Abbildung 2 stellt den prinzipiellen Aufbau eines Gefällespeichers dar. Dieser Speichertyp ist auch unter dem Namen Ruths-Speicher (benannt nach dessen Erfinder, dem schwedischen Ing. K. Ruths [1879 bis 1935]) bekannt. Diese Art von Speicher nutzt die oben bereits erläuterten Unterschiede der En-

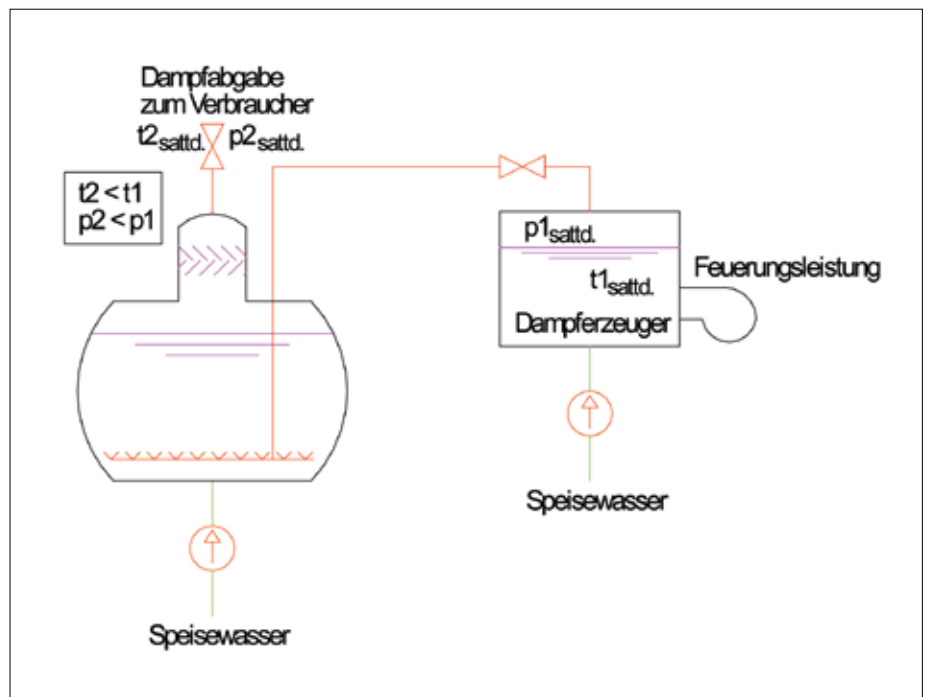


Abbildung 2: Gefällespeicher (Ruths-Speicher).

thalpie des Siedekondensats bei unterschiedlichen Sattdampfdrücken aus. Im Gefällespeicher wird das vorhandene Wasservolumen durch die Sattdampfleistung des Dampfkessels direkt erwärmt. Im Gefällespeicher herrscht max. der Sattdampfdruck des Dampferzeugers und dessen Sattdampf-temperatur. Im Beharrungszustand wird der Dampfdruck im Gefällespeicher etwa dem Sattdampfdruck des Dampferzeugers entsprechen.

Wird nun diesem System Dampfleistung abverlangt, führt dies zum Absinken des Dampfdruckes oberhalb des Wasserspiegels im Gefällespeicher.

Da jedoch die Enthalpie des Speicherwassers der Enthalpie des Max. Drucks entspricht, wird dies zu einer Nachverdampfung des Speicherwassers führen. Die erforderliche Dampfleistung wird somit durch gezielte Nachverdampfung aus dem Speichervolumen gewonnen. Da dies jedoch nur durch ein Enthalpie- bzw. Druckgefälle möglich ist, spricht man hier vom Gefällespeicher.

Anhand der Tabelle 1 lässt sich erkennen, dass die Dampfabgabeleistung mit Zunahme des Druckgefälles größer wird. Wird beispielsweise der Gefällespeicher mit Sattdampf von 20 bar beladen um danach eine kurzfristige Abgabeleistung bei einem Druck von 10 bar zu ermöglichen, steht je Kilogramm Speichervolumen eine Energiemenge von $920 \text{ kJ/kg} - 781 \text{ kJ/kg} = 139 \text{ kJ/kg}$ zur Verfügung. Würde hingegen von 20 bar auf 5 bar entspannt, könnte je Kilogramm Speicherinhalt bereits eine Energiemenge von $920 \text{ kJ/kg} - 670 \text{ kJ/kg} = 250 \text{ kJ/kg}$ kurzfristig bereitgestellt werden. Möchte man mit diesem Prinzip wieder 100 kWh Energie speichern, wäre ein theoretisches Speichervolumen von $2,6 \text{ m}^3$ bei 20 bar zu 10 bar und von lediglich $1,6 \text{ m}^3$ bei 20 bar zu 5 bar erforderlich.

Der Gefällespeicher hat somit in seinem flüssigen Speichermedium die Energiemenge zur kurzfristigen Bereitstellung großer Dampfleistungen eingelagert. Es liegt jetzt lediglich an der Berechnung des notwendigen Speichervolumens und der Gestaltung der Entnahmegeometrie, um sehr schnell kurzfristige Dampfleistungsspitzen abdecken zu können. Diese können jedoch nur bei einem niedrigeren Sattdampfdruck bereitgestellt werden, als dies der Dampferzeuger liefert. Dies ist bei der Wahl der Anlagenkomponenten zu beachten.



Abbildung 3: Gefällespeicher (Ruths-Speicher).

Anlagenbeispiel - Reduzierung der Erzeugerleistung um den Faktor 20!

Anhand eines konkreten Beispiels sollen die technischen Möglichkeiten und Vorzüge eines Gefällespeichers gezeigt werden.

Für einen Industrieprozess werden zur Beheizung von Bauteilen 50 kg Sattdampf bei 3 bar benötigt. Dieser Bedarf wird zyklisch alle 600 Sekunden dem Dampferzeugungssystem abverlangt. Jedoch müssen die 50 kg Sattdampf hier innerhalb von 30 Sekunden den Bauteilen zufließen.

Bei klassischer Dampferzeugung ergibt sich folgendes Bild:

Dampferzeugerspitzenleistung: 50 kg/h für 30 Sekunden = 6.000 kg/h Spitzenleistung. Bei vollständigem Kondensatverbrauch innerhalb des Prozesses würde dies einer Erzeugerspitzenleistung von etwa 4.600 kW entsprechen. Integriert man den Lastverlauf des Dampferzeugers über den Zeitraum einer Stunde auf, so ergeben sich lediglich 6 Lastspitzen mit einem Gesamtverbrauch von 300 kg/h, was einer durchschnittlichen Erzeugerleistung von lediglich etwa 230 kW entspricht.

Einsatz eines Gefällespeichers:

Setzt man in dieses System einen Gefällespeicher ein, der mit einem Dampferzeuger mit 10 bar gekoppelt ist, lässt sich die Feuerungsleistung auf 230 kW begrenzen. In erster Näherung ist hier ein Wasservolumen von etwa 4.000 Litern erforderlich, wenn man das komplette Druckgefälle von 10 bar auf 3 bar ausnutzen würde. Da jedoch der nachgeschaltete Prozessverbraucher in der Regel einen konstanten Dampfdruck benötigt, werden den Gefällespeichern in der Regel sehr hochwertige und schnell re-

gelnde Druckmindererstationen nachgeschaltet. Bei Ausnutzung eines Druckgefälles von 10 bar bis auf 4 bar Vordruck vor dem Druckminderer beträgt das Wasservolumen im Gefällespeicher ca. 4.800 Liter. Dies lässt sich durch Anrechnung der Erzeugerdampfmenge sowie des Wasserinhalts im eigentlichen Dampferzeuger und dessen möglichen Druckgefälles weiter optimieren.

Bei einem Erdgasleistungspreis von etwa 4,50 Euro/kWh kann durch den Einsatz eines Dampfspeichers und der damit verbundenen Reduzierung der Spitzenleistung ein jährlicher Kostenvorteil von 19.665 Euro/a

erzielt werden. Weitere Vorteile wie geringere Investitionskosten in die Erzeugeranlage, kleinere Leitungsdimensionierung bis zum Dampfspeicher etc. sind hierbei noch nicht angesetzt.

Das Beispiel zeigt aber sehr deutlich das enorme Potenzial welches gerade bei sehr kurzfristigen Dampfleistungen mittels Gefällespeichern erzielt werden kann. Teilweise bietet die Industrie hier bereits fertig konfektionierte Systeme in unterschiedlichen Baugrößen an.

Neben der Glättung der Erzeugerstruktur sind Gefällespeicher auch ein Mittel, um kurzfristig freiwerdende Abdampfmengen so zu speichern, dass damit zu einem späteren Zeitpunkt wieder Sattdampf bei niedrigerem Druck zur Verfügung steht.

Ausblick / Zusammenfassung

Zwar ist die Verbreitung von Sattdampf als Energieträger eher rückläufig, jedoch spielt im Bereich der Prozesswärmeversorgung Dampf nach wie vor eine bedeutende Rolle. Und gerade auch für den Energieträger Dampf sind effiziente Versorgungslösungen anzustreben.

Immer dann, wenn kurzzeitige Lastspitzen abgedeckt werden müssen, können Dampfspeicher einen wesentlichen Beitrag zur wirtschaftlichen Auslegung von Dampferzeugungsanlagen darstellen. Prozessbedingte Abdampfmengen können mit Ruths-Speichern genutzt und wieder als Dampfenergie zur Verfügung gestellt werden. ◀

Ideen für mehr Effizienz.



BHKW: dezentrale Wärme- und Stromversorgung von 4 kW bis 2 MW

CRL: Comfort-Kompakt-Lüftungsgeräte mit modernstem Rotationswärmetauscher zur Innen- und Außenaufstellung

MGK-2: modernste Brennwerttechnik für effiziente Wärmeerzeugung bis zu 2,5 MW in Kaskade

Energiekosten senken in öffentlichen und gewerblichen Immobilien.

Energiekosten verschlingen einen immer größeren Teil der Betriebsausgaben. Mit Wolf senken Sie die Energie- und Betriebskosten deutlich und erreichen die Amortisation Ihres Investments schon nach sehr kurzer Zeit. Nutzen Sie modernste Brennwerttechnik mit BlueStream[®], Klima-Lüftung mit Wärmerückgewinnung oder Blockheizkraftwerke zur Wärmeversorgung und zur autarken Stromversorgung. Außerdem reduzieren Sie damit die CO₂-Bilanz Ihres Unternehmens und schützen zudem ganz nebenbei die Umwelt.

Sprechen Sie mit uns, schreiben Sie uns oder kommen Sie direkt vorbei: Tel. 08751/74-0, info@wolf-heiztechnik.de oder in einer unserer 15 Niederlassungen in Ihrer Nähe.

www.wolf-heiztechnik.de

WOLF

Energiesparen und Klimaschutz serienmäßig