

Berechnungsmethode zur Projektierung und Überprüfung Pufferbehälter für Kaltwasseranlagen

In der Regel statten Lieferanten von Kaltwassersätzen ihre Aggregate mit Pufferbehältern aus. Vergleiche verschiedener Fabrikate zeigen, dass bei gleichen technischen Voraussetzungen die Größen der Pufferbehälter erheblich voneinander abweichen. Im Allgemeinen nimmt der Anlagenbauer diese Tatsache als gegeben hin. Auf das Anlagengewerk bezogene Temperaturdifferenzen bleiben später häufig ungeklärt. Die Qualität der Anlage wird jedoch in Mitleidenschaft gezogen.

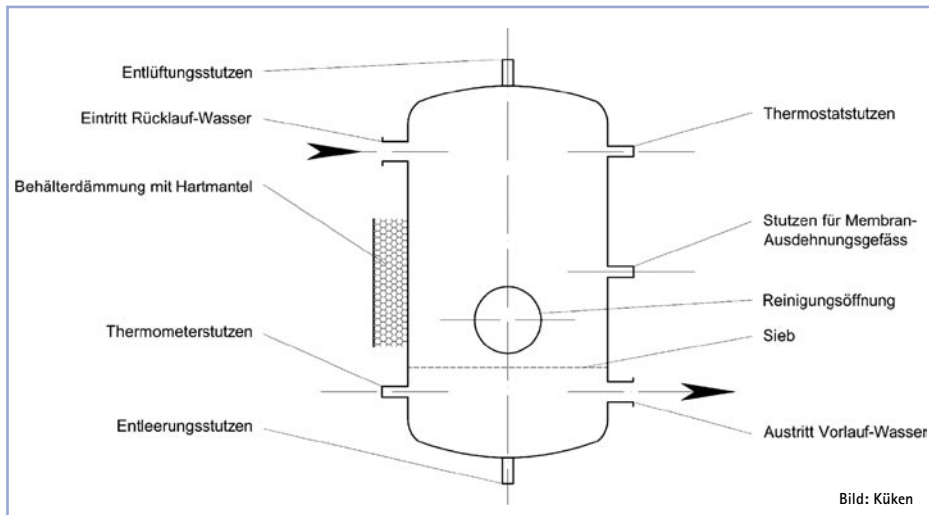


Bild 1 Prinzipdarstellung Pufferspeicher

Pufferspeicher werden in geschlossenen Kaltwasserversorgungsanlagen für Luftkühl- und Klimaanlage verwendet. Sie schaffen die Voraussetzung für eine relativ konstante Vorlauftemperatur auch während der Stillstand- und Anlaufzeit des oder der Kompressoren. Temperaturschwankungen wirken sich mindestens als Störgröße auf die nachfolgenden Regelkreise aus. Meistens kann diese Störgröße jedoch nicht ohne temporäre Sollwertabweichung ausgeglichen werden, so dass sich diese Schwankungen bis auf die Zuluft- oder Oberflächentemperatur der angeschlossenen Verbraucher auswirken. Nicht selten resultieren daraus eine ungünstige Rückkopplung auf die Kälteerzeugung und ein erhöhter Energiebedarf.

Die erforderliche Größe des Pufferspeichers kann aus dem Kältebedarf bzw. dem Kaltwasser-Massestrom abgeleitet werden.

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_K}{c_p \cdot \Delta\vartheta} \quad [\text{Gl. 1}]$$

\dot{m} : Massestrom Kaltwasser in kg/h

\dot{Q}_K : aufzubringende Kälteleistung in W

$\Delta\vartheta$: Temperaturdifferenz Kaltwasser Rücklauf/Vorlauf in K

\dot{m} entspricht einer Bevorratung für eine Aufrechterhaltung der Kälteleistung für eine volle Stunde. Der erforderliche Speicherinhalt in kg ergibt sich aus der

notwendigen Überbrückungs- bzw. Stillstandzeit der Kältemaschine. Der theoretische Speicherinhalt beträgt:

$$m = \frac{\dot{Q}_K}{c_p \cdot \Delta\vartheta} \cdot \frac{t'}{60} \quad [\text{Gl. 2}]$$

t' : Stillstandzeit der Kältemaschine in Minuten (Herstellerangabe), vgl. Tabelle 1

Ein Kompressor geht in eine Stillstandzeit über, wenn vom System eine Kälteleistung abgenommen wird, die unterhalb der kleinsten Teilleistung der Kältemaschine liegt. Nach der Abschaltung verhindern jedoch die vorgegebenen Taktzeiten einen sofortigen Wiederanlauf. Das bedeutet, dass der Pufferspeicher nur die kleinste Teilleistung der Kältemaschine während der Stillstandzeit bevorraten muss. Fügt man die kleinste Teilleistung der Kältemaschine in Prozent in die Formel ein, so erhält man:

$$m = \frac{\dot{Q}_K}{c_p \cdot \Delta\vartheta} \cdot \frac{k_Q}{100} \cdot \frac{t'}{60} \quad [\text{Gl. 3}]$$

k_Q : prozentuale Angabe der kleinsten Teilleistung, die die Kältemaschine durchgängig erbringen kann (Herstellerangabe)

Bei kleinen Kälteleistungen und einem einstufigen Kompressor könnte so beispielsweise das notwendige Volumen des Pufferspeichers größer sein als bei relativ großen Maschinen im Teillastbereich.

Um jedoch Schaltungenaugigkeiten der elektrischen und der MSR-Ausrüstung (Timer, Ventile, Wächter, etc.) Sorge zu tragen, ist noch ein gewisser „Sicherheitszuschlag“ zu berücksichtigen, der als Schaltfaktor in die Gleichung eingefügt wird.

$$m = f_K \cdot \frac{\dot{Q}_K}{c_p \cdot \Delta\vartheta} \cdot \frac{k_Q}{100} \cdot \frac{t'}{60} \quad [\text{Gl. 4}]$$

f_K : Schaltfaktor ($\approx 1,1$)

Durch das Einströmen des Rücklaufwassers in den Pufferspeicher erfolgt eine Mischung des zu bevorratenden Kaltwassers mit dem wärmeren Rücklaufwasser. Diese Mischung heizt den Pufferspeicher auf. Das bedeutet, dass die gewünschte Kaltwassertemperatur umso länger gehalten werden kann, je größer der Behälter ist. Abhängig von der Anlagenart und der Verwendung des Kaltwassers muss nun abgewogen werden, wie wichtig eine konstante Vorlauftemperatur des Kalt-

Kompressor-Bauart	Stillstandzeit
Hubkolben	1,5 - 3,0 min
Drehkolben	1,5 - 2,5 min
Turbo	1,5 - 3,0 min

Tabelle 1
Ungefähre Stillstandzeit t' verschiedener Kompressor-Bauarten

Klimatisierung von	Mischfaktor
Hallen für: • Veranstaltungen • Restaurationen • Sportveranstaltungen	$1,3 < f_m < 1,5$
Theater • Opernhäuser • Büroräume • Druckereien	$1,5 < f_m < 1,8$
• Operationsräume • OP-Nebenräume • Feinfertigung, Labor, Prüf- und Testräume • Nassräume - Produktion	$1,8 < f_m < 2,0$

Tabelle 2
Mischfaktor f_m

wassers für den reibungslosen Betrieb ist. Zu diesem Zweck wird ein Mischfaktor f_m eingeführt, der in die Anlagenqualität eingeht (Tabelle 2).

Ferner beinhaltet der Faktor f_m die Anlaufzeit des Kompressors von 0% auf die volle Teilleistung. Die gesamten Fakten aus Mischung im Behälter und der Anlaufzeit des Kompressors sind im Faktor f_m enthalten und bewirken eine Vergrößerung des Pufferspeichers.

Für stufenlos arbeitende Kältemaschinen muss zumindest die Anfahrtzeit mit dem Puffer überbrückt werden. Für bestimmte Größenordnungen der Gesamtkälteleistung können folgende Werte anstatt der kleinsten Teilleistung verwendet werden:

$$\dot{Q}_{ges} \text{ bis } 50 \text{ kW} \quad k_Q \approx 8 \%$$

$$\dot{Q}_{ges} \text{ bis } 150 \text{ kW} \quad k_Q \approx 12 \%$$

$$\dot{Q}_{ges} \text{ über } 150 \text{ kW} \quad k_Q \approx 16 \%$$

Fügt man den Mischfaktor in die Gleichung ein, ergibt sich die vollständige Berechnungsgleichung:

$$m = f_m \cdot f_k \cdot \frac{\dot{Q}_K}{c_p \cdot \Delta\theta} \cdot \frac{k_Q}{100} \cdot \frac{t'}{60} \quad [\text{Gl. 5}]$$

Tabelle 3 zeigt ein Berechnungsbeispiel. Mit der einfachen Berechnung ist der Pufferbehälter fertig dimensioniert bzw. in vorkonfektionierten Systemen dessen Größe überprüft. Ergänzend ist noch zu erwähnen, dass Rohrsysteme mit großen Nennweiten und großen Rohrlängen eine große Speichermasse im Rohrsystem selbst vorhalten. Hier müsste u.U. noch bestimmt werden, ob und wie lange sich das System allein aus dem Wasserinhalt der Rohre stabil betreiben lässt.

Als interessante Variante können bei Systemen mit mehreren Kälteverbraucherkreisen, mehreren Kältemaschinen und/oder variablen Verbrauchermas-

senströmen auch hydraulische Weichen gleichzeitig als Pufferspeicher benutzt werden.

Bei der Verwendung von Sole (z.B. Wasser-Glykolgemische oder alternative Wärmeübertragungsflüssigkeiten), ist auf

die meist geringere spezifische Wärmekapazität und die veränderte Dichte zu achten, was den Pufferbehälter je nach eingestelltem Gefrierpunkt auch deutlich vergrößert. Für Anwendungen in der Heizungstechnik können die Formeln in der gleichen Weise benutzt werden. Auch bei Wärmepumpen kann die Rechnung analog vorgenommen werden, da das Aggregat ebenfalls eine Kältemaschine darstellt und entsprechende Taktzeiten erforderlich sind. Bei Anlagen mit Heizkesseln muss anstelle der Kompressor-Stillstandzeit die minimale Stillstandzeit des Brenners berücksichtigt werden. Ebenso ist die kleinste modulierbare Teilleistung des Brenners anzusetzen. ←

Helmut Küken, Ingenieurbüro Küken,
41564 Kaarst, E-Mail: h.kueken@kueken.de

Berechnungsbeispiel			
Maschinenart	Kaltwassersatz mit Drehkolbenkompressor		
Kälteleistung KWS	\dot{Q}_K	400	kW
Kleinste Kälteleistung KWS	k_Q	17	%
Stillstandzeit	t'	2	min
Temperatur-Spreizung	$\Delta\theta$	6	K
Dichte (hier Wasser)	ρ	999,7	kg/m ³
Schaltfaktor	f_k	1,1	
Mischfaktor (Sporthalle)	f_m	1,3	
Berechnung des Speicherinhaltes:			
$m = 1,1 \cdot 1,3 \cdot \frac{400}{4,2 \cdot 6} \cdot \frac{17}{100} \cdot \frac{2}{60} \left[\frac{\text{kW} \cdot \text{kg} \cdot \text{K} \cdot 3600\text{s}}{\text{kWs} \cdot \text{K} \cdot \text{h}} \right] = 464 \text{ kg}$			
Berechnung des Speichervolumens:			
$V_{\text{Puffer}} = \frac{464 \text{ kg}}{999,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,464 \text{ m}^3$			
Bei einer gewählten/ vorgegebenen Höhe des Pufferbehälters von 1,9 m:			
$d_{\text{Puffer}} = \sqrt{\frac{V_{\text{Puffer}} \cdot 4}{h \cdot \pi}} = 0,558 \text{ m} \Rightarrow 600 \text{ mm}$			

Tabelle 3 Berechnungsbeispiel für einen Kaltwassersatz mit 400 kW für eine Sporthalle