

Wichtige und hilfreiche Hinweise für den Praktiker

# Membrangefäße und Druckhaltung

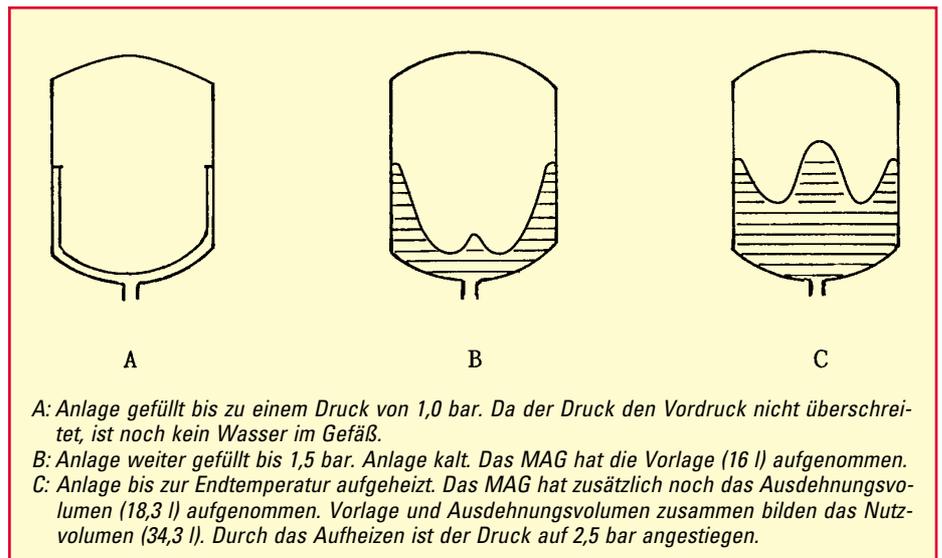
Erich Diehl\*

Wenn man der Fachpresse glauben darf, dann ist es um die Druckhaltung in bis zu 90 % aller Heizungsanlagen schlecht bestellt. Diese Situation fordert geradezu zu einigen Betrachtungen heraus, da weder das System noch die Membrangefäße selbst Schuld an der Misere haben. Die Ursache für die Probleme ist in erster Linie im mangelnden Wissen über die Druckhaltung in Anlagen mit Membrangefäßen zu suchen. Der folgende Fachartikel will deshalb den Heizungsfachleuten einige wichtige und zentrale Kenntnisse nahebringen.

Generell sollte zu Beginn zunächst der Anlagendruck geprüft werden. Er wird zu selten beachtet und häufig nicht auf der ausreichenden Höhe gehalten. Dazu ein Beispiel: Höhenausdehnung einer Anlage von Mitte Membrangefäß bis zum höchsten Anlagenpunkt: 14,5 m; Vordruck im Gefäß: 1,5 bar; Anlagendruck im aufgeheizten Zustand: 1,6 bar.

Wenn diese Anlage nachts auskühlt, dann wird mit größter Wahrscheinlichkeit der Anlagendruck unter den statischen Druck von 1,45 bar (10 m Höhe entsprechen 1 bar) absinken. Dann dringt Luft in die obersten Anlagenteile ein. Diese bleiben kalt, es kommt zu Geräuschen und die Anlage muß nachgefüllt und entlüftet werden. Noch bedenklicher ist, daß das Anlagenwasser sich mit Sauerstoff anreichert, was zu Korrosionsvorgängen und Störungen führt. Die Lebensdauer der Anlagenteile wird also direkt von der Druckhaltung beeinflusst. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, auf eine einwandfreie Druckhaltung zu achten.

Es genügt also nicht, wenn der Anlagendruck lediglich über dem statischen Druck liegt. Er muß vielmehr auch im ausgekühlten Zustand sowohl über dem statischen als auch über dem Vordruck liegen. Andererseits gilt aber auch: Wenn bei der Größenbestimmung des Gefäßes eine ausreichende Vorlage (Wasserreserve) eingerechnet und die Anlage bis zu einem Druck gefüllt wurde, der diese Vorlage berücksichtigt, dann



**Funktionsweise eines Membrangefäßes (Membrangefäß 80 l, Vordruck 1,0 bar, Anlagenhöhe 8 m, Enddruck 2,5 bar)**

wird es bis zur nächsten jährlichen Heizungswartung nicht notwendig werden, Wasser nachzufüllen. Dann entfällt zudem die Notwendigkeit, den Anlagendruck ständig zu kontrollieren. Sollte es dennoch vorzeitig erforderlich werden, daß Wasser nachgefüllt werden muß, dann liegt ein Mangel vor – entweder bei der Gefäßgröße, dem Anlagendruck oder beim Vordruck.

## Bereitstellung der Vorlage

Membrangefäße haben zwei Funktionen: die Bereitstellung einer Vorlage (Reserve) und die Aufnahme der temperaturbedingten Volumenzunahme des Anlagenwassers. Die früher üblichen offenen Ausdehnungsge-

fäße haben beide Funktionen erfüllt. Mit dem Aufkommen der geschlossenen Anlagen glaubte man auf Vorlagen verzichten zu können, was zu einer der Hauptursachen einer mangelhafter Druckhaltung führte. Denn auch in geschlossenen Anlagen kommt es zu einem – wenn auch geringen – Schwund des Anlagenwassers. Deshalb sind Vorlagen unbedingt notwendig. Es hat lange gedauert, bis sich diese Einsicht durchsetzte. Selbst die Bezeichnung „Membran-

\* Erich Diehl, Friedrichstraße 79, 63263 Neu-Isenburg, Telefon (0 61 02) 66 15

ausdehnungsgefäß“ hat diese Einsicht nicht gefördert, weil sie die Ausdehnungsfunktion einseitig betont. Es wäre deshalb besser, von Membrangefäßen zu sprechen. Eine Vorlage kann nur dadurch entstehen, daß die Anlage bis zu einem Druck gefüllt wird, der deutlich über dem Vordruck liegt. Ein noch so großes Gefäß ohne entsprechenden Anlagendruck ergibt noch keine Vorlage. Nach DIN 4807-2 soll die Vorlage 0,5 bis 1 % des Anlagenwassers betragen. Weil dies am unteren Rand liegt, sollte eine Vorlage von 1 % eher als Minimum betrachtet werden. Der Druck, bis zu dem die Anlage zu füllen ist, sollte berechnet werden, denn nur so ist die Aufnahme der vorgesehenen Vorlage gesichert.

## Vordruck regelmäßig prüfen

Für Heizungsanlagen mit einer Höhenausdehnung bis 15 m werden Membrangefäße mit einem zulässigen maximalen Überdruck von 3 bar und mit Vordrücken von 0,5, 1,0 und 1,5 bar eingesetzt. Der Vordruck ist der Druck, unter dem das Gaspolster im Membrangefäß im nicht angeschlossenen Zustand steht. Generell wird ein Gefäß mit einem Vordruck gewählt, der den statischen Druck übersteigt oder gleich groß ist (z. B. Höhenausdehnung: 8 m, Vordruck: 1 bar). Weil die Membranen nicht absolut dicht sind, kommt es im Laufe der Zeit zu einer Abnahme des Vordruckes. Deshalb ist es erforderlich, den Vordruck bei der jährlichen Heizungswartung zu prüfen und gegebenenfalls wieder zu erhöhen. Zu diesem Zweck ist das Gefäß abzusperrten und der Gefäßwasserraum zu entleeren. Die dargestellten Zusammenhänge werfen u. a. folgende Fragen auf:

- Was bedeutet der Vordruckabfall für die Heizungsanlage?
- Sind Störungen im Anlagenbetrieb die Folge?
- Ist der Vordruckabfall in jedem Fall nachteilig?
- Gibt es noch andere Maßnahmen gegen den Vordruckabfall?

Anhand einiger Berechnungsbeispiele lassen sich diese Fragen beantworten.

## Ermittlung des Nutzvolumens

Von ganz entscheidender Bedeutung ist das Nutzvolumen des Gefäßes. Das Nutzvolumen ist derjenige Teil des Gefäßes, der die Vorlage und die Volumenzunahme des Anlagenwassers aufnimmt. Zur Berechnung wird außer dem Vordruck noch der End-

druck gebraucht, der sich dann einstellt, wenn die Anlage bis zur vorgesehenen Endtemperatur aufgeheizt ist. Für Anlagen mit Membrangefäßen mit zulässigem Überdruck von 3 bar werden Sicherheitsventile mit Ansprechdrücken (Öffnungsdrücke) von 2,5 oder 3 bar eingesetzt. Die zulässigen Enddrücke richten sich nach den Sicherheitsventilen und liegen um 0,5 bar unter den Ansprechdrücken, sie betragen entweder 2 oder 2,5 bar.

Wenn der Vordruck gleich oder größer ist als der statische Druck, dann wird das Nutzvolumen nach dieser Gleichung berechnet:

$$V_N = \frac{P_E - P_V}{P_E} \cdot V_G$$

Legende:

$V_N$  = Nutzvolumen  
 $V_G$  = Gefäßgröße (Gesamtinhalt)  
 $P_E$  = Enddruck  
 $P_V$  = Vordruck

Ist der Vordruck unter den statischen Druck abgefallen, dann gilt folgende Gleichung:

$$V_N = \frac{P_E - P_{St}}{P_E \cdot P_{St}} \cdot V_G \cdot P_V$$

Legende:

$P_{St}$  = Statischer Druck

In diesen Gleichungen sind die Drücke in bar aber als absolute Drücke einzusetzen. Der absolute Druck ist der um 1 bar vermehrte Druck. Beispiel: Ein Enddruck von 2,5 bar entspricht einem absoluten Druck von 3,5 bar.

### Rechenbeispiel 1

Ausgangsdaten: Anlagenhöhe 8 m, Vordruck 1,0 bar, Ansprechdruck 2,5 bar, Enddruck 2 bar, Membrangefäß 110 l. Eine Kontrolle ergibt, daß der Vordruck auf 0,6 bar abgesunken ist. Das Nutzvolumen bei Vordruck 1 bar beträgt:

$$V_N = \frac{P_E - P_V}{P_E} \cdot V_G = \frac{(2 + 1) - (1 + 1)}{2 + 1} \cdot 110 = 36,7 \text{ l}$$

Das Nutzvolumen bei Vordruck 0,6 bar beträgt:

$$V_N = \frac{P_E - P_{St}}{P_E \cdot P_{St}} \cdot V_G \cdot P_V = \frac{3 - 1,8}{3 \cdot 1,8} \cdot 110 \cdot 1,6 = 39,1 \text{ l}$$

Ergebnis: Das Nutzvolumen hat durch den Vordruckabfall sogar zugenommen. Nicht jeder Vordruckabfall ist also nachteilig. Doch dies kann nur durch eine Berechnung geklärt werden.

### Rechenbeispiel 2

Ausgangsdaten: Anlagenhöhe 10 m, Vordruck 1 bar, Enddruck 2,5 bar, Gefäß 50 l. Das Nutzvolumen beträgt:

$$V_N = \frac{3,5 - 2}{3,5} \cdot 50 = 21,4 \text{ l}$$

Zu Vergleichszwecken wurden in Tabelle 1 die Nutzinhalt für ein Gefäß 80 l berechnet (Anlagenhöhe 10 m, Enddruck 2,5 bar). Als interessantes Ergebnis ergibt sich: Das Nutzvolumen des 80-l-Gefäßes ist mit 22,3 l trotz des von 1 bar auf 0,3 bar abgesunkenen Vordruckes noch immer größer, als das des 50-l-Gefäßes mit vollem Vordruck von 1 bar. Wird in diesem Fall also statt des 50-l-Gefäßes eines mit 80 l eingesetzt, dann muß man sich für eine sehr lange Zeit keine Gedanken um den Vordruck machen. Die (relativ) geringen Mehrkosten sind deshalb gut angelegt.

## Zentrale Leitlinien für die Praxis

Aus dem oben Dargestellten lassen sich folgende, allgemeine Schlüsse ziehen:

- Der Nutzeffekt (Nutzvolumen) eines Membrangefäßes ist am größten, wenn Vordruck und statischer Druck gleich hoch sind. Jede Abweichung hiervon mindert den Nutzeffekt.
- Das Abfallen des Vordruckes bis auf die Höhe des statischen Druckes vergrößert das Nutzvolumen. Fällt der Vordruck noch weiter ab, verringert sich zwar auch das Nutzvolumen, bleibt aber zunächst immer noch

Vordruck [bar]	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
Nutzbare Gefäßkapazität [l]	22,3	24	25,7	27,4	29,1	30,9	
Vordruck [bar]	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Nutzbare Gefäßkapazität [l]	32,6	34,3	32	29,7	27,4	25,1	22

**Tabelle 1 Kapazität eines Membrangefäßes bei verschiedenen Vordrücken**  
 (Membrangefäß 80 l, Statische Höhe 10 m, Enddruck 2,5 bar)

größer als im Anfangszustand. Ab welchem Vordruck das Nutzvolumen dann kleiner wird als das Ursprüngliche, läßt sich nur durch Berechnung klären. Beispiel: Anlagenhöhe 12 m, Vordruck 1,5 bar, Enddruck 2,5 bar. Wenn der Vordruck bis auf 0,7 bar abfällt, dann ist das Nutzvolumen immer noch so groß wie bei 1,5 bar Vordruck.

● Bei einer Kontrolle bzw. Korrektur des Vordruckes sollte dieser nicht unnötig erhöht werden; jedenfalls nicht über die ursprüngliche Höhe hinaus. Wer mit der Erhöhung den vermeintlich nachteiligen Folgen des Vordruckabfalls vorbeugen will, erreicht das genaue Gegenteil. Denn der entscheidende Faktor ist weniger der Vordruck, sondern vielmehr das Nutzvolumen. Und dieses wird vermindert, wenn der Vordruck unnötig erhöht wird. Die unerwünschte Folge könnte darin bestehen, daß es vorzeitig notwendig wird, Wasser nachzufüllen.

Temperatur [°C]	40	50	60	70	80	90
Vol.-Zunahme [%]	0,75	1,17	1,67	2,24	2,86	3,55

**Tabelle 2 Volumenzunahme in Prozent**

● Eine reichlich gewählte Gefäßgröße erweist sich als äußerst wirkungsvolle Maßnahme gegen den Vordruckabfall.

Noch ein weiterer Zusammenhang verdient Beachtung: Der Druck in geschlossenen Anlagen verändert sich ständig. Je größer das Membrangefäß, desto geringer sind die Druckschwankungen. Dies gilt übrigens auch umgekehrt: Je heftiger der Manometerzeiger ausschlägt, desto mangelhafter ist die Druckhaltung.

Letztlich lassen sich die Mängel und Probleme auf zwei Ursachen zurückführen:

– Ungenügende bzw. unklare Begriffe über die Druckhaltung, vor allem über die Funktionsweise der Membrangefäße. So scheint es z. B. vielfach in der Praxis nicht bekannt zu sein, daß das Gefäß zuerst die Vorlage und dann erst die Volumenzunahme aufnimmt.

– Gefäßgrößen, die vielleicht theoretischen Überlegungen genügen, aber nicht den Anforderungen des praktischen Anlagenbetriebes.

## Konkreter Praxisfall

Zur Veranschaulichung der Zusammenhänge nachfolgend ein Praxisbeispiel mit folgenden Ausgangsdaten: offene Heizungsanlage von 1961, Stahlradiatoren, 90/70 °C, Anlagenhöhe 10 m, Anlagenwasservolumen 270 l. Die Umstellung zur geschlossenen Anlage erfolgte 1987. Mit einer Vorlage von 1 % und einem Enddruck von 2 bar hätte ein Membrangefäß von 35 l ausgereicht. Es wurde aber ein Gefäß mit 50 l und ein Vordruck von 1 bar gewählt. Nach mehr als 12 Jahren ergab eine erstmalige Kontrolle einen Vordruck von nur noch 0,28 bar.

Die Druckhaltung hätte in all diesen Jahren nicht besser sein können. Es gab keinen akuten Anlaß zu einer Vordruckprüfung und auch keine Veranlassung, den Anlagendruck zu korrigieren, obwohl seit ca. drei Jahren kein Wasser mehr nachgefüllt worden war. Die Stahlradiatoren von 1961 sind noch im besten Zustand, von Korrosion keine Spur. Sicherlich ist es angebracht, den Vordruck zu kontrollieren. Andererseits aber zeigt die Praxis, daß ein reichlich bemessenes Membrangefäß

– jedenfalls für eine ganze Reihe von Jahren – geradezu eine Garantie dafür ist, daß Probleme erst gar nicht entstehen. Auch die Berechnungen kommen zum selben Ergebnis.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß es zwei zentrale Maßnahmen für eine problemlosen Druckhaltung gibt:

– der Einsatz von Gefäßen, die größer sind, als das Resultat einer lediglich theoretischen Berechnungen

– das Füllen der Anlage bis zu einem Druck, der deutlich über dem Vordruck (im Anfangszustand) liegt.

## Berechnung in acht Schritten

Basisdaten: Heizungsanlage ausgelegt 70/50 °C, Anlagenhöhe 9 m, Vordruck 1 bar, Enddruck 2,5 bar. Die Berechnung erfolgt in 8 Schritten:

❶ Berechnung des Anlagenwassers. Die Berechnung erfolgt getrennt nach Heizkessel, Heizkörpern und Rohrleitungen. Im Beispiel wurde das Anlagenwasser ermittelt zu 785 l.

❷ Die Vorlage wird zunächst frei gewählt. Hier: 2 % vom Anlagenwasser (785 l); somit ist  $V_V = 15,7$  l

❸ Volumenzunahme von 1,67 (Tabelle 2, 60 °C = Mitteltemperatur von 70/50 °C) nach Tabelle 2. Mit 1,67 % von 785 l ergibt sich  $V_Z = 13,1$  l

❹ Das erforderliche Nutzvolumen ist die Summe von Vorlage  $V_V$  und Volumenzunahme  $V_Z$ . Aus  $15,7$  l +  $13,1$  l ergibt sich  $V_N = 28,8$  l

❺ Erforderliche Gefäßgröße:

$$V_G = \frac{V_N \cdot P_E}{P_E - P_V} = \frac{28,8 \cdot 3,5}{3,5 - 2} = 67 \text{ l}$$

❻ Gewähltes Gefäß:  $V_G = 80$  l

❼ Da das Gefäß größer ist als berechnet, fällt auch die Vorlage größer aus.

$$V_V = \frac{V_G \cdot (P_E - P_V)}{P_E} - V_Z$$

$$= \frac{80 \cdot (3,5 - 2)}{3,5} - 13,1$$

somit ist  $V_V = 21,2$  l

❽ Fülldruck:

$$P_F = \frac{V_G \cdot P_V}{V_G - V_V} = \frac{80 \cdot 2}{80 - 21,2}$$

$$= 2,7 \text{ bar abs.}$$

$P_F = 1,7$  bar

Die Anlage ist bis zu einem Druck von 1,7 bar (kalt) zu füllen, damit die Vorlage von 21 l aufgenommen wird, ohne daß nach dem Aufheizen bis zur Endtemperatur der Enddruck von 2,5 bar überschritten wird.

In Tabelle 3 sind noch einmal alle Gleichungen und Bezeichnungen zusammengefaßt, die für die Berechnungen erforderlich sind.

## Umstellung auf eine geschlossene Anlage

In offenen Anlagen bleibt der Anlagendruck, bedingt durch das offene Ausdehnungsgefäß und die Überlaufleitung, praktisch konstant. Dagegen erfolgt in geschlossenen Anlagen durch die Temperaturerhöhung eine Zunahme des Anlagendruckes. Die Druckerhöhung ist abhängig von der Größe des Membrangefäßes. Das bedeutet, daß die Druckerhöhung durch die Wahl der Gefäßgröße begrenzt werden kann. Dazu sind keine anderen Berechnungen notwendig, als die nach Tabelle 3.

## Alte Anlagenteile berücksichtigen

Bei alten offenen Anlagen ist, bedingt durch die Aufnahme von Sauerstoff, mit korrodierten bzw. geschwächten Anlagenteilen zu rechnen. Es ist deshalb zweckmäßig, bei der Umstellung auf eine geschlossene Anlage die unvermeidliche Druckzunahme zu begrenzen. Das erfolgt einfach durch ein entsprechend großes Membrangefäß und einen sachgemäß berechneten Fülldruck. In diesen Fällen ist es günstig, den Gefäßvordruck bis auf die Höhe des statischen Druckes zu reduzieren. Da es sich hier um geringe Druckdifferenzen handelt, ist die Verwendung von größeren und genauer anzeigenden Manometern zu empfehlen. Zudem sollte die Montage von Gefäß und Manometer auf gleicher Höhe erfolgen.

## Rechenbeispiel zur Verdeutlichung

Basisdaten: Heizungsanlage ausgelegt 90/70 °C, Höhenausdehnung 12 m, Gefäßvordruck abgesenkt auf 1,2 bar. Die Vorlage soll 1,5 % vom Anlagenwasser betragen, die auftretende Erhöhung des Anlagendrucks soll auf 0,5 bar begrenzt werden. Es ist deshalb mit 1,2 bar Vordruck und 1,7 bar Enddruck zu rechnen.

- ❶ Anlagenwasser wird berechnet zu 780 l.
- ❷ Vorlage  $V_V = 11,7$  l (1,5 % von 780 l)
- ❸ Volumenzunahme  $V_Z = 22,3$  l (2,86 % von 780 l bei Mitteltemperatur 80 °C)
- ❹ Erforderliches Nutzvolumen  $V_N = 11,7$  l + 22,3 l = 34 l
- ❺ Erforderliche Gefäßgröße:

$$V_G = \frac{V_N \cdot P_E}{P_E - P_V} = \frac{34 \cdot 2,7}{2,7 - 2,2} = 184 \text{ l}$$

- ❻ Gewähltes Gefäß:  $V_G = 200$  l
- ❼ Da das Gefäß größer ist als berechnet, fällt auch die Vorlage größer aus.

$$V_V = \frac{V_G \cdot (P_E - P_V)}{P_E} - V_Z$$

$$= \frac{200 \cdot (2,7 - 2,2)}{2,7} - 22,3$$

somit ist  $V_V = 14,7$  l

- ❽ Fülldruck:

$$P_F = \frac{V_G \cdot P_V}{V_G \cdot V_V} = \frac{200 \cdot 2,2}{200 - 14,7}$$

$$= 2,37 \text{ bar abs.}$$

$$P_F = 1,37 \text{ bar}$$

Durch das Füllen der Anlage bis 1,37 bar (kalter Zustand) wird die Vorlage von 14,7 l gebildet. Diese Vorlage stellt sicher, daß mindestens ein Jahr lang – bis zur nächsten

$$V_N = V_V + V_Z$$

$$V_G = \frac{V_N \cdot P_E}{P_E - P_V}$$

$$V_V = \frac{V_G \cdot (P_E - P_V)}{P_E} - V_Z$$

$$P_F = \frac{V_G \cdot P_V}{V_G - V_V}$$

$$V_N = \frac{P_E - P_V}{P_E} \cdot V_G \quad \text{Vordruck ist größer als statischer Druck}$$

$$V_N = \frac{P_E - P_{St}}{P_E \cdot P_{St}} \cdot V_G \cdot P_V \quad \text{Vordruck ist kleiner als statischer Druck}$$

*Hinweis:*  
Alle Drücke sind absolute Drücke

- $V_V$  Vorlage (Reserve)
- $V_Z$  Zunahme des Anlagenwassers durch Erwärmung
- $V_N$  Nutzvolumen des Membrangefäßes
- $V_G$  Gesamthalt des Gefäßes
- $P_{St}$  Statischer Druck
- $P_V$  Vordruck
- $P_F$  Fülldruck, kalter Anlagenzustand
- $P_E$  Enddruck

**Tabelle 3 Zusammenstellung der wichtigsten Gleichungen und Formelzeichen**

Heizungswartung – der Anlagendruck auch im kalten Zustand über dem statischen Druck liegt. Da ein Nachfüllen somit nicht notwendig wird, kann auch kein Sauerstoff in das Heizungswasser eindringen. Zudem gewährleistet die Gefäßgröße von 200 l, daß auch im voll aufgeheizten Zustand der Anlagendruck 1,7 bar nicht übersteigt. □