

Druckhaltung und Volumenausgleich

Eine Druckhaltung in Heizungsanlagen muss vorhanden sein. Eine Heizungsanlage fährt mit wechselnden Temperaturen. Es treten Volumenschwankungen auf. Es muss ein Ausdehnungsgefäß da sein, das die Volumenschwankungen ausgleicht.

Da Druckhaltung und Volumenausgleich eng verzahnt sind, werden sie hier gemeinsam behandelt.

1. Übersicht über Druckhaltesysteme einschließlich Ausdehnungsgefäß

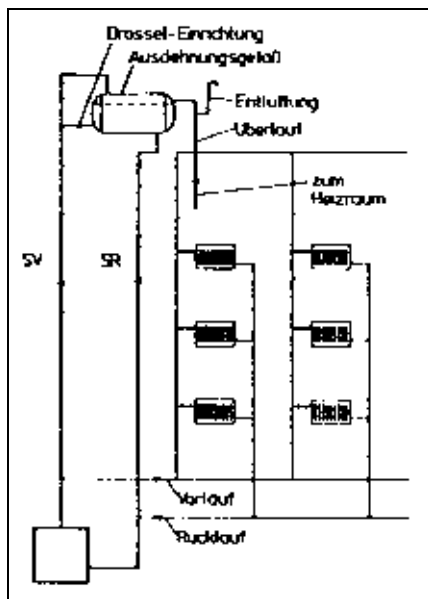


Bild 1 Hochliegendes Ausdehnungsgefäß

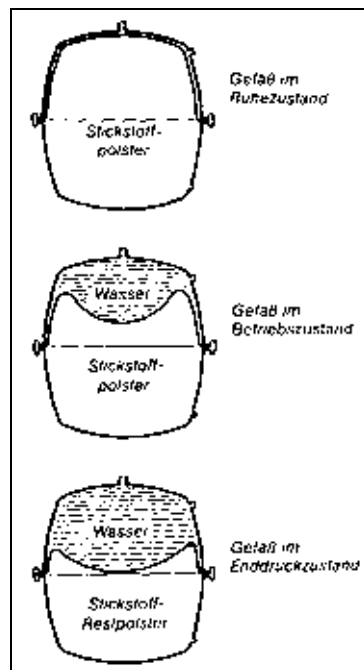


Bild 2 Membran-Druckausdehnungsgefäß

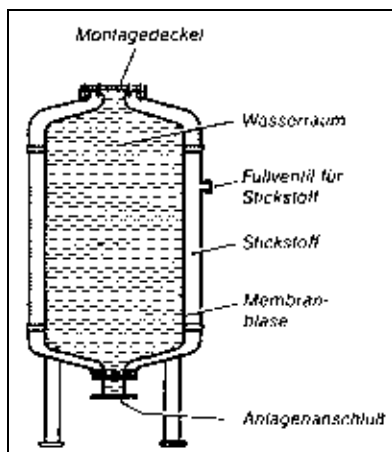


Bild 3 Druckausdehnungsgefäß mit Blasenmembran

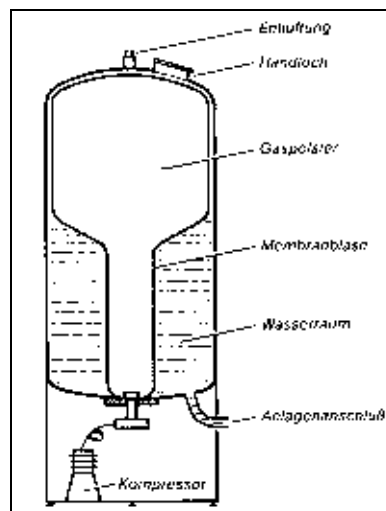


Bild 4 Druckausdehnungsgefäß mit Kompressor

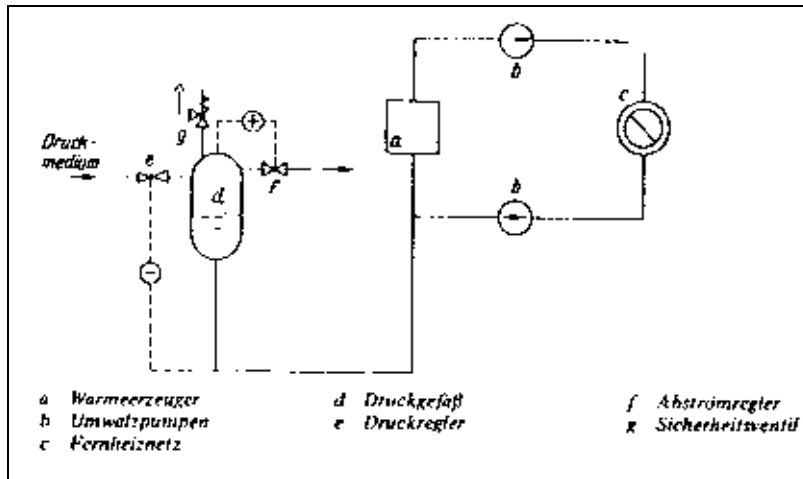


Bild 5 Gasbelastete Druckhaltung mit "konstantem" Ruhedruck

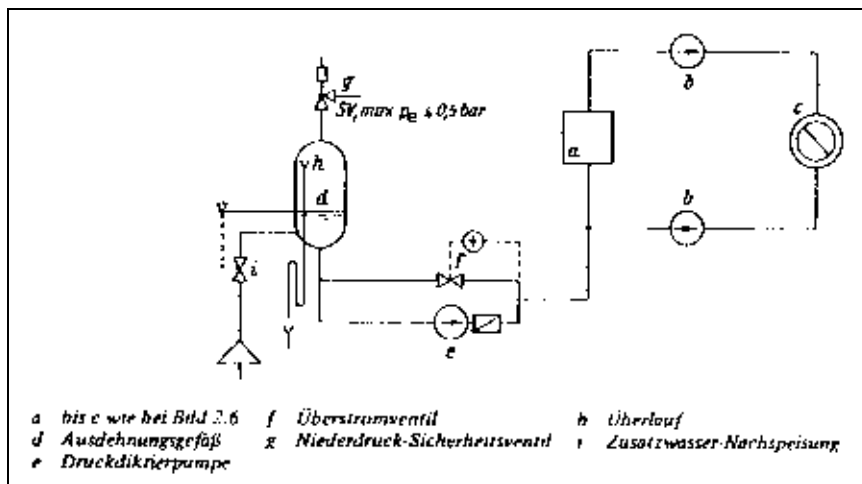


Bild 6 Pumpendruckhaltung mit Überströmventil

1.1. Druckhaltung mit Flüssigkeitssäule

Hochliegendes, mit der Atmosphäre verbundenes (offenes) Ausdehnungsgefäß.

- Druckloses Gefäß
- Ruhedruck praktisch konstant.

Der Ruhedruck wird durch die Gewichtskraft der Wassersäule zwischen Ausdehnungsgefäß und Anschlusspunkt der Sicherheitsleitungen an den Heizungskreislauf erzeugt. Schaltungen sowie Gefäßabmessungen genormt (DIN 4751, DIN 4806).

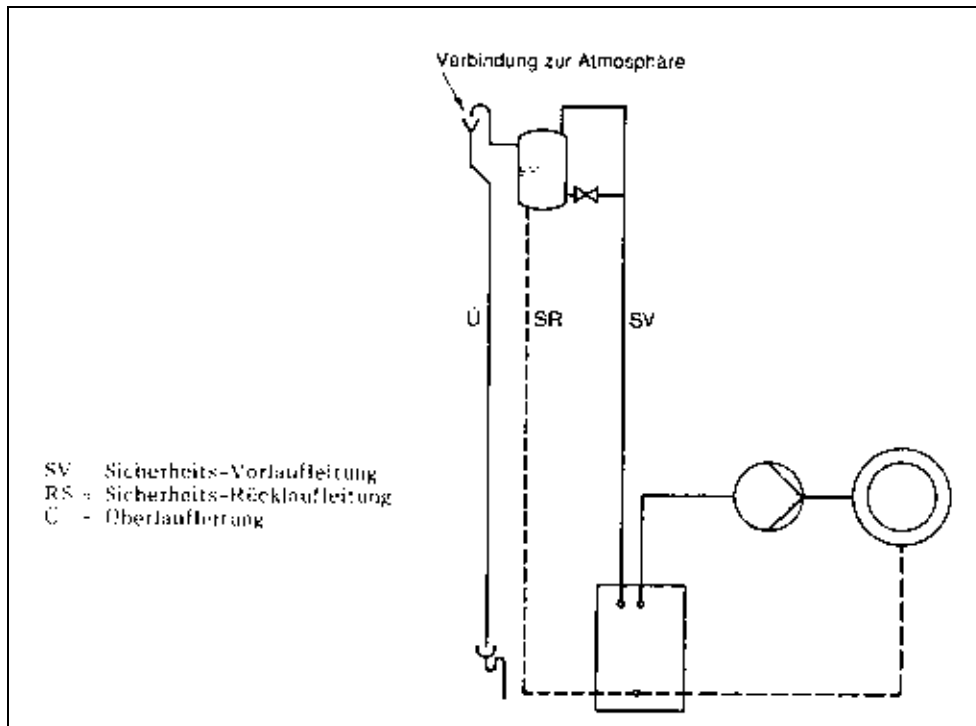


Bild 7: Hochliegendes, überdruckloses Ausdehnungsgefäß

1.2. Druckhaltung mittels "Gasdruck"

In einem Druckbehälter (tiefliegend) wird dem Heizungssystem durch ein Gas (oder Dampf) ein Druck aufgedrückt.

1.2.1. Gasbelastete Druckhaltung mit veränderlichem Druck

Das Prinzip einer gasbelasteten Druckhaltung mit veränderlichem Druck ist zum Beispiel bei Membran-Druckausdehnungsgefäßen, die vorwiegend bei Warmwasser-Gebäudeheizungen eingesetzt werden, verwirklicht.

Der Heizkreis wird mit einem Druckbehälter verbunden, der im Einbauzustand vollständig mit einem unter Druck stehenden Inertgas – aus Gründen des Korrosionsschutzes meistens Stickstoff – gefüllt ist. Wird die Heizungsanlage vor ihrer ersten Inbetriebnahme mit Wasser gefüllt, so dringt dieses auch in das Gefäß und verdichtet die Gasfüllung nur wenig. Zur Vermeidung von Gasverlusten durch Diffusion wird das Gas durch eine elastische, bewegliche Kunststoff-Membran getrennt. Beim Hochheizen des Wasserinhalts im Heizkreis wird das Gas von dem sich in das Gefäß hineindehnenden Wasser weiter verdichtet, wobei der Druck ansteigt. Umgekehrt sinkt der Druck, wenn die Temperatur im Heizkreis wieder abgesenkt wird.

Die im Gefäß enthaltene Gasmasse, nicht dagegen das Gasvolumen (!), bleibt bei allen Betriebszuständen konstant. Der Ruhedruck wird durch den Druck im Gefäß erzeugt und ist auf Grund der vorstehend beschriebenen Wirkungsweise unterschiedlich, je nach Temperatur des Wassers im Heizkreis. Wenn der im Einbauzustand vorhandene Gasdruck (der sogenannte Vordruck) entsprechend hoch gewählt wird, muss das Ausdehnungsgefäß nicht mehr den höchsten Punkt der Heizungsanlage bilden, sondern kann unten im Gebäude, in unmittelbarer Nähe des Wärmeerzeugers angeordnet werden. Damit werden lange Sicherheitsleitungen, wie sie bei Gebäudeheizungen mit hochliegendem Ausdehnungsgefäß nötig sind, entbehrlich; außerdem verhindert die strikte Trennung zwischen Umgebungsluft der Atmosphäre und Heizwasser (geschlossene Anlage) die sonst durch eindringenden Sauerstoff entstehende Innenkorrosion.

Bei größeren Wärmeversorgungssystemen – auch Heißwasserheizungen – kann die vorstehend geschilderte Art der gasbelasteten Druckhaltung unter Verwendung von entsprechend großen Druckbehältern ebenfalls angewandt werden. Der Druckbehälter ist in vielen Fällen nicht nur zur Aufnahme des Inertgaspolsters und des Ausdehnungswassers bemessen, sondern soll auch einen gewissen Wasservorrat zum Ausgleich von Leckverlusten aufnehmen.

1.2.2. Gasbelastete Druckhaltung mit konstantem Ruhedruck

Das Grundprinzip einer solchen Druckhaltung ist in Bild 8 dargestellt. Sie besteht aus einem als Ausdehnungsgefäß wirkenden, geschlossenen Druckbehälter. Der erforderliche Ruhedruck wird durch ein gasförmiges Druckmedium erzeugt. Bei absinkendem Wasserspiegel im Gefäß strömt über einen Druckminderer Druckmedium nach, wobei der Druckminderer (erster Druckregler) dafür sorgt, dass der Druck konstant bleibt. Bei ansteigendem Wasserspiegel tritt ein zweiter Druckregler (Überströmventil) in Funktion, der das Druckmedium abströmen lässt und gleichzeitig in dieser Betriebsphase den Druck konstant regelt.

Aus Sicherheitsgründen ist das Gefäß zusätzlich mit einem Sicherheitsventil auszurüsten, dessen Ansprechdruck höher liegen muss, als der Arbeitsdruck der beiden Druckregler (Druckminderer und Überströmventil). Grundsätzlich könnte man daran denken, an Stelle des Überströmventils das Sicherheitsventil zum Abblasen des Druckmediums bei ansteigendem Wasserspiegel heranzuziehen. Das ist jedoch nicht zweckmäßig, weil das Sicherheitsventil die Aufgabe hat, bei Erreichen des höchstzulässigen Drucks möglichst schlagartig zu öffnen und einen möglichst großen Volumenstrom aus dem System abströmen zu lassen. Für diese Aufgabe sind sein Sitz und sein Kegel konstruiert; es eignet sich daher nicht dafür, den Druck stetig zu regeln.

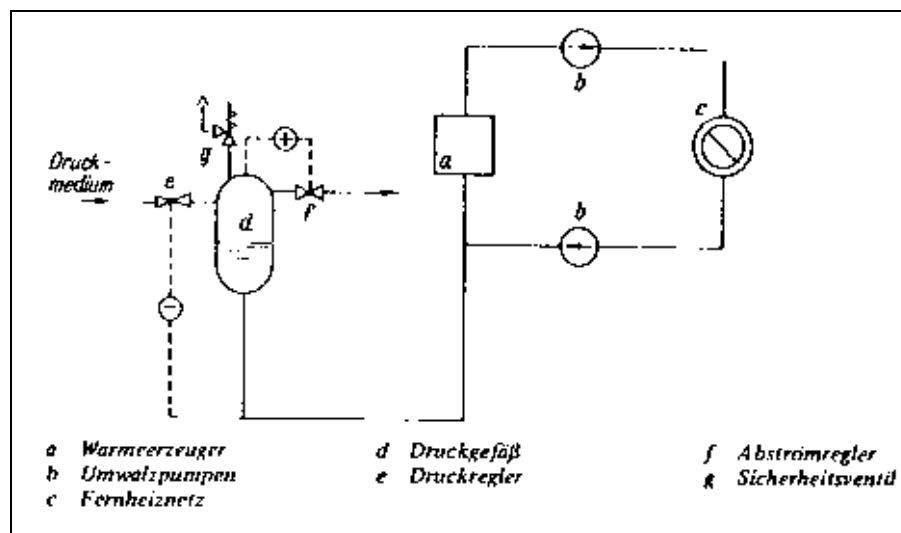


Bild 8: Druckhaltung mit Konstantdruckgefäß

Als Druckmedien kommen hauptsächlich Luft, Stickstoff und Wasserdampf in Betracht. Luft steht aus der Umgebung in unbegrenzter Menge zur Verfügung, ist aber wegen ihres Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalts korrosionsfördernd und kommt daher weniger zur Anwendung. Stickstoff hat diesen Nachteil nicht, ist aber verhältnismäßig teuer. Bei der gezeigten Schaltung geht bei jedem Spiegelanstieg Stickstoff verloren. Dadurch entstehen hohe Betriebskosten. Man verwendet daher als Druckmedium häufig Wasserdampf. Druckhaltungen dieser Art finden folgerichtig ihre Hauptanwendung in Anlagen, in denen Dampf vorhanden ist, also in Dampfkraftwerken (Heizkraftwerken) einschließlich Industriekraftwerken.

Es gibt auch Anlagen, bei denen das Druckmedium im Kreislauf geführt wird. Spezielle Ausführungen: Membranausdehnungsgefäß mit aufgesattelttem Kompressor und Abblasarmatur. Hier besteht eine Trennung zwischen Druckmedium und Heizmedium.

1.3. Pumpendruckhaltung (dynamische Druckhaltung)

Bestandteile:

- Druckdiktierpumpe
- Überströmventil
- Ausdehnungsbehälter, der nur zur Vermeidung von Korrosion unter leichtem Überdruck gehalten wird.

Bei der Pumpendruckhaltung wird der Ruhedruck mit einer besonderen Pumpe, der sogenannten Diktierpumpe (Druckhaltepumpe) erzeugt – Bild 9. Parallel zur Diktierpumpe ist ein vom Druck im Heizkreis gesteuertes Überströmventil angeordnet, das die Aufgabe hat, den Ruhedruck konstant zu halten.

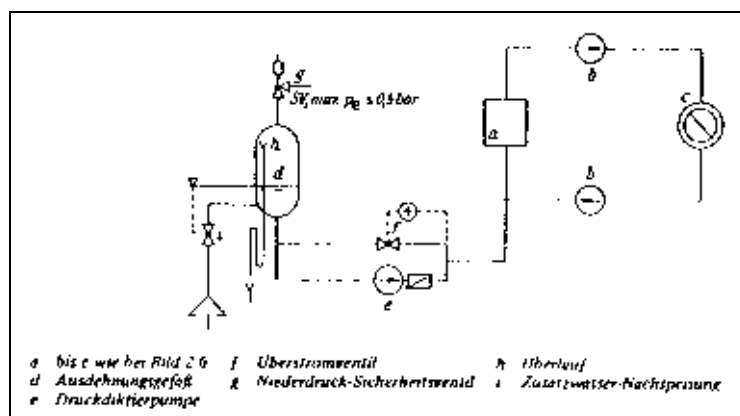


Bild 9: Pumpendruckhaltung (dynamische Methode)

Die Druckhaltung besteht somit aus der Kombination von Diktierpumpe und Überströmventil, deren Wirkungsweise für die drei wichtigsten Betriebszustände erläutert werden soll:

- Temperaturerhöhung im Heizkreis: Das im Heizsystem enthaltene Wasser dehnt sich aus, eine Drucksteigerung wird aber durch das Überströmventil, das sich entsprechend öffnet, verhindert. Bei diesem Betriebszustand muss durch das Überströmventil nicht nur der durch die Wasserausdehnung verursachte Volumenstrom, sondern zusätzlich der Förderstrom der Diktierpumpe abgeführt werden.
- Konstante Temperaturen im Heizkreis (Beharrungszustand): Die Diktierpumpe läuft zur Aufrechterhaltung des Ruhedrucks weiter, durch das Überströmventil fließt gerade der Förderstrom der Diktierpumpe.
- Temperaturerniedrigung im Heizkreis: Das Überströmventil schließt (ganz oder teilweise), die Diktierpumpe führt dem Heizkreis denjenigen Volumenstrom zu, den er entsprechend der temperaturbedingten Volumenkontraktion benötigt.

Das im Betriebszustand a) aus dem Heizkreis abströmende Wasser darf nicht verloren gehen, sondern wird in einem Ausdehnungsgefäß aufgefangen. Das Gefäß benötigt an sich keinen Überdruck. Nur aus Gründen des Korrosionsschutzes erhält es ein unter geringem Überdruck stehenden Schutzgas- oder Dampfpolster oder wird als überdruckloser Membranbehälter ausgeführt (Bild 10).

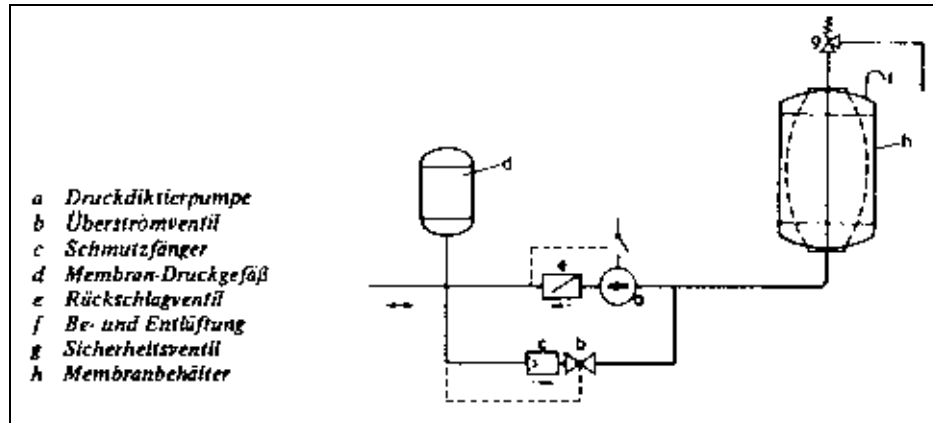


Bild 10: Pumpendruckdiktiereinrichtung mit überdrucklosem Membran-Ausdehnungsgefäß

Bei der in Bild 9 besprochenen Grundform der Pumpenschaltung läuft die Diktierpumpe ständig. Zur Stromersparnis kann man die Pumpe druckabhängig ein- und ausschalten. In diesem Fall muss jedoch zur Vermeidung von Druckstößen und zur Schaffung einer ausreichenden Schaltdifferenz für die Diktierpumpe ein elastisches Zwischenglied in Form eines (klein bemessenen) Membrandruckgefäßes in die Anlage aufgenommen werden. In Bild 10 ist eine solche Schaltung dargestellt. Bei ganz großen Anlagen kann der Antrieb der Diktierpumpe mit veränderlicher Drehzahl ausgerüstet werden.

Vorwiegendes Einsatzgebiet: Fernheizungen.

Vorteile:

- praktisch druckloser Behälter
- es kann ein variabler Ruhedruck gefahren werden.

2. Bemessung des Ausdehnungsgefäßes

Anmerkung: Die Ausführungen basieren auf der
DIN 4807 Teil 1 bis 3
DIN 4751 Teil 1 bis 3

2.1. Grundlagen der Bemessung

2.1.1. Ausdehnung des Wassers

Wasser hat bei 4°C sein kleinstes spezifisches Volumen, es dehnt sich mit steigender Temperatur aus. Der Ausdehnungskoeffizient ist aber nicht konstant.

Es gilt folgendes:

$$m_A = \frac{V_A}{v_1} = \frac{V_2}{v_2}$$

mit:

m_A Wassermasse der Anlage

V_A Volumen der Anlage bei Füllung

v_1 spez. Volumen bei t_1 (bei Füllung) z.B. in l/kg oder dm^3/kg

v_2 spez. Volumen nach Erwärmung

Die Masse m vergrößert bei Erwärmung ihr Volumen auf

$$V_2 = m \cdot v_2$$

Der Unterschied wird als Ausdehnungsvolumen ΔV bezeichnet

$$\Delta V = V_2 - V_A$$

dafür gilt

$$\Delta V = m_A \cdot v_2 - V_A = V_A \cdot \frac{v_2}{v_1} - V_A$$

bzw. nach Umformung

$$\Delta V = V_A \cdot \frac{v_2 - v_1}{v_1} = V_A \cdot \frac{\Delta v}{v_1}$$

Die Formel in der DIN 4807, Teil 2 lautet

$$V_e = n \cdot \frac{V_A}{100}$$

mit

$$V_e = \Delta V$$

$$n = \frac{\Delta v}{v_1} \cdot 100 = \text{prozentuale Ausdehnung}$$

Index 1: im allgemeinen der Füllzustand ($t_1 \approx 10^\circ\text{C} \Rightarrow v_1 \approx 1 \text{ dm}^3/\text{kg}$)

Index 2: Hier sind die maximalen Betriebstemperaturen bzw. Temperaturen, die in Normen festgelegt sind, anzusetzen.

2.1.2. Anlagenvolumen V_A (geometrischer Inhalt)

DIN 4807 Teil 2 besagt: Der Wasserinhalt ist grundsätzlich zu berechnen und zwar aus dem Inhalt von:

- Wärmeerzeuger
- Rohrleitungen
- Heizflächen

Für Übersichtsrechnungen kann je nach Auslegungstemperaturen (t_v / t_R) ein spez. Wasserinhalt bezogen auf die Leistung angesetzt werden:

- Kessel + Rohrleitungen + Radiator $V_A / \dot{Q} = 10 \text{ bis } 20 \text{ l/kW}$
- Kessel + Rohrleitungen + Plattenheizkörper $V_A / \dot{Q} = 6 \text{ bis } 12 \text{ l/kW}$
- Kessel + Rohrleitungen + Konvektor $V_A / \dot{Q} = 4 \text{ bis } 9 \text{ l/kW}$

2.1.3. Wasserreserve (Wasservorlage) V_V

Es treten Leckverluste auf (durch Stopfbuchsen, Pumpen, Entlüfter, Armaturen). Diese Leckverluste sollten über eine Betriebsperiode (evtl. Heizperiode) aus dem Ausdehnungsgefäß gedeckt werden. Untersuchungen haben ergeben, dass ca. 0,5 bis 1 % des Anlagenvolumens V_A im Jahr verloren gehen.

Die DIN 4807 Teil 2 nennt Mindest-Ansatzwerte für die Wasserreserve V_V .

Anmerkung: Zur Bereitstellung der Wasserreserve sind notwendig:

- eine bestimmte Größe des Ausdehnungsgefäßes
- ein bestimmter Vordruck im Ausdehnungsgefäß.

2.2. Bemessung des offenen, hochliegenden Ausdehnungsgefäßes

Bei diesen Gefäßen muss theoretisch das Volumen des Ausdehnungsgefäßes gleich dem Ausgleichsvolumen plus Wasserreserve sein.

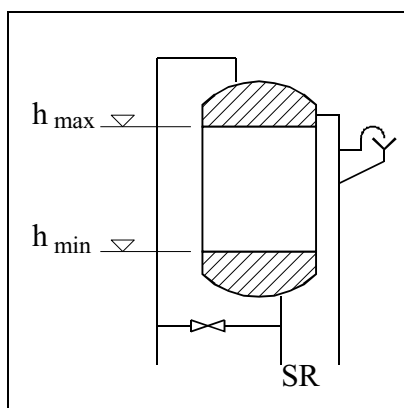


Bild 11: Hochliegendes AG

Da aber das Gesamtvolumen des Gefäßes nicht voll zum Volumenausgleich genutzt werden kann, muss das Ausdehnungsgefäß größer gewählt werden.

Nach DIN 4807 Teil 2

$$V_{nmin} = 2 \cdot V_e$$

mit:

V_n Nennvolumen des Ausdehnungsgefäßes

V_e Ausdehnungsvolumen

2.3. Bemessung und Ausführung des Membran-Ausdehnungsgefäßes MAG nach DIN 4807 Teil 2

2.3.1. Bemessung des MAG

Voraussetzungen:

1. Die Füll- und Anlieferungstemperatur im MAG ändert sich im Heizbetrieb nicht (keine Zirkulation in der Sicherheitsleitung), ausreichende Wärmeabgabe an den Heizraum, kein Strahlungsaustausch mit dem Wärmeerzeuger.
2. Der Anlieferungsdruck im Gefäß wird so groß gewählt, dass er größer ist als der statische Druck infolge der geodätischen Höhe der Anlage.

Ableitung der Bemessungsformel für ein MAG

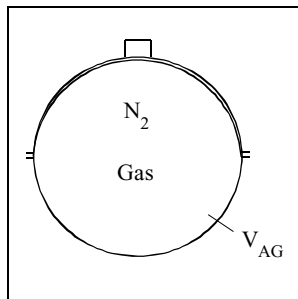


Bild 12: a) Auslieferungszustand

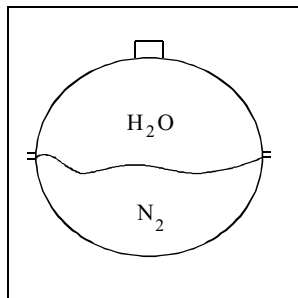


Bild 13: b) gefüllter Zustand

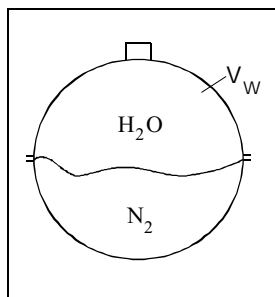


Bild 14: c) gefüllter Zustand mit Ausdehnungsvolumen = "Betriebszustand"

Es gelten:

1. $V_{AG} = V_G + V_W$ mit V_G Gasvolumen im AG
 V_W Wasservolumen im AG
2. $V_W = V_e + V_V$ mit V_e Ausdehnungsvolumen
 V_V Wasservorlage

Wasservorlage V_V :

- bei Ausdehnungsgefäßen bis 15 l Inhalt $V_V \geq 0,2 \cdot V_{AG}$
- bei Ausdehnungsgefäßen über 15 l Inhalt $V_V \geq 0,5 \% \cdot V_A$ aber immer ≥ 3 l
mit V_A Anlagenvolumen

$$3. \quad V_e = V_A \cdot \frac{\Delta v}{v_1} = V_A \cdot \frac{n}{100}$$

mit $\Delta v = v_2 - v_1$

v_2 spez. Volumen bei max. Betriebstemperatur

v_1 spez. Volumen bei Fülltemperatur in dm^3/kg

n prozentuale Ausdehnung aus DIN 4807 oder Blatt H2-03-045

1. Gesetz von Boyle-Mariotte

Es wird vereinfacht angenommen: isotherme Zustandsänderung des Gases, d.h. $p \cdot V = \text{konstant}$. Es gilt daher:

$$p_{G1} \cdot V_{G1} = p_{G2} \cdot V_{G2} \quad (\text{absolute Drücke einsetzen !!!})$$

für Zustand a): $V_{G1} = V_{AG}$

für Zustand c): $V_{G2} = V_{AG} - (V_V + V_e)$

$$\text{und } p_{G1} \cdot V_{AG} = p_{G2} \cdot (V_{AG} - (V_V + V_e))$$

$$\text{also: } V_{AG} = \frac{p_{G2}}{p_{G2} - p_{G1}} \cdot (V_V + V_e)$$

Dies ist die **Mindestgröße** des MAG, daher lautet die Formel für das Nennvolumen nach DIN 4807:

$$V_{n\min} = (V_V + V_e) \cdot \frac{p_e + 1\text{bar}}{p_e - p_0} \quad \text{Gleichung 6 nach DIN 4807}$$

mit:

$$p_e = p_{G2} - 1 \text{ bar} ; \text{ Enddruck (Überdruck) bei max. Vorlauftemperatur}$$

$$= p_{SV} - dp_a$$

- p_{SV} : Ansprechdruck des Sicherheitsventils (Überdruck)

$p_{SV} \leq 3,0$ bar bei Anlagen nach DIN 4751 Teil 3 (Zwangsumlaufwärmerezeuger bis 50 kW – z.B. Gasthermen); p_{SV} ist nicht festgelegt bei Anlagen nach DIN 4751 Teil 2 (Heizkessel); p_{SV} kleiner als der kleinste zulässige Druck eines Teils, wenn die geodätische Höhe es zulässt: $p_{SV} \leq 3,0$ bar, sonst Druckbegrenzer notwendig (schaltet Brennstoffzufuhr ab)

- dp_a : Arbeitsdruckdifferenz des Sicherheitsventils aus DIN 3320 bei Membransicherheitsventilen $dp_a = 0,5$ bar

$$p_0 = p_{G1} - 1 \text{ bar} ; \text{ Vordruck (Überdruck) im AG bei Anlieferung; } p_0 \geq \rho \cdot g \cdot \Delta h + p_D$$

- Δh : Höhenunterschied (höchster Anlagenpunkt – MAG-Höhenlage) + Sicherheitszuschlag (0,5 bis 1m)

- p_D : Dampfdruck (Überdruck)

$$p_D = 0 \text{ bar} \quad \text{bei } t_V \leq 100^\circ\text{C}$$

$$p_D = 0,5 \text{ bar} \quad \text{bei } t_V \leq 110^\circ\text{C}$$

$$p_D = 1 \text{ bar} \quad \text{bei } t_V \leq 120^\circ\text{C}$$

- Es gibt handelsübliche Ausführungen: $p_0 = 0,5$ bis 2 bar (Überdruck) in 0,5 bar-Stufung

Hinweis:

v_1 : 1 dm³/kg

v_2 : entsprechend der max. Vorlauftemperatur $t_{V \max}$, mit der die Anlage aufgrund der höchsten Sollwerteneinstellung der Temperaturregeleinrichtung betrieben werden kann.

Einzubauendes AG-Volumen:

$$V_n \geq V_{n \min}$$

Zusätzlich zur Größenbestimmung sind noch folgende Drücke zu bestimmen:

1. **Minimaler Anlagenfülldruck** p_{amin} , damit das MAG im kalten Zustand die Wasservorlage aktivieren kann.

Zustand b)

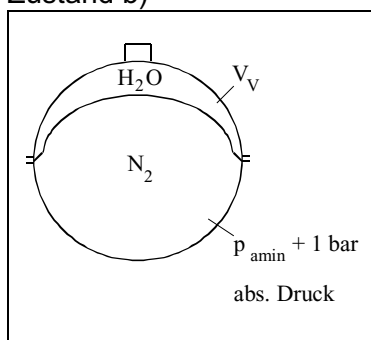


Bild 15: MAG bei Anlagenfülldruck

V_n Eingebautes AG-Volumen; V_n ist im allgemeinen größer als $V_{n \min}$.

p_{amin} ist der Druck bei dem sich gerade die Wasservorlage im AG befindet.

$$(p_{amin} + 1 \text{ bar}) \cdot (V_n - V_V) = V_n \cdot (p_0 + 1 \text{ bar}) \quad (\text{Anlieferungszustand})$$

$$p_{amin} = \frac{V_n \cdot (p_0 + 1\text{bar})}{V_n - V_V} - 1\text{bar}$$

2. **Maximaler Anlagenfülldruck** p_{amax} damit bei t_{Vmax} der Enddruck p_e nicht überschritten wird.

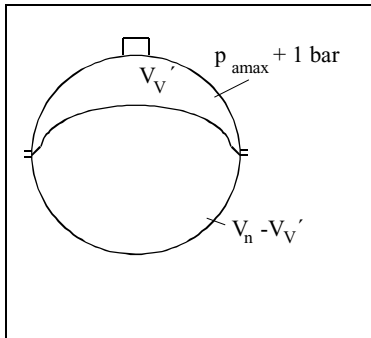


Bild 16: MAG nach Füllung, vor Erwärmung

Wenn $V_n > V_{nmin}$ kann im AG eine größere Wasservorlage V_V' untergebracht werden.

$$\textcircled{1} \quad V_n \cdot (p_0 + 1\text{bar}) = (p_{amax} + 1\text{bar}) \cdot (V_n - V_V')$$

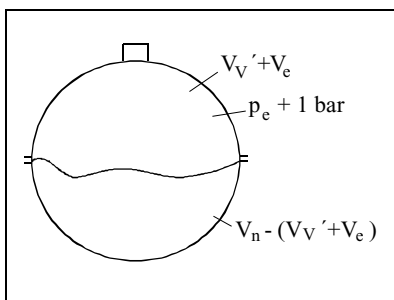


Bild 17: MAG nach Erwärmung

$$\textcircled{2} \quad V_n \cdot (p_0 + 1\text{bar}) = (p_e + 1\text{bar}) \cdot (V_n - (V_V' + V_e))$$

$$\textcircled{3} \quad V_n - V_V' = \frac{V_n \cdot (p_0 + 1\text{bar})}{p_{amax} + 1\text{bar}} \quad \text{bzw.} \quad V_V' = V_n - \frac{V_n \cdot (p_0 + 1\text{bar})}{p_{amax} + 1\text{bar}}$$

$\textcircled{3}$ in $\textcircled{2}$ einsetzen:

$$V_n \cdot (p_0 + 1\text{bar}) = (p_e + 1\text{bar}) \cdot \left(V_n - \left(V_n - \frac{V_n \cdot (p_0 + 1\text{bar})}{p_{amax} + 1\text{bar}} + V_e \right) \right)$$

nach p_{amax} auflösen:

$$V_n \cdot \frac{(p_0 + 1\text{bar})}{(p_e + 1\text{bar})} = V_n \cdot \frac{p_0 + 1\text{bar}}{p_{amax} + 1\text{bar}} - V_e$$

$$V_n \cdot \frac{(p_0 + 1\text{bar})}{(p_e + 1\text{bar})} + V_e = V_n \cdot \frac{p_0 + 1\text{bar}}{p_{amax} + 1\text{bar}} \quad / : (p_0 + 1\text{bar}) \cdot V_n$$

$$\frac{V_n \cdot (p_0 + 1\text{bar}) + (p_e + 1\text{bar}) \cdot V_e}{(p_e + 1\text{bar}) \cdot (p_0 + 1\text{bar}) \cdot V_n} = \frac{1}{p_{\text{amax}} + 1\text{bar}}$$

$$1 + \frac{V_e \cdot (p_e + 1\text{bar})}{V_n \cdot (p_0 + 1\text{bar})} = \frac{1}{p_{\text{amax}} + 1\text{bar}}$$

$$p_{\text{amax}} = \frac{(p_e + 1\text{bar})}{1 + \frac{V_e \cdot (p_e + 1\text{bar})}{V_n \cdot (p_0 + 1\text{bar})}} - 1\text{bar}$$

Der tatsächliche Fülldruck p_a muss sein:

$$p_{\text{amin}} \leq p_a \leq p_{\text{amax}}$$

Damit in der Praxis der Fülldruck überhaupt einreguliert werden kann, sollte sein:

$$p_{\text{amax}} - p_{\text{amin}} \geq 0,2\text{bar}$$

Ist dies nicht gegeben, so sollte ein größeres Ausdehnungsgefäß gewählt werden.

Beispiel

Für eine Heizungsanlage sind zu bestimmen

1. die Größe des MAG
2. der notwendige Fülldruck

Daten der Anlage:

- Kesselleistung 190 kW
- max. Vorlauftemperatur 90°C
- stat. Höhe 8 m
- Ansprechdruck Sicherheitsventil 3 bar
- Installierte Heizkörper Gliederheizkörper

Da keine genauen Daten über V_A vorliegen, wird mit mittleren spezifischen Werten gerechnet.

$$V_A / \dot{Q} = 15 \text{ l/kW}$$

$$V_A = 15 \frac{\text{l}}{\text{kW}} \cdot 190 \text{ kW} = 2850 \text{ l}$$

- spez. Volumen v_1 beim Füllen $v_1 = 1 \text{ dm}^3/\text{kg}$
- spez. Volumen v_2 bei 90°C $v_{90^\circ\text{C}} = 1,0362 \text{ dm}^3/\text{kg}$ (n = 3,62 %)

- Vordruck:

$$p_0 \geq \rho \cdot g \cdot h = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (8\text{m} + 1\text{m}) = 0,88 \text{ bar}$$

(mit 1 m Sicherheitszuschlag) $p_0 = 1 \text{ bar}$ ist ausreichend

- Enddruck:
 $p_e = 3 \text{ bar} - 0,5 \text{ bar} = 2,5 \text{ bar}$
- Wasservorlage
 $V_V = 0,005 \cdot V_A = 14,25 \text{ l}$
- Ausdehnungsvolumen
 $V_e = 3,62 \cdot \frac{V_A}{100} = 103,17 \text{ l}$
 $V_{n\min} = (V_V + V_e) \cdot \frac{p_e + 1 \text{ bar}}{p_e - p_0} = (14,25 \text{ l} + 103,17 \text{ l}) \cdot \frac{(2,5 + 1) \text{ bar}}{(2,5 - 1) \text{ bar}}$
 $V_{n\min} = 274 \text{ l}$
- Aus Katalog gewählt z.B. 400 l
- Fülldruck:

$$p_{a\min} = \frac{V_n \cdot (p_0 + 1 \text{ bar})}{V_n - V_V} - 1 \text{ bar}$$

$$p_{a\min} = \frac{400 \text{ l} \cdot (1 + 1) \text{ bar}}{400 \text{ l} - 14,25 \text{ l}} - 1 \text{ bar}$$

$$p_{a\min} = 1,074 \text{ bar}$$

$$p_{a\max} = \frac{(p_e + 1 \text{ bar})}{1 + \frac{V_e \cdot (p_e + 1 \text{ bar})}{V_n \cdot (p_0 + 1 \text{ bar})}} - 1 \text{ bar}$$

$$p_{a\max} = \frac{(2,5 + 1) \text{ bar}}{1 + \frac{103,17 \text{ l} \cdot ((2,5 + 1) \text{ bar})}{400 \text{ l} \cdot ((1 + 1) \text{ bar})}} - 1 \text{ bar}$$

$$p_{a\max} = 1,412 \text{ bar}$$
- $p_{a\max} - p_{a\min} = 0,338 \text{ bar} > 0,2$. Das Ergebnis ist in Ordnung.

2.3.2. Ausführung der Membran-Ausdehnungsgefäße

1. Normalausführung

Zylindrisches oder kugelförmiges Gefäß aus Stahl mit gasdicht eingezogener Membran aus Butyl-Kautschuk (Gasfüllung Stickstoff).

Größe	bis ca. 25 l	ohne extra Befestigung
	bis ca. 400 l	mit extra Befestigung oder Bodenaufstellung

Im allgemeinen 4 Druckstufen: 0,5 – 1,0 – 1,5 – 2,0 bar (Überdruck)

2. Sonderausführungen

Ausführung wie oben beschrieben, aber für höhere Drücke geeignet.

3. Großbehälter

Die Membran ist als "Zylinder" in der Behälterachse angeordnet und praktisch als zweiter Behälter ausgebildet (auch austauschbar).

Größe ca. 400 bis ca. 12000 l liegend oder stehend
Betriebsdrücke bis ca. 10 bar

4. Druckhalteanlagen mit Luftkompressor

Gefäße wie bei den Großbehältern beschrieben aber mit Luft an Stelle der Stickstofffüllung. Die Luft wird von einem am Gefäß befindlichen Kompressor eingebracht und über ein Abblasventil abgelassen. Da praktisch der gesamte Gefäßraum als Wasseraufnahmeraum genutzt werden kann, ist sein Einsatzgebiet dort, wo große Gefäße benötigt werden (bei geringen zulässigen Druckdifferenzen).

2.3.3. Anschluss des Membran-Ausdehnungsgefäßes

Um die Temperatur niedrig zu halten, sind die Membran-Ausdehnungsgefäße im Rücklauf anzuordnen. Eine Besonderheit ist zu beachten, wenn eine 4-Weg-Armatur eingesetzt wird und angenommen werden muss, dass diese in ihrer Endstellung dicht schließt. Dann ist folgender Anschluss des MAG notwendig.

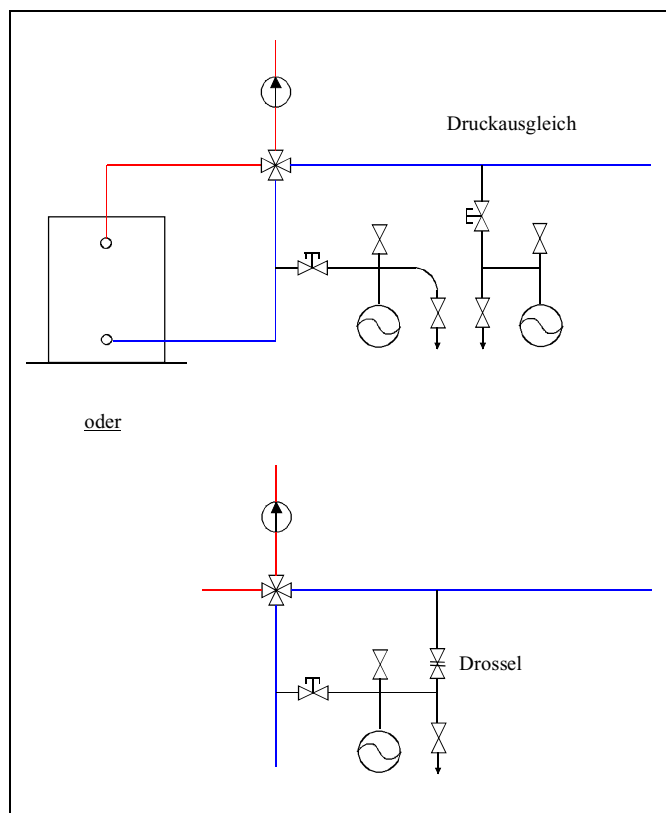


Bild 18: Anschluss des MAG bei 4-Weg-Armatur

Quelle: Datenpool IfHK, FH Wolfenbüttel