

Entgasung von Heiz- und Kühlsystemen

Aus Wissenschaft und Praxis



Sehr geehrter Geschäftsfreund,

wer kennt sie nicht, die sogenannten "Luftprobleme" - kalte Heizkörper, Zirkulationsstörungen, Strömungsgeräusche, Verschlammung, Korrosion ... - und keine Lösung in Sicht.

Deshalb beschäftigen wir uns seit 1995 in gemeinsamer Forschungsarbeit mit der Technischen Universität Dresden, Institut für Energietechnik mit der Problematik "Entgasung von Flüssigkeitssystemen".

Bereits 1997 erfolgte ein erster Zwischenbericht mit der Veröffentlichung von "Gase in Wasserheizungsanlagen Teil 1" /1/. Darin wurde im wesentlichen das Thema "Luft in Wasserheizungsanlagen" theoretisch behandelt.



In „Entgasung von Heiz- und Kühlsystemen“ werden nun die praktischen Erkenntnisse aus nahezu 300 Gasinhaltsmessungen zusammengefasst. Die Messungen wurden von der Technischen Universität Dresden in den verschiedensten Heiz-, Kühl- und Fernwärmesystemen durchgeführt.

**Ergebnis:
Über 50 % der untersuchten
Anlagen leiden unter
Gasproblemen.**

Wir möchten Ihnen die Ursachen erläutern und Lösungsmöglichkeiten an zwei konkreten Beispielen aufzeigen.

Unsere Darstellung stützt sich u. a. auf den koordinierten Schlussbericht zum AiF Forschungsthema "Gase in kleinen und mittleren Wasserheiznetzen" /2/. Bitte haben Sie Nachsicht, wenn manches vielleicht zu wissenschaftlich oder auch zu umfangreich erscheint. Es ist uns nicht leicht gefallen, aus der Fülle der Informationen, die wichtigsten auszuwählen.

Gern stehen wir für Erläuterungen und Auskünfte zur Verfügung. Natürlich interessieren uns Ihre Meinungen zum Thema und Ihre Erfahrungen aus der Praxis.

Ihr Reflex Produktmarketing

1. Gas ist nicht gleich Luft - über die Vielschichtigkeit des Themas	4 - 5
2. Wie Gase in geschlossene Anlagen gelangen	
■ Im Füll- und Nachspeisewasser sind Gase gelöst.	6
■ Bei der Neu- und Teilbefüllung nach Reparaturen wird Restluft eingeschlossen.	6
■ Luft kann über Bauteile in die Anlage eindiffundieren.	6 - 7
■ Durch chemische Reaktionen und Korrosion können sich Gase bilden.	7 - 8
■ Bei unsachgemäßer Ausführung der Druckhaltung kann Luft in die Anlage eindringen.	8 - 10
■ Die Gasproblematik wurde mit der Weiterentwicklung der Installationstechnik verschärft.	11
3. Technische Möglichkeiten zur physikalischen Entgasung	12
■ Entgasung bei Anlagendruck	12 - 13
■ Entgasung bei Atmosphärendruck	13
■ Entgasung im Vakuum	14
■ Vergleich unterschiedlicher Entgasungssysteme	15
■ Entgasungsleistungen nur auf dem Papier - Fehlinterpretation des Henry'schen Gesetzes	15 - 16
4. Problemlösungen an zwei Beispielen	17
5. Reflex Druckhalte- und Entgasungssysteme	18
6. Die Kapitel im Überblick	19

Literaturverzeichnis

- /1/ Gase in Wasserheizungsanlagen Teil 1, Juli 1997
- /2/ TU Dresden, Inst. f. Energietechnik: "Gase in kleinen und mittleren Wasserheiznetzen", koordinierter Schlussbericht, AiF Forschungsthema Nr. 11103 B, November 1998
- /3/ VDI 2035 Bl. 2: Vermeidung von Schäden in Warmwasserheizungsanlagen, wasserseitige Korrosion, Beuth Verlag GmbH, Sept. 1998
- /4/ DIN 4726: Rohrleitungen aus Kunststoff für Warmwasser-Fußbodenheizungen, Allgemeine Anforderungen
- /5/ Rühling, Preußner: Gase in Warmwasser-Heizungssystemen, unveröffentlichter Forschungsbericht, Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik, Professur für Energiewirtschaft, 25.07.1996
- /6/ DIN 4807 T 2: Ausdehnungsgefäße, offene und geschlossene Ausdehnungsgefäße für wärmetechnische Anlagen, Ausführung, Anforderungen und Prüfung, Mai 1999
- /7/ AGFW-Seminar "Wassertechnologie der Fernwärmeversorgung", September 1998, Rostock/Warnemünde
Dr. Kruse: Korrosion und Korrosionsschutz
- /8/ AGFW-Seminar "Wassertechnologie der Fernwärmeversorgung", September 1998, Rostock/Warnemünde
Hopp: Fernwärmenetze mit unterschiedlicher Wasserqualität

1. Gas ist nicht gleich Luft - über die Vielschichtigkeit des Themas

Die Diskussion wird in der Praxis häufig stark vereinfacht und verkürzt, indem man z. B. schlechthin von "Luftproblemen" spricht und nicht selten Luft unzulässigerweise mit Sauerstoff gleichsetzt. So werden "Luftprobleme" zu "Sauerstoffproblemen" degradiert und jedes "Luftproblem" zu einem Korrosionsproblem hochstilisiert. So einfach ist das leider nicht!

Die Gasproblematik stellt sich praktisch in zwei Formen dar:

Einige Gase können in freier oder gelöster Form Korrosion an verschiedensten Werkstoffen verursachen.

Bekanntester Vertreter ist der Sauerstoff, der maßgeblich für die Korrosion an Eisenwerkstoffen verantwortlich ist. Bild 1 zeigt Messwerte in Anlagen mit hohem Stahlanteil. Die Tatsache, dass fast alle Messwerte (auch bei offenen Anlagen!) unter dem nach VDI 2035 Bl. 2 /3/ formulierten kritischen Wert von 0,1 mg/l liegen (weniger als 1 % der natürlichen Konzentration im Trinkwasser) zeigt, dass Sauerstoff sehr reaktionsfreudig ist. Er wird im System durch Korrosion fast vollständig verbraucht. Höchstes Gebot ist es deshalb, den Sauerstoffzutritt zu verhindern und nur konsequent zur Atmosphäre geschlossene Anlagen zu bauen.

- ▶ nur geschlossene Anlagen bauen

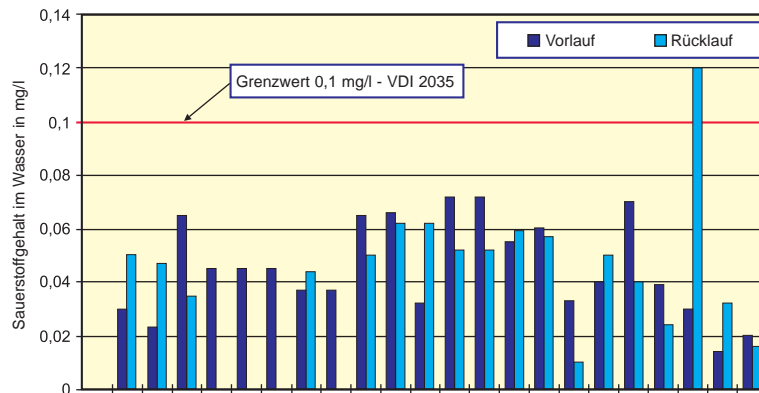


Bild 1: Feldmessungen Sauerstoffgehalt im Zirkulationswasser verschiedener Anlagensysteme

- ▶ Sauerstoffmesswerte meist unter 0,1 mg/l, natürliche Beladung von Trinkwasser = 11 mg/l

Gase können sich über die Löslichkeitsgrenze im Wasser anreichern und dann in freier Blasenform auftreten.

Bekanntester Vertreter ist der Stickstoff, ein Hauptbestandteil der Luft.

Stickstoff ist ein Inertgas und wird nicht wie der Sauerstoff in chemischen

Reaktionen verbraucht. So kann er sich im Anlagenwasser anreichern (Bild 3). Es wurden Werte bis 50 mg/l gemessen. Das liegt bei 280 % der natürlichen Konzentration im Trinkwasser (18 mg/l). In diesen Konzentrationen kann sich der Stickstoff meist nicht mehr vollständig im Wasser lösen und tritt in freier Blasenform auf (Bild 2). Die Blasen sammeln sich an Punkten relativer Ruhe und führen dann zu Zirkulationsstörungen und -unterbrechungen. Freie Blasen in der Strömung können die Erosion verstärken und korrosionshemmende Schutzschichten abtragen sowie den Verschleiß an Pumpen und Ventilen beschleunigen.

Die Löslichkeit von Gasen in Wasser beschreibt das Henry'sche Gesetz (Bild 4). Die Löslichkeit sinkt mit

- ▶ Stickstoff ist der Hauptverursacher von Zirkulationsstörungen und Erosion



Bild 2: stickstoffübersättigtes, Heizungswasser nach der Probenahme

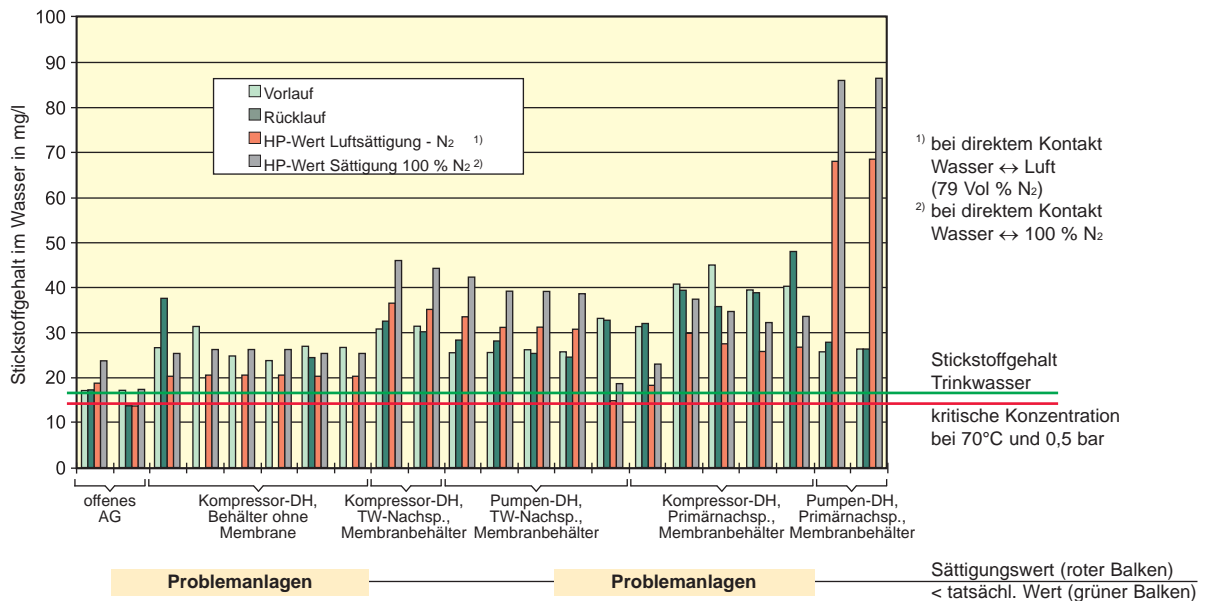
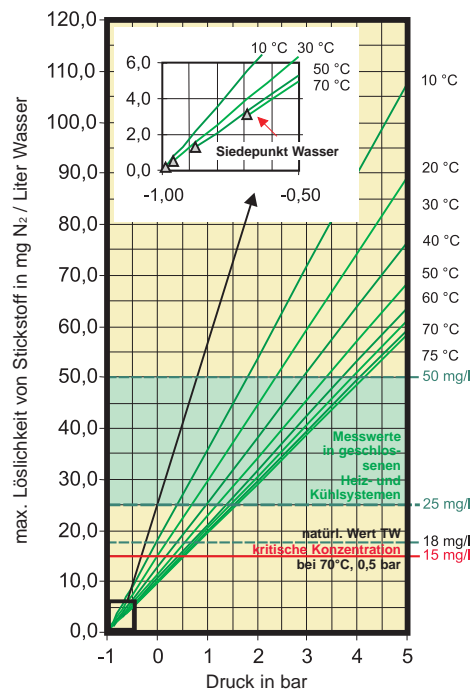


Bild 3: Feldmessungen - Stickstoffgehalt im Zirkulationswasser bei Einsatz verschiedener Druckhaltesysteme mit theoretischen N₂-Sättigungswerten am Hochpunkt (HP) bei den tatsächlich auftretenden Drücken und Temperaturen

steigender Temperatur und fallendem Druck. Dies erklärt z. B., warum vor allem an den Heizkörpern in den Obergeschossen Zirkulationsstörungen auftreten. Legt man für die Druckhaltung, bezogen auf den Hochpunkt, einen Mindestüberdruck von 0,5 bar zugrunde, dann ergibt sich bei 70°C Vorlauftemperatur eine Löslichkeit von 15 mg/l Stickstoff. In Bild 3 wird deutlich, dass in allen untersuchten Anlagen der tatsächliche Sättigungswert (roter Balken) deutlich über 15 mg/l liegt. Man kann also davon ausgehen, dass Stickstoffkonzentrationen ≤ 15 mg/l i. allg. unproblematisch sind. Diese werden bereits von atmosphärischen Entgasern erreicht → S. 15.

Neben Stickstoff wurden auch Wasserstoff und Methan in einigen Anlagen in freier Blasenform nachgewiesen. Auch für diese Gase liegen HENRY-Diagramme vor.

Bild 4: max. Löslichkeit von Stickstoff aus der trockenen Luft nach HENRY



Die Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten beschreibt das HENRY'sche Gesetz

Fazit Kapitel 1

Sauerstoff ist ein höchstreaktives Gas und wird als Hauptverursacher von Korrosion im System weitestgehend verbraucht. Er kommt (fast) ausschließlich in gelöster Form vor. Sauerstoffkonzentrationen $> 0,1$ mg/l weisen auf ein erhöhtes Risiko für das Auftreten von Korrosionsschäden hin /3/.

Stickstoff ist als Inertgas meist für die Bildung von Zweiphasenströmungen Gas/Wasser verantwortlich. Er reichert sich permanent im System an und führt z. B. zu den bekannten Zirkulationsstörungen. Stickstoffwerte ≤ 15 mg/l sind i. allg. unproblematisch und bereits bei atmosphärischer Entgasung erreichbar.

2. Wie Gase in geschlossene Anlagen gelangen

Im Füll- und Nachspeisewasser sind Gase gelöst.

Häufig wird für Füll- und Nachspeisvorgänge Trinkwasser verwendet. Dies ist in der Regel "luftgesättigt". Nach HENRY ergibt sich theoretisch ein Sauerstoffgehalt von ca. 11 mg/l und ein Stickstoffgehalt von ca. 18 mg/l. Außerdem sind geringe Mengen an Kohlendioxid gelöst. Bild 5 zeigt eine gute Übereinstimmung mit Messwerten in Dresden. Natürlich wird es hier regionale Abweichungen geben. Es versteht sich von selbst, dass die Dichtheit von Anlagen höchste Priorität genießt, da mit jedem Liter Nachspeisewasser auch 29 mg "Luft" (Stickstoff und Sauerstoff) ins System gelangen.

- ▶ In Trinkwasser sind ca. 11 mg/l Sauerstoff und 18 mg/l Stickstoff gelöst.

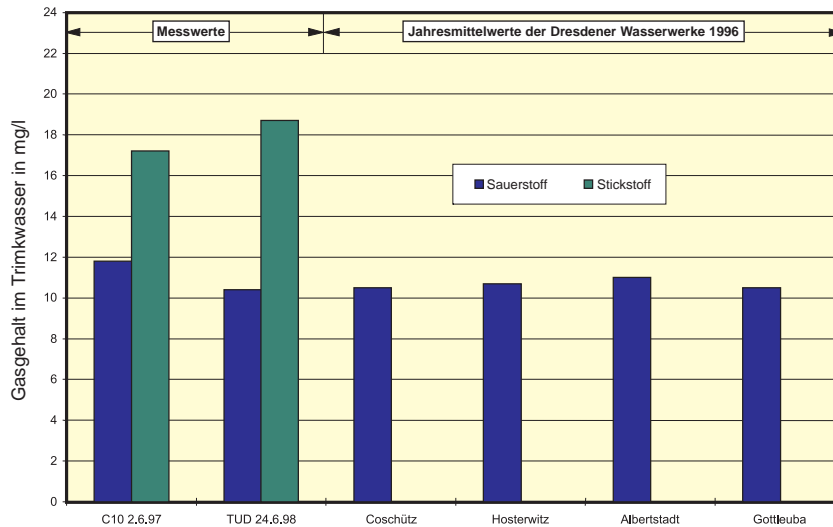


Bild 5: Gasbeladung von Trinkwasser

Bei der Neu- und Teilbefüllung nach Reparaturen wird Restluft eingeschlossen.

Werden Anlagenteile nicht "sauber" entlüftet, so kann sich die eingeschlossene Restluft im Kreislaufwasser unter dem höheren Anlagendruck auflösen. Versuche ergaben nahezu eine Verdoppelung des Gasgehaltes nach dem Füllvorgang! Beobachtungen zeigen, dass Betriebsstörungen durch Gase vermehrt auch nach Reparaturen auftraten, selbst dann, wenn mit gasfreiem Primärwasser aus einem Fernwärmenetz nachgespeist wurde! Dabei kann der Ort der Reparatur beliebig weit von dem Ort der freien Gasbildung (meist Hochpunkte) liegen, da die gelösten Gase mit dem Kreislaufwasser transportiert werden. Dieser Umstand erschwert mitunter die Ursachenforschung.

Luft kann über Bauteile in die Anlage eindiffundieren.

Der Konzentrationsunterschied zwischen dem Gas in der Luft (ca. 78 % N₂, 21 % O₂) und im Wasser ist Triebkraft für die Diffusion in die Anlage. Da die Konzentration von Sauerstoff im Heizungswasser im Betrieb fast Null ist (Bild 1), besteht hier ein erhöhtes Diffusionspotenzial zwischen der Atmosphäre und dem Netzwasser. Während metallische Werkstoffe wie Stahl und Kupfer eine technisch vernachlässigbare Permeabilität (Gasdurchlässigkeit) besitzen, kann sie bei nichtmetallischen Werkstoffen wie Kunststoffen, Gummi und Dichtungswerkstoffen recht beachtlich sein. So wurde z. B. in der DIN 4726 /4/ ein oberer Grenzwert für sauerstoffdichte Rohre von 0,1 mg O₂ pro Liter Inhaltwasser und Tag festgelegt.

- ▶ Bei Inbetriebnahmen und Reparaturen „sauber“ entlüften!
- ▶ Bei Installationen auf Rohrleitungsgefälle für Entlüftung achten!
- ▶ In „moderne“ Hausinstallationen diffundieren mehr Gase ein.

Bild 6 zeigt eine Abschätzung der diffundierenden O₂-Menge bei verschiedenen Heizungsanlagen. Bei Kunststoff-Fußbodenheizungen liegt die eindiffundierende Sauerstoffmenge demnach 3 bis 5 Zehnerpotenzen höher als bei der klassischen Installation mit Kupfer- oder Stahlrohr. Gerade bei Fußbodenheizungen in Mischinstallation mit Stahlrohren kann dies bereits zu Korrosionsschäden führen.

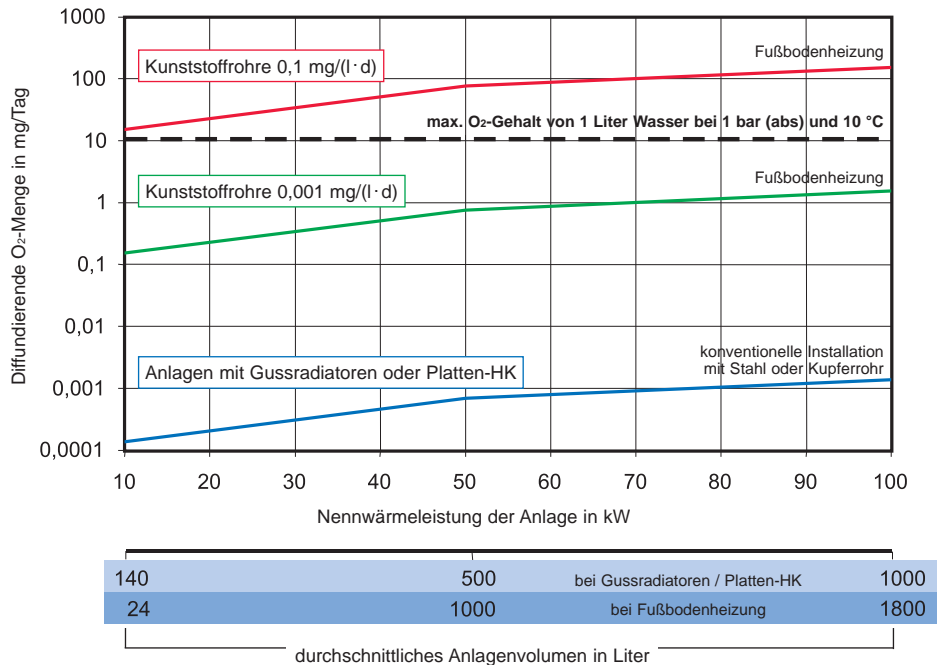


Bild 6: Abschätzung diffundierender Gasmengen in Abhängigkeit von der thermischen Leistung der Anlage

Durch chemische Reaktionen und Korrosion können sich Gase bilden.

Unter einer Vielzahl von Randbedingungen, wie Werkstoffkombinationen, Wasserqualität, chemische Zusätze, Inhaltsstoffe, Druck und Temperatur, können sich Gase im Inhaltswasser bilden. Bei den Feldversuchen wurden neben dem erwähnten Stickstoff (aus der Luft) auch in einigen Anlagen Wasserstoff und Methan festgestellt. Nicht alle Mechanismen für die Gasbildung aus chemischen Reaktionen sind aufgeklärt, einiges bleibt Vermutung. Auch hier besteht Handlungsbedarf.

Wasserstoff H₂ kann in Anlagen mit Eisenwerkstoffen nach der sogenannten "Schikorr"-Reaktion gebildet werden und sich bis zur Übersättigung anreichern. Bei Dosierung von Natriumsulfit Na₂SO₃ kann sich in Folge Schwefelwasserstoff H₂S bilden /7/. Auch über sogenannte sulfatreduzierende Bakterien kann Schwefelwasserstoff entstehen /8/. Der gebildete H₂S kann in Anlagen mit Kupferwerkstoffen (z. B. Rohrbündel von Wärmeübertragern, kupfergelötete Plattenwärmeübertrager) durch Reaktion mit Kupferoxid Cu₂O zu Kupfersulfid Cu₂S umgebildet werden. Im Gegensatz zum Cu₂O bildet das Cu₂S keine schützende Deckschicht. Korrosionserscheinungen und Korrosionsschäden nach oft erst mehreren Betriebsjahren sind die Folge.

Vermutet wird auch die Wasserstoffbildung durch biologische Prozesse beim Abbau von Fetten. Diese werden bei der Herstellung von bestimmten Rohrsystemen verwendet.

► Vorsicht bei der Dosierung von Natriumsulfit in Anlagen mit Kupferwerkstoffen



- ▶ Vorsicht bei Mischinstallationen mit Aluminium

Korrosion
+
freie H₂-Blasen

Kritisch kann sich der Einsatz von Aluminium (z. B. Aluheizkörper) darstellen. Schon bei der Herstellung sind diese mit einer ausreichenden Schutzschicht zu versehen, da die natürlichen Schutzschichten nur bis zu einem pH-Wert von 8,5 stabil sind, eisenhaltige Systeme aber mit pH > 8,5 gefahren werden sollten. In einer Anlage mit Aluminiumheizkörpern wurden mit 3,2 mg/l Wasserstoff deutliche Anzeichen für Korrosion festgestellt. Diese Beladung führt bereits bei einer Temperatur von 30 °C und einem Druck von 1 bar(Ü) zur Bildung von freien Wasserstoffblasen.

Die Methangasbildung CH₄ wird i. allg. Bakterien und Faulgase bildenden Inhaltsstoffen zugeschrieben.

Bei unsachgemäßer Ausführung und Wartung der Druckhaltung kann Luft in die Anlage eindringen.

Nach wie vor der häufigste Grund für "Gasprobleme" vor allem in Kleinanlagen mit Membrandruckausdehnungsgefäßen ist eine ungenügende Druckhaltung. Deshalb seien die wichtigsten Grundsätze für eine richtig funktionierende Druckhaltung erwähnt.

Eine Druckhaltung muss sicherstellen, dass an keiner Stelle des Netzes bei Ruhe- (Umwälzpumpen aus) und Umwälzbetrieb Unterdruck, Dampfbildung, Kavitation oder Gasausscheidungen auftreten. Besonders zu beachten sind Anlagenhochpunkte, Pumpen und Regelventile.

Die häufigsten Mängel:

▶ **falsche Inbetriebnahme, fehlende Wartung**

Insbesondere bei Membrandruckausdehnungsgefäßen werden die Gasvordrücke p_0 und die Wasserfülldrücke p_F nicht den Anlagenverhältnissen angepasst. In den seltensten Fällen wird die nach DIN 4807 T 2 /6/ geforderte jährliche Wartung mit Vordruckkontrolle durchgeführt. Meist fehlen sogar die dazu erforderlichen gesicherten Absperrungen.

Eigene Untersuchungen haben ergeben:

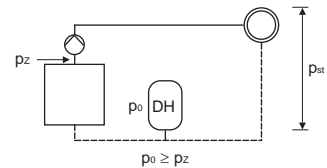
Die Vordrücke p_0 sind häufig zu hoch und die Fülldrücke p_F (Wasservorlage) sind häufig zu niedrig.

Wir berücksichtigen diese Erfahrungen bereits bei der Berechnung in unserem EDV-Berechnungsprogramm bei der Dimensionierung von Membrandruckausdehnungsgefäßen, indem wir einen Mindestfülldruck p_F von 0,3 bar über dem Vordruck einkalkulieren.

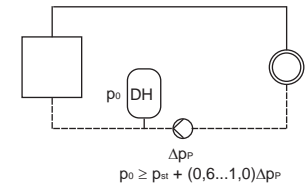


► zu geringer Anlagendruck

- Bei Heizungsanlagen mit geringen statischen Drücken p (Flachbauten, Dachzentralen) muss der Vordruck p_0 zur Vermeidung von Ausgasungen und Kavitation auf die hydraulisch hoch beanspruchten Bauteile (Pumpen, Regelventile) abgestimmt sein.
Stichwort: minimaler Zulaufdruck p_z für Umwälzpumpen lt. Herstellerangaben

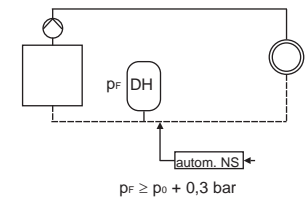


- Bei Enddruckhaltung muss im Gegensatz zur Vordruckhaltung (Saugdruckhaltung) ein Anteil des Pumpendruckes (je nach Anlage 60-100 %) bei der Vordruckbestimmung p_0 berücksichtigt werden, sonst besteht die Gefahr von Unterdruckbildung, in der Regel an Hochpunkten.



► ungenügende Wassernachspeisung

Keine Druckhaltung kann ohne Wasser arbeiten (Wasservorlage bei Heizungsanlagen $\geq 0,5$ % des Anlagenvolumens). Werden natürliche Wasserverluste nicht entsprechend ergänzt, sind Unterdruck und Probleme vorprogrammiert. Bei Betrieb ohne regelmäßige Beaufsichtigung ist eine automatische, kontrollierte Wassernachspeisung unerlässlich (\rightarrow siehe Kapitel 5). Bei Membrandruckausdehnungsgefäßen sollte der Fülldruck p_F mind. 0,3 bar über dem Gasvordruck liegen.



Mit Erscheinen der VDI 2035 Bl. 2 1998 /3/ wurde auch die Diskussion um die Gas- und insbesondere die Sauerstoffaufnahme über Druckhalteanlagen neu entfacht.

Die Bilder 1 und 2 zeigen die gemessenen Sauerstoff- bzw. Stickstoffgehalte im Zirkulationswasser. Die Anlagen sind mit den unterschiedlichsten Druckhaltesystemen ausgerüstet. Zunächst wird deutlich, dass der Gasgehalt im Zirkulationswasser weniger von der Art der Druckhaltung als von anderen Einflüssen bestimmt wird. Vor allem hinsichtlich des Sauerstoffgehaltes darf man dies allerdings nicht falsch interpretieren! Bereits im Abschnitt 1 wird erwähnt, dass Sauerstoff sehr schnell durch Korrosion verbraucht wird. Außerdem findet eine starke Verdünnung durch die Mischung von Zirkulations- und Ausdehnungswasser statt. Dadurch entzieht sich der Sauerstoff weitestgehend einer messtechnischen Erfassung im Zirkulationswasser. Durchgerostete Ausdehnungsleitungen bei offenen Ausdehnungsgefäßen zeugen aber von seiner Existenz. Sauerstoffmessungen in offenen Ausdehnungsgefäßen ergaben Werte zwischen 4 und 6 mg/l /5/.

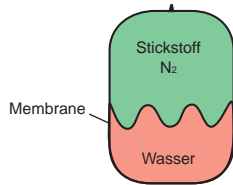
Es ist daher unstrittig, dass Ausdehnungsgefäße mit direkter Verbindung zur Atmosphäre als korrosionsfördernd abgelehnt werden müssen.

Als aktueller Stand der Technik gelten Ausdehnungsgefäße mit Membranen, die den Gas- und Wasserraum trennen. Daran ändert auch die Tatsache nichts, dass offene Ausdehnungsgefäße mit Fremddruckerzeugung (pumpengesteuert) im Markt auch zur Entgasung angeboten werden (siehe Übersicht S. 10). Diese können, ähnlich wie früher offene Anlagen mit hochliegendem Ausdehnungsgefäß, die Stickstoffkonzentration im System reduzieren. Zirkulationsstörungen können so vermieden werden. Aber sie nehmen über das offene Ausdehnungsgefäß 4-6 mg/l Sauerstoff auf /5/! Das ist als schädlich und Rückfall in überholte Zeiten abzulehnen! Leider muss man feststellen, dass es z. Zt. kein normiertes Verfahren zur Bestimmung der Gasdurchlässigkeit von Membranen in Ausdehnungsgefäßen unter Praxisbedingungen gibt, so dass keine quantitativ fundierten Aussagen über die Gasdurchlässigkeit möglich sind.

► Geschlossene Ausdehnungsgefäße sind aktueller Stand der Technik

Die häufigsten Ausführungsformen für Ausdehnungsgefäße sollen kurz erläutert werden.

geschlossene Druckausdehnungsgefäße mit festem Gaspolster (statische Druckhaltung)

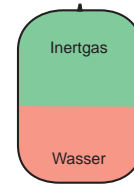


mit Membrane (MAG)

Das meist verwendete Ausdehnungsgefäß. Eine Membrane zwischen Wasser- und Gasraum minimiert das Eindiffundieren des Gases. Sicherste Möglichkeit der geschlossenen Ausführung.

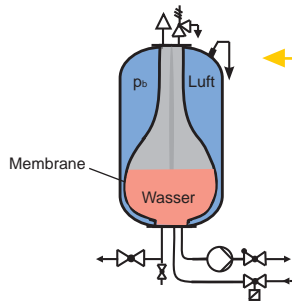
ohne Membrane

Früher häufig, heute meist nur noch bei Großanlagen. Als Gas wird "Dampf" oder Stickstoff verwendet. Nachteil: Stickstoff diffundiert in das Wasser ein, verursacht so "Gasprobleme und muss regelmäßig ergänzt werden.



geschlossene Membranausdehnungsgefäße mit Fremddruckerzeugung (dynamische Druckhaltung)

Trennung von Luft- und Wasserraum durch eine Membrane

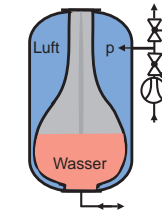


pumpengesteuert, druckloser Auffangbehälter

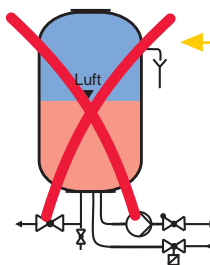
Aufgrund des geringen Partialdruckgefälles zwischen Gas- und Wasserraum findet kaum eine Gasdiffusion über die Membrane statt. Der drucklose Auffangbehälter ist auch zur Entgasung geeignet

kompressorgesteuert, unter Druck stehender Auffangbehälter

Aufgrund des hohen Partialdruckes im Gasraum setzt Reflex spezielle, besonders diffusionsdichte Butyl-Membranen ein. Diese haben eine wesentlich geringere Gasdurchlässigkeit als die sonst überwiegend eingesetzten EPDM-Membranen.



offene Ausdehnungsgefäße mit Fremddruckerzeugung direkte Verbindung von Luft- und Wasserraum

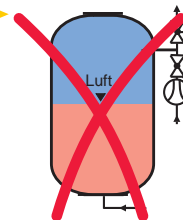


pumpengesteuert, druckloser Auffangbehälter, direkter Kontakt Wasser/Luft

Werden paradoxerweise auch mit "Entgasungsfunktion" angeboten, begasen in Wirklichkeit aber mit Sauerstoff

kompressorgesteuert

Teilweise noch in Altanlagen der neuen Bundesländer zu finden, Druckbehälter unterliegt höchster Korrosionsgefahr wegen regelmäßiger Sauerstoffbegasung



Die Gasproblematik wurde durch die Entwicklung der Installationstechnik verschärft.

Wurden früher Heizungsanlagen häufig mit Stahlrohrleitungen und oberer Verteilung, mit **zentraler** Entlüftung, bei einer „bescheidenen“ Anzahl an Pumpen und Armaturen gebaut, so stellt sich das Bild heute völlig anders dar:

- ▶ Untere und waagerechte Verteilersysteme bedingen viele dezentrale, mit unter schwer erreichbare Entlüftungsstellen.
- ▶ Waagerechte Flächenheizungen und Kühldecken sowie ausgedehnte waagerechte Verteilungssysteme sind mit konventionellen Methoden schwer entlüftbar.
- ▶ Der Einsatz von Bauteilen, wie Kunststoffen und Gummi sowie die erhöhte Anzahl von Dichtflächen in der Installation, lässt mehr „Luft“ in die Anlagen eindiffundieren. → S. 6/7
- ▶ Mischinstallationen verschiedenster metallischer Materialien führen unter bestimmten Bedingungen zur Gasbildung. → S. 7, 8

Gegenwärtig stellt sich die Thematik so dar, dass einerseits die Gasbeladung der neueren Anlagen höher ist, andererseits aber herkömmliche „Entlüftungen“ an vielen dezentralen Entlüftungsstellen meist überfordert sind und die Probleme nicht lösen.

Fazit Kapitel 2

Der Druckhaltung kommt eine zentrale Rolle in der Gasproblematik zu. Sie muss zur Atmosphäre geschlossen sein, um vor allem die Sauerstoffaufnahme zu verhindern, und sie muss Unterdruck und Kavitation sicher vermeiden. Viele Membrandruckausdehnungsgefäße, vor allem in Kleinanlagen, sind gas- und wasserseitig falsch eingestellt und werden nicht entsprechend DIN 4807 T 2 /6/ gewartet. Hier besteht nach wie vor Aufklärungs- und Handlungsbedarf.

Das Eindringen und die Bildung von Gasen ist auch bei geschlossenen Anlagen nahezu unvermeidlich (Füllen, Nachspeisen, Diffusion, chemische Reaktionen).

Gase müssen aus geschlossenen Systemen gezielt über geeignete Geräte, vorzugsweise zentral, abgeführt werden, um Zirkulationsstörungen, Erosion und Korrosion zu vermeiden. Die Entgasung muss eine Einbahnstraße sein: Gas raus, aber keine Luft rein!

3. Technische Möglichkeiten zur physikalischen Entgasung

So vielfältig die Möglichkeiten der Entgasung sind, so vielfältig sind auch die Ergebnisse.

Die aufwendigste, aber sicher auch wirkungsvollste Methode ist die thermische Entgasung mit Dampf, wie sie z. B. in Kraftwerken realisiert wird. Hier soll allerdings nur auf technisch praktikable, physikalische Methoden eingegangen werden, die auch im Temperaturbereich $< 100^{\circ}\text{C}$ und in der Gebäudetechnik realisierbar sind.

Leider gibt es zur Bewertung von Entgasungssystemen kein normiertes Verfahren. Dies öffnet Tür und Tor für werbewirksame, aber undifferenzierte, ja falsche Aussagen.

So liest man von Luftabscheidern, die alle Luft aus der Anlage rausholen. Ist mit Luft Sauerstoff und Stickstoff gemeint? Heißt „alle Luft“ auch gelöste Luft?

Oder, in einer Werbeschrift eines Herstellers von Druckhalteanlagen mit integrierter atmosphärischer Entspannung in ein offenes Expansionsgefäß heißt es u. a.:

Zitat: „Neue Mitbewerber weisen darauf hin, dass ... Sauerstoff aus dem offenen Expansionsbehälter in das Anlagenwasser gelangt. Dies ist nur zum Teil richtig, aber unbedeutend, weil druckloses Wasser nur wenig Sauerstoff aufnehmen kann.“

Der letzte Satz enthält drei Falschaussagen:

1. es ist richtig, dass Sauerstoff in das Anlagenwasser gelangt.
2. ist das auch nicht unbedeutend, da
3. druckloses Wasser sehr wohl viel Sauerstoff aufnehmen kann bei 10°C ca. 11 mg/l , bei 70°C immerhin noch mehr als 5 mg/l . Das ist das 50-fache der Empfehlung von $0,1\text{ mg/l}$ lt. VDI 2035!

Es sollen deshalb einige gängige, in der Gebäude- und Anlagentechnik praktizierte physikalische Verfahren hinsichtlich ihrer Wirksamkeit beschrieben werden. Diese wird im wesentlichen von drei Faktoren beeinflusst:

- Temperatur des Mediums
- Druck des Mediums
- Wirkprinzip

Entgasung bei Anlagendruck

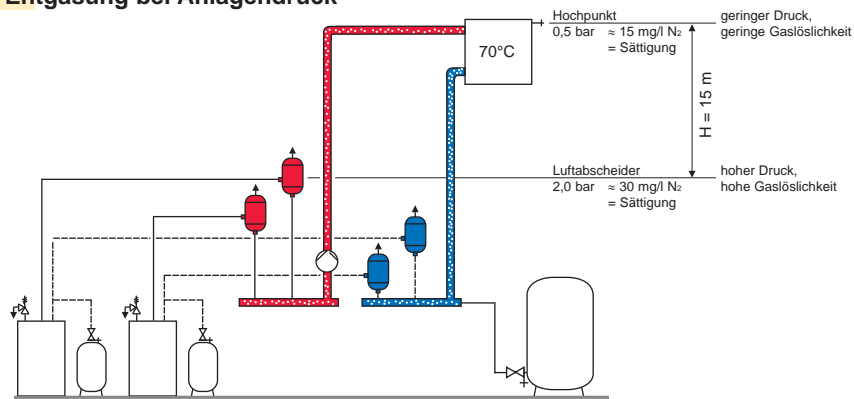


Bild 7: Prinzipschema eines Heizungssystems mit konventionellen Luftabscheidern und MAG

In vielen Heiz- und Kühlkreisläufen werden lediglich sogenannte mechanische Luftabscheider zur Entgasung eingesetzt. Diese können nur freie, aber keine gelösten Gase abscheiden. Es gibt verschiedene Wirkprinzipien. Allen Arten ist gemeinsam, dass sie unter dem Druck des Anlagensystems stehen (hohe Gaslöslichkeit) und die Wirksamkeit vom Einbauort maßgeblich beeinflusst wird (Hochpunkt, Tiefpunkt, Vorlauf, Rücklauf, Abstand zu Kessel und Pumpe).

- ▶ Mechanische Luftabscheider arbeiten nur effektiv an absoluten Hochpunkten

Nur bei Einbau direkt an den Anlagenhochpunkten könnten „Luftprobleme“ sicher vermieden werden. Da Anlagen heute in der Regel mit unterer Verteilung geplant werden, erfolgt der Einbau an ungünstigeren, tiefliegenden Punkten. Die Effektivität ist dann stark eingeschränkt, wenn nicht fraglich. So könnte im Beispiel Bild 7 der Stickstoffgehalt nur bis auf ca. 30 mg/l abgesenkt werden, 15 mg/l wären aber erforderlich, um Gasausscheidungen am Hochpunkt sicher zu vermeiden. Auf den Gehalt an gelösten Gasen sowie auf Korrosionsabläufe können mechanische Luftableiter keinen Einfluss nehmen.

Entgasung bei Atmosphärendruck

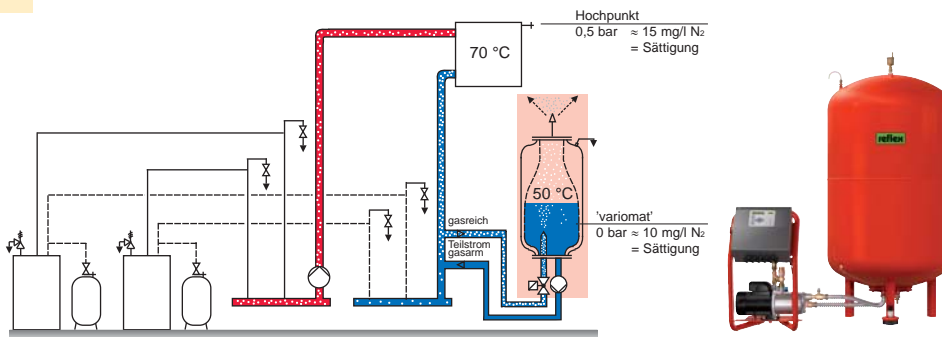


Bild 8: Prinzipschema eines Heizungssystems mit einer reflex 'variomat' Multifunktionseinheit zum Druck halten, entgasen und nachspeisen, mit Dauer- und Intervallbetrieb, mit geschlossenem Membranauffangbehälter

Pumpengesteuerte Druckhaltestationen speichern das Ausdehnungswasser in einem drucklosen Auffangbehälter. Dieser kann gleichzeitig als zentrale Entgasungseinrichtung genutzt werden. Ein Teilstrom des Inhaltswassers wird über den drucklosen Auffangbehälter geführt. Durch die Druckentspannung auf Atmosphärendruck kann z. B. die Stickstoffkonzentration im gesamten System theoretisch bis auf ca. 10 mg/l abgesenkt werden (HENRY-Diagramm: 0 bar, 50 °C). Das liegt unter der kritischen Konzentration am Hochpunkt, so dass sich hier keine freien Blasen mehr ausscheiden können → Bild 4. Atmosphärische Entgaser erfüllen so im wahrsten Sinne des Wortes die Anforderungen an eine klassische zentrale „Entlüftungseinrichtung“. Durch den „blasenfreien“ Umwälzbetrieb wird außerdem die Erosionsgefahr gemindert und die Schutzschichtbildung nicht gestört. Das aufwendige Nachentlüften an vielen dezentralen Entlüftungsstellen entfällt.

Natürlich muss der Auffangbehälter als geschlossenes Gefäß ausgeführt werden. → Abschnitt 2, Seite 10

Atmosphärische Entgaser können den Gehalt an **gelösten** Gasen nur bedingt beeinflussen (entsprechend Löslichkeit bei Atmosphärendruck nach HENRY). So könnte der Sauerstoffgehalt des Nachspeisewassers bei Einspeisung in einen 40°C warmen, drucklosen Auffangbehälter gerade mal von 11 mg/l auf ca. 7 mg/l abgesenkt werden.

- ▶ Entgasungs- und Auffangbehälter müssen zur Atmosphäre geschlossen sein.
- ▶ gute zentrale „Entlüftungsfunktion“ im atmosphärischen Entgaser

Entgasung im Vakuum

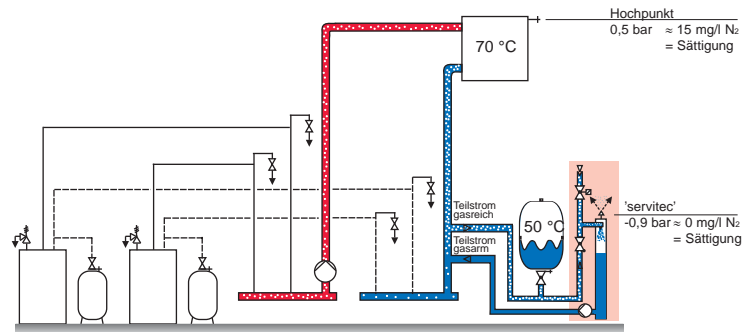


Bild 9: Prinzipschema eines Heizungssystems mit einer reflex 'servitec' dynamischen Vakuum-Sprührohrentgasung zur Entgasung des Netz- und Nachspeisewassers



'servitec 35'

Vakuumentgaser entgasen einen Teilstrom des Netzinhaltswassers im Vakuum. Im Vakuum ist die Löslichkeit von Gasen faktisch Null. Trotzdem verläuft die Entgasung im ruhenden, statischen Vakuum recht träge und langsam (→ Bild 10). Erst eine Dynamisierung, z. B. durch Versprühung des Wassers im Vakuum (→ Bild 11), garantiert hohe Entgasungsleistungen.



Bild 10: statische Vakuum-entgasung im „ruhenden Vakuum“



Bild 11: dynamische Vakuumentgasung am 'servitec'-Versuchsstand

14

- ▶ Die Entgasungsleistung im ruhenden Vakuum ist zu gering.

- ▶ Vakuumentgaser können reaktive und Inertgase ausscheiden.

Dynamische Vakuumentgaser arbeiten besonders effektiv, da sowohl die Bildung freier Gasblasen vermindert, als auch der Gehalt an gelösten Gasen stark reduziert wird, und das völlig unabhängig von den Druckverhältnissen im Netz. Reaktive Gase (z. B. H_2 , O_2) können so entfernt und Korrosion minimiert werden. Ein markanter Vorteil der Vakuum-Entgasung gegenüber chemischen Verfahren ist die kompromisslose Ausscheidung aller Gase, einschließlich Inertgase, die sich einer chemischen Bindung entziehen! Messungen ergaben, dass z. B. der Stickstoffgehalt im Zirkulationswasser mit einer 'servitec' Vakuum-Sprührohrentgasung bis auf ca. 3 mg/l abgesenkt werden kann. Das entspricht in etwa den Werten, die nach thermischen Entgasern gemessen wurden. Auf den Sauerstoffgehalt des Netzinhaltswassers hat die Teilstromentgasung bei klassischen Stahlrohrsystemen nur bedingten Einfluss. Bei zu kleinen Teilstrommengen entzieht sich der Sauerstoff wegen seines schnellen Reaktionsvermögens teilweise einer zentralen Ausscheidung. Ein Problem aller Teilstromentgasungen!

Sehr wirksam ist allerdings die Entgasung des Nachspeise- und Füllwassers, dessen Sauerstoffgehalt um etwa 80 % reduziert werden kann.

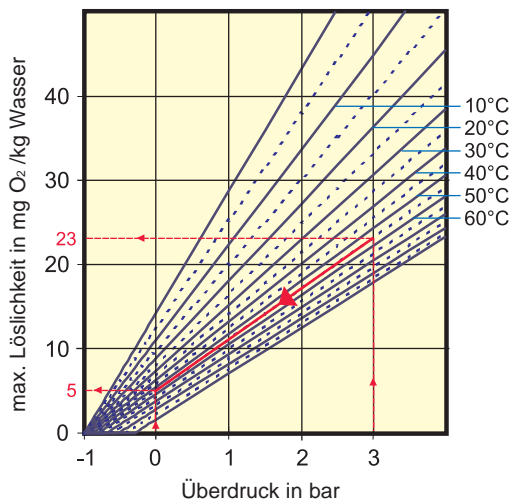


Bild 13: max. Löslichkeit von Sauerstoff aus der Luftatmosphäre

Behauptungen anhand des HENRY-Diagramms → Bild 13

In einer Heizungsanlage sind bei einer Vorlauftemperatur von 55°C und einem Druck von 3 bar 23 mg/l Sauerstoff gelöst. Bei Druckentspannung auf 0 bar im Entgasungsgerät kann das Heizungswasser nur noch 5 mg/l Sauerstoff lösen. Demzufolge werden im Entgasungsgerät $23 \text{ mg/l} - 5 \text{ mg/l} = 18 \text{ mg/l}$ Sauerstoff abgeschieden.

**Diese Argumentation ist falsch!
Warum?**

1. HENRY beschreibt nicht den tatsächlichen Sauerstoffgehalt im Wasser, sondern „was könnte max. gelöst werden, wenn Sauerstoff aus der Luft ausreichend lange im direkten Kontakt mit der Wasseroberfläche stünde“. Dieser Kontakt ist weder innerhalb eines geschlossenen, noch offenen Installationssystems gegeben.
2. Sauerstoff ist ein reaktives Gas. D. h., er wird bei der Korrosion oder bei der Reaktion mit anderen Gasen relativ schnell verbraucht. Wie Bild 1 zeigt, lag der Sauerstoffgehalt fast in allen untersuchten Anlagen unter 0,1 mg/l, auch ohne Entgasungsgerät.
3. Eine Reduzierung des Sauerstoffgehaltes auf 5 mg/l im Zirkulationswasser wäre ein unbefriedigendes Ergebnis, da nach VDI 2035 Bl. 2 ein Wert von $< 0,1 \text{ mg/l}$ angestrebt werden sollte.

Das Beispiel zeigt, wie wichtig es ist, auch für Entgasungsgeräte einheitliche Bewertungsmaßstäbe zu formulieren. Der jetzige Zustand ist höchst unbefriedigend, werden doch tagtäglich theoretisch wenig fundierte und praktisch unbewiesene Aussagen zum Thema Entgasung in den Raum gestellt. Dies ist der wachsenden Bedeutung des Themas nicht angemessen und kann den Markt in Folge verunsichern.

Fazit Kapitel 3

Mechanische Luftableiter können nur bei Einbau an absoluten Hochpunkten effektiv arbeiten.

Atmosphärische Entgaser können freie Gasblasen im Zirkulationswasser verhindern. Sie eignen sich bestens als zentrale Entlüftungseinrichtung, nicht aber zur gezielten Sauerstoffausscheidung. Erosion durch Zweiphasenströmung kann weitestgehend vermieden werden.

Vakuumentgaser können den Gesamtgasgehalt fast gegen Null fahren. Sie bekämpfen sowohl Korrosion (reaktive Gase), als auch Erosion (Inertgase). Hohe Abscheidegrade erzielt man mit dynamischen Vakuumentgasern.

Das HENRY'sche Gesetz beschreibt nicht den tatsächlichen Gasgehalt, sondern den max. möglichen Gasgehalt in der Lösung.

4. Problemlösungen an zwei Beispielen

Die Untersuchungen zur Gasproblematik umfassten Heizungsanlagen in Eigenheimen, Rasenheizungen in Fußballstadien ebenso wie große Fernwärmeversorgungsanlagen. Auch Kühlwasserkreisläufe mit Wasser-Glykol-Gemischen wurden untersucht.

Für den Betreiber deutlich erkennbar stellten sich die Probleme durch Gasübersättigung meist mit Stickstoff dar. Kalte, gasgefüllte Heizkörper im Obergeschoss und Gluckergeräusche sind hinlänglich bekannt. Analysen des Gasgehaltes und wasserchemische Untersuchungen zeigen aber, dass in einigen Anlagen der erhöhte Gasgehalt (z. B. H_2 , CH_4) offensichtlich auch mit Korrosion korrespondiert. Dadurch entstehende Schäden treten meist erst nach Jahren auf.

Zwei praktische Beispiele sollen die Thematik verdeutlichen und Lösungsmöglichkeiten aufzeigen.

- In über 90 % der untersuchten Problem- anlagen verursacht der Stickstoff Zirkulationsprobleme.

Heiznetz der Energieversorgung Halle

An ein sekundäres Fernwärmenetz der Energieversorgung Halle mit über 100 m³ Wasserinhalt und einer Leistung von ca. 14 MW sind mehrere Wohnblöcke, darunter auch 14-stöckige Hochhäuser, direkt angeschlossen. Mit der Systemtrennung von der Primärheiztrasse durch den Einbau einer Wärmeübertragerstation folgten die Probleme - immer wieder „Luft“ in den Hochhäusern, immer wieder aufwändiges, dezentrales Nachentlüften der Heizkörper im Obergeschoss. Der Einbau von automatischen Be- und Entlüftern an ausgewählten Heizkörpern brachte keine entscheidende Besserung.

Dies war die Ausgangssituation für den Test der ersten 'servitec' Vakuum-Sprührohrentgasung. Nach deren Inbetriebnahme konnte der Stickstoffgehalt bereits nach 40 h von 45 mg/l auf 5 mg/l abgesenkt werden. Die „Luftprobleme“ waren beseitigt, die Mieter zufrieden. Durch die stark gasuntersättigte Fahrweise (≤ 5 mg/l) sind Gasausscheidungen selbst an extremen Stellen (Hochpunkte, Pumpen, Regelventile) ausgeschlossen und das Korrosionsrisiko minimiert.



Bild 14:
'servitec' Versuchsanlage in einem Netz der EV Halle

Konrad-Zuse-Zentrum Berlin

Im Konrad-Zuse-Zentrum Berlin kam es sowohl in der Gebäudeheizung (7,3 m³) als auch im Kühlwasserkreislauf (30 m³) zu Zirkulationsstörungen mit Ausfällen von Heizkörpern und Klimatruhen.

Beide Anlagen wiesen zu hohe Stickstoffwerte auf. In der Heizungsanlage wurden zusätzlich erhöhte Methangasgehalte festgestellt, die vermutlich auf den Einsatz eines Inhibitors zurückzuführen sind. Nach Einsatz einer Standard 'servitec' Vakuum-Sprührohrentgasung funktionierten sowohl das Heizungs-, als auch das Kühlwassersystem einwandfrei. Im Heizungswasser konnte kein Methangehalt mehr festgestellt werden.



Bild 15:
'servitec'-Standardanlage im Konrad-Zuse-Zentrum Berlin

5. Reflex Druckhalte- und Entgasungssysteme

reflex 'magcontrol' oder 'fillcontrol'

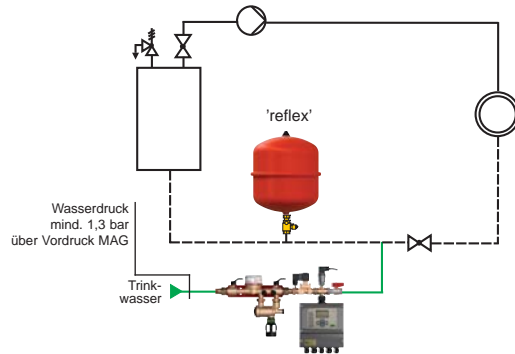
Drucküberwachung von Ausdehnungsgefäßen mit integrierter, kontrollierter Nachspeisung

Druck o.k.



reflex 'magcontrol' kann zwar nicht Entgasen, automatisiert und überwacht aber die Funktion von Membran-Druckausdehnungsgefäßen - eine wichtige Voraussetzung, um das direkte Einziehen von Luft zu verhindern.
→ Kapitel 2

Beispiel: Heizungsanlage



reflex 'fillset' bei Nachspeisung aus Trinkwassernetzen

reflex 'variomat' oder 'gigamat'

Atmosphärische Entgasung mit integrierter Druckhaltung und Nachspeisung

18

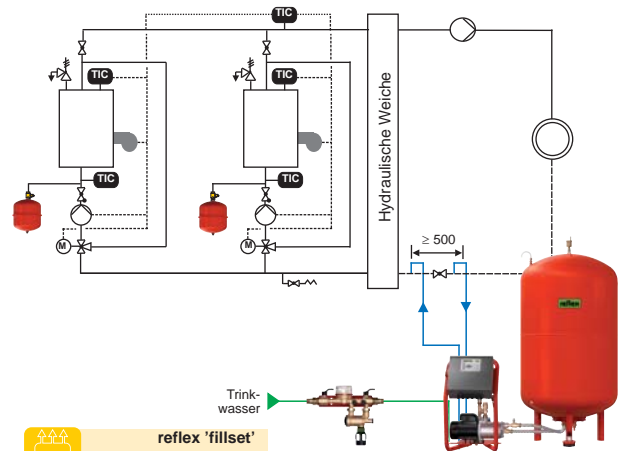
Druck o.k.

Luft raus



Die Kombination von pumpengesteuerter Druckhaltung mit atmosphärischer Entgasung in einem geschlossenen System hat sich tausendfach bewährt. Das heißt, der Druck stimmt und „Luftprobleme“ sind Vergangenheit. Das aufwändige dezentrale Nachentlüften entfällt.
→ Kapitel 3

Beispiel: Mehrkesselanlage



reflex 'fillset' bei Nachspeisung aus Trinkwassernetzen

reflex 'variomat'

reflex 'servitec'

Dynamische Vakuum-Sprührohrentgasung mit integrierter Drucküberwachung und Nachspeisung

Druck o.k.

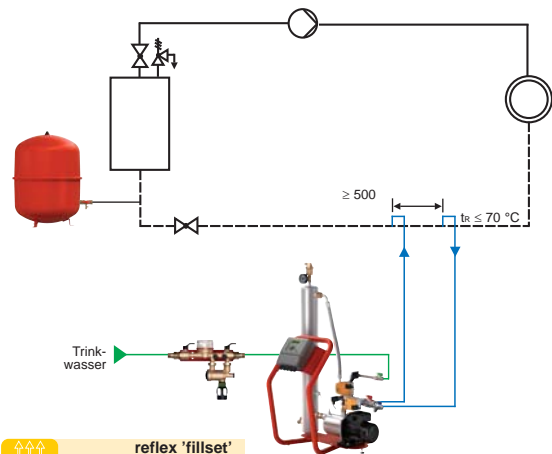
Luft raus

Korrosion bekämpft



Das Anlagen- und Nachspeisewasser, ob in Heizungs-, Fernwärme- oder Kühlwassersystemen, wird im Vakuum entgast. Der Gasgehalt im Zirkulationswasser wird faktisch auf Null reduziert. Das heißt, keine „Luftprobleme“ mehr und Senkung des Korrosionsrisikos. Zusätzlich kann die Funktion von Druckausdehnungsgefäßen überwacht werden. 'servitec' ist besonders auch zur Nachrüstung in Problem-anlagen geeignet.
→ Kapitel 4

Beispiel: Einkesselanlage



reflex 'fillset' bei Nachspeisung aus Trinkwassernetzen

reflex 'servitec'

Hinweis:
reflex bietet weitere Varianten der oben gezeigten Produkte für die optimale Anpassung an alle Anwendungsfälle und Systemgrößen!

6. Die Kapitel im Überblick

Fazit Kapitel 1

Sauerstoff ist ein höchstreaktives Gas und wird als Hauptverursacher von Korrosion im System weitestgehend verbraucht. Er kommt (fast) ausschließlich in gelöster Form vor. Sauerstoffkonzentrationen $> 0,1$ mg/l weisen auf ein erhöhtes Risiko für das Auftreten von Korrosionsschäden hin /3/.

Stickstoff ist als Inertgas meist für die Bildung von Zweiphasenströmungen Gas/Wasser verantwortlich. Er reichert sich permanent im System an und führt z. B. zu den bekannten Zirkulationsstörungen. Stickstoffwerte ≤ 15 mg/l sind i. allg. unproblematisch und bereits bei atmosphärischer Entgasung erreichbar.

Fazit Kapitel 2

Der Druckhaltung kommt eine zentrale Rolle in der Gasproblematik zu. Sie muss zur Atmosphäre geschlossen sein, um vor allem die Sauerstoffaufnahme zu verhindern, und sie muss Unterdruck und Kavitation sicher vermeiden. Viele Membrandruckausdehnungsgefäße, vor allem in Kleinanlagen, sind gas- und wasserseitig falsch eingestellt und werden nicht entsprechend DIN 4807 T 2 /6/ gewartet. Hier besteht nach wie vor Aufklärungs- und Handlungsbedarf.

Das Eindringen und die Bildung von Gasen ist auch bei geschlossenen Anlagen nahezu unvermeidlich (Füllen, Nachspeisen, Diffusion, chemische Reaktionen).

Gase müssen aus geschlossenen Systemen gezielt über geeignete Geräte, vorzugsweise zentral, abgeführt werden, um Zirkulationsstörungen, Erosion und Korrosion zu vermeiden. Die Entgasung muss eine Einbahnstraße sein: Gas raus, aber keine Luft rein!

19

Fazit Kapitel 3

Mechanische Luftableiter können nur bei Einbau an Hochpunkten effektiv arbeiten.

Atmosphärische Entgaser können freie Gasblasen im Zirkulationswasser verhindern. Sie eignen sich bestens als zentrale Entlüftungseinrichtung, nicht aber zur gezielten Sauerstoffausscheidung. Erosion durch Zweiphasenströmung kann weitestgehend vermieden werden.

Vakuumentgaser können den Gesamtgasgehalt fast gegen Null fahren. Sie bekämpfen sowohl Korrosion (reaktive Gase), als auch Erosion (Inertgase). Hohe Abscheidegrade erzielt man mit dynamischen Vakuumentgasern.

Das HENRY'sche Gesetz beschreibt nicht den tatsächlichen Gasgehalt, sondern den max. möglichen Gasgehalt in der Lösung.

Fazit Kapitel 4/5

Die Funktion von Reflex Entgasungssystemen wurde in vielen Messreihen von der Technischen Universität Dresden in Heizungs-, Fernwärme- und Kühlkreisläufen nachgewiesen.

Durch die zentrale Entlüftungs- und Entgasungsfunktion erübrigt sich der Einbau von dezentralen, mechanischen Luftabscheidern. Das aufwändige Nachentlüften an unzähligen Entlüftungsstellen entfällt.

Lassen Anlagengröße, Investitionskosten oder andere Gründe den Einsatz eines Entgasungssystems nicht zu, so ist der Einbau eines mechanisch arbeitenden Mikroblasen- oder Luftabscheiders am Systemhochpunkt das Mittel der Wahl.



Entgasungssysteme



Wärmeübertragungssysteme



Der schnellste Draht zu Reflex

Sie möchten gern mehr erfahren über die Technik der Reflex-Markenprodukte? Im Internet finden Sie neben den aktuellsten Prospekten alle Bedienungsanleitungen und unser Berechnungsprogramm für Druckhaltestationen und Wärmeübertrager. Natürlich können Sie auch diesen Bogen ausgefüllt an uns zurück faxen, wir senden Ihnen gern die gewünschten Informationen zu.

FAX an: +49 2382 7069 -588

Druckhaltesysteme

- 'reflex' – MAG für Heiz- und Kühlwasser
- reflex 'variomat' – pumpengesteuerte Druckhaltestation bis 8 MW
- 'refix' – MAG für Trinkwasser
- reflex 'gigamat' – pumpengesteuerte Druckhaltestation über 8 MW
- reflex 'minimat' – kompressorgesteuerte Druckhaltestation bis 2 MW
- reflex 'reflexomat' – kompressorgesteuerte Druckhaltestation bis 24 MW

Entgasungs- und Nachspeisesysteme

- reflex 'servitec' – Vakuum-Sprührohrentgasung
- reflex 'fillsoft' – Enthärtungsarmatur
- reflex 'control' – Nachspeisestationen
- Entgasung von Heiz- und Kühlsystemen

Wärmeübertragungssysteme

- reflex 'longtherm' – gelötete Plattenwärmeübertrager
- reflex 'Pufferspeicher'

reflex Zubehör

- reflex 'ex-Abscheider'
- reflex 'Elektronikmodule'
- reflex 'Zubehör' für Behälter und Armaturen

Allgemeines

- Preisliste

Firma:

Ansprechpartner:

Telefon:

Telefax:

Email:

- Branche: Planer Heizungsbauer Großhandel OEM/Industrie Bauamt
 Betreiber Baugesellschaft Generalunternehmer Fertighausbau andere

Firmenstempel



Reflex Winkelmann GmbH

Gersteinstraße 19
59227 Ahlen

Telefon: +49 2382 7069 -0
Telefax: +49 2382 70 69 -588
www.reflex.de