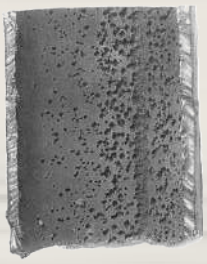
Korrosion ▪ Erosion ▪ Kavitation

Tribologie - Lehre vom Verschleiß: Erfahrungen und Erkenntnisse

Erosion durch Tropfenschlag



Kavitations-korrosion

Rinnenfraß durch Kondensat

Säurekorrosion

Das Baelz-Fachwissen für wirtschaftliche und langlebige Anlagen.

W. Baelz & Sohn GmbH & Co. · Koepffstrasse 5 · 74076 Heilbronn · Germany · **www.baelz.de**

Für meine Eltern

Hildegard Maria Baelz
26.9.1914 - 3.1.1990

Helmut Baelz
13.6.1910 - 21.2.1994

'Korrosion, der Krebs des Metalls" *Helmut Bälz*

Vorwort zur dritten Auflage

Rohstoffe und Energiequellen sind nicht unerschöpflich. Sparsamer Umgang mit den Schätzen unserer Erde - immer eindringlicher als "Gebot der Stunde" gefordert - ist bei Baelz ein Wert mit Tradition und muss nicht eigens die Verantwortung für kommende Generationen beschwören.

Diese Broschüre ist das Ergebnis von Erfahrung und Forschung. Für eine Vielzahl wertvoller Hinweise und Anregungen zum Thema bedanke ich mich hier recht herzlich.

Verschleiß, Verbrauch, Abnutzung, Korrosion unterliegen stets Naturgesetzen; als eine der führenden Industrienationen verfügen wir aber über genügend wissenschaftliche und praxisbezogene Erkenntnisse, um die Auswirkungen dieser "Naturerscheinungen" zu mildern. Die abgebildeten Schäden sind Beispiele dafür, dass Fehler bei der Werkstoffwahl vermeidbar sind. Sie vermitteln auch einen kurzen Einblick in die Systematik der Schadensanalyse.

Mit ihrem bescheidenen Umfang kann diese Schrift nur gedrängte Informationen vermitteln und zu Überlegungen anregen, was gegen den vorzeitigen Verschleiß zu tun ist. Sie spannt eine Brücke zwischen der wissenschaftlichen Werkstoffkunde und der praxisorientierten Anwendung der Werkstoffe. Was Informationsbreite und -tiefe anbelangt, sind dieser Broschüre enge Grenzen gesetzt. Ihr Inhalt erfüllt aber seinen Zweck für den Anwender, der das Wesentliche beachtet. Dies beweisen Tausende von Baelz-Wärmeübergabestationen, die schon seit Jahrzehnten verschleißarm ihren Dienst zum Wohl des Menschen tun.

Für Hinweise (auch auf Fehler trotz Sorgfalt), Anregungen und Verbesserungsvorschläge bin ich Lesern und Anwendern nach wie vor dankbar. Mein Dank gilt ebenfalls dem TÜV Süd für die gemeinsame Erarbeitung von Richtwerten für dieses Dokument.

Heilbronn, im März 2020 Prof. Dr. Uwe Bälz

Korrosion_04_DEF_MJ_0421

1. Wasserchemische Anforderungen an die Qualität der Primär-Heizmedien Dampf und Wasser für Baelz-Wärmeübertrager in Abhängigkeit vom Werkstoff [1)] 4

1.1 Primär-Heizmedium: Dampf/Kondensat 4

1.2 Primär-Heizmedium: Heißwasser/Warmwasser 6

2. Kriterien zur Werkstoffwahl von Heizflächen für Baelz-Trinkwassererwärmer in Abhängigkeit von Trinkwasserqualität und Heizmedium 8

2.1 Primär-Heizmedium: Wasser 8

2.2 Primär-Heizmedium: Dampf 8

2.3 Trinkwasserverordnung und Legionellen 10

3. Kriterien zur Werkstoffwahl von Heizflächen für Baelz-Schwimmbadwasser-Erwärmer in Abhängigkeit von Schwimmbadwasserqualität und Heizmedium 11

3.1 Primär-Heizmedium: Wasser 11

3.2 Primär-Heizmedium: Dampf 11

4. Wasserchemische Anforderungen an die Sekundärwasser-Qualität für Baelz-Heizungswasser-Erwärmer in Abhängigkeit vom Heizflächenwerkstoff 13

4.1 Sauerstoffzutritt bei offenen Anlagen 16

4.2 Sauerstoffzutritt bei geschlossenen Anlagen 16

4.3 Sauerstoffzutritt über gasdurchlässige Bauteile 16

5. Wasserchemische Anforderungen an die Qualität des Kesselspeise- und Kesselwassers für Dampferzeuger 17

5.1 Richtwerte für Dampferzeuger mit stehenden oder liegenden Rohrbündeln aus Stahl (Behälter ebenfalls Stahl) 20

5.2 Richtwerte für Dampferzeuger mit stehenden oder liegenden Heizbündeln aus Kupfer oder Kupfernickel (Behälter Stahl) 21

5.3 Richtwerte für Dampferzeuger mit stehenden Heizbündeln oder liegenden Heizbündeln und aus nichtrostendem Stahl, Mantel aus Stahl oder nichtrostendem Stahl 22

6. Kavitation 24

6.1 Kavitation vorbeugen 24

7. Technische Hinweise 26

7.1 Einstellung der Druckverhältnisse in Anlagen mit Ausdehnungsgefäß 26

7.2 Dokumentation der Wasserqualität 27

Wasserqualitätsprotokoll 28

8. Werkstofftechnisches Wissen - von entscheidender Bedeutung 29

Periodensystem der Elemente 30

9. Literaturverzeichnis 31

1. Wasserchemische Anforderungen an die Qualität der Primär-Heizmedien Dampf und Wasser für Baelz-Wärmeübertrager in Abhängigkeit vom Werkstoff [1)]

1.1 Primär-Heizmedium: Dampf/Kondensat

Vorauszusetzen ist, dass bei den Heizmedien wegen der Richtung des Wärmeflusses nicht mit Anreicherungsvorgängen, z. B. in Spalten, gerechnet werden muss.
Die Betrachtungen berücksichtigen primär die Werkstoffe der Wärmeübertrager, die diese Heizmedien liefern, und nicht die Werkstoffe z. B. von Dampfkesseln oder von Verteilungsnetzen.

Dampf / Kondensat	unlegierter Stahl z. B. St. 35.8	CrNiMo-Stahl z. B. 1.4571 oder besser [2)]	SF-Kupfer CuNi10Fe CuNi30Fe
pH-Wert bei 25 °C	(8,0) 8,5 - 9,5	6,0 - 9,5	(7,0) 7,5 - 9,0
el. Leitfähigkeit bei 25 °C µS/cm	< 50	< 50	< 50
Ammoniak (NH_3) mg/l	-	-	≤ 1

(Werte in Klammern sind Grenzwerte)

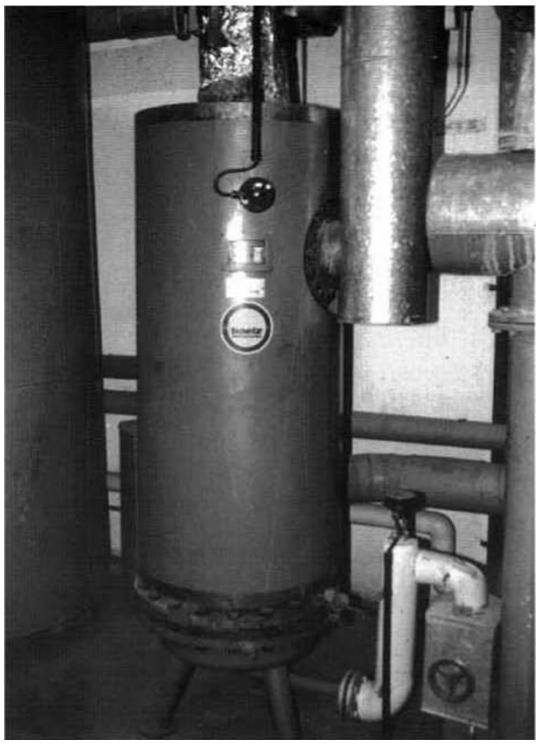
Der Dampf soll von Dampferzeugern stammen, deren Kesselspeise- und Kesselwasser den verbindlichen Richtlinien der DIN EN 12953-10 bzw. VGB (VGB-S-010-T-00) entspricht. Für Bezugsquellen und weitere relevante Normen und Richtlinien, siehe Seite 31.

Bei Einhaltung dieser Richtlinien stellt sich die geforderte Dampfqualität in der Regel selbst ein; gegebenenfalls ist eine Alkalisierung des Dampfes mit flüchtigen Mitteln vorzunehmen.

[1)] Bei Werkstoffkombinationen muss der gemeinsame Arbeitsbereich innerhalb der jeweiligen Grenzwerte eingehalten werden (z. B. Dampf/St. 35.8 und 1.4571, zul. pH-Grenzen: 8,5 - 9,5).

[2)] CrNiMo-Stähle, z. B. 1.4571 oder 1.4404 mit Mo-Konzentrationen von 2 - 2,5 %, sind relativ gut gegen Lochkorrosion beständig. Erhöhte Chloridkonzentrationen erfordern Stähle mit höherem Mo-Gehalt, z. B. 1.4435, 1.4438, 1.4439 und 1.4539, was vorrangig für die zu erwärmenden Medien wichtig ist.

Korrosion_04_DEF_MJ_0421



◄ Baelz 2300 kW Wärmeübertrager - seit mehreren Jahrzehnten im Betrieb! Das Heizbündel, das zum Austausch auf Lager bereit stand, wurde nie gebraucht. Das System "Baelz-thermodynamic" sorgt nämlich, dank einem geschlossenen, sauerstofffreien System mit Kondensatanstau und kondensatseitiger Regelung, für zuverlässige und langlebige Anlagen. Weltweit sind ca. 35 000 Anlagen dieser Art in langjährigem Betrieb. Fragen Sie Baelz nach Referenzen!

Wärmeübertrager als Teil einer Baelz-Kompaktstation ► Dank der über Jahrzehnte hinweg bewährte Baelz-Qualität kann heute in der Regel auf ein austauschbares Rohrbündel verzichtet werden.

www.baelz.de

- Fachartikel
- Termine von Fachmessen und Seminaren
- Ausführliche Informationen über Produkte, Systeme und praktische Anwendungen
- Information zum Unternehmen

Schauen Sie bei Baelz vorbei!

Energie sparender Einsatz von Dampf bei der Edelstahlproduktion

Ein weltweit vertretenes Unternehmen setzt bei der Produktion von Edelstahl enorm viel Energie ein – besonders bei der Erzeugung von Dampf. Denn der Einsatz von Dampf ist für die Erzeugung der benötigten hohen Temperaturen im Herstellungsprozess unentbehrlich. Weil die Dampferzeugung sehr kostenintensiv ist, sollte Dampf sparsam verwendet und ungenutzte Überschüsse stets vermieden werden.

Energetische Betrachtung: Dampfeinsparung

Die Regelung

Korrosion_04_DEF_MJ_0421

1.2 Primär-Heizmedium: Heißwasser/Warmwasser

Heißwasser / Warmwasser	unlegierter Stahl z. B. St. 35.8		CrNiMo-Stahl, z. B. 1.4571 oder besser [2)]	SF-Kupfer CuNi10Fe CuNi30Fe
pH-Wert bei 25 °C	(8,5) 9,0 - 10,5		7,5 - 10,5	(8,0) 8,5 - 9,0
el. Leitfähigkeit bei 25 °C µS/cm	≤ 100	≤ 1500	< 1000	< 1000
Sauerstoff (O_2) mg/l	≤ 0,05	≤ 0,02	-	≤ 0,1 ≤ 0,05
Chlorid (Cl) mg/l	-		< 200 (1.4571) < 400 (1.4539)	< 300
Sulfat (SO_4) mg/l	-		-	< 200
Sulfid (S) mg/l	< 0,1		< 0,05	< 0,02
Ammoniak (NH_3) mg/l	-		-	≤ 1

(Werte in Klammern sind Grenzwerte)

[2)] siehe 1.1

Das Heißwasser mit Temperaturen ≥ 100 °C soll von Heißwasser erzeugern stammen, deren Umwälzwasser der DIN EN 12953-10 bzw. den verbindlichen Regeln der VdTÜV (Merkblatt TECH 1466/1.2014) bzw. VGB (VGB-M 410N/1994) entsprechen. Bezugsquellen s. Seite 31. Das Warmwasser soll in der Umwälzwasser-Qualität der VDI-Richtlinie 2035 entsprechen.

Röntgenaufnahme einer Edelstahl-Schweißnaht mit Spannungsrisskorrosion.

Korrosion_04_DEF_MJ_0421

Zusammenfassende Betrachtungen zur Werkstoffwahl

Unlegierter Stahl:	Bei alkalischen, konstant sauerstoffarmen Heizmedien.Wenn die Sauerstoffarmut nicht zu gewährleisten ist, z. B. durch Belüftung beim Abstellen dampfbeheizter Wärmeübertrager, auf CrNiMo-Stahl oder SF-Cu bzw. CuNi-Legierung übergehen.
CrNiMo-Stahl:	Bei neutralen bis alkalischen Heizmedien, deren Chloridkonzentration < 200 mg/l liegen soll, weitgehend unabhängig von der Sauerstoff- und Sulfatkonzentration.
SF-Cu/CuNi:	Bei neutralen bis nicht zu alkalischen, schwach sauerstoffhaltigen Heizmedien, deren Sulfatkonzentration 200 mg/l nicht übersteigt. Die Werkstoffe sind gegen Sulfide (die z. T. bei Sulfitdosierung von selbst entstehen können) und höhere NH_3-Konzentrationen empfindlich. Chloride werden, besonders bei CuNi-Legierungen, relativ gut vertragen.

Kohlensäurekorrosion durch angestautes kohlensäurehaltiges Kondensat; Abzehrung am unlegierten Stahl beider Seitenäste und Ablagerung der Korrosionsprodukte in der Sammelleitung

Korrosion_04_DEF_MJ_0421

2. Kriterien zur Werkstoffwahl von Heizflächen für Baelz-Trinkwassererwärmer in Abhängigkeit von Trinkwasserqualität und Heizmedium

Voraussetzungen:

Trinkwasserqualität nach Trinkwasserverordnung (TrinkwV) bzw. Richtlinien des Rates 98/83/EG. Für Bezugsquellen und weitere relevante Normen und Richtlinien, siehe Seite 31.

Temperatur des erwärmten Trinkwassers: < 65 °C

Korrosionsschutz der vom Trinkwasser berührten Oberfläche (ohne Heizfläche):

- Stahl, korrosionsgeschützt durch Verzinkung (bei < 60 °C), organische Beschichtung oder Emaillierung.
- korrosionsbeständige Werkstoffe, z. B. 1.4571 bzw. korrosionsbeständig plattierter Stahl.

Hinsichtlich der Härte empfehlen wir unabhängig von den Werkstoffen eine Reduzierung der °dH-Werte.
Nachfolgende Richtwerte beziehen sich auf Trinkwasser.

2.1 Primär-Heizmedium: Wasser (< ca. 70 °C); Sekundärseite: Trinkwasser

a) Heizflächenwerkstoff Kupfer (SF-Cu) und Cu-Legierung

pH-Wert (25 °C):	6,5 - 8,5
Sulfat (SO4):	< 100mg/l
	< 200 mg/l bei CuNi30Fe

b) Heizflächenwerkstoff CrNiMo-Stahl (1.4571 oder besser)

Chlorid (Cl):	< 100 mg/l
	< 200 mg/l bei 1.4539

2.2 Primär-Heizmedium: Dampf; Sekundärseite: Trinkwasser

a) Heizflächenwerkstoff Kupfer (SF-Cu) und Cu-Legierung

pH-Wert (25 °C):	6,5 - 8,5
Sulfat (SO4):	< 100 mg/l
< 200 mg/l bei CuNi30Fe	

b) Heizflächenwerkstoff CrNiMo-Stahl (1.4571 oder besser)

Chlorid (Cl):	< 30 mg/l
	< 100 mg/l bei 1.4539

Anmerkungen:

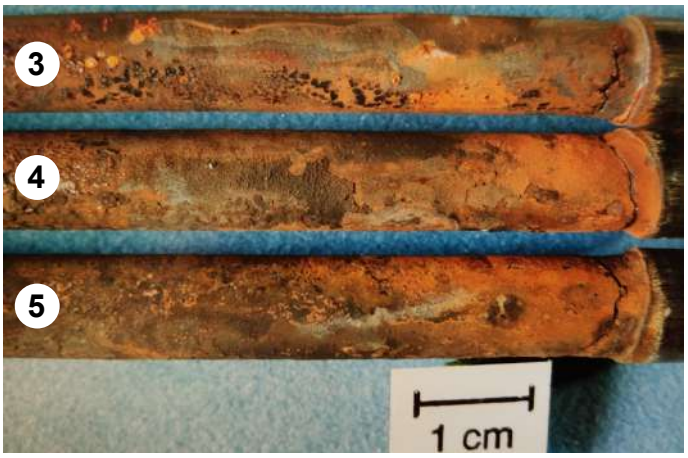
CrNiMo-Stähle (z. B. 1.4571) sind u. a. anfällig gegen chloridinduzierte Loch- und Spannungsrisskorrosion. Belagfrei (also bei enthärtetem Wasser) sind diese Werkstoffe auch bei einer zwei- und dreifachen Chloridkonzentration beständig. Probleme bereitet ein (immer poröser) Wassersteinbelag, weil sich u. a. Chlorid darunter auf ein Mehrfaches seiner ursprünglichen Konzentration im Trinkwasser anreichern und zu vorbeschriebenen Schäden führen kann. Eine belagarme Betriebsweise (z. B. durch Enthärtung/Teilenthärtung, Härtestabilisierung) ist daher anzustreben. Für Trinkwassererwärmer, die mit Warmwasser < 100 °C beheizt werden, sollten Chloridgehalte auf 75 mg/l für Werkstoff 1.4571 und 150 mg/l für 1.4539 begrenzt werden. In sulfat- und nitrathaltigen Wässern sind CrNiMo-Stähle relativ gut beständig. SF-Kupfer und vor allem CuNi30Fe zeigen kaum Schwächen bei chloridhaltigem Trinkwasser. Probleme bereiten eher Sulfate, weshalb bei hohen Sulfatkonzentrationen CuNi30Fe zu bevorzugen ist.

Lochkorrosion an der Schweißnaht eines Warmwasserspeichers aus Werkstoff 1.4541. Detailaufnahme mit sichtbaren Resten von nicht abgebeizten Oxyden vom Schweißen (Trinkwasser: 10 mg/l Chlorid (Cl), 70°C).

Rohre (St. 35.8), entnommen aus einem Wärmeübertrager, Dampf/ Wasser. Dampf um die Rohre. Ganz rechts sind die Einwalzenden ohne Abtragung.

Rohr 1 zeigt keine Schädigung.

Die Rohre 2-6 zeigen einen flächenhaften Abtrag, entstanden durch Erosionskorrosion unter ursächlicher Mitwirkung von Kohlensäure und Sauerstoff.



Die Rohre 3-5 zeigen einen Abtrag, gefolgt von Rissbildung.

Schließlich das Schadensbild bei Rohr 6: Lochförmiger Durchbruch.

Korrosion_04_DEF_MJ_0421

Schliffbild: Transkristalline, chloridinduzierte Spannungsrisskorrosion an nichtrostendem Stahl

Transkristalline, chloridinduzierte Spannungsrisskorrosion an nichtrostendem Stahl - stärker vergrößert als Bild oben

2.3 Trinkwasserverordnung und Legionellen

Die geltende Trinkwasserverordnung (TrinkwV) enthält Regelungen in Bezug auf Legionellen-untersuchungen in Trinkwassererwärmungsanlagen der Trinkwasser-Installation.
Von der Untersuchungspflicht auf Legionellen betroffen sind Unternehmer oder sonstige Inhaber einer Trinkwasser-Installation,

- in der Trinkwasser im Rahmen einer öffentlichen (z. B. in Kindergärten) oder gewerblichen (z. B. bei Vermietung von Wohnungen) Tätigkeit abgegeben wird und
- die eine Großanlage zur Trinkwassererwärmung enthält und
- die Duschen oder andere Einrichtungen enthalten, in denen es zu einer Vernebelung des Trinkwassers kommt (also nicht das Handwaschbecken in der Toilette des Restaurants).

Quelle/weitere Informationen: https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/begriffe-von-a-z/t/trinkwasser/trinkwasserverordnung-und-legionellen.html
Siehe auch Literaturverzeichnis, Seite 31

3. Kriterien zur Werkstoffwahl von Heizflächen für Baelz-Schwimmbadwasser-Erwärmer in Abhängigkeit von Schwimmbadwasserqualität und Heizmedium

Voraussetzungen:

Schwimmbadwasserqualität nach DIN 19643 in der aktuellen Fassung. Für Bezugsquellen und weitere relevante Normen und Richtlinien, siehe Seite 31.

Temperatur des Badewassers am Austritt des Wärmeübertragers:
< 40 °C (in Ausnahmefällen bis 50 °C)

Korrosionsschutz der vom Badewasser berührten Oberfläche (ohne Heizfläche):

- Stahl, korrosionsgeschützt durch organische Beschichtung oder Emaillierung.
- korrosionsbeständige Werkstoffe, z. B. 1.4571 bzw. korrosionsbeständig plattierter Stahl.

3.1 Primär-Heizmedium: Wasser

Heizflächenwerkstoff CrNiMo-Stahl (1.4571 oder besser)

Chlorid (Cl):	< 150 mg/l < 500 mg/l bei 1.4439/1.4539

3.2 Primär-Heizmedium: Dampf

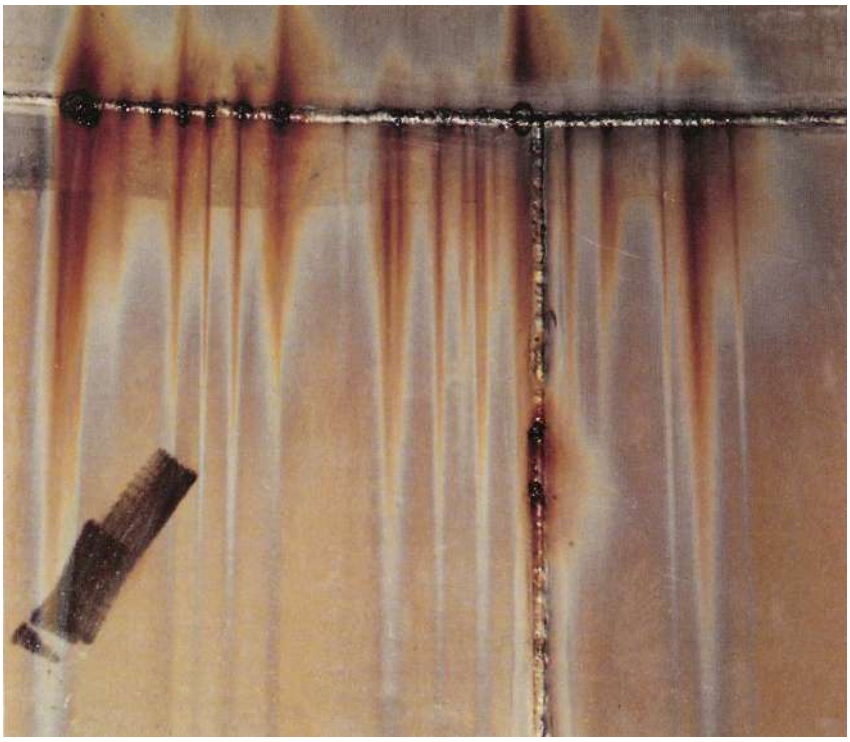
Heizflächenwerkstoff CrNiMo-Stahl (1.4571 oder besser)

Chlorid (Cl):	< 100 mg/l < 300 mg/l bei 1.4439/1.4539

Anmerkungen:

Bei diesen Grenzwerten wird davon ausgegangen, dass das Schwimmbadwasser teilenthärtet ist, d. h. eine Carbonathärte < 2 mmol/l (entspr. < 11 °dH) aufweist und damit bei Wassertemperaturen am Austritt des Wärmeübertragers von < 40 °C kaum zur Belagbildung neigt.
Während bei Primärheizmedium Wasser der Werkstoff 1.4571 verwendbar ist, sollte bei der Beheizung durch Dampf auf Werkstoffe mit 4 - 5% Mo (1.4439, 1.4539) übergegangen werden, was auch für Wasseraustrittstemperaturen bis ca. 50°C gilt.
Die Beheizung durch Dampf sollte bei der Schwimmbadwasser-Erwärmung möglichst vermieden werden.

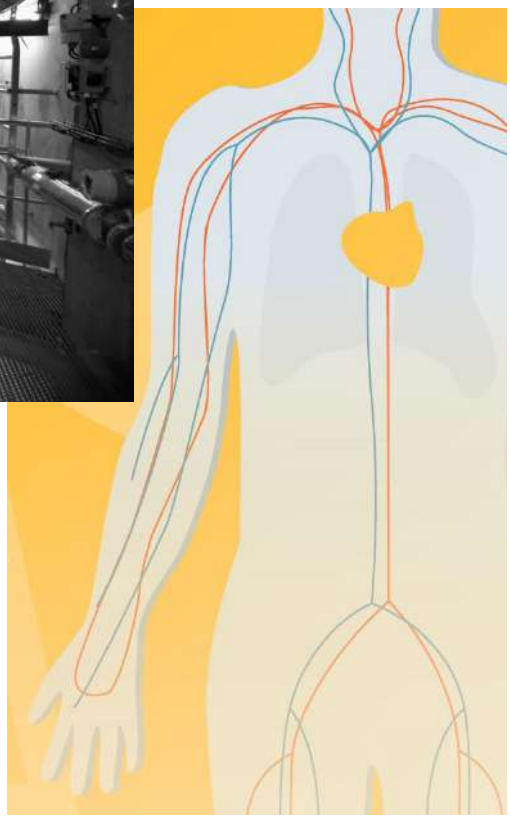
Speicher für erwärmtes Trinkwasser aus nichtrostendem Stahl 1.4541. Lochkorrosion infolge mangelhafte Schweißnähte (Porenbildung), unzulänglicher Beizung sowie Passivierung der Schweißnaht.



Die Natur als Vorbild für Mess, Regel und Wärmetechnik

Komplette Kreislaufsysteme von Baelz: *Dampferzeuger, Wärmeübertrager, Messwertgeber, geregelte Strahlpumpen und Ventile sowie Baelz-Leittechnik mit oder ohne Anbindung an eine Gebäudeautomation.*

Ganzheitsmethode im Energienetz von der Energiequelle bis zu den Verbrauchsflächen und zurück. Das Ganze sehen, das Einzelne nicht übersehen; das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.



Korrosion_04_DEF_MJ_0421

4. Wasserchemische Anforderungen an die Sekundärwasser-Qualität für Baelz-Heizungswasser-Erwärmer in Abhängigkeit vom Heizflächenwerkstoff

Voraussetzungen:

Sekundär-Heizungswasser

Für die Heizungssysteme aus gewöhnlichem Stahl wird die Einhaltung der Qualitätsanforderungen an das Füll-, Ergänzungs-und Kreislaufwasser des VdTÜV-Merkblatts TECH 1466 [1)], Ausgabe 1.2014 sowie der VDI 2035 Blatt 1 und 2, vorausgesetzt. Für verschiedene Werkstoffe sind zusätzliche Anforderungen zu stellen oder Abweichungen (siehe Grenzwerte) möglich. Diese Abweichungen berücksichtigen primär den Heizflächenwerkstoff des Wärmeübertragers. Werden Grenzwerte ausgenutzt, müssen auch deren Auswirkungen auf die gesamten heizwasserberührten Oberflächen des Systems betrachtet werden.
Bei der üblicherweise existenten Mischinstallation der nachfolgenden Werkstoffe in Heizungssystemen ist in der Regel der gemeinsame Bereich innerhalb der jeweiligen Normalwerte einzuhalten. Bei pH-Werten < 8,5, Leitfähigkeit > 2000 pS/cm und Sauerstoffkonzentrationen > 0,1 mg/l ist ungeschützter Normalstahl nicht mehr ausreichend korrosionsbeständig.

Primär-Heizmedium Wasser und Dampf (Heißöl)

Bei Heizmitteltemperaturen < 150°C können die genannten Grenzwerte ausgenutzt werden. Bei Temperaturen >150°C sind wegen der Richtung des Wärmeflusses (Aufkonzentration z. B. in Spalten) die genannten Normalwerte einzuhalten. Die salzarme Betriebsweise mit einer el. Leitfähigkeit < 100 pS/cm ist generell zu bevorzugen.

a) Heizflächenwerkstoff Stahl (St. 35.8 o. ä.)

	Normalwerte		Grenzwerte
pH-Werte bei 25 °C	9 - 10,5		(8,5 - 11,5)
el. Leitfähigkeit bei 25 °C µS/cm	< 100	< 1500	(< 2000)
Sauerstoff (O_2) mg/l	≤ 0,05	≤ 0,02	-
Carbonathärte (Ca + Mg) mmol/l	≤ 0,5	< 1	(< 2)

Korrosion_04_DEF_MJ_0421

[1)] Bezugsquellen und weitere relevante Normen und Richtlinien, siehe Seite 31.

b) Heizflächenwerkstoff CrNiMo-Stahl (1.4571 oder besser)

	Normalwerte	Grenzwerte
pH-Werte bei 25 °C	9 - 10,5	(7,5 - 11)
el. Leitfähigkeit bei 25 °C µS/cm	< 1000	(< 1500)
Chlorid (Cl) mg/l	< 100 bei 1.4571 < 200 bei 1.4438 < 300 bei 1.4539	(< 100) (< 200) (< 300)
Carbonathärte (Ca + Mg) mmol/l	≤ 0,05	(< 1) [1)]

[1)] nur wenn die werkstoffbezogenen Chloridgrenzen bis zu 50% ausgenutzt werden und der Normal-pH-Wert eingehalten wird

c) Heizflächenwerkstoff SF-Kupfer oder CuNi-Legierung

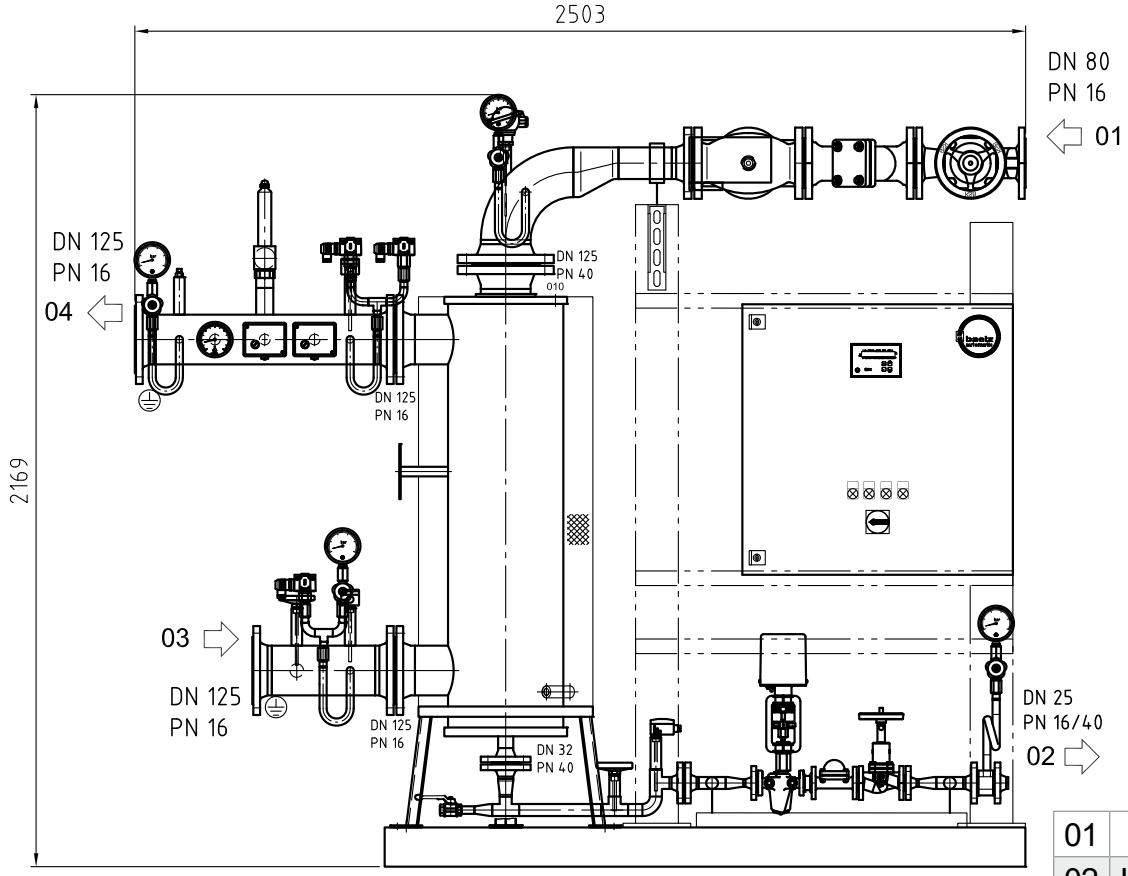
	Normalwerte	Grenzwerte
pH-Werte bei 25 °C	8,5 - 9	(8,0 - 9,3)
el. Leitfähigkeit bei 25 °C µS/cm	< 1000	(< 1500)
Sauerstoff (O_2) mg/l	≤ 0,05	(< 0,1)
Sulfat (SO_4) mg/l	< 200	(< 200)
Sulfid (S) mg/l	< 0,02	(< 0,1)
Ammoniak (NH_3) mg/l	< 1	(< 1,5)
Carbonathärte (Ca + Mg) [1)] mmol/l	≤ 1	(< 2)

Zusammenfassende Betrachtungen zur Werkstoffwahl:

Wie für Primär-Heizmedium Heißwasser/Warmwasser auf Seite 7

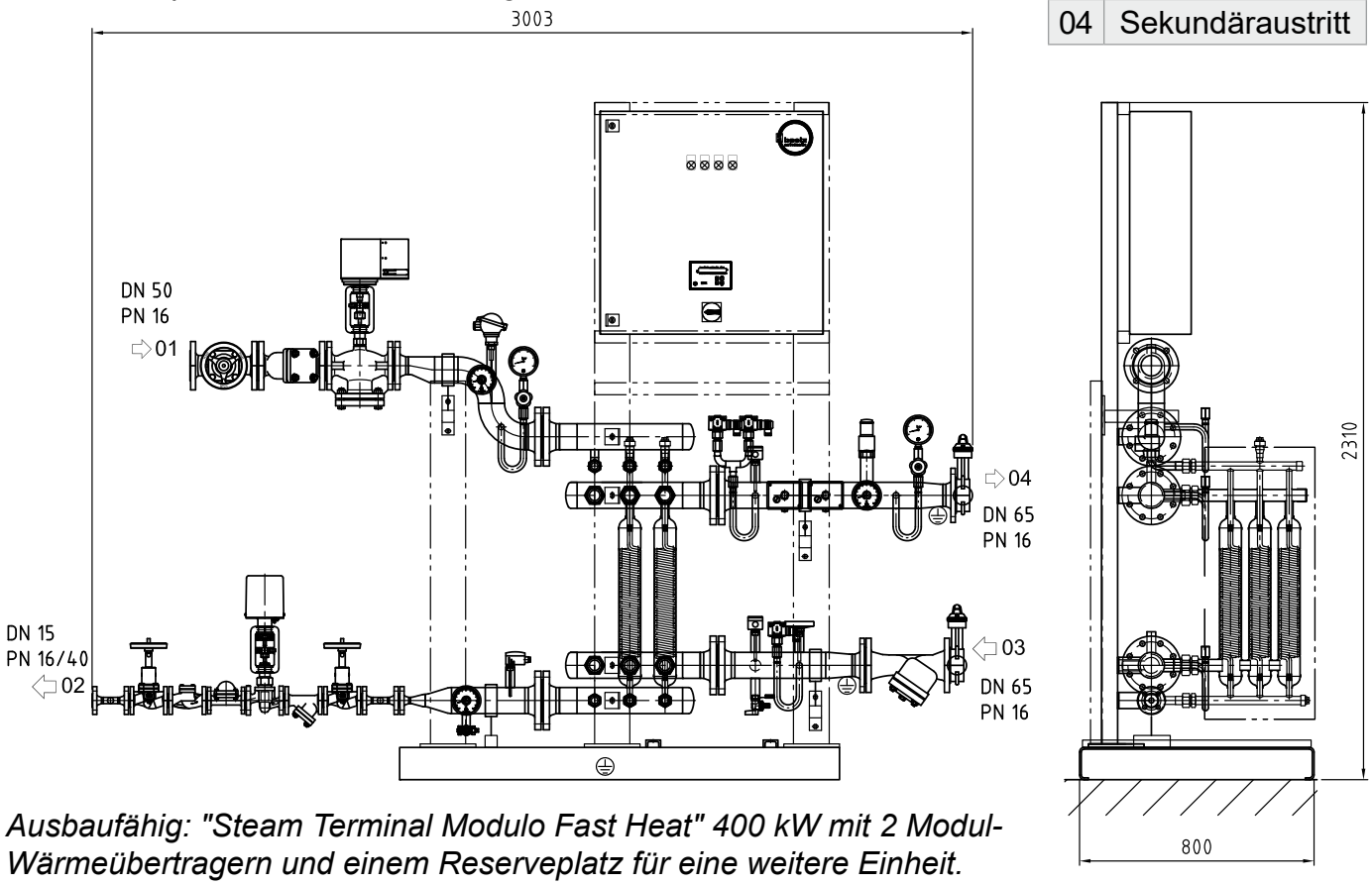
Korrosion_04_DEF_MJ_0421

Baelz Kompaktstationen verbinden Innovation mit jahrzehntelanger Erfahrung. Geschlossene Systeme mit kondensatseitiger Regelung, kundenspezifisch geliefert.



01	Dampfeintritt
02	Kondensataustritt
03	Sekundäreintritt
04	Sekundäraustritt

Leistungsfähig: "Steam Terminal Luxese Instant Heat" bis 2000 kW mit einem Spiralrohr-Wärmeübertrager.



Ausbaufähig: "Steam Terminal Modulo Fast Heat" 400 kW mit 2 Modul-Wärmeübertragern und einem Reserveplatz für eine weitere Einheit.

Korrosion_04_DEF_MJ_0421

4.1 Sauerstoffzutritt bei offenen Anlagen

Offene Anlagen sind gekennzeichnet durch ein hochliegendes Ausdehnungsgefäß mit offener Verbindung zur umgebenden Atmosphäre. Wenn das offene Ausdehnungsgefäß so angeschlossen ist, dass eine nennenswerte Zirkulation des Heizungswassers durch das Gefäß hindurch möglich ist, kommt es zu einer ständigen Sauerstoffaufnahme und infolgedessen zu starker Korrosion. Ohne ständige Zirkulation durch das Gefäß liegt auch bei offenen Anlagen keine nennenswerte Korrosionsgefährdung für das Heiznetz, wohl aber für das Ausdehnungsgefäß vor. Wenn die Verbindung zwischen Sicherheitsvorlauf- und Sicherheitsrücklaufleitung unterhalb des Gefäßes mit einer Drosseleinrichtung vorgenommen wird, ist der Sauerstoffzutritt, der bei Anschluss des Ausdehnungsgefäßes entsprechend den Empfehlungen in der VDE-Richtlinie 2035 erfolgt, zu gering, um Korrosionsschäden auszulösen.

4.2 Sauerstoffzutritt bei geschlossenen Anlagen

Bei den heute überwiegend mit Membran-Druckausdehnungsgefäßen abgesicherten geschlossenen Anlagen ist Sauerstoffzutritt nur möglich, wenn in der Anlage Unterdruck auftritt. Bei richtig ausgelegten und betriebenen Heizungsanlagen mit richtig gewartetem Ausdehnungsgefäß ist dies nicht zu erwarten.

Wenn das Druckausdehnungsgefäß zu klein bemessen ist oder mit falschem Vordruck in Betrieb genommen wird, wird der Ansprechdruck am Sicherheitsventil erreicht (und damit Heizungswasser abgeblasen), ohne dass das beim Aufheizen durch die Wärmeausdehnung anfallende Wasser vollständig aufgenommen werden kann. Beim Abkühlen kann nicht genug Wasser vom Gefäß nachgespeist werden. Folglich tritt im höchstgelegenen Bereich der Anlage Unterdruck auf, der dann z. B. an Stopfbuchsen von Ventilen zum Einsaugen von Luft führt. Bei Anlagen mit täglicher Nachtabsenkung der Temperatur und automatischen Entlüftungsarmaturen kann die dann täglich in das Heizungswasser gelangende Sauerstoffmenge ausreichen, um Korrosionsschäden zu verursachen.
Des weiteren kann bei hohen Wassergeschwindigkeiten durch Injektorwirkung z. B. an Armaturen Luft eingesaugt werden.

Bitte beachten Sie auch die technischen Hinweise ab Seite 26

4.3 Sauerstoffzutritt über gasdurchlässige Bauteile

Bei Anlagen mit nicht "sauerstoffdichten" Kunststoffrohren müssen korrosionsbeständigere Werkstoffe wie z. B. nichtrostender Stahl für Wärmeübertrager, Kupfer für Rohrleitungen, Rotguss für Armaturen und Pumpen und Rotguss oder Kunststoff für die Verteiler verwendet werden. Bei größeren Anlagen, bei denen neben den Kunststoffrohren auch Stahlradiatoren zum Einsatz kommen, bietet sich als langfristig beste Lösung die Trennung in zwei Kreise mit einem zusätzlichen Wärmeübertrager an. Der Einsatz der korrosionsbeständigeren Werkstoffe ist dann nur in dem Kreis mit den Kunststoffrohren, für den Verteiler, eine Umwälzpumpe, ein Ausdehnungsgefäß und den Wärmeübertrager einschließlich der Leitungen von und zu den Verteilern erforderlich. Im geschlossenen Kreis auf der anderen Seite des zusätzlichen Wärmeübertragers können hingegen für die Rohre, Pumpen und vor allem für den primären Wärmeübertrager unlegierte Eisenwerkstoffe verwendet werden.

Bei Zugabe von Chemikalien zum Wasser als Korrosionsschutz sollte die Sauerstoffbindung bevorzugt werden. Auch die Zugabe von Inhibitoren ist möglich, kann aber wegen der damit verbundenen Probleme nicht uneingeschränkt empfohlen werden.

Korrosion_04_DEF_MJ_0421

Sauerstoffbindung und Korrosionsinhibierung sind durch regelmäßige Messungen zu kontrollieren.

In Warmwasserheizungen können z. B. gasdurchlässige Bauteile in Form von Fußbodenheizungssystemen und Heizkörperanbindeleitungen aus Kunststoff (z. B. aus VPE, PP, PB) sowie metallarmierte Gummischläuche bei Induktionsklimageräten eingebaut sein. Wenn es sich bei den Fußbodenheizungssystemen um sogennante "sauerstoffdichte" Rohre nach DIN 4726 handelt, besteht bei normalen Betriebsverhältnissen kein Korrosionsproblem für unlegierten Stahl. Bei nicht "sauerstoffdichten" Rohren kann jedoch soviel Luftsauerstoff durch die Kunststoffwandungen diffundieren, dass ein konstanter Sauerstoffeintrag zur Korrosion und damit zur Korrosionsproduktbildung führt und durch beide Faktoren Schäden an Heizungsanlagen entstehen.

Für "sauerstoffdichte" Fußbodenheizrohre aus Kunststoffen nach DIN 4726, die bei 40 °C eine tägliche Sauerstoff permeationsrate von < 0,1 mg/l (entsprechend einem täglichen Sauerstoffeintrag von etwa 1 mg je 100 m Rohr) aufweisen müssen, stellen Händler und/oder Hersteller Zertifikate bzw. Prüfungszeugnisse aus.

5. Wasserchemische Anforderungen an die Qualität des Kesselspeise- und Kesselwassers für Dampferzeuger

Allgemeine Hinweise zur Beschaffenheit des Kesselspeise- und Kesselwassers sowie zur Korrosion

Speisewasser und Kesselwasser (Dampferzeugerwasser) müssen bestimmte Anforderungen erfüllen, um Dampferzeuger frei von Ablagerungen auf den Heizflächen und von Korrosion zu halten. Einfluss auf diese Anforderungen nehmen in der Regel die folgenden Faktoren:

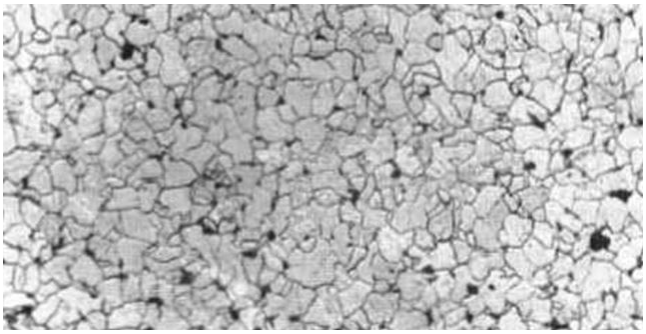
- Bauart und Werkstoffe
- Betriebsüberdruck und Temperatur
- Betriebsbedingungen.

Für Dampferzeugeranlagen gelten die Vorschriften der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV).

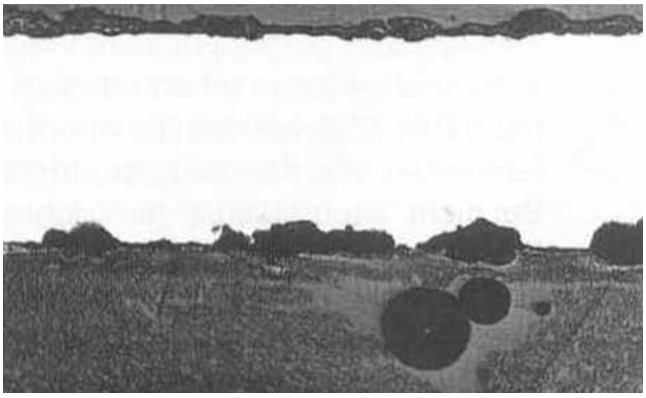
Die DIN EN 12953-10 (2003) behandelt die Anforderungen an die Speisewasser- und Kesselwasserqualität für Großwasserraumkessel.

Für Bezugsquellen und weitere relevante Normen und Richtlinien, siehe Seite 31.

In der Norm sind die Mindestanforderungen für die spezifischen Wasserarten zur Reduzierung des Korrosionsrisikos, der Schlammausscheidung oder Bildung von Ablagerungen festgelegt, die zu Schäden, Aufreißen oder anderen Betriebsproblemen führen können.



Rohrgefüge am Querschliff, V= 200:1, ferritisch-perlitisch; typisch für unlegierte Stähle, St. 35.8 nach DIN EN 10216-2.



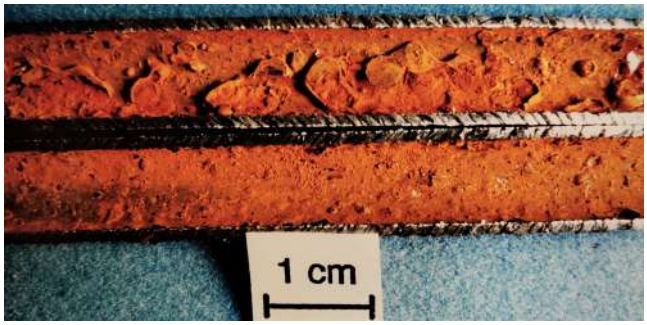
Rohrinnenfläche (Heizungswasserseite), Längsschliff, V= 32:1. Rohroberfläche mit einer dicken Deckschicht, darunter lokale Korrosion von 0,09 - 0,34 mm Tiefe.

Korrosion_04_DEF_MJ_0421

Rohr (St. 35.8) aus einem Wärmeübertrager (Dampf um die Rohre). Die Deckschicht besteht zu vergleichbaren Teilen aus Magnetit (Fe3O4) und Hämatit (F2O3), wobei sich Hämatit bevorzugt an lokalen Korrosionsstellen gebildet hat.

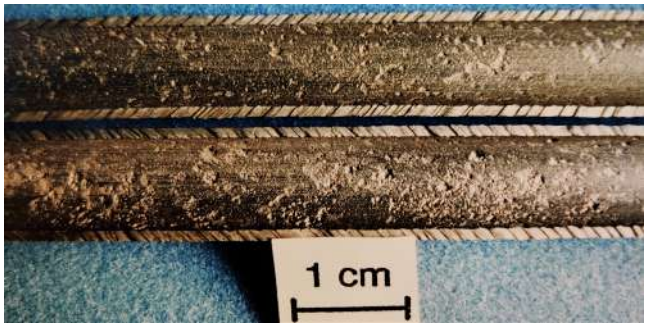
Starke chemische Komponente der Erosions-Korrosion. Beweis für Kohlendioxid und Sauerstoff im Heizdampf. Der Sauerstoff resultiert aus einer unvollständigen Entgasung des Speisewassers. Beim Anwender war kein "Rieseler" oder "thermischer Entgaser" in Betrieb; letzterer ist besonders wichtig, um das bei der Hydrogencarbonatspaltung entstehende Kohlendioxid auszutreiben.

Rohrstück im Längsschliff, V= 300:1.
Im polarisierten Licht erscheint Hämatit rot, Magnetit grau.



Rohrinnenfläche (Heizungswasserseite)

In diesem Schadensfall wurden die Rohre von außen und von innen durch Korrosion zerstört, ohne Zusammenhang.
Primär- und sekundärseitig war die Qualität der Medien nicht untersucht worden, obwohl wir dies vorher dringend und schriftlich empfohlen hatten.



Rohrinnenfläche, in unterer Abbildung gebeizt. Der "Krebs des Metalls", die Korrosion, ist im Stahl St. 35.8 in Form von Narben sichtbar.

Für Baelz-Dampferzeuger aus un- oder niedrig legiertem Stahl sind die Richtwerte der folgenden Tabelle 5.1 verbindlich, wenn keine bessere Dampfqualität als für Heizzwecke erreicht werden soll. Sie lehnen sich eng an die VdTÜV-Richtlinien an.

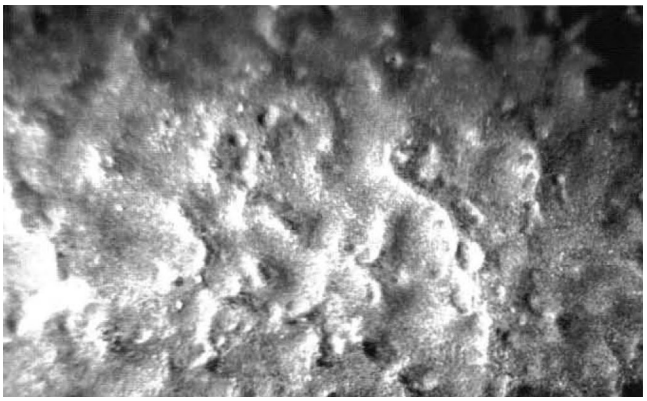
Für Baelz-Dampferzeuger mit Heizbündel aus Kupfer oder Kupfer-Nickel gelten die Richtwerte der Tabelle im Abschnitt .

Für Baelz-Dampferzeuger aus nichtrostendem austenitischem Stahl (z. B. V2A = 1.4541; V4A = 1.4571) und Dampferzeuger mit Heizbündeln aus diesen Materialien gelten die Richtwerte der Tabellen im Abschnitt .

Die Richtwerte der Tabellen unter - wurden mit dem TÜV Süd erarbeitet. Sie sind angelehnt an Richtwerte, die im Handbuch der Kesselbetriebstechnik (Ausgabe Dez. 2009) veröffentlicht wurden.

Baelz empfiehlt nachdrücklich die tägliche Untersuchung der wichtigsten Parameter des Speise- und Kesselwassers sowie deren Dokumentation in einem Wasserqualitätsprotokoll. Als Muster kann die Tabelle auf der Seite 28 dienen.

Zur Einhaltung der Richtwerte ist die Dosierung entsprechender Konditionierungs-Chemikalien und eine ausreichende Absalzung erforderlich. Selbst bei der Verwendung von voll entsalztem Speisewasser wird für die Dampferzeuger eine Mindest-Absalzmenge von 1% der Speisewassermenge empfohlen.



Rohr 10x1 mm, Stahl St. 35.8, Oberfläche gebeizt, V= 17:1. Narben und Abtragungen durch Erosions-Korrosion

Korrosion_04_DEF_MJ_0421

5.1 Richtwerte für Dampferzeuger mit stehenden oder liegenden Rohrbündeln aus Stahl (Behälter ebenfalls Stahl)

für Kesselspeisewasser	
Aussehen	möglichst farblos, klar, ohne Bodensatz
pH-Wert bei 25 °C	9,0-9,5
$K_{S\ 8,2}$ (p-Wert)	0,1-0,3 mmol/l
$K_{S\ 4,3}$ (m-Wert)	< 0,6 mmol/l
Erdalkalien (Härte)	< 0,02 mmol/l (< 0,11 °dH)
Sauerstoff (O_2)	< 0,02 mg/l (durch thermische Entgasung und/oder Sauerstoffbindemittel sicherzustellen)

für Wasser im Dampferzeuger/Kesselwasser	
Aussehen	möglichst farblos, klar, ohne Bodensatz
pH-Wert bei 25 °C	10,0-11,5
$K_{S\ 8,2}$ (p-Wert)	0,5-3,0 mmol/l
el. Leitfähigkeit bei 25°C	< 2500 µS/cm
Erdalkalien (Härte)	< 0,02 mmol/l (< 0,11 °dH)
Phosphat (PO_4)	< 15 mg/l

5.2 Richtwerte für Dampferzeuger mit stehenden oder liegenden Heizbündeln aus Kupfer oder Kupfernickel (Behälter Stahl)

für Kesselspeisewasser	
Aussehen	möglichst farblos, klar, ohne Bodensatz
pH-Wert bei 25 °C	8,0-9,0
$K_{S\ 8,2}$ (p-Wert)	0,05-0,3 mmol/l
$K_{S\ 4,3}$ (m-Wert)	< 0,8 mmol/l
Erdalkalien (Härte)	< 0,02 mmol/l (< 0,11 °dH)
Ammoniak (NH_3)	< 10 mg/l
Sauerstoff (O_2)	< 0,1 mg/l (durch thermische Entgasung und/oder Sauerstoffbindemittel sicherzustellen)

für Wasser im Dampferzeuger/Kesselwasser	
Aussehen	möglichst farblos, klar, ohne Bodensatz
pH-Wert bei 25 °C	8,5-10,5
$K_{S\ 8,2}$ (p-Wert)	0,2-1,0 mmol/l
el. Leitfähigkeit bei 25°C	< 2000 µS/cm
Erdalkalien (Härte)	< 0,02 mmol/l (< 0,11 °dH)
Ammoniak (NH_3)	< 10 mg/l (Anwesenheit Sauerstoff) < 30 mg/l (Abwesenheit Sauerstoff)
Phosphat (PO_4)	5-10 mg/l
Chlorid (Cl)	< 40-200 mg/l

5.3 Richtwerte für Dampferzeuger mit stehenden oder liegenden Heizbündeln und aus nichtrostendem Stahl (1.4571 oder besser), Mantel aus Stahl oder nichtrostendem Stahl

Für Dampferzeuger aus nichtrostendem Stahl ist die Verwendung von salzarmem Speisewasser notwendig. Wenn nicht ausreichend Kondensat zur Verfügung steht, ist zur Zusatzwasseraufbereitung eine Entsalzungsanlage mit Ionenaustauschern oder eine Umkehrosmoseanlage erforderlich.

für Kesselspeisewasser	
Aussehen	möglichst farblos, klar, ohne Bodensatz
pH-Wert bei 25 °C	7,5-9,0
$K_{S\ 8,2}$ (p-Wert)	0,05 mmol/l
el. Leitfähigkeit bei 25°C	< 20 µS/cm
Erdalkalien (Härte)	< 0,01 mmol/l (< 0,05 °dH)
Sauerstoff (O_2)	< 0,1 mg/l (bei Mantel aus St 35.8)

für Wasser im Dampferzeuger/Kesselwasser	
Aussehen	möglichst farblos, klar, ohne Bodensatz
pH-Wert bei 25 °C	9,5-11,0
$K_{S\ 8,2}$ (p-Wert)	0,1-1,0 mmol/l
el. Leitfähigkeit bei 25°C	< 250 µS/cm
Chlorid (Cl)	< 30 mg/l
Erdalkalien (Härte)	< 0,01 mmol/l (< 0,11 °dH)
Kieselsäure (SiO_2)	< 10 mg/l
Phosphat (PO_4)	5-10 mg/l

▲ *Spannungsrisskorrosion, chloridinduziert an Distanz- bzw. Halteblechen (aus nichtrostendem Stahl 1.4571) eines Dampferzeuger-Heizbündels*

◄ *Erosionskorrosion von unlegiertem Stahl an einem Dampfventil als Folge der Verwendung eines Absperrventils als Regelventil*

Korrosion_04_DEF_MJ_0421

6. Kavitation

Der Mensch macht sich das Phänomen der Kavitation immer häufiger zunutze, etwa um Milch zu homogenisieren, um Nierensteine zu zertrümmern oder zur industriellen Reinigung. Doch die ungestüme Kraft der Dampfbläschen ist nicht überall erwünscht.

Kavitation tritt in Wasser-/Dampfsystemen auf, wenn der Betriebsdruck eines Mediums unter dessen Dampfdruck sinkt und sich in kürzester Zeit Dampfblasen und dampfgefüllte Hohlräume in der Flüssigkeit bilden und wieder zusammenfallen. Diese Implosionen erzeugen intensive Schockwellen, die in einem System mechanische Schäden, Lärm und Vibrationen verursachen. Kavitation (lateinisch cavitare "aushöhlen") kommt unter entsprechenden Bedingungen zum Beispiel in folgenden Bereichen vor:

- Beim Pumpeneintritt, besonders wenn im Bereich der erforderlichen Ansaughöhe* der Pumpe gearbeitet wird (*NPSHR = net positive suction head required))
- Beim Austritt eines Ventils, besonders beim Betrieb mit einem fast geschlossenen Ventil.
- Bei anderen geometrisch kritischen Durchflussbereichen wie Bögen und Rohrerweiterungen.
- Bei Prozessen mit großen Druckabfällen, wo sich das Arbeitsmedium plötzlich ausdehnt

Kavitationserosion in einer Rohrleitung
Hier befand sich wegen eines fehlerhaften Kondensatableiters eine Mischung aus Dampf und Kondensat in der Leitung. Die Dampfbläschen im Kondensat implodierten. Das Ergebnis: Kavitationserosion, besonders ausgeprägt an der Schweißnaht.

6.1 Kavitation vorbeugen

Allgemein kann Kavitation vermieden werden in dem der Unterschied zwischen dem tatsächlichen örtlichen statischen Druck im Medium und dem Dampfdruck des Mediums bei der gegebenen Arbeitstemperatur vergrößert wird.

Komponenten so wählen, dass Kavitation nicht entstehen kann: Bei hohen Differenzdrücken bietet zum Beispiel ein Lochscheibenpaket vor oder nach einer Strahlpumpe bzw. einem Ventil Schutz vor Kavitation. Auch gibt es Pumpen, die eigens für das Arbeiten mit Medien konzipiert sind, die nah an der Verdampfungstemperatur liegen.

Mit höheren Systemdrücken arbeiten: Ist der Unterschied zwischen Systemdruck und Dampfdruck des Mediums hoch genug, kommen Verdampfung und Kavitation nicht mehr vor. Technisch bedingt ist es nicht immer möglich, den statischen Systemdruck zu erhöhen. Der statische Druck in Einzelkomponenten wird erhöht, indem diese möglichst weit unten eingebaut werden. Regelventile und Pumpen sollten nach Möglichkeit am tiefsten Punkt eines Systems liegen, um einen möglichst hohen statischen Druck zu erzielen.

Die Temperatur des Mediums reduzieren: Der Dampfdruck eines Mediums ist temperaturabhängig und steigt mit zunehmender Temperatur rapide an. Je höher die Temperatur, desto höher muss der Druck sein, um ein Sieden des Mediums und eine daraus resultierende Kavitation zu verhindern. Kavitation lässt sich also zum Beispiel vermeiden, indem Komponenten wie Pumpen und Regelventile in die "kalten" Rücklaufleitungen vor Wärmeübertragern platziert werden. Die folgende Tabelle zeigt Dampfdrücke für Wasser.

Temperatur °C	Dampfdruck mbar
0	6,1
10	12,3
20	23,4
30	42,4
40	73,7
50	123
60	199
70	311
80	473
90	701
97,92	940
100	1013
150	4760
200	15,5 bar
250	39,7 bar
300	85,8 bar
350	165,0 bar
374,12	221,2 bar

Mit zunehmender Temperatur nähern sich die Eigenschaften von flüssigem und gasförmigem Wasser immer mehr aneinander an. Bei 374,12 °C ("kritische Temperatur") haben sich die Eigenschaften vollkommen aneinander angeglichen, so dass es keinerlei Unterschied mehr zwischen flüssigem und gasförmigem Wasser gibt. Folglich kann oberhalb dieser Temperatur weder ein Sieden noch ein Kondensieren stattfinden.
Aus den Dampfdruckdaten ist ersichtlich, wieviel Druck mindestens erforderlich ist, um Wasserdampf bei einer gegebenen Temperatur zu verflüssigen (zu kondensieren) oder umgekehrt, bei welcher Temperatur Wasser bei einem gegebenen Druck siedet.
Quelle Tabellendaten und Erläuterung:
http://www.wissenschaft-technik-ethik.de/wasser_dampfdruck.html)

Eine durchdachte Lösung, die Kavitation vorbeugt, ist immer die beste Option!

Weitere Informationen zum Thema Kavitation:

http://www.bosy-online.de/Kavitation.htm
https://www.youtube.com/watch?v=e0xCic33pD4

Korrosion_04_DEF_MJ_0421

7. Technische Hinweise

7.1 Einstellung der Druckverhältnisse in Anlagen mit Ausdehnungsgefäß

Für die Berechnung der erforderlichen Größe des Ausdehnungsgefäßes ist zunächst der Wasserinhalt der Anlage zu ermitteln.
Aus der Differenz zwischen der maximalen Betriebstemperatur und der Temperatur des Füllwassers errechnet sich das zusätzliche Wasservolumen, das durch Erwärmung entstehen kann und vom Ausdehnungsgefäß aufgenommen werden muss.
Aus der Tabelle geht hervor, welche Zunahme beim Aufheizen eines Füllwassers von 10 °C auf die angegebene Temperatur einkalkuliert werden muss.
Zu der so errechneten Wassermenge wird zweckmäßigerweise noch eine Wasservorlage zur Deckung von Wasserverlusten (z. B. durch kleinere Leckagen) addiert.

Temperatur °C	Volumenzunahme %
40	0,75
50	1,17
60	1,67
70	2,24
80	2,86
90	3,55

Aus der Gesamtwassermenge V_{Wasser}, die vom Ausdehnungsgefäß aufgenommen werden soll, ergibt sich die erforderliche Größe des Ausdehnungsgefäßes V_0 nach

$$V_0 = V_{Wasser} \frac{p_1 + 1}{p_1 + p_0}$$

p_1 ist der maximale Arbeitsdruck der Anlage in bar, der 0,5 bar unter dem Ansprechdruck des Sicherheitsventils liegt. p_0 ist der am Ausdehnungsgefäß einzustellende Vordruck in bar, der gleich groß sein soll wie der statische Druck in der Anlage.
Bei der Inbetriebnahme von Anlagen mit Druckausdehnungsgefäßen ist es wichtig, zunächst den Vordruck des Gefäßes auf den statischen Druck der Anlage einzustellen. Dies kann z. B. mit Hilfe eines Kfz-Reifendruckprüfers geschehen. Bei zu geringem Druck muss mit einer geeigneten Armatur Stickstoff nachgefüllt werden. Nur bei Anpassung des Vordruckes an den statischen Druck ist sichergestellt, dass das Druckausdehnungsgefäß sein maximales Füllvolumen aufnehmen kann.
Bei zu hohem Vordruck nimmt das Gefäß weniger Wasser auf, weil der Ansprechdruck des Sicherheitsventils früher erreicht wird. Bei zu niedrigem Vordruck ist es schon bei Anliegen des statischen Druckes zum Teil mit Wasser gefüllt, das jedoch nicht wieder in die Anlage eingespeist werden kann.
Die einfachste Methode, das Ausdehnungsgefäß optimal zu befüllen und damit die größte Sicherheit gegen Unterdrück zu erzielen, besteht darin, die Anlage nach einem ersten Befüllen und Entlüften bis zum Ansprechen des Sicherheitsventils aufzufüllen und dann auf die maximale Betriebstemperatur aufzuheizen. Hierbei wird weiterhin Wasser am Sicherheitsventil austreten. Nach Erreichen der maximalen Betriebstemperatur ist das Ausdehnungsgefäß optimal befüllt.

Die wichtigste Wartungsmaßnahme besteht darin, in regelmäßigen Zeitabständen die Druckverhältnisse in der Anlage zu überprüfen und gegebenenfalls Wasser nachzufüllen. So lässt sich vermeiden, dass bei Temperatur-Nachtabsenkung in der Anlage Unterdrück auftreten kann. Der bei den üblichen Wasserverlusten auf diese Weise mit dem Füllwasser in die Anlage gelangende Sauerstoff ist erfahrungsgemäß kein Risikofaktor für Korrosion.
Nicht ausreichend beachtet wird häufig der Sachverhalt, dass der Vordruck im Ausdehnungsgefäß im Laufe der Betriebszeit absinkt, weil durch die Gummimembran hindurch Gas in das Heizungswasser diffundiert. Deshalb muss der Vordruck im Gefäß im Rahmen der jährlichen Wartung kontrolliert und gegebenenfalls durch Nachfüllen von Stickstoff erneut dem statischen Druck angeglichen werden.
Wenn dies nicht geschieht, kann das Gefäß nach einiger Zeit seine Funktion nicht mehr uneingeschränkt erfüllen.
Der Vordruck im Druckausdehnungsgefäß lässt sich verhältnismäßig einfach kontrollieren, wenn die Leitung zwischen Gefäß und Anlage durch ein nach DIN EN 12828 zulässiges Kappenventil zum Zwecke der Überprüfung abgesperrt werden kann. Dann genügt der zum Anpassen des Vordruckes am neuen Gefäß schon erwähnte Reifendruckprüfer.
Wenn keine Möglichkeit besteht, das Ausdehnungsgefäß wasserseitig drucklos zu machen, ist wie folgt zu verfahren: Zunächst wird der Betriebsdruck p am eingebauten Manometer (oder an einer speziell für diese Überprüfung vorgesehenen Entleerungsarmatur) abgelesen. Danach wird ein bestimmtes Wasservolumen V_{Ent} (z. B. 5 l) aus der Anlage entnommen und der sich danach neu einstellende Betriebsdruck p_2 abgelesen. Der zum Zeitpunkt der Überprüfung tatsächlich gegebene Vordruck p^*_{Vor} errechnet sich nach

$$p^*_{Vor} = \frac{V_{Ent}}{V_{AG}} = \frac{(p1 + p2) \times (p2 + 1)}{(p_1 - p_2)} - 1$$

7.2 Dokumentation der Wasserqualität

Baelz empfiehlt nachdrücklich die tägliche Untersuchung der wichtigsten Parameter des Speise- und Kesselwassers sowie deren Dokumentation in einem Wasserqualitätsprotokoll. Als Muster kann die Tabelle auf der nächsten Seite dienen.

Unterstützung bei der Einstellung und Haltung der erforderlichen Speise- und Kesselwasserqualitäten bieten analytische Dienstleister, die detaillierte Wasseranalysen sowie Zusatzstoffe anbieten, um die entsprechenden Wasserqualitäten (wieder)einzustellen.

Für Normen und Richtlinien zur Wasserqualität und Wasseranalyse, siehe Seite 31.

Wasserqualitätsprotokoll

Blatt-Nr.	Speisewasser						Dampferzeugungswasser Im Verdampfer / Entspanner								Kontrolliert von: (Name)
Datum/KW	pH	Alkalität p	Alkalität m	Erd-alkalien (Härte)	Leit-fähig-keit	O_2	pH	Alkalität p	Alkalität m	Erd-alkalien (Härte)	Leit-fähig-keit	SiO_2	PO_4	Druck	
		mmol/l	mmol/l	mmol/l	µS/cm	mg/l		mmol/l	mmol/l	mmol/l	µS/cm	mg/l	mg/l	bar	
Sollwerte															
Montag															
Dienstag															
Mittwoch															
Donnerstag															
Freitag															
Samstag															
Sonntag															

Bemerkungen: Für die Beurteilung ist außer dem Speisewasser und Kesselwasser ggf. auch das Zusatzwasser (enthärtetes, entcarbonisiertes, entsalztes Wasser) zu untersuchen.

Ergänzend 1 x wöchentlich das Rohwasser.

Gesehen: _____

Datum: _____

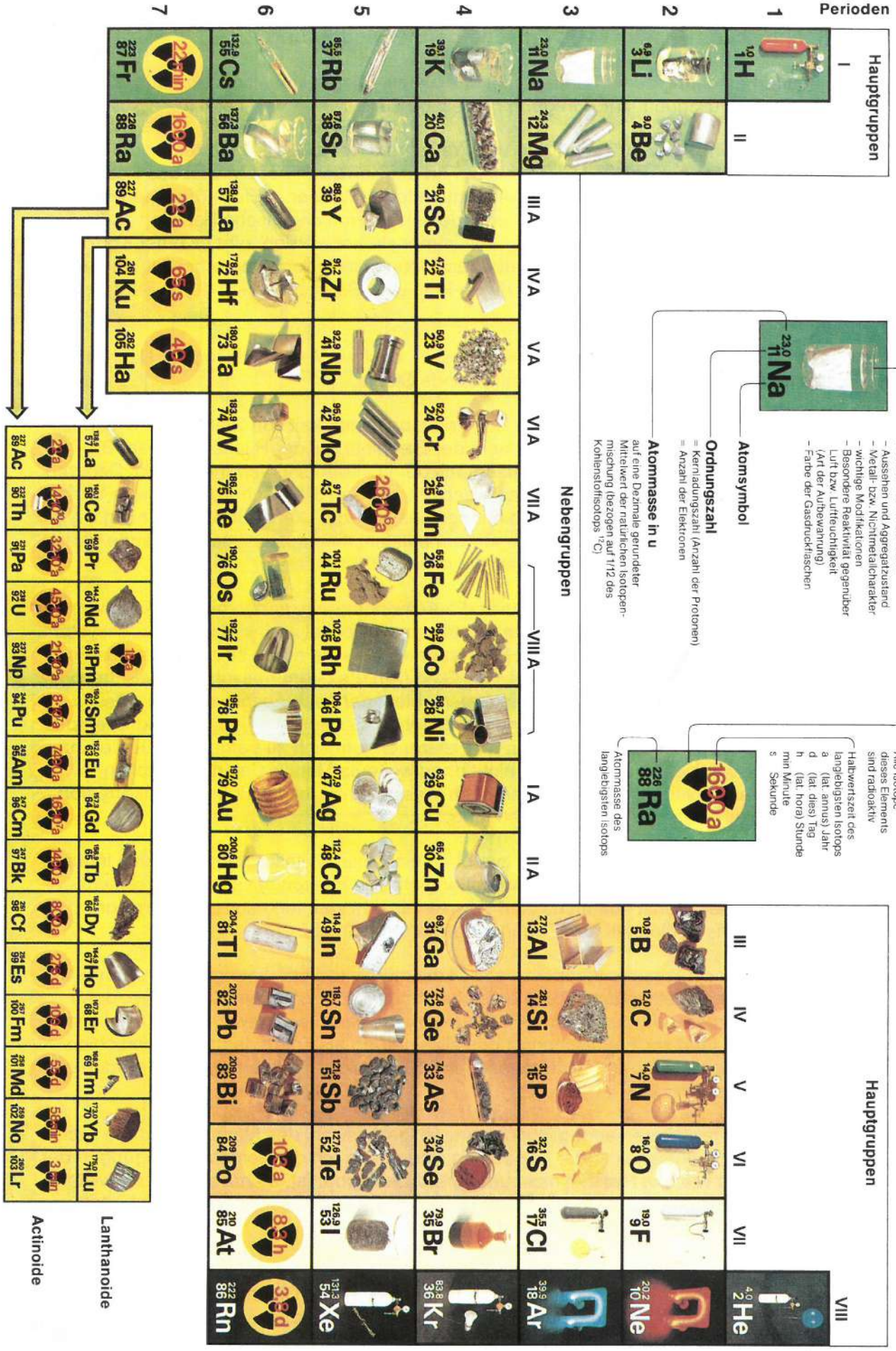
Unterschrift: _____

8. Werkstofftechnisches Wissen - von entscheidender Bedeutung

Wissenschaft und Forschung zum Thema Werkstoffe bieten einen reichhaltigen Fundus. Zur Erinnerung, zur Veranschaulichung, zur Anregung hier einige Zeilen:
Die DIN EN ISO 8044 definiert die Korrosion folgendermaßen: "Korrosion ist die Reaktion eines metallischen Werkstoffs mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffs bewirkt *(Korrosionserscheinung)* und zur Beeinträchtigung der Funktion eines Bauteiles oder eines ganzen Systems *(Korrosionsschaden)* führen kann. In den meisten Fällen ist diese Reaktion elektrochemischer Natur, in einigen Fällen kann sie jedoch auch chemischer oder metallphysikalischer Natur sein."
Die bekannteste Art der Korrosion bei Stahl ist das Rosten, der Angriff durch Luftsauerstoff und Feuchtigkeit. Sauerstoff + Wasser + Eisen (das ganz einfach der Oberfläche des Stahls entnommen wird) verbinden sich durch chemische Reaktion zu Eisenoxidhydrat. Da Korrosionsschäden im Lauf der Zeit immer stärker werden, gibt es unter Korrosion keine Dauerfestigkeit. Mit steigender Temperatur beschleunigt sich Korrosion erheblich; binnen weniger Wochen zerfällt die Festigkeit. Außer durch Rost wird Eisen zusätzlich durch Säuren, Laugen und Salzlösungen angegriffen.
Stähle müssen so korrosionsbeständig wie möglich sein; deshalb werden sie legiert. Nach DIN EN 10088 gibt es heute ca. 40 Standardgüten von nichtrostenden Stählen und fast genauso viele Sondergüten.
Die Zugabe von Chrom zum Eisen erhöht die Korrosionsbeständigkeit von Stahl. Chrom ist unedler als Eisen. (Bitte sehen Sie das Periodensystem der Elemente auf Seite 30 dieser Broschüre.) Folglich geht der Luftsauerstoff bevorzugt mit dem Chrom eine Verbindung ein. Dadurch bildet sich eine ca. 1 nm dicke unsichtbare Passivschicht, die den Stahl schützt. Um diese Wirkung zu erzielen, ist aber ein Chromanteil von mindestens 12 % der Stahlgrundmasse nötig. Durch Zugabe von Nickel zum Gefüge Eisen + Chrom entsteht eine austenitstabilisierende Verbindung, die noch korrosionsbeständiger ist als die meisten Chromstähle.
Zum chemischen Angriff auf Metalle kommt noch die Auswirkung elektrochemischer Aktionen und Reaktionen. Jedes Metall hat sein spezifisches elektrisches Potential und wird im Periodensystem der Elemente entsprechend eingeordnet. Ein Stoff ist umso edler, je höher sein elektrisches Potential ist; Eisen (Fe) hat z. B. die Ordnungszahl 26, Gold (Au) die Ordnungszahl 79. Zwischen verschiedenen Stoffen besteht also ein Spannungsunterschied, der nach Ausgleich strebt. Der jeweils edlere Stoff ist bestrebt, keine Elektronen abzugeben. So fließen z. B. die 8 Elektronen des unedleren Sauerstoffes zum edleren Eisen mit 26 Elektronen, um sich zu befrieden. Für die Konstruktion von Apparaten ist es daher wichtig, nicht ohne weiteres Metalle unterschiedlichen Potentials zusammen zu verarbeiten. Tritt dann noch Wasser hinzu, bildet sich Kontaktkorrosion. Monometallapparate haben somit ihre Berechtigung.
Der Elektronenaustausch geht aber nicht nur zwischen einzelnen Metallen, sondern auch innerhalb einer Legierung vor sich. Das Gefüge darf daher nicht aus Phasen mit stark unterschiedlichem Potential bestehen, sonst kommt es zum Kornzerfall, d. h. zu interkristalliner Korrosion. Bei bestimmten Angriffsmedien tritt dann Spannungsrisskorrosion auf.
Beim Verarbeiten korrosionsbeständiger Stähle muss die mögliche Schädigung durch Chromkarbid-ausscheidungen beachtet werden. Diese entstehen bei unsachgemäßem Schweißen, denn Schweißgut ist fast immer stark geseigert. (Kristallseigerung: Das Gleichgewicht der Kristalle im Metall ist gestört; dies führt zur Entmischung.) Kristallseigerung als Folge der Solidusverschleppung lässt sich verhindern, z. B. durch extrem rasches Abkühlen der Schmelze, so dass homogene Mischkristalle entstehen.
Nur werkstofftechnisches Wissen ermöglicht die sorgfältige Auswahl des Materials und die sachgerechte Fertigung. Ausschlaggebend sind aber auch die Betriebsbedingungen der Gesamtanlage. Genau wie das Material nicht unbegrenzt verfügbar ist, so hat auch das jeweils verfügbare Investitionskapital klare Grenzen. Der Betrieb wärmetechnischer Anlagen erfordert von der ersten Stunde an Sorgfalt, Fachwissen und Aufmerksamkeit.
Primär schadensauslösend sind fast immer die Betriebsbedingungen und/oder die Betriebsweise. "Schuld" kann nicht das Material der Anlage sein, auch nicht z. B. die Chlorid-Ionen im Wärmeträger Wasser. Eine der wichtigsten Aufgaben kommt immer dem Menschen, dem Techniker zu:

Risiken erkennen und Schäden vermeiden.

Korrosion_04_DEF_MJ_0421


Periodensystem der Elemente
Perioden
Hauptgruppen
Nebengruppen
Foto informiert über
– Aussehen und Aggregatzustand
– Metall- bzw. Nichtmetallcharakter
– wichtige Modifikationen
– Besondere Reaktivität gegenüber Luft bzw. Luftfeuchtigkeit (Art der Aufbewahrung)
– Farbe der Gasdruckflaschen
Atomsymbol
Ordnungszahl
= Kernladungszahl (Anzahl der Protonen)
= Anzahl der Elektronen
Atommasse in u
auf eine Dezimale gerundeter Mittelwert der natürlichen Isotopenmischung (bezogen auf 1/12 des Kohlenstoffisotops 12C)
Alle Isotope dieses Elements sind radioaktiv
Halbwertszeit des langlebigsten Isotops
a (lat. annus) Jahr
d (lat. dies) Tag
h (lat. hora) Stunde
min Minute
s Sekunde
Atommasse des langlebigsten Isotops
Lanthanoide
Actinoide

9. Literaturverzeichnis

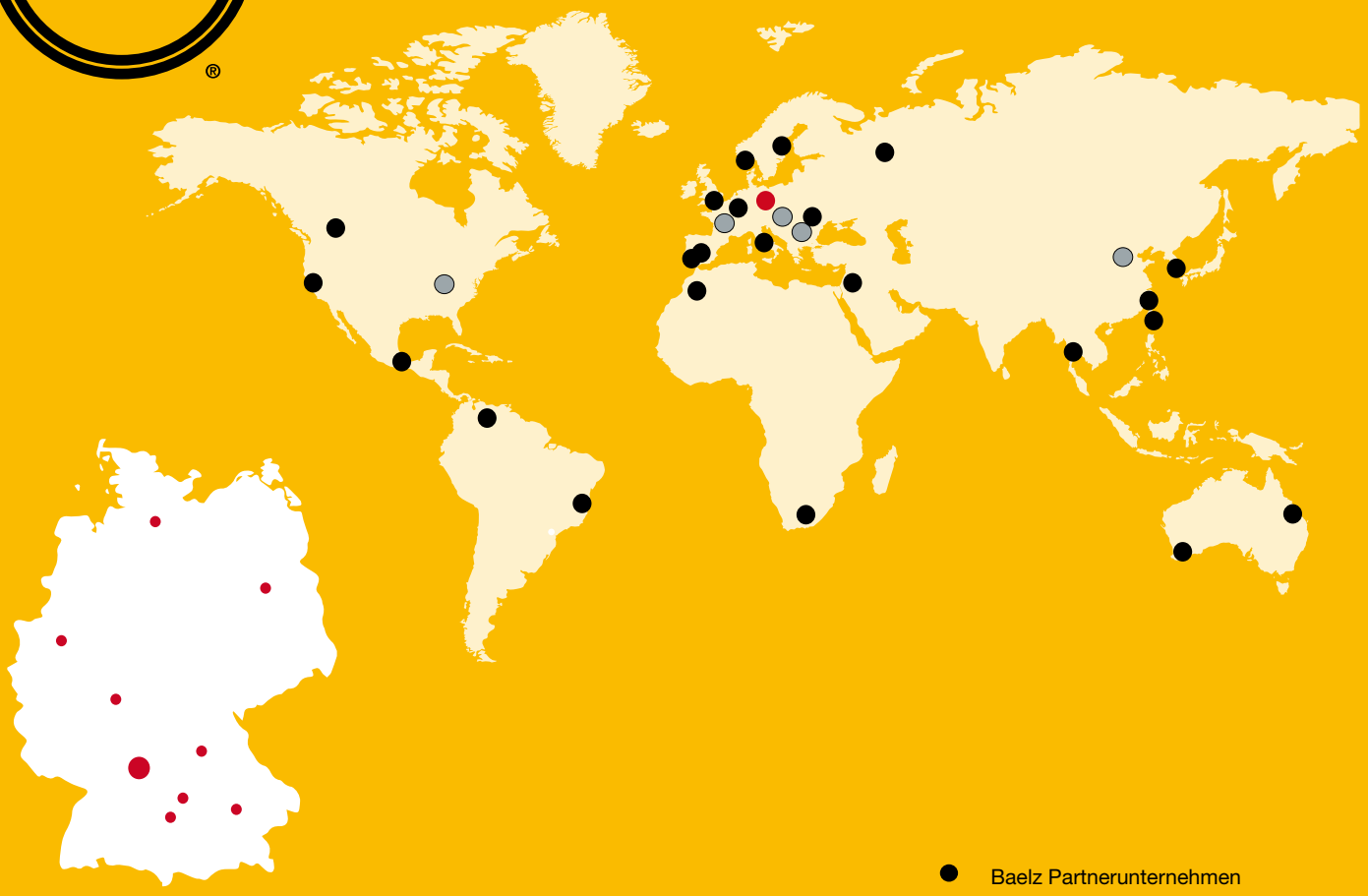
Folgende Dokumente wurden bei der Erstellung dieses Werkes verwendet und/oder liefern weitere oder tiefergehende Erkenntnisse zur Thematik:

Handbuch der Kesselbetriebstechnik Aufl. 2009, ISBN 978-3-930039-13-5

VDI 2035	Vermeidung von Schäden in Warmwasser Heizungsanlagen
VdTÜV MB TECH 1466	Anforderungen an das Kreislaufwasser von Industrie- und Fernwärmeheizanlagen sowie Hinweise für deren Betrieb
VGB-M 410 N	Merkblatt Qualitätsanforderungen an Fernheizwasser
VGB-S-010-T-00	Speisewasser-, Kesselwasser- und Dampfqualität für Kraftwerke / Industriekraftwerke
DIN 4726	Warmwasser-Flächenheizungen und Heizkörperanbindungen - Kunststoffrohr- und Verbundrohrleitungssysteme
DIN 19643	Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser
DIN 38409-6	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung ... Härte eines Wassers
DIN 38409-7	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung ... Bestimmung der Säure- und Basekapazität
DIN EN 10088	Nichtrostende Stähle - Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle
DIN EN 10216-2	Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen - Technische Lieferbedingungen - Teil 2: Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen
DIN EN 12828	Heizungsanlagen in Gebäuden - Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen
DIN EN 27888	Wasserbeschaffenheit; Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit
DIN EN ISO 6222	Wasserbeschaffenheit - Quantitative Bestimmung der kultivierbaren Mikroorganismen
DIN EN ISO 8044	Korrosion von Metallen und Legierungen - Grundbegriffe
DIN EN ISO 9308	Wasserbeschaffenheit - Zählung von Escherichia coli und coliformen Bakterien
DIN EN ISO 10304-1	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von gelösten Anionen mittels Flüssigkeits-Ionenchromatographie - Teil 1: Bestimmung von Bromid, Chlorid, Fluorid, Nitrat, Nitrit, Phosphat und Sulfat
DIN EN ISO 10523	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung des pH-Werts
DIN EN ISO 12953-10	Großwasserraumkessel - Teil 10: Anforderungen an die Speisewasser- und Kesselwasserqualität
DIN EN ISO 17294-2	Wasserbeschaffenheit - Anwendung der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) - Teil 2: Bestimmung von ausgewählten Elementen einschließlich Uran-Isotope

Bezugsquellen:

Richtlinien VdTÜV: Verlag TÜV Rheinland; Am Grauen Stein, 51105 Köln
https://www.vdtuev.de/shop/merkblaetter/gesamtliste
Richtlinien VGB: VGB PowerTech e.V., Deilbachtal 173, D-45257 Essen
https://www.vgb.org/shop/
DIN Normen: Beuth Verlag GmbH, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin
https://www.beuth.de
Richtlinien VDI: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf
https://www.vdi.de/richtlinien
Trinkwasserverordnung: Bundesministerium für Gesundheit, Rochusstraße 1, 53123 Bonn
https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/begriffe-von-a-z/t/trinkwasser.html
Betriebssicherheitsverordnung: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz
https://www.gesetze-im-internet.de/betrsichv_2015/index.html



● Baelz Partnerunternehmen

● Baelz in Ihrer Nähe

Deutschland
W. Baelz & Sohn
GmbH & Co.
Hauptsitz in Heilbronn

Berlin, Hamburg, Essen,
Siegen, Frankfurt,
Nürnberg, Aalen, Ulm,
München

● Baelz Tochterunternehmen

USA
Baelz North America
Atlanta, GA

Österreich
Bälz GmbH
Wien

Frankreich
Baelz Automatic SARL
Paris

China
Baelz Heat Automation Equipments
Beijing

Technische Änderungen vorbehalten · Printed in Germany

Baelz hilft Energie zu sparen in den folgenden Branchen:

- **Chemie**
- **Automobil**
- **Textil**
- **Wärmeverteilung**
- **Pharma**
- **Luftfahrt**
- **Holz**
- **Kraftwerke**
- **Papier**
- **Reifen**
- **Gebäude**
- **Nahrungsmittel Getränke**

W. Baelz & Sohn GmbH & Co. · Koepffstrasse 5 · 74076 Heilbronn · Germany
Telefon +49 7131 1500·· anfrage@baelz.de · www.baelz.de