

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Vermeidung von Schäden in Warmwasser-
Heizungsanlagen
Heizwasserseitige Korrosion
Prevention of damage in water heating installations
Water-side corrosion

VDI 2035

Blatt 2 / Part 2

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary note.....	2
Einleitung.....	3	Introduction.....	3
1 Anwendungsbereich	3	1 Scope	3
2 Normative Verweise	4	2 Normative references	4
3 Begriffe	5	3 Terms and definitions	5
4 Grundsätze	5	4 Basic principles	5
5 Relative Korrosionsarten und Korrosionsschäden	5	5 Relevant forms of corrosion and corrosion damage	5
5.1 Korrosionsarten.....	5	5.1 Forms of corrosion.....	5
5.2 Korrosionsschäden.....	6	5.2 Corrosion damage.....	6
6 Korrosionsursachen und Einflussfaktoren	6	6 Causes of corrosion and influencing factors	6
6.1 Allgemeines	6	6.1 General comments	6
6.2 Sauerstoff.....	7	6.2 Oxygen	7
6.3 pH-Wert	9	6.3 pH value	9
6.4 Elektrische Leitfähigkeit.....	9	6.4 Electrical conductivity	9
6.5 Summe Erdalkalien.....	9	6.5 Sum of alkaline earths	9
7 Korrosionsschäden	10	7 Corrosion damage.....	10
7.1 Allgemeines	10	7.1 General comments	10
7.2 Unlegierte und niedrig legierte Eisenwerkstoffe	10	7.2 Unalloyed and low-alloyed ferrous materials	10
7.3 Kupfer und Kupferlegierung.....	11	7.3 Copper and copper alloys	11
7.4 Aluminium und Aluminiumlegierung.....	12	7.4 Aluminium and aluminium alloys	12
7.5 Nichtrostender Stahl	13	7.5 Stainless steel.....	13
7.6 Kunststoff und sonstige Bauteile	13	7.6 Plastics and other components.....	13
7.7 Überzüge und Beschichtungen	14	7.7 Coatings.....	14
7.8 Mischinstallationen.....	15	7.8 Mixed installations	15
7.9 Sonstige Einflüsse.....	16	7.9 Other factors	16

VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik
Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung

VDI-Handbuch Technische Gebäudeausrüstung, Band 3: Sanitärtechnik
VDI-Handbuch Technische Gebäudeausrüstung, Band 4: Wärme-/Heiztechnik

8 Korrosionsschutz	17
8.1 Wasserbeschaffenheit	17
8.2 Sachgerechte Planung	19
8.3 Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung	19
8.4 Wasserbehandlung	22
Anhang A Arten und Auslegung der Druckhaltung	25
Anhang B Löslichkeitsgrenzen nach Henry	30
Anhang C Anlagenbuch	31
Anhang D Anlagenbuch – Beispiel	39
Schrifttum	43

8 Corrosion protection	17
8.1 Water quality	17
8.2 Sachgerechte Planung	19
8.3 Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung	19
8.4 Wasserbehandlung	22
Annex A Types and design of pressure control	25
Annex B Solubility limits according to Henry	30
Annex C System logbook	35
Annex D System logbook – example	41
Bibliography	43

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi-richtlinien.de), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

Die Überarbeitung der Richtlinie VDI 2035 Blatt 2 vom September 1998 folgt der aktuellen Entwicklung der Heiztechnik, insbesondere dem Einsatz neuer Werkstoffe, sowie dem gewachsenen Kenntnisstand über Schadensursachen und deren Vermeidung. Der zentralen Bedeutung der Druckhaltung folgend wird diese gesondert in der Richtlinie VDI 4708 Blatt 1 behandelt.

Die Aufteilung der Richtlinie VDI 2035 in drei Blätter bleibt erhalten:

Blatt 1 Steinbildung

Blatt 2 Wasserseitige Korrosion

Blatt 3 Abgasseitige Korrosion

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist abrufbar im Internet unter www.vdi.de/2035.

Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this guideline without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI notices (www.vdi-richtlinien.de).

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this guideline.

Introduction

The revision of guideline VDI 2035 Part 2 published in September 1998 seeks to reflect current developments in heating technology, especially the use of new materials, as also a more advanced state of knowledge of the causes of damage and their prevention. Since pressure control is of such central importance, it is dealt with separately in guideline VDI 4708 Part 1.

The division of guideline VDI 2035 into three parts is retained:

Part 1 Scale formation

Part 2 Water-side corrosion

Part 3 Corrosion by fuel gases

A catalogue of all available parts of this guideline can be accessed on the internet at www.vdi.de/2035.

1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie VDI 2035 Blatt 2 gilt für Warmwasser-Heizungsanlagen nach EN 12828 innerhalb eines Gebäudes, wenn die Vorlauftemperatur bestimmungsgemäß 100 °C nicht überschreitet.

Außerdem gilt diese Richtlinie für Anlagen des Wärmecontractings, bei denen Gebäudekomplexe versorgt werden, wenn sichergestellt wird, dass während der Lebensdauer der Anlage das Ergänzungswasservolumen höchstens das Zweifache des Füllwasservolumens beträgt. Andernfalls ist, wie für Industrie- und Fernwärmeheizanlagen, das Arbeitsblatt AGFW FW 510 oder Merkblatt VdTÜV MB TECH 1466 zu berücksichtigen.

Diese Richtlinie gibt Hinweise und formuliert in Einzelfällen Anforderungen zur Minderung der heizungswasserseitigen Korrosionswahrscheinlichkeit in Warmwasser-Heizungsanlagen.

2 Normative Verweise

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

DIN EN 12828:2003-06 Heizungssysteme in Gebäuden; Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen; Deutsche Fassung EN 12828:2003

DIN EN 14868:2005-11 Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe; Leitfaden für die Ermittlung der Korrosionswahrscheinlichkeit in geschlossenen Wasser-Zirkulationssystemen; Deutsche Fassung EN 14868:2005

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die folgenden Begriffe:

Alkalisierung

Anhebung des pH-Werts.

Anlagendruck (p_{Anl})

Am Einbindepunkt der Druckhaltung gemessener Überdruck.

Äußere Leckage

Von außen erkennbarer Austritt von Wasser.

Aufbereitetes Heizwasser

Enthärtetes oder entsalztes Wasser, dem keine Chemikalien zugesetzt wurden.

Aufsalzung

Erhöhung der Salzkonzentration des →Heizwassers, die als Zunahme der Leitfähigkeit gemessen werden kann.

1 Scope

Guideline VDI 2035 Part 2 applies to water heating installations according to EN 12828 within a building when the flow temperature under correction operation is not intended to exceed 100 °C.

The guideline also applies to heat contracting in which building complexes are supplied with heat, provided it is ensured that over the service life of the installation the volume of the make-up water will not exceed double the volume of the initial filling water. If this is not the case then reference should be made to worksheet AGFW FW 510 or data sheet VdTÜV MB TECH 1466, as with industrial and district heat heating systems.

The present guideline provides information and in individual cases formulates requirements regarding reduction of the probability of water-side corrosion in water heating installations.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this guideline:

DIN EN 12828:2003-06 Heating systems in buildings; Design of water-based heating systems; German version EN 12828:2003

DIN EN 14868:2005-11 Protection of metallic materials against corrosion; Guidance on the assessment of corrosion likelihood in closed water circulation systems; German version EN 14868:2005

3 Terms and definitions

For the purposes of the guideline, the following terms and definitions apply:

Alkalinization

An increase in the pH value.

System pressure (p_{sys})

The overpressure measured at the pressure control system interface point.

External leakage

Escape of Terminology water which is detectable from the outside.

Conditioned heating water

Softened or demineralized water to which no chemicals have been added.

Mineralization

An increase in the salt concentration in the →heating water which can be measured as an increase in its conductivity.

Absalzung

Teilaustausch von →Heizwasser durch salzärmeres Wasser.

Behandeltes Heizwasser

Wasser oder aufbereitetes →Heizwasser, dem Chemikalien zugesetzt wurden.

Heizwasser

Gesamtes, als Wärmeträger dienendes Wasser einer Warmwasser-Heizungsanlage.

Innere Leckage

Von außen nicht erkennbarer Übertritt von Wasser in einen anderen Flüssigkeitskreislauf (z. B. in Wärmeübertragern).

Korrosionserscheinung

Durch Korrosion verursachte Veränderung in einem beliebigen Teil eines Korrosionssystems.

Korrosionsversagen

→Korrosionsschaden, gekennzeichnet durch den vollständigen Verlust der Funktionsfähigkeit eines Bauteils oder des Systems.

Korrosionsschaden

→Korrosionserscheinung, die eine Beeinträchtigung der Funktion des Werkstoffs, der Umgebung oder des technischen Systems, von dem dieser einen Teil bildet, verursacht.

Korrosionstechnisch geschlossene Warmwasser-Heizungsanlage

Anlage, bei der während des Betriebs praktisch kein Zutritt von Sauerstoff möglich ist.

Mikrobiell beeinflusste Korrosion (MIC)

Korrosion, die durch mikrobielle Vorgänge in dem Korrosionssystem gefördert wird.

Wärmecontracting

Zeitlich und räumlich abgegrenzte Übertragung der Wärmeenergiebereitstellung und Wärmeenergielieferung auf einen Dritten (Contractor), der im eigenen Namen und auf eigene Rechnung handelt. Der Contractor errichtet oder übernimmt und betreibt Wärmeerzeugungsanlagen gegebenenfalls unter Einbeziehung von Wärmeverteilungsnetzen zur Wärmeenergielieferung auf Basis von Langzeitverträgen.

4 Grundsätze

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Korrosionsschäden in Warmwasser-Heizungsanlagen ist gering, wenn

- eine fachgerechte Planung und Inbetriebnahme erfolgt,
- die Anlage korrosionstechnisch geschlossen ist,

Demineralization

Replacing part of the →heating water with water with a lower salt content.

Treated heating water

Water or conditioned →heating water to which chemicals have been added.

Heating water

The totality of water, functioning as a heat carrier, in a water heating installation.

Internal leakage

The externally non-detectable passage of water into a different liquid circuit (in heat exchangers, for example).

Corrosion manifestation

Change in any part of a corrosion system caused by corrosion.

Corrosion failure

→Corrosion damage, characterized by complete loss of function in a component or in the system.

Corrosion damage

A →corrosion manifestation which causes impairment in the function of the material, environment or technical system of which the material is a part.

Corrosion-sealed water heating installation

An installation into which it is practically impossible for oxygen to penetrate while it is in operation.

Microbially influenced corrosion (MIC)

Corrosion which is assisted by microbial processes in the corrosion system.

Heat contracting

Temporally and spatially limited transfer of the provision and supply of heat energy to a third party (contractor) acting in his own name and on his own account. The contractor installs or takes over and operates heat-generating facilities, which may, if necessary, include heat distribution networks for supplying heat energy, doing so on the basis of long-term contracts.

4 Basic principles

The probability of corrosion damage occurring in water heating installations is low when

- planning and commissioning are implemented correctly,
- the system is sealed as far as corrosion is concerned,

- eine fachgerecht ausgelegte und betriebene Druckhaltung integriert ist,
- die Richtwerte für das Heizwasser nach Abschnitt 8.1 eingehalten werden und
- eine regelmäßige Wartung und Instandhaltung durchgeführt wird.

Alle relevanten Planungsdaten und Betriebsparameter sowie die Wasserbeschaffenheit sind in einem Anlagenbuch zu dokumentieren (z. B. nach Anhang C).

5 Relevante Korrosionsarten und Korrosionsschäden

5.1 Korrosionsarten

Bei der wasserseitigen Korrosion in Warmwasser-Heizungsanlagen können verschiedene Korrosionsarten auftreten und gegebenenfalls zu Korrosionsschäden führen. Folgende Korrosionsarten können auftreten:

- gleichmäßige Flächenkorrosion
- Lochkorrosion
- Bimetallkorrosion
- Spaltkorrosion
- Korrosion unter Ablagerungen
- Wasserlinienkorrosion
- selektive Korrosion
- Erosionskorrosion
- Kavitationskorrosion
- Spannungsrisskorrosion
- mikrobiell beeinflusste Korrosion (MIC)

Diese Korrosionsarten sind in ISO 8044 definiert. Weitere Informationen finden sich in der Richtlinie VDI 3822 Blatt 3.

In Abhängigkeit von den gewählten Werkstoffen und den Betriebsbedingungen bestehen Unterschiede in der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einzelner Korrosionsarten sowie deren Ursachen und Auswirkungen (siehe EN 14868).

5.2 Korrosionsschäden

Korrosion kann zu verschiedenen Korrosionsschäden führen:

- Funktionsstörungen und Versagen von Bauteilen (z. B. Pumpen, Ventile)
- innere und äußere Leckagen (z. B. von Wärmeübertragern)
- Querschnittsverminderung und Verstopfung von Bauteilen (z. B. Wärmeübertrager, Rohrleitungen, Pumpen)

- a correctly designed and operated pressure control system has been integrated,
- the guide values for heating water given in Section 8.1 are complied with, and
- routine and corrective maintenance is carried out regularly.

All relevant planning data and operating parameters as also the water quality should be documented in a system logbook (as shown in Annex C, for example).

5 Relevant forms of corrosion and corrosion damage

5.1 Forms of corrosion

In the case of water-side corrosion in water heating installations, various forms of corrosion may occur and in certain cases result in corrosion damage. The following forms of corrosion may occur:

- uniform surface corrosion
- pitting corrosion
- bimetallic corrosion
- crevice corrosion
- corrosion beneath deposits
- water-line corrosion
- selective corrosion
- erosion corrosion
- cavitation corrosion
- stress-corrosion cracking (SCC)
- microbially influenced corrosion (MIC)

Definitions of these forms of corrosion may be found in ISO 8044. For more information, see guideline VDI 3822 Part 3.

Depending on the materials selected and the operating conditions there will be differences in the probability of individual forms of corrosion occurring as well as in their causes and effects (see EN 14868).

5.2 Corrosion damage

Corrosion can lead to different types of corrosion damage:

- functional impairments and failure of components (such as pumps or valves)
- internal and external leaks (from heat exchangers, for instance)
- cross-sectional reductions and clogging of components (for example, heat exchangers, pipes, pumps)

- Gasblasen- und Gaspolsterbildung
- Beeinträchtigung des Wärmeübergangs (Bildung von Belägen, Ablagerungen)
- Geräusche (z. B. Siedegeräusche, Fließgeräusche)

6 Korrosionsursachen und Einflussfaktoren

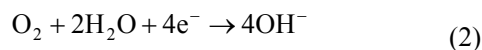
6.1 Allgemeines

Für die Korrosion hat die Zusammensetzung des Wassers eine entscheidende Bedeutung. Durch eine geeignete Wasserbeschaffenheit und eine bestimmungsgemäße Betriebsweise lässt sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Korrosionsschäden vermindern.

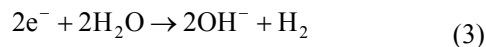
Korrosionsreaktionen setzen sich stets aus zwei Teilreaktionen zusammen, die gleichzeitig ablaufen. Bei der anodischen Teilreaktion entstehen durch die Auflösung des Metalls Metallionen und Elektronen.



Die bei der Metallauflösung frei werdenden Elektronen werden bei der kathodischen Teilreaktion verbraucht. Dies geschieht entweder durch die Umsetzung (Reduktion) von Sauerstoff



oder durch die Reaktion des Wassers gemäß Gleichung (3)



Wenn Anode und Kathode statistisch gleichmäßig auf der Werkstoffoberfläche verteilt sind, erfolgt der Angriff flächenförmig (Flächenkorrosion). Häufiger stabilisieren sich dagegen Anode und Kathode an unterschiedlichen Orten, sodass örtliche Korrosion (lokale Korrosion) mit Loch- und Muldenfraß stattfindet.

Eine ausführliche Darstellung der werkstoffspezifischen Korrosionsreaktionen ist im Anhang A der EN 14868 enthalten.

6.2 Sauerstoff

Korrosionsreaktionen in Warmwasser-Heizungsanlagen werden wesentlich durch die Anwesenheit von Sauerstoff im Heizwasser bestimmt. In sauerstoffarmem Heizwasser ist daher die Wahrscheinlichkeit für Korrosionsschäden an metallischen Werkstoffen gering. Es ist darauf zu achten, dass die Sauerstoffkonzentration in allen Teilen einer

- formation of gas bubbles and gas cushions
- impairment of heat transmission (formation of coatings, deposits)
- noise (for example, boiling noise, flow noise)

6 Causes of corrosion and influencing factors

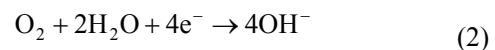
6.1 General comments

The composition of the water is of decisive importance to corrosion. The likelihood of corrosion damage occurring can be reduced by a suitable water quality and proper operation of the installation.

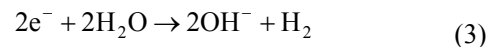
Corrosion reactions always consist of two partial reactions running concurrently. In the case of the anodic partial reaction, dissolution of the metal produces metal ions and electrons.



The electrons liberated during metal dissolution are consumed in the cathodic partial reaction. This happens either by the conversion (reduction) of oxygen



or by the water reaction shown in Equation (3)



When anode and cathode are distributed statistically evenly over the surface of the material, generalized corrosive attack occurs (uniform corrosion). What is more frequently the case, however, is for anode and cathode to stabilize in different locations with the result that local corrosion with deep or shallow pitting occurs.

A detailed treatment of material-specific corrosion reactions may be found in Annex A of EN 14868.

6.2 Oxygen

Corrosion reactions in water heating installation are essentially determined by the presence of oxygen in the heating water. For this reason the probability of corrosion damage to metallic materials is low when the heating water contains little oxygen. Care should be taken that oxygen concentrations in all parts of a water heating installation are kept as

Warmwasser-Heizungsanlage so niedrig wie möglich ist. Ein ständiger Sauerstoffeintrag ist zu vermeiden.

Sauerstoff kann einerseits als natürlicher Bestandteil der Umgebungsluft und andererseits als gelöstes Gas mit dem Füll- und Ergänzungswasser in den Heizwasser-Kreislauf gelangen. Einflussfaktoren sind:

- teilweise Unterdruckbildung im System
- Einschluss von Luft bei Füll- und Nachfüllvorgängen
- Nachfüllvorgängen
- Eintrag von Sauerstoff über den direkten Kontakt des Wassers mit der Luft
- Diffusion über permeable Bauteile (z. B. Dichtungen, Kunststoffrohre, Membrane, Schläuche)
- Sauerstoffgehalt des Füll- und Ergänzungswassers

Hauptursachen für die Unterdruckbildung in Warmwasser-Heizungsanlagen sind falsche Dimensionierung, fehlerhafte Installation sowie mangelhafte Wartung und Kontrolle von Druckhaltungen. Anhang A enthält die für die Vermeidung von Korrosionsschäden relevanten Vorgaben zu den einzelnen Arten der Druckhaltung. Durch Fehler in der Druckhaltung kommt es bei Unterdruckbildung zum Eintritt von Luft in die Heizungsanlage (z. B. bei jeder Nachtabsenkung – „Atmen“). Dies kann beispielsweise an Dichtungsstellen und automatischen Entlüftern erfolgen.

Der in der Luft enthaltene Sauerstoff kann zwar durch wasserseitige Korrosion rasch verbraucht werden, jedoch sind die bei wiederholter Unterdruckbildung eintretenden Mengen so groß, dass Korrosionsschäden nahezu unvermeidlich sind. Der Stickstoff wird als Inertgas im System chemisch nicht gebunden und meist nur unvollständig im Wasser gelöst, da die Löslichkeitsgrenze überschritten wird (siehe auch Tabelle B2 in Anhang B). Er verbleibt oft als freies Gas in Form von Gasblasen oder Gaspolstern im System und kann Schäden (z. B. Unterbrechung der Zirkulation, Erosion) verursachen.

Der Einschluss von Luftpolstern und Luftblasen bei Füll- und Nachfüllvorgängen (z. B. durch zu hohe Füllgeschwindigkeiten) muss minimiert werden. Die Anlage ist bei Erstinbetriebnahme und nach Reparaturen vollständig zu entlüften, da es sonst zu den vorstehend beschriebenen Wirkungen kommt.

low as possible. A constant input of oxygen should be avoided.

Oxygen can get into the heating water circuit on the one hand as a natural constituent of the ambient air and on the other hand as a dissolved gas in the filling and make-up water. Influencing factors are:

- partial formation of underpressure in the system
- entrapment of air during filling and topping-up procedures
- topping-up procedures
- entry of oxygen by direct contact of the water with the air
- diffusion via permeable components (such as seals, plastic pipes, diaphragms, hoses)
- oxygen content of the filling and make-up water

The main causes of underpressure arising in water heating installations are incorrect dimensioning, faulty installation and unsatisfactory maintenance and monitoring of pressure control equipment. In Annex A will be found requirements relevant to the prevention of corrosion damage for different methods of pressure control. Negative pressure arising from faults in pressure control will result in air getting into the heating system (for example, the “breathing” occurring with each night setback). This can take place at, for example, sealing points and automatic air eliminators.

Although the oxygen contained in the air can be rapidly consumed by water-side corrosion, the quantities which get in when negative pressure repeatedly arises are so great that corrosion damage will be virtually unavoidable. As an inert gas the nitrogen does not combine chemically in the system and in most cases dissolves only partially in the water since the solubility limit is exceeded (see also Table B2 in Annex B). It often remains in the system as a free gas in the form of gas bubbles or gas cushions and can be the cause of damage (for example, interruption of circulation, erosion).

The entrapment of air cushions or air bubbles during filling or topping up (by filling too fast, for example) must be minimized. At commissioning and following repairs, air should be completely eliminated from the system as otherwise the effects mentioned above will occur.

Bauteile, in denen das Heizwasser in direkten Kontakt mit Luft treten kann (z. B. offene oder intermittierend offene Ausgleichsbehälter von Druckhaltungs- und Entgasungsbehältern, Leckstellen), sind Quellen des Sauerstoffeintrags durch Diffusion und damit ebenfalls Ursache für Korrosionsvorgänge.

Anmerkung: Das Ausmaß der Diffusion von Sauerstoff aus der Umgebungsluft in das Heizwasser wird von der Differenz zwischen dem Partialdruck des Sauerstoffs in der Umgebungsluft ($p_{O_2} = 0,2096 \cdot p_{\text{Luft}}$) und dem Molanteil des bereits im Wasser gelösten Sauerstoffs bestimmt. Die obere Grenze für die maximale Löslichkeit des Sauerstoffs im Wasser bei p_{O_2} und der Temperatur t ist nach dem Henry'schen Gesetz (siehe Anhang B, Tabelle B1) gegeben. Da der Molanteil des gelösten Sauerstoffs im Wasser nicht zuletzt durch die kathodische Teilreaktion und die Bindung des Sauerstoffs in den Korrosionsprodukten gegen null tendiert, liegt grundsätzlich eine ausreichende Potenzialdifferenz für die Diffusion von Sauerstoff vor.

Gasdiffusion findet auch durch gasdurchlässige Kunststoffe (z. B. Kunststoffrohre, Dichtungselemente, Membranen in Ausdehnungs- und Vorratsgefäßen) statt. Die Höhe des Sauerstoffeintrags ist von der Gasdurchlässigkeit (Permeabilität) abhängig, die durch Permeationskoeffizienten beschrieben wird. Der Sauerstoffeintrag wird maßgeblich von der Art des Kunststoffmaterials, der Temperatur, der Dicke des Kunststoffs, dem Verhältnis von Kunststoffoberfläche zum eingeschlossenen Wasservolumen und der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers beeinflusst. Bei Einsatz von Kunststoffen muss daher sichergestellt werden, dass im normalen Betrieb der Sauerstoff-Richtwert nach Abschnitt 8.1 nicht überschritten wird.

Der Eintrag von Sauerstoff mit dem Füll- und Ergänzungswasser kann kaum unterbunden werden. Im Trinkwasser aus Netzen der Wasserversorgungsunternehmen (WVU) sind normalerweise ca. 8 mg bis 11 mg Sauerstoff je Liter Wasser gelöst. Diese vergleichsweise geringen Mengen werden im Allgemeinen innerhalb kürzester Zeit über Korrosion abgebaut, ohne dass daraus ein Korrosionsschaden entsteht. Die Füll- und Ergänzungswassermenge soll während der Lebensdauer der Anlage das Dreifache des Wasserinhalts der Anlage nicht überschreiten. Wird diese Menge deutlich überschritten, ist die Wahrscheinlichkeit von Korrosionsschäden erhöht.

Bei Einsatz von automatischen Nachspeiseanlagen ist darauf zu achten, dass diese über ausreichende Überwachungsmechanismen verfügen und unzulässig hohe Nachspeisemengen nicht zulassen. Generell ist bei hohen Nachspeisemengen die Ursache für den Wasserverlust zu ermitteln und zu beseitigen.

Components in which the heating water can come into direct contact with air (such as open or intermittently open balance tanks of pressure control and degassing tanks, leaks) are sources of oxygen entry by diffusion and thus also the causes of corrosion processes.

Note: The extent of diffusion of oxygen from the ambient air into the heating water is determined by the difference between the partial pressure of the oxygen in the ambient air ($p_{O_2} = 0,2096 \cdot p_{\text{air}}$) and the molar concentration of the oxygen already dissolved in the water. The upper limit for the maximum solubility of the oxygen in the water at p_{O_2} and temperature t is expressed by Henry's Law (see Annex B, Table B1). Since the molar concentration of the dissolved oxygen in the water tends towards zero, not least due to the cathodic partial reaction and the bonding of the oxygen into corrosion products, there is basically sufficient potential difference for the diffusion of oxygen.

Gas diffusion also occurs through gas-permeable plastics (such as plastic pipes, seal elements, diaphragms in expansion and storage tanks). The level of oxygen entry is a function of the gas permeability, which is described by permeation coefficients. Oxygen entry is decisively influenced by the nature of the plastic material, its temperature, the thickness of the plastic, the ratio of plastic surface to the enclosed water volume, and the current velocity of the water. When plastics are used, it will therefore be necessary to ensure that under normal operation the guide value for oxygen given in Section 8.1 is not exceeded.

It is hardly possible to prevent oxygen getting in with the filling and make-up water. Drinking water from water supply company systems normally contains approx. 8 mg to 11 mg of dissolved oxygen per litre of water. These comparatively low quantities are generally removed by corrosion processes within a very short period of time but without corrosion damage ensuing. During the lifetime of the installation, the quantity of filling or make-up water should not be more than three times the water contained in the installation. If this figure is exceeded to any considerable extent, there will be increased likelihood of corrosion damage.

If automatic topping-up systems are used, care should be taken that they are provided with adequate monitoring mechanisms and do not allow impermissibly high topping-up quantities. In general, if topping-up quantities are high, efforts should be made to identify the reason for water loss and correct this

6.3 pH-Wert

Trinkwasser kann meist ohne weitere Behandlungsmaßnahmen als Füll- und Ergänzungswasser verwendet werden. Unter den tatsächlichen Betriebsbedingungen kann sich durch die sogenannte Eigenalkalisierung eine Erhöhung des pH-Werts ergeben.

Für die Beständigkeit der Werkstoffe Stahl und Kupfer in Heizungsanlagen ist ein pH-Wert im alkalischen Bereich günstig. Für Aluminium und Aluminiumlegierungen gelten besondere Bedingungen (Abschnitt 7.4).

6.4 Elektrische Leitfähigkeit

Die Korrosionswahrscheinlichkeit nimmt in der Regel mit sinkender elektrischer Leitfähigkeit des Heizwassers ab.

Zu beachten ist, dass die Leitfähigkeit nicht allein durch das Füllwasser bestimmt wird. Zusätze zum Heizwasser (z. B. Sauerstoffbindemittel nach Abschnitt 8.4.5, Korrosionsinhibitoren nach Abschnitt 8.4.3) führen zur Erhöhung der Leitfähigkeit, jedoch nicht zwangsläufig zu einer Erhöhung der Korrosionswahrscheinlichkeit. Die Richtwerte für das Heizwasser nach Tabelle 1 (siehe Abschnitt 8.1) sind einzuhalten.

6.5 Summe Erdalkalien

Die Summe Erdalkalien (Gesamthärte des Wassers) beeinflusst vorzugsweise die Steinbildung. Es sind die Anforderungen nach VDI 2035 Blatt 1 zu beachten.

7 Korrosionsschäden

7.1 Allgemeines

Die wichtigste Anforderung zur Vermeidung von Korrosionsschäden ist das sauerstoffarme Heizwasser (siehe Abschnitt 6.2). Erfahrungsgemäß treten in korrosionstechnisch geschlossenen Anlagen, die mit unbehandeltem Heizwasser betrieben werden, keine Korrosionsschäden auf.

Um Korrosionsschäden zu vermeiden, muss man die möglichen Wechselwirkungen zwischen Wasserparametern und eingesetzten Werkstoffen kennen und bei Planung, Bau und Betrieb der Warmwasser-Heizungsanlage berücksichtigen. Dabei werden Ort und Art der Korrosionsschäden von der Anlagenart und -ausführung, den Betriebsbedingungen sowie den Werkstoffen und Konstruktionsmerkmalen beeinflusst.

Neben dem Bauteilversagen können Korrosionsprodukte Schäden im System verursachen. Durch mit dem Heizwasser transportierte Korrosionsprodukte (z. B. Rostschlamm) sind Fließgeräusche

6.3 pH value

In most cases drinking water can be used as filling or make-up water without the need for any further treatment. Under actual operating conditions a rise in the pH value may occur due to so-called self-alkalinization.

A pH value in the alkaline range is advantageous as regards the durability of steel and copper as materials in heating installations. Special conditions apply to aluminium and aluminium alloys (Section 7.4).

6.4 Electrical conductivity

As a rule the likelihood of corrosion decreases with a fall in the electrical conductivity of the heating water.

It should, however, be noted that conductivity is not determined solely by the filling water. Additives in the heating water (such as oxygen scavenging agents as described in Section 8.4.5, corrosion inhibitors as described in Section 8.4.3) result in an increase in conductivity but not necessarily to an increased likelihood of corrosion. The guide values for heating water given in Table 1 (see Section 8.1) must be complied with.

6.5 Sum of alkaline earths

The sum of alkaline earths (total hardness of the water) has a special influence on scale formation. The requirements indicated in VDI 2035 Part 1 must be observed.

7 Corrosion damage

7.1 General comments

The most important requirement in the prevention of corrosion damage is heating water with a low oxygen content (see Section 6.2). Experience shows that no corrosion damage occurs in installations which are sealed as far as corrosion is concerned and operated with untreated heating water.

Prevention of corrosion damage calls for a knowledge of the possible interactions between water parameters and the materials used and to take them into consideration in the planning, construction and operation of the water heating installation. Here the location and form of corrosion damage is influenced by the installation type and design, its operating conditions and also its materials and design characteristics.

Corrosion products can cause not only failure of components but also damage to the system. Due to corrosion products (such as rust sludge) transported in the heating water, flow noise and clog-

und Verstopfungen von Anlagenteilen (z. B. Wärmemengenzähler, Thermostatventile, Wärmeübertrager, Pumpen) möglich. Außerdem können sie sich auf unmittelbar beheizten Wärmeübertragungsflächen ablagern und Siedegeräusche hervorrufen sowie die Wärmeübertragung beeinträchtigen. Dies gilt auch für Korrosionsprodukte, die Ablagerungen von Calciumcarbonat (Steinbeläge) enthalten (siehe VDI 2035 Blatt 1).

7.2 Unlegierte und niedrig legierte Eisenwerkstoffe

Unlegierte und niedrig legierte Eisenwerkstoffe werden z. B. für Wärmeerzeuger, Heizkörper, Heizungsrohre und Ausdehnungsgefäße verwendet.

Das Korrosionsverhalten der Eisenwerkstoffe wird hauptsächlich durch den Sauerstoffgehalt des Heizwassers bestimmt. Korrosionsschäden treten praktisch nur in sauerstoffhaltigem Heizwasser auf.

In Anlagen ohne permanenten Sauerstoffeintrag kann sich bei höheren Wandtemperaturen ($> 100\text{ °C}$) aus vorhandenem Eisen(III)-hydroxid eine schwarze Schutzschicht aus Fe_3O_4 (Magnetit) bilden. Bei ständigem oder zeitweisem Sauerstoffeintrag in die Anlage bilden sich rotbraune Eisenkorrosionsprodukte (Rost). Sind diese im Heizwasser enthalten, so deutet das auf aktive Korrosionsvorgänge hin. Wenn solche Vorgänge über längere Zeit anhalten, sind Korrosionsschäden (z. B. Lochkorrosion, schwarze Magnetit-Schlammablagerung) zu erwarten.

Das typische Schadensbild der Korrosion durch Sauerstoff sind muldenförmige, örtliche Korrosionsstellen, die mit Korrosionsprodukten (Pusteln) abgedeckt sind und zu Wanddurchbrüchen führen können. Örtlicher Korrosionsangriff wird z. B. im Bereich von Ablagerungen, Spalten, Schweißnähten oder Luftblasen begünstigt.

Anmerkung: Die Wahrscheinlichkeit für Schäden durch Ablagerungen, die Magnetit Fe_3O_4 , Calciumcarbonat CaCO_3 und Eisen(II)-carbonat FeCO_3 enthalten können, ist gering, wenn die Richtwerte für das Heizwasser (Tabelle 1 in Abschnitt 8.1) und die Richtwerte/Empfehlungen der VDI 2035 Blatt 1 eingehalten werden.

7.3 Kupfer und Kupferlegierungen

In sauerstoffarmen Wässern ist die Korrosionsgeschwindigkeit bei Kupfer und Kupferlegierungen vernachlässigbar klein, sodass in korrosionstechnisch geschlossenen Anlagen praktisch keine Korrosionsschäden auftreten.

Schäden durch Erosionskorrosion können an Kupferwerkstoffen auftreten, wenn bei ständigem Sauerstoffeintrag lokal erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten ($> 2\text{ m/s}$) vorliegen.

ging of parts of the installation (for example, hot water meters, thermostat valves, heat exchangers, pumps) are possible. In addition, they can form depositions on directly heated heat transfer surfaces and cause boiling noise as well as impair heat transfer. This also applies to corrosion products which contain deposits of calcium carbonate (scale; see VDI 2035 Part 1).

7.2 Unalloyed and low-alloyed ferrous materials

Unalloyed and low-alloyed ferrous materials are used, for example, for heat generators, radiators, heating conduits and expansion tanks.

The corrosion behaviour of the ferrous materials is determined primarily by the oxygen content of the heating water. Corrosion damage occurs to all intents and purposes only in heating water which contains oxygen.

In installations where there is no permanent input of oxygen, at higher wall temperatures ($> 100\text{ °C}$) a black protective layer of Fe_3O_4 (magnetite) may form from the iron(III)-hydroxide present. In the case of constant or intermittent oxygen transfer into the installation, reddish-brown iron corrosion products form (rust). The presence of these in the heating water is an indication that corrosion processes are active. If processes of this kind continue over a relatively long period, corrosion damage is to be expected (for example, pitting corrosion, deposition of black magnetite sludge).

Typical oxygen corrosion damage takes the form of trough-shaped areas of local corrosion covered by corrosion products (blisters) and can lead to walls being penetrated. Local corrosive attack is favoured, for example, in the region of deposits, crevices, weld seams or air bubbles.

Note: The probability of damage due to deposits which can contain magnetite Fe_3O_4 , calcium carbonate CaCO_3 and iron(II)-carbonate FeCO_3 will be low if the guide values for heating water (Table 1 in Section 8.1) and the guide values/recommendations given in VDI 2035 Part 1 are complied with.

7.3 Copper and copper alloys

In water with a low oxygen content the corrosion rate is negligibly low in the case of copper and copper alloys. This means that virtually no corrosion damage occurs in installations which are sealed as far as corrosion is concerned.

Damage due to erosion corrosion may occur in copper materials when locally increased current velocities ($> 2\text{ m/s}$) occur in conjunction with a constant oxygen transfer.

Die als Entzinkung bezeichnete selektive Korrosion von Kupfer-Zink-Legierungen (Messing, z. B. CuZn39Pb2, CuZn40Pb2) findet überwiegend in sauerstoffhaltigen Wässern statt. In den entzinkten Bereichen nimmt die Festigkeit des Materials erheblich ab. Bei mechanischer Belastung kann das Bauteil zerstört werden. Selektive Korrosion wird auch bei Rotguss (z. B. CuSn5Zn5Pb5, CuSn5Zn5Pb2) in sauerstoffhaltigen Wässern beobachtet. Beständig gegen selektive Korrosion sind z. B. die Werkstoffe CuZn36Pb2As und CuZn28Sn1As.

Durch Reduktion von Nitrat können andere Stickstoffverbindungen (z. B. Ammoniak NH_3 , Ammonium NH_4^+) entstehen. In Verbindung mit Zugspannungen können derartige Stickstoffverbindungen an Bauteilen aus Kupferlegierungen Spannungsrissskorrosion auslösen.

Anmerkung: Als Hinweis auf die Bildung derartiger Stickstoffverbindungen kann der Vergleich von Nitratgehalt im Füll- und Ergänzungswasser mit dem im Heizwasser dienen. Ist der Nitratgehalt im Heizwasser deutlich niedriger, und gleichzeitig ein entsprechender Ammonium- bzw. Ammoniakgehalt nachweisbar, so ist die Korrosionswahrscheinlichkeit erhöht.

In Bereichen, in denen der pH-Wert deutlich erniedrigt ist, z. B. in Spalten und unter Biofilmen, findet auch bei Abwesenheit von Sauerstoff ein selektiver Angriff des Zinks von Kupferlegierungen statt. Bei Vorliegen von Spannungen kann es zu Schäden durch Rissbildung (Spannungsrissskorrosion) kommen.

In Anlagen mit Eintrag von Sauerstoff werden bei Anwesenheit von Schwefelwasserstoff H_2S vereinzelt Schäden beobachtet, die darauf zurück zu führen sind, dass vorhandene Kupferoxiddeckschichten Cu_2O in Kupfersulfidschichten Cu_2S umgewandelt werden. Diese Kupfersulfidschichten wirken nicht korrosionsschützend.

Schwefelwasserstoff kann in sauerstofffreiem Heizwasser als Folge der Tätigkeit von sulfatreduzierenden Bakterien, z. B. unter Schlammablagerungen entstehen. Die Sulfatreduktion ist auch noch bei Temperaturen von 60 °C möglich. Dabei dienen die im Füll- und Ergänzungswasser enthaltenen Sulfat-Ionen als Sulfat-Quelle. Die gebildeten H_2S -Mengen sind normalerweise unkritisch.

Insbesondere wird Schwefelwasserstoff dann gebildet, wenn ständig Natriumsulfit (Na_2SO_3) als Sauerstoffbindemittel dosiert wird. Hierdurch wird die Wahrscheinlichkeit von Korrosionsschäden durch Kupfersulfidbildung erhöht.

The selective corrosion of copper-zinc alloys (brass, for example, CuZn39Pb2, CuZn40Pb2) referred to as dezincification occurs predominantly in water containing oxygen. There is a considerable drop in the strength of the material in dezincified areas. Should there be mechanical loading, this can destroy the component. Selective corrosion is also observed with red-brass alloys (for example, CuSn5Zn5Pb5, CuSn5Zn5Pb2) in water containing oxygen. The materials CuZn36Pb2As and CuZn28Sn1As, for example, are resistant to selective corrosion.

By the reduction of nitrate other nitrogen compounds (such as ammonia NH_3 , ammonium NH_4^+) can be formed. In conjunction with tensile stresses, nitrogen compounds of this kind can trigger stress-corrosion cracking in components made of copper alloy.

Note: An indication of the formation of this kind of nitrogen compounds may be obtained by comparing the nitrate content of the filling or make-up water with that of the heating water. If the nitrate content of the heating water is considerably lower while at the same time a corresponding ammonium or ammonia content is detectable, there will be a greater probability of corrosion.

In areas where the pH value is markedly lower – for example, in crevices and beneath biofilms – selective attack on the zinc in copper alloys will occur even in the absence of oxygen. If stresses are present, damage may occur by cracking (stress-corrosion cracking).

In installations with oxygen input, occasional cases of damage are observed when hydrogen sulphide H_2S is present. This damage is due to the existing top films of copper oxide Cu_2O being converted into copper sulphide films Cu_2S . These copper sulphide films do not offer any protection against corrosion.

Hydrogen sulphide can be produced in oxygen-free heating water as a consequence of the activity of sulphate-reducing bacteria, for example, beneath sludge deposits. Sulphate reduction is also still possible at temperatures of 60 °C. Here the sulphate ions in the filling and make-up water serve as a sulphate source. The quantities of H_2S produced are not normally critical.

In particular, hydrogen sulphide will be formed when sodium sulphite (Na_2SO_3) is constantly dispensed as an oxygen scavenging agent. This increases the likelihood of corrosion damage due to the formation of copper sulphide.

7.4 Aluminium und Aluminiumlegierungen

Aluminium und Aluminiumlegierungen werden z. B. aufgrund der guten Wärmeleitfähigkeit und der geringen Dichte für Heizkörper und im Wärmeerzeugerbereich verwendet.

Das Korrosionsverhalten der Aluminiumwerkstoffe wird hauptsächlich durch den pH-Wert des Heizwassers bestimmt. Aluminium bildet in Wasser Aluminiumoxidschichten, die im für Warmwasser-Heizungsanlagen relevanten pH-Wert-Bereich von 6,5 bis 8,5 stabile Deckschichten darstellen. Sowohl saures als auch alkalisches Heizwasser kann die Deckschicht auflösen. Kommt es zur Auflösung oder Zerstörung der Schutzschichten, kann die Flächenkorrosion von Aluminium ungehindert fortschreiten. Gleichzeitig treten Korrosionserscheinungen bzw. -schäden in der Warmwasser-Heizungsanlage durch die ablaufende Wasserstoffbildung auf. Korrosionsschäden können deshalb sowohl in sauerstoffhaltigem als auch sauerstofffreiem Heizwasser vorkommen. Bei Verwendung von Aluminiumwerkstoffen in Anlagen mit unbehandeltem Füll- und Ergänzungswasser ist bei Einhaltung des genannten pH-Wert-Bereichs keine Beeinträchtigung zu erwarten.

Bei pH-Werten > 8,5 kommt es selbst bei völliger Abwesenheit von Sauerstoff unter Wasserstoffentwicklung zur Aluminatbildung $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$. Da das Aluminat löslich ist, entstehen keine Deckschichten. Infolge des erhöhten pH-Werts des Heizwassers verläuft die Korrosion des Aluminiums ungehemmt weiter.

Anmerkung: In Wässern, die Natrium- und Hydrogencarbonationen enthalten können bei sehr hohen Wandtemperaturen und gleichzeitigem Ausgasen von CO_2 pH-Werte > 8,5 entstehen.

Im Gegensatz zu unlegiertem Aluminium können von ausgewählten Aluminiumlegierungen entsprechend den Herstellervorschriften pH-Werte über 8,5 toleriert werden (z. B. AlSi10Mg , pH-Wert $\leq 9,0$).

Anmerkung: Gelangt Sauerstoff in das Heizwasser, kann Aluminiumhydroxid gebildet werden, das dann als Schlamm ausfällt.

7.5 Nichtrostender Stahl

An Bauteilen aus nichtrostenden Stählen nach EN 10088 treten in korrosionstechnisch geschlossenen Warmwasser-Heizungsanlagen keine wasserseitigen Korrosionsschäden auf.

Eine Ausnahme bilden nicht fachgerecht ausgeführte Dichtungsbereiche, wenn dort in sehr geringen Mengen Wasser austritt, welches verdunstet, ohne dass dies als Leckage erkannt wird. Als Folge der Verdunstung reichern sich am äußeren Dich-

7.4 Aluminium and aluminium alloys

Due their good thermal conductivity and low density, aluminium and aluminium alloys are used for radiators and in heat generation.

The corrosion behaviour of aluminium materials is determined primarily by the pH value of the heating water. In water aluminium forms aluminium oxide films which in the pH value range of 6,5 to 8,5 relevant to water heating installations represent stable top layers. The top layer can be broken up by either acidic or alkaline heating water. Should the protective layers be broken up or destroyed, uniform corrosion of aluminium can proceed unimpeded. At the same time, corrosive effects or damage occur in the water heating installation due to the formation of hydrogen which is taking place. For this reason corrosion damage can be found not only with heating water containing oxygen but also with oxygen-free heating water. When aluminium materials are used in installations with untreated filling and make-up water no impairment is to be expected provided there is compliance with the pH value range mentioned.

Even in the complete absence of oxygen, when hydrogen is being liberated there will be formation of aluminate $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ at pH values higher than 8,5. Since the aluminate is soluble, no coatings form. As a result of the higher pH value of the heating water, corrosion of the aluminium continues without restriction.

Note: In water which contains sodium or hydrogen carbonate ions, at very high wall temperatures and the simultaneous outgassing of CO_2 pH values in excess of 8,5 may arise.

In contrast to unalloyed aluminium, selected aluminium alloys can, according to manufacturer's specifications, tolerate pH values above 8,5 (for example, AlSi10Mg , pH value $\leq 9,0$).

Note: Should oxygen get into the heating water, aluminium hydroxide may form, which is then deposited as sludge.

7.5 Stainless steel

In water heating installations which are sealed as far as corrosion is concerned no water-side corrosion damage occurs in components made of the stainless steels covered in EN 10088.

One exception to this is when sealing has not been carried out properly and very small quantities of water escape, evaporating and the leak is thus not detected. The consequence of evaporation is that water constituents accumulate at the outside edge

tungsrand Wasserinhaltsstoffe an. Die Aufkonzentrierung von Chlorid-Ionen kann zu Lochkorrosion an der Außenoberfläche führen. Bei gleichzeitigem Vorliegen von hohen Zugspannungen kann Spannungsrisskorrosion auftreten (Rissverlauf von außen nach innen).

In Anlagen, bei denen ständig Sauerstoff in das Heizwasser gelangt, können insbesondere bei molybdänfreien nichtrostenden Stählen (z. B. 1.4301, 1.4306, 1.4541) Schäden durch Lochkorrosion, Spaltkorrosion und Spannungsrisskorrosion auftreten. Beständig sind auch bei höheren Chloridgehalten (Herstellerangaben) in diesen Systemen molybdänhaltige nichtrostende Stähle (z. B. 1.4401, 1.4404, 1.4571) und austenitisch-ferritische Duplexstähle (z. B. 1.4362, 1.4462).

7.6 Kunststoffe und sonstige Bauteile

7.6.1 Kunststoffe

In Heizungsanlagen ist der Zutritt von Sauerstoff aus der umgebenden Luft über Bauteile aus Kunststoffen (z. B. Fußbodenheizung, Zuleitungen zu Radiatoren) zu begrenzen. Wird unmittelbar am Austritt des Kunststoffbauteils der Richtwert für den Sauerstoffgehalt im zirkulierenden Heizwasser nach Abschnitt 8.1 eingehalten, so ist die Korrosionswahrscheinlichkeit für die in Fließrichtung nachfolgenden Bauteile gering.

Anmerkung: Die Sauerstoffdurchlässigkeit wird in unterschiedlichen Einheiten angegeben (z. B. $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$ – Gramm Sauerstoff je Quadratmeter mittlerer Rohroberfläche und je Tag, $\text{g}/(\text{m}^3\text{d})$ Gramm Sauerstoff je Kubikmeter Wasserinhalt und je Tag). Messbar ist jedoch nur die Sauerstoffkonzentration im Wasser in mg/ℓ .

Erfahrungsgemäß ist bei Kunststoffen, deren Sauerstoffdurchlässigkeit bei maximal zulässiger Temperatur $\leq 0,10 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ beträgt, keine Beeinträchtigung zu erwarten (z. B. bestimmt für zulässige Temperaturen bis 40°C nach DIN 4726:2000 bzw. für zulässige Temperaturen bis 80°C nach AGFW 420).

Es sind die vom Hersteller vorgegebenen Einsatzgrenzen und Installationsvorschriften zu beachten. Bei Überschreitung der zulässigen Temperaturgrenzen kann es zu erhöhtem Sauerstoffeintrag, zu erhöhten Wasserverlusten oder zum Versagen der Bauteile kommen.

Als Folge der Diffusion von Wasserdampf durch Kunststoffbauteile in die Umgebung kann es zu Wasserverlusten kommen, die zur Vermeidung von Unterdruck entsprechend zu ergänzen sind.

Aus Kunststoffbauteilen können Substanzen an das Heizwasser abgegeben werden, die die Biofilmbildung begünstigen.

of the seal. The concentration of chloride ions can lead to pitting corrosion in the external surface. If high tensile stresses are also present at the same time, stress-corrosion cracking may occur (the cracks running from the outside to the inside).

In installations in which oxygen is constantly getting into the heating water, damage from pitting corrosion, crevice corrosion and stress-corrosion cracking can occur, especially with molybdenum-free stainless steels (for example, 1.4301, 1.4306, 1.4541). Stainless steels containing molybdenum (for example, 1.4401, 1.4404, 1.4571) and austenitic-ferritic compound steels (for example, 1.4362, 1.4462) are resistant even when there are relatively high amounts of chloride (manufacturer's information) in these systems.

7.6 Plastics and other components

7.6.1 Plastics

In heating installations, the entry of oxygen from the ambient air via components made of plastic (for example, underfloor heating, supply lines to radiators) should be restricted. If the guide value for oxygen content in the circulating heating water given in Section 8.1 is complied with directly at the outlet of the plastic component, the likelihood of corrosion in downstream components is low.

Note: Oxygen permeability is given in different units (for example, $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$ – grams of oxygen per square metre of average pipe surface and per day; $\text{g}/(\text{m}^3\text{d})$ grams of oxygen per cubic metre of water content and per day). However, only the concentration of oxygen in water can be measured in mg/ℓ .

Experience shows that no impairment should be expected with plastics whose oxygen permeability at the maximum permissible temperature is $0,10 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ (for example, definitely for permissible temperatures up to 40°C according to DIN 4726:2000 or for permissible temperatures up to 80°C according to AGFW 420).

The service limits and installation requirements indicated by the manufacturer should be observed. If permissible temperature limits are crossed, this may result in increased input of oxygen, increased losses of water or failure of the components.

As a consequence of the diffusion of water vapour from plastic components into the environment, loss of water may occur. This must be compensated for to prevent underpressure.

Substances which favour biofilm formation may be released into the heating water from plastic components.

7.6.2 Dichtungen

Bei der Auswahl und Montage von Dichtungen sind die Angaben der Hersteller zu berücksichtigen. Der Eintrag von Sauerstoff über den Dichtungsbereich ist dann wegen des kleinen Flächenanteils vernachlässigbar. Entscheidend für die wasserseitige Korrosion ist der Transport von Wasser im Dichtungsbereich.

Die Bildung von Salzkrusten im Dichtbereich von

- Flachdichtungen,
- Gewindedichtungen mit Hanf,
- Stopfbuchsichtungen von Pumpen und Armaturen,
- Gleitringdichtungen und
- Hand- und Mannlochdichtungen

weist auf eine unsachgemäße Ausführung oder Korrosionsvorgänge hin.

Bei nicht sachgerechter Ausführung bzw. Montage von Dichtungen gelangt Wasser im Dichtbereich nach außen. Der Wassertransport geschieht langsam, sodass das nach außen gelangende Wasser verdunstet. Dies führt zu einer Anreicherung von Wasserinhaltsstoffen am äußeren Dichtungsrand. Im weiteren Verlauf kann es zu Korrosionsvorgängen und Schäden im Dichtbereich kommen.

Anmerkung: An dynamisch belasteten O-Ringen (z. B. Ventilschindeln) wird bei jedem Hub ein Heizwasser-Film nach außen getragen. Dies kann zur Bildung von Salzkrusten außerhalb der Dichtung führen.

7.7 Überzüge und Beschichtungen

Zum Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe sind Überzüge (z. B. Zink) und Beschichtungen (z. B. Epoxidharz, Emaillierung) nicht erforderlich. Da bei Versagen der Überzüge oder Beschichtungen abgelöste Bestandteile zu Störungen an anderen Anlagenteilen führen können, ist ihr Einsatz nicht empfehlenswert.

Anmerkung: Aufgrund der Temperaturen in Warmwasser-Heizungsanlagen dürfen wasserseitig feuerverzinkte Bauteile wegen der Blasenbildung im Bereich des Zinküberzugs und der möglichen Folge von Abplatzungen nicht zum Einsatz kommen. Fittings und Verbindungsstücke, die aus Korrosionsschutzgründen außen galvanisch verzinkt sind und bei denen technisch unvermeidbar ein gewisser Zinkeintrag auf die Innenoberflächen erfolgt, dürfen zur Verbindung von innen nicht beschichteten Rohren aus unlegiertem Stahl eingesetzt werden.

7.8 Mischinstallationen

Unter Mischinstallation versteht man die Verwendung unterschiedlicher metallischer Werkstoffe sowie deren Kombination mit Kunststoffen.

In korrosionstechnisch geschlossenen Anlagen ist eine Mischinstallation aus unlegiertem und niedrig legiertem Stahl, nichtrostendem Stahl sowie Kup-

7.6.2 Seals

The manufacturer's specifications should be noted when selecting and installing seals. The entry of oxygen via the sealing area will then be negligible due to the relatively small surface area involved. What is of decisive importance in water-side corrosion is the transportation of water in the sealing area.

The formation of salt crusts in the sealing area of

- flat gaskets,
- threaded seals with hemp,
- stuffing box seals of pumps and fittings,
- face seals, and
- inspection port and manhole seals

point to incorrect design or fitting or to corrosion processes.

If seals are not fitted properly or poorly selected, water in the sealing area will escape to the outside. Water transportation is slow, which means that the water which has escaped evaporates. This leads to water constituents accumulating at the outside edge of the seal. This in turn may result in corrosion processes taking place in the sealing area and consequential damage.

Note: In the case of dynamically loaded o-rings (for example, valve spindles) a film of heating water is carried to the outside with every stroke. This can lead to salt crusts forming outside the seal.

7.7 Coatings

There is no need for coatings (such as zinc or epoxy resin, enamelling) as corrosion protection for metallic materials. Since pieces which have detached when the coating fails can result in malfunctions in other parts of the system, the use of coatings is not recommended.

Note: Due to the temperatures prevailing in water heating installations, hot-galvanized components should not be used on the water side on account of blistering in the area of the zinc coating and the possible consequence of flaking. Fittings and connectors whose exterior has been hot-galvanized to protect them against corrosion and with which a certain amount of zinc entry onto the interior surfaces is unavoidable for technical reasons should be used for connecting internally uncoated pipes made of unalloyed steel.

7.8 Mixed installations

By mixed installations is meant the use of different metallic materials as well as combinations of these and plastics.

In installations which are sealed as far as corrosion is concerned a mixed installation consisting of unalloyed and low-alloyed steel, stainless steel and

fer und Kupferlegierungen im Allgemeinen unkritisch. Dies gilt auch für Aluminium und Aluminiumlegierungen, soweit die Vorgaben nach Abschnitt 7.4 berücksichtigt werden.

In korrosionstechnisch nicht geschlossenen Anlagen kann bei direktem Kontakt verschiedener Metalle Kontaktkorrosion (Bimetallkorrosion) auftreten. Dabei wird das unedlere Metall anodisch aufgelöst, was örtlich zu Korrosionsschäden führen kann. Die Wahrscheinlichkeit für Kontaktkorrosionsschäden sinkt mit abnehmender elektrischer Leitfähigkeit des Heizwassers.

- An unlegierten und niedriglegierten Eisenwerkstoffen in Mischinstallationen mit Kupfer- und Kupferlegierungen kann Bimetallkorrosion auftreten. Die Korrosionswahrscheinlichkeit ist bei Mischinstallationen mit Kupfer-Zink-Legierungen (Messing) geringer als mit Kupfer-Zinn-Legierungen (Rotguss).
- Die Kombination von Bauteilen aus Aluminium mit Werkstoffen, wie nichtrostendem Stahl, Kupfer bzw. Kupferlegierungen führt in sauerstoffhaltigen Wässern zu Schäden durch Bimetallkorrosion.

Bei Mischinstallationen aus metallischen Werkstoffen und Kunststoffen ist der Sauerstoffeintrag durch Diffusion von besonderer Bedeutung. Tendenziell nimmt die Sauerstoffdiffusion mit steigender Temperatur überproportional zu. Daher sind bei Mischinstallationen mit Kunststoffen die Hinweise gemäß Abschnitt 7.6 zu beachten. Die Korrosionswahrscheinlichkeit steigt außerdem, wenn der Anteil der metallischen Werkstoffoberflächen gering ist im Vergleich zu dem der Kunststoffoberflächen.

Anmerkung: Druckhaltungen mit Ausdehnungsgefäßen mit Membran sind ein Beispiel für eine derartige Mischinstallation. Wird der Sauerstoffrichtwert nach Abschnitt 8.1 bei Druckhaltungen nach der Stelle der Einspeisung im zirkulierenden Heizwasser eingehalten, so ist die Korrosionswahrscheinlichkeit für die in Fließrichtung nachfolgenden Bauteile gering.

7.9 Sonstige Einflüsse

7.9.1 Gasblasen und Gaspolster

In vorschriftsmäßig geplanten, installierten und in Betrieb genommenen Anlagen treten keine Beeinträchtigungen durch Gasblasen und Gaspolster auf.

Gasblasen und Gaspolster können sich beispielsweise in Warmwasser-Heizungsanlagen bilden,

- die bei Erstinbetriebnahme und nach Füllvorgängen nicht bei maximaler Betriebstemperatur entlüftet wurden,

copper and copper alloys is generally non-critical. The same also applies to aluminium and aluminium alloys, provided the requirements of Section 7.4 are observed.

In installations which are not sealed as far as corrosion is concerned contact corrosion (bimetallic corrosion) can occur when there is direct contact between different metals. Here the baser metal is anodically dissolved, which can result in local corrosion damage. The probability of damage due to contact corrosion falls as the electrical conductivity of the heating water falls.

- Bimetallic corrosion can occur with unalloyed and low-alloyed ferrous materials in mixed installations with copper and copper alloys. The likelihood of corrosion in mixed installations with copper-zinc alloys (brass) is lower than is the case with copper-tin alloys (red brass).
- In water containing oxygen the combination of components made of aluminium with materials such as stainless steel, copper or copper alloys leads to damage due to bimetallic corrosion.

In the case of mixed installations consisting of metallic materials and plastics the entry of oxygen by diffusion is of particular importance. Oxygen diffusion tends to increase disproportionately with increasing temperature. For this reason when mixed installations contain plastics the information given in Section 7.6 should be complied with. The likelihood of corrosion will also be higher when the proportion of metallic material surfaces is low in comparison with the plastic surfaces.

Note: Pressure control systems with expansion tanks with a diaphragm are an example of a mixed installation of this kind. In the case of the pressure control systems, if the guide value for oxygen content in the circulating heating water given in Section 8.1 is complied with at the infeed point, the likelihood of corrosion in downstream components will be low.

7.9 Other factors

7.9.1 Gas bubbles and gas cushions

In installations which have been planned, installed and put into service as specified in the regulations, no impairments due to gas bubbles or gas cushions should occur.

Gas bubbles and gas cushions can, for example, form in water heating installations

- in which air was not eliminated at maximum operating temperature at commissioning or after filling operations,

- die eine unterdimensionierte oder defekte Druckhaltung besitzen,
- in denen durch Korrosionsvorgänge Gase entstehen (z. B. Wasserstoff, Methan), die nicht mehr vollständig im Wasser gelöst werden.

Gasblasen entstehen vorzugsweise an Orten des niedrigsten Drucks (z. B. Hochpunkt der Anlage, Saugseite der Umwälzpumpe bei Dachheizzentralen, Bauteile mit hohen Druckverlusten wie Wärmeübertrager) bzw. der höchsten Temperatur (Wärmeerzeuger). Sie werden bis zu Orten niedriger Strömungsgeschwindigkeit transportiert und bilden dort Gaspolster (z. B. im Heizkörper). Gaspolster können zur Unterbrechung des Heizwasserumlaufs führen.

Gasblasen und Gaspolster wirken durch ihre geringe Wärmeleitfähigkeit isolierend und behindern damit den Wärmeübergang. Daraus können u. a. resultieren:

- lokale Überhitzungen und Siedegeräusche im Wärmeerzeuger
- verminderte Leistung von Heizflächen

Ein hoher Gasblasenanteil führt zu Geräuschentwicklung und kann zur Ablösung von Korrosionsschutzschichten und Belägen führen. Bei lokal hohen Strömungsgeschwindigkeiten kann es auch zu Erosionserscheinungen am Werkstoff selbst kommen.

7.9.2 Biofilme und mikrobiell beeinflusste Korrosion (MIC)

Mikroorganismen (z. B. Bakterien, Algen, Pilze) kommen infolge ihrer ausgezeichneten Anpassungsfähigkeit in allen wasserführenden Systemen vor. Die Mikroorganismen leben nicht einzeln, sondern bilden einen Biofilm, der aus lebenden und abgestorbenen Mikroorganismen sowie deren Abbau- und Stoffwechselprodukten besteht. Diese sind als Film miteinander verbunden und haften an der Oberfläche (Grenzschicht). Grundsätzlich kann sich auf jedem Material ein Biofilm bilden, der Dicken bis 50 µm erreichen kann.

Biofilme können in Heizungsanlagen die Effizienz von Wärmeübertragungsvorgängen (extrem niedrige Wärmeleitfähigkeit der Biofilme) und außerdem die Korrosion der Werkstoffe beeinflussen. An der Grenze Biofilm und Werkstoff können sich korrosionsfördernde Bedingungen ausbilden. Dieser Effekt wird als „mikrobiell beeinflusste Korrosion“ (MIC) bezeichnet.

Mikrobiologische Aktivität kann zu Veränderungen der Wasserbeschaffenheit führen. Beispielfhaft seien Sulfat- und Nitratreduktion genannt. Die

- which have an underdimensioned or defective pressure control system,
- in which gases created by corrosion processes (for example, hydrogen, methane) will no longer fully dissolve in the water.

Gas bubbles arise preferentially at locations with the lowest pressure (for example, the highest point of the installation, the suction end of the circulating pump in the case of rooftop central heating stations, components with high pressure losses such as heat exchangers) or with the highest temperature (heat generators). They are transported to locations with a low current velocity where they form gas cushions (for example, in the radiator). Gas cushions can lead to interruption of the heating water circulation.

Due to their low thermal conductivity gas bubbles and gas cushions have an insulating effect and thus hinder heat transmission. This can among other things result in:

- local points of overheating and boiling noises in the heat generator
- reduced output from heating surfaces

A high proportion of gas bubbles will create noise and can lead to detachment of corrosion protection coatings and of deposits. Erosion in the material itself may even occur with locally high current velocities.

7.9.2 Biofilms and microbially influenced corrosion (MIC)

Due to their outstanding adaptability, microorganisms (such as bacteria, algae, fungi) are found in all water-carrying systems. The microorganisms do not live separated from each other but form a biofilm consisting of both living and dead microorganisms together with their decomposition and metabolic products. These are connected together in the form of a film and adhere to the surface (boundary layer). Basically a biofilm can form on any material and it may reach thicknesses of 50 µm.

In heating installations biofilms may affect the efficiency of heat transmission processes (the biofilms have extremely low thermal conductivity) and also corrosion of the materials. At the interface of bio-film and material, conditions may be created which encourage corrosion. This effect is known as “microbially influenced corrosion” (MIC).

Microbiological activity can result in changes in the water quality. Examples of this include sulphate and nitrate reduction. The metabolic prod-

Stoffwechselprodukte mikrobieller Vorgänge können zu einer Werkstoffschädigung führen.

Anmerkung: Bisher gibt es kein Testverfahren zur Bewertung der Neigung von Werkstoffen zur Bildung von Biofilmen in Heizungsanlagen. Die Ergebnisse der Prüfung nach DVGW W 270 sind nicht oder nur bedingt auf geschlossene Heizungsanlagen übertragbar.

8 Korrosionsschutz

8.1 Wasserbeschaffenheit

Als Füll- und Ergänzungswasser für Warmwasser-Heizungsanlagen kann in den meisten Fällen Trinkwasser verwendet werden. Zur Vermeidung von Steinbildung sind gegebenenfalls Maßnahmen nach VDI 2035 Blatt 1 erforderlich. Eine pH-Wert-Anhebung ist normalerweise nicht notwendig.

Die Wahrscheinlichkeit von Korrosionsschäden in der Warmwasser-Heizungsanlage ist bei Beachtung der Richtwerte für das Heizwasser nach Tabelle 1 minimiert.

Die Parameter Leitfähigkeit und pH-Wert können zentral gemessen werden.

Auf eine Alkalisierung des Füll- und Ergänzungswassers kann in der Regel verzichtet werden, da sich infolge Eigenalkalisierung der pH-Wert des Heizwassers innerhalb weniger Wochen Betriebszeit in dem genannten Bereich einstellt. Liegt der pH-Wert des Füllwassers deutlich unter 8,2, so wird eine Kontrolle des pH-Werts des Heizwassers nach acht bis zwölf Wochen, spätestens jedoch im Rahmen der nächsten jährlichen Wartung empfohlen. Nur dann, wenn der pH-Wert des Heizwassers bei der Kontrolle ebenfalls deutlich unter 8,2 liegt, ist unter Berücksichtigung der Tabelle 1 zu alkalisieren.

Tabelle 1. Richtwerte für das Heizwasser

		Salzarm	Salzhaltig
Elektrische Leitfähigkeit bei 25 °C	µS/cm	< 100	100–1500
Aussehen		frei von sedimentierenden Stoffen	
pH-Wert bei 25 °C		8,2–10,0 ^{*)}	
Sauerstoff	mg/l	< 0,1	< 0,02

^{*)} Bei Aluminium und Aluminium-Legierungen ist der pH-Wert-Bereich eingeschränkt, siehe auch Abschnitt 7.4.

Bei fachgerechter Planung, Installation und regelmäßiger Wartung und Instandhaltung ist davon auszugehen, dass sich der Sauerstoffgehalt im regulären Betrieb von korrosionstechnisch geschlossenen Anlagen auf Werte unter 0,02 mg/l

ucts of microbial processes may cause damage to materials.

Note: No test methods as yet exist for evaluating the tendency of materials to form biofilms in heating systems. The results of the testing specified in DVGW W 270 are not or are only conditionally applicable to sealed heating installations.

8 Corrosion protection

8.1 Water quality

In most cases drinking water can be used as filling and make-up water for water heating installations. To prevent scale formation measures may need to be taken as described in VDI 2035 Part 1. An increase in the pH value will not normally be necessary.

The probability of corrosion damage in the water heating installation will be minimized if the guide values for heating water shown in Table 1 are observed.

The parameters of conductivity and pH value can be measured centrally.

As a rule there is no need to alkalinize the filling and make-up water since due to self-alkalization the pH value of the heating water stabilizes within the range mentioned within a few weeks of operation. If the pH value of the filling water is considerably lower than 8,2, it is recommended that the pH value of the heating water be checked after eight to twelve weeks but no later than during the next annual maintenance. Only if inspection shows the pH value of the heating water still to be considerably lower than 8,2 should alkalinization be implemented, while taking Table 1 into consideration.

Table 1. Guide values for the heating water

		Low-saline	Saline
Electrical conductivity at 25 °C	µS/cm	< 100	100–1500
Appearance		free of sedimentating substances	
pH value at 25 °C		8,2–10,0 ^{*)}	
Oxygen	mg/l	< 0,1	< 0,02

^{*)} In the case of aluminium and aluminium alloys the pH value range is limited; see also Section 7.4.

With proper planning, installation and regular routine and corrective maintenance it may be assumed that the oxygen content during regular operation of installations which are sealed as far as corrosion is concerned will stabilize to values below 0,02 mg/l.

einstellt. Auf Nachweis bei Inbetriebnahme und im regulären Betrieb kann verzichtet werden, wenn die Leitfähigkeit des Füllwassers unter 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ liegt und keine Behandlung des Wassers erfolgt.

Der gemessene Sauerstoffwert ist nur für den Bereich der Messstelle repräsentativ. Eine zentrale Messung stellt nicht sicher, dass kein erhöhter Sauerstoffeintrag an einer anderen Stelle im System stattfindet. Messwerte, die oberhalb der Richtwerte aus Tabelle 1 liegen, bedeuten eine erhöhte Korrosionswahrscheinlichkeit. Niedrigere Messwerte erlauben jedoch nur eine Aussage für die direkte Umgebung der Messstelle. Zur Begutachtung ist eine Messstelle in Strömungsrichtung unmittelbar vor der Schadensstelle heranzuziehen.

Beispiel

Durch ungenügende Druckhaltung ist ein Lufteintrag über den/die Entlüfter im Dachgeschoss eines Hauses möglich. Obwohl an der zentralen Messstelle (z. B. vor Eintritt in den Wärmeerzeuger) ein Sauerstoffgehalt $< 0,02 \text{ mg}/\ell$ gemessen wird, findet Korrosion im Dachgeschossbereich statt.

8.2 Sachgerechte Planung

Heizungsanlagen sind als korrosionstechnisch geschlossene Anlagen auszulegen.

Die Planung der Anlage muss aus korrosionstechnischer Sicht beinhalten:

- die Beurteilung der Wasserqualität,
- die Auswahl der Art und die Dimensionierung der Druckhaltung sowie
- die Auswahl der Werkstoffe.

Durch die Planung muss sichergestellt werden, dass die Richtwerte im Heizwasser eingehalten werden (Abschnitt 8.1).

In Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Füllwassers sind Aufbereitungsmaßnahmen erforderlich (z. B. Enthärtung/Entsalzung nach VDI 2035 Blatt 1). Eine Wasserbehandlung durch Zugabe von Chemikalien soll auf Ausnahmen beschränkt sein (Abschnitt 8.4).

Wichtigste technische Maßnahme zur Vermeidung des Sauerstoffzutritts sind die Auswahl der Art der Druckhaltung, deren Dimensionierung und die Festlegung des Orts der hydraulischen Einbindung in die Heizungsanlage. Dazu ist Anhang A zu beachten.

Die Werkstoffauswahl hat Konstruktion und Betriebsweise der Anlage zu berücksichtigen.

Die Planungsdaten sind vom Planer der Anlage in einem Anlagenbuch (z. B. nach Anhang C) zu dokumentieren.

There is no need for documented evidence of conformity at commissioning and during regular operation if the conductivity of the filling water is below 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and there is no treatment of the water.

The measured value for oxygen is only representative of the range at the measurement point. Central measurement will not ensure that increased oxygen entry does not occur at another location in the system. Measured values higher than the guide values in Table 1 indicate an increased likelihood of corrosion. Lower measured values, however, are only significant for the direct environment of the measurement point. For assessment purposes, a measurement point immediately upstream of the point of damage should be selected.

Example

Due to inadequate pressure control, entry of air is possible via the air eliminator(s) on the top floor of a building. Although an oxygen content of less than 0,02 mg/ℓ is measured at the central measurement point (for example, before entry into the heat generator), corrosion is nevertheless occurring in the top floor area.

8.2 Proper planning

Heating installations should be designed as corrosion-sealed installations.

From the point of view of corrosion, planning of the installation must include:

- an evaluation of the water quality,
- selection of the type and dimensioning of the pressure control system, and also
- selection of the materials.

The planning must ensure that the guide values are complied with in the heating water (Section 8.1).

Depending on the quality of the filling water, conditioning measures may be necessary (such as softening or demineralization as specified in VDI 2035 Part 1). Treating the water by adding chemicals should be restricted to exceptional cases (Section 8.4).

The most important technical measure for stopping the ingress of oxygen is the type of pressure control system selected, its dimensioning and determining where it will be hydraulically connected into the heating installation. In this regard, see Annex A.

The selection of materials should take into account the design and operating mode of the installation.

The system planner should document the planning data in a system logbook (for example, as specified in Annex C).

8.3 Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung

8.3.1 Allgemeines

Die Bedingungen der Inbetriebnahme und des Betriebs von Warmwasser-Heizungsanlagen haben großen Einfluss auf das Auftreten von Korrosionsschäden. Grundsätzlich sind planmäßige Wartungen und gegebenenfalls Instandsetzungen wichtige betriebliche Korrosionsschutzmaßnahmen.

8.3.2 Inbetriebnahme

Die Anlage ist vor der Inbetriebnahme gründlich mit Füll- bzw. Ergänzungswasser zu spülen (siehe EN 14336). Als Ausgangswasser für das Füll- und Ergänzungswasser wird normalerweise Trinkwasser oder Wasser ähnlicher chemischer Zusammensetzung verwendet.

- Werden die Richtwerte für das Heizwasser nach Abschnitt 8.1 und die Richtwerte für das Füll- und Ergänzungswasser nach VDI 2035 Blatt 1 nicht eingehalten, so sind entsprechende Maßnahmen erforderlich.
- Die Entleerung einer Heizungsanlage nach einer Druckprobe mit Wasser ist zu vermeiden, da unvermeidlich Wasserreste in den Anlagenteilen verbleiben. Durch eintretenden Luft-sauerstoff sind die Voraussetzungen für den Ablauf von Korrosionsreaktionen gegeben. Im Bereich der Dreiphasengrenze Wasser/Werkstoff/Luft bilden sich kleinere lokale Angriffstellen (Wasserlinienkorrosion). Diese Vorschädigung kann im späteren Betrieb bei Sauerstoffzutritt weiter wachsen und zu Wanddurchbrüchen führen. Die gleichen Vorgänge können auch bei länger andauernder Außerbetriebnahme mit Entleerung einer Heizungsanlage oder Teilen derselben auftreten.
- Eine nur temporäre Verwendung von Wasser/Frostschutzmittelgemischen (z. B. in der Bauphase) und das anschließende Füllen mit Ergänzungswasser ohne Frostschutzmittel ist nicht zu empfehlen.
- Die fachgerechte Installation und Inbetriebnahme der Druckhaltung ist als Korrosionsschutzmaßnahme zwingend erforderlich (siehe auch VDI 4708 Blatt 1).
- Eine vollständige Entlüftung der Anlage bei maximaler Betriebstemperatur ist zur Vermeidung von Gaspolstern und Gasblasen unverzichtbar.
- Eine Betriebskontrolle bezüglich Funktionsstörungen, Leckagen und Geräuschen ist nach Inbetriebnahme der Anlage bei maximalen Betriebstemperatur durchzuführen.

8.3 Commissioning, operation and maintenance

8.3.1 General comments

The conditions under which the commissioning and operation of water heating installations take place have a major influence on the occurrence of corrosion damage. As a basic principle, scheduled maintenance and, when necessary, repair are important corrosion protection measures.

8.3.2 Commissioning

Before commissioning, the installation must be flushed thoroughly with filling or make-up water (see EN 14336). The starting water for the filling and make-up water will normally be drinking water or water of a similar chemical composition.

- If the guide values for the heating water indicated in Section 8.1 and the guide values for the filling and make-up water specified in VDI 2035 Part 1 are not complied with, appropriate measures will be need to be taken.
- Draining a heating installation following a pressure test using water should be avoided since residual water cannot be prevented from getting into the installation components. The entry of atmospheric oxygen creates the necessary conditions for corrosion reactions. Relatively small local points of attack (water-line corrosion) form in the vicinity of the three-phase boundary of water/material/air. This early damage can spread further during subsequent operation when oxygen enters and can result in wall breakthroughs. The same can also happen when a heating installation is out of service for a relatively long period and is drained either entirely or in part.
- An only temporary use of water/antifreeze mixtures (for example, during the construction phase) followed by filling with make-up water without antifreeze is not recommended.
- Proper installation and commissioning of the pressure control system is absolutely essential as a corrosion protection measure (see also VDI 4708 Part 1).
- A full venting of the installation at the maximum operating temperature is indispensable if gas cushions and gas bubbles are to be prevented.
- Once the installation has been put into service, operational monitoring with regard to malfunctions, leakage and noise should be carried out at the maximum operating temperature.

- Der Zusatz von Heizwasseradditiven (Chemikalien) ist als Korrosionsschutzmaßnahme in der Regel nur bei korrosionstechnisch offenen Warmwasser-Heizungsanlagen erforderlich. Die Angaben der Hersteller der Additive sind zu beachten. Additive können Biofilmbildung begünstigen.

Die Inbetriebnahmeparameter sind in einem Anlagenbuch (z. B. nach Anhang C) zu dokumentieren. Dieses Anlagenbuch ist dem Anlagenbetreiber nach Inbetriebnahme der Anlage vom Installateur oder Planer zu übergeben. Für die Führung des Anlagenbuchs ist ab diesem Zeitpunkt der Betreiber verantwortlich. Das Anlagenbuch ist Bestandteil der Anlage.

8.3.3 Betrieb, Wartung, Instandhaltung

Warmwasser-Heizungsanlagen sind mindestens einmal jährlich zu warten. Für die Wartung ist der Betreiber verantwortlich.

Die wichtigste betriebliche Wartungsmaßnahme ist die Kontrolle des Anlagendrucks, um insbesondere Unterdruckzustände mit Sauerstoffeintrag in das Heizwasser der Anlage zu vermeiden.

Die Unterschreitung des zulässigen Anlagendrucks während des Betriebs ist ein Zeichen für eine fehlerhafte Druckhaltung oder eine Leckage. Entsprechende Instandsetzungsmaßnahmen sind durchzuführen. Die unzulässige Druckunterschreitung führt zu Gaspolsterbildung im höchstgelegenen Anlagenbereich mit Zirkulationsstörungen des Heizwassers und Behinderung der Wärmeübertragung (z. B. kalte Heizkörper). Nach Beseitigung der Mängel der Druckhaltung bzw. der Leckage ist zu entlüften und Ergänzungswasser nachzufüllen.

Des Weiteren gilt:

- Bei allen Anlagen, bei denen eine Behandlung des Füll- und Ergänzungswassers bzw. des Heizwassers erfolgt, sind die Leitfähigkeit und der pH-Wert nach Herstellerangaben, mindestens jedoch einmal jährlich, zu messen und zu dokumentieren. Gleiches gilt für Anlagen mit mehr als 600 kW Nennwärmeleistung unabhängig von der Wasserbehandlung.
- Bei Überschreitung der Richtwerte für die Leitfähigkeit nach Tabelle 1 sind Maßnahmen zur Senkung der Leitfähigkeit vorzunehmen (z. B. „Abschlämmen“ des Heizwassers).
- Im Fall einer Wasserbehandlung sind vom Planer bzw. Hersteller Prüfparameter und die dazugehörigen Sollwertbereiche festzulegen und

- The addition of heating-water additives (chemicals) is usually only necessary with water heating installations which are open as far as corrosion is concerned. Attention should be paid to the additive manufacturer's information. Additives can favour biofilm formation.

The commissioning parameters should be documented in a system logbook (for example, as in Annex C). This system logbook should be handed over by the installing engineer or planner to the system operator once the installation has been put into service. From this point in time the operator will be responsible for maintaining the system logbook. The system logbook is a constituent part of the installation.

8.3.3 Operation, routine maintenance, corrective maintenance

Water heating installations should be maintained at least once per year. The operator is responsible for the maintenance.

The most important operational maintenance measure is checking the system pressure so as to prevent in particular underpressure states with entry of oxygen in the installation's heating water.

Falling below the permissible system pressure during operation is a sign of defective pressure maintenance or of leakage. The corresponding repair work should be carried out. Impermissible underpressure leads to the formation of gas cushions in the highest part of the installation, to heating water circulation problems and to interference with heat transfer (for example, cold radiators). Following successful correction of the pressure control deficiencies or of the leakage, the installation should be vented and topped-up with make-up water.

Furthermore, the following also applies:

In all installations in which the filling and make-up water or the heating water has been treated, the conductivity and the pH value as specified in the manufacturer information should be measured at least once a year and this documented. The same applies to installations with a rated heat output of more than 600 kW, irrespective of the water treatment.

- If the guide values for conductivity shown in Table 1 are exceeded, steps should be taken to lower the conductivity (for example, elutriation ("desludging") the heating water).
- In the case of water treatment the planner or manufacturer should define inspection parameters and the corresponding desired value ranges

zu dokumentieren. Die Häufigkeit der Prüfungen sowie die erforderlichen Maßnahmen bei Abweichungen vom Sollwertbereich sind ebenfalls vom Planer bzw. Hersteller vorzugeben. Dies ist zu dokumentieren.

- Bei Anlagen mit hohen Nachspeisemengen (z. B. bei über 10 % des Anlageninhalts pro Jahr) ist unverzüglich die Ursache zu suchen und der Mangel zu beseitigen. Zu beachten ist, dass bei ständig hoher Nachspeisung von Füll- und Ergänzungswasser auch für die Bauteile in Fließrichtung nach der Einspeisestelle eine erhöhte Korrosionswahrscheinlichkeit besteht.

Anmerkung: Die erhöhte Korrosionswahrscheinlichkeit ist nicht der Nachspeisung oder dem Bauteil mit integrierter Nachspeisefunktion zuzuschreiben sondern dem zu identifizierenden Anlagenmangel anzulasten.

- Bei Änderungen in der Betriebsweise und/oder Anlagenerweiterungen sind nach Abschnitt 8.2 die Anlagenplanung zu prüfen und gegebenenfalls Installation und/oder Einstellparameter anzupassen. Die anschließende Inbetriebnahme soll nach Abschnitt 8.3.2 erfolgen. Die Einhaltung der Richtwerte für pH-Wert und Leitfähigkeit ist zu prüfen.
- Bei MIC als nachgewiesener Korrosionserscheinung bzw. als Ursache eines Schadens können keine allgemeingültigen Maßnahmen empfohlen werden. In diesem Fall ist eine Fachfirma zurate zu ziehen.

Alle Wartungsmaßnahmen mit den Kontrollergebnissen und gegebenenfalls Instandsetzungs- oder Korrekturmaßnahmen sind im Anlagenbuch zu dokumentieren. Das Führen des Anlagenbuchs ist Bestandteil der Wartung und Instandhaltung.

8.4 Wasserbehandlung

8.4.1 Allgemeine Hinweise

Eine Wasserbehandlung durch Zugabe von Chemikalien soll auf Ausnahmen beschränkt sein. Eine Behandlung des Heizwassers zur Verminderung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Korrosionsschäden ist nur in Anlagen erforderlich, in denen die Richtwerte nach Tabelle 1 nicht eingehalten werden können.

Die Auswahl von Wasserbehandlungsmaßnahmen und Änderungen in der Wasserbehandlung erfordert Sachkunde. Alle Wasserbehandlungsmaßnahmen sind im Anlagenbuch zu begründen und zu dokumentieren.

and document this. They should also specify the frequency of inspections as well as the steps to be taken in the event of deviations from the desired value range. This should be documented.

- In the case of installations with high topping-up quantities (for example, more than 10 % of the system content per year), the cause should be investigated without delay and the fault corrected. It should be noted that with a constantly high level of topping up with filling or make-up water there will be an increased probability of corrosion even for components downstream of the feed point.

Note: The probability of corrosion is not increased due to topping up nor due to the component with an integrated topping-up function, but is rather to be ascribed to defects in the installation which need to be identified.

- If changes are made to the mode of operation and/or the installation is expanded, the installation planning should be checked as specified in Section 8.2 and where necessary the installation and/or setting parameters adapted accordingly. The installation should then be put into operation as specified in Section 8.3.2. A check should be made that the guide values for pH value and conductivity are complied with.
- When there is evidence of MIC as a corrosion manifestation or as cause of damage, no measures can be recommended which will apply to all cases. A specialist company should be consulted.

All maintenance measures together with the inspection results and, if applicable, any repair or corrective measures carried out should be documented in the system logbook. Keeping the system logbook forms a constituent part of routine and corrective maintenance.

8.4 Water treatment

8.4.1 General information

Treating the water by adding chemicals should be restricted to exceptional cases. Treating the heating water with a view to reducing the probability of corrosion damage occurring is only necessary in installations in which it is not possible to comply with the guide values shown in Table 1.

Selecting the water treatment measure to apply and making changes in water treatment calls for specialist knowledge. The reasons for all water treatment measures must be documented in the system logbook.

Es wird empfohlen, zusätzlich zur Dokumentation im Anlagenbuch jede Wasserbehandlung auch an der Anlage kenntlich zu machen.

Die Über- oder Unterdosierung von Chemikalien ist zu vermeiden, da die Korrosionswahrscheinlichkeit erhöht werden kann. Die Gefahr der Unterdosierung besteht z. B. auch dann, wenn Wasserbehandlungsmittel nur temporär verwendet werden und das anschließende Füllen mit unbehandeltem Ergänzungswasser erfolgt.

Bei Verwendung von Produktgemischen (z. B. gleichzeitig alkalisierend und deckschichtbildend) sind die Herstellerangaben zu beachten. Zur Vermeidung von Über- oder Unterdosierung sind die jährlichen Wartungszyklen einzuhalten und im Anlagenbuch zu dokumentieren.

Die Verwendung von mehreren gleichartig wirkenden Produkten (z. B. zwei oder mehrere Deckschichtbildner) ist aufgrund der nicht vorhersehbaren Wechselwirkungen oder der Gefahr der Über- oder Unterdosierung von einzelnen Bestandteilen nicht zu empfehlen.

Wird in Anlagen das Heizwasser gleichzeitig zum Erwärmen von Trinkwasser verwendet, sind die Anforderungen zum Schutz des Trinkwassers nach DIN 1988-4 oder EN 1717 zu beachten.

8.4.2 Alkalisierung

Eine Alkalisierung des Heizwassers ist nur in Sonderfällen notwendig (siehe Abschnitt 8.1). Hierbei ist zu beachten:

- Bei Überdosierung von Trinatriumphosphat besteht die Gefahr der Aufsalzung. Es entstehen Schlämme, die zu Funktionsstörungen führen können.
- Eine Alkalisierung mit Ammoniak oder ammoniakbildenden Verbindungen (z. B. Amine) ist wegen der Gefährdung von Kupfer oder Kupferlegierungen zu vermeiden. Darüber hinaus begünstigen diese Stickstoffverbindungen als Nährstoffe die Bildung von Biofilmen.

Anmerkung: Als Alkalisierung gilt auch die Verwendung von alkalisiertem Wasser als Füll- und Ergänzungswasser (z. B. aus vorgelagerten Fernwärmenetzen).

8.4.3 Korrosionsinhibitoren

Eine Inhibierung des Heizwassers ist nur bei ständigem, durch andere Maßnahmen nicht vermeidbarem Sauerstoffeintrag notwendig. Inhibitoren bilden Deckschichten oder Filme, die die Korrosion hemmen können. Bei Unterdosierung kann es zu örtlicher Korrosion (Lochfraß) kommen.

It is recommended that, in addition to documenting water treatment in the system logbook, a notice listing all water treatment measures taken be also posted up at the installation itself.

Overdosing or underdosing chemicals should be avoided since this may increase the likelihood of corrosion. There is even a risk of underdosing, for example, when water treatment agents are used only on a temporary basis and the system is then filled with untreated make-up water.

If mixtures of products are used (with, for example, simultaneous alkalization and film-forming inhibition) the manufacturer information should be complied with. To prevent overdosing or underdosing, annual maintenance cycles should be complied with and documented in the system logbook.

The use of several products acting at the same time (for example, two or more film-forming inhibitors) is not to be recommended on account of unpredictable interactions or the risk of overdosing or underdosing individual components.

If in an installation the heating water is also used for heating drinking water, the drinking water protection requirements of DIN 1988-4 or EN 1717 should be observed.

8.4.2 Alkalinization

Alkalinizing the heating water is only necessary in special cases (see Section 8.1). In this connection the following should be noted:

- Overdosing with trisodium phosphate brings with it the risk of mineralization. This creates sludges which can cause malfunctions.
- Alkalinization with ammonia or ammonifying compounds (such as amines) is to be avoided on account of the risk for copper or copper alloys. In addition, these nitrogen compounds as nutrients favour the formation of biofilms.

Note: Alkalinization also includes the use of alkalinized water as filling and make-up water (for example, from upstream district heating networks).

8.4.3 Corrosion inhibitors

The heating water only needs to be inhibited when there is a constant entry of oxygen which cannot be prevented by other methods. Inhibitors form covering layers or films which can inhibit corrosion. In the case of underdosing, local corrosion (pitting) can occur.

Bei Überdosierung von Inhibitoren kann es in der Anlage zu Störungen kommen:

- Versagen von Elastomerwerkstoffen (z. B. Membranen von Ausdehnungsgefäßen)
- Verstopfungen und Ablagerungen
- defekte Gleitringdichtungen an Pumpen
- Bildung von Biofilmen

8.4.4 Frostschutzmittel

Die Zugabe von Frostschutzmitteln fällt nicht unter den Geltungsbereich dieser Richtlinie. Dies gilt auch für Anlagen, in denen Frostschutzmittel temporär verwendet werden.

Anmerkung: Die Anwendung von Frostschutzmitteln soll auf Sonderfälle beschränkt bleiben (z. B. kombinierte Heiz- und Kühlsysteme, Anlagen mit Freiverlegung im Außenbereich, Kombination mit Solaranlagen). Die entsprechenden Herstellerangaben sind zu beachten.

8.4.5 Sauerstoffbindung

Eine Sauerstoffbindung im Heizwasser darf nur bei ständigem, durch andere Maßnahmen nicht vermeidbarem Sauerstoffeintrag erfolgen.

In Warmwasser-Heizungsanlagen erfolgt die chemische Sauerstoffbindung durch Einsatz reduzierend wirkender Chemikalien oder elektrochemischer Verfahren. Alle diese Verfahren können Beeinträchtigungen des Betriebs und Funktionsstörungen hervorrufen.

Chemische Verfahren

Die Sauerstoffbindegeschwindigkeit des eingesetzten Reduktionsmittels muss größer sein als die der metallischen Bauteile der Anlage.

- **Natriumsulfit** als Sauerstoffbindemittel führt zu einer Erhöhung der Leitfähigkeit (Absatzung gegebenenfalls Abschlammung erforderlich). Einer besonderen Korrosionsgefährdung unterliegen Kupferwerkstoffe durch die Bildung von Sulfidionen (siehe Abschnitt 7.3).
- **Hydrazin** darf aufgrund der gesundheitsschädigenden Wirkung nicht eingesetzt werden.
- Auf den **Einsatz organischer Sauerstoffbindemittel** soll verzichtet werden, da sie die Biofilmbildung begünstigen und meist erst bei Temperaturen oberhalb von 60 °C wirken.

Entsprechend den gesetzlichen Regelungen muss das behandelte Heizwasser vor Einleiten in das öffentliche Abwassersystem gegebenenfalls einer zusätzlichen Behandlung unterzogen werden. In bestimmten Fällen ist eine besondere Entsorgung erforderlich.

When inhibitors are overdosed, problems may occur in the installation:

- failure of elastomeric materials (such as the diaphragms of expansion tanks)
- clogging and deposits
- defective face seals at pumps
- formation of biofilms

8.4.4 Antifreeze agents

The addition of antifreeze agents does not fall within the scope of application of this guideline. This also applies to installations in which antifreeze agents are used on a temporary basis.

Note: The use of antifreeze agents should be restricted to special cases (for example, combined heating and cooling systems, installations with sections routed in the open air, combinations with solar energy systems). The corresponding manufacturer information should be observed.

8.4.5 Oxygen binding

Oxygen binding in the heating water should only be implemented when there is a constant entry of oxygen which cannot be prevented by other methods.

In water heating installations, chemical oxygen binding is effected by the use of reductive chemicals or electrochemical processes. All of these methods can cause impairment of operation and malfunctions.

Chemical processes

The speed of oxygen binding of the reducing agent used must be greater than that of the metallic components of the installation.

- **The use of sodium sulphite** as an oxygen scavenging agent leads to an increase in conductivity (demineralization and if applicable desludging may be necessary). Copper materials are at special risk of corrosion due to the formation of sulphide ions (see Section 7.3).
- **Hydrazine** is highly toxic and should not therefore be used.
- **Organic oxygen-scavenging agents** should not be used as they favour biofilm formation and in most cases only have an effect at temperatures above 60 °C.

Statutory regulations state that the treated heating water be subjected where necessary to additional treatment before being introduced into the public sewage system. In certain cases special disposal will be necessary.

Elektrochemische Verfahren

Elektrochemische Verfahren können nur dann korrosionsmindernd wirken, wenn die Geräte unmittelbar nach der Stelle des Sauerstoffzutritts angeordnet sind und ständig durchströmt werden. Sie nutzen gezielt die Korrosion metallischer Werkstoffe zur Sauerstoffreduktion gemäß Gleichung (1) bis Gleichung (3) aus.

Die elektrochemischen Verfahren mit „unedlen“ Metallen (z. B. Magnesium oder Zink) sollen nur angewendet werden, wenn die als Schlamm anfallenden Korrosionsprodukte entfernt werden können.

Anmerkung: Eisen kann insbesondere bei Fußbodenheizungen mit nicht-sauerstoffdichten Kunststoffrohren nicht zur Bindung des Sauerstoffs verwendet werden, da das hierbei entstehende Eisen(II)-hydroxid auf der Wandung der Kunststoffrohre mit dem hindurchtretenden Sauerstoff Eisenoxidschichten bildet, die zum Abplatzen neigen und dann zu Störungen führen können.

Electrochemical processes

Electrochemical methods can only have a corrosion-reducing effect when the corresponding devices are located immediately downstream of the oxygen entry point and there is a constant through-flow through them. They make specific use of the corrosion of metallic materials to effect oxygen reduction in accordance with Equation (1) to Equation (3).

Electrochemical processes involving “active” metals (such as magnesium or zinc) should only be used when the corrosion products, taking the form of sludge, can be removed.

Note: Iron cannot be used for binding oxygen – particularly in the case of underfloor heating systems with plastic pipes not impermeable to oxygen – since the iron(II)-hydroxide thus created combines with the intrusive oxygen to form a coating of iron oxide on the pipe walls which tends to flake off and then cause problems.

Anhang A Arten und Auslegung der Druckhaltung

Die Auslegung und die Auswahl der Art der Druckhaltung beeinflussen maßgeblich die Korrosionswahrscheinlichkeit in Warmwasser-Heizungsanlagen.

Im Folgenden sollen nur die aus korrosionstechnischer Sicht relevanten Aspekte am Beispiel der am meisten verbreiteten Saugdruckhaltung erläutert werden (Bild A1). Weitere Details sind den Regeln der Technik (z. B. VDI 4708 Blatt 1) zu entnehmen.

Bild A1. Saugdruckhaltung mit Membran-Druckausdehnungsgefäß (MAG)

Druckhaltungen müssen bei Anlagen bis 100 °C Betriebstemperatur so ausgelegt sein, dass in allen Betriebszuständen und allen Punkten der Anlage Unterdruck und Kavitation vermieden werden. Dies ist gewährleistet, wenn in allen Betriebszuständen und allen Punkten der Anlage mindestens ein Überdruck von 0,05 MPa (0,5 bar) anliegt.

Neben der Einhaltung des korrekten Anlagen-drucks beeinflusst die Ausführung des Ausdehnungsgefäßes (ADG) die heizwasserseitige Korrosion. Ausdehnungsgefäße, die einen direkten Kontakt von Heizwasser und Atmosphäre zulassen (z. B. oben liegende, offene ADG), sind abzulehnen.

Stand der Technik sind ADG mit Membran. Der Sauerstoffeintrag in das Heizwasser ist abhängig von der Qualität der Membran. Das Membranmaterial muss mindestens den Anforderungen der EN 13831 genügen. Es muss einen geringen Permeabilitätskoeffizienten für Sauerstoff aufweisen. Eine Überdehnung der Membrane ist durch die Wahl einer geeigneten Geometrie zu vermeiden, da sie zu einer Erhöhung der Sauerstoffpermeabilität führt.

Annex A Types and design of pressure control

The design and selection of the type of pressure control system exercises a decisive influence on the likelihood of corrosion in water heating installations.

In what follows we intend to examine solely those aspects which have relevance to corrosion, taking the system most commonly used as our example, namely suction pressure control (Figure A1). More detailed information may be found in the generally accepted technical rules and standards (for example, VDI 4708 Part 1).

Figure A1. Suction pressure control with a diaphragm expansion tank

In installations with operating temperatures up to 100 °C, pressure control systems must be designed such that underpressure and cavitation are prevented in all operating modes and at all locations in the installation. This will be ensured when there is an overpressure of at least 0,05 MPa (0,5 bar) in all operating modes and at all locations in the installation.

Alongside observance of the correct system pressure, the design of the expansion tank also has an influence on corrosion on the heating water side. Expansion tanks which allow direct contact between the heating water and the atmosphere (such as top-of-system open expansion tanks) should be eschewed.

Expansion tanks with a diaphragm are state of the art. Entry of oxygen into the heating water depends on the quality of the diaphragm. The material of the diaphragm must at minimum satisfy the requirements of EN 13831. It must have a low coefficient of permeability for oxygen. Overstretching of the diaphragm – which will increase its oxygen permeability – can be avoided by choosing a suitable geometry.

Die Diffusionsdichtheit von Membranen nimmt mit steigender Temperatur ab. Werden Gefäße mit Membran betriebsbedingt aufgeheizt, können Zwischengefäße zum Abkühlen erforderlich werden. Unbedingt einzuplanen sind Zwischengefäße, wenn die Wassertemperatur im Ausdehnungsgefäß die für das jeweilige Membranmaterial zulässige Temperatur übersteigen kann (üblicherweise 70 °C, Herstellerangaben beachten).

Membran-Druckausdehnungsgefäß (MAG)

In kleinen und mittleren Warmwasser-Heizungsanlagen kommt überwiegend die statische Druckhaltung mittels MAG zum Einsatz.

Beim MAG trennt eine Membran den vorzugsweise mit einem geeigneten Inertgas (z. B. Stickstoff) gefüllten Gasraum von der Wasserseite (siehe Bild A2). Die Membran verhindert weitgehend den Übergang des Gases in das Heizwasser. Der Einfluss des MAG selbst auf die Korrosion ist vernachlässigbar gering.

As temperatures rise, the diffusion impermeability of diaphragms falls. If a tank with a diaphragm is heated as part of system operation, intermediate tanks may be needed for cooling purposes. Intermediate tanks should always be included in the planning when the water temperature in the expansion tank can exceed the temperature permitted for the diaphragm material (normally 70 °C but manufacturer information should be complied with).

Diaphragm expansion tank

The great majority of small and medium-sized water heating installations have a static pressure control system with a diaphragm expansion tank.

With the diaphragm expansion tank, a diaphragm separates the gas space – which is preferably filled with a suitable inert gas (nitrogen, for example) – from the water side (see Figure A2). The diaphragm very largely prevents the gas getting into the heating water. The diaphragm expansion tank itself has negligible influence on corrosion.

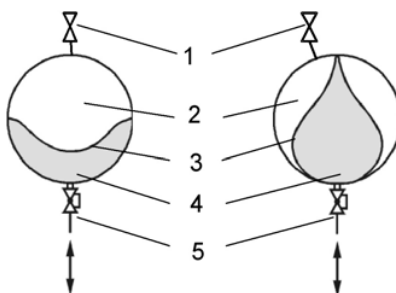


Bild A2. Prinzipaufbau Membran-Druckausdehnungsgefäß mit Halbmembran (links) und mit Vollmembran (rechts)

Figure A2. Schematic of diaphragm expansion tank with half-diaphragm (left) and full diaphragm (right)

- 1 Gasfüllventil
- 2 Gasraum
- 3 Membran
- 4 Wasserraum
- 5 wasserseitiger Anschluss mit Absperrarmatur

- 1 gas filler valve
- 2 gas space
- 3 diaphragm
- 4 water space
- 5 water-side connection with shut-off valve

Pumpendruckhaltung

Bei der Pumpendruckhaltung öffnen bei Druckanstieg (Aufheizen) die wasserseitigen Überströmventile und lassen Heizwasser in die drucklosen Ausdehnungsgefäße abströmen. Bei Druckabfall (Abkühlung) schalten die Druckhaltepumpen zu, um fehlendes Wasservolumen von den drucklosen Ausdehnungsgefäßen in die Anlage zu fördern.

Pump-based pressure control

With pump-based pressure control, the water-side overflow valves open when there is a rise in pressure (heating up) and allow heating water to flow into the pressureless expansion tanks. When pressure falls (cooling), the pressure control pumps switch on to pump the missing quantity of water into the system from the pressureless expansion tanks.

Aus korrosionstechnischer Sicht ist die Ausführung des Ausdehnungsgefäßes von großer Bedeutung.

As far as corrosion is concerned, the design of the expansion tank is of great importance.

- Durch Pumpendruckhaltungen mit offenen Ausdehnungsgefäßen (z. B. ohne Membran) wird Sauerstoff der Luft über die Wasseroberfläche eingetragen, wodurch es zu einer Korrosionsgefährdung für die angeschlossene Anlage kommt. Besonders kritisch ist es, wenn bei dieser Druckhaltung Heizwasser zur atmosphärischen Entgasung in regelmäßigen Abständen über das „offene“ Gefäß geführt wird. Das nahezu sauerstofffreie Heizwasser reichert sich dort erneut mit Sauerstoff aus der Umgebungsluft an. Korrosion in der angeschlossenen Anlage ist dann nahezu unvermeidbar. Diese Anlagenart ist aus korrosionstechnischer Sicht abzulehnen.

Anmerkung: Auch Ausdehnungsgefäße, die intermittierend über Vakuumbrecher, Magnetventile, Entlüfter ohne Belüftungsschutz u. Ä. das Einsaugen von Luft zulassen, sind im korrosionstechnischen Sinne offene Ausdehnungsgefäße und deshalb ebenfalls abzulehnen.

- Bei Pumpendruckhaltungen mit Ausdehnungsgefäßen mit geeigneter Membran (z. B. Butyl-Kautschuk) ist der Sauerstoffeintrag vernachlässigbar gering (Bild A3).



Bild A3. Prinzipschaltbild Pumpendruckhaltung mit Ausdehnungsgefäß mit Membran

PIC – Druckmessung, Anzeige und Steuerung

LIC – Füllstand (Niveau, Inhalt), Anzeige und Steuerung

- Bei allen Pumpendruckhaltungen mit integrierter Entgasungsfunktion ist Luftzutritt über die Gasausschubeinrichtung (Entlüfter mit Belüftungsschutz o. Ä.) zu vermeiden.
- Bei Pumpendruckhaltungen mit Entgasungsfunktion im Ausdehnungsgefäß wird regelmäßig Wasser über das Gefäß geführt. Um den Zutritt von Sauerstoff in das Heizwasser zu minimieren, sind Membranen aus Butyl-Kautschuk oder mit vergleichbaren Permeabilitätseigenschaften zu verwenden und Überdehnun-

- In the case of pump-based pressure control systems with open expansion tanks (for example, without a diaphragm), oxygen in the air enters via the surface of the water and this creates a corrosion risk for the connected system. It is particularly critical when, with this type of pressure control, heating water is routed at regular intervals via this “open” tank for the purpose of atmospheric deaeration. Here the virtually oxygen-free heating water is oxygenated again with oxygen from the ambient air. Corrosion in the connected system then becomes almost inevitable. From the point of view of corrosion, this type of installation should be avoided.

Note: From the point of view of corrosion, expansion tanks which permit air to be sucked in intermittently via vacuum breakers, solenoid valves, air eliminators without a safety air vent and similar devices are also open expansion tanks and should for this reason also be avoided.

- Oxygen entry is negligibly small with pump-based pressure control systems with expansion tanks with a suitable diaphragm (such as butyl rubber); Figure A3.



Figure A3. Schematic of pump-based pressure control with expansion tank with diaphragm

PIC – pressure measurement, instrumentation and control

LIC – level, instrumentation and control

- In the case of all pump-based pressure control systems with an integrated deaeration function, air should be prevented from entering via the gas expulsion device (air eliminator with safety air vent or similar).
- In pump-based pressure control systems which have a degassing device in the expansion tank water is regularly routed via the tank. To minimize the entry of oxygen into the heating water, diaphragms made of butyl rubber or materials with comparable permeability properties should be used and overstretching of the diaphragm

gen der Membran durch Wahl einer geeigneten Membrangeometrie zu vermeiden

Kompressordruckhaltung

Bei der Kompressordruckhaltung wird der Anlagendruck mittels Druckluft gehalten. Das Ausdehnungsgefäß steht unter Anlagendruck.

Bei Druckanstieg (Aufheizen) öffnen die luftseitigen Überströmventile. Der Druck im Druckausdehnungsgefäß sinkt und Heizwasser kann in das Gefäß abströmen. Bei Druckabfall (Abkühlung) schalten die Kompressoren zu. Der Druck im Druckausdehnungsgefäß steigt und fehlendes Wasservolumen wird aus dem Gefäß in die Anlage gefördert.

Aus korrosionstechnischer Sicht ist die Ausführung des Ausdehnungsgefäßes von großer Bedeutung.

- Kompressordruckhaltungen mit Ausdehnungsgefäßen ohne Membran sind teilweise noch in Altanlagen in Betrieb. Diese Kompressordruckhaltungen stellen aufgrund des dauerhaften, direkten Lufteintrags eine sehr hohe Korrosionsgefährdung für die angeschlossene Anlage dar und sind für den Einsatz in Neuanlagen abzulehnen.
- Bei Kompressordruckhaltungen ist die Auswahl der Membran (siehe Bild A4) noch mehr als bei allen anderen Arten der Druckhaltung von Bedeutung, da die Gefahr des Sauerstoffeintrags in das Heizwasser mit dem Anlagendruck steigt. Daher sind Membranen aus Butyl-Kautschuk oder mit vergleichbaren Permeabilitätseigenschaften zu verwenden.

prevented by an appropriate diaphragm geometry.

Compressor pressure control

With compressor pressure control the system pressure is maintained by means of compressed air. The expansion tank is at system pressure.

The air-side overflow valves open when there is a rise in pressure (heating up). The pressure in the expansion tank falls and heating water can flow into the tank. When the pressure falls (cooling) the compressors switch on. The pressure in the expansion tank rises and the missing quantity of water is pumped into the system from the tank.

As far as corrosion is concerned, the design of the expansion tank is of great importance.

- Compressor pressure control systems with expansion tanks without a diaphragm are still in service in some old installations. Due to the permanent direct input of air in these compressor pressure control systems they represent a very high risk of corrosion for the connected installation and should not be used with new installations.
- The choice of diaphragm (see Figure A4) is more important with compressor pressure control systems than with any other method of pressure control since the danger of oxygen getting into the heating water increases with the system pressure. For this reason diaphragms should be made of butyl rubber or materials with comparable permeability properties.



Bild A4. Prinzipschaltbild Kompressordruckhaltung mit Ausdehnungsgefäß mit Membran

PIC – Druckmessung, Anzeige und Steuerung

LIC – Füllstand (Niveau, Inhalt), Anzeige und Steuerung

Figure A4. Schematic of compressor pressure control with expansion tank with membrane

PIC – Pressure measurement, instrumentation and control

LIC – Level, instrumentation and control

Offenes, oben liegendes Ausdehnungsgefäß

Offene, oben liegende Ausdehnungsgefäße sind aus korrosionstechnischer Sicht abzulehnen. Sie werden praktisch nur noch für Warmwasser-Heizungsanlagen mit nicht schnell abschaltbaren Feuerungen eingesetzt. Die über das Ausdehnungsgefäß in das Heizwasser eingetragene Sauerstoffmenge ist besonders groß, wenn das Gefäß vom Heizwasser durchströmt wird. Für den Anschluss mit zwei Sicherheitsleitungen wird eine Schaltung nach Bild A5 empfohlen, bei der keine nennenswerte Zirkulation von Heizwasser durch das Ausdehnungsgefäß stattfindet.

Open, top-of-system expansion tank

As far as corrosion is concerned, open, top-of-system expansion tanks should be avoided. In almost all cases they are currently still used only in water heating installations with a furnace which cannot be switched off quickly. The amount of oxygen entering the heating water via the expansion tank is particularly large when heating water flows through the tank. For a connection with two safety lines a circuit such as is shown in Figure A5 is recommended. Here there is no circulation worth mentioning of heating water through the expansion tank.

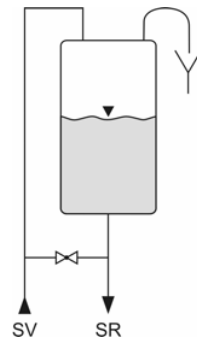


Bild A5. Empfohlene Schaltung eines oben-liegenden Ausdehnungsgefäßes

Figure A5. Recommended circuit for a top-of-system expansion tank

Anhang B Löslichkeitsgrenzen nach Henry

Basis der Berechnungen: Technische Löslichkeitskoeffizienten aus $D'Ans/Lax$ [1]

Annex B Solubility limits according to Henry

Basis for calculations: technical solubility coefficients from $D'Ans/Lax$ [1]

Tabelle B1. Grenzwerte für Diffusion / Table B1. Limit values for diffusion

O₂-Gehalt im Wasser bei Gleichgewicht von Wasser mit wasserdampfgesättigter Umgebungsluft in mg/l /
O₂ content in water at equilibrium of water with ambient air saturated with water vapour in mg/l

Luftdruck / Air pressure bar _{absolut} / bar _{absolute}	Temperatur / Temperature in °C								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0,95	10,6	8,5	7,0	6,0	5,2	4,4	3,5	2,6	1,3
1,0	11,1	8,9	7,4	6,4	5,5	4,7	3,8	2,8	1,6
1,05	11,7	9,4	7,8	6,7	5,8	5,0	4,1	3,1	1,9

Tabelle B2. Grenzwerte bei Einschluss von Luftpolstern / Table B2. Limit values with inclusion of air cushions

O₂-Gehalt im Wasser bei Gleichgewicht von Wasser mit wasserdampfgesättigter Luft unter Systemdruck p in mg/l /
O₂ content in water at equilibrium of water with ambient air at system pressure p saturated with water vapour in mg/l

Druck / Pressure		Temperatur / Temperature in °C								
bar _{absolut} / bar _{absolute}	bar(Ü)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	0	11,1	8,9	7,4	6,4	5,5	4,7	3,8	2,8	1,6
2	1	22,4	18,1	15,2	13,2	11,8	10,5	9,4	8,2	7,0
3	2	33,6	27,2	23,0	20,1	18,1	16,4	14,9	13,6	12,5
4	3	44,8	36,4	30,7	27,0	24,3	22,3	20,5	19,0	17,9
5	4	56,2	45,5	38,5	33,9	30,6	28,1	26,1	24,4	23,3
6	5	67,4	54,7	46,3	40,7	36,9	34,0	31,6	29,8	28,8

N₂-Gehalt im Wasser bei Gleichgewicht von Wasser mit wasserdampfgesättigter Luft unter Systemdruck p in mg/l /
N₂ content in water at equilibrium of water with ambient air at system pressure p saturated with water vapour in mg/l

Druck / Pressure		Temperatur / Temperature in °C								
bar _{absolut} / bar _{absolute}	bar(Ü)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1	0	17,8	14,8	12,6	11,0	9,7	8,4	7,0	5,3	3,0
2	1	35,9	29,9	25,7	22,8	20,7	19,0	17,3	15,4	13,1
3	2	54,0	45,0	38,9	34,7	31,8	29,5	27,5	25,4	23,2
4	3	72,0	60,1	52,0	46,6	42,8	40,0	37,7	35,5	33,3
5	4	90,1	75,2	65,2	58,4	53,9	50,6	47,9	45,6	43,4
6	5	108,1	90,3	78,3	70,3	64,9	61,1	58,2	55,7	53,6

Anhang C Anlagenbuch

Standort der Anlage:

Planungsdaten – Seite 1

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit	Anmerkung/Prüfkriterium	Nein	Ja
1	Gesamtheizleistung		kW			
2	Einzelheizleistungen		kW kW kW	nur bei Anlagen mit mehreren Wärmeerzeugern (WE)		
3	Kleinste Einzelheizleistung aus Nr. 2		kW			
4	Anlagenvolumen V_{Anlage}		ℓ			
5	Spezifisches Anlagenvolumen nur ein Wärmeerzeuger: Nr. 4 : Nr. 1 mehrere Wärmeerzeuger: Nr. 4 : Nr. 3		ℓ/kW	Prüfe: > 20 ℓ/kW?		
6	Ergänzungswassermenge		ℓ	gesamte, während der Lebensdauer der Anlage zu erwartende Menge (Richtwert $\leq 2 \cdot V_{\text{Anlage}}^{\text{a)}$)		
7	Maximal zulässige Füll- und Ergänzungswassermenge V_{max} Nr. 4 + Nr. 6		ℓ	Prüfe: > 3 · V_{Anlage} ?		
8	Summe Erdalkalien bzw. Gesamthärte		mol/m³ °d	z. B. aus der Trinkwasser-Analyse des Wasserversorgungsunternehmens (Bei Min/Max-Angaben ist stets der maximale Wert einzutragen.)		
9	Nur Anlagen mit Umlaufwasserheizer und/oder Elektroheizung im System			Prüfe: Nr. 8 > 3 mol/m³ bzw. Nr. 8 > 16,8 °d		
10	Für Anlagen mit Gesamtheizleistung Nr. 1 > 50 kW bis ≤ 200 kW			Prüfe: Nr. 8 > 2 mol/m³ bzw. Nr. 8 > 11,2 °d		
11	Für Anlagen mit Gesamtheizleistung Nr. 1 > 200 kW bis ≤ 600 kW			Prüfe: Nr. 8 > 1,5 mol/m³ bzw. Nr. 8 > 8,4 °d		
12	Für Anlagen mit Gesamtheizleistung Nr. 1 > 600 kW			Prüfe: Nr. 8 > 0,02 mol/m³ bzw. Nr. 8 > 0,11 °d		
13	Prüfe: Wurde auf die Prüfkriterien in den Zeilen 5, 7 und 9 bis 12 mindestens einmal mit „Ja“ geantwortet? Nein: Keine Maßnahmen zur Vermeidung von Steinbildung erforderlich. Ja: Vorzugsweise Enthärtung bzw. eine der Maßnahmen nach VDI 2035 Blatt 1 erforderlich.					

a) Bei Anlagen mit z. B. einem stufenweise erfolgenden Ausbau oder späteren Erweiterungen sind gegebenenfalls größere Ergänzungswassermengen zu berücksichtigen.

Planungsdaten – Seite 2

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit	Anmerkung/Prüfkriterium	Nein	Ja
14	Elektrische Leitfähigkeit		µS/cm	z. B. aus der Trinkwasser-Analyse des Wasserversorgungsunternehmens (bei Min-/Max-Angaben ist stets der maximale Wert einzutragen)		
15	Prüfe: Ist die elektrische Leitfähigkeit nach Nr. 14 > 1500 µS/cm? Nein: Keine Maßnahmen bezüglich Leitfähigkeit erforderlich. Ja: Entsalzung oder Teilentsalzung des Füll- und Ergänzungswassers.					
16	pH-Wert			z. B. aus der Trinkwasser-Analyse des Wasserversorgungsunternehmens (bei Min-/Max-Angaben ist stets der Bereich einzutragen)		
	minimal		–			
	maximal		–			
17	Prüfe: pH-Wert nach Nr. 16 < 8,2? Nein: weiter mit Nr. 18 Ja: Kontrolle des pH-Werts des Heizwassers 8 bis 12 Wochen nach Inbetriebnahme gemäß VDI 2035 Blatt 2, Abschnitt 8.1. Alkalisierung nur in Ausnahmefällen.					
18	Prüfe: Anlagen ohne Al bzw. Aluminiumlegierungen: pH-Wert nach Nr. 16 > 10,0? Anlagen mit Aluminium: pH-Wert nach Nr. 16 > 8,5? Anlagen mit Aluminiumlegierungen: pH-Wert nach Nr. 16 > Grenzwert lt. Hersteller? Nein: Keine weiteren Maßnahmen bezüglich pH-Wert erforderlich. Ja: Wasser als Füll- und Ergänzungswasser <u>nicht</u> geeignet!					

Wasserbehandlung		ACHTUNG! Nachfolgende Maßnahmen der Wasserbehandlung (Zugabe von Chemikalien) sollen nur in Ausnahmefällen erfolgen. Die Richtwerte nach VDI 2035 Blatt 2, Abschnitt 8.1 und VDI 2035 Blatt 1 sind einzuhalten. Die Herstellervorschriften sind zu beachten.				
		Chemikalie/Hersteller	Konzentration			
19	Alkalisierung			Prüfe: Einsatz Alkalisierungsmittel?		
20	Korrosionsinhibitor			Prüfe: Einsatz Korrosionsinhibitor?		
21	Sauerstoffbindung			Prüfe: Einsatz Sauerstoffbindemittel?		
22	Gemischprodukt			Prüfe: Einsatz Gemischprodukt?		
23	Prüfe: Wurde auf die Prüfkriterien in den Zeilen 19 bis 22 mindestens einmal mit „Ja“ geantwortet? Nein: Keine besonderen Maßnahmen erforderlich. Ja: Regelmäßige Kontrolle der Richtwerte nach VDI 2035 Blatt 1 und Blatt 2 erforderlich.					

- ☐ Alle Prüfkriterien wurden mit „Nein“ beantwortet. Es sind keine wasserseitigen Maßnahmen erforderlich.
- ☐ Mindestens ein Prüfkriterium wurde mit „Ja“ beantwortet. Es sind folgende wasserseitigen Maßnahmen erforderlich:
-
-
- ☐ Die Zeile „Richtwerte“ in der Tabelle Inbetriebnahme und Kontrolle wurde ausgefüllt.

Datum, Unterschrift des verantwortlichen Planers:

Inbetriebnahme und Kontrolle für Anlagen ≤ 600 kW und ohne Wasserbehandlung

Inbetriebnahme durch Firma:

Datum der Inbetriebnahme:

Spülung der Heizungsanlage nach EN 14336 erfolgt: Ja ☐ Nein ☐Druckhaltung nach Herstellervorschrift in Betrieb genommen: Ja ☐ Nein ☐max. Enddruck^{d)} $p_{e,max} = \dots\dots\dots \text{bar(Ü)}$ • bei MAG: Gasvordruck^{d)} $p_0 = \dots\dots\dots \text{bar(Ü)}$ • bei Pumpen- oder Kompressordruckhaltung Solldruck Anlage^{d)} $p_{soll} = \dots\dots\dots \text{bar(Ü)} \pm \dots\dots\dots \text{bar}$ Zählerstand Wasseruhr Füll- und Ergänzungswasser vor Erstbefüllung: $Z = \dots\dots\dots \text{m}^3$

Datum	Zählerstand Z_{neu} in m ³	Wassermenge $V = Z_{neu} - Z$ in m ³	Summe Erdalkalien bzw. Gesamthärte in mol/m ³ bzw. °d	pH-Wert	Leitfähig- keit in µS/cm	Anlagen- druck p_{Anl} in bar	Bemerkungen	Unterschrift
Richt- werte	–	a)	b)	c)	c)	d)	–	–
Inbetrieb- nahme am:								

a) aus Nr. 7

b) nach VDI 2035 Blatt 1

c) Keine Pflichtparameter. Kontrolle nach größeren Umbauarbeiten, Havariefällen etc. empfohlen.

d) Vom Planer z. B. nach VDI 4708 Blatt 1 ($> p_{a,min}$; $< p_{e,max}$) zu ermitteln.

Inbetriebnahme und Kontrolle für Anlagen > 600 kW und/oder Anlagen mit Wasserbehandlung

Inbetriebnahme durch Firma:

Datum der Inbetriebnahme:

Spülung der Heizungsanlage nach EN 14336 erfolgt: Ja ☐ Nein ☐

Druckhaltung nach Herstellervorschrift in Betrieb genommen: Ja ☐ Nein ☐

max. Enddruck ^{d)} $p_{e,max} = \dots\dots\dots \text{bar(Ü)}$

• bei MAG: Gasvordruck ^{d)} $p_0 = \dots\dots\dots \text{bar(Ü)}$

• bei Pumpen- oder Kompressordruckhaltung Solldruck Anlage ^{d)} $p_{soll} = \dots\dots\dots \text{bar(Ü)} \pm \dots\dots\dots \text{bar}$

Zählerstand Wasseruhr Füll- und Ergänzungswasser vor Erstbefüllung: $Z = \dots\dots\dots \text{m}^3$

Datum	Zählerstand Z_{neu} in m ³	Wasser- menge $V = Z_{neu} - Z$ in m ³	Summe Erdalka- lien bzw. Gesamt- härte in mol/m ³ bzw. °d	pH-Wert	Leitfähig- keit in µS/cm	Anla- gen- druck p_{Anl} in bar	Zusatzstoff 1	Zusatzstoff 2	Bemerkungen	Unterschrift
Richt- werte	–	a)	b)	8,2 bis 10,0 ^{c)}	< 1500	d)	e)	e)	–	–
Inbe- trieb- nahme am:										

a) aus Nr. 7

b) nach VDI 2035 Blatt 1

c) bei Anlagen mit Al bzw. Al-Legierungen 8,2 bis 8,5 (9,0)

d) Vom Planer z. B. nach VDI 4708 Blatt 1 ($> p_{a,min}$; $< p_{e,max}$) zu ermitteln

e) vom Planer auszufüllen

Annex C System logbook

Location of the installation:

Planning data – Page 1

No.	Designation	Value	Unit	Comment/test criterion	No	Yes
1	Total heating capacity		kW			
2	Individual heating capacities		kW kW kW	only applies to installations with several heat generators		
3	Smallest individual heating capacity from No. 2		kW			
4	System volume V_{system}		ℓ			
5	Specific system volume only one heat generator: No. 4 : No. 1 several heat generators: No. 4 : No. 3		ℓ/kW	Check: > 20 ℓ/kW?		
6	Quantity of make-up water		ℓ	total quantity expected during the service life of the installation (guide value $\leq 2 \cdot V_{\text{system}}^{\text{a)}$)		
7	Maximum permitted quantity of filling and make-up water V_{max} No. 4 + No. 6		ℓ	Check: > 3 · V_{system} ?		
8	Total alkaline earths or total hardness		mol/m³ °d	for example, from drinking water analysis by water supply company (when min/max values given, the maximum value should always be entered)		
9	Only installations with circulating water heater and/or electric heating in the system			Check: No. 8 > 3 mol/m³ or No. 8 > 16,8 °d		
10	For installations with total heating capacity No. 1 > 50 kW to = 200 kW			Check: No. 8 > 2 mol/m³ or No. 8 > 11,2 °d		
11	For installations with total heating capacity No. 1 > 200 kW to = 600 kW			Check: No. 8 > 1,5 mol/m³ or No. 8 > 8,4 °d		
12	For installations with total heating capacity No. 1 > 600 kW			Check: No. 8 > 0.02 mol/m³ or No. 8 > 0,11 °d		
13	Check: Was there at least one answer of Yes to the test criteria in rows 5, 7 and 9 to 12? No: No action necessary to prevent scale formation. Yes: Preferably softening required or one of the measures given in VDI 2035 Part 1.					

^{a)} In installations which are, for example, being extended in stages or will be expanded later, larger quantities of make-up water may need to be taken into consideration.

Planning data – Page 2

No.	Designation	Value	Unit	Comment/test criterion	No	Yes
14	Electrical conductivity		µS/cm	for example, from drinking water analysis by water supply company (when min/max values given, the maximum value should always be entered)		
15	Check: Is the electrical conductivity in No. 14 > 1500 µS/cm? No: No action necessary regarding conductivity. Yes: Demineralization or partial demineralization of the filling and make-up water.					
16	pH value					
	minimum		–	for example, from drinking water analysis by water supply company (when min/max values given, the range should always be entered)		
	maximum		–			
17	Check: pH value according to No. 16 < 8,2? No: continue with No. 18 Yes: Check the pH value of the heating water 8 to 12 weeks after commissioning in accordance with VDI 2035 Part 2, Section 8.1. Alkalinization in exceptional cases only.					
18	Check: Installations without Al or Al alloys: pH value according to No. 16 > 10,0? Installations with aluminium: pH value according to No. 16 > 8,5? Installations with aluminium alloys: pH value according to No. 16 > limit acc. to manufacturer? No: No action necessary regarding pH value. Yes: Water is <u>not</u> suitable as filling and make-up water!					

Water treatment IMPORTANT! The following water treatment measures (addition of chemicals) should be limited to exceptional cases only. The guide values given in VDI 2035 Part 2, Section 8.1 and VDI 2035 Part 1 should be complied with. Manufacturer requirements should be observed.						
		Chemical/manufacturer	Concentration			
19	Alkalinization			Check: Use of alkalinizing agent?		
20	Corrosion inhibitor			Check: Use of corrosion inhibitor?		
21	Oxygen binding			Check: Use of oxygen scavenging agent?		
22	Product mixture			Check: Use of product mixture?		
23	Check: Was there at least one answer of Yes to the test criteria in rows 19 to 22? No: No special action necessary. Yes: Regular checking of the guide values given in VDI 2035 Parts 1 and Part 2 is necessary.					

- ☐ All of the test criteria were answered with “No”. No action necessary on the water side.
- ☐ At least one of the test criteria was answered with “Yes”. The following measures are required on the water side:
-
-
- ☐ The “Guide values” row has been filled out in the commissioning and inspecting table.

Date and signature of the planner responsible:

Commissioning and inspecting for installations ≤ 600 kW and without water treatment

Commissioning by company:

Date of commissioning:

Flushing of the heating system in accordance with EN 14336 completed: Yes ☐ No ☐Pressure control system put into service in accordance
with manufacturer's specifications: Yes ☐ No ☐max. final pressure^{d)} $p_{e,max} = \dots \text{bar}(\ddot{\text{U}})$

- With diaphragm expansion tank: gas inlet pressure^{d)} $p_0 = \dots \text{bar}(\ddot{\text{U}})$

- With pump or compressor pressure control system setpoint pressure^{d)} $p_{setpt.} = \dots \text{bar}(\ddot{\text{U}}) \pm \dots \text{bar}$

Water meter reading for filling and make-up water before initial filling: $Z = \dots \text{m}^3$

Date	Meter reading Z_{new} in m^3	Quantity of water $V = Z_{new} - Z$ in m^3	Total alkaline earths or total hardness in mol/m^3 or $^\circ\text{d}$	pH value	Conduct- ivity in $\mu\text{S}/\text{cm}$	System pressure p_{sys} in bar	Comments	Signature
Guide values	–	a)	b)	c)	c)	d)	–	–
Commis- sioning on:								

a) from No. 7

b) according to VDI 2035 Part 1

c) No mandatory parameters. Inspection recommended following major conversion work, accidents, and so on.

d) To be determined by planner, for example, in accordance with VDI 4708 Part 1 ($> p_{a,min}; < p_{e,max}$)

Commissioning and inspecting for installations > 600 kW and/or installations with water treatment

Commissioning by company:

Date of commissioning:

Flushing of the heating system in accordance with EN 14336 completed: Yes ☐ No ☐

Pressure control system put into service in accordance
with manufacturer's specifications: Yes ☐ No ☐

max. final pressure^{d)} $p_{e,max} = \dots\dots\dots \text{bar}(\ddot{U})$

• With diaphragm expansion tank: gas inlet pressure^{d)} $p_0 = \dots\dots\dots \text{bar}(\ddot{U})$

• With pump or compressor pressure control
system setpoint pressure^{d)} $p_{setpt.} = \dots\dots\dots \text{bar}(\ddot{U}) \pm \dots\dots\dots \text{bar}$

Water meter reading for filling and make-up water before initial filling: $Z = \dots\dots\dots \text{m}^3$

Date	Meter reading Z_{new} in m ³	Quantity of water $V = Z_{new} - Z$ in m ³	Total alkaline earths or total hardness in mol/ m ³ or °d	pH value	Conduct- ivity in µS/cm	Sys- tem pres- sure p_{sys} in bar	Additive 1	Additive 2	Comments	Signature
Guide values	–	a)	b)	8,2 to 10,0 ^{c)}	< 1500	d)	e)	e)	–	–
Com- mis- sioning on:										

a) from No. 7

b) according to VDI 2035 Part 1

c) in the case of installations with Al or Al alloys: 8,2 to 8,5 (9,0)

d) To be determined by planner, for example, in accordance with VDI 4708 Part 1 ($> p_{a,min}; < p_{e,max}$).

e) to be filled out by the planner

Anhang D Anlagenbuch – Beispiel**Ausgangsdaten:**

Gesamtheizleistung	1000 kW
bestehend aus	1 × 800 kW und 1 × 200 kW
Anlagenvolumen	10 m³
Werkstoffe	Kupfer, unlegierter Stahl, Aluminium
Wasserwerte aus Analyse des Trinkwasserversorgers	
pH-Wert	7,3 bis 7,7
Leitfähigkeit	(580 bis 625) µS/cm
Gesamthärte	(10,0 bis 11,2) °d

Anlagenbuch:Standort der Anlage: **Musterstadt, Beispielstraße Nr. 10, Keller Raum 22****Planungsdaten**

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit	Anmerkung/Prüfkriterium	Nein	Ja
1	Gesamtheizleistung	1000	kW			
2	Einzelheizleistungen	800 200 –	kW kW kW	nur bei Anlagen mit mehreren Wärmeerzeugern (WE)		
3	Kleinste Einzelheizleistung aus Nr. 2	200	kW			
4	Anlagenvolumen V_{Anlage}	10.000	ℓ			
5	Spezifisches Anlagenvolumen nur ein Wärmeerzeuger: Nr. 4 : Nr. 1 mehrere Wärmeerzeuger: Nr. 4 : Nr. 3	Entfällt 10.000 : 200 = 50	ℓ/kW	Prüfe: > 20 ℓ/kW? 50 > 20 ℓ/kW?		X
6	Ergänzungswassermenge	15.000	ℓ	gesamte, während der Lebensdauer der Anlage zu erwartende Menge (Richtwert $\leq 2 \cdot V_{\text{Anlage}}$)	X	
7	Maximal zulässige Füll- und Ergänzungswassermenge V_{max} Nr. 4 + Nr. 6	15.000 + 10.000 = 25.000 ℓ	ℓ	Prüfe: > 3 · V_{Anlage} ? 25.000 ℓ > 3 · 10.000 ℓ = 30.000 ℓ?		
8	Summe Erdalkalien bzw. Gesamthärte	2,0 11,2	mol/m³ °d	z. B. aus der Trinkwasser-Analyse des Wasserversorgungsunternehmens (bei Min/Max-Angaben ist stets der maximale Wert einzutragen)		
9	Nur Anlagen mit Umlaufwasserheizer und/oder Elektroheizung im System	entfällt		Prüfe: Nr. 8 > 3 mol/m³ bzw. Nr. 8 > 16,8 °d		
10	Für Anlagen mit Gesamtheizleistung Nr. 1 > 50 kW bis ≤ 200 kW	entfällt		Prüfe: Nr. 8 > 2 mol/m³ bzw. Nr. 8 > 11,2 °d		
11	Für Anlagen mit Gesamtheizleistung Nr. 1 > 200 kW bis ≤ 600 kW	entfällt		Prüfe: Nr. 8 > 1,5 mol/m³ bzw. Nr. 8 > 8,4 °d		
12	Für Anlagen mit Gesamtheizleistung Nr. 1 > 600 kW	1000 kW > 600 kW		Prüfe: Nr. 8 > 0,02 mol/m³ bzw. Nr. 8 > 0,11 °d 11,2 °d > 0,11 °d?		X
13	Prüfe: Wurde auf die Prüfkriterien in den Zeilen 5, 7 und 9 bis 12 mindestens einmal mit „Ja“ geantwortet? Nein: Keine Maßnahmen zur Vermeidung von Steinbildung erforderlich. Ja: Vorzugsweise Enthärtung bzw. eine der Maßnahmen nach VDI 2035 Blatt 1 erforderlich.				2 x „Ja“	

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit	Anmerkung/Prüfkriterium	Nein	Ja
14	Elektrische Leitfähigkeit	625	µS/cm	z. B. aus der Trinkwasser-Analyse des Wasserversorgungsunternehmens (bei Min/Max-Angaben ist stets der maximale Wert einzutragen)		
15	Prüfe: Ist die elektrische Leitfähigkeit nach Nr. 14 > 1500 µS/cm? Nein: Keine Maßnahmen bezüglich Leitfähigkeit erforderlich. Ja: Entsalzung bzw. Teilentsalzung des Füll- und Ergänzungswassers.				„Nein“ X	
16	pH-Wert	minimal 7,3 maximal 7,7	– –	z. B. aus der Trinkwasser-Analyse des Wasserversorgungsunternehmens (bei Min/Max-Angaben ist stets der Bereich einzutragen)		
17	Prüfe: pH-Wert nach Nr. 16 < 8,2? 7,7 < 8,2 ? Nein: weiter mit Nr. 18 Ja: Kontrolle des pH-Werts des Heizwassers 8 bis 12 Wochen nach Inbetriebnahme gemäß VDI 2035 Blatt 2, Abschnitt 8.1. Alkalisierung nur in Ausnahmefällen.				„Ja“ X	
18	Prüfe: 7,7 > 8,5 ? Anlagen ohne Al bzw. Aluminiumlegierungen: pH-Wert nach Nr. 16 > 10,0? Anlagen mit Aluminium: pH-Wert nach Nr. 16 > 8,5? Anlagen mit Aluminiumlegierungen: pH-Wert nach Nr. 16 > Grenzwert lt. Hersteller? Nein: Keine weiteren Maßnahmen bezüglich pH-Wert erforderlich. Ja: Wasser als Füll- und Ergänzungswasser <u>nicht</u> geeignet!				„Nein“ X	

- ☐ Alle Prüfkriterien wurden mit „Nein“ beantwortet. Es sind keine wasserseitigen Maßnahmen erforderlich.
- ☒ Mindestens ein Prüfkriterium wurde mit „Ja“ beantwortet. Es sind folgende wasserseitigen Maßnahmen erforderlich:
- Das Füll- und Ergänzungswasser ist zu enthärten.
 - Der pH-Wert des Heizwassers ist nach 8 bis 12 Wochen zu überprüfen. Wenn der pH-Wert des Heizwassers sich dann im Bereich von 8,2 eingestellt hat und 8,5 nicht überschreitet, sind Maßnahmen zur Wasserbehandlung nicht erforderlich.
- ☒ Die Zeile „Richtwerte“ in der Tabelle Inbetriebnahme und Kontrolle wurde ausgefüllt.

Datum	Zählerstand Z_{neu} in m ³	Wassermenge $V = Z_{neu} - Z$ in m ³	Summe Erdalkalien bzw. Gesamthärte in mol/m ³ bzw. °d	pH-Wert	Leitfähigkeit in µS/cm	Anlagendruck p_{Anl} in bar	Zusatzstoff 1	Zusatzstoff 2	Bemerkungen	Unterschrift
Richtwerte	–		0,02 mol/m³ bzw. 0,11 °d	8,2 bis 8,5	< 1500		keine	keine	keine	Planer

Datum, Unterschrift des verantwortlichen Planers: *Planer*

Annex D System logbook – example**Initial data:**

Total heating capacity	1000 kW
consisting of	1 × 800 kW and 1 × 200 kW
System volume	10 m ³
Materials	Copper, unalloyed steel, aluminium
Water values from analyses conducted by drinking water supplier	
pH value	7,3 to 7,7
Conductivity	(580 to 625) µS/cm
Total hardness	(10,0 to 11,2) °d

System logbook:Location of the installation: **Anytown, Example Street No. 10, Basement Room 22****Planning data**

No.	Designation	Value	Unit	Comment/test criterion	No	Yes
1	Total heating capacity	1000	kW			
2	Individual heating capacities	800 200 -	kW kW kW	only applies to installations with several heat generators		
3	Smallest individual heating capacity from No. 2	200	kW			
4	System volume V_{system}	10.000	ℓ			
5	Specific system volume One heat generator: No. 4 : No. 1 Several heat generators: No. 4 : No. 3	N/a 10.000 : 200 = 50	ℓ/kW	Check: > 20 ℓ/kW? 50 > 20 ℓ/kW?		X
6	Quantity of make-up water	15.000	ℓ	total quantity expected during the service life of the installation (guide value $\leq 2 \cdot V_{\text{system}}$)		
7	Maximum permitted quantity of filling and make-up water V_{max} No. 4 + No. 6	15.000 + 10.000 = 25.000 ℓ	ℓ	Check: > 3 · V_{system} ? 25 000 ℓ > 3 · 10.000 ℓ = 30.000 ℓ?	X	
8	Total alkaline earths or total hardness	2,0 11,2	mol/m ³ °d	for example, from drinking water analysis by water supply company (when min/max values given, the maximum value should always be entered)		
9	Only installations with circulating water heater and/or electric heating in the system	N/a		Check: No. 8 > 3 mol/m ³ or No. 8 > 16,8 °d		
10	For installations with total heating capacity No. 1 > 50 kW to = 200 kW	N/a		Check: No. 8 > 2 mol/m ³ or No. 8 > 11,2 °d		
11	For installations with total heating capacity No. 1 > 200 kW to = 600 kW	N/a		Check: No. 8 > 1,5 mol/m ³ or No. 8 > 8,4 °d		
12	For installations with total heating capacity No. 1 > 600 kW	1000 kW > 600 kW		Check: No. 8 > 0,02 mol/m ³ or No. 8 > 0,11 °d 11,2 °d > 0,11 °d?		X
13	Check: Was there at least one answer of Yes to the test criteria in rows 5, 7 and 9 to 12? No: No action necessary to prevent scale formation. Yes: Preferably softening required or one of the measures given in VDI 2035 Part 1.				2 × "Yes"	

No.	Designation	Value	Unit	Comment/test criterion	No	Yes
14	Electrical conductivity	625	µS/cm	for example, from drinking water analysis by water supply company (when min/max values given, the maximum value should always be entered)		
15	Check: Is the electrical conductivity in No. 14 > 1500 µS/cm? No: No action necessary regarding conductivity Yes: Demineralization or partial demineralization of the filling and make-up water				X	
16	pH value					
	minimum	7,3	–	for example, from drinking water analysis by water supply company (when min/max values given, the range should always be entered)		
	maximum	7,7	–			
17	Check: pH value in accordance with No. 16 < 8,2? 7,7 < 8,2 ? No: continue with No. 18 Yes: Check the pH value of the heating water 8 to 12 weeks after commissioning in accordance with VDI 2035 Part 2, Section 8.1. Alkalinization in exceptional cases only					X
18	Check: 7,7 > 8,5 ? Installations without Al or Al alloys: pH value according to No. 16 > 10,0? Installations with aluminium: pH value according to No. 16 > 8,5 Installations with aluminium alloys: pH value according to No. 16 > limit acc. to manufacturer? No: No action necessary regarding pH value Yes: Water is <u>not</u> suitable as filling and make-up water!				X	

- ☐ All of the test criteria were answered with No. No action necessary on the water side.
- ☒ At least one of the test criteria was answered with Yes. The following measures are required on the water side:
- The filling and make-up water must be softened.
 - The pH value of the heating water must be checked after 8 to 12 weeks. If the pH value of the heating water has then stabilized in the region of 8,2 and does not exceed 8,5, water treatment measures will not be necessary.
- ☒ The "Guide values" row has been filled out in the commissioning and inspecting table.

Date	Meter reading Z_{new} in m ³	Quantity of water $V = Z_{\text{new}} - Z$ in m ³	Total alkaline earths or total hardness in mol/m ³ or °d	pH value	Conductivity in µS/cm	Sys-tem pres-sure p_{sys} in bar	Additive 1	Additive 2	Comments	Signature
Guide values	–		0,02 mol/m ³ or 0,11 °d	8,2 to 8,5	< 1500		None	None	None	Planner

Date and signature of the planner responsible: *Planner*

Schrifttum / Bibliography

Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften / Acts, ordinances, administrative regulations

Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung – **AbwV**) vom / of 17. Juni 2004 (BGBl I, 2004, Nr. 28, S. 1108–1184), geändert am 7 as amended on 2007-10-19 (BGBl I, 2007, Nr. 52, S. 2461–2463)

Verordnung über das Einleiten von Abwasser in öffentliche Abwasseranlagen (Indirekteinleitungsverordnung – **IndV**) der einzelnen Bundesländer

Einleitbedingungen bzw. Abwassersatzungen der Städte, Gemeinden oder Abwasserzweckverbände

Technische Regeln / Technical rules

AGFW FW 420 Fernwärmeleitungen aus flexiblen Rohrsystemen (Flexible district heating piping systems). Frankfurt/Main: AGFW-Projektgesellschaft

AGFW FW 510:2003-11 (VdTÜV MB TECH 1466:2004-03) Anforderungen an das Kreislaufwasser von Industrie- und Fernwärmeanlagen sowie Hinweise für deren Betrieb (Requirements for circulation water in industrial and district heating systems and recommendations for their operation). Frankfurt/Main: AGFW-Projektgesellschaft / Berlin: TÜV Media GmbH

ATV-DVWK-M 115 Teil 3:2004-08 Indirekteinleitungen nicht häuslichen Abwassers; Teil 3: Praxis der Indirekteinleiterüberwachung. Hennef: DWA

DIN 1988-4:1988-12 Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen (TRWI); Schutz des Trinkwassers, Erhaltung der Trinkwassergüte; Technische Regel des DVGW (Drinking water supply systems; Drinking water protection and drinking water quality control; DVGW code of practice). Berlin: Beuth Verlag.

DIN 4726:2008-10 Warmwasser-Flächenheizungen und Heizkörperanbindungen; Kunststoffrohr- und Verbundrohrleitungssysteme (Warm water surface heating systems and radiator connecting systems; Plastics piping systems and multilayer piping systems). Berlin: Beuth Verlag

DIN 4753-3:1993-07 Wassererwärmer und Wassererwärmungsanlagen für Trink- und Betriebswasser; Wasserseitiger Korrosionsschutz durch Emaillierung; Anforderungen und Prüfung (Water heaters and water heating installations for potable water and for service water; Corrosion protection on the water side by enamelling; Requirements and testing). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 1717:2001-05 Schutz des Trinkwassers vor Verunreinigungen in Trinkwasser-Installationen und allgemeine Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen zur Verhütung von Trinkwasserverunreinigungen durch Rückfließen; Technische Regel des DVGW; Deutsche Fassung EN 1717:2000 (Protection against pollution of potable water installations and general requirements of devices to prevent pollution by back-flow; Technical rule of the DVGW; German version EN 1717:2000). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 10088 Nichtrostende Stähle; Deutsche Fassung EN 10088 (Stainless steels; German version EN 10088). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 12828:2003-06 Heizungssysteme in Gebäuden; Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen; Deutsche Fassung EN 12828:2003 (Heating systems in buildings; Design of water-based heating systems; German version EN 12828:2003). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 13831:2007-12 Ausdehnungsgefäße mit eingebauter Membrane für den Einbau in Wassersystemen; Deutsche Fassung EN 13831:2007 (Closed expansion vessels with built in diaphragm for installation in water; German version EN 13831:2007). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 14336:2005-01 Heizungsanlagen in Gebäuden; Installation und Abnahme der Warmwasser-Heizungsanlagen; Deutsche Fassung EN 14336:2004 (Heating systems in buildings; Installation and commissioning of water based heating systems; German version EN 14336:2004). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 14868:2005-11 Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe; Leitfaden für die Ermittlung der Korrosionswahrscheinlichkeit in geschlossenen Wasser-Zirkulationssystemen; Deutsche Fassung EN 14868:2005 (Protection of metallic materials against corrosion; Guidance on the assessment of corrosion likelihood in closed water circulation systems; German version EN 14868:2005). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN ISO 8044:1999-11 Korrosion von Metallen und Legierungen; Grundbegriffe und Definitionen (ISO 8044:1999); Dreisprachige Fassung EN ISO 8044:1999 (Corrosion of metals and alloys; Basic terms and definitions (ISO 8044:1999); Trilingual version EN ISO 8044:1999). Berlin: Beuth Verlag

DWA-M 115-1:2004-11 Indirekteinleitungen nicht häuslichen Abwassers; Teil 1: Rechtsgrundlagen. Hennef: DWA

DWA-M 115-2:2005-07 Indirekteinleitungen nicht häuslichen Abwassers; Teil 2: Anforderungen. Hennef: DWA

VDI 1000:2006-10 Richtlinienarbeit; Grundsätze und Anleitungen (Establishing guidelines; Principles and procedures). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2035 Blatt 1:2005-12 Vermeidung von Schäden in Warmwasser-Heizungsanlagen; Steinbildung in Trinkwassererwärmungs- und Warmwasser-Heizungsanlagen (Prevention of damage in water heating installations; Scale formation in domestic hot water supply installations and water heating installations). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2035 Blatt 2:1998-09 Vermeidung von Schäden in Warmwasserheizanlagen; Wasserseitige Korrosion (Prevention of damage in water heating installations; Water corrosion in water heating systems). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2035 Blatt 3:2000-09 Vermeidung von Schäden in Warmwasserheizanlagen; Abgasseitige Korrosion (Prevention of damage in water heating installations; Corrosion by fuel gases). Berlin: Beuth Verlag

VDI 3822 Blatt 3:2007-03 Schadensanalyse; Schäden durch Korrosion in Elektrolyten (Failure analysis; Failures caused by corrosion in electrolytes). Berlin: Beuth Verlag

VDI 4708 Blatt 1 Heizungsanlagen; Druckhaltung (in Vorbereitung / in preparation)

Literatur / Literature

- [1] *D'Ans, J., Lax, E.*: Taschenbuch für Chemiker und Physiker, Band 3. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1998