

BETRACHTUNGEN ZUM ENTSTEHEN VON LOCH- UND SPALTKORROSION AN DRUCKGERÄTEN AUS CHEMISCH BESTÄNDIGEN CRNI-STÄHLEN

# Von Gründen, Risiken und Maßnahmen

Dr. Ulrich Killing, Nerdlen

Das Phänomen Lochkorrosion, auch Lochfraß oder Pitting-Korrosion genannt, beschreibt eine Korrosionsart, die immer dann auftritt, wenn der Werkstoff von einer korrosionsschützenden Deckschicht überzogen ist. Von technisch besonderem Interesse ist die Form der Lochkorrosion, die von Halogen-Ionen an passiven Metallen, insbesondere an CrNi-Stählen, ausgelöst wird. Neben der Flächenkorrosion stellt die Lochkorrosion eine der Hauptursachen für Schäden im Anlagenbereich von Chemie- und Petrochemieunternehmen dar. Daher ist es wichtig, die Gründe für das Entstehen von Lochkorrosion zu kennen, das Korrosionsrisiko zu ermitteln und gegebenenfalls Abhilfemaßnahmen zu entwickeln.



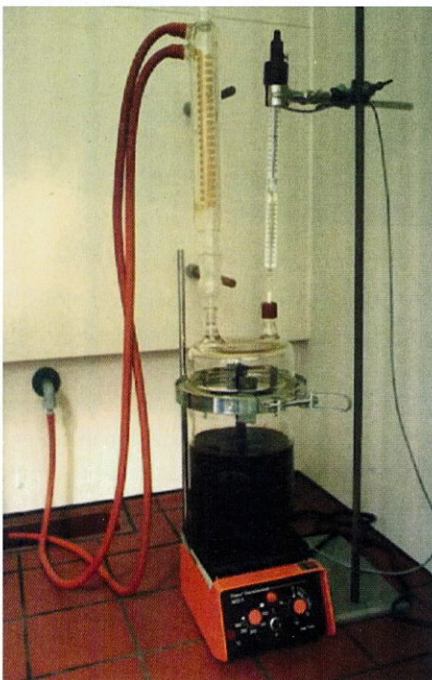
◀ Bild 1. Lochkorrosion auf einer CrNi-Stahl-Oberfläche (Probe ungeätzt)

Für das Entstehen von Lochkorrosion an CrNi-Stählen (Bild 1) ist immer die Anwesenheit von Halogen-Ionen der Elemente Chlor und Brom, in geringerem Maße auch von Jod notwendig. Dagegen wird durch Fluor-Ionen keine Lochkorrosion erzeugt. Eine einheitliche wissenschaftliche Begründung für das

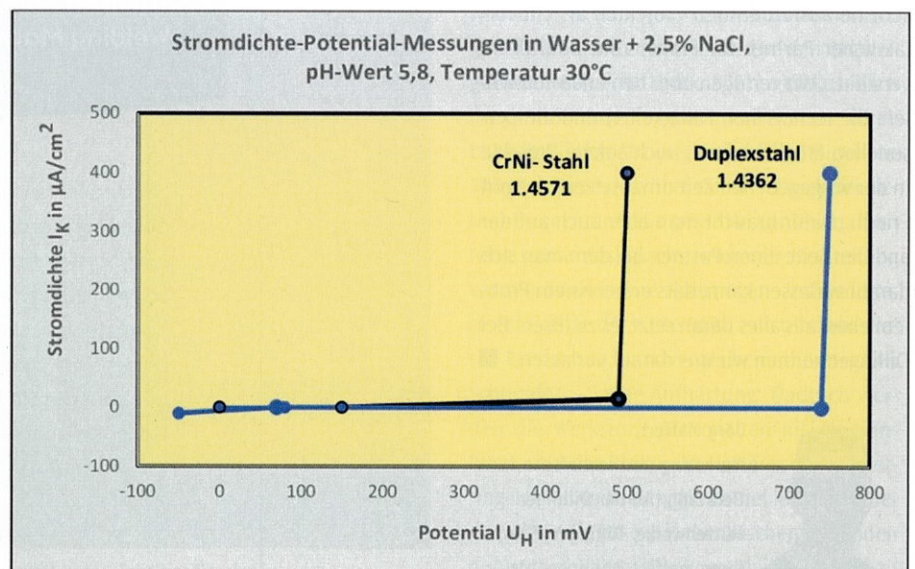
Entstehen der Löcher existiert zurzeit nicht. Vermutlich kommt es durch die Halogen-Ionen zu einem Verdrängen von Sauerstoffmolekülen in der Passivschicht, sodass letztlich in diesen Bereichen die Passivschicht zerstört und der Werkstoff kleinflächig aufgelöst wird. Es entsteht eine kleine anodische Fläche, die mit hoher Geschwindigkeit größer und tiefer wird. Verstärkt wird dieser Effekt durch Anreicherungen von Halogen-Ionen in den

so gebildeten Löchern, wodurch zum einen eine Absenkung des pH-Werts in diesem Bereich erfolgen kann. Zum anderen wird der zum Repassivieren benötigte Sauerstoff von der Lochfraßstelle ferngehalten. Der Einfachheit halber beziehen sich die folgenden Ausführungen ausschließlich auf den Einfluss von Chlor-Ionen auf das Korrosionsverhalten von CrNi-Stählen, da diese Halogen-Ionen im betrieblichen Alltag am häufigsten vertreten sind. Prinzipiell gelten die folgenden Ausführungen auch für den Korrosionsangriff durch Brom- oder Jodide.

Für die Auswahl geeigneter Werkstoffe im Hinblick auf das Vermeiden von Lochkorrosion werden im Wesentlichen zwei experimentelle Methoden eingesetzt. Zum einen kommen Auslagerungsversuche zur Anwendung, wobei

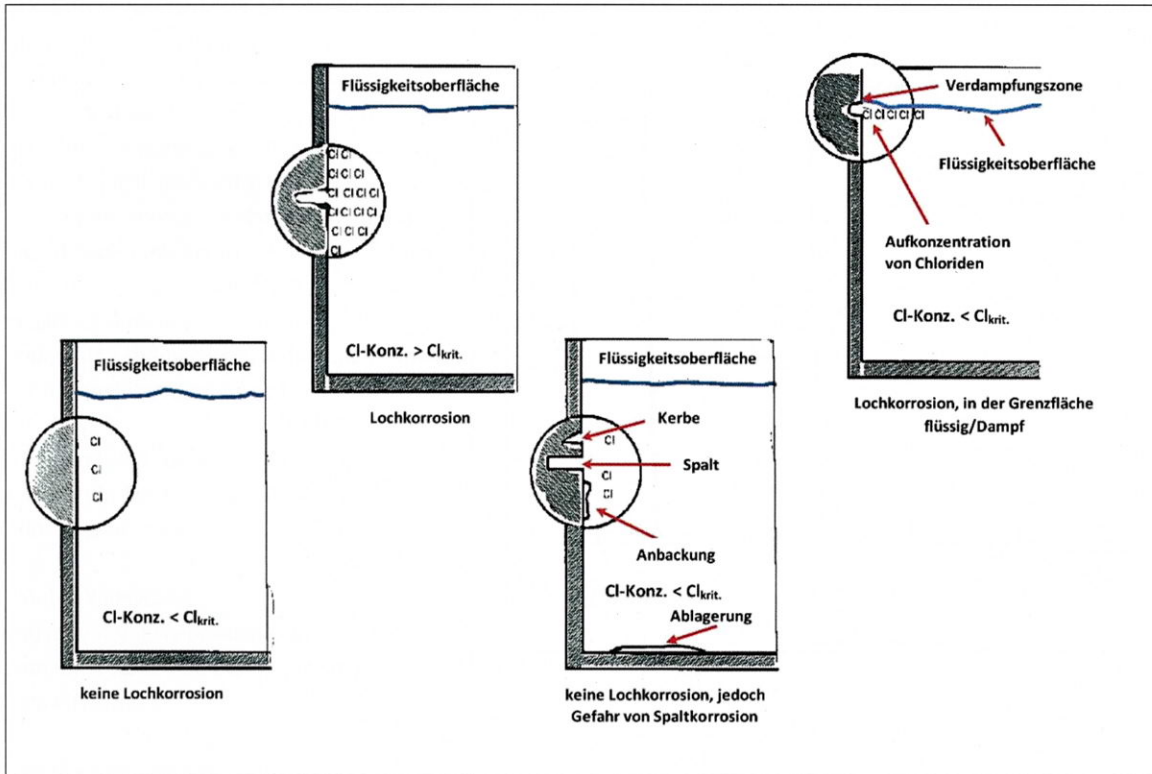


▲ Bild 2. Auslagerungsversuch im Glasgefäß



▲ Bild 3. Vergleich der Lochkorrosionsbeständigkeit von 1.4571 und 1.4362





◀ Bild 4. Beispiele für Entstehungsmechanismen für Lochkorrosion

vor allem Stahl- und Schweißzusatzhersteller mit genormten Prüfungen, zum Beispiel nach ASTM G 48 A oder E [1], arbeiten. Zur Ermittlung der Lochkorrosionsbeständigkeit werden im Chemie- und Petrochemiebereich jedoch vielfach Langzeitauslagerungsversuche (Versuchsdauer zum Beispiel drei Wochen) in den späteren Anwendungslösungen durchgeführt, wobei je nach Versuchstemperatur entweder in Glasgefäßen (Bild 2) oder aber in Hochdruckautoklaven ausgelagert wird.

Während Auslagerungsversuche relativ zeitaufwendig sind, kann man mit elektrochemischen Versuchsdurchführungen entweder kritische Temperaturen für das Entstehen von Löchern [2] oder aber durch das Bestimmen von Lochkorrosionspotenzialen (Stromdichte-Potenzial-Messung) vergleichsweise schnelle Erkenntnisse zum Lochkorrosionsverhalten von Werkstoffen in Anwendungslösungen erzielen (Bild 3). Allerdings sind Messungen bei erhöhten Medientemperaturen nur mit hohem Aufwand zu realisieren. Bild 3 ist zu entnehmen, dass der Anstieg der Stromdichte beim Prüfen von 1.4362 in der wässrigen NaCl-Lösung sehr viel später erfolgt, als dies beim Stahl 1.4571 der Fall ist. Somit ist von einer besseren Lochkorrosionsbeständigkeit des Duplexstahls in diesem Medium auszugehen.

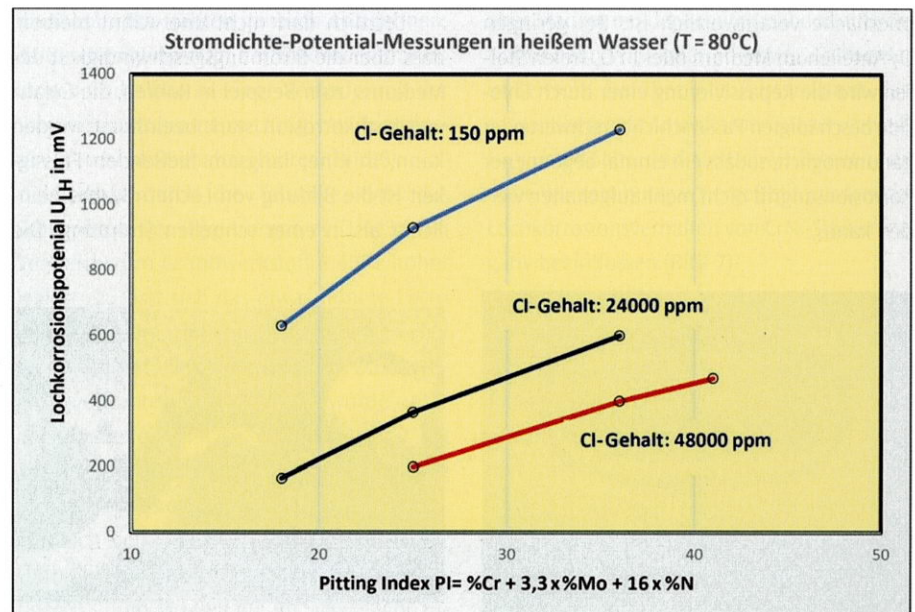
### Welche Einflussfaktoren sind für das Entstehen von Lochkorrosion verantwortlich?

Chemische und verfahrenstechnische Parameter

Einen wesentlichen Einfluss auf das Entstehen von Lochkorrosion üben die Produktionsparameter in der Chemieanlage aus. In erster Linie wird das Entstehen von Löchern durch die Menge an Chloriden in den jeweiligen

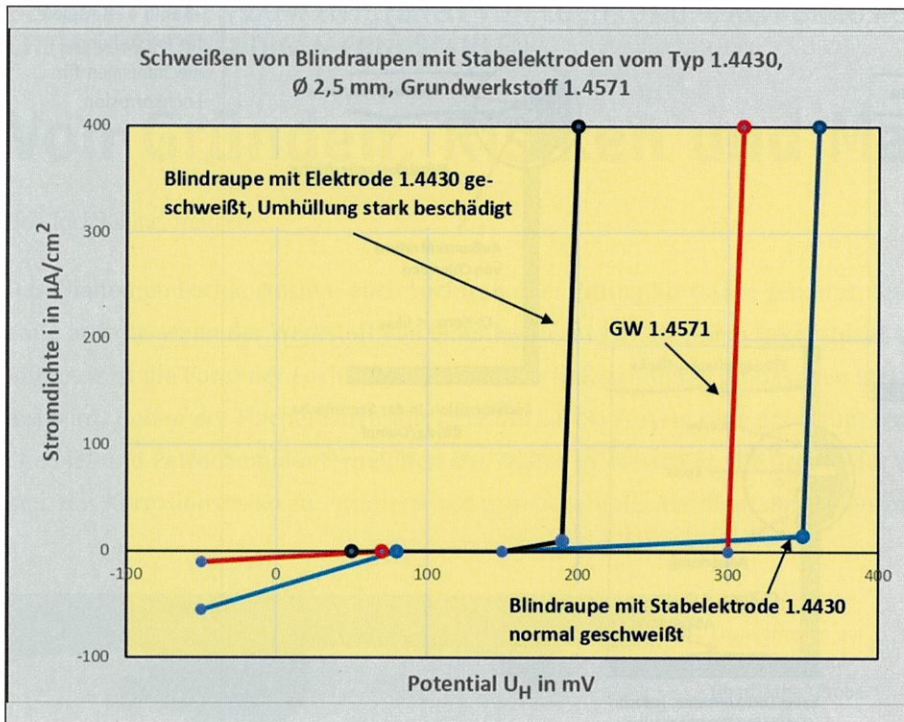
Einsatzstoffen begünstigt. Generell lässt sich feststellen, je höher der Chloridgehalt im Medium ist, desto größer ist das Risiko für das Entstehen von Lochfraß.

Weiterhin beeinflusst der pH-Wert des Angriffsmediums diesen Korrosionstyp. In erster Näherung lässt sich aussagen, dass mit abnehmendem pH-Wert die Gefahr der Lochbildung anwächst. CrNi-Stähle sind demnach in Säuren mehr gefährdet als in neutralen Flüssigkeiten.



▲ Bild 5. Zusammenhang zwischen Pitting-Index PI und dem Lochkorrosionspotenzial U<sub>LH</sub>





▲ Bild 6. Lochkorrosionsverhalten des Grundwerkstoffs 1.4571 sowie des Schweißguts von hüllenlegierten Elektroden des Legierungstyps 1.4430 in 4%iger NaCl-Lösung bei 80°C

Die geringste Gefahr für das Auftreten von Lochfraß besteht in basischen Umgebungen. Mit zunehmendem pH-Wert verringert sich die Gefahr. In hochbasischen, konzentrierten Laugen kann unabhängig vom Chloridgehalt die Bildung von Löchern nahezu ausgeschlossen werden.

Darüber hinaus beeinflusst der Sauerstoffgehalt im Medium das Auftreten von Lochfraß, da Sauerstoff für die Bildung und Aufrechterhaltung einer Passivschicht auf der Stahloberfläche verantwortlich ist. Bei geringen O<sub>2</sub>-Anteilen im Medium oder in O<sub>2</sub>-freien Stoffen wird die Repassivierung einer durch Chloride beschädigten Passivschicht erschwert oder gar unmöglich, sodass ein einmal begonnener Korrosionsangriff nicht mehr aufgehalten werden kann.

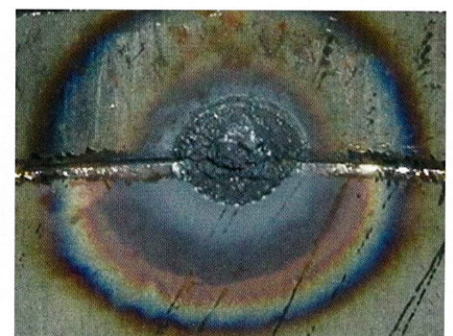
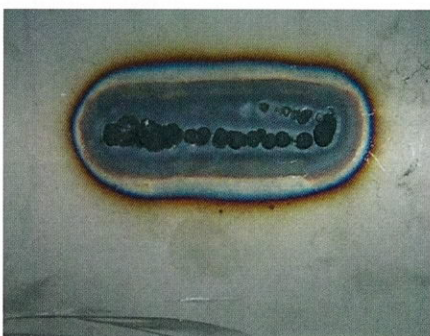
Darüber hinaus übt die Medientemperatur einen großen Einfluss auf die Pitting-Bildung aus. Während bei niedrigen Temperaturen die Chlorid-Ionen-Aktivität noch vergleichsweise gering ist, wächst die Gefahr für Lochkorrosion mit ansteigender Temperatur. Zum Beispiel werden Temperaturen von >60°C bei entsprechenden Chloridgehalten in neutralen Medien bereits als kritisch angesehen, wenn Cr- oder CrNi-Stähle mit Molybdängehalten von <2,0% eingesetzt werden.

Letztlich darf nicht unerwähnt bleiben, dass über die Strömungsgeschwindigkeit des Mediums, zum Beispiel in Rohren, die Gefahr von Lochkorrosion stark beeinflusst werden kann. In einer langsam fließenden Flüssigkeit ist die Bildung von Löchern wahrscheinlicher als in einer schnellen Strömung. Die

höchste Gefahr für Lochkorrosion existiert in ruhenden Flüssigkeiten, zum Beispiel während eines Anlagenstillstands, wenn die Pumpen ausgeschaltet sind und das Leitungssystem nicht entleert und getrocknet wurde. Ein großer Anteil von Lochfraßschäden in Chemieanlagen wird durch diese sogenannte Stillstandskorrosion hervorgerufen. Auch bieten nicht ständig durchströmte Anlagenteile (sogenannte Toträume) sowie Produktablagerungen und Anbackungen auf den Stahloberflächen ideale Entstehungsbedingungen für Lochfraß (Bild 4).

Aus Sicht der Verfahrenstechnik lassen sich beispielhaft nachfolgende Maßnahmen zur Vermeidung von Lochkorrosion an CrNi-Stählen ableiten:

- Verringerung des Chloridgehalts durch Spezifizierung maximaler Cl-Anteile in den einzelnen Einsatzstoffen. Diese Forderung bleibt in den meisten Rohstoffspezifikationen unberücksichtigt.
- pH-Wert-Einstellungen müssen nicht notwendigerweise durch Zugabe von Salzsäure (HCl) vorgenommen werden. Gleiche Effekte lassen sich vielfach auch ohne Erhöhung der Chloridkonzentration, zum Beispiel durch Verwendung von Schwefel- oder Salpetersäure, erzielen. Als vergleichsweise werkstoffschonend gelten zum Beispiel organische Säuren wie Zitronen-, Essig- oder Ameisensäure.
- Herstellprozesse, die unter basischen Bedingungen ablaufen, sind zu bevorzugen. Allerdings kann die Verwendung von Chlorbleichlauge die Lochkorrosionsgefahr erhöhen, wenn beim Reinigen mit Wasser oder Dampf Restflüssigkeit mit niedrigem pH-Wert in der Anlage verbleibt.
- Optimierung der Reinigungszyklen zur Beseitigung von Anbackungen und Ablagerungen.



▲ Bild 7. Fertigungsfehler beim Schweißen von CrNi-Stählen



▼ Tabelle 1. Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit W von Loch- und Spaltkorrosion an Rohrleitungen aus chemisch beständigen CrNi-Stählen

Parameter	0 Punkte	1 Punkt	3 Punkte	5 Punkte	8 Punkte
Betriebstemperatur in °C (T)	<50	50–80	>80–120	>120–150	>150 oder keine Angabe verfügbar
pH-Wert (pH)	>10	basisch >7,5–10	neutral 6–7,5	leicht sauer <6–4	sauer <4 oder keine Angabe verfügbar
Cl-Gehalt in ppm (ClG)	>20 aber <50	50–250	>250–500	>500–1000	>1000 aber <10000 oder keine Angabe verfügbar
Schweißnähte (SN)	ohne SN	SN ja, aber überlegiert geschweißt und optimal heftgeschweißt	SN ja, aber artgleich geschweißt und optimal heftgeschweißt	SN artgleich, Heftstellen nicht ausgeschliffen, aber mit Zusatz geschweißt	Heftstellen und SN ohne Zusatz geschweißt oder keine Angabe verfügbar
Anlauffarben (AF)	ohne, innen gebeizt oder keine SN vorhanden	wenige AF möglich, formiert (inklusive Heftstellen) mit Restsauerstoffmessung und stichprobenhaft VT (endoskopiert)	AF möglich, formiert (inklusive Heftstellen) ohne zusätzliche QS	AF vorhanden, formiert, aber Heftstellen ohne Formierung geschweißt und nicht ausgeschliffen, ohne QS	starke AF vorhanden, Heftstellen (nicht ausgeschliffen) und Schweißnähte ohne Formierung geschweißt oder keine Angabe verfügbar
Spalte (SP)	keine, 100% RT der SN	Wenige SP möglich, aber erhöhter Prüfumfang	SP möglich, da geringer Prüfumfang	SP wahrscheinlich, ohne ZfP	konstruktive Spalte, Anbackungen, Ablagerungen, Spaltflächen mit Anlauffarben belegt oder keine Angabe verfügbar
Betriebsweise (BW)	kontinuierlich	Chargenbetrieb, aber vollständige Entleerung und Trocknung im Stillstand	Chargenbetrieb, aber vollständige Entleerung ohne Trocknung im Stillstand	Chargenbetrieb, ohne Entleerung im Stillstand	stagnierend bzw. System mit Toträumen oder keine Angabe verfügbar

- Vollständige Entleerung und Trocknung der Anlage bei Stillständen. Wenn eine Entleerung nicht möglich ist, Pumpen und Rührwerke eingeschaltet lassen, sodass das Medium ständig in Bewegung bleibt.

#### Werkstoffauswahl, Konstruktion und Fertigung

Für CrNi-Stähle gilt, dass die Lochkorrosionsbeständigkeit mit erhöhten Anteilen der Legierungselemente Chrom und Molybdän gesteigert wird. Das Element Stickstoff übt ebenfalls einen positiven Einfluss auf das Lochfraßverhalten aus. Mit Hilfe des Pitting-Index  $PI = \%Cr + 3,3 \times \%Mo + 16 \times \%N$  lässt sich das Verhalten von Werkstoffen im Hinblick auf Lochkorrosion abschätzen. Je höher der Pitting-Index eines CrNi-Stahls ist, desto höher ist die Lochkorrosionsbeständigkeit einzustufen, die in **Bild 5** beispielhaft in Form des Lochkorrosionspotenzials dargestellt wird.

Gleiche Aussage gilt im Übrigen auch für das Schweißen von CrNi-Stählen. Auch hier führen alle Maßnahmen, die eine Reduzierung der Cr- und Mo-Gehalte im Schweißgut verhindern, zu einer Verbesserung des Korrosionsverhaltens. Bezogen auf das Auftragschweißen

ist auf eine möglichst geringe Aufmischung des Schweißguts mit dem Grundwerkstoff zu achten. Für das Unterpulver(UP)-Schweißen von CrNi-Stählen sollte ein Pulver verwendet werden, das den Cr-Abbrand reduziert bzw. einen Cr-Zubrand in das Schweißgut ermöglicht. Beim Schweißen mit der Stabelektrode sind hüllenlegierte Typen zum Fügen von medienberührten Nähten gänzlich abzulehnen, da Beschädigungen an der Elektrodenumhüllung unmittelbar zu einer Veränderung der Schweißgutzusammensetzung mit niedrigeren Cr- und Mo-Gehalten führen (**Bild 6**).

Bedingt durch die Tatsache, dass das Schweißgut des Legierungstyps 1.4430 im Vergleich zum Grundwerkstoff 1.4571 höher legiert ist, lässt sich das etwas höhere Lochkorrosionspotenzial von 350 mV der normal verschweißten Elektrode erklären. Das Lochkorrosionspotenzial von 1.4571 wurde unter den gegebenen Versuchsbedingungen mit 300 mV bestimmt. Eine deutliche Verschlechterung des Lochkorrosionspotenzials auf 190 mV ergibt sich beim Schweißen mit beschädigter Umhüllung. Diese Differenz dürfte auf niedrigere Cr- und Mo-Gehalte im Schweißgut zurückzuführen sein.

Letztlich darf nicht unerwähnt bleiben, dass alle Betriebsstörungen beim Schweißen produktberührter Nähte, die einen Einfluss auf die chemische Zusammensetzung haben, zu einer erhöhten Lochkorrosionsgefahr führen können. Als Beispiele für derartige Störungen kommen Fehler bei der Pulverzufuhr beim UP- oder beim Elektroschlackeschweißen oder aber Mängel bei der Schutzgasabdeckung der Nähte beim WIG- oder MIG-/MAG-Schweißen in Betracht. Darüber hinaus ist bekannt, dass schweißbedingte Anlauffarben, unverschweißte Wurzelspalte und Heftschweißstellen, die ohne Wurzelschutzgas hergestellt wurden, das Lochkorrosionsverhalten von CrNi-Stählen negativ beeinflussen (**Bild 7**).

Auch der Konstrukteur kann einen beachtlichen Beitrag zur Vermeidung von Lochkorrosion leisten. Beispielsweise sollten die horizontalen Abschnitte von Rohrleitungen mit einem leichten Gefälle verlegt werden, sodass hier im Stillstand keine Flüssigkeitsreste verbleiben. Gleiches gilt für die Böden von Flachbodentanken, die mit einem Gefälle zum Auslaufstutzen konstruiert werden müssen. Stutzen im Bodenbereich von Behältern dürfen generell nicht als durchgesteckte Variante



▼ Tabelle 2. Abschätzung der Auswirkung A von Schäden, die durch Lochkorrosion an Produktrohrleitungen entstanden sind (\*VE-Wasser = vollentsalztes Wasser, \*\*DGRL = Druckgeräterichtlinie) [6]

Parameter	Punktbewertung		
	1 Punkt	3 Punkte	5 Punkte
Sicherheit (S)	Freisetzung von unbrennbaren oder ungiftigen Flüssigkeiten (zum Beispiel Kondensat, Trinkwasser, Kühlwasser, Brauchwasser, VE-Wasser*, Arbeits-/Steuerluft)	Freisetzung von korrosiven oder unbrennbaren Flüssigkeiten oder ungiftigen Gasen (zum Beispiel Fluide der Gruppe 2 der DGRL**, einschließlich Dampf)	Freisetzung giftiger und/oder brennbarer Flüssigkeiten oder Gase (zum Beispiel Fluide der Gruppe 1 der DGRL)
Umwelt (U)	Kein Umwelteinfluss bzw. Personenschäden zu erwarten. Lokales Ereignis innerhalb der Anlage (zum Beispiel Druckgeräte nach § 4 Abs. 3 der DGRL oder Auslegungsdruck <0,5 bar)	Schaden hat Auswirkungen auf die Umwelt innerhalb des Werksgeländes. Personenschäden möglich (zum Beispiel Druckgeräte der Kat. I und II der DGRL)	Schaden hat großen Einfluss auf die Umwelt und die Bevölkerung auch außerhalb des Werksgeländes. Personenschäden sehr wahrscheinlich (zum Beispiel Druckgeräte der Kat. III und IV der DGRL), Anlage befindet sich zum Beispiel an der Werksgrenze
Anlagenverfügbarkeit (Produktionsausfall) (PA)	Abfahren einer Einzelanlage. Kein Einfluss auf die Produktion/Anlagenverfügbarkeit. Schaden kann im laufenden Betrieb behoben werden bzw. mehrere Anlagen gleichen Typs vorhanden oder Reserveapparat vorhanden	Teilweise Abfahren der Anlage und/oder begrenzte Einbuße an Produktion/Anlagenverfügbarkeit (Dauer weniger als eine Woche). Kein Ersatzapparat bzw. keine Ersatzanlage vorhanden	Vollständiges Abfahren der Anlage. Vollständiger Produktionsausfall/keine Anlagenverfügbarkeit (Dauer länger als eine Woche)

ausgeführt werden, vielmehr ist eine blechebene Verschweißung vorzusehen. Besonders hohe Lochkorrosionsgefahr besteht in Rohrleitungsabschnitten, die nicht oder nur selten durchströmt werden (sogenannte Toträume), bzw. im Bereich von horizontal angeordneten Faltenbalgkompensatoren, wo die Flüssigkeit bei Anlagenstillstand im unteren Bereich der Falten nicht abfließen kann. Durch senkrecht (in 6 Uhr) angebrachte Entleerungsöffnungen kann das Problem gelöst werden, oder aber der Faltenbalg muss aus einem höherlegierten

CrNi-Stahl gefertigt werden. All diese Maßnahmen dienen dem Verhindern von Stillstands-korrosion.

Darüber hinaus sind, wo immer möglich, konstruktiv bedingte Spalte zu vermeiden. Im Bereich der Rohr-Rohrboden-Verbindung an Rohrbündelwärmeaustauschern muss der konstruktive Spalt durch Anwalzen verschlossen werden, wenn das mantelseitige Medium Chloride enthält. Alternativ kommt eine spaltfreie Einschweißung der Rohre zur Anwendung.

In Ausnahmefällen, bei denen konstruktiv bedingte Spalte nicht vermieden werden können – dies ist zum Beispiel bei der Verwendung von punktgeschweißten Thermoblechen (Pillow-Plates) der Fall –, kann zur Vermeidung von chloridinduzierter Spaltkorrosion der Einsatz eines anderen Werkstoffs mit höherem Pitting-Index notwendig werden [5]. Spaltkorrosion kann gegebenenfalls auch durch eine Vergrößerung der Spaltbreite vermieden werden. Hier ist wiederum der Konstrukteur gefragt.

▼ Tabelle 3. Beispielhafte Matrix zur Ermittlung des Risikos für Lochkorrosion an Rohrleitungen aus chemisch beständigen CrNi-Stählen

Risikoabschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit W	Punktzahl für W	Risikoabschätzung			
		gering	gering	gering - mittel	mittel
Lochkorrosion sehr unwahrscheinlich	0 - 10	gering	gering	gering	gering
Lochkorrosion in Einzelfällen möglich	10 - 20	gering	gering	gering	gering - mittel
Lochkorrosion möglich	21 - 30	gering	gering	gering - mittel	mittel
Lochkorrosion wahrscheinlich	31 - 40	gering	gering - mittel	mittel	mittel - hoch
Sehr hohe Gefahr für Lochkorrosion	> 40	gering - mittel	mittel	mittel - hoch	hoch
Auswirkungen A von Lochkorrosion	Punktzahl für A	≥ 4	>4 bis ≤ 7	> 7 bis ≤ 11	> 11



## Risikoabschätzung für das Entstehen von chloridinduzierter Korrosion an Rohrleitungen

Die folgenden Ausführungen bewerten das Entstehen von Loch- und Spaltkorrosion an chemisch beständigen CrNi-Stählen, wobei das Hauptaugenmerk auf die Werkstoffgruppe mit 2 bis 2,5% Mo (zum Beispiel 1.4401, 1.4404, 1.4571) gelegt wurde, die im Chemiebetrieb besonders verbreitet ist. Das angewandte, lineare Verfahren wurde bereits in einer früheren Veröffentlichung beschrieben [6]. Zum besseren Verständnis wurde eine vereinfachte Vorgehensweise gewählt, die nicht unbedingt auf alle praktischen Gegebenheiten übertragbar ist. Für absolut halogenionfreie Medien ist das im Folgenden beschriebene Verfahren ungeeignet, da hierbei Loch- und Spaltkorrosion ausgeschlossen werden können. Allerdings müssen bei der Analyse dieser Prozesse auch die Chloridgehalte der für das Reinigen und Druckprüfen vorgesehenen Wasser berücksichtigt werden.

Die Bewertung der Wahrscheinlichkeit W für das Auftreten von Loch- und Spaltkorrosion erfolgt unter Berücksichtigung folgender Einflussfaktoren:

- Betriebstemperatur T,
- pH-Wert des angreifenden Mediums pH,
- Chloridgehalt des Mediums ClG,
- Ausführung der Schweißnähte SN,
- Anlauffarben im betrachteten System AF,
- Anwesenheit von Spalte SP,
- Betriebsweise BW.

Die einzelnen Einflussfaktoren werden durch eine Punktbewertung von 0 (kein Risiko vorhanden) bis 8 (sehr hohes Risiko) eingestuft, und final wird durch Addition eine Gesamtpunktzahl für die Wahrscheinlichkeit W des Auftretens von Loch- und/oder Spaltkorrosion ermittelt:

$$W = T + pH + ClG + SN + AF + SP + BW.$$

Beispielhafte Definitionen für die einzelnen Einflussfaktoren sind in **Tabelle 1** wiedergegeben. Die Wahrscheinlichkeit W kann den Wertebereich zwischen 0 und 56 annehmen. Je höher die Punktzahl ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Loch- und/oder Spaltkorrosion.

Für die Abschätzung des durch Lochkorrosion zu erwartenden Gesamtrisikos werden



◀ Bild 8. Videorendoskopie einer Rohrrundnaht mit Anlauffarben (Bilder: [3, 4] (7), Killing)

dann die möglichen Auswirkungen von Schäden betrachtet. Hierzu werden die Parameter

- Sicherheit S,
- Umwelt U,
- Anlagenverfügbarkeit/Produktionsausfall PA

bewertet (**Tabelle 2**):

$$A = S + U + PA.$$

Die Auswirkung A kann den Wertebereich von 3 bis 15 Punkten annehmen. Die Ergebnisse der Punktbewertungen aus den **Tabellen 1**

**und 2** werden dann zu einer finalen Risikobewertung, die von gering bis hoch reichen kann, zusammengefasst (**Tabelle 3**).

## Empfehlungen zum Prüfen von Rohrleitungen auf Loch- und/oder Spaltkorrosion

Vorab gesagt, gestaltet sich das Auffinden von Loch- und Spaltkorrosion im Anfangsstadium als äußerst schwierig. Dabei muss man zwischen Fehlstellen, die auf Außenoberflächen von Rohren entstehen, wenn zum Beispiel Chloride durch Schwaden aus Kühltürmen oder salzhaltiger Meeresluft durch Wind

Anzeige

Version 8  
WPQR nach ISO 15614  
NEU erstellen

Innovative Projekte?

**schweiss**<sup>®</sup>  
**assistant**  
*schnell & einfach*

WPS	WPQR	18 Sprachen	hsk-welding solutions Blauehutstr. 16, 68519 Viernheim, Germany Tel +49 6204 91 12 110 Fax +49 6204 91 12 129 E-Mail info@h-s-k.org
Schweißer ISO 9606	Bediener ISO 14732	ISO ASME	
Plug Ins	Kosten	<a href="http://www.schweissassistent.de" style="color: white;">www.schweissassistent.de</a>	



in die Anlagen gelangen, oder Lochkorrosion im Rohrinernen, die durch die Inhaltsstoffe initiiert wird, unterscheiden. Bei der Außenkorrosion muss dann noch zwischen gedämmten und nicht gedämmten Rohrleitungen differenziert werden, wobei bei gedämmten Leitungen zusätzlich noch Chloride aus dem Dämmstoff auf die Werkstoffoberfläche gelangen können. Das Prüfen von gedämmten Rohrleitungen wurde bereits in [6] vorgestellt und soll daher nicht mehr Bestandteil dieses Beitrags sein.

Wie im täglichen Leben gilt auch für das Vermeiden von Loch- und Spaltkorrosion die Devise „Vorbeugen ist besser als heilen (reparieren)“. Das bedeutet, durch einen erhöhten Aufwand bei der Qualitätssicherung und der zerstörungsfreien Prüfung während der Errichtung einer Rohrleitung lassen sich korrosionsrelevante Fehlstellen relativ leicht finden und beseitigen, wodurch spätere Ausfallzeiten und Reparaturen gänzlich vermieden oder aber reduziert werden. So können die Lochkorrosion verursachenden Fehler wie Anlauffarben (innen und außen) oder Schweißnahtfehler, zum Beispiel offene Poren, Lunker und Wurzelspalte, während der Fertigung in der Werkstatt oder auf der Baustelle durch Sichtprüfung unter Einsatz von Endoskopen (Bild 8) oder aber durch Durchstrahlungsprüfungen leicht festgestellt und relativ einfach beseitigt werden. Daher empfiehlt es sich, beim Bau einer Rohrleitung mit Lochkorrosionsgefahr einen höheren Prüfumfang für die zerstörungsfreie Prüfung zu vereinbaren. Leitungsabschnitte, die besonders durch Emissionen aus Kühltürmen bzw. durch salzhaltige Meeresluft beansprucht werden, können vorbeugend durch speziell für CrNi-Stahl entwickelte Farbanstriche vor äußerer Lochkorrosion geschützt werden.

Zum Prüfen der Außenoberflächen von CrNi-Stahlrohren, die sich im Betrieb befinden, kommt in erster Linie die Sichtprüfung (VT) zur Anwendung, wobei durchaus

Vergrößerungshilfen wie Lupen oder Aufsatzmikroskope hilfreich sein können. Darüber hinaus ist die Farbeindringprüfung (PT) ein probates Prüfverfahren. Besonders sorgfältig sollte man die Halterungen und Auflager der Rohre inspizieren. So sind die Durchführungen der Rohre im Bereich von Rohrschellen prädestiniert für das Auftreten von Spaltkorrosion.

Weitaus schwieriger gestaltet sich die Suche nach Lochkorrosionserscheinungen im Inneren von im Betrieb befindlichen Rohrleitungen. Gute Resultate werden erzielt, wenn man bei Anlagenstillständen die Rohrleitungen von innen, zum Beispiel ausgehend von Flanschen, mit Videoendoskopen oder Rohrmolchen, die mit hochauflösenden Kameras oder Ultraschall- bzw. Wirbelstromprüfköpfen bestückt sind, inspizieren kann. Leider besteht diese Möglichkeit in der Praxis nur selten, sodass die zerstörungsfreie Prüfung von der Außenseite erfolgen muss. Als Prüfverfahren werden hier häufig die Durchstrahlungsprüfung (analog oder digital) sowie das UT-Phased-Array-Verfahren angewandt. Eine ausführliche Auflistung von geeigneten Prüfverfahren zur Detektierung von Loch- und Spaltkorrosion ist in [7] wiedergegeben.

#### Korrosion weitestgehend verhindern

Durch eine beanspruchungsgerechte Auswahl von Grund- und Schweißzusatzwerkstoffen in Verbindung mit einem erhöhten Aufwand bei der Qualitätssicherung während der Bauphase der Rohrleitungen lässt sich das Auftreten von Loch- und Spaltkorrosion im späteren Betrieb weitestgehend verhindern. Diese Aussage gilt allerdings nur für den Fall, dass die in der Planungsphase spezifizierten Betriebsbedingungen während des gesamten Betriebs konstant eingehalten werden. Diesbezüglich ist eine umfassende Schulung des Betriebspersonals anzuraten. Eigene Erfahrungen belegen, dass beispielsweise durch eine geringfügige Erhöhung der Temperatur die

Dauer einer chemischen Reaktion erheblich verkürzt werden konnte. Jedoch wurden unmittelbar nach Abweichung von den erprobten Parametern erste Lochkorrosionsschäden beobachtet. Auch können bereits geringfügige Erhöhungen der Chloridkonzentration im Medium zu Schäden durch Lochfraß führen. In einem Fall wurden Verdunstungsverluste in einem mit vollentsalztem Wasser gefüllten Kühlsystem aus Werkstoff 1.4541 durch eine geringe Menge an chloridhaltigen Trinkwasser ersetzt. Auch hier traten nach kurzer Zeit Schäden durch Lochkorrosion auf.



Dr.-Ing. Ulrich Killing,  
Beratungsbüro für Schweiß-  
und Werkstofftechnik,  
Nerdlen,  
beratungsbuero-killing@  
t-online.de

#### Literatur

- [1] ASTM G 48: Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution. Ausgabe 2020.
- [2] ASTM G 150: Standard Test Method for Electrochemical Critical Pitting Temperature Testing of Stainless Steels and Related Alloys. Ausgabe 2018.
- [3] Killing, U.: Anlauffarben: wann entfernen, wann belassen? Der Praktiker 68 (2016), Nr. 1-2, S. 38-43.
- [4] Killing, U.; Marginean, G.; Lemke, R.: Formieren oder nicht formieren? Der Praktiker 69 (2017), Nr. 4, S. 136-139.
- [5] Killing, U.: Utopie und Praxis. Der Praktiker 73 (2021), Nr. 10, S. 500-507.
- [6] Killing, U.: Die unsichtbare Gefahr. Der Praktiker 73 (2021), Nr. 3, S. 92-97.
- [7] N. N.: Guide for selecting non-destructive methods for materials and equipment. Document DT 75 (Rev. 4). France Chimie, Puteaux/Frankreich, Juni 2019.

### Besuchen Sie unsere Webseite!

Wenn es um Fachinformationen für die Schweißtechnik, Fügetechnik, Trenntechnik und Beschichtungstechnik geht, ist DVS Media die erste Wahl.

[www.dvs-media.eu](http://www.dvs-media.eu)

