

Druckhaltung und Entgasung

Ursachen und Vermeidung von Luft- und Korrosionsproblemen in zirkulierenden Rohrsystemen

Dipl.-Ing. Hans Friedrich Bernstein*

Wasser als Wärmeträger für Heizsysteme kann der Natur nicht als reines H_2O entnommen werden. Neben den alkalischen Mineralien transportiert und absorbiert es Gase, wie z.B. Sauer- und Stickstoff. Je nach Druck und Temperatur des Wärmeträgers entsteht ein Austausch der Medien. Aus dieser Erkenntnis abgeleitet entstehen Probleme bei der Druckhaltung, der Wasserqualität und der Entgasung von Rohrleitungssystemen. Die daraus resultierenden Fehlfunktion werden vielerorts ignoriert oder aus Unbekümmertheit sowie mangelnder Kenntnis der ursächlichen Zusammenhänge unterschätzt. Der Beitrag will die physikalischen Zusammenhänge erläutern und die Auswirkungen und Möglichkeiten zur Vermeidung von Druckhaltungs- und Entgasungsproblemen in Niedertemperaturheizsystemen, Solaranlagen oder Wärmepumpen aufzeigen.

Typische Fehlfunktionen in Heizungssystemen sind kalte Heizflächen an Anlagenhochpunkten, Gluckgeräusche, Korrosion und schlechte Wärmeübertragung.

Diese Probleme haben in der Regel die folgenden Ursachen:

- mangelnde Entlüftbarkeit von Restgasen,
- entstehende Gase durch chemische Reaktionen,
- Verschlämzung durch Erdalkalien wie Calcium und Magnesium und deren Ablagerungen,

- Erosionskorrosion durch zweiphasige Strömung von Flüssigkeit und Feststoffen wie z.B. Oxidschwebeteilchen,
- fehlende Druckhaltung bzw. Unterdruck,
- Absorption** von Gasen in Wasser,
- Luftertrag durch Diffusion und Permeation***.

Wie es zu diesen Phänomenen kommt, wird anhand der nachfolgend erläuterten physikalischen Grundlagen deutlich.

Absorption von Gasen in Wasser nach Henry

Eine Flüssigkeit ist in der Lage, Gase zu absorbieren, das heißt zu binden, und zwar bis zu einem für jedes Gas unterschiedlichen maximalen Gehalt. Dieser, in der Regel auf einen Liter Lösungsmittel bezogene Grenzwert, ist vornehmlich abhängig von der Fluidtemperatur und dem anteiligen Druck der jeweiligen Gaskomponente im Gasgemisch, dem so genannten Partialdruck. Ist die Stoffmenge des Gases gegenüber

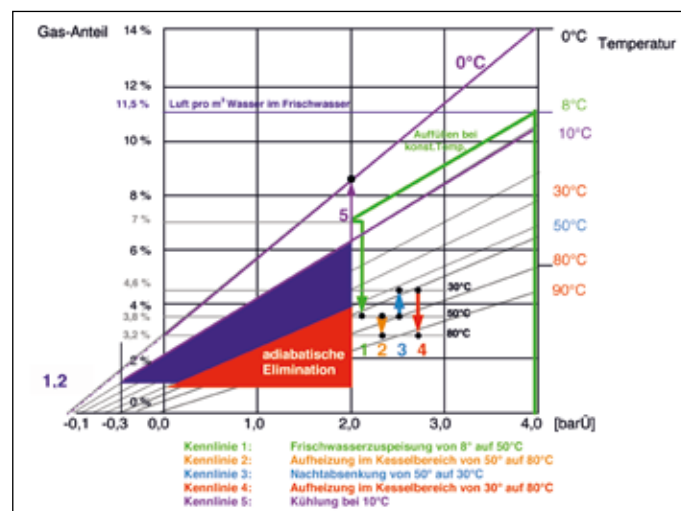
jener an Flüssigkeit sehr gering, was für die betrachteten Systeme zutrifft, gilt die Gesetzmäßigkeit nach W. Henry (englischer Naturwissenschaftler 1774-1836).

Entsprechend der grafischen Darstellung des Henry-Gasgesetzes (Bild 1) lässt sich das Gaslösungsvermögen von Wasser in Abhängigkeit von Druck und Temperatur am Beispiel von Stickstoff nachvollziehen. So absorbiert das Wasser bei hohen

Drücken und niedrigen Temperaturen Gase, während bei niedrigen Drücken und hohen Temperaturen die Gase wieder frei werden.

Dieser Effekt zeigt sich am Beispiel der Nachtabsenkung in Niedertemperatur-Heizungsanlagen. So werden bei der Absenkung der Vorlauftemperaturen auf beispielsweise 30°C (Kennlinie 3 in Bild 1) ca. $4,6\text{ mg/l}$ Gase vom Wasser absorbiert, während das Heizwasser bei gleichem Druck nach der morgendlichen Aufheizung des Systems auf 80°C nur noch $3,2\text{ mg/l}$ Gase lösen kann. Das heißt, es werden Gase frei, die zu den unerwünschten Gluckgeräuschen im Heizkörper führen können.

Eine weitere Quelle an gelösten Gasen liegt in der Frischwasserzuspelung. Füllt man in einen Heizkreis Trinkwasser mit 8°C bei Trinkwasser-Rohrleitungsdruck ein (Kennlinie 1), so kann das Frischwasser $11,5\%$ Gase absorbieren. Nach Druckentspannung auf den Anlagen- und Aufheizung auf beispielsweise 50°C kann das Wasser nach Henry nur noch $3,8\%$ Luft absorbieren. Das mitgeführte Gas wird dann teilweise frei. Neben der temperatur-

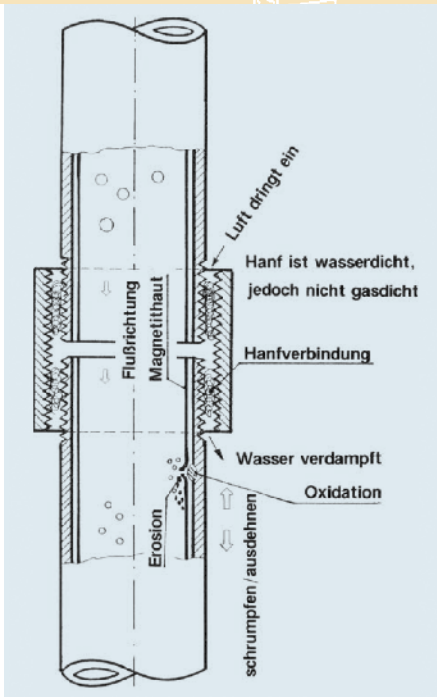


■ Bild 1: Das Gaslösungsvermögen von Wasser ist bei hohen Drücken und niedrigen Temperaturen größer als bei umgekehrten Verhältnissen. Das Diagramm zeigt die Gesetzmäßigkeit nach Henry am Beispiel von Stickstoff.

*) Dipl.-Ing. Hans Friedrich Bernstein, Geschäftsführer Korex GmbH, Herrsching

**) Absorption bezeichnet das Aufnehmen von Gasen durch flüssige Sorptionsmittel, wobei sich die Gase in diesen Mitteln lösen.

***) Unter Diffusion versteht man den Ausgleich von Konzentrationsunterschieden, der durch die Bewegung von Atomen und Molekülen entsteht. Permeation ist die Durchdringung von Festkörpern durch Poren und molekulare Zwischenräume aufgrund von Diffusionsvorgängen.



■ Bild 2: Durch Hanfverbindungen von Rohrleitungsteilen diffundiert Umgebungsluft in die Anlage.

Diffusions- und Permeationsbegasung

Hydraulische Rohrleitungssysteme sind dem Eindringen von Luft durch Hanfverbindungen, Kunststoffteile, Entlüftungsventile und Gummimembranen mehr oder weniger stark ausgesetzt. Zwischen der Umgebungsluft und der im Wasser gelösten Luft besteht ein Konzentrationsgefälle (Gaspartialdruckgefälle), welches sich in Abhängigkeit von Druck und Temperatur auszugleichen sucht. Somit nimmt Wasser mit niedriger Temperatur und hohem Druck Gase aus der Umgebungsluft auf und gibt diese bei niedrigeren Drücken in den Stockwerken wieder ab. Dadurch beginnt das Wasser zu „atmen“. In der Winterzeit kann somit das Wasser mit 60 °C die Gase abgeben und bei der Nachtabsenkung diese Gase wiederum aufnehmen.

Vakuum-Messungen bestätigen, dass durch 100 m Kunststoffrohr in den Stockwerken die gleiche Gasmenge eindringt, wie durch etwa vier Hanfverbindungen (Bild 2).

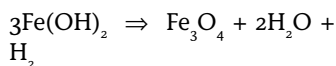
und druckbedingten Aufnahme und Abgabe von Gasen treten weitere chemisch/physikalische Vorgänge auf, die zu einem permanenten Gas-Eintrag in das Rohrsystem führen.

Chemische Reaktionen

Metalle reagieren in Kontakt mit Wasser und dessen Gasgehalt. Salze fallen durch die Erwärmung aus und setzen wiederum Gase frei. Die nachfolgend aufgeführten Gase entstehen in zirkulierenden, geschlossenen Systemen:

Wasserstoff (H₂)

bei allen Oxidationsprozessen entsteht Reaktionsgas, zum Beispiel bei der Oxidation von Aluminium, Kupferrohr und Eisen nach der Schickor-Reaktion:



Kohlendioxid (CO₂)

Carbonathärte wandelt sich beim Ausfällen zu Wasserstein oder dem so genannten Kesselstein. Hierbei entsteht bei Turbulenzen und thermischer Behandlung Kohlendioxid. Auch im Ionenaustauscher von Enthärtungsanlagen wird CO₂-Gas frei, welches bei Direktanschluss in das Rohrnetz gelangen kann.

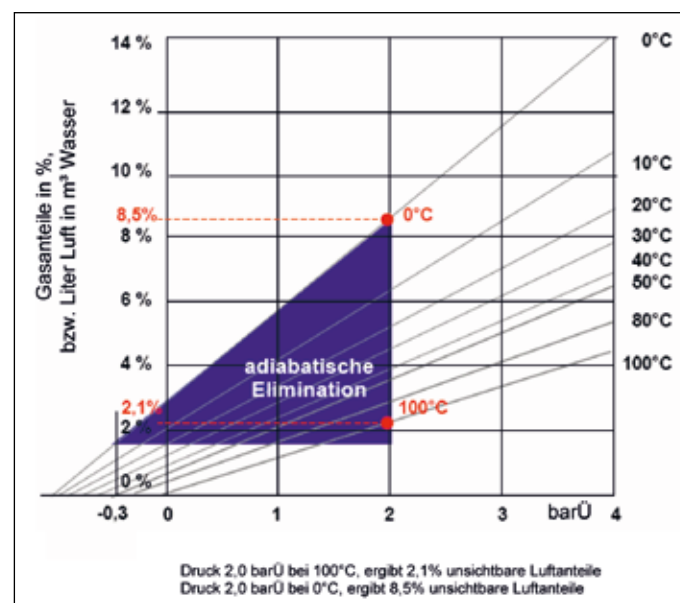
Im Wasser reagiert Kohlendioxid zu Kohlensäure (H₂CO₃) und führt zu Kohlensäurekorrosion.

Schwefel-Kohlenwasserstoff

Der im Eisenguss befindliche Schwefel und Kohlenstoff reagiert durch den Verbrauch von Sauerstoff zu Schwefel-Kohlenwasserstoff. Der Schwefelanteil führt zu geruchsmäßiger Belastung.

Faulgas

Es entsteht durch den Aufbau von Bakterienkolonien und deren Abgabe.



■ Bild 3: Stark schwankende Temperaturen, wie sie bei Solaranlagen im Tag-Nacht- bzw. Sommer-Winterverlauf vorliegen, begünstigen den Gas-Eintrag in das Rohrnetz.

Eine weitere Möglichkeit des Eintrags von Luft besteht bei Unterdruck an Bauteilen, wie Stopfbuchsen u. ä.

Erosionskorrosion durch Bildung von Suspension

Bei der Inbetriebnahme der Umwälzpumpe entsteht mit der restlichen Luft und dem Wasser ein Luft-Wasser-Gemisch. Freie Luftblasen werden dabei mit dem Wasserstrom umgewälzt und passen sich im Volumen dem Umgebungsdruck an. Die Folge davon ist, dass die Blase unter Druck klein und damit sehr hart wird, sodass die Innenflächen der Rohre wie mit einem Sandkorn abgeschmir-



■ Bild 4: Betrachtet man die Flüssigkeit im Bild links, so erkennt man eine milchige Emulsion mit Luftblasen. Nach der adiabatischen Entgasung im Bild rechts sind die Luftschlüsse entfernt. Die Wärmeübertragungsverbesserung von 13,5 K bestätigte ein Versuchsaufbau.

gelt werden. Teile lösen sich von den Rohrwandungen und bilden eine Suspension, die mit den Gasblasen eine weitere Erosion im Rohrnetz verursacht.

Neben der Gefährdung der Rohrleitungen durch Gase führt also Suspension zur Verschlämzung und weiterhin zur Verschlechterung des Wärmeübergangs. Konvitation in den Umwälzpumpen entsteht.

Probleme in Solar- und Wärmepumpenanlagen

Die ständigen Temperaturschwankung in einer Solaranlage von beispielsweise 100 °C am Tage und 0 °C in der Nacht (Bild 3) führen bei niedrigen

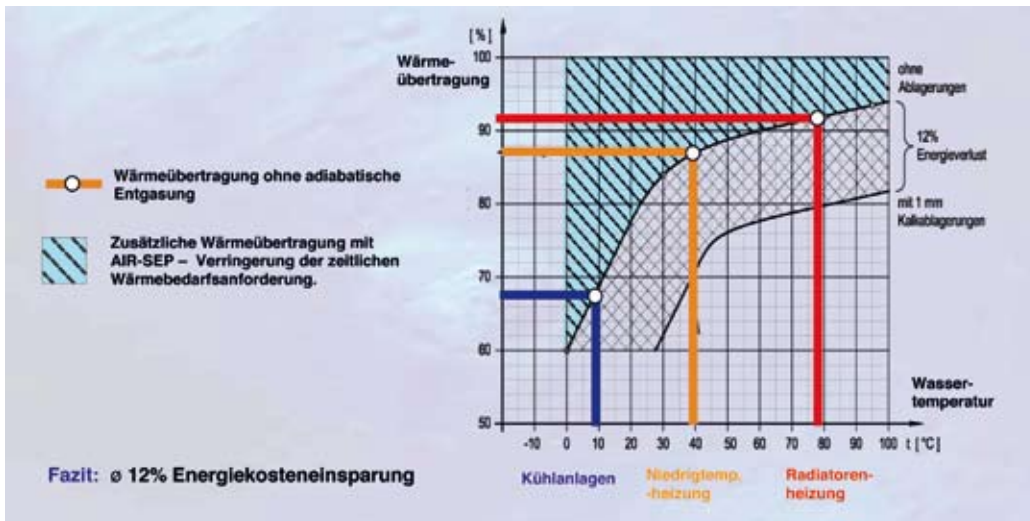
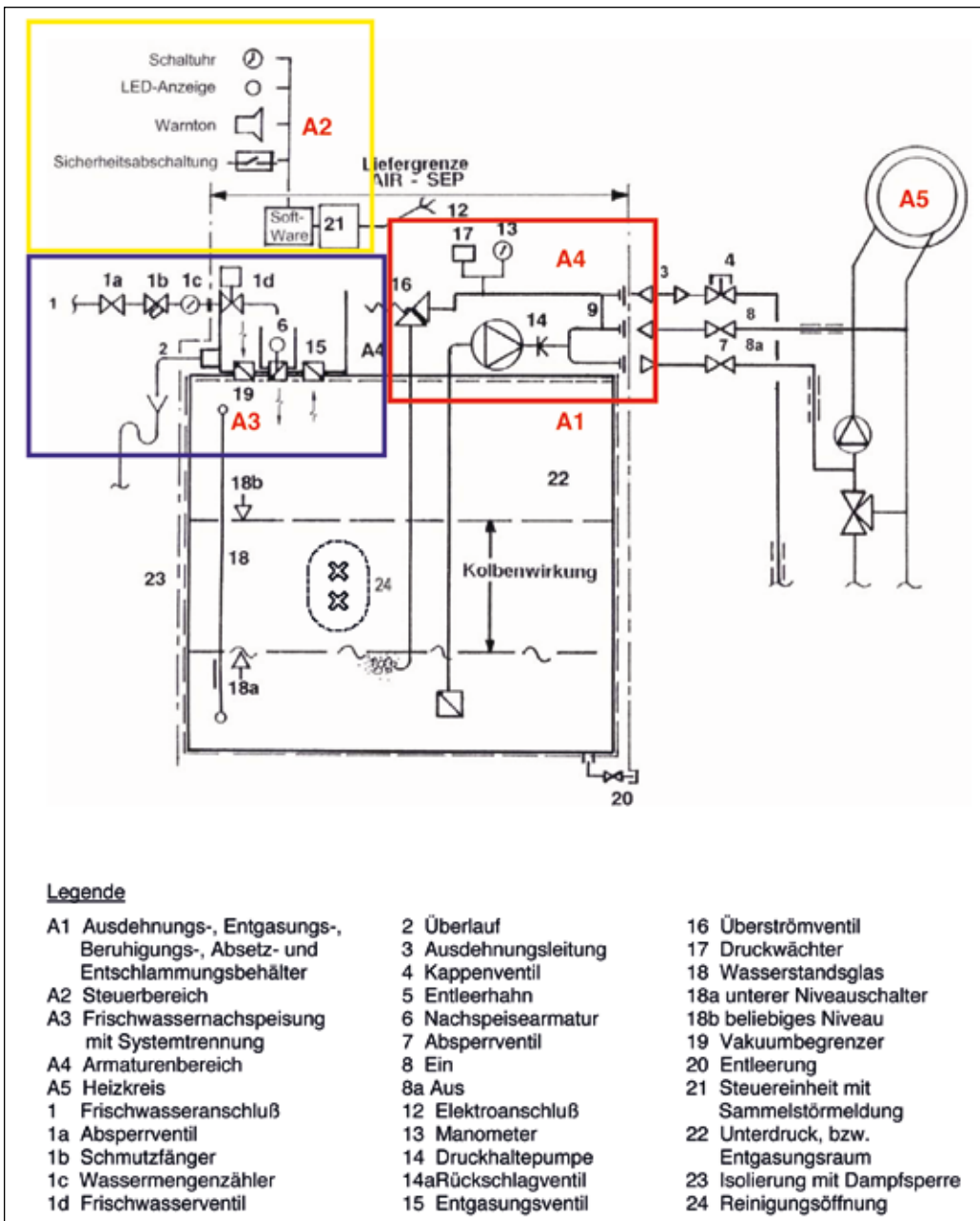


Bild 5: Verbesserung der Wärmeübertragung durch Minimierung gelöster Gase im Wärmeträgermedium und Vermeidung von Verschlämmung durch Ablagerungen.

Temperaturen zu einer Untersättigung des Wärmeträgers an Gasen. Aufgrund des Partialdruckgefälles „saugt“ das Glycol-Wassergemisch Luft aus allen Undichtigkeiten und Stopfbuchsen. Somit gelangt insbesondere von Herbst bis zum Frühjahr viel Gas in das Rohrsystem, welches über herkömmliche Schnelllüfter aufgrund des gelösten Gasanteils nur unzureichend entweichen kann. Bei Frostschutzmitteln entsteht sogar ein Luft-Wassergemisch als Schaum. Die im Wärmeträger gelöste Gasmenge behindert den Wärmeübergang und der Wirkungsgrad des Gesamtsystems sinkt.

Ähnlich ist die Problematik bei erdgekoppelten Wärmepumpen. Auch hier entstehen zeitweise im Kreislauf Temperaturdifferenzen bei starker Untersättigung des Wärmeträgers mit Gasen. Dadurch findet ein permanenter Gas-Eintrag in das System statt.

Der Einfluss der gelösten Gase auf den Wirkungsgrad der Wärmeübertragung wird in Bild 5 deutlich. So wurden in früheren Heizsystemen hohe Temperaturen erzeugt. Der Wärmeträger Wasser konnte viele Inhaltsstoffe austreiben – also auch die Gase. Das Wasser war ständig weitestgehend übersättigt und gab das Absorptiv (gelöste Gase) ab. Im Gegensatz dazu stehen heutige Niedertemperatur-Heizsysteme, bei denen das Wasser z.B. bei 40 °C wieder Gase absorbiert und somit die Wärmeübertragung verschlechtert. Ziel einer geeigneten Druckhaltung und Entgasung muss es also sein, den permanenten Zutritt von Gasen in das System zu verhindern, bzw. vorhandene Gase aus dem System zu eliminieren und somit ein inertes (reaktionsträges) Wasser herzustellen. Dazu gibt es auf dem Markt verschiedene wirksame Verfahren. Nachfolgend wird



Legende

- | | | |
|--|----------------------|--|
| A1 Ausdehnungs-, Entgasungs-, Beruhigungs-, Absatz- und Entschlammungsbehälter | 2 Überlauf | 16 Überströmventil |
| A2 Steuerbereich | 3 Ausdehnungsleitung | 17 Druckwächter |
| A3 Frischwassernachspeisung mit Systemtrennung | 4 Kappventil | 18 Wasserstandsglas |
| A4 Armaturenbereich | 5 Entleerrahn | 18a unterer Niveauschalter |
| A5 Heizkreis | 6 Nachspeisearmatur | 18b beliebiges Niveau |
| 1 Frischwasseranschluß | 7 Absperrventil | 19 Vakuumbegrenzer |
| 1a Absperrventil | 8 Ein | 20 Entleerraum |
| 1b Schmutzfänger | 8a Aus | 21 Steuereinheit mit Sammelstörmeldung |
| 1c Wassermengenzähler | 12 Elektroanschluß | 22 Unterdruck, bzw. Entgasungsraum |
| 1d Frischwasserventil | 13 Manometer | 23 Isolierung mit Dampfsperre |
| | 14 Druckhaltepumpe | 24 Reinigungsöffnung |
| | 14a Rückschlagventil | |
| | 15 Entgasungsventil | |

Bild 6: Prinzipschema des „Air-Sep“-Verfahrens und dessen hydraulische Einbindung.

das Verfahren zur adiabatischen Entgasung im drucklosen Zustand vorgestellt (Bild 6).

Problemvermeidung durch adiabatische Entgasung

Die adiabatische Elimination im Wärmeträger absorbiert Gase bedeutet, dass Gase durch Druckentspannung einer Teilmenge des zirkulierenden Wassers, ohne Energiezu- oder abfuhr, ausgeschieden werden. So entweichen z. B. beim Öffnen einer Mineralwasserflasche durch Druckentspannung sämtliche Gase. In Bezug auf ein möglichst reaktionsträges (inertes) Wasser werden die molekular gelösten Gase aus der Luft sowie vorhandene Reaktionsgase ausgetrieben, wodurch im Heizwasserkreislauf eine druckabhängige Untersättigung hervorgerufen wird.

Weiterhin scheiden durch die Entspannung des Wassers auf den atmosphärischen Umgebungsdruck die Erdalkalien und mitgeführte Mineralien aus. Das Wärmeträgermedium wird also im drucklosen Zustand auch teilentsalzt, indem sich die überschüssigen Erdalkalien und Mineralien durch die Beruhigung des Wassers absetzen. Es entspannt sich kontinuierlich nur ein Teil des Wassers aus dem Rohrnetz und führt das entgaste und teilentsalzte Wasser zeitabhängig wieder in den Kreislauf zurück. Mittels periodischer Wiederholung des Prozesses werden nach und nach alle Inhaltsstoffe des Wassers ausgeschieden. Voraussetzung ist die kontinuierliche Druckhaltung, damit dieses Verfahren in Gang bleibt.

Die adiabatische Reduktion von Gasen, Salzen und Mineralien aus dem Wasser bewirkt, dass wasserführende

Rohre nicht mehr oxidieren und die mit aktivem Oxid behaftete Rohrwandung Sauerstoffmoleküle an das untersättigte Wasser abgeben, womit sich das auf dem Stahl befindliche Hämatit (Fe_2O_3) zu Magnetit (Fe_3O_4) wandelt.

Das Magnetit ist vergleichbar mit dem Oxid Zunder, welches ein hochwertiges Oxid darstellt, das sich nicht mehr wandelt. Magnetit an sich ist kein Korrosionsschutz, sondern ein Indikator für vorhandenen Korrosionsschutz. Mit der Abscheidung der Sauerstoff- und Stickstoffgase wird der Schmirgeleffekt der Luftblasen vermindert, sodass die Magnetitschicht auf den Rohren erhalten bleibt. Das Heizwasser bleibt transparent und sauber. Eine Verschlammung des Wärmeträgermediums wird weitestgehend vermieden.

Die adiabatische Entgasung und Entsalzung durch Druckhaltung und Entspannung des Wassers führt zu einer Wasserqualität mit einem Sauerstoffgehalt $< 0,1$ mg/l und einem pH-Wert von 8 bis 10. Der Leitwert liegt bei etwa $300 \mu\text{S}/\text{cm}$, sodass ein sauberes, geruchfreies und reaktionsträges Wasser zur Erzielung eines optimalen Wärmeübergangs zur Verfügung steht.

Funktionsweise der Druckhaltung und Wasserbehandlung „AIR-SEP“

Das beschriebene Verfahren zur Wasserbehandlung (Bild 6) schließt die Funktionen Nachspeisung, Druckhaltung und Entgasung sowie Teilentsalzung mit ein:

Voraussetzung für die Herstellung eines reaktionsträgen Wärmeträgermediums ist der drucklose Behälter (A1). Dieser muss gegenüber der Anlage einen niedrigeren Druck, oder Unterdruck, aufweisen.



■ Bild 7: Drucklose Entgasungsbehälter nach dem „AIR-SEP“-Verfahren zur Druckhaltung, Entgasung und Nachspeisung können für Anlagen von 10 kW bis zu 9000 kW serienmäßig eingesetzt werden.

Der Behälter ist gegenüber der Umgebungsluft abgeschlossen, sodass Gase aus dem Heizwasser nur bei der Öffnung des Entgasungsventils (15) austreten können.

Frischwasser-Nachspeisung

Eine Nachspeisung von Frischwasser erfolgt nur bei Erreichen des unteren Behälter-Niveaus (18a). Die Systemtrennung nach DIN 1988 erfolgt im Behälter (A3). Das Nachspeisewasser wird durch die Armatur (1d) und (6) geführt, sodass es vor der Einspeisung in das Rohrsystem durch Druckabbau entgast und entsalzt wird. Anschließend läuft das teilentgaste Wasser durch ein abgehobenes Schwimmkugel-Ventil und mischt sich mit dem Wasser des drucklosen Behälters (A1). Darin können sich Schwebeteilchen durch die Beruhigung nach unten absetzen. Es findet also eine weitere Entgasung und Enthärtung des Frischwassers durch Erwärmung statt. Im Heizwasserbereich können sich die Salze, Erdalkalien und Schwebeteilchen durch die Druckentspannung absetzen. Unter Druck ist dies nur im begrenzten Maße möglich. Der abgelagerte Kalk- und Oxidschlamm kann durch die Reinigungsöffnung (24) entnommen bzw. abgesaugt werden.

Druckhaltung

Die Bevorratung des Ausdehnungswassers erfolgt im Behälter. Das sich ausdehnende Heizwasser wird über die Anschlussleitung (3) zugeführt, wenn durch Druckerhöhung das Überströmventil (16) öffnet. Das Ausdehnungswasser lässt den Wasserspiegel vom unteren Niveau (18a) zu einem beliebigen Niveau (18b) ansteigen. Dieser Wasserkolben drückt die darüber befindlichen Gase durch das Rückschlagventil (15) aus dem Ausdehnungsbehälter (A1) heraus. Bei der Abkühlung des Heizwassers sinkt der Anlagendruck, sodass der Pressostat (17) die Druckhaltungspumpe (14) einschaltet bis der eingestellte Sollwert für den statischen Druck wieder erreicht ist. Ein federbelastetes Ventil (16) entlässt in Intervallen gashaltiges Wasser aus der Zirkulationsleitung (8 und 8a) in den Behälter und die Druckhaltungspumpe (14) speist entgastes Wasser in die Rücklaufleitung (8a) zurück. Die Anschlüsse (8) und (8a) bewirken dabei, dass ständig gashaltiges Heizwasser am Ventil (16) ansteht. Eine Verbindungsleitung (9) gewährleistet die gleichmäßige Druckverteilung. ■

Bilder: Korex GmbH

■ Internetinformationen:
www.korex.de