

Leitfaden für die Wasserqualität von kupfergelöteten Plattenwärmetauschern

0 Zusammenfassung

Danfoss Fernwärme hat diesen Leitfaden für die Wasserqualität von Leitungswasser und Fernwärmewasser erstellt, das in Kupfer-gelöteten Edelstahl-Plattenwärmetauschern (1.4404, X2CrNiMo17-12-2 nach EN 10088-2:2005 ~ AISI 316L) eingesetzt wird.

Die Qualität des Wassers, das durch solche gelöteten Plattenwärmetauscher fließt, schwankt erheblich von einer Anwendung zur anderen, wobei in manchen Fällen Korrosion zu einem Problem werden kann. Dieser Leitfaden basiert auf umfassenden Literatur-Recherchen und auf unseren Erfahrungen aus der jahrelangen Verwendung von kupfergelöteten Plattenwärmetauschern.

Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Festlegung einer bestimmten Wasserqualität keine Garantie dafür bietet, dass Korrosion nicht auftreten wird. Dieser Leitfaden soll vielmehr als Hilfsmittel angesehen werden, um die kritischsten Wasseranwendungen zu vermeiden. Eine Zusammenfassung der Wasserparameter und deren empfohlene Grenzwerte sind in Tabelle 2 für Wasser auf der Sekundärseite (Leitungs-, Trinkwasser) und in Tabelle 3 für Primärwasser (Wärmeversorgung, Fernheizwasser) aufgeführt. Diese Einschränkungen gelten nur für Plattenwärmetauscher aus Edelstahl (1.4404), die mit reinem Kupfer gelötet sind.

1 Einleitung

Danfoss Fernwärme hat diesen Leitfaden für die Wasserqualität von Leitungswasser und Fernwärmewasser erstellt, das in Kupfer-gelöteten Edelstahl-Wärmetauschern (1.4404, X2CrNiMo17-12-2 nach EN 10088-2:2005 ~ AISI 316L) eingesetzt wird. Normalerweise fließt Wasser (Trinkwasser) auf der Sekundärseite, während ein Heizmedium (z. B. Fernwärmewasser) auf der Primärseite des Wärmetauschers fließt.

Oberflächen mit Wasserkontakt können zwei Problemen ausgesetzt sein: Mineralablagerungen und Korrosion. Gase und Salze, die im Wasser aufgelöst werden, spielen dabei eine zentrale Rolle. Darüber hinaus beeinflussen die Komponenten (z. B. Design, verwendete Materialien, Herstellungsprozesse) und Betriebsbedingungen (z. B. Temperatur, Durchflussbedingungen, Stagnationszeiten) das Risiko für Ablagerungen und/oder Korrosion.

Des Weiteren muss beachtet werden, dass die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen, z. B. die Korrosionsgeschwindigkeit, mit der Temperatur ansteigt. Laut der van't Hoff'schen Regel liegt der Anstieg je 10 °C Temperaturanstieg bei einem Faktor von 2 bis 3.

Anhand von Kenntnissen über die Zusammensetzung von Chemikalien und Wasser sowie über die Betriebsbedingungen eines Heizsystems kann das Risiko für Mineralablagerungen und Korrosion ermittelt werden. Auf dieser Grundlage kann eine Beratung zur Vermeidung von

Problemen mit Komponenten aufgrund von Ablagerungen und/oder Korrosion erfolgen. Zu diesem Zweck wurde diese Wasserspezifikation erstellt.

1.1 Bildung von Ablagerungen

Rohwasser für die Produktion von Trinkwasser (Leitungswasser) enthält, abhängig von den geologischen Gegebenheiten im Gewinnungsgebiet, mehr oder weniger große Mengen an gelösten Gasen und Salzen. Diese Unterschiede bewirken eine unterschiedliche Zusammensetzung auch des produzierten Trinkwassers. Für die Bildung von Ablagerungen sind besonders die Karbonathärte (= Hydrogencarbonatgehalt) und die Gesamthärte, also die Summe der Kalzium- und Magnesium-Ionen, ausschlaggebend. Darüber hinaus können auch andere Ionen wie Sulfate einen Einfluss ausüben.

Aus den oben genannten Bestandteilen können Kalkablagerungen (Kesselstein, Calciumcarbonat, CaCO_3) unter steigenden Temperaturen und/oder bei Verlust von Kohlendioxid, z. B. durch Entgasung, entstehen. Ein weiterer Temperaturanstieg kann zur Ablagerung von unterschiedlichen Salzen, z. B. Gips (CaSO_4) führen.

Weitere Bestandteile, die eine Blockade von Bauteilen verursachen können, sind Eisen-haltige Ablagerungen wie „Rost“, also Eisenoxiden und -hydroxiden, oder Magnetit. Diese können sich im kupfergelöteten Plattenwärmetauscher selbst bilden, oder auch von anderen Teilen des Systems, in denen es zu Korrosionsprozessen kommt, eingespült werden.

1.2 Korrosion

Korrosion wird von unterschiedlichen Mechanismen ausgelöst, die zu verschiedenen Arten von Korrosion führen. Einige davon können während des Betriebs in kupfergelöteten Plattenwärmetauschern entstehen. Die meisten Korrosionsmechanismen werden chemisch verursacht, wobei die chemische Zusammensetzung des Wassers die verschiedenen Materialien auf unterschiedliche Weise beeinflusst.

Neben den bereits genannten Faktoren (Material, Betriebsbedingungen...) spielt der Sauerstoffgehalt eine zentrale Rolle bei der Korrosion von Metallen. Darüber hinaus sind auch der pH-Wert (Säurekonzentration), die Säurekapazität (Pufferkapazität) sowie der Salzgehalt wichtige Parameter für das Auftreten von Korrosion. Aus diesem Grund ist das Wissen über diese Faktoren ausschlaggebend für die Beurteilung möglicher Korrosionsrisiken.

Eine detaillierte Erklärung zu den unterschiedlichen Korrosionsarten würde den Umfang dieses Leitfadens übersteigen; die folgende Tabelle 1 gibt daher einen kurzen Überblick über die am häufigsten auftretenden Korrosionsarten.

Tabelle 1 Typische Korrosionsarten bei kupfergelöteten Plattenwärmetauschern aus Edelstahl^[12].

Korrosionsart	Beschreibung
Allgemeine Korrosion	Bei allgemeiner Korrosion in einem kupfergelöteten Plattenwärmetauscher ist typischerweise Kupfer und nicht Edelstahl betroffen. Falls die Kupferlötung korrodiert, erfolgen ein Verlust an mechanischer Stabilität sowie mögliche Leckagen im Wärmetauscher.
Spaltkorrosion	Normalerweise ist der Wärmetauscher frei von Spalten oder Rissen. Spaltbildung kann jedoch unter Kalkablagerungen und anderen Arten von Ablagerungen sowie aufgrund von nicht einwandfreien Lötverbindungen auftreten.
Galvanische Korrosion	Durch metallischen Kontakt zwischen dem Kupfer und dem Edelstahl in Wasser mit hoher elektrischer Leitfähigkeit kann ein korrosiver Angriff des unedleren Metalls, in diesem Fall Kupfer, erfolgen.
Spannungsrissskorrosion	Spannungsrissskorrosion (SCC) kann bei Edelstahl auftreten, falls Zugspannungen sowie eine große Menge an Chlorid vorhanden sind. Eine Erhöhung der Temperatur wird das Risiko der Spannungsrissskorrosion zusätzlich erhöhen; sie tritt häufig bei Temperaturen über 60 °C auf. ^[14]
Interkristalline Korrosion	Edelstahl kann eine interkristalline Korrosion erfahren, falls es in den Korngrenzen während einer unsachgemäßen Wärmebehandlung zur Bildung von Chromkarbiden gekommen ist. Bereiche mit reduziertem Chromgehalt werden so empfindlich gegen Korrosion.
Flüssigmetall-Versprödung	Falls der Lötvorgang bei zu hohen Löttemperaturen erfolgt, kann das Kupfer in den Edelstahl diffundieren und so die Stabilität der Edelstahlplatten vermindern.

2 Wasserspezifikationen

2.1 Sekundärseite – Leitungswasser

Folgende Parameter bestimmen bei normalem Leitungswasser die allgemeine Korrosionsstabilität eines Plattenwärmetauschers: Temperatur, pH, Karbonathärte (Alkalinität), Gesamthärte sowie Chlorid-, Sulfat- und Nitrat-Konzentration. Die Leitfähigkeit wird oft als Summenparameter für den Gesamtionen-(Salz-)Gehalt herangezogen.

Da Kupfer generell eine niedrigere Korrosionsstabilität als Edelstahl (1.4404) in Leitungswasser aufweist, sind die Wasserspezifikationen im Wesentlichen durch die Kupferkorrosion bestimmt. Im Allgemeinen tritt Korrosion von Edelstahl in Leitungswasser nur dann auf, wenn das Leitungswasser eine hohe Chloridkonzentration bei hohen Temperaturen aufweist.

Im Folgenden werden die wichtigsten Wasserparameter sowie deren Spezifikationen beschrieben.

- **Temperatur:** Generell führt bei den meisten Metallen eine Erhöhung der Temperatur zu einer schnelleren Korrosionsrate. Die Wahrscheinlichkeit, dass Kupfer in Warmwasser unter Lochfraß leidet, erhöht sich bei Temperaturen über 60 °C. Das Risiko der Spannungsrisskorrosion von Edelstahl erhöht sich ebenfalls bei Temperaturen über 60 °C, während die Spaltkorrosion von Edelstahl auch temperaturabhängig ist (siehe Abschnitt über Chlorid).^[1, 2, 14]
- **pH-Wert:** Die allgemeine Korrosion von Kupfer hängt im Wesentlichen vom pH-Wert ab, wobei das Korrosionsrisiko dann am niedrigsten ist, wenn der pH-Wert über 7,5 und unter 9,0 gehalten wird.^[1, 10, 12] Man muss jedoch in normalem Leitungswasser mit einem pH-Wert von etwa 7 rechnen – Wasser mit einem pH-Wert von unter 7 sollte vermieden werden. Das Wasser in Fernwärmesystemen ist oft alkalisch, mit einem pH-Wert von bis zu 10.^[4, 5, 6, 8]
- **Alkalinität:** Falls der Hydrogencarbonatgehalt (HCO_3^-) des Wassers sehr niedrig ist, sprich unter 60 mg/L liegt, können sich Korrosionsprodukte von Kupfer auflösen und in das System gelangen. Es wird auch empfohlen, eine HCO_3^- -Konzentration von 300 mg/L nicht zu übersteigen.^[1, 10, 12]
- **Leitfähigkeit:** Eine hohe Leitfähigkeit des Leitungswassers bedeutet, dass das Wasser über eine hohe Konzentration an ionischen Stoffen aufweist. Normalerweise führt bei den meisten Metallen eine Zunahme der Leitfähigkeit von Leitungswasser zu einer schnelleren Korrosionsrate. Eine maximale Leitfähigkeit von 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ist generell ein wünschenswerter Grenzwert.^[13]
- **Härte:** Kupfer ist in weichem Wasser anfällig für Korrosion; Das Verhältnis von $[\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}]$ zu $[\text{HCO}_3^-]$ sollte über 0,5 betragen (in molaren Mengen berechnet).^[9, 12]
- **Chlorid:** Die Anwesenheit von Chlorid im Leitungswasser erhöht bei Edelstahl das Risiko von Lochfraß. Der Grenzwert hängt von der Temperatur gemäß Tabellen 2 und 3 ab.^[14, 15]
- **Sulfat:** Hohe Sulfatkonzentrationen erhöhen das Risiko von Kupfer-Lochfraß. Eine maximale Sulfatkonzentration von 100 mg/L ist zu empfehlen, obwohl Korrosion auch bei niedrigeren Konzentrationen stattfinden kann, falls das Verhältnis von $[\text{HCO}_3^-] / [\text{SO}_4^{2-}]$ weniger als 1 beträgt (in molaren Mengen berechnet).^[1, 10]

- **Nitrat:** Der Einfluss von Nitrat-Ionen ist ähnlich wie der von Sulfat. Eine maximale Nitratkonzentration von 100 mg/L ist zu empfehlen. ^[10, 13]
- **Chlor:** Bei vielen Leitungswasseranlagen wird aus bakteriologischen Gründen Chlor zugesetzt. Chlor hat eine hohe oxidierende Wirkung und senkt die Korrosionsbeständigkeit von Edelstahl. Die Untersuchungen des Edelstahlherstellers Outokumpu Oy haben ergeben, dass die Konzentration von freiem aktivem Chlor unter 0,5 mg/L gehalten werden sollte, um der Korrosion von Edelstahl (1.4404) vorzubeugen. ^[15]

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenfassung der für kupfergelötete Plattenwärmetauscher aus Edelstahl für die Sekundär-, also Trinkwasserseite, empfohlenen Spezifikationen.

Tabelle 2 Empfohlene Grenzwerte für die Wasserqualität von Leitungswasser auf der Sekundärseite von kupfergelöteten Plattenwärmetauschern

Parameter	Anmerkungen	Wert
Aussehen		Klar
Geruch		Geruchlos
Verunreinigungen		Frei von Ablagerungen/Partikeln
Öl und Fett		< 1 mg/L
pH-Wert		Zwischen 7 und 10
El. Leitfähigkeit		2500 µS/cm
Karbonathärte *)		1 mmol/l < $K_{s\ 4.3}$ < 5 mmol/l **)
Gesamthärte ***)		$[Ca^{2+}, Mg^{2+}]/[HCO_3^-] > 0,5$
Chlorid		
	Bei T ≤ 20 °C	1000 mg/L
	Bei T ≤ 50 °C	400 mg/L
	Bei T ≤ 80 °C	200 mg/L
	Bei T > 100 °C	100 mg/L
Sulfat		$[SO_4^{2-}] < 100$ mg/L und $[HCO_3^-]/[SO_4^{2-}] > 1,5$
Nitrat		< 100 mg/L
Nitrit		Nicht zulässig
Ammonium		< 2,0 mg/L
Freies Chlor		< 0,5 mg/L
Gesamteisengehalt		< 2,0 mg/L
Mangan		< 0,05 mg/L

*) = Hydrogencarbonatgehalt, temporäre Härte, (Karbonat-) Alkalinität

**) $K_{s\ 4.3}$ = Säurekapazität

***) = Summe der Kalzium- und Magnesium-Ionen

2.2 Primärseite – Fernwärmewasser

Mehrere nationale Richtlinien legen Wasserspezifikationen für Fernwärmewasser fest und wurden für diese Spezifikation herangezogen^[4, 5, 6, 7, 8]. Jede dieser Richtlinien befasst sich mit Aspekten der Vorbeugung von Korrosion und Kalkbildung in Fernwärmesystemen.

Die in der untenstehenden Tabelle 3 genannten Grenzwerte stellen einen angemessenen Kompromiss zur Vermeidung von Korrosion und Kalkbildung auf der Primärseite des Plattenwärmetauschers dar. Sie entsprechen weitestgehend den Werten für Leitungswasser auf der Sekundärseite.

Die wichtigsten Parameter, die die Korrosionsbeständigkeit von Edelstahl in Fernwärmewasser beeinflussen, sind Chlorid, Temperatur und Sauerstoffgehalt. Der akzeptable Chloridgehalt hängt von der Maximaltemperatur ab, der ein kupfergelöteter Plattenwärmetauscher ausgesetzt ist.

Die wichtigsten Parameter, um das Korrosionsrisiko von Kupfer zu begrenzen, sind die Schaffung einer nahezu sauerstofffreien (unter 0,01 mg/L) und alkalischen Umgebung (unter pH 10) und die Begrenzung von Ammoniak- und Sulfid-Konzentrationen unter die Grenzwerte (siehe Tabelle 3).

Als Fernwärmewasser wird oft enthärtetes oder entsalztes Wasser eingesetzt, das auf einen pH-Wert von 9 bis 9,5 aufbereitet wurde. Der Sauerstoffgehalt wird entweder entfernt oder chemisch gebunden. Besondere Berücksichtigung sollten einige chemische Stoffe finden, die für die pH-Aufbereitung bzw. als Sauerstoffbindemittel eingesetzt werden.

Der Einsatz von Ammoniak für die pH-Aufbereitung sollte aufgrund des Risikos der Korrosion von Kupfer (und Messing) vermieden werden. Stattdessen sollte Natriumhydroxid (NaOH) oder Natriumphosphat (Na₃PO₄) eingesetzt werden, um den pH-Wert des Wassers zu erhöhen.

Natriumsulfit (Na₂SO₃) wird verbreitet eingesetzt, um Sauerstoff zu binden. Allerdings sollte diese Substanz in Systemen, die Kupfer bzw. Edelstahl enthalten, vermieden werden. Aufgrund der Sauerstoffbindung wird das Sulfit in Sulfat verwandelt. Sulfat kann von Bakterien genutzt werden, die das Sulfat in Sulfid reduzieren und dabei eine korrosive Umgebung gegenüber Kupfer und Edelstahl erzeugen. Stattdessen sollten organische Stoffe zur Sauerstoffbindung genutzt werden, zum Beispiel Tannine.

Eine hohe Sulfidkonzentration im Wasser kann generell auf eine bakterielle Verunreinigung im Fernwärmesystem hinweisen. Man sollte also den Sulfidgehalt im Wasser auf ein Minimum beschränken.

Manchmal werden dem Wasser auch andere Stoffe zur Sauerstoffbindung hinzugefügt. Beispiele hiervon sind Vitamin C und Methyl-Ethyl-Ketoxim (MEKO). Biozide können dem Wasser ebenfalls hinzugefügt werden, um die Entwicklung von Bakterien im System zu begrenzen. Manchmal werden dem Wasser Tenside hinzugefügt, um Reibung im System zu reduzieren.

Tabelle 3 Empfohlene Grenzwerte für die Wasserqualität von Fernwärmewasser auf der Primärseite

Parameter	Anmerkungen	Wert
Aussehen		Klar
Geruch		Geruchlos
Verunreinigungen		Frei von Ablagerungen/Partikeln
Öl und Fett		< 1 mg/L
pH-Wert bei 25°C		7 bis 10
Restwasserhärte		$[\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-] > 0,5$, < 0.5 mmol/l (2,8 °dH)
Leitfähigkeit bei 20°C		2500 µS/cm
Sauerstoff		<0.1 mg/L (so niedrig wie möglich)
Chlorid		
	Bei $T \leq 20 \text{ °C}$	1000 mg/L
	Bei $T \leq 50 \text{ °C}$	400 mg/L
	Bei $T \leq 80 \text{ °C}$	200 mg/L
	Bei $T > 100 \text{ °C}$	100 mg/L
Sulfat		$[\text{SO}_4^{2-}] < 100 \text{ mg/L}$ und $[\text{HCO}_3^-]/[\text{SO}_4^{2-}] > 1,5$
Sulfit	z. B. Einsatz von Stoffen zur Sauerstoffbindung	< 10 mg/L
Sulfid		< 2,0 mg/L
Nitrat		< 100 mg/L
Ammonium		< 2,0 mg/L
Gesamter org. Kohlenstoff (TOC)		< 30 mg/L

2.3 Härte, Kalkbildung und Garantie

Die Wärmetauschfähigkeit von Plattenwärmetauschern wird durch die Ablagerung von Inhaltsstoffen des Wassers (z. B. Kalkbildung) sowie von Verunreinigungen beeinträchtigt. Kalkablagerungen bilden sich normalerweise, wenn Calcium- und Magnesiumsalze vorhanden sind.

Die Gesamthärte ist primär die Summe von Kalzium- (Ca^{++}) und Magnesium-Ionen (Mg^{++}) im Wasser. Der Calciumkarbonat-Anteil (CaCO_3) wird im Allgemeinen in Milligramm pro Liter (mg/L), parts per million (ppm) oder „deutschen Härtegraden“ (°d) angegeben. Ein deutscher Härtegrad entspricht 17,8 ppm CaCO_3 .

Seit 2004 wird die Wasserhärte in der Europäischen Gemeinschaft nach der EG-Verordnung Nr. 648/2004 über Detergenzien ^[16] eingestuft (siehe untenstehende Tabelle).

Tabelle 4 Einstufung der Wasserhärte nach EG-Verordnung Nr. 648/2004 über Detergenzien

Härtebereich	Calciumkarbonat [mmol/L] ¹⁾	Calciumkarbonat [mg/L] ²⁾	°d ²⁾
Weich	unter 1,5	unter 150	unter 8,4 °d
Mittel	1,5 bis 2,5	150 bis 250	8,4 bis 14 °d
Hart	über 2,5	über 250	über 14 °d

¹⁾ Entsprechend dem *Système international d'unités (Internationales Einheitensystem)* von 1971, wird die Erdalkali-Summe in mmol/l angegeben.

²⁾ Die Angabe der Werte in mg/L und „Grad deutscher Härte °d“ erfolgt nur zu Informationszwecken.

Das Erhitzen von Wasser mit hoher Härte führt zur Ablagerung von Kalk (CaCO_3), was sich in einer Schicht auf den Plattenoberflächen bemerkbar macht. Temperaturen von über 55 °C können zu intensiver Kalkablagerung führen. Dadurch wird die Wärmeübertragung des Plattenwärmetauschers beeinträchtigt.

Aus diesem Grund ist es wichtig, Danfoss Wärmetauscher in einer Größe auszuwählen, die eine möglichst hohe Durchflussgeschwindigkeit gewährleistet. Dadurch sinkt das Risiko von Kalkablagerungen.

Auch Verunreinigungen können in Form einer Schicht auf der Plattenoberfläche abgelagert werden.

Verunreinigungen und Kalkablagerungen können entfernt werden, indem der Wärmetauscher mit unterschiedlichen Chemikalien, je nach Zusammensetzung der Ablagerung, gespült wird. Danfoss empfiehlt, solche Hersteller zu beauftragen, die nachgewiesenermaßen über die Technologie und Erfahrung zur Reinigung von Wärmetauschern verfügen.

Dieses Durchspülen kann auf der einen Seite die Ablagerungen beseitigen und die Wärmetauschfähigkeit erhöhen, auf der anderen Seite aber auch die Lebensdauer des Wärmetauschers verkürzen.

Danfoss Fernwärme kann keine Gewährleistungsansprüche anerkennen, wenn ein Wärmetauscher:

- ***Beeinträchtigungen aufgrund von Kalkbildung und -ablagerungen aufweist.***
- ***Nach dem Spülen zur Entfernung von Kalk und Ablagerungen externe oder interne Leckagen aufweist.***
- ***Aufgrund wasserverursachter Korrosion externe oder interne Leckagen aufweist, wenn die Empfehlungen zur Wasserqualität dieses Leitfadens nicht erfüllt werden.***

3 Literatur

- [1] EN 12502-2:2004. Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems – Part 2: Influencing factors for copper and copper alloys
- [2] EN 12502-4:2004. Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems – Part 4: Influencing factors for stainless steels
- [3] EN 14868:08-2005 Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in closed water circulation systems.
- [4] VDI 2035-2:08-2009 Prevention of damage in water heating installations, Part 2: Water-side corrosion.
- [5] AGFW-Arbeitsblatt FW 510:06-2011 Requirements for circulation water in industrial and district heating systems and recommendations for their operation.
- [6] ÖNORM H 5195-1:12-2010 Heat medium for technical building equipment, Part 1: Prevention of damage by corrosion and scale formation in closed warm-water-heating systems.
- [7] SWKI BT 102-01:04-2012, Richtlinie „Wasserbeschaffenheit für Gebäudetechnik-Anlagen“ Ed.: Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren, www.swki.ch
- [8] DFF-guideline „Vandbehandling og korrosionsforebyggelse i fjernvarmesystemer“. DFF Danske Fjernvarmeværkers Forening, 1999.
- [9] Mattsson, E., 1988. Counteraction of pitting in copper water pipes by bicarbonate dosing. *Werkstoffe und Korrosion* **39**,499-503
- [10] Mattsson, E., 1990. Tappvattensystem av kopparmaterial. Korrosionsinstitutet, ISBN 91-7332-558-9.
- [11] Anonymus, 2004. Fachthema Gelötete Plattenwärmeüberträger. *Euroheat & Power* **33**, 3, 96-104
- [12] Nilsson, K., Klint, D., Johansson, M., 2007. "Corrosion aspects of compact heat exchangers consisting of stainless steel plates brazed with copper filler metal in water applications", 14th Nordic Corrosion Congress, Kopenhagen, Dänemark.
- [13] Pajonk, G., ohne Datum. "Korrosionsschäden an gelöteten Plattenwärmetauschern", Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund. http://www.vau-thermotech.de/mediapool/40/409506/data/Korrosionsschaeden_an_geloeteten_Plattenwaermetauschern.pdf
- [14] Outokumpu Corrosion Handbook for Stainless Steels“, Tenth edition, 2009
- [15] Mameng, S., Pettersson, R., 2011. „Localised corrosion of stainless steels depending on chlorine dosage in chlorinated water“. Outokumpu acom 03-2011.
- [16] Regulation (EC) No 648/2004 of the European parliament and of the council of 31 March 2004 on detergents