



Korrosionskontrolle in der Trinkwasserverteilung mit einfachen Methoden

Teil 3: Eigenschaften und Korrosion von Gusseisen und Stahl

Norbert Konradt, Monika Konradt und Peter Janknecht, Trinkwasser Consulting

Zusammenfassung: Metalle werden wegen ihrer guten mechanischen Eigenschaften geschätzt und häufig in der Trinkwasserverteilung eingesetzt. Eisenwerkstoffe sind unlegierte und niedrig legierte Stähle sowie Gusseisen. Eisen ist jedoch in Wasser thermodynamisch nicht stabil und korrodiert nach dem Typ der Wasserstoffkorrosion, bei der Wasserstoffionen zu Wasserstoff reduziert werden. In Gegenwart von Sauerstoff findet die wichtige Sauerstoffkorrosion statt, bei der gelöster Sauerstoff zu Hydroxidionen reduziert wird. Bei beiden Prozessen wird Metall oxidiert und geht in die Korrosionsschicht oder ins Wasser über. Aber auch niedrige Sauerstoffgehalte können zu Qualitätsproblemen führen, wie die instationäre Korrosion zeigt, die zu Rostwasservorfällen führt. Da im Versorgungsnetz noch viele ältere, nicht gegen Korrosion geschützte Rohrleitungen verbaut sind, ist weiterhin mit Korrosionsproblemen zu rechnen, insbesondere wenn sich die Wassereigenschaften ändern. Bei unlegierten und niedriglegierten Stählen sowie Gussrohren ohne Innenschutz sind insbesondere die Korrosionsarten "Flächenkorrosion" und "Lochkorrosion" von Bedeutung. Bei Gusseisen ist zusätzlich die selektive Korrosionsart „Spongiose“ zu beachten, die insbesondere bei älteren Gussleitungen mit Lamellengraphit („Grauguss“) oder unzureichend geschützten Gussleitungen mit Kugelgraphit („Duktilguss“) auftreten kann. Heute sind Gussleitungen für Trinkwasser innen mit Zementmörtel und außen mit Zink und einer Polymerumhüllung gut geschützt und es kann von einer langen Lebensdauer ausgegangen werden.

Stichwörter: Metalle, Legierungen, Phasengrenzen, Gusseisen, unlegierter und niedriglegierter Stahl, nichtrostender Stahl, Korrosionstypen, Angriffsarten, Flächenkorrosion, Lochkorrosion, selektive Korrosion.



Copyright: © 2025 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/>).

Vorwort: Was beabsichtigt diese Artikelreihe?

Mit dieser Artikelreihe wollen wir über die Möglichkeiten der Korrosionskontrolle im Trinkwasserverteilungsnetz und in Trinkwasserinstallationen informieren. Dazu werden die Bedeutung der Korrosion für die in der Trinkwasserversorgung eingesetzten Werkstoffe und das Medium Trinkwasser dargestellt, Untersuchungsmethoden erläutert und mögliche Problemlösungsstrategien für den Korrosionsschutz diskutiert. Damit soll insbesondere Wasserversorgern, Großverbrauchern und interessierten Privatpersonen ein tieferes Verständnis der Metallkorrosion im Trinkwasser vermittelt werden.

1. Metalle und Legierungen

Die meisten Elemente des Periodensystems sind Metalle [1]. Der Übergang zu den Halbmetallen und Nichtmetallen ist fließend, da von einigen Elementen sogar mehrere Modifikationen bekannt sind, beispielsweise bei Phosphor und Arsen.

Für Metalle und Legierungen gelten als charakteristisch:

- **hohe elektrische Leitfähigkeit**, die mit steigender Temperatur abnimmt,
- **hohe Wärmeleitfähigkeit**, wodurch sich Metalle kühl anfühlen,
- **Duktilität** (Verformbarkeit), die es ermöglicht, dünner Bleche oder lange Drähte zu formen,
- **und metallischer Glanz.**

Diese Eigenschaften beruhen darauf, dass der Zusammenhalt der betreffenden Atome in einem Gitter durch metallische Bindung erfolgt, deren äußere Elektronen (Valenzelektronen) frei beweglich sind. Fast immer bestehen metallische Bauteile aus kleinen Kristallen, den so genannten **Körnern** oder **Kristalliten**, die durch **Korngrenzen** voneinander getrennt sind. Innerhalb der Korngrenzen liegen die Atome meist in einer einheitlichen räumlichen Anordnung vor. Je nach Metall und Verarbeitung haben die Kristallite eine Größe von Mikrometern bis zu einigen Zentimetern [2]. Wird das Werkstück angeschliffen und gegebenenfalls geätzt, erkennt man optisch, dass die Kristallite unterschiedlich ausgerichtet sind (Abb. 1a). Korngrenzen haben einen starken Einfluss auf die Festigkeit des Werkstoffs, verringern die elektrische und thermische Leitfähigkeit und können korrosionsfördernd wirken.

Eisen ist nach Aluminium das zweithäufigste Metall der Erdkruste, wird aber nur selten in reiner Form technisch verwendet, sondern in Form von Legierungen mit Kohlenstoff und anderen Metallen wie Chrom und Nickel. **Legierungen** sind makroskopisch homogene Werkstoffe, die aus mindestens zwei Komponenten bestehen, von denen mindestens eine ein Metall ist und metallisches Verhalten zeigt.

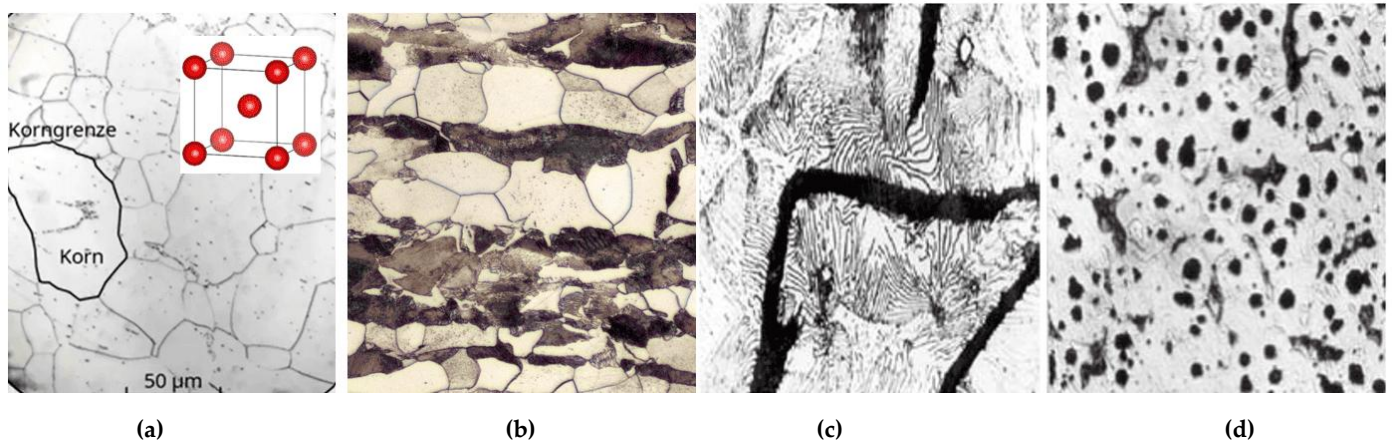


Abbildung 1. (a) Körner und Korngrenzen in Eisen mit Ferrit-Kristallgitter (Insert), (b) Gefüge eines unlegierten Stahls mit 0,35 % Kohlenstoff mit hellen Ferritkörnern und dunklem lamellarem Perlit (laminar aufgebautes Gefüge aus Ferrit und Zementit), (c) Gusseisen mit Phase aus Lamellengraphit (schwarz), (d) Gusseisen mit Phase aus Kugelgraphit (schwarz) nach [3].

Legierungen haben in der Regel eine kristalline Struktur, wenn die Legierungsbestandteile im gleichen Kristallgitter vorliegen; es können aber auch verschiedene Phasen wie im Stahl vorliegen, wo neben dem Ferrit (kubisch-raumzentriertes Eisen) eine Perlit-Phase (laminar aufgebautes Gefüge aus Ferrit und Zementit) vorhanden ist (Abb. 1b). Bei Gusseisen, das einen höheren Kohlenstoffgehalt besitzt, wird zusätzlich eine Graphitphase gebildet, die in Lamellenform (Abb. 1c) oder Kugelform vorliegt (Abb. 1d). Das Vorhandensein verschiedener Phasen in Legierungen

kann zu Korrosion zwischen den Körnern führen (interkristalline Korrosion), wie z.B. der **Spongiose** bei Gusseisen oder Spannungsrisskorrosion bei nichtrostenden Stählen. Zudem wird die Bildung von Lokalelementen befördert.

2. Metalle in der Trinkwasserverteilung

Die Verwendung von Metallen in der Trinkwasserverteilung hat eine jahrhundertelange Tradition, insbesondere Gussrohre im Verteilungsnetz und Blei in der Trinkwasserinstallation. Metalle sind duktil, druckfest und gut zu verarbeiten. Die Korrosion ist vergleichsweise langsam, so dass Metallrohre auch für den Wassertransport eingesetzt werden können. So sind Guss- und Stahlrohre aus den 1930er Jahren unter guten Betriebsbedingungen noch heute ohne Auffälligkeiten in Verteilungsnetzen in Betrieb. Die Korrosionsprobleme metallischer Wasserleitungen waren schon früh bekannt, insbesondere die Tatsache, dass Gussleitungen zeitweise braunes Wasser lieferten und dass Menschen in Haushalten mit Bleileitungen häufig erkrankten.

2.1. Gussrohre in der Trinkwasserverteilung

Gusseisen ist eine Eisen-Kohlenstoff-Legierung mit einem Kohlenstoffgehalt von 2,5 bis 5%. Im Gegensatz zu Stahl liegen im Gusseisen neben Zementit auch unterschiedlich geformte Graphitphasen vor [3]. Gusseisen ist gut gießbar, aber im Vergleich zu Stahl härter und spröder. Die Zugfestigkeit beträgt je nach Wanddicke 100 bis 450 N/mm². Wasserleitungen waren früher aus **Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL)**, auch Grauguss genannt ([Abb. 1c](#)). Seit den 1950er Jahren hat sich **Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS)** (frühere Bezeichnungen: **globularer Grauguss (GGG)** oder duktiles Gusseisen) durchgesetzt ([Abb. 1d](#)). Er besitzt eine hohe Zugfestigkeit je nach Wanddicke von 300 bis 1400 N/mm² und eine Bruchdehnung bis 22% bei 30 mm Wanddicke. Außerdem ist er schmiedbar und schweißbar. Nach DIN EN 1563 [4] soll bei GJS die Matrix überwiegend aus Ferrit mit maximal 5 % Perlit (Gemisch aus Ferrit und Zementit) bestehen und die Masse an freiem Zementit 1 % nicht überschreiten.

Die weitere **chemische Zusammensetzung von Gusseisen mit Kugelgraphit ist:**

- Kohlenstoff: 3,2 bis 3,8 %,
- Silizium: 2,0 bis 2,8 %,
- Mangan: < 0,5 %,
- Magnesium 0,5% oder 0,5% Cer.

Gusseisen mit Kugelgraphit findet wegen der guten mechanischen Eigenschaften, kostengünstigen Herstellung und guten Bearbeitbarkeit breite Anwendung in der Industrie. Von den 15 Mio. t/Jahr werden ca. 30 % für die Herstellung von Rohren im Schleudergussverfahren mit Durchmessern von 60 bis 2400 mm verwendet. Das Anwendungsgebiet erstreckt sich auf Wasser- und Gasleitungen.

Während heute in der Trinkwasserverteilung nur noch geschützte duktile Gussrohre verlegt werden, sind noch viele bis zu 100 Jahre alte Leitungen vorhanden, die überwiegend aus Gusseisen mit Lamellengraphit (Grauguss) bestehen. Die Einzelfertigung von Gussrohren erfolgte ab 1877 in liegenden und von 1880 bis 1930 in stehenden Sandformen. Diese Gussrohre der 1. Generation zeichnen sich durch eine geringe Korrosionsrate und eine gute mechanische Stabilität aus. Durch den Gussvorgang bildete sich auf der Oberfläche eine dünne Schicht aufgeschmolzener Siliziumverbindungen, die ähnlich wie eine Emaille einen gewissen Korrosionsschutz bot. Sie sind noch heute problemlos in den Versorgungsnetzen im Einsatz. Um 1926 wurde die Einzelfertigung durch die mechanisierte Fertigung im Schleudergussverfahren mit vertikal angeordneten Gießkarussellen [5] abgelöst, ein Verfahren, das noch heute weltweit eingesetzt wird. Zur Erhöhung der Haltbarkeit wurden die Rohre anfangs in Heiðasphalt getaucht. Die Entwicklung ab 1929 und die technologische Nutzung des Gusseisens mit Kugelgraphit (GJS) ab 1948 war eine entscheidende Weiterentwicklung

hinsichtlich Plastizität und Verformbarkeit. Weil auch GJS korrodiert, wurde ein **Oberflächenschutz** aufgetragen:

Bis 1960: Außenschutz mit Zink und bituminöser Deckbeschichtung,

1966: Tauchteer innen und außen,

1970: Zementmörtel-Auskleidung,

ab 1995: Außenschutz mit Zink, Epoxidharz oder Polyurethan.

Die Schutzmaßnahmen vor 1970 waren jedoch nicht dauerhaft stabil, so dass sich in beispielsweise in den Hochbehältern früher häufig, heute selten von der Rohrrinnenseite abgesprengten Bitumenbruchstücke finden. Der Einsatz teergetauchter Rohre war kurz, aber gesundheitlich problematisch, da Teer als Steinkohleprodukt hohe Mengen an polyzyklischen Aromaten (PAK) enthielt, die in das Trinkwasser übergangen. Durch die Aufnahme der PAK in die Trinkwasserverordnung von 1975 wurden durch intensive Untersuchungen der Versorgungsunternehmen die betroffenen Rohre identifiziert und ausgetauscht, so dass das Problem heute nicht mehr bestehen dürfte. Es ist jedoch davon auszugehen, dass alle noch im Netz befindlichen Rohre aus der Zeit vor 1970 über keinen intakten Innenschutz verfügen, so dass sie je nach Bedingungen mehr oder weniger stark korrodieren. Gussrohre für den Transport von Trinkwasser müssen heute der DIN EN 545 [6] entsprechen, die einen Innen- und Außenschutz vorschreibt. Im Trinkwasserbereich erfolgt der Schutz durch eine **Außenumhüllung mit Zementmörtel oder einer Zinkschicht** von mindestens 70 µm, abdeckt mit einer Bitumen- oder Polymerdeckschicht. Die **Innenbeschichtung besteht aus Zementmörtel** mit einer Mindestdicke von 4 mm bei DN 40 (Nennweite 40 mm) bis DN 300. Zementmörtelauskleidungen haben den Vorteil einer gewissen „Selbstheilungskraft“, da sich in Poren oder Rissen im feuchten Zustand bei noch jungem Zement erhöhte pH-Werte einstellen, die zum Wachstum von Kalzit führen, der kleine Auskleidungsdefekte verschließen kann. Fugen und Risse sollten jedoch eine Breite von 4 mm nicht überschreiten, da sonst Angriffspunkte für Korrosion entstehen.

Allgemeine Angaben zum Korrosionsschutz von Rohrleitungen aus Stahl und duktilem Gusseisen sind in DIN 30675-1 [7] und DIN 30675-2 [8] enthalten. Für Trinkwasserleitungen sind ergänzend die Normen DIN 30672-1 [9] und DIN 30672-2 [10] und für den kathodischen Schutz die Norm DIN EN 12068 [11] heranzuziehen. Zur Auswahl des für den Anwendungsfall geeigneten Nachumhüllungssystems für erdverlegte Trinkwasserleitungen aus Gusseisen und Stahl gibt das DVGW-Arbeitsblatt GW 32 [12] Kriterien vor.

2.2. Niedriglegierter Stahl in der Trinkwasserverteilung

Stahl ist ein Werkstoff, der nach DIN EN 10020 überwiegend aus Eisen mit einem Kohlenstoffgehalt < 2 % besteht und andere Elemente in geringem Anteil als Legierungsbestandteile enthält [13]. Stahl lässt sich gießen sowie kalt- und warmumformen (schmieden, biegen, walzen und ziehen). Er besitzt eine hohe Zug- und Druckfestigkeit (Elastizitätsmodul: $2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$), eine gute Steifigkeit und eine hohe Bruchdehnung bis maximal 50 %. Im Trinkwasserbereich wird niedriglegierter Stahl für größere Rohrdurchmesser > DN 200 eingesetzt, z.B. für Transportleitungen. Wichtig ist, dass die Wanddicke von Stahlrohren gegenüber Gussrohren deutlich reduziert werden kann und die Rohre schweißbar sind. Unlegierte und niedriglegierte Stähle sind wie Gusseisen nicht ohne Innenschutz für Trinkwasserleitungen geeignet. Während im Verteilungsnetz vorwiegend Zementbeschichtungen, Epoxidharzbeschichtungen und Nylon 11 (Rilsan®) als Korrosionsschutz eingesetzt werden, sind es in der Trinkwasserinstallation verzinkte Stahlrohre und Bauteile.

2.3. Nichtrostender Stahl

Nichtrostende Stähle (Nirosta) bestehen aus Eisenlegierungen mit 17 bis 18 % Chrom, 12 bis 14 % Nickel und 2 bis 3 % Molybdän und höchstens 1,2 % Kohlenstoff. Rohre für Trinkwasser werden durch Längsnahtschweißen hergestellt. Um Korrosion zu

vermeiden, müssen die inneren und äußeren Oberflächen blank und frei von Rückständen sein. Außerdem müssen die Schweißnähte glatt und rückstandsfrei sein. Rohraußendurchmesser von 12 mm bis 330 mm sind möglich. Die Anforderungen und Prüfungen für Rohre sind in der Technischen Regel GW 541 [14] festgelegt. Nach der „Bewertungsgrundlage für metallische Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser“ des UBA können nichtrostende Stähle für alle Produktgruppen, wie Rohre, Armaturen und Bauteile, im Passivzustand uneingeschränkt eingesetzt werden [15]. Bei hohen Chlorkonzentrationen kann bei einigen Edelstählen örtliche Spalt- oder Lochkorrosion auftreten. Da nichtrostende Stähle aufgrund ihrer Legierungsbestandteile deutlich teurer sind, werden sie fast ausschließlich in der Trinkwasserinstallation eingesetzt.

3. Korrosion von Eisenwerkstoffen

Bei Eisenwerkstoffen können in Abhängigkeit von der Zusammensetzung und dem pH-Wert des Wassers verschiedene **Korrosionstypen (Mechanismen)** und **Angriffsarten** unterschieden werden. Für die **Geschwindigkeit der Eisenkorrosion (Korrosionsrate)** wird der Eisenabtrag pro Flächen- und Zeiteinheit bestimmt. Bei einer molaren Masse für Eisen von 55,85 g/mol und einer Dichte von 7,87 kg/dm³ lassen sich die **Korrosionsraten für Eisenwerkstoffe** wie folgt umrechnen [16]:

$$1 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d} = 0,0464 \text{ mm/Jahr} \triangleq 46,4 \text{ } \mu\text{m/Jahr} = 1,81 \text{ mpy (0,001 Inches pro Jahr)}.$$

Mit steigender Temperatur nimmt die sauerstoffabhängige Korrosion des Eisens bis 70 °C um den Faktor 3 zu und sinkt dann bis zum Siedepunkt wieder auf das Maß des Angriffs bei Raumtemperatur ab. Ursache für die Abnahme der Korrosion bei höheren Temperaturen ist die Abnahme der Löslichkeit von Sauerstoff. **Abbildung 2a** zeigt den korrosiven Eisenabtrag in Abhängigkeit von der Sauerstoffkonzentration ohne und mit Anwesenheit von Kohlendioxid bei 60 °C. Ohne Kohlendioxid ist der Abtrag linear zur Sauerstoffkonzentration. Man erkennt, dass Kohlendioxid zusätzlich den korrosiven Abtrag erhöht. **Abbildung 2b** belegt, dass auch Kohlendioxid allein gegenüber Eisen korrosiv ist, was mit der Anwesenheit von Kohlensäure erklärt werden kann.

Der starke Anstieg der Korrosionsraten mit der Temperatur ist auch für die Zunahme der Korrosionserscheinungen an Gussrohren bei höheren Außentemperaturen verantwortlich und wird durch den Anstieg der Maximaltemperaturen im Zuge des Klimawandels dazu führen, dass bisher unauffällige Trinkwasserleitungen, insbesondere bei geringer Bodenüberdeckung, auffällig werden.

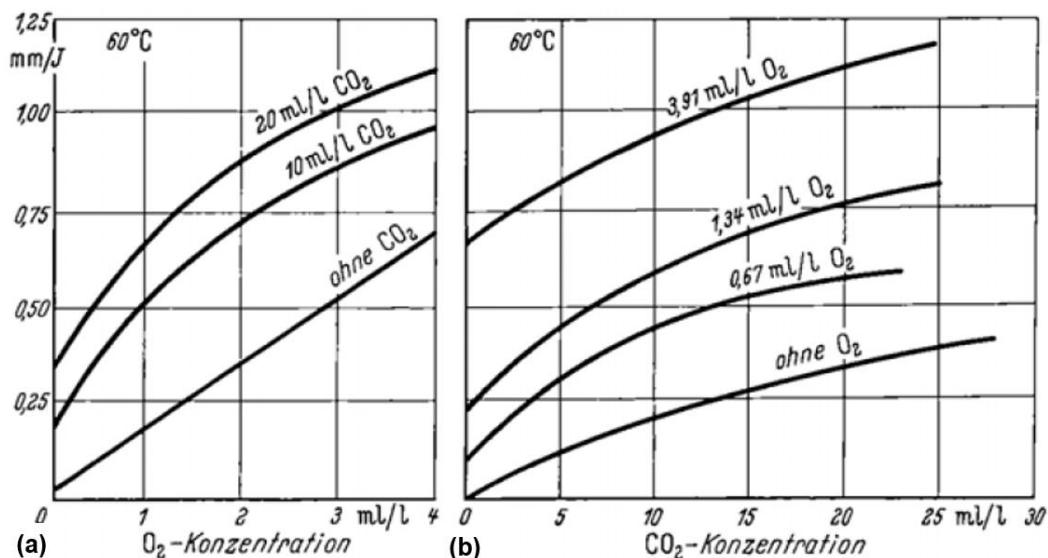
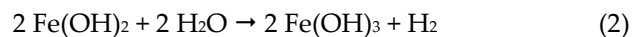
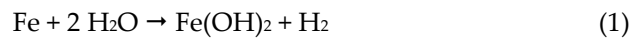


Abbildung 2. Korrosiver Abtrag von Walzstahl (0,15% C) in Wasser bei 60 °C in Abhängigkeit von der (a) Sauerstoffkonzentration und (b) von der Kohlendioxidkonzentration [17].

Die Korrosionsraten von Eisenwerkstoffen können verringert werden, wenn sich stabile Deckschichten aus Korrosionsprodukten bilden, die die Metalloberfläche bedecken. Näheres dazu weiter unten.

3.1. Wasserstoffkorrosion

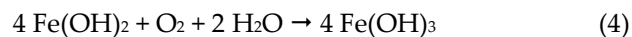
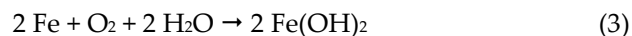
Eisen ist in luftfreiem Wasser nicht stabil und reagiert im ersten Schritt zu Eisen(II)-hydroxid und Wasserstoff gemäß [Gleichung 1](#). Mit abnehmender Wasserstoffionen-Konzentration kommt die Reaktion bei pH 7,5 zum Stillstand. Das gebildete Eisen(II)-hydroxid wird auch in Wasser oxidiert ([Gleichung 2](#)), wobei ebenfalls Wasserstoff gebildet wird, so dass als Endpunkt ein Produkt mit der Zusammensetzung Eisen(III)-hydroxid-oxid entsteht [16].



Oberhalb von pH 9 beginnt die alkalische Korrosion unter Bildung von Wasserstoff. Der gebildete Wasserstoff kann in das verbleibende Metall diffundieren und die Materialeigenschaften des verbleibenden Eisens deutlich verschlechtern.

3.2. Sauerstoffkorrosion

Bei der Sauerstoffkorrosion reagiert Eisen mit Sauerstoff nach [Gleichung 3](#) zu Eisen(II)-hydroxid, das bei ausreichender Sauerstoffzufuhr weiter zu Eisen(III)-hydroxid oxidiert wird ([Gleichung 4](#)).



Etwa 3 % der gesamten Eisenkorrosion ist auf Wasserstoffkorrosion zurückzuführen, während die Sauerstoffkorrosion über 90% ausmacht.

Das Pourbaix-Diagramm für Eisen ([Abb. 3](#)) gibt einen Überblick über die thermodynamische Stabilität der Hauptbeteiligten am Korrosionsprozess in Abhängigkeit von pH-Wert und Redoxpotential. Es hängt aber von der Auswahl der betrachteten Spezies ab. In [Abbildung 3](#) sind beispielsweise das Eisenhydroxidoxid und (wasserfreie) Eisenoxide nicht berücksichtigt. Die Indizes „(s)“ stehen für einen Feststoff und „(aq)“ für einen in Wasser (lat. aqua) gelösten Stoff.

Für die Korrosion von Eisen in Trinkwasser ist der pH-Bereich $\geq 6,5$ und $\leq 9,5$ (blauer Bereich und bei Korrosionsbeginn einer Eisenkonzentrationen ab 10^{-6} M (0,0558 mg/L) von Bedeutung, da die Korrosion an einem Metall bei einer Konzentration von Null an gelösten Eisenspezies beginnt und auch noch keine Korrosionsprodukte vorliegen.

Das Pourbaix-Diagramm zeigt, dass Eisen in Wasser nicht stabil ist, es sei denn, es wird ein Potential von weniger als -0,6 Volt angelegt [18]. Wenn das Potential erhöht wird, bildet sich **Eisen(II)-hydroxid** mit einem schmalen Stabilitätsbereich, und wenn das Potential weiter erhöht wird, ist **Eisen(III)-hydroxid** die stabilere Spezies. Unter Wasserabspaltung geht das amorphe (strukturlose) **Eisen(III)-hydroxid-oxid** in die (kristallisierten) **Minerale Lepidokrokit oder Goethit** über. Diese Phasenumwandlung ist im Pourbaix-Diagramm ([Abb. 3](#)) nicht dargestellt. In älteren, dickeren Rostschichten finden sich auch **Magnetit** (Eisen(II/III)-oxid), **Hämatit** (Eisen(III)-oxid) und **Siderit** (Eisen(II)-carbonat) [2]. Ob sich dann eine stabile Deckschicht aus Eisenoxiden und Eisenhydroxiden bildet, die den Werkstoff auch vor weiterem Angriff schützt, hängt vom Medium und den Betriebsbedingungen ab.

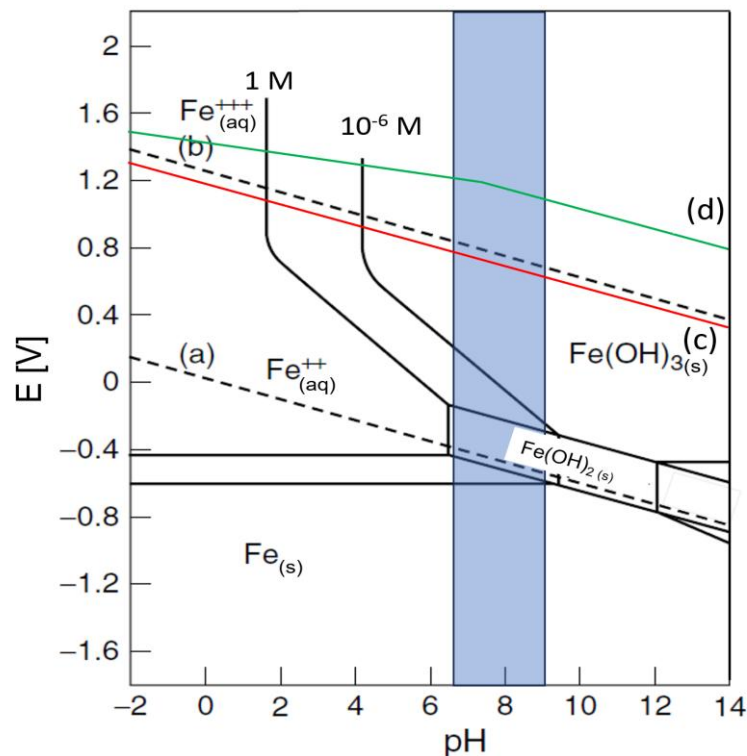


Abbildung 3. Pourbaix-Diagramm für das Eisen-Wasser-System bei 25 °C und zwei Konzentrationen an gelöstem Eisen: 1 M und 10^{-6} M. Die unterbrochenen Linien zeigen die Kathodenreaktion von Wasser: (a) Sauerstoffbildung, (b) Wasserstoffbildung, (c) Redoxpotentiale von 2 mg/l gelöstem Sauerstoff, (d) Redoxpotentiale von 2 mg/l freiem Chlor, modifiziert nach [18]

Im Vergleich zu Gusseisen hat Stahl einen deutlich geringeren Kohlenstoffgehalt und ein deutlich positiveres Elektrodenpotential, so dass der Materialabtrag geringer ist. Dabei ist zu beachten, dass geringe, edlere Zusätze wie z.B. Kupfer die Korrosionsrate der Wasserstoffkorrosion bei Eisen sehr stark erhöhen, während andere Legierungsbestandteile wie z.B. Silizium mit zunehmendem Gehalt eine starke Verminderung bewirken [16].

3.3. Instationäre Korrosion

Bei dem sehr unangenehmen Phänomen „Rostwasser“ oder „Braunwasser“ tritt aus Guss- und unlegierten Stahlleitungen nach einer Stagnationsphase von einigen Stunden braunes, trübes (partikelhaltiges) Wasser aus. Dies führt zu heftigen Beschwerden von Verbrauchern und zu Einschränkungen der Nutzbarkeit des Produktes im privaten und gewerblichen Bereich. Nach Spülen der Leitung und der Sicherstellung einer regelmäßigen Wasserentnahme treten meist keine Beschwerden mehr auf. Als Ursache konnte Lepidokrokit (γ -Eisen(III)-hydroxid-oxid) identifiziert werden, das im Gegensatz zu Goethit (α -Eisen(III)-hydroxid-oxid) redoxaktiv ist und den Korrosionsprozess auch nach dem Verbrauch des Sauerstoffs in Gang hält (Gleichung 5). Dabei wird Eisen(II) gebildet und an das Wasser abgegeben, was als „instationäre Korrosion“ bezeichnet wird [19].



Kommt dieses Eisen(II)-haltige Wasser mit sauerstoffhaltigem Wasser in Kontakt, wie es beim Transport der Fall ist, wird es rasch zu dreiwertigem Eisen oxidiert, hydrolysiert und bildet schwerlösliches, im Wasser verteiltes Eisen(III)-hydroxid, das als „Rostwasser“ bezeichnet wird. Mögliche Gegenmaßnahmen sind die **Vermeidung von**

Stagnation, die **Erhöhung der Sauerstoff-Konzentration** oder die **Dosierung von Inhibitoren**, die die Bildung von Goethit gegenüber Lepidokrokit fördern [20].

Unabhängig von Korrosionsvorgängen in den Wasserleitungen kann auch die unvollständige Entfernung von gelöstem Eisen und Mangan aus dem Rohwasser zu bräunlichen Verfärbungen des Trinkwassers führen. Auch bei Einhaltung der Trinkwassergrenzwerte am Wasserwerksausgang bilden die vorhandenen Restkonzentrationen an Eisen und Mangan Partikel, die sich an geeigneten Stellen absetzen, aber bei höheren Fließgeschwindigkeiten wieder mobilisiert werden. Solche Sedimentablagerungen können von Mikroorganismen besiedelt werden und zu Verkeimungen führen. Es ist daher gute Praxis, sie regelmäßig durch systematische Rohrnetzspülungen, z. B. nach DVGW-Arbeitsblatt W 291, aus dem Netz zu entfernen.

4. Angriffsarten bei Gusseisen und unlegiertem und niedriglegiertem Stahl

Gusseisen, unlegierte Stähle und niedriglegierte Stähle können in Abhängigkeit von der Legierungszusammensetzung bzw. dem Gefüge und der Oberflächenbeschaffenheit, dem Wasser und den Betriebsbedingungen (Strömungsgeschwindigkeit, Temperatur) verschiedene Angriffsarten zeigen. Nach DIN EN 12502-1 [21] werden neun Korrosionsarten unterschieden, von denen für Gusseisen, unlegierte und niedriglegierte Stähle nach DIN EN 12502-5 [22] folgende von Bedeutung sind:

Die gleichmäßige **Flächenkorrosion** und die **örtlichen Korrosionsarten**:

- **Lochkorrosion**,
- **selektive Korrosion**,
- **Bimetallkorrosion**,
- und **Erosionskorrosion**.

4.1. Flächenkorrosion

In den meisten Fällen erfolgt der Angriff auf der Werkstoffoberfläche gleichmäßig. Der Korrosionsvorgang ist diffusionskontrolliert und die Geschwindigkeit hängt vom pH-Wert (Wasserstoffkorrosion) bzw. von der Sauerstoff-Konzentration (Sauerstoffkorrosion) ab. Oberflächenkorrosion führt selten zu Materialschäden.

Die Bildung einer **Schutzschicht** ist wahrscheinlich, wenn das betrachtete Wasser folgende Parameter erfüllt:

- **Sauerstoff-Konzentration** > 2,8 mg/l,
- **pH-Wert** > 7,
- **Hydrogencarbonat-Konzentration** > 122 mg/l (2 mmol/l),
- und **Calciumionen-Konzentration** > 44 mg/l (1 mmol/l).

Bei vorhandener Flächenkorrosion und periodisch stagnierendem Wasser kann instationäre Korrosion (Kap. 3.3) auftreten.

Auch wenn sich keine Schutzschicht ausbildet, kann Flächenkorrosion bei hohen pH-Werten (> 8,5) und weitgehend sauerstofffreiem Wasser (< 0,084 mg/l) vermieden werden. Solche Bedingungen sind im Trinkwasser jedoch selten anzutreffen und eher in Heizungs- oder Fernwärmanlagen zu finden. Der Vorteil ist, dass der Anstieg der Korrosionsrate mit der Temperatur kaum relevant ist, weil die geringe Sauerstoffkonzentration den Materialabtrag begrenzt. Im Fernwärmewasser, das Temperaturen im Winter von 110 bis 130 °C aufweist, wird zusätzlich alkalisiert, um die Wasserstoffkorrosion zu unterdrücken.

4.2. Lochkorrosion

Bei dieser Korrosionsart ist der **Metallabtrag stark lokalisiert**, so dass sich schnell Löcher bilden. Sie ist die häufigste Korrosionserscheinung die zu Korrosionsschäden bei unlegierten und niedriglegierten Stählen sowie Gusseisen in der Wasserverteilung und -speicherung führt. Die Ursache liegt in der Bildung von mit unterschiedlichen Sauerstoff-Konzentrationen. Auf der Wasserseite **sinkt die Wahrscheinlichkeit für Lochkorrosion**

mit zunehmender Hydrogencarbonat-Konzentration und steigt mit zunehmendem Gehalt an Chlorid-, Nitrat- und Sulfationen [22].

4.3. Selektive Korrosion von Gusseisen

Für Gusseisen mit Lamellen- oder Kugelgraphit ist bekannt, dass **die Korrosion nur den Eisenanteil des Werkstoffs betrifft** und vorwiegend bei älteren Rohrleitungen auftritt. Die Graphitphase ist hingegen inert, begünstigt jedoch die Bildung von Lokalelementen. Die Auflösungsgeschwindigkeit nimmt mit steigendem Kohlenstoffgehalt kontinuierlich zu und ist bei 1 % Kohlenstoff etwa hundertmal höher als bei reinem Eisen [17]. Sofern sich keine dichte Deckschicht ausbildet, wird das Eisen anodisch selektiv aus der Wand herausgelöst und abtransportiert. Zurück bleiben Graphit als Kathode und ein Phosphateutektikum. Während die Form erhalten bleibt, geht die Festigkeit verloren. Das betroffene Rohr behält seine Form, verliert aber seine Stabilität und es kommt zu großflächigen Abplatzungen der Rohrwand, die als „Schalenbrüche“ bezeichnet werden. Die Korrosionsart wird als **Spongiose** oder Graphitierung bezeichnet.

4.4. Bimetall- oder Kontaktkorrosion

Diese Korrosionsart tritt auf, **wenn edle und unedle Werkstoffe im gleichen Rohrleitungssystem eingebaut sind**, so dass sie mechanisch und metallisch leitend miteinander verbunden sind und auch vom gleichen Elektrolyten benetzt werden. Dabei kommt es zu einer Redoxreaktion, bei der sich das unedlere Metall auflöst und sich auf dem edleren Metall abscheidet, so dass an der Verbindungsstelle Lochkorrosion entsteht.

In der Praxis tritt diese Korrosionsart häufig auf, wenn Eisen oder niedriglegierter Stahl z.B. mit Edelstahl, Kupfer oder Kupferlegierungen wie Bronze, Messing oder Rotguss zusammen verwendet werden. Eine übliche Gegenmaßnahme ist die galvanische Trennung der Bauteile, so dass die Reaktion zum Stillstand kommt.

4.5. Erosionskorrosion

Bei dieser Korrosionsart handelt es sich um einen **Materialabtrag infolge von Korrosion und mechanischem Oberflächenabtrag** (Erosion) durch hohe Strömungsgeschwindigkeit, wobei die Korrosion durch die Zerstörung von Schutzschichten infolge der Erosion ausgelöst wird. An den betroffenen Stellen befindet häufig blankes Metall und sich in Strömungsrichtung erweiternde Vertiefungen im Werkstoff, die langfristig zu Lochkorrosionsschäden führen.

5. Angriffsarten bei nichtrostendem Stahl

Nichtrostende Stähle sind gegenüber Korrosion nicht inert, sondern durch die Bildung einer sehr dünnen, harten Deckschicht aus Chromoxid passiviert. Dennoch können mit geringer Wahrscheinlichkeit und in Abhängigkeit von den Randbedingungen Korrosionsschäden auftreten. Nach DIN EN 12502-4 [23] sind zu beachten:

- **Lochkorrosion,**
- **Spaltkorrosion,**
- **Spannungskorrosion,**
- **Messerschnittkorrosion**
- **und Korrosionsermüdung.**

Hier wird nur auf die Lochkorrosion und Spaltkorrosion eingegangen.

5.1. Lochkorrosion

Diese tritt nur dann auf, wenn ein positiveres Potential als das des Werkstoffes anliegt. Bei nichtrostenden Stählen kann dies der Fall sein, wenn die Oberflächen verschmutzt sind (z.B. durch Fette oder abgelagerte Partikel, die die Oberfläche bedecken. Auch unsachgemäße Schweißverfahren, die das Werkstoffgefüge verändern, sind als Ursache bekannt. Hohe Chloridionen-Konzentrationen im Wasser erhöhen die

Wahrscheinlichkeit von Lochkorrosion im Kaltwasser ab 210 mg/l, was im Trinkwasser nur selten vorkommt, im Warmwasser aber bereits ab 53 mg/l.

5.2. Spaltkorrosion

Spaltkorrosion kann auftreten, wenn nichtrostender Stahl mit einem nichtleitenden Werkstoff verbunden wird und zwischen beiden ein Spalt von weniger als 0,5 mm verbleibt. Ursache sind geringfügige Undichtigkeiten oder Dichtungsmaterialien mit geringen Chloridgehalten, die zu Korrosionsschäden an der Verbindung führen.

Der nächste Artikel befasst sich mit einfachen Methoden zur Bestimmung der Korrosionsrate von unlegiertem Stahl und instationärer Korrosion.

Literatur

1. Hornbogen, E.; Warlimont, H.; Skrotzki, B. *Metalle: Struktur und Eigenschaften der Metalle und Legierungen*; Springer-Verlag, 2019.
2. Kaesche, H. *Die Korrosion der Metalle: Physikalisch-chemische Prinzipien und aktuelle Probleme*; Springer-Verlag, 2011.
3. Franke, S. *Giesserei-Lexikon 2019*; Schiele & Schoen, 2019.
4. DIN EN 1563:2019-04 Gießereiwesen - Gusseisen mit Kugelgraphit, DIN Media GmbH, Berlin.
5. Schaffland, R. *Eigenschaften duktiler Gußrohre*, EADIPS FGR Guss-Rohrsysteme, **2018**, 52, 44-99. <https://eadips.org/project/jahresheft-52-2018/>, aufgerufen am 2025-01-18.
6. DIN EN 545:2011-09 Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für Wasserleitungen - Anforderungen und Prüfverfahren, DIN Media GmbH, Berlin.
7. DIN 30675-1:2019-05 Äußerer Korrosionsschutz von erdüberdeckten Rohrleitungen - Teil 1: Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus Stahl, DIN Media GmbH, Berlin.
8. DIN 30675-2:2019-05 Äußerer Korrosionsschutz von erdüberdeckten Rohrleitungen - Teil 2: Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus duktilem Gusseisen, DIN Media GmbH, Berlin.
9. DIN 30672-1:2019-05 Nachumhüllungsmaterialien für den Korrosionsschutz von erdüberdeckten Rohrleitungen - Teil 1: Anforderungen und Produktprüfungen, DIN Media GmbH, Berlin.
10. DIN 30672-2:2019-05 Nachumhüllungsmaterialien für den Korrosionsschutz von erdüberdeckten Rohrleitungen - Teil 2: Ausführung und Qualitätskontrolle auf der Baustelle, DIN Media GmbH, Berlin.
11. DIN EN 12068:1999-03 Kathodischer Korrosionsschutz - Organische Umhüllungen für den Korrosionsschutz von in Böden und Wässern verlegten Stahlrohrleitungen im Zusammenwirken mit kathodischem Korrosionsschutz - Bänder und schrumpfende Materialien, DIN Media GmbH, Berlin.
12. DVGW Merkblatt GW 32: 2022-08 Nachumhüllungen – Bewertung der Eignung und Verwendbarkeit der Nachumhüllungsmaterialien für erdüberdeckte Rohrleitungen, WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
13. DIN EN 10020:2000-07 Begriffsbestimmung für die Einteilung der Stähle, DIN Media GmbH, Berlin.
14. DVGW Arbeitsblatt GW 541:2004-10 Rohre aus nichtrostenden Stählen für die Gas- und Trinkwasser-Installation - Anforderungen und Prüfungen, WVGW Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
15. Bewertungsgrundlage für metallene Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser, Umweltbundesamt, Version vom 5. März 2025 unter Berücksichtigung der 5. Änderung der Neufassung. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5620/dokumente/metall-bewertungsgrundlage_5_aenderung_der_neufassung_de.pdf, aufgerufen am 20.05.2025.
16. Katz, W. *Korrosion der verschiedenen Metalle* in Tödt, F. *Korrosion und Korrosionsschutz*, 2. Aufl., Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1961.
17. Skaperdas, G. T.; Uhlig, H. H. Corrosion of Steel by Dissolved Carbon Dioxide and Oxygen, *Ind. Eng. Chem.* **1942**, 34 (6), 748–754. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie50390a024>.
18. Frankel, G. S.; Landolt, D. Fundamentals of corrosion. *Encyclopedia of Electrochemistry* 2003. <https://doi.org/10.1002/9783527610426.bard040101>.
19. Kuch, A. Investigations of the reduction and re-oxidation kinetics of iron(III) oxide scales formed in waters. *Corrosion Science* **1988**, 28 (3), 221–231. [https://doi.org/10.1016/0010-938x\(88\)90106-0](https://doi.org/10.1016/0010-938x(88)90106-0).
20. Lepidokrokit (γ -FeOOH) und/oder Goethit (α -FeOOH), Technische Information, Aquakorin-Wasser-Technologie, D-56288 Bel, <https://www.aquakorin.de/wp-content/uploads/2018/02/AWT-Lepidokrokit.pdf>, aufgerufen am 2025-05-20.
21. DIN EN 12502-1:2005-03 Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe - Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und speichersystemen - Teil 1: Allgemeines, DIN Media GmbH, Berlin.
22. DIN EN 12502-5:2005-03 Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe - Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und speichersystemen - Teil 5: Einflussfaktoren für Gusseisen, unlegierte und niedriglegierte Stähle, DIN Media GmbH, Berlin.

23. DIN EN 12502-4:2005-03 Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe - Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und speichersystemen - Teil 4: Einflussfaktoren für nichtrostende Stähle, DIN Media GmbH, Berlin.