

Ausdehnungsgefäße in thermischen Solaranlagen

Achtung: Hitze und Dampf!

Der SHK-Fachhandwerker kann unter einer Vielzahl an praxisbewährten solarthermischen Komplettlösungen wählen. Dennoch scheitern einige Installationen an vermeintlichen Kleinigkeiten, wie z. B. am richtigen Einsatz von Membrandruck-Ausdehnungsgefäßen. Der folgende Artikel zeigt auf, wo die kritischen Punkte bei der Druckhaltung in Solaranlagen sind.



Was ist bei einer Solaranlage eigentlich anders als in einer Heizungsanlage? In den meisten Heizsystemen liegt in Fließrichtung gesehen das Membrandruck-Ausdehnungsgefäß (MAG) vor der Umwälzpumpe. Das bedeutet, dass der sogenannte Nullpunkt von der Druckhaltung nahezu unmittelbar vor der Pumpe geprägt wird. Man spricht von einer Saugdruck- oder Vordruckhaltung. Weil die sicherheitstechnischen Komponenten (SV, MAG, etc.) in unmittelbarer Verbindung mit dem Wärmeerzeuger stehen sollen, ergibt sich bei der Hydraulik für Solaranlagen eine umgekehrte Anordnung. Das MAG wird in Fließrichtung gesehen nach der Pumpe angeordnet. Man spricht dann von einer Nachdruckhaltung.

Vor- und Nachdruckhaltung

Die Prägung des Nullpunktes nach der Umwälzpumpe erfordert die besondere Aufmerksamkeit für den sich ergebenden Druck vor der Umwälzpumpe. Denn der Druck, der sich bei laufender Umwälzpumpe einstellt, ist um den Differenzdruck der Umwälzpumpe niedriger als der Druck im Nullpunkt. Wie wichtig dies für die Gesamtbetrachtung ist,

wird sich in den nächsten Abschnitten zeigen.

Der Druckverlauf in einer Heizungsanlage mit Vordruckhaltung in Bild 3 macht deutlich, dass der Arbeitsdruck an jedem Ort der Anlage immer oberhalb des Ruhedruckbereiches („Pumpe steht“) liegt. Diese Hydraulik ist leicht zu beherrschen. Lediglich bei extrem hohen Differenzdrücken an den Umwälzpumpen ist die Belastbarkeit der Anlagenkomponenten p_{zul} zu überprüfen.

Beim Druckverlauf in einer Solaranlage mit Nachdruckhaltung (Bild 4) verläuft der Arbeitsdruck unterhalb des Ruhedrucks. Hier ist zur Vermeidung von Kavitation vor allem darauf zu achten, dass der erforderliche Zulaufdruck p_z an der Umwälzpumpe nicht unterschritten wird. Demnach spielt also der Differenzdruck der Umwälzpumpe d_{pP} für die Festlegung des Gefäßvordrucks p_0 auch eine wichtige Rolle.

Hohe Systemtemperaturen

Aufgrund der eingesetzten Komponenten lassen sich in fast allen Systemen Temperaturen über 100 °C realisieren. Im Unterschied zu herkömmlichen Heizungsanlagen muss

bei einer Solaranlage immer bewusst die Möglichkeit einkalkuliert werden, dass zumindest ein Teil der Wärmeträgerflüssigkeit sich bis auf die Stillstandtemperatur des Kollektors erhitzen kann. Für eine effektive Nutzung der zur Verfügung stehenden Wärmeenergie ist es oftmals so, dass für die Ladung (z. B. auf 90 °C) von Warm- oder Heizwasserpuffer-Speichern die Wärmeträgerflüssigkeit mit 120 °C im Solarkreislauf zirkuliert und am Ende des Ladevorgangs auch kaum eine Spreizung zwischen Kollektoreintritt und Kollektorausstritt zu ermitteln ist.

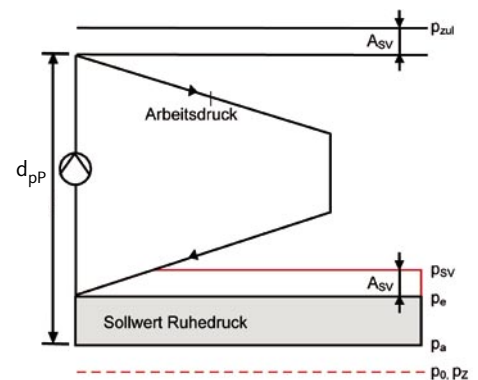


Bild 3 Druckverlauf in einem System mit Vordruckhaltung

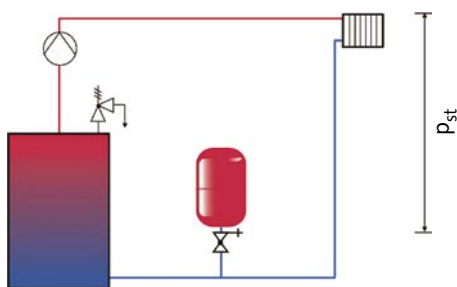


Bild 1 Heizsystem mit Vordruckhaltung

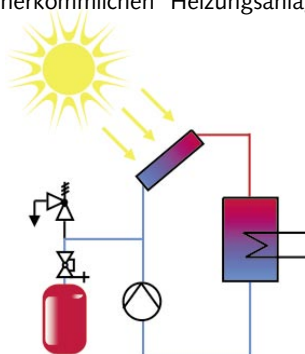


Bild 2 Solarsystem mit Nachdruckhaltung

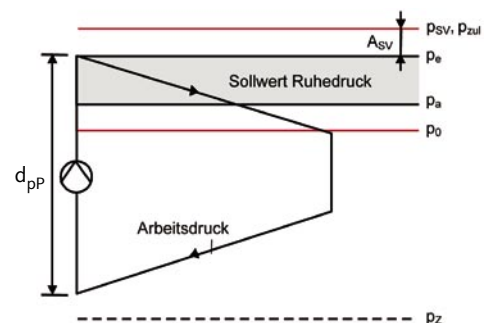


Bild 4 Druckverlauf in einem System mit Nachdruckhaltung

Die Energiezufuhr ist bei Flachkollektoren und direkt durchströmten Röhrenkollektoren im Grunde nicht zu unterbrechen. Die Folge ist eine permanente Energiezufuhr an das Wärmeträgermedium bis hin zur Stillstandstemperatur des Kollektors, auch wenn kein Wärmebedarf da ist („Umwälzpumpe steht“). Die Temperatur, die sich im nicht durchströmten Kollektor ergibt, kann je nach Bauart und verwendeten Materialien weit über 180 °C liegen. Dies bedeutet, dass das Wärmeträgermedium im Kollektor verdampft. Bei modernen Kollektoren ist dies unvermeidbar und auch gewollt und wird durch die richtige Druckhaltung gezielt unterstützt. Das Wärmeträgermedium wird dadurch zusätzlich vor der hohen Temperatur geschützt und behält seine Frostschutzwirkung besser.

Gezielte Verdampfung

Die Folge dieser gezielten Verdampfung ist, dass der Kollektorzustand bis auf die verbleibende Dampfmenge ins Ausdehnungsgefäß verschoben werden muss. Funktioniert dies nicht, tritt einer der häufigsten Fehler auf:

Der Systemdruck am Sicherheitsventil (SV) steigt über dessen Ansprechdruck, das SV öffnet und die ausströmende Wärmeträgerflüssigkeit gelangt bestenfalls in einen Auffangbehälter. Sie fehlt dem System dann allerdings während der Abkühlphase und muss aufwändig wieder zurückbefördert werden. Damit die oben beschriebene gezielte Verdampfung und Verschiebung der Kollektorflüssigkeit auch kontrolliert ablaufen kann ist es sehr wichtig, dass eine permanente Nachverdampfung aus den Kollektorrohren unterbleibt. Die Kollektoren müssen sich in der Dampfphase kurzfristig komplett mit Dampf füllen und dürfen keine „Flüssigkeitspfützen“ mehr enthalten. Diese Funktion ist vor

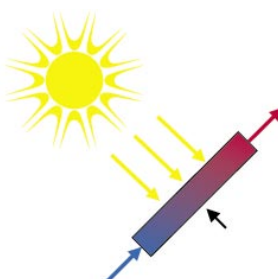


Bild 5 Direkt durchströmter Flach- oder Röhrenkollektor

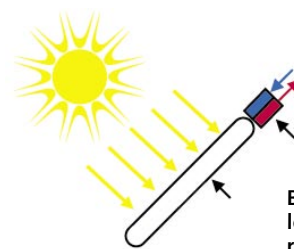


Bild 6 Röhrenkollektor mit Wärmeübertrager (Heat-Pipe)

allem von der richtigen Konstruktion des Kollektors und der daraus hervorgehenden Anordnung abhängig (Bild 5).

Im Gegensatz dazu haben Röhrenkollektoren mit integrierten Wärmeübertragern nach dem Heat-Pipe-Prinzip einen Vorteil (Bild 6). Dort wird bei Erreichen einer systembedingten Spitzentemperatur die Wärmeübergabe an das Wärmeträgermedium unterbrochen. Die Phase des nicht vorhandenen Wärmebedarfs (Stillstand) ist damit leichter zu kontrollieren.

Als Wärmeträgermedium wird in den meisten Fällen ein Gemisch aus Ethylen- bzw Propylenglycol und Wasser verwendet. In Verbindung mit den zu erwartenden Temperaturen ergibt sich eine entsprechend höhere prozen-

Temperatur [°C]	Prozentuale Ausdehnung n [%]/ Dampfdruck pD[bar] des Wärmeträgermediums	
	für Wasser ab 10°C	für Ethylen-Glycol 34 % bis -20°C
30	0,37 / -	1,49 / -
50	1,15 / -	2,53 / -
70	2,24 / -	3,71 / -
90	3,58 / -	5,01 / -
100	4,34 / 0,01	5,68 / -
110	5,15 / 0,43	6,39 / 0,23
120	6,03 / 0,98	7,11 / 0,70
130	6,06 / 1,70	7,85 / 1,33

Bild 7 Ausdehnung von Wasser im Vergleich zu Gemisch aus Ethylen- bzw. Propylenglycol und Wasser

tuale Ausdehnung gegenüber von „nur Wasser“ (Bild 7).

All dies macht deutlich, dass die Situation in einer Solaranlage sich in einigen Punkten erheblich von den Zuständen in einer Heizungsanlage unterscheiden kann.

Auslegung des MAG

Prinzipiell lassen sich zwei Auslegungsvarianten (in Anlehnung an DIN 4807 und VDI 6002) unterscheiden:

- für Anlagen, in denen keine Verdampfung auftritt (z. B. Systeme mit „Heat-Pipe“-Röhren-Kollektoren)
- für Anlagen, in denen bauartbedingt mit Verdampfung gerechnet werden muss.

Für den zweiten, problematischeren und am weitest verbreiteten Fall nachfolgend die entsprechenden Berechnungsgänge:

Bestimmung des Vordrucks

Damit die Basis für eine gut funktionierende Druckhaltung gegeben ist, ist immer die Festlegung des richtigen Mindestbetriebsdruckes (p_0) erforderlich. Er sorgt für die Vermeidung von Verdampfung während des Umwälzbetriebs, sowohl in der Pumpe als auch im gesamten System, und verhindert die Unterdruckbildung in der Abkühlphase und während des Stillstands im Winter. Beim Einsatz von MAG ist dieser Mindestbetriebsdruck identisch mit dem Gasvordruck im Gefäß. In Solarsystemen mit Nachdruckhaltung wird er folgendermaßen berechnet:

$$p_0 = p_{st} + p_D + d_{pP}$$

Für die Festlegung des Vordrucks sind folgende Eckwerte zu ermitteln:

- statischer Druck p_{st} [bar]
- Differenzdruck der Umwälzpumpe im Betriebspunkt d_{pP} [bar]

- Verdampfungsdruck des Wärmeträgermediums bei Pumpenabschalttemperatur p_D [bar]

Größenbestimmung des MAG

Für die Ermittlung des MAG-Nennvolumens sind folgende Eckwerte zu ermitteln:

- **Sicherheitsventilansprechdruck** p_{sv} [bar]:

Reflex Empfehlung:

$$p_{sv} \geq p_0 + 2,0 \text{ bar}$$

Sofern es die eingesetzten Komponenten erlauben, sollten SV mit $p_{sv} \geq 6$ bar zum Einsatz kommen. Um die fachgerechte Druckhaltung bei allen Betriebsbedingungen sicherzustellen, sind die Komponenten notfalls entsprechend dem SV-Ansprechdruck anzupassen.

- **Endruck** der Druckhaltung p_e [bar]:

$$p_e \leq p_{sv} - 0,1 \times p_{sv}$$

$$(0,1 \times p_{sv} = \text{Arbeitsdruckdifferenz des SV } (A_{sv}))$$

- **Anlageninhalt**, V_A [l] (komplett inkl. Kollektorinhalt):

Ermittlung aus Herstellerangaben (Kollektor, Speicherheizfläche, Wärmeübertrager usw.) und Inhalt der entsprechenden Verrohrung

- **Kollektorinhalt**, V_K [l] (separat), sofern definitiv mit Verdampfung gerechnet werden muss:

Ermittlung aus Herstellerangaben; gilt für das gesamte Kollektorfeld

- **prozentuale Ausdehnung** n [%] des Wärmeträgermediums bei Pumpenabschalttemperatur bezogen auf die niedrigste Systemtemperatur:

Ermittlung z. B. aus Bild 7

- **Wasservorlage**, V_V [l] (in Anlehnung an DIN 4807):

$$V_V = V_A \times 0,005 \quad \text{für } V_N > 15 \text{ l mit } V_V \geq 3 \text{ l}$$

$$V_V = V_A \times 0,2 \quad \text{für } V_N \leq 15 \text{ l}$$

- **Ausdehnungsvolumen** V_e [l]:

$$V_e = n / 100 \times V_A$$

- **MAG-Nennvolumen** V_n [l]:

$$V_n \geq (V_e + V_K + V_V) \times \frac{p_e + 1}{p_e - p_0}$$

Das Nennvolumen beschreibt das erforderlichen Gesamtvolumen des Membrandruckausdehnungsgefäßes. Dieses ist meistens Bestandteil der Typenbezeichnung (z. B. reflex N 50, reflex S 140)

- **Anfangsdruck** p_a , Kontrolle:

Damit unter Berücksichtigung des gewählten Membranausdehnungsgefäßes und den Druckverhältnissen auch sichergestellt ist, dass eine ausreichende Wasservorlage eingebracht wird, muss die Bedingung $p_a \geq p_0 + 0,3$ mit folgender Gleichung kontrolliert werden:

$$p_a = \frac{p_e + 1}{1 + \frac{(V_e + V_K)(p_e + 1)}{V_n (p_0 + 1)}} - 1$$

Wenn oben genannte Forderung nicht erfüllt wird, ist mit dem nächst größeren Gefäß zu rechnen.

- **Fülldruck** p_F :

Eine weitere Besonderheit gilt es zu berücksichtigen. Solaranlagen werden nicht mit der niedrigsten Systemtemperatur gefüllt, sondern wahrscheinlich nahe der Raumtemperatur – zumal die Glycol-Wassermischung z. T. erst vor Ort hergestellt wird. Genau genommen ist also bereits ein Teil der Ausdehnung mittels richtigem Fülldruck ins Gefäß einzubringen.

$$p_F = V_n \times \frac{p_0 + 1}{V_n - V_A \times n_F - V_V} - 1$$

(n_F = prozentuale Ausdehnung der Füllung bei Fülltemperatur bezogen auf niedrigste Systemtemperatur)

Vorschaltbehälter als MAG-Schutz

Der Schutz des MAG vor zu hoher Temperatur wurde bereits angesprochen. Die Regelungen der Solarsysteme ermöglichen es, die Temperatur zur Abschaltung der Umwälzpumpen im Solarkreislauf einzustellen. Aufgrund der Wärmeübertragerflächen in den Speichern ist zur maximalen Nutzung oftmals eine Temperatur im Solarkreis von 120 °C und mehr gewünscht. Ob das in der Gesamt-

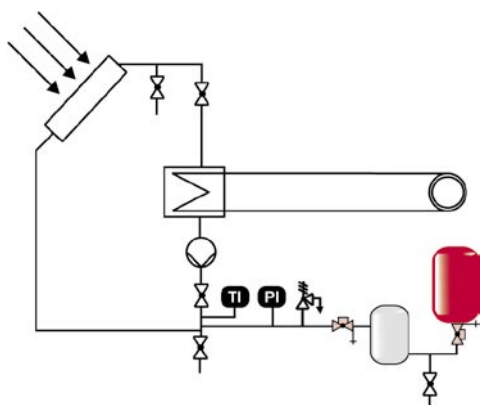


Bild 8 Schutz des MAG vor zu hoher Temperatur (>70°C) mittels Vorschaltgefäß bzw. vorgeschalteter Rohrerweiterung

heit eine anzustrebende Vorgehensweise ist, soll kritisch in Frage gestellt werden. Denn bei nicht richtig eingestellter Druckhaltung kann es auch in den Rohrleitungen und in der Pumpe zu einer Dampfbildung kommen.

Selbst bei „normaler“ Nutzung liegt die notwendige Solarkreistemperatur erheblich über 70 °C. Bevor also die Umwälzpumpe abschal-

tet, ergeben sich im System nahezu durchgängig entsprechend hohe Temperaturen. Steht die Umwälzung wird auch die mögliche Wärmeabfuhr am Kollektor gestoppt. Die Temperatur kann bei weiterer Wärmezufuhr in Richtung Stillstandstemperatur steigen. Das Wärmeträgermedium verdampft im Kollektor, die Flüssigkeit wird verdrängt und ins MAG verschoben. Dort stehen dann Temperaturen mindestens in Höhe der Pumpenabschaltemperatur an. Am und im MAG sollten i. d. R. aber 70 °C nicht überschritten werden. Daher ist es zwingend erforderlich, eine ausreichend große „Ersatzmenge“ mit niedrigeren Temperaturen ins MAG einströmen zu lassen. Diese kommt am besten aus einem in der Ausdehnungsleitung vor dem MAG installierten Vorschaltgefäß (Bilder 8 und 9) oder aus einem Puffervolumen z.B. durch Rohrerweiterung. Die Größe des vorgeschalteten Puffervolumens bei Solaranlagen mit Verdampfung wird wie folgt ermittelt:

$$V_n \geq (n - n_{70^\circ\text{C}}) / 100 \times V_A + V_K$$

(Hinweis: Bei Anlagen ohne Verdampfung kann der Summand V_K entfallen)



Bild 9 Wirkungsweise eines Vorschaltgefäßes

Typenauswahl und Installation

Im Vordergrund bei der Gefäßauswahl steht das richtige Nennvolumen, das sich mit den beschriebenen Berechnungsgrundlagen ermitteln lässt. Hilfreich sind hierbei übrigens spezielle Berechnungsformblätter oder eine Berechnungssoftware (Bild 10). Für eine überschlägige Ermittlung kann man auch Bild 11 verwenden. Aber Achtung: Die Ergebnisse gelten nur bei Einhaltung der Eckwerte.

- Wichtig für die Auswahl ist auch die prinzipielle Eignung eines MAG. Zu beachten sind insbesondere:
- Ist der maximal zulässige Betriebsüberdruck $p_{zul} \geq$ dem geplanten Sicherheitsventilansprechdruck p_{SV} ?
 - Gibt es Einschränkungen bei der Eignung für den Einsatz mit Solarflüssigkeit?

Die meisten Heizungs-MAG lassen sich heute durchaus mit bis zu 50-%igen Wasser-Glycolgemischen betreiben. Wer auf Nummer sicher gehen will, sollte die speziell für Solaranwendung gefertigten Produkte einsetzen. Diese sind auch für hochprozentige Mischungen gut geeignet und stehen in allen Größen für Betriebsdrücke bis 10 bar Ü zur Verfügung.

Maßgebend für die Montage der MAG sind die Anleitungen der Hersteller. Dennoch sei auf einige wichtige Punkte hingewiesen: Wie bereits erwähnt ist das MAG von ungeeigneten thermischen Einflüssen zu schützen. Daher sind extrem kurze Ausdehnungsleitun-

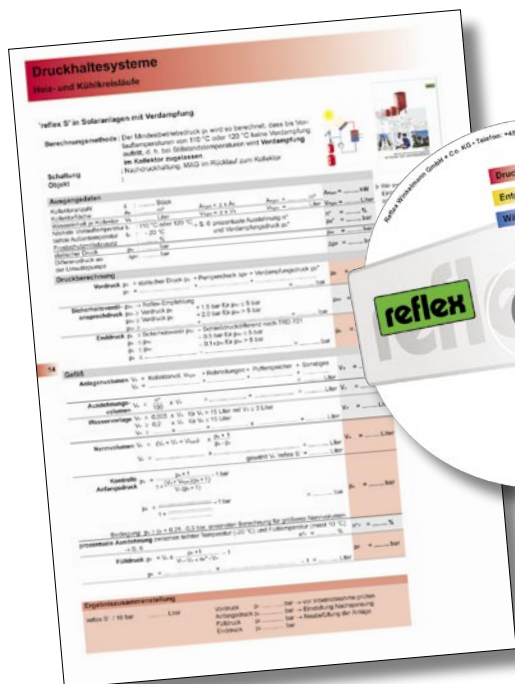


Bild 10 Hilfreich für die bequeme MAG-Auslegung sind spezielle Berechnungsformblätter oder eine Berechnungssoftware

Kollektor: Flach- oder durchströmte Röhrenkollektoren mit Stillstandstemperaturen $\geq 160 \text{ }^\circ\text{C}$,
Pumpe: Abschaltung bei max. $120 \text{ }^\circ\text{C}$, $d_{pP} = 0,5 \text{ bar}$
Drücke: $p_{st} \leq 1,5 \text{ bar}$, $p_{SV} = 6 \text{ bar}$
Frostschutz: 34 %

Verdampfung!

spezifischer Kollektorinhalt [l/m ²]	spez. MAG-Nennvolumen [l/m ²] bei Anlageninhalt ohne Kollektor				P ₀ MAG [bar]	MAG Nennvolumen [l] gewählt z. B. bei... Kollektorfläche/Anlageninhalt ohne Kollektor			
	20 l	30 l	40 l	50 l		6m ² /20l	10m ² /30l	14m ² /40l	20m ² /50l
≤ 1,1	4,1	4,3	4,4	4,6	2,7	25	50	80	100
≤ 1,4	5,2	5,4	5,6	5,7	2,7	35	80	80	140
≤ 1,7	5,7	5,9	6,1	6,3	2,7	35	80	100	140
≤ 2,0	6,6	6,8	6,9	7,1	2,7	50	80	100	140
≤ 2,3	7,4	7,6	7,8	8,0	2,7	50	80	140	200

Bild 11 Überschlägige MAG-Größenermittlung (gilt nur in Verbindung mit den genannten Eckwerten)

gen zu vermeiden und statt dessen eher voluminöse Anbindungen vorzuschalten.

Prinzipiell gilt für alle Arten von Druckbehältern, dass sie frei zugänglich sein sollen, so dass eine Überprüfung jederzeit möglich ist (auch mit Blick auf die jährliche Vordruckprüfung).

Nicht zu vergessen sind geeignete Absperrrichtungen mit Entleermöglichkeit.

Die Notwendigkeit, die entsprechende sicherheitstechnische Relevanz des MAG umzusetzen orientiert sich an der hydraulischen Einbindung. Bei Solaranlagen bleibt aus unserer Sicht nur die Variante „Nachdruckhaltung“. In der VDI 6002 „Solare Trinkwassererwärmung“ wird auch die Variante „Vordruckhaltung“ als Möglichkeit angeführt und eine entsprechende Hydraulik mit Installationsvorschlag gezeigt.

Wird diese Variante angewendet, dann sollte aus sicherheitstechnischer Sicht die freie Zugänglichkeit zwischen Kollektor (Wärmeerzeuger) und MAG immer zweifelsfrei gegeben sein (auch wenn Umwälzpumpe und Einbaumatrizen dazwischen liegen). Kann dies garantiert werden, steht dieser Anwendung nichts im Wege. Zu berücksichtigen ist allerdings:

$$p_{SV} \geq p_e + d_{pP} + 0,1 \times p_{SV}$$

Gefäße fallen oft größer aus

In thermischen Solaranlagen darf der Sicherheitsgedanken nicht aus den Augen verloren werden. Ebenso wichtig ist eine reibungslose

Funktion der Systeme während des gesamten Jahres. Beide Punkte werden sehr stark von der Druckhaltung beeinflusst. Für alle Systemgrößen ist das Membrandruckausdehnungsgefäß die richtige Wahl. Baut man es geschützt vor übermäßigen Temperaturbelastungen in das System ein, versieht es seine Funktion genauso zuverlässig wie in einer Heizungsanlage – die regelmäßige Vordruckprüfung vorausgesetzt.

SHK-Fachhandwerker, die immer wieder sich stark ähnelnde Solarpakete einsetzen, können mit Hilfe entsprechender Tabellen schnell das richtige Nennvolumen für das MAG ermitteln. Doch bei Abweichungen muss genau gerechnet werden. Mit einer entsprechenden Auslegungssoftware geht dies sehr zügig. Oft wird sich herausstellen, dass die geforderten Nennvolumen oberhalb der vielleicht gängigen Praxis liegen. Das liegt zum einen daran, dass jahrelang ohne Verdampfung während der Stillstandsphase gerechnet wurde und diese Werte deshalb noch in den Köpfen sind. Zum anderen wird auf Anlagen verwiesen, die (vermeintlich) mit kleinen Gefäßen funktionieren. Die Ursache hierfür ist meist, dass große Luft einschlässe im Anlagensystem als zusätzlicher Ausdehnungsraum wirken. Die eigentliche Anlagenfunktion ist hier zwar gestört, doch fällt es aufgrund eines bivalenten Heizbetriebs nicht auf.

Unser Autor Dipl.-Ing. (FH) **Raimund Hielscher** ist seit 1988 mit dem Vertrieb und Marketing für den Bereich Druckhaltung, Entgasung und Wärmeübertragersysteme vertraut. Seit 2000 ist er bei Reflex Winkelmann, 59227 Ahlen, tätig. Seine aktuellen Aufgabenschwerpunkte sind die Bereiche Öffentlichkeitsarbeit und Medien, Tel. (0 23 82) 70 69-0, Fax (0 23 82) 70 69-5 88, www.reflex.de