

## Auslegung von Membran Ausdehnungsgefäßen gemäß EN 12828

### Allgemeines

Die **Größe** des Membran-Ausdehnungsgefäßes (MAG) hängt ab von:

- dem Wasservolumen der Anlage  $V_{system}$
- der durch die Aufheizung auf die maximalen Überschwingtemperatur  $\theta_U$  verursachten Ausdehnungsvolumen  $V_e$
- dem Vordruck (Auslegungs-Anfangsdruck)  $p_0$
- dem Auslegungs-Enddruck  $p_e$

Aus diesen Größen kann das erforderliche Nennvolumen  $V_{exp,min}$  des Ausdehnungsgefäßes berechnet werden.

### Wasservolumen der Anlage

Sind die Wasservolumen der einzelnen Bauteile nicht bekannt, kann das Wasservolumen der gesamten Anlage näherungsweise mithilfe der Nennwärmeleistung des Wärmeerzeugers und dem spezifischen Wasservolumen ermittelt werden.

$$V_{System} = v \cdot \Phi_{NL}$$

$V_{System}$  Wasserinhalt der Anlage in l  
 $v$  Spezifischer Anlagenwasserinhalt in l/kW  
 $\Phi_{NL}$  Kesselnennwärmeleistung in kW

Heizflächenart	spezifischer Wasserinhalt $v$ l/kW
Plattenheizkörper	ca. 9
Radiatoren (moderne Bauart)	ca. 11
Radiatoren in Schwerkraftanlagen	ca. 13
Fußbodenheizung	ca. 20
Konvektoren	ca. 5
Lüftungsgeräte	ca. 7,5

spezifischer Wasserinhalt  $v$

### Ausdehnungsvolumen

Das **Ausdehnungsvolumen**  $V_e$  bezieht sich auf die maximale Überschwingtemperatur  $\theta_U$  der Anlage. Die maximale Überschwingtemperatur  $\theta_U$  liegt üblicherweise 10 K über der eingestellten Temperatur am Sicherheits-Temperaturbegrenzer. Da in Abhängigkeit von der Art des Wärmeerzeugers auch höhere Überschwingtemperaturen entstehen können, sollten beim Hersteller genaue Angaben über das Nachheizverhalten des Wärmeerzeugers eingeholt werden. Die am Sicherheitstemperaturbegrenzer einzustellende Abschalttemperatur  $\theta_{max}$  darf maximal 110°C betragen. das in der EN 12828 beschriebene Berechnungsverfahren bezieht sich auf eine Abschalttemperatur des Sicherheits-Temperaturbegrenzers  $\theta_{max}$  von 100°C.

$$V_e = \frac{e \cdot V_{System}}{100}$$

$V_e$  Ausdehnungsvolumen in l  
 $V_{System}$  Wasserinhalt der Anlage in l  
 $e$  Wasserausdehnung in %

Die prozentuale Wasserausdehnung  $e$  für verschiedene Überschwingtemperaturen kann aus untenstehender Tabelle entnommen werden.

Maximale Überschwingtemperatur $\theta_U$ [°C]	Wasserausdehnung $e$ [%]
30	0,66
40	0,93
50	1,29
60	1,71
70	2,22
80	2,81
90	3,47
100	4,21
110	5,03
120	5,93
130	6,90

Prozentuale Ausdehnung  $e$  von Wasser gemäß EN 12828

**Beispiel:**

Ermitteln Sie das Ausdehnungsvolumen für eine geschlossene Warmwasserheizung mit Plattenheizkörper, wenn die Nennwärmeleistung  $\Phi_{NL} = 65 \text{ kW}$  beträgt und die maximale Überschwingtemperatur  $\theta_{\bar{u}}$  nach Herstellerangaben mit  $110^\circ\text{C}$  anzunehmen ist.

**Lösung:**

**geg.:**  $\Phi_{NL} = 65 \text{ kW}$ ;  $v = 9 \text{ l/kW}$ ;  $\theta_{\bar{u}} = 110^\circ\text{C}$

**ges.:**  $V_e$

$$\theta_{\bar{u}} = 110^\circ\text{C} \Rightarrow e = 5,03\%$$

$$V_{\text{System}} = v \cdot \Phi_{NL} = 9 \frac{\text{l}}{\text{kW}} \cdot 65 \text{ kW} = 585 \text{ l}$$

$$V_e = \frac{e \cdot V_{\text{System}}}{100} = \frac{5,03\% \cdot 585 \text{ l}}{100} = 29,43 \text{ l}$$

$$V_e = \underline{29,43 \text{ l}}$$

Das Ausdehnungsvolumen  $V_e$  beträgt 29,43 Liter

**Vordruck**

Der Vordruck  $p_0$  sollte mindestens 0,7 bar betragen. Überschlägig kann der Vordruck mit 0,3 bar über dem statischen Druck der Heizungsanlage angenommen werden.

$$p_0 = p_{st} + 0,3 \text{ bar}$$

$p_0$  Vordruck des Membranausdehnungsgefäßes (Auslegungs-Anfangsdruck) in [bar]  
 $p_{st}$  Statischer Druck in [bar]

**Beispiel:**

Bei einer geschlossenen Wasserheizungsanlage beträgt die Wasserhöhe über dem Ausdehnungsgefäß  $h = 5 \text{ m}$ . Wie groß muss der Vordruck sein?

**Lösung:**

**geg.:**  $h = 5 \text{ m} \Rightarrow p_{st} = 0,5 \text{ bar}$

**ges.:**  $p_0$

$$p_0 = p_{st} + 0,3 \text{ bar} = 0,5 \text{ bar} + 0,3 \text{ bar} = \underline{0,8 \text{ bar}}$$

Der Vordruck muss 0,8 bar betragen.

**Auslegungs-Enddruck**

Der Auslegungs-Enddruck  $p_e$  sollte nicht höher gewählt werden als der Einstelldruck des Sicherheitsventils  $p_{SV}$  abzüglich der Schließdruckdifferenz, die von der Art des Sicherheitsventils abhängt. Empfohlen wird ein Auslegungs-Enddruck  $p_e$ , der um 0,5 bar unter dem Einstellüberdruck des Sicherheitsventils  $p_{SV}$  liegt.

$$p_e = p_{SV} - 0,5 \text{ bar}$$

$p_e$  Auslegungs-Enddruck in [bar]  
 $p_{SV}$  Einstelldruck des Sicherheitsventils in [bar]

**Beispiel:**

Welcher Auslegungs-Enddruck  $p_e$  ergibt sich für eine geschlossene Heizungsanlage, wenn das Sicherheitsventil einen Ansprechdruck  $p_{SV}$  von 3,0 bar aufweist?

**Lösung:**

**geg.:**  $p_{SV} = 3,0 \text{ bar}$

**ges.:**  $p_e$

$$p_e = p_{SV} - 0,5 \text{ bar} = 3,0 \text{ bar} - 0,5 \text{ bar} = \underline{2,5 \text{ bar}}$$

Der Auslegungs-Enddruck  $p_e$  muss 2,5 bar betragen.

Sicherheitsventile die in Heizungsanlagen eingebaut werden, haben üblicherweise einen Einstelldruck von **2,5** oder **3,0 bar**.

## Nennvolumen

Für die Bestimmung des Nennvolumens  $V_{exp,min}$  ist zusätzlich zum Ausdehnungsvolumen auch ein Mindestwasservorlage  $V_{WR}$  zu berücksichtigen. Ausdehnungsgefäße bis zu 15 Liter Nennvolumen müssen eine Wasservorlage von 20% ihres Nennvolumens aufweisen. Bei Ausdehnungsgefäße mit mehr als 15 Liter Nennvolumen muss die Wasservorlage 0,5 % des Anlagenwasserinhaltes  $V_{System}$ , mindestens jedoch 3 Liter betragen.

Da das Ausdehnungsgefäß durch den Gaspolster nicht zur Gänze gefüllt werden kann, muss der erforderliche Nenninhalt des Ausdehnungsgefäßes  $V_{exp,min}$  größer sein als das Ausdehnungsvolumen  $V_e$ . Dies wird durch den Nutzfaktor  $f_N$  berücksichtigt. Der Nutzfaktor berechnet sich nach der Formel:

$$f_N = \frac{p_e + 1\text{bar}}{p_e - p_0}$$

$f_N$  Nutzfaktor  
 $p_e$  Auslegungs-Enddruck in bar  
 $p_0$  Vordruck des Membranausdehnungsgefäßes in bar

Unter Berücksichtigung der erforderlichen Wasservorlage ergibt sich das Nennvolumen  $V_{exp,min}$  für das Ausdehnungsgefäß nach den Formeln:

• wenn  $\frac{15l \cdot (1 - 0,2 \cdot f_N)}{f_N} \geq V_e$

$$V_{exp,min} = \frac{V_e \cdot f_N}{1 - 0,2 \cdot f_N}$$

$$V_{WR} = V_{exp,min} \cdot 0,2$$

$V_{exp,min}$  Nennvolumen des Ausdehnungsgefäßes in l  
 $V_e$  Ausdehnungsvolumen in l  
 $f_N$  Nutzfaktor  
 $V_{WR}$  Wasservorlage in l

• wenn  $\frac{15l \cdot (1 - 0,2 \cdot f_N)}{f_N} < V_e$

$$V_{WR} = V_{System} \cdot 0,005$$

$$V_{exp,min} = (V_e + V_{WR}) \cdot f_N$$

$V_{WR}$  Wasservorlage in l  
 $V_{System}$  Wasserinhalt der Anlage in l  
 $V_{exp,min}$  Nennvolumen des Ausdehnungsgefäßes in l  
 $V_e$  Ausdehnungsvolumen in l  
 $f_N$  Nutzfaktor

### Beispiel:

Berechnen Sie das erforderliche Nennvolumen  $V_{exp,min}$  und den Vordruck  $p_0$  für ein Ausdehnungsgefäß, dass in einer Anlage mit einen Wasserinhalt  $V_{System}$  von 334 Liter und einer statischen Höhe von 7 Metern eingebaut werden soll. Das Sicherheitsventil weist einen Einstelldruck  $p_{SV}$  von 3 bar auf und die maximale Überschwingtemperatur  $\theta_u$  kann mit 110°C angenommen werden.

### Lösung:

**geg.:**  $V_{System}=334\text{ l}$ ;  $p_{st}=7\text{ mWs}=0,7\text{ bar}$ ;  $\theta_u=110^\circ\text{C}$ ;  $p_{SV}=3,0\text{ bar}$

**ges.:**  $V_{exp,min}$ ;  $p_0$

Ausdehnungsvolumen:

$$\theta_u = 110^\circ\text{C} \Rightarrow e = 5,03\%$$

$$V_e = \frac{e \cdot V_{System}}{100} = \frac{5,03\% \cdot 334\text{ l}}{100} = 16,8\text{ l}$$

Vordruck:

$$p_0 = p_{st} + 0,3\text{bar} = 0,7\text{bar} + 0,3\text{bar} = \underline{1,0\text{ bar}}$$

Auslegungs-Enddruck:

$$p_e = p_{SV} - 0,5\text{bar} = 3,0\text{bar} - 0,5\text{bar} = 2,5\text{ bar}$$

Nutzfaktor:

$$f_N = \frac{p_e + 1\text{bar}}{p_e - p_0} = \frac{2,5\text{bar} + 1\text{bar}}{2,5\text{bar} - 1\text{bar}} = 2,33$$

$$\frac{15\text{l} \cdot (1 - 0,2 \cdot f_N)}{f_N} = \frac{15\text{l} \cdot (1 - 0,2 \cdot 2,33)}{2,33} = 3,43 < V_e$$

$$V_{WR} = V_{\text{System}} \cdot 0,005 = 334\text{l} \cdot 0,005 = 1,67\text{l} \quad \text{da der Mindestwert jedoch 3 Liter beträgt: } V_{WR} = 3\text{l}$$

$$V_{\text{exp, min}} = (V_e + V_{WR}) \cdot f_N = (16,8\text{l} + 3\text{l}) \cdot 2,33 \approx 46\text{l}$$

$$V_{\text{exp, min}} \approx \underline{\underline{46\text{l}}}$$

Das erforderliche Ausdehnungsgefäß muss ein Nennvolumen  $V_{\text{exp, min}}$  von 46Liter haben und bei der Inbetriebnahme auf einen Vordruck  $p_0$  von 1,0 bar eingestellt werden.

Ist im Handel kein Membran-Ausdehnungsgefäß mit dem errechnetem Nennvolumen erhältlich, so ist das nächst größere Gefäß zu wählen!

Nennvolumen $V_{\text{exp}}$ [l]	Vordruck $p_0$ [bar]
4	0,8
8	0,8
12	0,8
18	0,8
25	1,0
35	1,0
50	1,0
80	1,0
100	1,0
115	1,0
120	1,3
180	1,3
250	1,3
330	1,3
500	1,3
600	1,3
800	1,3
1000	1,3
120	2,3
180	2,3
250	2,3
330	2,3
120	3,3
180	3,3
250	3,3
330	3,3

Nennvolumen von handelsüblichen Membran-Ausdehnungsgefäßen

### Mindest- und Maximalfülldruck

Damit beim Füllen der Anlage im kalten Zustand das Ausdehnungsgefäß die Wasservorlage aufnimmt, sollte der Mindestfülldruck  $p_{a, \text{min}}$  nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$p_{a, \text{min}} = \frac{V_{\text{exp}} \cdot (p_0 + 1\text{bar})}{V_{\text{exp}} - V_{WR}} - 1\text{bar}$$

$p_{a, \text{min}}$  Mindestfülldruck im kalten Zustand der Anlage |  
 $V_{\text{exp}}$  gewähltes Nennvolumen des Ausdehnungsgefäßes |  
 $V_{WR}$  Wasservorlage des Ausdehnungsgefäßes |  
 $p_0$  Vordruck des Membranausdehnungsgefäßes in bar

Damit beim Erreichen der maximalen Überschwingtemperatur  $\theta_{\bar{i}}$  nicht der Auslegungs-Enddruck  $p_e$  überschritten wird, sollte der Maximalfülldruck  $p_{a,max}$  nach folgender Gleichung ermittelt werden:

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

$p_{a,max}$	Maximalfülldruck im kalten Zustand der Anlage l
$V_{exp}$	gewähltes Nennvolumen des Ausdehnungsgefäßes l
$V_{WR}$	Wasservorlage des Ausdehnungsgefäßes l
$p_0$	Vordruck des Membranausdehnungsgefäßes in bar
$p_e$	Auslegungs-Enddruck der Anlage in bar

Der tatsächliche Fülldruck sollte zwischen dem Mindestfülldruck  $p_{a,min}$  und dem Maximalfülldruck  $p_{a,max}$  liegen!

#### Beispiel:

Eine geschlossene Warmwasserheizung hat eine Nennwärmeleistung  $\Phi_{NL}$  von 25 kW und eine statische Höhe von 10 Metern. Das Wärmeabgabesystem soll mit modernen Radiatoren ausgestattet werden. Der Einstelldruck des Sicherheitsventils beträgt 3 bar und die maximale Überschwingtemperatur  $\theta_{\bar{i}}$  kann mit 110°C angenommen werden.

- Berechnen Sie den erforderlichen Vordruck  $p_0$ ,
- das erforderliche Nennvolumen  $V_{exp,min}$  des Ausdehnungsgefäßes,
- wählen Sie eine handelsüblich Gefäßgröße  $V_{exp}$  aus und ermitteln Sie
- den Mindestfülldruck  $p_{a,min}$  und den Maximalfülldruck  $p_{a,max}$  der Anlage.

#### Lösung:

**geg.:**  $\Phi_{NL} = 25 \text{ kW}$ ;  $h = 10 \text{ m} \Rightarrow p_{st} = 1,0 \text{ bar}$ ;  $v = 11 \text{ l/kW}$ ;  $p_{SV} = 3,0 \text{ bar}$ ;  $\theta_{\bar{i}} = 110^\circ\text{C}$

**ges.:**  $p_0$ ;  $V_e$ ;  $p_{a,min}$ ;  $p_{a,max}$ ;  $p_e$

$$\theta_{\bar{i}} = 110^\circ\text{C} \Rightarrow e = 5,03\%$$

$$V_{system} = v_{system} \cdot \Phi_{NL} = 11 \frac{\text{l}}{\text{kW}} \cdot 25 \text{ kW} = 275 \text{ l}$$

$$V_e = \frac{e \cdot V_{system}}{100} = \frac{5,03\% \cdot 275 \text{ l}}{100} = 13,8 \text{ l}$$

$$p_0 = p_{st} + 0,3 \text{ bar} = 1,0 \text{ bar} + 0,3 \text{ bar} = \underline{1,3 \text{ bar}}$$

$$p_e = p_{SV} - 0,5 \text{ bar} = 3,0 \text{ bar} - 0,5 \text{ bar} = 2,5 \text{ bar}$$

$$f_N = \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} = \frac{2,5 \text{ bar} + 1 \text{ bar}}{2,5 \text{ bar} - 1,3 \text{ bar}} = 2,92$$

$$\frac{15 \text{ l} \cdot (1 - 0,2 \cdot f_N)}{f_N} = \frac{15 \text{ l} \cdot (1 - 0,2 \cdot 2,92)}{2,92} = 2,14 < V_e$$

$$V_{WR} = V_{system} \cdot 0,005 = 275 \text{ l} \cdot 0,005 = 1,38 \text{ l} \quad \text{da der Mindestwert jedoch 3 Liter beträgt: } V_{WR} = 3 \text{ l}$$

$$V_{exp,min} = (V_e + V_{WR}) \cdot f_N = (13,8 \text{ l} + 3 \text{ l}) \cdot 2,92 \approx 49 \text{ l}$$

$V_{exp,min} \approx \underline{49 \text{ l}}$  gewählte Größe des Ausdehnungsgefäßes:  $V_{exp} = 50 \text{ l}$

$$p_{a,min} = \frac{V_{exp} \cdot (p_0 + 1)}{V_{exp} - V_{WR}} - 1 = \frac{50 \text{ l} \cdot (1,3 \text{ bar} + 1 \text{ bar})}{50 \text{ l} - 3 \text{ l}} - 1 \text{ bar} = 1,4 \text{ bar}$$

$$p_{a,min} = \underline{1,4 \text{ bar}}$$

$$p_{a,max} = \frac{(p_e + 1\text{bar})}{1 + \frac{V_e \cdot (p_e + 1\text{bar})}{V_{exp} \cdot (p_0 + 1\text{bar})}} - 1 = \frac{(2,5 \text{ bar} + 1 \text{ bar})}{1 + \frac{13,8 \text{ l} \cdot (2,5 \text{ bar} + 1 \text{ bar})}{50 \text{ l} \cdot (1,3 \text{ bar} + 1 \text{ bar})}} - 1 \text{ bar} = 1,5 \text{ bar}$$

$$p_{a,max} = \underline{1,5 \text{ bar}}$$

Es wird ein Ausdehnungsgefäß mit einem Nennvolumen  $V_{exp}$  von 50 Liter und einem Vordruck von 1,3 bar benötigt. Der Fülldruck der Anlage muss zwischen 1,4 bar und 1,5 bar liegen.

## Auslegungstabelle

Die folgende Auslegungstabelle ermöglicht die rasche Auslegung des erforderlichen Gefäßinhaltes von Membranausdehnungsgefäßen. Der Tabelle wurde eine maximale Überschwungtemperatur  $\theta_0$  von 110°C zugrunde gelegt. Die Wasservorlage wurde in das erforderliche Nennvolumen eingerechnet.

Wasserinhalt $V_{System}$	Ausdehnungsvolumen $V_e$	Nennvolumen $V_{exp,min}$ von Membranausdehnungsgefäßen in l																	
		Einstelldruck des Sicherheitsventils $p_{SV}=2,5$ bar									Einstelldruck des Sicherheitsventils $p_{SV}=3,0$ bar								
		Vordruck $p_0$ in bar									Vordruck $p_0$ in bar								
		0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
25	1,3	5,4	6,3	7,5	9,4	12,6	16,0	18,2	21,3	25,5	4,0	4,4	4,9	5,5	6,3	7,3	8,8	11,0	14,7
50	2,5	10,8	12,6	15,0	16,5	18,4	20,7	23,6	27,6	33,1	8,0	8,8	9,8	11,0	12,6	14,7	16,1	17,5	19,3
75	3,8	15,6	16,9	18,5	20,3	22,6	25,4	29,0	33,9	40,6	12,0	13,2	14,7	15,8	16,9	18,2	19,8	21,5	23,7
100	5,0	18,5	20,1	21,9	24,1	26,8	30,1	34,4	40,2	48,2	15,6	16,5	17,6	18,7	20,1	21,6	23,4	25,6	28,1
125	6,3	21,4	23,2	25,3	27,9	31,0	34,8	39,8	46,4	55,7	18,1	19,1	20,3	21,7	23,2	25,0	27,1	29,6	32,5
150	7,5	24,3	26,4	28,8	31,6	35,2	39,5	45,2	52,7	63,3	20,5	21,7	23,1	24,6	26,4	28,4	30,8	33,6	36,9
175	8,8	27,2	29,5	32,2	35,4	39,3	44,3	50,6	59,0	70,8	22,9	24,3	25,8	27,5	29,5	31,8	34,4	37,6	41,3
200	10,1	30,1	32,7	35,6	39,2	43,5	49,0	56,0	65,3	78,4	25,4	26,9	28,6	30,5	32,7	35,2	38,1	41,6	45,7
225	11,3	33,0	35,8	39,0	43,0	47,7	53,7	61,4	71,6	85,9	27,8	29,5	31,3	33,4	35,8	38,5	41,8	45,6	50,1
250	12,6	35,9	38,9	42,5	46,7	51,9	58,4	66,8	77,9	93,5	30,3	32,1	34,1	36,3	38,9	41,9	45,4	49,6	54,5
275	13,8	38,8	42,1	45,9	50,5	56,1	63,1	72,1	84,2	101,0	32,7	34,7	36,8	39,3	42,1	45,3	49,1	53,6	58,9
300	15,1	41,7	45,2	49,3	54,3	60,3	67,8	77,5	90,5	108,5	35,2	37,2	39,6	42,2	45,2	48,7	52,8	57,6	63,3
325	16,3	44,6	48,4	52,8	58,0	64,5	72,6	82,9	96,7	116,1	37,6	39,8	42,3	45,1	48,4	52,1	56,4	61,6	67,7
350	17,6	47,6	51,5	56,2	61,8	68,7	77,3	88,3	103,0	123,6	40,1	42,4	45,1	48,1	51,5	55,5	60,1	65,6	72,1
375	18,9	50,5	54,7	59,6	65,6	72,9	82,0	93,7	109,3	131,2	42,5	45,0	47,8	51,0	54,7	58,9	63,8	69,6	76,5
400	20,1	53,4	57,8	63,1	69,4	77,1	86,7	99,1	115,6	138,7	45,0	47,6	50,6	53,9	57,8	62,2	67,4	73,6	80,9
425	21,4	56,3	60,9	66,5	73,1	81,3	91,4	104,5	121,9	146,3	47,4	50,2	53,3	56,9	60,9	65,6	71,1	77,6	85,3
450	22,6	59,2	64,1	69,9	76,9	85,5	96,1	109,9	128,2	153,8	49,8	52,8	56,1	59,8	64,1	69,0	74,8	81,6	89,7
475	23,9	62,1	67,2	73,3	80,7	89,6	100,8	115,3	134,5	161,4	52,3	55,4	58,8	62,7	67,2	72,4	78,4	85,6	94,1
500	25,2	65,0	70,4	76,8	84,5	93,8	105,6	120,6	140,8	168,9	54,7	58,0	61,6	65,7	70,4	75,8	82,1	89,6	98,5

Erforderliches Nennvolumen Membranausdehnungsgefäßen