

Ursachen und Verhütung der Korrosion in Installationssystemen

Jürgen Kaiser

A. Einleitung

1. Wort- und Begriffserklärung
2. Die Korrosion als chemischer und elektrochemischer Vorgang
3. Erscheinungsformen der Korrosion
4. Korrosion durch Wasser
5. Einfluß der Wasserzusammensetzung auf die Korrosion
6. Härte des Wassers
7. Der pH-Wert

B. Korrosionsverhalten von Werkstoffen in der Hausinstallation durch kaltes und warmes Wasser

1. Betriebsbedingungen
2. Wasserverhältnisse
3. Werkstoffe
4. Korrosionsvorgänge zwischen Werkstoff und Wasser
5. Korrosion in Warmwasser- und Heizungsanlagen

C. Korrosionsverhütung in den Wasserleitungssystemen

1. Auswahl der richtigen Werkstoffe
2. Der aktive Korrosionsschutz
3. Der passive Korrosionsschutz
4. Korrosionsschutz durch Wasseraufbereitungsverfahren

D. Steinverhütung in Wasserleitungssystemen

E. Schrifttums- und Bildnachweis

A. Einleitung

1. Wort- und Begriffserklärung

Das Wort Korrosion leitet sich von dem lateinischen Verbum *corrodere* = zernagen, zerschmelzen, ab.

Die Norm DIN 50 900, Teil 1 – Korrosion der Metalle –, definiert den Fremdbegriff der Korrosion folgendermaßen: „Reaktion eines metallischen Werkstoffes mit seiner Umgebung, die eine meßbare Veränderung des Werkstoffes bewirkt und zu einem Korrosionsschaden führen kann. Diese Reaktion ist in den meisten Fällen elek-

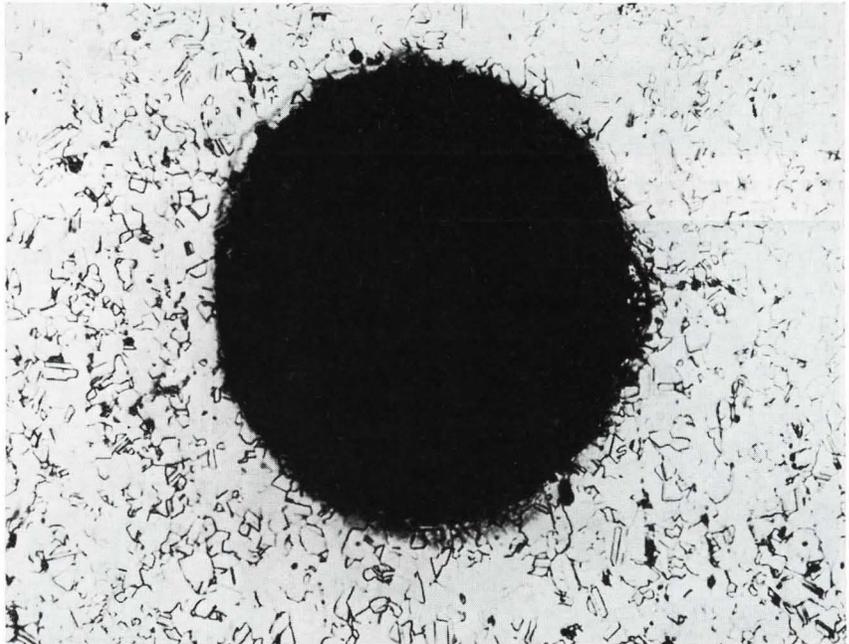


Bild 1. Lochfraßkorrosion im Stahl. Längsschnitt.

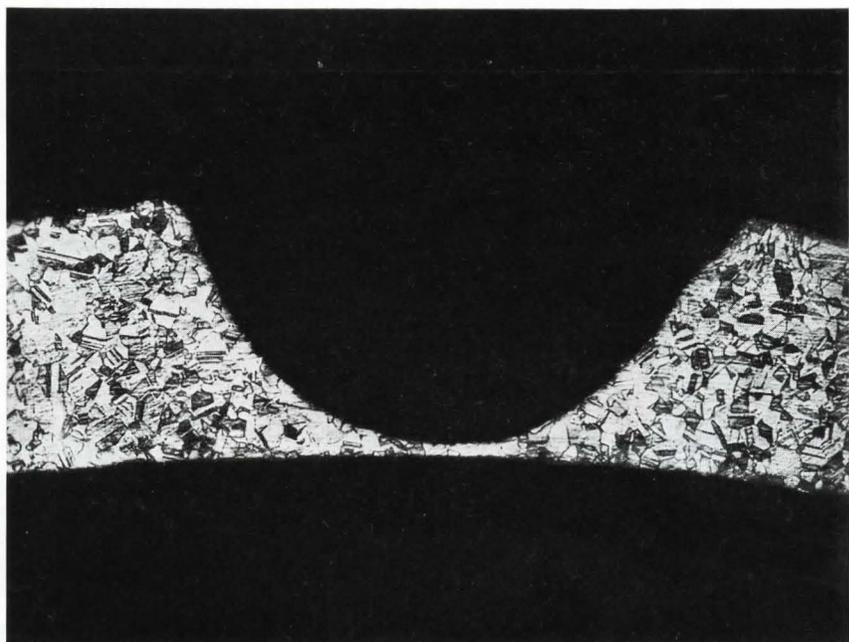


Bild 2. Lochfraßkorrosion. Querschnitt.

Ing. (grad.) Jürgen Kaiser, Hannover.

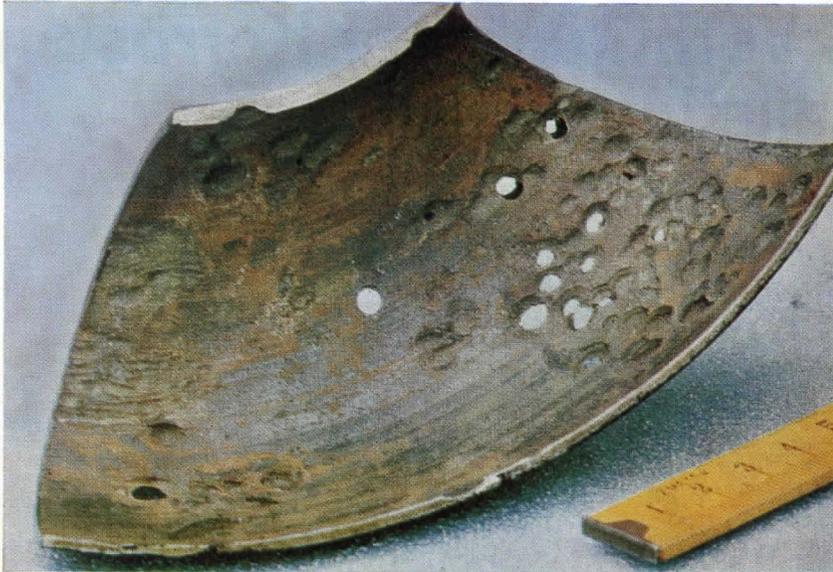


Bild 3. Durchlöcherte Rohrwand. Ursache Sauerstoffkorrosion.



Bild 4. Korrosion in einer Rohrleitung.

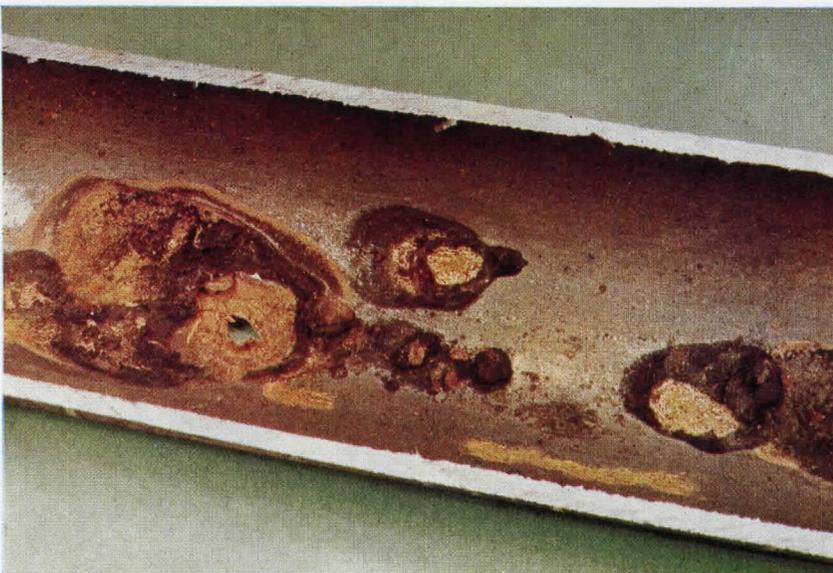


Bild 4a. Korrosion in einer Rohrleitung.

trochemischer Art. Es kann sich aber auch um chemische oder um metallphysikalische Vorgänge handeln.“

Zur Klärung des Korrosionsvorganges sind eine Anzahl von Theorien aufgestellt worden. Nach ersten Versuchen von Th. Paracelsus, T. O. Bergmann u. a. entwickelte F. C. Calvert die Kohlensäuretheorie, die später zur allgemeinen Säuretheorie ausgebildet wurde. Als die Säuretheorie durch die Arbeiten von W. R. Dustan und Mitarbeiter als nicht zutreffend erkannt wurde, stellte J. A. N. Friend sowie Bengough und Stuart aufgrund der Tatsache, daß die Korrosionsverluste in sauerstoffhaltigem Wasser weitgehend von der Wassergeschwindigkeit beeinflusst werden, die Kolloidtheorie auf.

Nach dieser Theorie wird Eisen-(II)-hydroxid durch Sauerstoff oxidiert und das gebildete Eisen-(III)-hydroxid durch Eisen reduziert, wodurch der Korrosionsfortgang erklärt wird. Die genannten Reaktionen sollen im kolloiddispersen Zustand verlaufen. Ein Teil des gebildeten Eisen-(III)-hydroxids geht jedoch in den grobdispersen Zustand über, flokkt aus und tritt als Rost in Erscheinung. In der Literatur werden u. a. noch die Wasserstoffperoxidtheorie, die biologische Korrosionstheorie und die Nitrattheorie erwähnt.

2. Die Korrosion als chemischer und elektrochemischer Vorgang

Während die bisher erwähnten Korrosionsauffassungen nur noch historisches Interesse beanspruchen können, besagt die heutige Begriffsbestimmung der Korrosion, daß die Zerstörung von Metallen durch chemische oder elektrochemische Umsetzungen mit der Umgebung erfolgt.

Hierzu sei bemerkt, daß zwischen chemischen und elektrochemischen Vorgängen keine grundsätzlichen Unterschiede bestehen. Im Grunde kommt es immer auf einen Wechsel oder auf eine Umordnung der Elektronen in den äußeren Elektronenschalen des Atoms an, wobei es gleichgültig ist, ob dabei von dem Atom Elektronen abgegeben oder aufgenommen werden.

Bei chemischer Reaktion erfolgt die Umordnung der Elektronen durch Annäherung der Atome der Reaktionspartner aneinander, so daß Elektronensprünge von der Elektronenschale des einen Atoms zu der des anderen Atoms erfolgen.

Bei elektrochemischen Korrosionsvorgängen erfolgt grundsätzlich ebenfalls ein Wechsel oder eine Umordnung von Elektronen. Hier kommt allerdings als wesentlicher Gesichtspunkt die

Tatsache hinzu, daß bei Metallen die äußeren Valenzelektronen sich als Elektronengas über das gesamte Metallvolumen verteilen, so daß bei elektrochemischen Reaktionen der Wechsel der Elektronen an örtlich weit voneinander getrennten Stellen stattfindet. Der elektrische Strom (Ladungstransport) wird im metallischen Teil des Stromkreises durch Elektronen und im Elektrolyten durch Ionen bewirkt. Der Vorgang des Wechsels oder der Umordnung der Elektronen erfolgt an der Grenzfläche fest – flüssig, also an den Elektrodenoberflächen, die je nach den Gegebenheiten mehr oder weniger weit voneinander entfernt sind. Fließt der positive elektrische Strom aus der Elektrode in den Elektrolyten, dann stellt die Elektrode einen anodischen Bereich dar, im anderen Fall einen kathodischen Bereich. In Gegenwart eines Elektrolyten ist der Primärvorgang der Korrosion im wesentlichen elektrochemischer Natur – dagegen sind die sekundären Prozesse der Korrosion, z. B. die Oxidation des gebildeten Eisen-(II)-oxidhydrates zu Eisen-(III)-oxidhydrat, vorzugsweise chemischer Natur in dem obengenannten Sinne. Dort, wo Sauerstoff auf den oxidierbaren Körper trifft, erfolgt die Oxidation.

Die elektrochemische Theorie der Korrosion erklärt, warum Korrosionsprodukte an einer ganz anderen Stelle in Erscheinung treten können und im nützlichen oder schädlichen Sinne wirksam werden, als nach rein chemischen Gesichtspunkten zu erwarten ist, was im Hinblick auf die Theorie der Deckschichtenbildung und -zerstörung von Bedeutung ist.

3. Erscheinungsformen der Korrosion

Alle metallischen Werkstoffe haben das Bestreben, in die Form ihrer Oxide oder Salze überzugehen. Sie unterscheiden sich dabei nur durch die Bedingungen, bei denen diese unerwünschte elektrochemische Reaktion, die Korrosion, möglich ist.

Die Art des Korrosionsangriffes und die Korrosionsgeschwindigkeit hängen von der elektrostatischen Potentialdifferenz zwischen Metall und Korrosionsmittel ab.

Die Arten des Angriffs können sehr vielfältig sein, wodurch sich verschiedene Erscheinungsformen der Korrosion ausbilden:

- a) Ebenmäßige Korrosion
- b) Narben- und Lochkorrosion
- c) Spaltkorrosion
- d) Berührungskorrosion.

Darüber hinaus kennen wir noch u. a. die selektive Korrosion

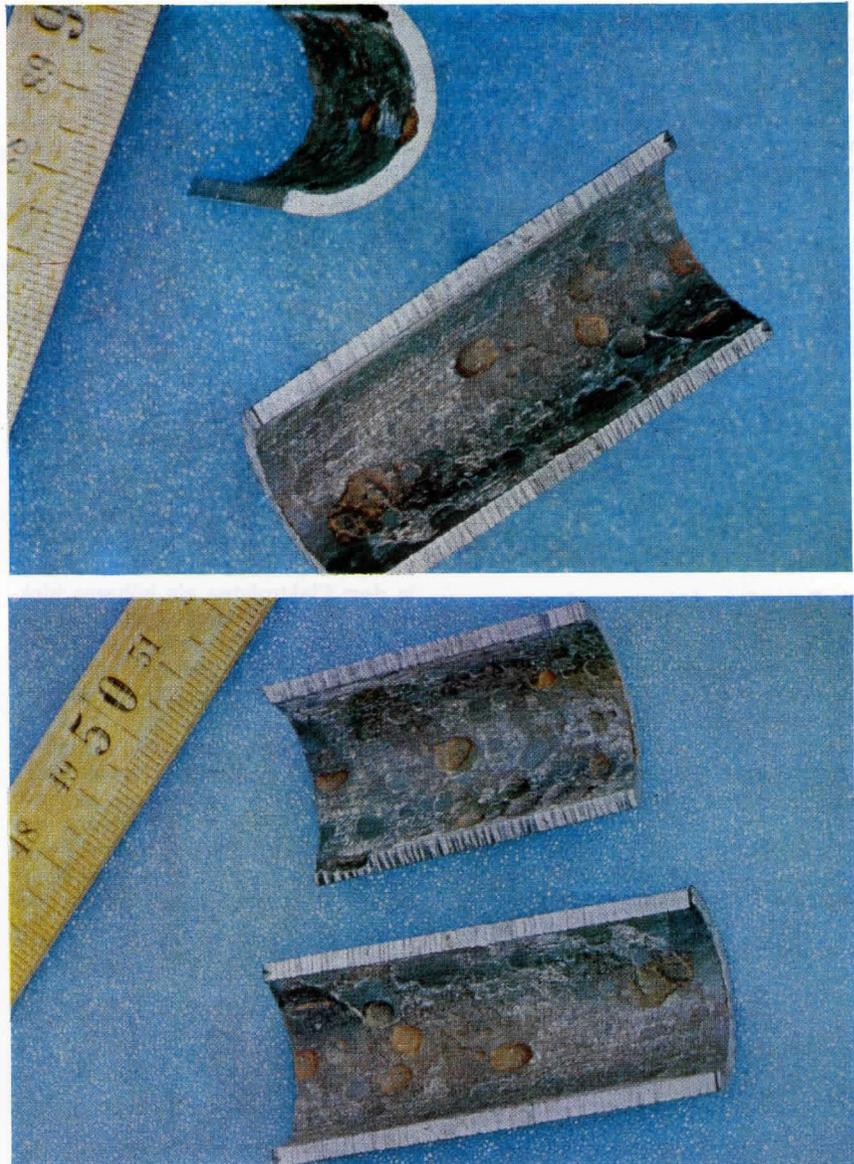


Bild 5. Korrodiertes verzinktes Stahlrohr.

die interkristalline Korrosion
die Spannungsrißkorrosion usw.

Da die Beständigkeit der Werkstoffe in hohem Maße von der Erscheinung der Korrosion, wie wir sie häufig bei Leitungswasserschäden vorfinden, abhängig ist, werden die wichtigsten Korrosionsarten beschrieben:

a) Die ebenmäßige Flächenkorrosion

Die Korrosion wird als ebenmäßige bezeichnet, wenn das Metall annähernd parallel zur Oberfläche gleichmäßig angegriffen und abgetragen wird, unabhängig davon, ob sich die Korrosionsgeschwindigkeit mit der Zeit ändert. Diese Form der Korrosion ist verhältnismäßig ungefährlich, da das Werkstück erst unbrauchbar wird,

wenn eine größere Querschnittsabnahme stattgefunden hat. Am häufigsten wird die gleichmäßige Korrosion beim atmosphärischen Angriff und beim Säureangriff beobachtet. Die ebenmäßige Korrosion ist die bekannteste Korrosionsart und durch den Einsatz geeigneter Werkstoffe bei definierten Angriffsbedingungen am leichtesten zu beherrschen.

b) Die Narben- und Lochkorrosion

Wesentlich gefährlicher ist die „Lochfraßkorrosion“. Diese Erscheinungsformen treten dann auf, wenn sich auf der Oberfläche örtlich eng begrenzt Anodenbereiche ausbilden, wo das Metall mit erhöhter Geschwindigkeit in Lösung geht, während die gesamte übrige Oberfläche sich als Kathode betätigt und nur wenig oder überhaupt

nicht angegriffen wird. Solche Bedingungen liegen stets vor, wenn die Werkstoffoberfläche von einer Deckschicht, die Poren aufweist, überzogen ist und die Deckschicht entweder edler als das Grundmetall oder feuchtigkeit durchlässig ist, aber den Zutritt von Sauerstoff behindert.

Unter diesen Gegebenheiten bilden sich in den Poren Lokalanoden aus. Diese Korrosion führt je nach der Verteilung und der Größe der anodischen Bereiche bei gegebener Leitfähigkeit des Elektrolyten zu örtlich flachen Anfrassungen. Die Eigenart dieser Korrosion zeigt sich in einem punktförmigen, stark in die Tiefe gehenden Angriff, der in relativ kurzer Zeit die gesamte Dicke des Werkstoffes durchdringen kann.

c) Die Spaltkorrosion

Die Spaltkorrosion tritt als örtlich verstärkte Korrosion in Spalten auf, die in dem korrodierenden Metall entweder selbst vorhanden sind oder durch die Berührung mit anderen Metallen oder mit elektrochemisch indifferenten Stoffen, wie Dichtungsringen, gebildet werden. Im Spalt kann einerseits infolge Diffusionshemmungen ein Mangel an Sauerstoff eintreten, so daß sich ein Evans-Element bildet, worin der Spalt die Lösungsanode ist. Durch Konzentrationsunterschiede im Elek-

trolyten, Diffusionsvorgänge oder Komplexbildung können andererseits aber auch Potentialdifferenzen zwischen Spalt- und Oberfläche auftreten, wobei der Spalt das edlere Potential besitzt, die Korrosion also in Nähe des Spaltes auftritt.

d) Die Berührungskorrosion

Die Berührungskorrosion wird manchmal an der Berührungsstelle von eisenen Werkstoffen mit anderen metallischen oder auch nichtmetallischen Werkstoffen beobachtet. Einschränkung zu diesem Sammelbegriff wird unter Kontaktkorrosion die Berührungskorrosion verstanden, die bei Berührung des Eisens mit anderen Metallen in Gegenwart eines Elektrolyten auftritt, wenn das berührende Metall in dem Elektrolyten ein höheres elektrochemisches Potential aufweist als der eiserne Werkstoff und sich somit ein galvanisches Element bildet, wo der Eisenwerkstoff zur Anode wird.

Die Berührungskorrosion zwischen Eisen und einem nichtmetallischen Stoff wird als Belagkorrosion bezeichnet, wenn sich unter Mitwirkung des Belages Konzentrations- oder Belüftungselemente ausbilden, beispielsweise Korrosion unter Schlammablagerungen durch unterschiedliche Belüftung.

4. Die Korrosion durch Wasser

Die natürlichen Wässer stellen alle mehr oder weniger verdünnte Lösungen von Salzen, Säuren, organischen Verbindungen und Gasen dar, die das Wasser auf seinem Kreislauf aufgenommen hat, so daß reines Wasser in der Natur nicht vorkommt. Bei der Betrachtung der Korrosionsvorgänge durch Wasser liegen also stets Elektrolyte vor, auf die die Gesetze verdünnter Lösungen anwendbar sind.

5. Einfluß der Wasserzusammensetzungen auf die Korrosion

Zur Beurteilung der Angriffshäufigkeit eines Wassers muß das Angriffsvermögen der einzelnen Bestandteile sowie ihr Zusammenwirken behandelt werden. Die im Wasser vorkommenden anorganischen Salze sind in der Hauptsache Chloride und Sulfate, wie Natriumchlorid, Kaliumchlorid, Magnesiumchlorid, Calciumsulfat und Magnesiumsulfat sowie Carbonate und Hydrogencarbonate des Eisens, Calciums, Magnesiums und – besonders in Norddeutschland – des Natriums. Weiterhin sind freie Säuren, vorzugsweise Kohlensäure, in geringen Mengen bis spurenweise Salpetersäure, ihre Salze und Schwefelwasserstoff vorhanden. Ferner sind enthalten wasserlösliche Gase, insbesondere Kohlendioxid und Luft, also Sauerstoff und Stickstoff. Wichtige Sammelbegriffe zur Charakterisierung eines Wassers sind seine Härte, das Verhältnis der Kohlensäure zur Carbonathärte (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht), der Abdampf- und Glührückstand sowie der Glührückstand und die Leitfähigkeit bzw. der Elektrolytgehalt.

6. Härte des Wassers

Bei der Härte des Wassers werden die Begriffe Gesamthärte, Carbonathärte und Nichtcarbonat-Härte unterschieden. Die Carbonathärte umschließt die Summe der gelösten Carbonate und Hydrogencarbonate des Calciums und Magnesiums.

Beim Erhitzen des Wassers werden fast alle Hydrogencarbonate durch Störung des Gleichgewichtszustandes in Carbonate überführt und fallen aus. Daher wird die Carbonathärte auch als vorübergehende temporäre Härte bezeichnet. Die bleibende oder Nichtcarbonat-Härte umfaßt die Summe der gelösten Calcium- und Magnesiumsulfate und -chloride.

Die Gesamthärte ist die Summe der Carbonat- und Nichtcarbonat-Härte. In Deutschland wird in deutschen Härtegraden gerechnet. Ein deutscher Härtegrad entspricht 10 mg Calciumoxid bzw. 7,19 mg Magnesiumoxid in 1 l Wasser. Für die deutschen Härtegradbezeichnungen sind folgende Kurzzeichen eingeführt:



Bild 5a.
Schichtbildung bei Kupferrohren in verschiedenen Trinkwässern.

Gesamthärte	°d GH
Carbonathärte	°d GH
Permanente Härte	°d GH.

Die Einteilung der Wässer aufgrund der Gesamthärte zeigt folgende Benennung der Wässer aufgrund der Härte:

0– 5	°d GH	sehr weich
5–10	°d GH	weich
10–20	°d GH	mittelhart
20–30	°d GH	hart
über 30	°d GH	sehr hart.

7. Der pH-Wert

Der pH-Wert ist ein Maß für die Wasserstoffionen-Konzentration in wäßrigen Lösungen. Die Zahlenwerte stellen den negativen Exponenten von 10 dar und verdeutlichen den Wasserstoffionen-Anteil am Bestand von Wasserstoffatomen, z. B. ist $\text{pH} = 7$ ein Anteil von 10^{-7} .

Je niedriger der Zahlenwert also, desto höher ist der Wasserstoffionen-Anteil und damit um so saurer die Lösung.

Die Einteilung der Wässer nach der pH-Wert-Skala zeigt folgende Benennung:

pH-Wert	0– 2	stark sauer
	3– 6	schwach sauer
	7	neutral
	8–11	schwach basisch
	12–14	stark basisch.

B. Korrosionsverhalten von Werkstoffen in der Hausinstallation durch kaltes und warmes Wasser

Hierzu sind, wie bereits in den vorge-tragenen Abschnitten angedeutet, im wesentlichen drei Dinge maßgebend:

1. Betriebsbedingungen
2. Wasserverhältnisse
3. Werkstoffe.

1. Betriebsbedingungen

Bei den Betriebsbedingungen, die das Korrosionsverhalten beeinflussen, handelt es sich um den Fließzustand, den Druck und die Temperatur. Zwischen den beiden extremen Zuständen – ständiger Durchfluß und Stillstand – liegen zahlreiche Werte. Hierbei sind Turbulenzerscheinungen von besonderer Bedeutung. Druck und Temperatur sind beachtliche Einflußfaktoren. Der Druck wirkt auf die Menge der im Wasser gelösten Gase ein. Diese wiederum können chemische Reaktionen auslösen oder begünstigen.

Der Einfluß der Temperaturerhöhung des Wassers ist nicht für alle Werkstoffe mit Sicherheit bekannt. Grundsätzlich wird jedoch das Korrosionsverhalten mit zunehmender Temperatur akuter, das heißt, der Angriff des Wassers auf den Werkstoff verstärkt sich mit zunehmender Temperatur. Warmes Wasser belastet den Werk-

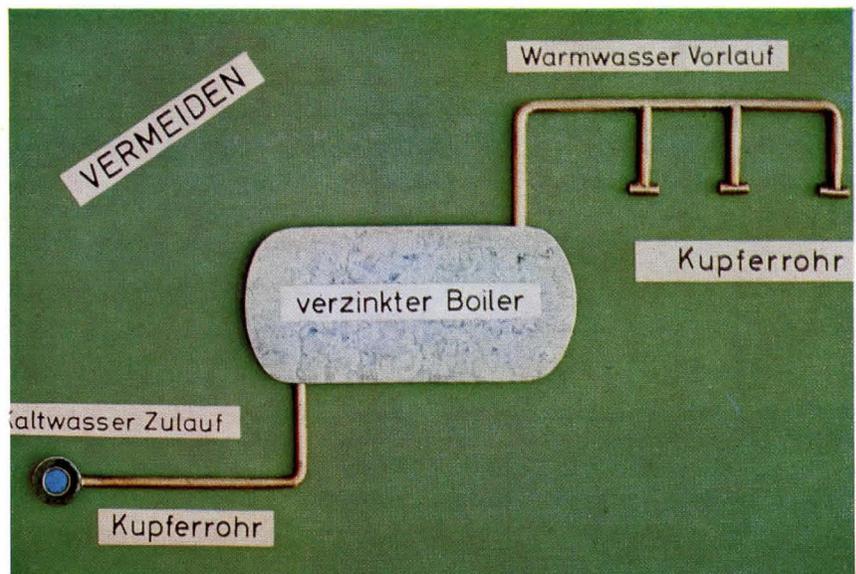


Bild 6. Verzinkter Boiler im Warmwasservorlauf und Zirkulationsleitung aus Kupferrohr.

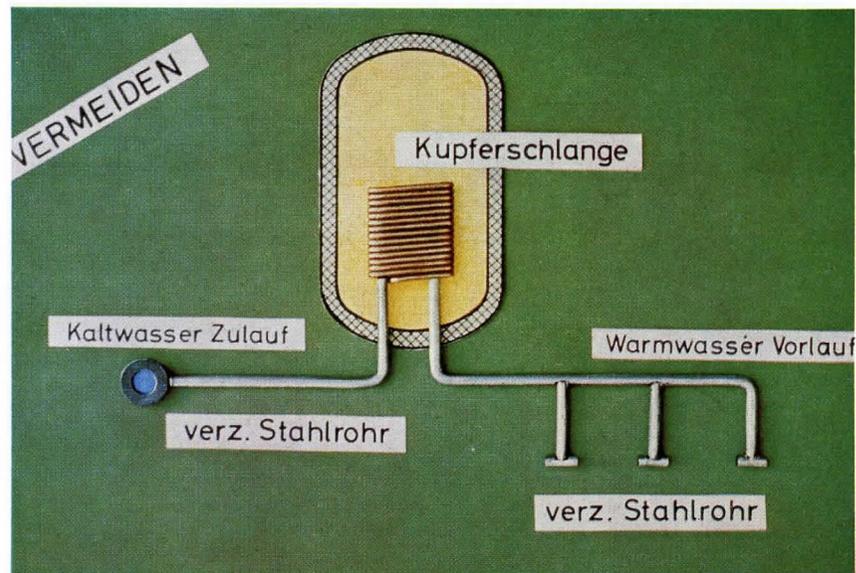


Bild 7. Durchlauferhitzer aus Kupfer im Rohrnetz aus verzinktem Stahl.



Bild 8. Korrosion durch aggressives Wasser.



Bild 9. Korrosion durch aggressives Wasser.



Bild 10. Warmwasserrohr mit Phosphat-Schutzschicht.



Bild 10a. Karbonatablagerungen in einem Wasserrohr, die durch Phosphat-Behandlung teilweise abgebaut wurden.

stoff schon deshalb mehr, weil die chemischen Reaktionen bei Temperaturerhöhung schneller ablaufen. Man darf also die Temperatur nicht isoliert von der Wasserqualität, der Wassergeschwindigkeit und den übrigen Faktoren sehen. Wenn man z. B. für den Brauchwasseranteil einer Anlage eine Temperaturbegrenzung anstrebt, so aus dem vernünftigen Grund heraus, allgemein günstige Betriebsbedingungen zu schaffen.

2. Wasserverhältnisse

Allgemeine Anforderung an die Beschaffenheit von Trinkwasser enthält die Norm DIN 2000 – Zentrale Trinkwasserversorgung –.

Zum Thema Wasserverhältnisse wäre von Bedeutung, die Verunreinigung zu erwähnen. Vom Wasser mitgeführte ungelöste Stoffe, wie Rost, Sand usw. sowie bei der Verarbeitung der Werkstoffe entstehende Verunreinigungen der Metalloberfläche, können in ihrer Eigenschaft als Feststoffe die Ausbildung von Korrosionselementen begünstigen.

Die Aggressivität des Wassers ist beeinflussbar durch die Änderungen, z. B. des pH-Wertes, des gelösten Sauerstoffes sowie des Salzgehaltes. Diese Faktoren beeinträchtigen nicht nur die Haltbarkeit der Schutzschichten, sondern sind mitbestimmend für eine Schutzschichtbildung, die wiederum von größter Bedeutung für den Korrosionsschutz ist.

3. Werkstoffe

3.1 Eisenwerkstoffe

Bei vielen Wässern wurde mit Eisen gute Erfahrung gemacht. Trinkwässer haben im allgemeinen einen hohen Sauerstoffgehalt. Dieser gelöste Sauerstoff ist bei Korrosionsvorgängen der dominierende Faktor. Nur solange Sauerstoff vorhanden ist, kann Eisen in Lösung gehen.

Auf Eisen bilden sich Schutzschichten, sowie es mit einem Wasser im Zustand der Kalksättigung in Berührung kommt.

Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht wird durch Temperaturerhöhung gestört; damit steigt die Korrosionsgefahr, da die Temperaturanhebung sich fördernd auf den Sauerstoffangriff auswirkt.

3.2 Verzinkter Stahl

Über die Voraussetzungen einer Schutzschichtbildung auf verzinkten Rohren können z. Z. noch keine genauen Aussagen gemacht werden. Bekannt ist lediglich, daß der Kalksättigungsgrad für die Schutzschichtausbildung auf Zink von Bedeutung ist.

Wichtiger scheint dagegen der pH-Wert und die Fließgeschwindigkeit zu sein. Man kann davon ausgehen, daß fließendes Wasser die Schutzschicht-

bildung begünstigt. Man weiß seit einigen Jahren, daß Zink bei etwa 65 bis 70 °C ein ausgeprägtes Korrosionskriterium aufweist. Die Erklärung dafür ist darin zu suchen, daß in diesen Temperaturbereichen die Schutzwirkung der Deckschichten nachläßt und die Zusammensetzung sich ändert; dabei verliert sie ihre Ursprüngeigenschaften und kann korrosionsfördernd wirken. Dieser Vorgang wurde früher als Potentialumkehr des Zinks angesprochen. Richtiger ist jedoch der Begriff „Warmwasserkorrosion des Zinks“. Das Aufzählen aller Faktoren, die praktisch das Korrosionsverhalten von Zink beeinflussen, ist wegen ihrer Vielzahl unmöglich. Man darf jedoch allgemein festhalten, daß verzinkter Stahl bei Temperaturen von über 60 °C nicht zu empfehlen ist. (Norm DIN 50 930 und Folgeblätter – Korrosionsverhalten von metallischen Werkstoffen gegenüber Wasser –, Entwurf.)

Schließlich sollte man zukunftsicherer planen und bauen. Die Möglichkeit einer Temperaturbegrenzung bei Warm- bzw. Brauchwasser sollte auch dort bereits selbstverständlich sein, wo man heute noch über ausgesprochen stofffreundliche Wässer verfügt.

3.3 Kupfer

Kupfer ist ein anerkannt guter Werkstoff für Kalt- und Warmwasserleitungen. Wie bei jedem anderen metallischen Werkstoff bilden sich auch hier Deckschichten aus.

Je nach Wasserbeschaffenheit erfolgt ihre Ausbildung mehr oder weniger schnell und besonders gut bei höheren Temperaturen, also bei warmem Wasser. In Wasser gelöster Sauerstoff fördert die Schutzschichtbildung und ist, wie man nachweisen kann, oftmals die Voraussetzung für ein gutes Korrosionsverhalten. Freie Kohlensäure kann den Prozeß verlangsamen und sogar verhindern. Normalerweise ist aber der Einfluß der Kohlensäure sekundär, so daß auch bei Kupfer der Zustand der Kalksättigung ohne wesentliche Bedeutung bleibt. Auf der Oxidschicht bauen sich im Laufe der Zeit grüne Schichten auf, die meist aus basischen Kupfercarbonaten bestehen. Charakteristisch ist, daß diese grüne Schicht sehr dünn ausfällt und nur einige zehntel Millimeter beträgt. Auch dies ist ein Zeichen einer echten Schutzschicht.

3.4 Mischinstallation

Grundsätzlich ist in einem wasserführenden System jede Verwendung verschiedener Metalle ein Korrosionsrisiko, das man vermeiden sollte. Die elektrochemischen Vorgänge, die bei Berührung von Wasser mit verschiedenen Metallen ablaufen, führen fast immer zur Auflösung eines Metalles durch das Wasser.



Bild 11. Warmwasserrohre mit Steinablagerungen.



Bild 12. Steinbildung in einem Warmwasserrohr.

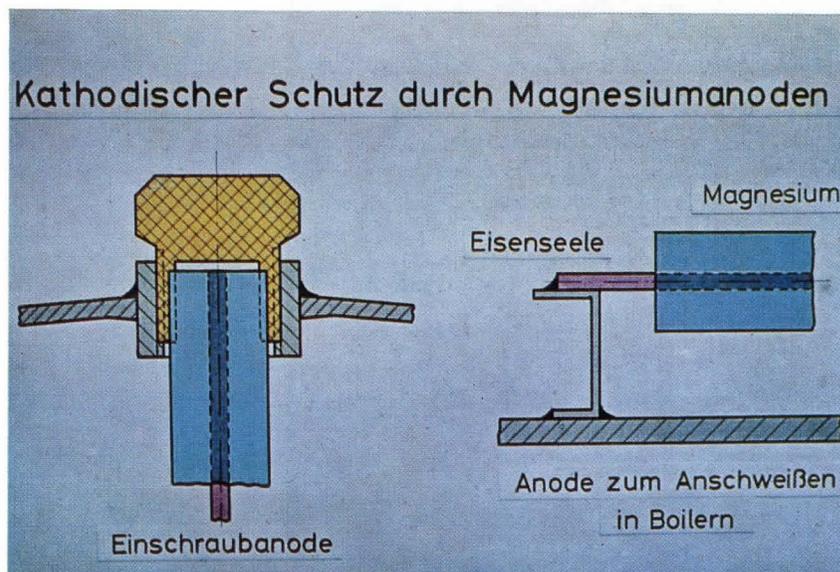


Bild 13. Kathodischer Schutz durch Magnesiumanode.

Die Zusammenhänge sind recht verwickelt, denn schon geringe Kupfermengen, die kaum nachweisbar sind, lösen bereits eine Wirkung aus. Es ist sicherlich richtig, daß ein verzinktes Stahlrohr hinter Kupfer nicht unbedingt nur durch den Kupfereinfluß zerstört wird. Mehrere Faktoren sind auch hier von Bedeutung (z. B. Temperatur, Wasserzusammensetzung). Das Einhalten der Fließregel (kein edleres Metall vor unedlem) ist aber wichtig, da Kupfer im Wasser zumindest als korrosionsfördernd angesehen werden muß. Die Fließregel gilt nicht nur für Kupfer, sondern gleichermaßen auch für alle anderen edleren Metalle.

Eine gefährliche Eigenart aller metallischen Werkstoffe ist die Korrosion durch eingeschleppte Feststoffe. Das können Metallspäne, Rost, Sand usw., wie auch ungeeignete Lötmitte sein. Diese Feststoffe bilden auf dem noch unberührten Metall kaum ausheilbare Korrosionselemente. Es empfiehlt sich immer vor der Inbetriebnahme eines Rohrnetzes, dieses ausreichend durchzuspülen.

4. Korrosionsvorgänge zwischen Werkstoff und Wasser

Werkstoff-Fragen kann man nur im Zusammenhang mit der Wasseranalyse (Wasserqualität) und den Betriebsbedingungen betrachten. Eindeutige Kriterien für die Beständigkeit der Materialien bei bestimmten Wasserqualitäten

gibt es nicht. Es läßt sich lediglich im Einzelfall die Eignung des einen oder anderen Werkstoffes schätzen. Jede Verallgemeinerung kann sich gefährlich auswirken, da schon geringfügige Änderungen der Wasserzusammensetzung, der Betriebsbedingungen usw. eine völlig neue Situation hervorrufen.

Wenn man bedenkt, daß Wasserqualität und Betriebsbedingungen einem stetigen Wechsel unterliegen können, so wird verständlich, warum Erfolg und Mißerfolg – in bezug auf vorbeugende Maßnahmen – zu dicht beieinander liegen. Die Werkstoffwahl sollte daher nach dem Prinzip der breitesten Anwendungsmöglichkeit erfolgen. Infolge unserer zivilisationsbedingten Umweltverhältnisse kommt es zu steigenden Spurenstoffbelastungen und somit zu Prozessen, die die Wasserbeschaffenheit zunehmend beeinträchtigen. Bei der Verteilung von Wässern verschiedener Herkunft, sogenannter Mischwässer, treten Probleme auf, die in bestimmten Grenzbereichen unvorhersehbare Veränderungen für den Abnehmer bringen und zur Zerstörung gebildeter Schutzschichten führen können.

Die Norm DIN 2000 fordert deshalb unter Ziff. 3.5: „Trinkwasser und die damit in Berührung stehenden Werkstoffe sollen so aufeinander abgestimmt sein, daß keine Korrosions-

schäden hervorgerufen werden.“ Eine derartige Forderung wird nicht immer in allen Bereichen der Hausinstallation voll realisierbar sein. Deshalb sollten sich alle Maßnahmen des aktiven Korrosionsschutzes neben der Werkstoffwahl auf den beeinflussbaren Faktor der Betriebsbedingungen konzentrieren. Ziel dieser Bestrebungen muß es sein, im ganzen Leitungssystem Schutzschichtbildungen zu erreichen.

In den ersten Betriebsstunden werden schon die Weichen gestellt. Die für den jeweiligen Werkstoff günstigsten Bedingungen müssen deshalb während der ersten Betriebszeit auch eingehalten werden. Entsprechende Maßnahmen sollten demzufolge bereits bei der Planung berücksichtigt werden, um damit einen wichtigen Beitrag zum aktiven Korrosionsschutz zu liefern. Das Prinzip der Schutzschichtbildung als Merkmal der Korrosionssicherheit ist unbestritten. Wenn die Betriebsbedingungen bekannt sind, so ist zu berücksichtigen, daß weder die Eigenschaften des Werkstoffes noch die des Wassers konstant bleiben, so daß eine sichere Aussage über das Korrosionsverhalten eines Werkstoffes nicht möglich ist. Deshalb kann nur eine Wahrscheinlichkeitsaussage gemacht werden, deren Sicherheit durch den Kenntnisstand der einzelnen Einflüsse bestimmt wird. Anhaltspunkte zur Beurteilung geben Norm DIN 50 930, Blatt 1 und die Folgeblätter.

Gerade diese Norm DIN 50 930 (Entwurf) fordert:

„Durch sorgfältige Ausführung der nach DIN 1988 – Trinkwasser-Leitungsanlagen in Grundstücken, Technische Bestimmungen für Bau und Betrieb – vorgeschriebenen Rohrspülung nach der Rohrinstallation können im Verlauf der Installation eingebrachte Schmutzteile entfernt werden.“ Die Feinfilter müssen also bereits vor der Inbetriebnahme der Hausinstallation bei der Erstspülung eingebaut sein. Dies ist notwendig, damit keine Schmutzteile in das System eingeschwemmt werden, die bereits vor der eigentlichen Inbetriebnahme zur erheblichen Korrosion führen können.

5. Korrosion in Warmwasser- und Heizungsanlagen

Für die Korrosion des Eisens durch Warmwasser gelten dieselben Faktoren, die bei der Korrosion durch Kaltwasser besprochen wurden. Wesentlich ist zu beachten, daß die Korrosionsgeschwindigkeit mit der Temperatur steigt.

Unter Berücksichtigung (Faustformel), daß eine Temperaturerhöhung um 10 °C die Reaktionsgeschwindigkeit verdoppelt bis verdreifacht, ist es erklärbar, daß bei Einwirkung von Warmwasser die Reaktionen wesentlich schneller als bei Kaltwasser ablaufen.

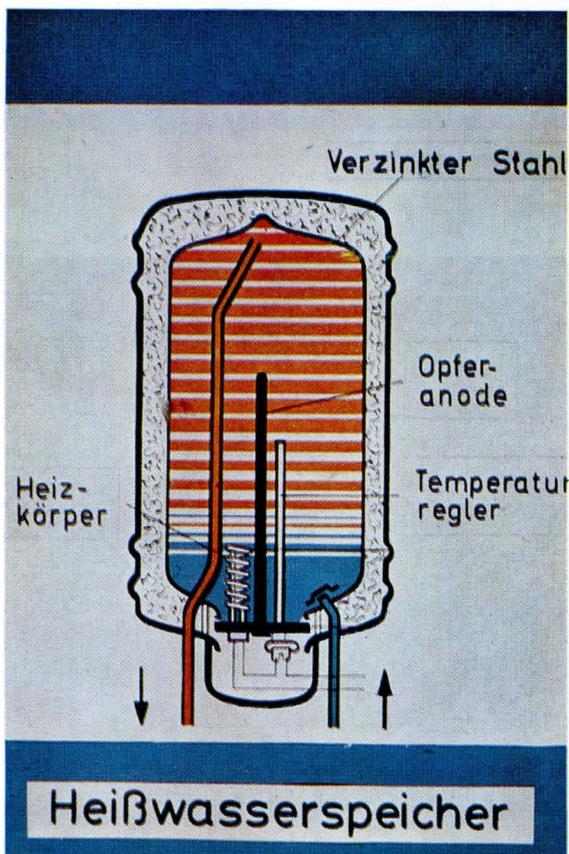


Bild 14. Heißwasserspeicher mit Opferanode.

Eine bedeutende Änderung erfährt das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht, da mit steigender Temperatur das Calciumhydrogencarbonat in Calciumcarbonat und Kohlensäure zerfällt, wobei der Gehalt des Wassers an freier Kohlensäure zunimmt und eine Entkalkung des Wassers stattfindet. D. h. zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes wird mit steigender Temperatur mehr Kohlensäure benötigt. Beim Erwärmen des Wassers findet eine thermische Gleichgewichtsstörung statt, vorzugsweise in der Nähe der beheizten Fläche. Hierbei wird das Calciumcarbonat als Wasserstein oder Schlamm ausgeschieden, der insbesondere beim Festbrennen die Korrosionsgefahr begünstigt. Beim späteren Erkalten liegt das Wasser weit oberhalb der Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtslinie, da ein Teil des Calciumhydrogencarbonats durch Ausfällung aus der Lösung verschwunden ist und die freigewordene Kohlensäure ganz oder zum Teil in Wasser gelöst wird. Hinsichtlich der Verhütung der Korrosion ergibt sich somit die Forderung, die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf möglichst klein zu halten.

Weiterhin ist die Veränderung der Leitfähigkeit von erheblichem Einfluß. Aus der temperaturbedingten Steigerung der Ionenbeweglichkeit ist zu schließen, daß bei einer Temperatursteigerung von 10 °C auf 80 °C die Leitfähigkeit um das 2,5fache gesteigert wird. Diese Steigerung der Leitfähigkeit ist von wesentlichem Einfluß auf die Verteilung der Korrosionsstellen und auf die Angriffstiefen. Bei der Korrosion durch Warmwasser in Anwesenheit von Sauerstoff tritt vorwiegend Lochfraß auf. Im ungestörten Zustand sind die Angriffsstellen unregelmäßig mit den Korrosionsprodukten in kugelförmiger oder halbkugelförmiger Form überdeckt. An den Wandungen von Warmwasserspeichern können die Korrosionsprodukte sich zu Zapfen bis zu 50 mm langen stalaktitähnlichen Gebilden vergrößern, während sie an den Heizschlangen und Rohren zu knollenartigen Gebilden anwachsen, die die Rohre verkrusten. Unter der sehr harten, braunen oberen Rosthaube dieser Rostgebilde befindet sich ein Hohlraum. Unmittelbar daneben ist die Wand unverletzt und meistens mit Schlamm oder Wasserstein bedeckt. Der Korrosionsangriff selbst geht kegelförmig spitz in den Werkstoff hinein und erweckt den Eindruck, als ob der Werkstoff angebohrt worden sei.

Die Korrosionserscheinungen durch Warmwasser weisen also die Eigenschaften des elektrochemisch bewirkten Lochfraßes auf. Voraussetzung für das Auftreten und die Wirksamkeit des elektrochemisch arbeitenden Korrosionselementes ist die Anwesenheit von gelöstem Sauerstoff sowie von

kathodischen und anodischen Gebieten. Diese Gebiete sind durch Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit sowohl chemischer Art, wie Rost und Zunderstellen, als auch physikalischer Art, wie Unebenheiten, Schlammablagerungen an der Sohle, Gasanreicherungen oder Ausscheidungen von Gasen an der wärmebeaufschlagten Fläche und Gasblasenanfang, gegeben.

Die Stromstärke eines durch Rost/Eisen gebildeten Elementes beträgt bei Verwendung einer scheinbaren Rostoberfläche von 3,0 cm² in ruhendem Wasser 3 bis 6 x 10⁻⁵ A, in strömendem Wasser 1,3 x 10⁻⁴ A. Zur besseren Veranschaulichung sei gesagt, daß solche Stromstärken genügen würden, um in 1 1/2 Jahren ein Loch von 1,5 mm Durchmesser in einer 1 mm dicken Eisenplatte zu erzeugen. Wärmeunterschiede können ebenfalls Potentialdifferenzen hervorrufen und somit Veranlassung zur Korrosion geben.

Auch nichtrostende Stähle werden in Warmwasserbereitungsanlagen verwendet. Da an nichtrostenden passiven Stählen eine Wandalkalisierung nicht stattfindet, kommt es bei diesen Stählen nicht zur Ausbildung einer Kalk-Rostschuttschicht. Bei wärmeren Wässern, die nicht entkalkt werden, treten jedoch häufig eine Carbonatabscheidung und Steinbildung auf. Wenn die Wand des Warmwasserbereiters oder die Rohrwand heißer ist als das durchlaufende Wasser, so reichern sich in den Ablagerungen u. a. Chloride an. Die Ablagerungen führen bei solchen Wärmeübergangsverhältnissen zu Spaltkorrosionen, Lochfraß und Spannungsrißkorrosionen, Spannungsrißkorrosionen allerdings nur bei austenitischen Stählen. (Korrosionsverhütung siehe letztes Kapitel.)

In Zentralheizungsanlagen, gleichgültig ob es sich um Niederdruck-Dampfheizungen oder Niederdruck-Warmwasserheizungen handelt, treten Korrosionserscheinungen viel seltener als in Warmwasserbereitungsanlagen auf, da das Wasser in der Regel nicht gewechselt wird und somit die erneute Zufuhr von korrosionsfördernden Bestandteilen, insbesondere von Sauerstoff, unterbleibt. Die Korrosion ist deshalb so gering, weil der Angriff des Eisens bei Erreichung des Sättigungswertes für Eisen-(II)-hydroxid aufhört. Das Wasser weist dann einen pH-Wert von 9,6 auf, der dem der gesättigten Eisen-(II)-hydroxidlösung entspricht. Bei Niederdruck-Dampfheizungen sind vorwiegend die Kondensatleitungen gefährdet, weil sie mit der atmosphärischen Außenluft in Verbindung stehen. Aber auch bei geschlossenen Warmwasserheizungen kann durch Nachfüllen bei Wasserverlusten sowie durch undichte Ventile und Pumpen Sauerstoff eindringen.

Die durch Zerfall der Hydrogencarbonate gebildete Kohlensäure, ebenso die in Ausnahmefällen bei carbonatfreiem Wasser mit Magnesiumchlorid entstehende Chlorwasserstoffsäure, löst sich wieder im Kondensat. Hierbei wird Wasserstoff gebildet, der sich mit Stickstoff aus der vorhandenen Luft und ggf. Spuren von Schwefelwasserstoff als Gaspolster ansammelt und beim Öffnen der Entlüftungsventile entweicht. In der Regel treten Gaspolsterbildungen vorwiegend in geschlossenen Anlagen und fast immer gleich nach der Inbetriebnahme auf.

Zur Vermeidung der Korrosion durch Kohlendioxid und Chlorwasserstoff ist ein Zusatz von Natrium- oder Calciumhydroxid bis zur Phenolphthalein-Alkalität bei der ersten Füllung zu empfehlen.

C. Korrosionsverhütung in den Wasserleitungssystemen

Um Korrosionsschäden entgegenzuwirken, sind notwendige Schutzmaßnahmen zu treffen.

Diese können in der Wahl des geeigneten Werkstoffes, eines Schutzes des Werkstoffes oder in der Aufbereitung des Wassers bestehen.

1. Auswahl der richtigen Werkstoffe

Wie aus den vorhergehenden Ausführungen ersichtlich ist, weichen die verschiedenen Werkstoffe in ihrer Beständigkeit gegen aggressive Agenzien sowie in ihren technologischen Eigenschaften sehr stark voneinander ab. Für die Beurteilung der Korrosionsbeanspruchung ist es notwendig, die Angriffsbedingungen unter den gegebenen Verhältnissen, wobei die verschiedensten Faktoren, wie Zusammensetzung, Druck, Temperatur, Durchflußgeschwindigkeit usw. von ausschlaggebender Bedeutung sind, zu kennen oder durch Untersuchungen zu klären.

Erst dann ist es möglich, unter den Werkstoffen, die alle ein spezielles Anwendungsgebiet haben, den geeigneten herauszufinden. Um dem Konstrukteur die Arbeit zu erleichtern, wurde das Verhalten der Werkstoffe gegen zahlreiche angreifende Agenzien in Werkstoff- und Korrosionstabellen zusammengefaßt*).

2. Der aktive Korrosionsschutz

Die Möglichkeit, durch Werkstoffauswahl das Korrosionsproblem bei Eisen und Stahl zu lösen, ist aus chemisch-physikalischen, technischen und wirtschaftlichen Gründen begrenzt. Maßnahmen, die von der Möglichkeit einer aktiven Beeinflussung des Korrosions-

*) F. Ritter – Korrosionstabellen metallischer Werkstoffe. 3. Aufl. Wien 1952 und Dechema-Werkstoff-Tabelle, Bearb. von E. Rabald und D. Behrens, Frankfurt 1963.

vorganges oder der Korrosionsursachen Gebrauch machen, fallen unter den Begriff „Aktiver Schutz“, wenn dadurch der Korrosionsvorgang wesentlich gehemmt oder zum Stillstand gebracht wird.

Die Maßnahmen des aktiven Korrosionsschutzes lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- a) Konstruktive Maßnahmen beim Entwurf
- b) Entfernung des angreifenden Stoffes
- c) Beeinflussung des angreifenden Stoffes durch Zusätze oder durch Veränderung der Stoffzusammensetzung, um eine Deckschichtenbildung auf den anodischen oder kathodischen Stellen oder auf der gesamten Oberfläche zu erzwingen
- d) Eingriffe in den elektrochemischen Mechanismus des Korrosionsvorganges selbst, z. B. das kathodische Schutzverfahren.

Die sinnvolle Auswahl derartiger Maßnahmen bildet das ureigene Gebiet der Verfahrenstechnik. Die Anwendung auf ein anstehendes Problem setzt die Kenntnis dieses Vorganges sowie der chemischen und elektrochemischen Zusammenhänge voraus, die von Fall zu Fall verschieden sind. Es ist deshalb nicht möglich, diesen sehr wichtigen Teil des Korrosionsschutzes in allen Einzelheiten in diesem Artikel zu behandeln.

2.1 Der aktive Korrosionsschutz im Wasser

Erhebliche Bedeutung hat der aktive Korrosionsschutz von Werkstoffen in der flüssigen Phase. Die Korrosionsbedingungen sind in vorhergehenden Kapiteln erläutert worden. Aus den Bedingungen ergeben sich die Mittel, den Korrosionsvorgang zu steuern oder zum Stillstand zu bringen. Soweit es sich um Trinkwasser handelt, dürfen nur Stoffe, die die Qualität des Trinkwassers nicht verschlechtern, verwendet werden. Die Qualität muß der Norm DIN 2000 entsprechen. Vom konstruktiven Gesichtspunkt aus ist dafür zu sorgen, daß das Wasser möglichst gleichmäßig zur Einwirkung kommt. Besonders sind krasse Änderungen in der Strömungsgeschwindigkeit und Umlenkungen der Strömungsrichtung zu vermeiden. Je größer die laminare Strömungsgeschwindigkeit, um so geringer ist die Korrosionsgefahr. Bei aggressiven Wässern besteht die Möglichkeit, durch Behandlung oder Aufbereitung die Zusammensetzung so zu ändern, daß sich das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht einstellt und bei ausreichendem Sauerstoffgehalt schützende Deckschichten auf dem kathodischen Bereich der Eisenoberfläche gebildet werden, wobei der Korrosionsvorgang zum Stillstand kommt. Dieses

ist durch Entfernung der überschüssigen Kohlensäure entweder durch Verdüsung bzw. offene Belüftung oder Bindung an geeignete Stoffe möglich.

Die chemische Bindung der überschüssigen freien Kohlensäure im Wasser, die Entsäuerung, kann ebenfalls zu der erwünschten Einstellung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes führen.

Auch durch Zusatz von Natronlauge läßt sich eine Einstellung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes erreichen. Dieses Verfahren hat in neuerer Zeit wegen der guten Wirtschaftlichkeit*) an Bedeutung gewonnen, zumal eine automatische pH-gesteuerte Dosieranlage entwickelt wurde.

Bedenken hinsichtlich der Trinkwasserverwendung bestehen bei all den genannten Verfahren nicht. Die Belüftung erhöht den qualitativen Wert des Wassers auf alle Fälle erheblich, während bei der Filterung eine zusätzliche Reinigung von unerwünschten Schwefelstoffen erfolgt, was ebenfalls für die Qualität nur vorteilhaft ist.

Die anfängliche Verschiebung des pH-Wertes durch eine Dosieranlage in einen schwach alkalischen Bereich ist in hygienischer Hinsicht unbedenklich und macht sich auch geschmacklich kaum bemerkbar.

Bei gewissen chemischen Zusammensetzungen ist auch die Dosierung von Phosphaten und/oder Silikaten zu einer Schutzschichtbildung möglich. Insbesondere die Gruppe der Orthophosphate hat sich für den Korrosionsschutz hervorragend bewährt. Die Silikate sind schon seit Jahrzehnten im Bereich des Korrosionsschutzes ein gern empfohlenes Mittel zur Schutzschichtbildung.

2.2 Der aktive Korrosionsschutz in Warmwasser

Bei Temperaturveränderungen werden die Gleichgewichtsbedingungen geändert. Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht verschiebt sich mit steigender Temperatur nach der Seite der zugehörigen freien Kohlensäure. Das bedeutet, daß bei steigender Temperatur Calciumcarbonat ausfällt; in nachgeschalteten kälteren Teilen ist dann nicht mehr genügend Calciumhydrogencarbonat in dem System vorhanden, weshalb die bei Kaltwasser bewährten Aufbereitungsverfahren nicht ohne weiteres für Warmwasser anwendbar sind. Da auch bei höherer Wassertemperatur nur die Einhaltung der Gleichgewichtsbedingungen zur Schutzschichtbildung führt, ist für die Einhaltung gleicher Temperatur im ganzen System durch ausreichend schnelles Umwälzen des Wassers zu sorgen.

Wenn es sich um Warmwasser handelt, das für den menschlichen Gebrauch bestimmt ist, sollte eine der

folgenden Maßnahmen getroffen werden:

a) Konstruktive Maßnahmen

Die Abführung der sich ausscheidenden Gase, insbesondere des Sauerstoffs, soll auf schnellstem Wege erfolgen. Die Warmwassertemperatur sollte auf 60 °C begrenzt bleiben. Erfahrungen zeigen, daß sich bei Temperaturen über 60 °C die Schadenfälle häufen.

Die Begrenzung der Temperatur läßt sich durch geeignete Konstruktion sowie durch Einbau eines Vorlauf-Begrenzungs-Thermostaten erreichen. Ferner sollten bei Kupfer angreifenden Wassern Kupferrohre nicht in Fließrichtung vor verzinkten Stahlrohren und -behältern eingebaut werden. Recht wirksam ist der Einbau von Filtern zur Entfernung von Schmutz und Schlammstoffen.

b) Anwendung von elektrischem Schutzstrom

Das Elektrolyseverfahren besteht darin, daß die Wand des Warmwasserbereiters gegenüber einer isoliert eingebauten Aluminiumanode, der ein schwacher Gleichstrom zugeführt wird, zu einer unangreifbaren Kathode gemacht wird. Das gebildete Aluminiumoxidhydrat muß regelmäßig abgeschlammmt werden. In neuerer Zeit werden häufig die Behälter für Warmwasserbereiter aus emailliertem oder mit Einbrennlack überzogenem Stahlblech eingesetzt, die im Wasserraum zusätzlich eine galvanische Anode, meistens aus Magnesium oder seiner Legierung besitzen.

Diese Anode aus unedlerem Metall schützt die in Fehlstellen oder an beschädigten Stellen freigelegte Stahlwand kathodisch.

Als weitere Möglichkeit des aktiven Korrosionsschutzes sei hier noch der Korrosionsschutz durch Inhibitoren (Zusätze) angeführt. Siehe hierzu Ziff. 4 – Korrosionsschutz durch Wasseraufbereitungsverfahren –.

2.3 Kathodischer und anodischer Korrosionsschutz

a) Kathodischer Korrosionsschutz

Die Korrosion kann unterdrückt werden, wenn man das Metall zur Kathode macht.

Das gelingt entweder durch Kontakt mit Elektroden aus einem unedleren Metall oder dadurch, daß man das zu schützende Metall mit dem negativen Pol einer Gleichstromquelle verbindet, während deren positiver Pol mit einer unlöslichen Elektrode aus Platin oder Graphit in denselben Elektrolyten verbunden ist.

*) Lit. Hopf, W. – Gas- und Wasserfach 109 (1968), S. 193/97 und Axt, G. – Vom Wasser 21 (1964), S. 311/27.

In beiden Fällen ist der zu schützende metallische Gegenstand Kathode, an der sich Wasserstoffionen entladen, die bekanntlich nicht zur Korrosion führen.

b) Anodischer Korrosionsschutz

Bei passivierbaren Metallen und Legierungen läßt sich auch der seltene Fall des anodischen Korrosionsschutzes anwenden. Man legiert eine geringe Menge eines edleren Metalls zu und erreicht damit eine zunächst verstärkte Auflösung des Grundmetalls. Dieses bildet mit dem Medium eine passive Deckschicht, und der Vorgang kommt zum Stillstand.

3. Der passive Korrosionsschutz

Bei der Korrosionsverhütung durch den aktiven Korrosionsschutz wurden die Deckschichten erwähnt, die durch Reaktion zwischen dem Werkstoff und seiner Umgebung gebildet werden. Diese Deckschichten werden mehr oder weniger schnell wieder abgebaut, wenn die Voraussetzung zu ihrer Bildung oder Aufrechterhaltung nicht mehr gegeben ist. Von der Möglichkeit, künstliche, hiervon unabhängige schützende Deckschichten aufzubringen, wird in der Technik weitgehend Gebrauch gemacht. Hierbei kann von einem passiven Korrosionsschutz gesprochen werden, da weder beim Aufbau dieser künstlichen Schutzschicht noch später irgendwie in den elektrochemischen Korrosionsvorgang aktiv eingegriffen wird.

Die künstlichen Schutzüberzüge sollen das angreifende Mittel von dem Werkstoff rein mechanisch fernhalten und sich selbst diesem Mittel gegenüber weitgehend unangreifbar verhalten.

Die Schutzüberzüge werden in metallische und nichtmetallische Überzüge eingeteilt. Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen den metallischen und nichtmetallischen Überzügen besteht nicht, wenn von der Verzinkung und Vercadmung abgesehen wird, da diese infolge ihres unedlen Charakters gegenüber Eisen elektrochemische Schutzwirkungen ausüben können, so daß bei annähernd neutralen Elektrolyten eine absolute Dichtigkeit nicht gewährleistet zu sein braucht, während bei den übrigen metallischen Überzügen eine porenfreie Abdeckung die Voraussetzung für ihre Brauchbarkeit ist.

Als Oberflächenbehandlung kommen u. a. folgende Verfahren in Betracht:

1. Passivierungsverfahren
2. Inoxierungsverfahren
3. Phosphatierungsverfahren.

4. Korrosionsschutz durch Wasser-aufbereitungsverfahren

Der im Haus- und Wohnbereich anstehende Bedarf an Wasser zeigt seit

Jahren steigende Tendenz, und zwar vorzugsweise im Warmwasserbereich. Neben kurzfristigen extrem hohen Strömungsgeschwindigkeiten treten in den Warmwassersystemen sehr oft länger andauernde Stagnationen auf, die laufend Veränderungen hervorrufen.

Es wird heute anerkannt, daß die Nachaufbereitung von Trinkwasser nicht überflüssig ist, sondern sinnvoll eingesetzt werden kann. (Nachzulesen in den Berichten der Kommission „Nachaufbereitung von Trinkwasser“ (NAT) des Bundesgesundheitsamtes.)

Im Vordergrund stehen drei Verfahren:

1. Die Dosierung von Inhibitoren zur Korrosionsminderung
2. Die Filtration zur Entfernung von Senkstoffen zur Verhütung von Lochfraß
3. Der Ionenaustausch und/oder die Dosierung von Stabilisatoren zur Steinhemmung.

Die zur Durchführung der Verfahren 1 und 3 eingesetzten Stoffe wie Phosphate und/oder Silikate dürfen nur in Konzentrationen, wie sie von der Trinkwasser - Aufbereitungs - Verordnung vom 12. Dez. 1959 geregelt sind, eingesetzt werden.

Wie in allen Bereichen des Wasserfaches, so kann auch im Bereich der Trinkwasser-Nachaufbereitung keine Patentlösung angeboten werden, aber die positive Entwicklung in den letzten Jahren im Apparatebau sollte vom Verbraucher genutzt werden.

D. Steinverhütung in Wasserleitungssystemen

Durch den verstärkten Wasserverbrauch sind die Wasserversorgungsunternehmen immer mehr gezwungen, nicht nur auf eine, sondern auf mehrere Quellvorhaben oder Oberflächenwässer zurückzugreifen. Dadurch kommt es immer häufiger zum sogenannten „Mischwasser“. Dies hat oft zur Folge, daß auch bei harten Wässern gleichzeitig Korrosionserscheinungen durch die Störung des Kalkkohlendioxidgleichgewichts im Mischverfahren zu beobachten sind.

Zur Verhütung von Steinablagerungen im Warmwasserbereich genügt die Zugabe von Polyphosphaten, die heute durch die vorhandenen Dosiereinrichtungen exakt und unter Einhaltung der Trinkwasser-Aufbereitungs-Verordnung zugegeben werden können (max. Grenze 5 mg P_2O_5 /Ltr.).

E. Schriftums- und Bildnachweis

Schimpe/Schropp/Konig: Technologie der Maschinenbaustoffe. Werkstoffkunde – Werkstoffprüfung – Werkstoffverarbeitung. S.-Hirzel-Verlag, Stuttgart.

H. Orth: Korrosion und Korrosionsschutz. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart.

Klas u. Steinrath: Die Korrosion des Eisens und ihre Verhütung. Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf.

Deutsches Kupfer-Institut: Kupferrohre im Wasserfach.

Deutsches Kupfer-Institut: Kupferrohre in der Heizungstechnik.

Heinz Reinders: Korrosionsprobleme in heiztechnischen Anlagen. VDI-Verlag.

Technischer Überwachungsverein Bayern e. V.: Wassertechnik, Heizung und Lüftung in Schwimmbädern. Verlag des Technischen Überwachungsvereins Bayern e. V.

Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e. V.: Korrosion in Kalt- und Warmwassersystemen der Hausinstallation.

Muschmann u. Stimmelmayer: Taschenbuch der Wasserversorgung. Francksche Verlagshandlung, Stuttgart.

H. Lücke: Korrosion und Korrosionsschutz an Warmwasserbereitungsanlagen. Heinz-Piest-Institut für Handwerkstechnik an der Technischen Hochschule Hannover.

Norm DIN 2000 Zentrale Trinkwasserversorgung. Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser. Planung, Bau und Betrieb der Anlagen.

Norm DIN 50 900 Teil 1 Korrosion der Metalle. Begriffe. Allgemeine Begriffe.

Norm DIN 50 930 Teil 3 (Entwurf). Korrosionsverhalten von metallischen Werkstoffen.

Trinkwasser-Aufbereitungs-Verordnung vom 19. 12. 1959: Verordnung über den Zusatz fremder Stoffe bei der Aufbereitung von Trinkwasser. Bundesministerium für Gesundheit, Jugend und Familie, Bonn.

Der Sanitär-Installateur 1960, Heft 2, S. 43. Verlag R. Oldenbourg, München.

Allen Firmen und Institutionen, die Bildmaterial und sonstige Unterlagen bereitwilligst für diesen Artikel zur Verfügung stellten, sei an dieser Stelle gedankt.

Folgendes Bildmaterial wurde zur Verfügung gestellt:

Bild 1 und 2: Firma Metallschlauch-Fabrik, Pforzheim.

Bild 4, 4 a, Titelbild: Firma Grünbeck, Höchststadt.

Bild 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 10 a, 11, 12, 13, 14: Heinz-Piest-Institut an der Technischen Hochschule Hannover.