

Korrosion der Metalle
**Korrosionsuntersuchungen
 in strömenden Flüssigkeiten**
 Allgemeines

DIN
50 920
 Teil 1

Corrosion of metals; corrosion test in flowing liquids; generalities

Corrosion des métaux; essai de corrosion dans les liquides en mouvement; généralités

1 Zweck

Bei chemischen Korrosionsuntersuchungen nach DIN 50905 Teil 1 *), Teil 2 *) und Teil 4 *) oder elektrochemischen Korrosionsuntersuchungen nach DIN 50918 muß häufig der Einfluß der Strömung als wichtiger Korrosionsparameter miteinfaßt werden.

Diese Norm enthält eine Zusammenstellung der für Korrosionsuntersuchungen in einphasigen Flüssigkeiten wichtigen Grundlagen.

Einzelheiten über die Durchführung besonderer Untersuchungen werden in Folgeteilen zu dieser Norm behandelt.

Die Korrosionsuntersuchungen in strömenden mehrphasigen Medien können nach den gleichen Grundlagen erfolgen.

2 Einheiten

Siehe Tabelle 1

3 Grundlagen

3.1 Einteilung nach Strömungsbeanspruchung

Durch die Strömung werden die korrosiven Bestandteile des Mediums, Zwischenprodukte und Produkte der Korrosion an die Metalloberfläche heran- oder von der Metalloberfläche wegtransportiert. Darüber hinaus schädigen die durch das strömende Medium erzeugten Schubspannungen und Druckschwankungen die Deckschichten an der Grenzfläche Metall/Medium oder es treten Zerstörungen durch Partikelauflauf oder Blasenimplosion (Kavitation) auf, wenn das Medium neben der flüssigen noch feste oder gasförmige Phasen enthält.

Nach der Strömungsgeschwindigkeit, die als eine über den Strömungsquerschnitt und die Zeit gemittelte Geschwindigkeit einer Kanal- oder Rohrströmung bzw. als mittlere Rotationsgeschwindigkeit eines Modellkörpers zu betrachten ist (siehe Abschnitt 3.3), unterscheidet man folgende Systeme mit unterschiedlichen Korrosionsarten.

3.1.1 Strömungen ohne erzwungene Konvektion (natürliche Konvektion)

Charakteristisch für stagnierende Bedingungen, die sich ohne aufgeprägte Strömungen einstellen, sind Korrosionsarten, die durch das Fehlen des erzwungenen konvektiven Stofftransports begünstigt werden. Hierzu gehören die Loch- und die Spaltkorrosion infolge Anreicherung von Wasserstoffionen durch Hydrolyse anodischer Produkte und durch Anreicherung von stimulierenden Anionen (z. B. Chloridionen) infolge Wanderung im elektrischen Feld. Dabei tritt häufig ein Maximum der Eindringrate auf (siehe Bild 1). Ein gleicher Einfluß der Strömungsgeschwindigkeit auf das Korrosionsverhalten liegt vor, wenn die Bildung von Deckschichten, die durch die Strömung bedingt ist, ausbleibt.

Zu den Korrosionsarten bei Strömungsgeschwindigkeit „Null“ gehört auch die sogenannte Stillstandskorrosion von Anlagen, die durch das Verbleiben oder Eindringen von korrosiven Angriffsmitteln zustande kommt.

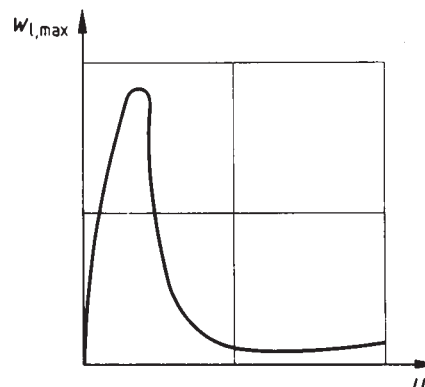


Bild 1. Einfluß der Strömungsgeschwindigkeit auf die maximale Eindringrate $w_{l,max}$ der Loch- und Spaltkorrosion im Bereich vorherrschender natürlicher Konvektion und Diffusion (schematisch)

*) Z. Z. Entwurf

Fortsetzung Seite 2 bis 8

Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Tabelle 1. Formelzeichen, Benennungen, Einheiten

Formelzeichen	Benennung	SI-Einheit bzw. abgeleitete gebräuchliche Einheit
a, b, c	Konstanten der Potenzgrenze siehe Gleichungen (8) und (11)	—
c, c_{∞}, c_o	Konzentration	$\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$
d_1, d_2	Rohrdurchmesser	cm
d_e	hydraulischer Durchmesser (siehe Tabelle 3)	cm
d_1/d_2	Expansionsverhältnis	1 ¹⁾
D	Diffusionskoeffizient	$\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
f	Drehzahl	s^{-1}
k, k_1, k_2, k_3	Konstanten	—
L, l	charakteristische Länge, Elektrodenlänge	cm
M	molare Masse	$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$
N	molare Massenstromdichte	$\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$
r	Radius	cm
Re, Re_{rot}	Reynolds-Zahl	1 ¹⁾
Sc	Schmidt-Zahl	1 ¹⁾
Sh	Sherwood-Zahl	1 ¹⁾
u	Strömungsgeschwindigkeit	$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$
u_{krit}	kritische Strömungsgeschwindigkeit	$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$
v	flächenbezogene Massenverlustrate	$\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$
v_c	Geschwindigkeit der Phasengrenzreaktion	$\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$
w_1	Eindringrate	$\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$
z	Ladungszahl	1 ¹⁾
β	Stofftransportkoeffizient	$\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$
ω	Winkelgeschwindigkeit	s^{-1}
ν	kinematische Viskosität	$\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

1) 1 steht hier für das Verhältnis zweier gleicher SI-Einheiten.

3.1.2 Strömungen mit erzwungener Konvektion ohne mechanische Strömungseffekte

Die Korrosion wird hauptsächlich durch den Transport von korrosiven Bestandteilen des Mediums und Reaktionsprodukten bestimmt und führt zu gleichmäßigem Flächenabtrag. Ein Einfluß von Wandschubspannungen oder

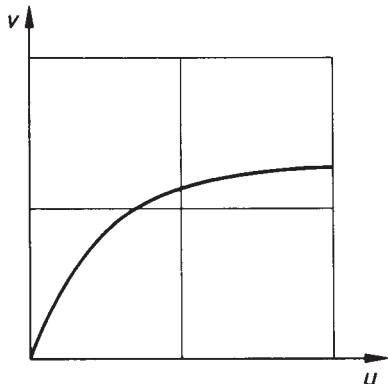


Bild 2. Einfluß der Strömungsgeschwindigkeit auf die flächenbezogene Massenverlustrate bei Überlagerung von Stofftransport und Phasengrenzreaktionen (schematisch)

anderen mechanischen Einwirkungen liegt nicht vor. Es bildet sich eine Mischkinetik aus, die durch das Zusammenwirken von Transportvorgängen und Phasengrenzreaktionen zustande kommt (siehe Abschnitt 5). Je nach Vorherrschen der Stofftransporthemmung oder Reaktionshemmung ist das Korrosionssystem mehr oder weniger strömungsabhängig. Die Strömungsabhängigkeit der flächenbezogenen Massenverlustrate zeigt den in Bild 2 dargestellten charakteristischen Verlauf.

3.1.3 Strömungen mit erzwungener Konvektion und mechanischen Strömungseffekten

Unter Strömungsbedingungen, bei denen mechanische Kräfte an der Grenzfläche Metall/Medium bzw. Deckschicht/Medium vorherrschen, kommt es zu Erosions- und Kavitationskorrosion, die sich häufig durch einen verstärkten Anstieg der Eindringraten oberhalb kritischer Strömungsgeschwindigkeiten bemerkbar machen (siehe Bild 3). Die kritische Strömungsgeschwindigkeit u_{krit} für das Auftreten der Erosionskorrosion ist durch die hydraulischen Gegebenheiten und durch das Korrosionssystem bestimmt und deshalb keine feste Größe. Die kritische Strömungsgeschwindigkeit der Kavitationskorrosion ist außer vom Korrosionssystem hauptsächlich durch das Auftreten von Kavitation bestimmt.

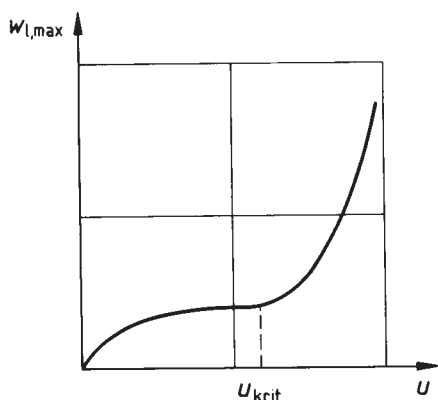


Bild 3. Einfluß der Strömungsgeschwindigkeit auf die maximale Eindringrate $w_{l,max}$ bei Erosions- und Kavitationskorrosion (schematisch)

Die Abgrenzung der unter den Abschnitten 3.1.1 bis 3.1.3 aufgeführten Systeme wird durch fluiddynamische Parameter und durch Einflußgrößen des betrachteten Korrosionssystems bestimmt. Außerdem spielt eine wichtige Rolle, ob das Medium ein- oder mehrphasig ist. Mehrphasige Systeme sind beispielsweise sandhaltige oder lufthaltige Wässer (flüssig/fest oder flüssig/gasförmig).

Diese Einteilung gilt im Prinzip für Fluide allgemein, also nicht nur für Flüssigkeiten, sondern auch für Gase. Die vorliegende Norm bezieht sich jedoch nur auf Flüssigkeiten, da dort Strömungseffekte am häufigsten auftreten und auch am besten untersucht sind.

3.2 Arten der Strömung

Man unterscheidet nach dem Strömungszustand laminare und turbulente Strömungen, sowie nach dem Verlauf der Strömung entlang fester Wände anliegende und abgelöste Strömungen (siehe Bild 4).

Für die Fälle 1 und 2 in Bild 4 gilt eine Proportionalität von Wandschubspannung und Stofftransport (Chilton-Colburn Analogie), für den Fall 3 im allgemeinen nicht mehr.

3.3 Strömungsgeschwindigkeit

Unter Strömungsgeschwindigkeit wird im allgemeinen eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit verstanden. Für die laminare Rohrströmung ergibt sich die mittlere Strömungsgeschwindigkeit aus einer Volumendurchflußmessung entsprechend:

$$\text{Strömungs-} \frac{\text{geschwindigkeit}}{\text{geschwindigkeit}} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Querschnittsfläche} \cdot \text{Zeit}} \quad (1)$$

Bei der ungestörten turbulenten Grenzschichtströmung im Rohr wird die charakteristische Strömungsgeschwindigkeit gleichfalls als die über die Zeit und den Querschnitt gemittelte Fluidgeschwindigkeit ermittelt. Im Falle der turbulenten Strömung mit Ablösung weist die Strömungsgeschwindigkeit im Bereich des Ablösegebietes eine zweidimensionale Verteilung auf. Diese Verteilung ist z. B. für die Rohrexpansion durch die Reynolds-Zahl

$$Re = \frac{u d_2}{\nu} \quad (2)$$

und durch das Expansionsverhältnis d_1/d_2 bestimmt.

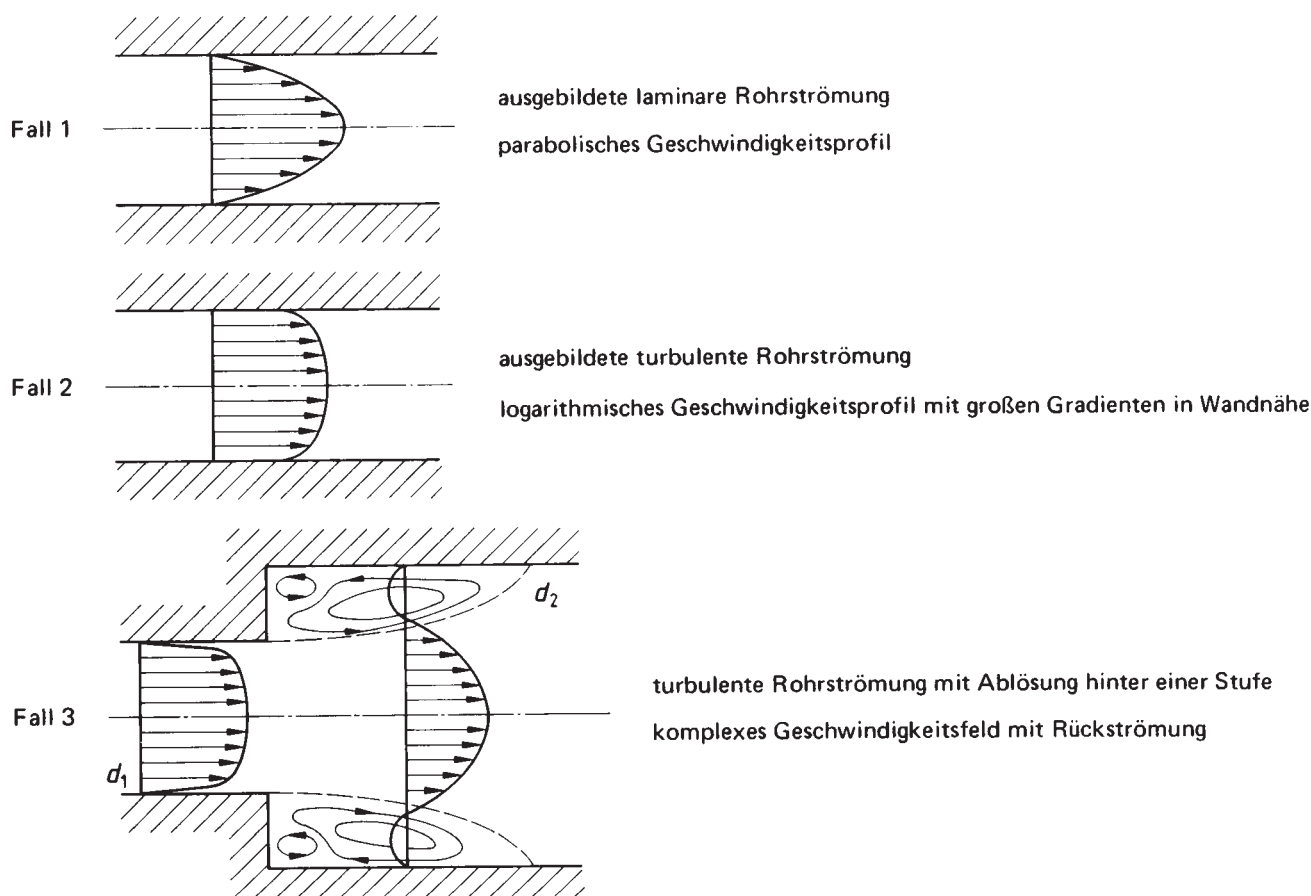


Bild 4. Arten der Strömung (für das Beispiel eines durchströmten Rohres)