



Artikel

Korrosionskontrolle in der Trinkwasserverteilung mit einfachen Methoden

Teil 5: Eigenschaften und Korrosion von Kupfer und Kupferlegierungen

Norbert Konradt, Monika Konradt und Peter Janknecht, Trinkwasser Consulting

Zusammenfassung: Kupfer ist aufgrund seiner guten Verarbeitungseigenschaften und Korrosionsbeständigkeit ein beliebtes Material in der Trinkwasserinstallation. Ist es für das Wasser geeignet und wird es richtig installiert, kann es über viele Jahrzehnte hinweg unproblematisch eingesetzt werden, wobei jedoch stets eine gewisse Kupferabgabe auftritt. Zudem gibt es Unsicherheiten hinsichtlich der Einsetzbarkeit, die von den Wassereigenschaften abhängt. Außerhalb der Anwendungsgrenzen kann es zu verstärkter Flächenkorrosion mit erhöhten Kupferkonzentrationen im Trinkwasser oder zu Lochkorrosionsschäden kommen, die einen Austausch der Installation erforderlich machen. Messing und Rotguss, die gerne für Armaturen und Fittings verwendet werden, sind demgegenüber korrosionsfester. Bei Messing kann es gelegentlich zu Entzinkung kommen, während Rotguss die geringste Korrosionsneigung zeigt. Bei Messing und Rotguss muss darauf geachtet werden, dass die Legierungen den Anforderungen der Bewertungsgrundlage für metallene Werkstoffe entsprechen, auch damit der Grenzwert für Blei im Trinkwasser nicht überschritten wird.

Stichwörter: Korrosion von Kupfer, Kupferabgabe, Flächenkorrosion, Lochkorrosion, Salzeinfluss, Inhibierung, Korrosionsrate, Korrosionsversuche, Sauerstoffkorrosion, Trinkwasserprobleme.

1. Eigenschaften von Kupfer, Messing und Rotguss

1.1. Einführung

Solange Metalle eingesetzt werden, ist die Korrosion in der Trinkwasserinstallation ein fortwährendes Problem. Auch bei Kupfer als Werkstoff wird durch Korrosion sowohl das Leitungsmaterial geschädigt als auch die Qualität des Trinkwassers beeinträchtigt.

Kupfer ist ein rötliches, weiches, zieh- und formbares Metall. Es besitzt eine hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit und ist weitgehend resistent gegen Korrosion an der Luft und im Wasser. Aufgrund dieser Eigenschaften wird es gerne in der Trinkwasserinstallation verwendet. Wegen seines hohen Preises findet es im Trinkwassernetz nur selten Anwendung, meist in Form seiner Legierungen, beispielsweise für Entnahmeapparaturen, Spindeln in Hydranten und Laufräder in Pumpen [1].

Obwohl Kupfer mit einem Standardpotential von +0,340 V als edel eingestuft wird, unterliegen Kupferrohre in Kontakt mit salzhaltigem Wasser und gelösten Gasen (Sauerstoff, Kohlendioxid) der Korrosion. In sauerstofffreiem Wasser ist Kupfer hingegen fast inert (thermodynamisch stabil). **In sauerstoffhaltigem Wasser korrodiert es langsam, wobei die Korrosionsprodukte vorwiegend an der Oberfläche haften.** Sie können das darunterliegende Kupfer mehr oder weniger passivieren. **Ein Teil der Korrosionsprodukte geht jedoch als Kupfer(II)-Ionen in das Kontaktwasser über, was als Metallabgabe bezeichnet wird.** Dabei kann der in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) festgelegte Grenzwert von 2,0 mg/l Kupfer bei einer Stagnationszeit von 4 h



Copyright: © 2026 by the authors. Licensee Trinkwasser Consulting, Essen, Germany. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

überschritten werden [2]. Da die Kupferabgabe in Neuinstallationen besonders hoch ist, aber im Betrieb schnell abfällt, gilt dieser Grenzwert erst nach einer Betriebszeit von 16 Wochen. Nach Einschätzung des Bundesamtes für Risikobewertung (BfR) ist **Kupfer ein essentielles Spurenelement**, das folgende Funktionen erfüllt:

1. Bestandteil biochemischer Katalysatoren (beispielsweise Cytochrom-C-Oxidase, Superoxid-Dismutase),
2. wichtig für Wachstum, Knochenstabilität, Blutzellreifung und Eisentransport.

Der tägliche Kupferbedarf liegt bei Erwachsenen bei 1,0 - 1,5 mg/Tag und bei Kindern bei 0,5 - 1,0 mg/Tag. Diese Bereiche sind sehr eng und der toxische Bereich beginnt bei Erwachsenen schon bei 5 mg/Tag und bei Kindern ab einem Jahr bei 1 bis 4 mg/Tag, abhängig vom Körpergewicht [3]. Akute Kupfer(II)-Toxizität äußert sich in Verdauungsproblemen, Übelkeit, Erbrechen und Durchfall. Eine chronische Kupfertoxizität durch die Langzeitaufnahme erhöhter Kupfermengen kann zu Leberschäden, Nierenproblemen und anderen gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Metallisches Kupfer wirkt bakteriostatisch, d. h., es hemmt das Wachstum von Bakterien, anstatt sie direkt zu töten. Gelöstes Kupfer(II) ist ab 0,01 mg/l toxisch für aquatische Organismen, wobei die Empfindlichkeit und Reaktionen sehr unterschiedlich sind [4,5].

1.2. Kupfer in der Trinkwasserverteilung

Welche Werkstoffe in der Trinkwasserverteilung eingesetzt werden können, ist in der Bewertungsgrundlage für metallene Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser des Umweltbundesamtes festgelegt [6]. In der Fassung vom August 2025 werden Kupfermaterialien gemäß **Tabelle 1** für die Werkstoffgruppen B bis D (Armaturen, Rohrverbinder und Apparate) zugelassen.

Tabelle 1. Kupfermaterialien zum Einsatz im Trinkwasser gemäß UBA-Bewertungsgrundlage [6]

Werkstoffbezeichnung nach ISO	Cu-DHP ¹	Cu-ETP	Cu-OF	Cu-PHC	Cu-HCP	Cu-DLP
Werkstoffbezeichnung nach DIN EN	CW024A	CW004A	CW008A	CW020A	CW021A	CW023A
Kupfergehalt [%]	≥ 99,90	≥ 99,90	≥ 99,95	≥ 99,95	≥ 99,95	≥ 99,90
Phosphorgehalt [%]	0,015 - 0,040	-	≤ 0,0003	0,001-0,006	0,002 - 0,007	0,005 - 0,013
Sauerstoffgehalt [%]	-	≤ 0,040	-	-	-	-
Dichte in g/cm ³	8,94	8,93	8,90	8,90	8,90	8,94
Eigenschaften	Sauerstofffreies, phosphorhaltiges Kupfer	Elektrolytisch raffiniertes, sauerstoffhaltiges Kupfer	Sauerstofffreies hochreines Kupfer	Sauerstofffreies hochreines Kupfer mit niedrigem Phosphorgehalt	Sauerstofffreies hochreines Kupfer mit niedrigem Phosphorgehalt	Sauerstofffreies Kupfer mit mittlerem Phosphorgehalt

¹ gemäß DIN EN 1057 [7].

Für die Verwendung von Kupferrohren gelten zudem für das verwendete Trinkwasser nachfolgende Einschränkungen: pH ≥ 7,4. Alternativ gilt pH 7,0 bis < 7,4 und für den gesamten organischen Kohlenstoff (TOC) ein Wert von ≤ 1,5 mg/l [6].

Nahtlose Rundrohre aus Kupfer für Wasser- und Gasleitungen in Sanitär- und Heizungsanlagen müssen der DIN EN 1057 [7] entsprechen. In Deutschland muss bei der Anwendung in der Gas- und Trinkwasserinstallation zusätzlich das DVGW-Merkblatt GW 392 [8] eingehalten werden. Dieses umfasst auch umhüllte und innen verzinnete Kupferrohre. Bei der Verwendung ist darauf zu achten, dass die Normbezeichnung „DIN EN 1057“ aufgedruckt ist, da nur dann ein problemfreier Betrieb in der Trinkwasserinstallation gewährleistet ist. Das Kupfer entspricht dann DHP-Anforderungen (**Tabelle 1**). Das Rohrmaterial ist in den drei Zustandsformen weich (R220), halbhart (R250) und hart (R290) erhältlich und sollte nur einheitlich eingesetzt

werden. Die Rohre unterscheiden sich in ihrer Zugfestigkeit und Bruchdehnung. Vor dem Einbau ist darauf zu achten, dass die Rohre sauber und glatt sind. Verunreinigungen wie Öle und Fette aus den Produktions- und Verarbeitungsprozessen können die Korrosion nämlich stark erhöhen, indem sie die Bildung von Lokalelementen begünstigen, die zu Lochkorrosion führt.

Bei Verbindungstechniken sind unlösbare und lösbare zu unterscheiden. Als unlösbare können Press- und Steckverbindungen, Weich- und Hartlötverbindungen, sowie Schweißverbindungen eingesetzt werden. Bei den lösbaren sind Klemmring- und Flanschverbindungen, Verschraubungen und Rohrkupplungen möglich [9].

1.3. Kupferlegierungen in der Trinkwasserinstallation

In der Trinkwasserinstallation finden neben Kupfer auch die beiden wichtigsten Legierungen Messing und Rotguss Anwendung. Sie sind in der DIN EN 1982 [10] klassifiziert. Zum Verbinden von Rohren werden oft Übergangsstücke aus Rotguss oder Messing verwendet. Armaturen bestehen meist aus Messing (zum Beispiel Zählergehäuse, Rückschlagventile und Abnahmemarmaturen).

Messing ist eine Legierung bestehend aus mindestens 50% Kupfer und bis zu 40% Zink. Bei Zinkgehalten bis zu einem Massenanteil von maximal 37% liegt nur die α -Phase vor, wobei das Zink in das Kupfergitter eingebaut ist, sodass die Legierungen wie Kupfer kalt verformbar sind. Man spricht in diesem Fall von Knetlegierungen. Bis vor kurzem war Blei ein wichtiger Nebenbestandteil in Kupfer-Zink-Blei-Legierungen, der zur mechanischen Bearbeitung legiert wurde. Aufgrund des reduzierten Trinkwassergrenzwertes für Blei sind diese Materialien laut Bewertungsgrundlage des UBA für metallene Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser ab dem 12. Januar 2028 nicht mehr erlaubt [6]. Die Bleikonzentration im Messing muss unter 0,2% liegen, damit der Bleigrenzwert im Trinkwasser von 0,005 mg/l (ab dem 12. Januar 2028) sicher eingehalten wird. Alle erlaubten Legierungen sind in der Bewertungsgrundlage aufgeführt. Auch eine Negativliste ist dort zu finden. Bleihaltiges Messing wird jedoch noch für Zählergehäuse und Armaturen verwendet, um die Verarbeitung zu erleichtern. In diesem Fall muss es jedoch gegen Wasserkontakt mit einer wasserdichten Schicht geschützt werden. So werden Zähler beispielsweise mit Epoxidharz beschichtet und Armaturen zuerst vernickelt und dann verchromt.

Rotguss ist eine Legierung aus Kupfer, Zinn und Zink, wobei der Name sich auf die rötliche Farbe des Materials bezieht. Es wird für Armaturengehäuse und Fittings verwendet. Rotguss gilt als korrosionsbeständig und ist aufgrund seines höheren Kupfergehalts vor Entzinkung geschützt. Gemäß der Bewertungsgrundlage des UBA ist der Rotguss CuSn5Zn5Pb2-C (CC499K) mit einem Bleigehalt von 0,2 - 3,0% nur bis zum 11. Januar 2028 gelistet [6]. Der alternative Rotguss mit der Bezeichnung CuSn4Zn2PS hat einen geringeren Bleigehalt von maximal 0,2% und ist ohne Einschränkung trinkwasserhygienisch für die Produktgruppen B bis D geeignet. Beim Rotguss CuSn4Zn2PS-C gemäß DIN SPEC 2701 ist der Bleigehalt sogar auf 0,10% beschränkt.

2. Korrosion von Kupfer und Kupferlegierungen

2.1 Flächenkorrosion von Kupfer

Gemäß DIN EN 12502-2 können bei Kupfer- und Kupferwerkstoffen neben der gleichmäßigen Flächenkorrosion auch Lochkorrosion, selektive Korrosion, Bimetallkorrosion und Erosionskorrosion auftreten [11]. **In der Folge der Flächenkorrosion bilden sich Deckschichten, die im Kaltwasser meist aus rotem Kupfer(I)-oxid (Cuprit) und grün-blauem Malachit, einem basischen Kupfercarbonat, bestehen.**

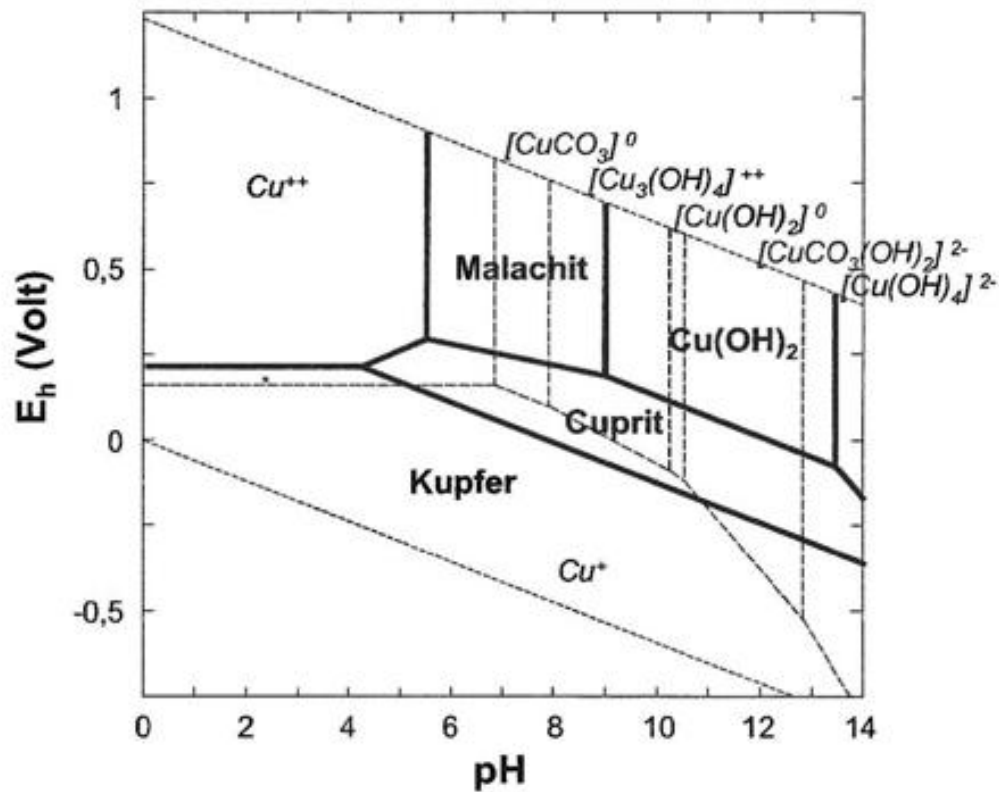


Abbildung 2. Pourbaix-Diagramm von Kupfer im Gleichgewicht mit Wasser, das 0,1 mmol/l (6,35 mg/l) Kupfer(II), 30 mg/l Kohlendioxid und 7 mg/l Sauerstoff enthält, unter Ausschluss der Korrosionsprodukte Kupfercarbonat, Azurit und Tenorit [13].

Im Warmwasser bilden sich meist Deckschichten aus Cuprit, Calcit (Calciumcarbonat) und schwarzem Kupfer(II)-oxid (Tenorit) aus [12]. Letzteres ist thermodynamisch ab pH 8 die stabilste Festphase, dessen Bildung im Kaltwasser aber kinetisch gehemmt ist. Merkel hat das Pourbaix-Diagramm von Kupfer in hartem Kaltwasser berechnet (Abbildung 2) [13]. Man erkennt, dass Kupfer in Gegenwart von Sauerstoff bei 0,2 V bis ca. pH 4,5 stabil ist und bei höheren pH-Werten zu Cuprit oxidiert wird. Im pH-Bereich von Trinkwasser (6,5 bis 9,0) sollte sich bei höheren Potenzialen zudem Malachit bilden. Da Tenorit als Korrosionsprodukt ausgeschlossen wurde, vergrößert sich der Existenzbereich von Malachit bis zu einem pH-Wert von 9. Anschließend wird Kupfer(II)-hydroxid zur dominanten Phase. Welche Festphase für die Kupferabgabe in der Wasserphase verantwortlich ist, kann das Pourbaix-Diagramm nicht beantworten. Es ist jedoch gesichert, dass sich zuerst eine mikrometerdicke, amorphe Cuprit-Schicht auf der Kupferoberfläche bildet, selten auch eine kristalline (siehe Abbildung 3). **Das Kupfer(I)-oxid hat nicht nur eine mechanische Deckschichtfunktion, sondern ist auch ein p (positiv) - Halbleiter mit einem Kupferdefizit.** Zwei Kupfer(I)-Ionen sind durch ein Kupfer(II)-Ion und eine Lochstelle ersetzt. Durch den Wechsel der Oxidationsstufen kann eine **positive Ladung durch das Kristallgitter wandern.** Dadurch wird das Kupfer(I)-oxid an der Kontaktfläche zum Wasser zu Kupfer(II)-oxid oxidiert, welches anschließend gelöst wird. Die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) von Kupfer in neutralem Leitungswasser ergab entsprechend auch, dass nicht die Oxid-Anionen, sondern die anodische Oxidation und Diffusion von Kupferionen in der Kupferoxidschicht für die Gesamtkorrosionsrate verantwortlich sind [14]. Bei diesen Untersuchungen bestanden die Oxidschichten hauptsächlich aus Kupfer(I)-oxid, mit Ausnahme der Oberflächenschicht, die geringe Mengen an Kupfer(II)-oxid, Kupfer(II)-hydroxid und Kupfercarbonat enthielt. Es ist belegt, dass der Sauerstoff an der Cuprit-

Oberfläche reduziert und korrespondierend dazu an der Metalloberfläche Kupfer oxidiert wird. Mit der Zeit wächst auf dem Cuprit das Mineral Malachit auf, zuerst in Form von Pusteln mit einer Größe von 40 bis 100 μm (siehe [Abbildung 3](#)). Da Malachit kein Halbleiter ist, kann sich ein Aufwuchs in älteren Rohren zu einer geschlossenen, passivierenden Schicht entwickeln [15].

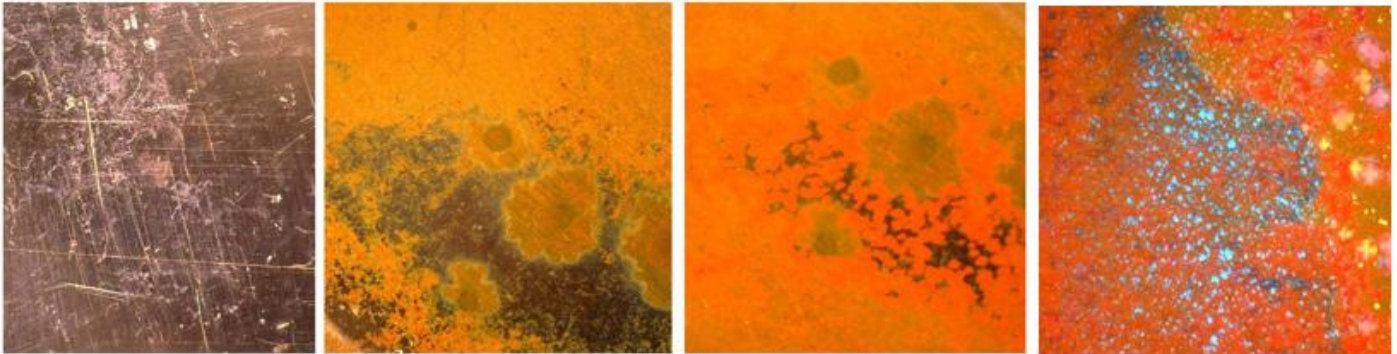


Abbildung 3. Flächenkorrosion eines Kupfercoupons nach 0, 3, 10 und 95 Tagen im Trinkwasser, rot: Cuprit, blau: Malachit.

Parallel zum Korrosionsprozess des Metalls reichert sich das Kontaktwasser mit Kupfer(II)-Ionen an. Durch die Korrosionsprozesse werden die Materialien also einerseits angegriffen und andererseits wird das Trinkwasser durch vorwiegend gelöste, aber auch suspendierte und ungelöste Korrosionsprodukte verunreinigt. Die beschriebene Flächenkorrosion führt bei Kupfer jedoch nur selten zu Korrosionsschäden.

Die Norm DIN EN 12502-2 [11] gibt Hinweise darauf, welche **Faktoren die Korrosionswahrscheinlichkeit für die Flächenkorrosion im Trinkwasser beeinflussen:**

- die Konzentrationen der Kohlendäurespezies (Kohlendioxid, Hydrogencarbonat und Carbonat),
- die Stagnationsdauer,
- die Betriebsbedingungen,
- und das Alter der Installation.

Insbesondere bei frisch verlegten Rohren und unregelmäßig betriebenen Installationen ist die Flächenkorrosion hoch; sie nimmt jedoch im Laufe der Betriebszeit ab. In Einzelfällen wurde in frisch verlegten Trinkwasserinstallationen, die nur sporadisch betrieben wurden, blaues Wasser beobachtet. Dies weist auf eine weit über dem Trinkwassergrenzwert liegende Kupferkonzentration hin. Deshalb ist es empfehlenswert, Stagnationswasser in neuen Kupferinstallationen großzügig ablaufen zu lassen, bevor das Wasser als Trinkwasser verwendet wird.

2.2 Lochkorrosion von Kupfer

Die **Kupferlochkorrosion** führt wesentlich öfter zu Korrosionsversagen als die Flächenkorrosion. Sie tritt überwiegend in Kaltwasserleitungen nach einigen Betriebsjahren auf, insbesondere, wenn das Wasser gechlort ist und einen hohen pH-Wert (> 8), einen niedrigen Hydrogencarbonat-Gehalt sowie mäßige Chlorid-Werte ($> 60 \text{ mg/l}$) und hohe Sulfatwerte ($> 120 \text{ mg/l}$) aufweist. Die Löcher sind klein und rund, die Leckage ist eher gering, führt aber zu Schäden im Haus. In der europäischen DIN EN 12502-2 [11] entspricht die Korrosion im Kaltwasser dem **Typ 1**, wobei auf den großen Einfluss einer qualifizierten Installation hingewiesen wird. Die Korrosionswahrscheinlichkeit nimmt mit steigenden Hydrogencarbonat- und Chlorid-Konzentrationen ab. Sulfat- und Nitrationen hingegen führen zu einer erhöhten Korrosionsneigung. In sauerstofffreiem Wasser tritt keine Lochkorrosion auf.

Lochkorrosion vom Typ 2 kommt nur in erwärmten Wässern vor, bei niedrigem pH-Wert ($\text{pH} < 7$) und geringer Hydrogencarbonat-Konzentration (Hydrogencarbonat $< 1,5 \text{ mmol/l}$), sowie hohen Sulfatgehalten [11]. Die Korrosionswahrscheinlichkeit ist erhöht, wenn der Quotient aus der Hydrogencarbonat- und der Sulfatkonzentration unter 1,5 liegt. Durch eine pH-Erhöhung kann bei diesen Wässern die Korrosion vom Typ 2 weitgehend unterdrückt werden.

2.3 Inhibitoren zur Minimierung der Kupferkorrosion

Inhibitoren reduzieren sowohl die Kupferkorrosion als auch die Kupferabgabe. Dabei handelt es sich um einen kinetischen Effekt. Das Material wird dadurch jedoch nicht inert, sondern ist nur solange geschützt, wie der Inhibitor im Korrosionssystem vorhanden ist. Dies kann auch über die Zeit der Dosierung hinaus stattfinden, wenn der Inhibitor stark adsorbiert ist, wie im Fall des 1,2,3-Benzotriazols. Es adsorbiert am metallischen Kupfer und verhindert so den Beginn der Korrosion [16]. Die Anwendung von 1,2,3-Benzotriazol im Trinkwasser ist jedoch nicht erlaubt. Einen Überblick über Inhibitoren geben zwei Reviews [17,18]. Aufgrund ihrer toxischen Eigenschaften ist auch für diese Inhibitoren eine Anwendung im Trinkwasser ausgeschlossen.

Gemäß der Liste der zulässigen Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren [19] sind für Trinkwasseranwendungen in Deutschland die Zugabe verschiedener Mono-, Di- und Polyphosphate sowie von Natriumsilikat, auch in Kombination zur Korrosionsminderung erlaubt. Aufgrund ihrer alkalisierenden Wirkung haben auch die Zugabe von Natriumhydroxid, Natriumhydrogencarbonat und Natriumcarbonat einen korrosionsdämpfenden Einfluss, sie werden aber nicht in der Liste für den Verwendungszweck aufgeführt.

2.4 Kupferabgabe in das Trinkwasser

Die Kupferabgabe in das Wasser kann durch die folgenden Prozesse erklärt werden: (a) Oxidation des metallischen Kupfers zu Kupfer(II) und Übergang in die Cuprit-Schicht, (b) Diffusion der Kupferionen an die Oberfläche der Oxidschicht und Übergang in die Wasserphase, (c) Diffusion von Sauerstoff an der Oxidschicht und (d) Reduktion zu oxidischem Sauerstoff und Einbau in das Cuprit-Kristallgitter. Es ist bekannt, dass Kupfer als hydratisierte Kupfer(II)-Ionen in das Kontaktwasser übergehen [13]. Kupfer(I)-Verbindungen zeigen dagegen nur eine sehr geringe Löslichkeit. Zudem disproportioniert gelöstes Kupfer(I) in saurer und neutraler Lösung gemäß Gleichung 1 in metallisches Kupfer und Kupfer(II).



Der Korrosionsprozess ist pH-Wert gesteuert: Bei einem niedrigen Wert von pH 5 gehen durch Diffusion Kupferionen von der Oxidschicht in Lösung. Die Korrosion schreitet voran, eine Gleichgewichtskonzentration im Wasser wird nicht erreicht. Im pH-Bereich des Trinkwassers von 6,5 bis 9,5 wird zunächst ein linearer Anstieg der Kupferkonzentration bis pH 7,6 beobachtet, der anschließend wieder abfällt. Dieser Prozess wird durch Gleichung 1 beschrieben. Parallel zur Kupferoxidation wird der gelöste Sauerstoff verbraucht. Für die Kupferabgabe sind insbesondere der pH-Wert und die Pufferkapazität des Systems Kohlendioxid-Hydrogencarbonat maßgeblich. Das Hauptprodukt ist im Carbonat-haltigem Trinkwasser das neutrale Kontaktpaar $[\text{CuCO}_3]^0$ (siehe Abbildung 2) [22]. Der Komplex hat eine intensive ultraviolette Absorptionsbande, die zur Konzentrationsbestimmung des gelösten Kupfers herangezogen werden kann.

In natürlichen Wässern nehmen auch Huminstoffe und weitere Anionen, insbesondere Phosphat, Einfluss auf die Lösungsprozesse. So zeigte Dartmann [21], dass eine Orthophosphatzugabe die Kupferabgabe sowohl verringern als auch erhöhen kann. Einerseits verringert Phosphat die Kupferkorrosion bzw. die Sauerstoffoxidation, sodass weniger Kupfer in die Wasserphase übergeht, andererseits behindert Phosphat die

Bildung von Malachit, sodass eine höhere Kupferkonzentration in der Wasserphase verbleibt. Auch Huminstoffe – natürliche, durch den Abbau organischer Substanzen erzeugte, polare Makromoleküle – beeinflussen die Kupferabgabe auf komplexe Weise, indem sie Kupfer(II) adsorbieren und zugleich die Bildung von Malachit behindern.

Der Einfluss von Chlorid und Sulfat auf die Kupferabgabe wurde in einem BMFT-Projekt untersucht [22]. **Festgestellt wurde, dass Chlorid die Kupferabgabe verringert und Sulfat sie erhöht. Die Kombination von Sulfat und Chlorid führte zur höchsten Kupferabgabe. Zudem wurde festgestellt, dass Sulfat auch einen Langzeiteffekt hat.**

Da die Korrosion von Kupfer noch nicht vollständig verstanden ist, ist es bisher nicht möglich, aus den Wassereigenschaften sicher abzuleiten, ob Kupferleitungen für ein spezifisches Trinkwasser geeignet sind. Gemäß der UBA-Bewertungsgrundlage sollte das Trinkwasser in einer Neuinstallation spätestens nach der 16. Woche den Kupfer-Grenzwert von 2,0 mg/l einhalten [6]. Dies ist erfüllt, wenn das spezifische Trinkwasser einen pH-Wert von $\geq 7,4$ oder einen pH-Wert im Bereich zwischen 7,0 und 7,4, sowie einen TOC von $\leq 1,5$ mg/l aufweist. Die entsprechenden Werte werden vom Versorger veröffentlicht. Liegen für ein bestimmtes Versorgungsgebiet spezifische Untersuchungsergebnisse zur Kupferabgabe vor, sind diese Informationen bei der Werkstoffauswahl zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass eine Untersuchung der Kupferabgabe notwendig wird. Zu beachten ist, dass die Gültigkeit dieser aus einer statistischen Auswertung abgeleiteten Einsatzempfehlung die oben angesprochene Pufferkapazität nicht berücksichtigt und nicht wissenschaftlich abgesichert ist.

Aus diesem Grund sollten zunächst Versuche im Labormaßstab durchgeführt werden. Im nachfolgenden Kapitel werden einige Untersuchungen beschrieben, die Anwendung und Ergebnisse werden im nächsten Artikel vorgestellt. Im Laborversuch kann zudem der Einfluss verschiedener Salze auf die Kupferabgabe untersucht werden.

Anders als bei Kupfer gibt es für innenverzinntes Kupfer keine Einschränkungen für den Einsatz in der Trinkwasserinstallation, sofern die Verzinnung dem DVGW-Arbeitsblatt GW 392 auf der Prüfgrundlage W 534 entspricht [23]. Zinn ist aktuell auch kein Untersuchungsparameter der Trinkwasserverordnung.

3 Versuche zu Bestimmung der Kupferkorrosion

3.1 Bestimmung der Korrosionsrate von Kupfer

Die Korrosionsrate für Kupfer ergibt sich aus der pro Zeiteinheit als Summe der in die Deckschicht eingebauten Masse an Kupfer und der Masse an Kupfer, die in das Kontaktwasser übergeht. Hierzu werden mehrere gewogene Coupons mit Wasser in Kontakt gebracht – statisch oder im Fließsystem – und zu definierten Zeiten der Materialverlust der Kupfer-Coupons nach selektiver Ablösung der Deckschicht ermittelt. **Die Kupferabgabe wird durch eine parallele Untersuchung des Kontaktwassers auf gelöstes Kupfer erhalten.**

Unter der Annahme, dass die Kupferabgabe im Vergleich zum in die Deckschicht eingebauten Kupfer gering ist und nur ein Korrosionsprodukt (Cuprit) gebildet wird, kann die Korrosionsgeschwindigkeit auch aus der zeitlichen Zunahme der Deckschicht mittels gravimetrischer Messungen ermittelt werden [15].

Eine weitere Methode basiert darauf, dass bei der Flächenkorrosion von Kupfer der Sauerstoff im Trinkwasser das dominierende Oxidationsmittel ist und die Sauerstoffzehrung der Kupferkorrosion entspricht [13].

Die Korrosionsrate, das heißt die vom Korrosionssystem pro Flächen- und Zeiteinheit verbrauchte Sauerstoffmenge, kann aus einer Sauerstoffdifferenzmessung in einem Versuchsrohr ermittelt werden. Dazu wird eine zuvor permanent mit Wasser durchströmtes Rohrstück auf den Kreislaufbetrieb umgeschaltet und die Abnahme des Sauerstoffgehalts in Abhängigkeit von der Zeit gemessen und ausgewertet [22]. Aus der (negativen) Steigung der Sauerstoffkonzentrationszeitkurve, den spezifischen

geometrischen Eigenschaften des Versuchsrohrs und dem Volumen der Kreislaufapparatur kann die Korrosionsrate des Metalls ermittelt werden. Dabei gilt für Kupfer die Stöchiometrie nach [Gleichung 2](#), wobei ein vernachlässigbarer Anteil an Malachit und weiteren Kupfer(II)-Mineralien angenommen wird.



Da die Korrosionsraten temperaturabhängig sind, sollte die Temperatur während der Stagnationsphase möglichst konstant gehalten werden. Im Labor kann dies durch eine Temperierung erfolgen, in der Technik durch die Durchführung in einem temperierten Raum. Zumindest sollte die Temperatur während des Stagnationsversuchs ermittelt und dokumentiert werden. Zusätzlich zur Sauerstoffmessung sind Messungen des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit sinnvoll, insbesondere, wenn der pH-Wert oder die Salzkonzentrationen variiert werden, um deren Einfluss auf die Korrosion zu evaluieren [23]. Die Reaktionsgeschwindigkeit kann auch mit elektrochemischen Methoden bestimmt werden. So liefern EIS-Messungen beispielsweise die anfängliche Geschwindigkeitskonstante der Korrosion [14]. Zudem kann die Flächenkorrosion eines blanken Kupferblechs durch Vermessung der korrodierten Bereiche bestimmt werden [25].

3.2 Bestimmung der Kupferabgaberate

Methoden zur Ermittlung der zeitabhängigen Korrosion durch diskontinuierliche Probenahme wurden beschrieben [14,22]. Nach dem Ansäuern sind die Proben stabil, sodass die Gesamtkupfergehalte im Labor mit den Analysemethoden Photometrie, Atomabsorption (AAS) oder Plasma-angeregte optische Emissionsspektrometrie (ICP-OES) bzw. Plasma-angeregte Massenspektrometrie (ICP-MS) bestimmt werden können. Für geringe Kupferkonzentrationen sind insbesondere die Graphitrohr-AAS und die ICP-MS geeignet. Wenn die Kupferkonzentration kontinuierlich bestimmt werden soll, kann dies über die Intensität der d^9 -Bande des Hexaaquakupfer(II)-Kations $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ bei 800 nm erfolgen. Da die Empfindlichkeit jedoch gering ist, muss meist eine Farbreaktion durchgeführt werden, wodurch die Messlösung nicht wieder zurückgeführt werden kann. Eine empfindlichere Online-Methode ist die Nutzung der Charge-Transfer-Absorptionsbande des neutralen Kupfercarbonat-Komplexes $[\text{CuCO}_3]^0$ bei 276,5 nm [27].

Da das Pourbaix-Diagramm die Stabilität des Kupfercarbonat-Komplexes nur im pH-Bereich von 7 bis 8 angibt, sollte die Konzentration mit einer unabhängigen Methode, beispielsweise ICP-MS, bestätigt werden. Mithilfe der Konzentrations-Zeit-Daten kann die Kupferabgabe unter Stagnationsbedingungen ermittelt werden. Auch eine zeitliche Extrapolation ist möglich. Wenn nur eine Prüfung des Trinkwassergrenzwertes von 2,0 mg/l Kupfer nach einer Stagnationszeit von 4 Stunden durchgeführt werden soll, kann das Wasser nach der Stagnationszeit aus dem Kupferrohr entnommen und die Kupferkonzentration mit einer analytischen Methode bestimmt werden [24].

Zudem kann aus den Konzentrations-Zeit-Daten auch die anfängliche Geschwindigkeitskonstante der Kupferkorrosion ermittelt werden [28].

3.3 Bestimmung des pH-Wert Einflusses auf die Korrosion

Auch wenn bekannt ist, dass die Kupferkorrosion mit der Verringerung des pH-Wertes ansteigt, lässt sich für ein spezifisches Wasser nicht ableiten, wie hoch der Einfluss ist und ob der Kupfergrenzwert durch eine definierte Verschiebung des pH-Wertes überschritten wird. Hier können Kreislaufversuche bei verschiedenen pH-Werten dem Versorger Sicherheit geben. Der pH-Wert hat auch einen Einfluss auf das Kohlensäure-Gleichgewicht: Bei einem pH-Wert von 6,4 liegen Hydrogencarbonat und die Summe aus Kohlendioxid und Kohlensäure in etwa gleicher Konzentration vor. Bei einem pH-Wert von etwa 10 liegen jeweils 50% Hydrogencarbonat und Carbonat vor.

3.4 Bestimmung des Einflusses von Salzen auf die Korrosion

Sowohl Roh- als auch Trinkwässer können in ihrer Zusammensetzung variieren, wobei den Salzen eine besondere Bedeutung zukommt. Sie dissoziieren im Wasser und greifen als Ionen in den Prozess ein: Entweder unterstützen sie die Korrosion durch die Bildung löslicher Spezies oder sie inhibieren durch die Abscheidung von Feststoffen auf der Oberfläche. Um den kurzfristigen Einfluss auf die Korrosion von Kupfer zu untersuchen, bietet sich ein im Prüfwasser äquilibriertes Kupferrohr an, das in eine Kreislaufapparatur eingebaut wird. Dabei wird ein einzelnes Salz oder eine Kombination mehrerer Salze dem Prüfwasser hinzugefügt und die Kupferabgabe über die Zeit ermittelt, um deren Einfluss zu bestimmen. Salze, die einen Einfluss auf die Kupferkorrosion haben können, sind unter anderem Sulfate, Nitrate und Chloride. Diese sind neben Hydrogencarbonat meist die wichtigsten NebenkompONENTEN im Trinkwasser.

3.5 Bestimmung des Inhibitoreinflusses auf die Korrosion

Inhibitoren werden eingesetzt, um die Kupferkorrosion und die Kupferabgabe zu reduzieren. **Um den Einfluss eines Inhibitors bewerten zu können, sind oft statische oder Durchflussversuche mit einer längeren Versuchsdauer erforderlich, da der Effekt häufig erst nach Wochen sicher nachweisbar ist.** Der Einfluss des Inhibitors auf das Metall oder die Legierung kann dabei durch Untersuchung der Oberfläche mit optischen oder spektrometrischen Methoden erfolgen. Parallel dazu kann die Kupferabgabe an das Wasser durch Messungen des Kontaktwassers ermittelt werden. Entsprechende Versuche werden im nächsten Artikel beschrieben.

3.6 Vorgehensweise bei Problemen in der Trinkwasserinstallation

Bilden sich an Wasserhähnen oder auf Sanitärgegenständen grün-blaue Ablagerungen, so bestehen diese vorwiegend aus Kalk mit einem oft nur geringen Kupferanteil. Dieser kann als Beleg für eine Flächenkorrosion von Kupferwerkstoffen in der Trinkwasserinstallation angesehen werden. Er ist jedoch kein Hinweis auf eine erhöhte Kupferkorrosion. Blau- oder grüngesärbtes Wasser weist hingegen auf hohe Kupferkonzentrationen hin. Ob eine verstärkte Korrosion vorliegt, kann durch eine Wasseruntersuchung geklärt werden. Hierzu gibt es die Probenahmeempfehlung des Umweltbundesamtes [29]. Entsprechend der Empfehlung wird die zu untersuchende Leitung gespült, bis die Temperatur konstant ist. Anschließend wird eine 1-Liter-Probe (S0) entnommen. Danach wird das Ventil für vier Stunden geschlossen und nicht verwendet. Anschließend werden nacheinander die erste (S1) und die zweite (S2) Stagnationsprobe entnommen, jeweils ein Liter. Alle drei Proben werden auf Kupfer untersucht. Dabei darf keine der Proben den Grenzwert von 2,0 mg/l Kupfer überschreiten. Die S0-Probe gilt als repräsentativ für den Hausanschluss oder das Netzwasser. Die S1-Probe gibt die Kupferkonzentration im nahen Umfeld der Abnahmearmatur wieder und die S2-Probe die der weiteren Trinkwasserinstallation. Das beschriebene Verfahren wird auch zur Bestimmung von Nickel und Blei gemäß TrinkwV angewandt.

4. Zusammenfassung

Kupfer und Kupferlegierungen, wie beispielsweise Messing und Rotguss, sind aufgrund ihrer guten Verarbeitungseigenschaften und geringen Korrosionsneigung beliebte Materialien in der Trinkwasserinstallation. Die Flächenkorrosion führt jedoch dazu, dass im pH-Bereich von Trinkwasser permanent Kupfer, ein Schwermetall, in das Wasser übergeht. Der Grenzwert von 2 mg/l nach 16 Wochen Betriebszeit wird jedoch nur selten überschritten. Stagnationswasser sollte jedoch immer vor der Anwendung ausgetauscht werden. Dies gilt insbesondere für Neuinstallationen. Liegen dem Wasserversorger Daten vor, die belegen, dass diese Anforderung mit der gegebenen

Wasserqualität nicht einzuhalten ist, muss er den Kunden darüber informieren. Zudem kann es bei sauren, schwach gepufferten Wässern zur Lochkorrosion kommen. Sie ist der Hauptgrund für Korrosionsversagen in der Trinkwasserinstallation.

Literatur

1. Hornbogen, E.; Warlimont, H.; Skrotzki, B. *Metalle: Struktur und Eigenschaften der Metalle und Legierungen*; Springer-Verlag, 2019.
2. Trinkwasserverordnung vom 20. Juni 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 159, S. 2). https://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv_2023/BJNR09F0B0023.html, aufgerufen am 20.06.2025.
3. Itter, H.; Pabel, U. Toxikologie von Blei, Kupfer und Zink, Bundesamtes für Risikobewertung, Symposium „Alles Wild?“, 8.03.2013. <https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/toxikologie-von-blei-kupfer-und-zink.pdf>, aufgerufen am 16.05.2025.
4. Smriti; Ahmed, A.; Lodhi, S.; Shukla, S. Copper toxicity in aquatic ecosystem: A Review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* **2023**, 11 (4), 134–138. <https://doi.org/10.22271/fish.2023.v11.i4b.2835>.
5. Rehman, M.; Liu, L.; Wang, Q.; Saleem, M. H.; Bashir, S.; Ullah, S.; Peng, D. Copper environmental toxicology, recent advances, and future outlook: a review. *Environmental Science and Pollution Research* **2019**, 26 (18), 18003–18016. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05073-6>.
6. Bewertungsgrundlage für metallene Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser, Umweltbundesamt, Version vom 21. August 2025 unter Berücksichtigung der 6. Änderung der Neufassung. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/13195/dokumente/metall-bewertungsgrundlage_6_aenderung_der_neufassung_de.pdf, aufgerufen am 27.11.2025.
7. DIN EN 1057:2010-06 Kupfer und Kupferlegierungen - Nahtlose Rundrohre aus Kupfer für Wasser- und Gasleitungen für Sanitärinstallationen und Heizungsanlagen, DIN Media GmbH, Berlin.
8. Arbeitsblatt GW 392 2009-07 Nahtlosgezogene Rohre aus Kupfer für Gas- und Trinkwasser-Installationen und nahtlosgezogene, innenverzinnete Rohre aus Kupfer für Trinkwasser-Installationen; Anforderungen und Prüfungen, WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
9. Lernprogramm Die fachgerechte Kupferrohr-Installation, Kupferverband e.V. Gütegemeinschaft Kupferrohr e.V., 2023. https://kupfer.de/wp-content/uploads/2023/08/RZ_Kupferlernprogramm_Lehrprogramm.pdf, aufgerufen am 16.05.2025.
10. DIN EN 1982:2024-12 Kupfer und Kupferlegierungen - Blockmetalle und Gussstücke, DIN Media GmbH, Berlin.
11. DIN EN 12502-2:2005-03 Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe - Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und speichersystemen - Teil 2: Einflussfaktoren für Kupfer und Kupferlegierungen, DIN Media GmbH, Berlin.
12. Lytle, D. A.; Nadagouda, M. N. A comprehensive investigation of copper pitting corrosion in a drinking water distribution system. *Corrosion Science* **2010**, 52 (6), 1927–1938. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.02.013>.
13. Merkel, T. H. *Untersuchungen zu den chemischen Reaktionen bei der Flächenkorrosion des Kupfers in Trinkwasserinstallationen*, Dissertation, Universität Fridericiana Karlsruhe, 2002.
14. Feng, Y.; Teo, W.; Siow, K.; Tan, K.; Hsieh, A. The corrosion behaviour of copper in neutral tap water. Part I: Corrosion mechanisms. *Corrosion Science* **1996**, 38 (3), 369–385. [https://doi.org/10.1016/0010-938x\(96\)00110-2](https://doi.org/10.1016/0010-938x(96)00110-2).
15. Feng, Y.; Teo, W.; Siow, K.; Hsieh, A. The corrosion behaviour of copper in neutral tap water. Part II: Determination of corrosion rates. *Corrosion Science* **1996**, 38 (3), 387–395. [https://doi.org/10.1016/0010-938x\(96\)00111-4](https://doi.org/10.1016/0010-938x(96)00111-4).
16. Kuznetsov, Y.; Frumkin, A. Triazoles as a class of multifunctional corrosion inhibitors. A review. Part I. 1,2,3-Benzotriazole and its derivatives. Copper, zinc and their alloys. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition* **2018**, 7 (3). <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2018-7-3-1>.
17. Dariva, C. G.; Galio, A. F. Corrosion inhibitors – principles, mechanisms and applications. In *InTech eBooks*; **2014**. <https://doi.org/10.5772/57255>.
18. Fateh, A.; Aliofkhaizraei, M.; Rezvanian, A. R. Review of corrosive environments for copper and its corrosion inhibitors. *Arabian Journal of Chemistry* **2017**, 13 (1), 481–544. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.021>.
19. Bekanntmachung der Liste zulässiger Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 20 der Trinkwasserverordnung (Stand: Januar 2023), Umweltbundesamt, <https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/IH2o2fSsV5YvYknFqru/content/IH2o2fSsV5YvYknFqru/BAAnz%20AT%2027.01.2023%20B12.pdf?inline>, aufgerufen am 20.06.2025.
20. Werner, W.; Groß, H.-J.; Gerlach, M.; Horvath, D.; Sontheimer, H. Untersuchungen zur Flächenkorrosion in Trinkwasserleitungen aus Kupfer, *GWF – Wasser/Abwasser* **1994**, 135, 92-103.
21. Dartmann, J. *Einfluss von Aufbereitungsmaßnahmen auf die Korrosion in Trinkwasserleitungen*, Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2005.
22. Eberle, S. H.; Haag, S.; Huckele, S.; Freyas, R. *Untersuchungen zur Minimierung der Kupferabgabe in Trinkwasserinstallationen*, BMFT-Projekt 02WT0501, 2009.

-
23. Prüfgrundlage W 534 2015-07 Rohrverbinder und Rohrverbindungen in der Trinkwasser-Installation, , WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
 24. Prakash. T.M., Scholze, R.J., Neff, C.H., Maloney, S.W., Heath, M., Smith, E.D. Development of a Pipe Loop System for Determining Effectiveness of Corrosion Control Chemicals in Potable Water Systems **1988**, U. S. Army Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, IL, USA. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-D103-PURL-gpo50403/pdf/GOVPUB-D103-PURL-gpo50403.pdf>, angerufen am 09.02.2025.
 25. Weisheim, A. *Untersuchungen zur Korrosion verschiedener Werkstoffe im Trinkwasser*, Bachelorarbeit, Universität Duisburg-Essen, 2014.
 26. Müller, M. *Einfluss der Inhibitor dosierung auf Mikrobiologie und Korrosion in Kupferrohren mit Trinkwasserdurchfluss*, Bachelorarbeit, Hochschule Niederrhein, 2014.
 27. Zuehlke, R. W.; Kester, D. R. Ultraviolet spectroscopic determination of the stability constants for copper carbonate and bicarbonate complexes up to the ionic strength of seawater. *Marine Chemistry* **1983**, 13 (3), 203–226. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(83\)90015-4](https://doi.org/10.1016/0304-4203(83)90015-4).
 28. Kuhn, J. *Integrated Approach for the Investigation of Copper Corrosion in Drinking Water Distribution Systems*, Masterarbeit, Universität Duisburg-Essen, 2015.
 29. Empfehlung des Umweltbundesamtes Beurteilung der Trinkwasserqualität hinsichtlich der Parameter Blei, Kupfer und Nickel („Probenahmeempfehlung“), Umweltbundesamt, Rev01, Stand: 18. Dezember 2018, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5620/dokumente/probennahmeempfehlung_rev01.pdf
 30. aufgerufen am 30.06.2025.