

# Ringversuch zur Prüfung der Sannungsrisskorrosion an Spannstählen

**T 3306**

T 3306

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2014

ISBN 978-3-8167-9259-8

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)



## **Abschlussbericht**

für den Zeitraum 01.04.2012 bis 30.09.2013  
zum DIBt Forschungsvorhaben P 52-5-7.306-1417/11

mit dem Thema:

### **Ringversuch zur Prüfung der Spannungsrissskorrosion an Spannstählen**

Forschungsstelle: BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung  
Unter den Eichen 87  
12205 Berlin

Fachbereich: 6.1 Korrosion im Bauwesen

Projektleiter: Dr.-Ing. Jürgen Mietz

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Joachim Fischer

## **Inhaltsverzeichnis**

Kurzfassung .....	2
Summary .....	3
1 Einleitung .....	4
2 Verwendete Untersuchungsmaterialien und Prüfeinrichtungen .....	5
2.1 Stahlproben .....	5
2.2 Prüflösung .....	5
2.3 Prüfzelle.....	6
3 Versuchsdurchführung.....	7
3.1 Versuchsdurchführung in den beteiligten Prüfstellen .....	7
3.2 Prüfstelle 1.....	7
3.3 Prüfstelle 2.....	13
3.4 Prüfstelle 3.....	17
4 Bewertung und Diskussion .....	21
5 Schlussfolgerungen .....	25
6 Literatur .....	26
Anlage 1 .....	27
Anlage 2 .....	28

## **Kurzfassung**

Im Rahmen des Vorhabens wurden an drei Prüfstellen gerippte Spannstäbe des Typs St 950/1050, Durchmesser 26,5 mm, nach DIN EN ISO 15630-3 (Februar 2011) auf ihre Beständigkeit gegenüber Spannungsrisskorrosion untersucht.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass an zwei Prüfstellen keine der untersuchten Proben die erforderliche Standzeit erreicht hat, während an der dritten Prüfstelle alle Proben die Prüfung bestanden haben. An einer der Prüfstellen wurden aus demselben Walzstab bei einer früheren Untersuchung bereits Proben geprüft, die abweichend von den jetzt erzielten Ergebnissen alle die Prüfung bestanden hatten. Grundsätzlich fällt auf, dass die Standzeiten für jede einzelne Prüfstelle bzw. für die Prüfstelle 1 für jede einzelne Prüfkampagne relativ gleichmäßig sind, was darauf hindeutet, dass es sich bei den unterschiedlichen Ergebnissen um einen systematischen Einfluss handeln könnte.

Die in DIN EN ISO 15630-3 genannten Empfehlungen, wie die Prüfzellen zu gestalten sind und welche Versuchsbedingungen eingehalten werden sollten, wurden während der hier durchgeführten Untersuchungen erfasst und offensichtliche Abweichungen registriert. Zum Teil liegen geringfügige Abweichungen vor. Eine Systematik der Abweichungen in Bezug auf das unterschiedliche Verhalten der Spannstäbe ist hieraus aber nicht abzuleiten.

Die im Rahmen des Ringversuches festgestellten starken Streuungen haben gezeigt, dass die Zuverlässigkeit dieser Prüfung erheblich in Frage zu stellen ist. Die Ergebnisse eines ADZB-Ringversuches vor einigen Jahren wiesen ebenfalls erhebliche Streuungen auf. Offensichtlich gibt es doch selbst an ein und demselben Walzstab geringfügige Unterschiede, die unter Umständen zur Risseinleitung und anschließendem Risswachstum führen können. Aus Oberflächenuntersuchungen geht hervor, dass herstellungsbedingte Walzhautreste die Oberfläche ungleichmäßig und unvollständig bedecken und damit zahlreiche Mikrospalte vorliegen. Der Korrosionsangriff durch die Prüflösung findet bei dieser Prüfung deshalb nie unter vergleichbaren Oberflächenzuständen statt, was die unterschiedlichen Standzeiten eventuell erklären könnte.

Um zuverlässigere Aussagen aus den Spannungsrisskorrosionsprüfungen zu erhalten, sollten weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden. Verbesserungen hinsichtlich einer besseren Reproduzierbarkeit der Ergebnisse könnten möglicherweise durch eine Oberflächenbehandlung vor der Prüfung oder auch durch potentiostatische Prüfbedingungen, bei denen die Prüfung bei einem konstanten von außen aufgeprägten Potential durchgeführt wird, erreicht werden.

## Summary

Within the scope of this round robin test ribbed prestressing bars of the type St 950/1050, diameter 26.5 mm, were tested for their resistance against stress corrosion cracking according to DIN EN ISO 15630-3 (February 2011) at three testing laboratories.

The results have shown that at two testing laboratories none of the tested bars reached the required time to failure while the specimens at the third testing laboratory all have passed the test. At one of the testing laboratories former investigations using specimens from the same rolled bar yielded results which do not agree with the recent tests. Basically it is apparent that the time to failure for each of the testing laboratories and for testing laboratory 1 for each testing campaign is relatively uniform indicating that the different results are probably due to a systematic effect.

The recommendations mentioned in DIN EN ISO 15630-3 how the testing cells have to be designed and which testing conditions should be maintained have been recorded for the performed investigations and obvious deviations registered. Partly small deviations were observed, but a systematic of these deviations with respect to the different behavior of the prestressing bars could not be derived from that.

The large scattering found in the round robin test has shown that the reliability of the test in the present form has to be questioned. Results of a round robin test carried out a few years ago by ADZB also exhibited significant scattering. Obviously, even for specimens obtained from the same rolled bar slight differences exist which under certain conditions can lead to crack initiation with subsequent crack growth. Surface analysis yield mill scale residues due to the manufacturing process covering unevenly and incompletely the surface and thus leading to micro crevices. Hence, the corrosion attack as a result of the testing solution does at no time take place under comparable surface condition which possibly could explain the different time to failure.

In order receive more reliable results from the stress corrosion cracking tests further investigations should be conducted. Improvements with respect to a better reproducibility could possibly be obtained by a surface treatment before the test or by potentiostatic test conditions with an externally applied constant potential during the tests.

## 1 Einleitung

Die Beständigkeit der Spannstähle gegenüber Spannungsrisskorrosion stellt ein entscheidendes Kriterium für den sicheren Einsatz dieser Produkte dar. Für Spannstähle muss daher im Rahmen der Überwachung unter anderem auch die Beständigkeit gegenüber Spannungsrisskorrosion nach DIN EN ISO 15630-3 (Februar 2011) [1] nachgewiesen werden. Bei dieser Prüfung besteht die Möglichkeit die Stähle entweder in einer konzentrierten Ammoniumthiocyanatlösung (Lösung A) oder in einer verdünnten Lösung (Lösung B), die eher die Verhältnisse in der Baupraxis wiedergibt, zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sollten repräsentativ und zuverlässig sein, da ansonsten ihre Aussagekraft in Frage gestellt wird und damit grundsätzlich auch sicherheitstechnische Risiken verbunden sind.

In den vergangenen Jahren gab es an Spannstäben der Festigkeitsklasse St 950/1050 (Hersteller Annahütte) immer wieder Probleme mit dem Erreichen der erforderlichen Standzeiten in der konzentrierten Lösung. Das betraf sowohl Eigenversuche des Herstellers als auch Prüfungen eines Fremdüberwachers. Bei den Prüfungen in der verdünnten Lösung wurden dagegen stets die geforderten 2000 h Standzeit erreicht, so dass es keine Bedenken gegen den praktischen Einsatz des entsprechenden Materials gab.

Aufgrund der wesentlich kürzeren Zeiten bei der Prüfung in der konzentrierten Lösung sowie den internationalen Anforderungen, die im Wesentlichen die Prüfung in konzentrierter Lösung verlangen, hat die Annahütte die BAM in 2010 beauftragt, die in der Prüfung gebrochenen Proben näher zu untersuchen, um mögliche Ursachen für das frühzeitige Versagen zu finden. Die Fachgruppe Korrosion und Korrosionsschutz hat daraufhin an einer Reihe von Proben metallographische und oberflächenanalytische Untersuchungen durchgeführt. Eine eindeutige Erklärung für das Verhalten wurde nicht gefunden. Es gab aber Hinweise darauf, dass Unregelmäßigkeiten an der Oberfläche, wie z.B. Mikrospalte durch die Walzhaut, Ursachen für das ungünstige Verhalten sein könnten. Der Hersteller hat daraufhin Sonderbehandlungen der Oberfläche durchgeführt. Zum einen wurden die Proben gestrahlt. Zum anderen wurden die Proben im Herdofen langsam angelassen statt der normalerweise durchgeführten induktiven Erwärmung.

An diesen Proben wurden sowohl beim Hersteller als auch beim Fremdüberwacher Prüfungen der Spannungsrisskorrosion durchgeführt. Die Proben stammten dabei aus derselben Charge und vom selben Stab. Es zeigte sich, dass die Proben beim Hersteller jetzt fast ausnahmslos die Prüfung in der konzentrierten Lösung bestanden, während die Proben beim Fremdüberwacher wieder sehr frühzeitig brachen.

Der mit Mitteln des DIBt geförderte Ringversuch soll dazu beitragen Unsicherheiten hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Aussagekraft der Ergebnisse von

Spannungsrissskorrosionsprüfungen zu beseitigen sowie eventuell vorhandene versuchstechnische Probleme zu identifizieren und ggf. zu beheben. Die BAM hat den Ringversuch koordiniert und ausgewertet. An dem Ringversuch waren drei Prüfstellen beteiligt (TU München/cbm, MPA Stuttgart/Otto-Graf-Institut, Stahlwerk Annahütte/Hammerau). An jeder Prüfstelle wurden jeweils mindestens drei Parallelversuche durchgeführt.

## 2 Verwendete Untersuchungsmaterialien und Prüfeinrichtungen

### 2.1 Stahlproben

Das Probenmaterial stammt aus ein und demselben Walzstab der Werkstoffqualität St 950/1050 mit einem Durchmesser von 26,5 mm (Schmelzenr. 435402). Hersteller ist das Stahlwerk Annahütte in Hammerau. Für den Stabstahl liegt ein Abnahmeprüfzeugnis nach EN 10201 – 3.1 [2] vor, in dem die chemische Zusammensetzung und Herstellungsinformationen enthalten sind (Anlage 1). Die beim Zugversuch ermittelte Festigkeit beträgt 1139 MPa. Der Stabstahl wurde für die Untersuchungen in einzelne Abschnitte geteilt und jeweils 6 Stück den beteiligten Prüfstellen, entsprechend der dort jeweils erforderlichen Länge, zur Verfügung gestellt. Zu Vergleichszwecken wurden der BAM ebenfalls kleinere Abschnitte des Stabstahls zur Verfügung gestellt. Abb. 1 zeigt beispielhaft Form und Oberfläche des für den Ringversuch verwendeten Stabstahls im Anlieferungszustand.



Abb. 1: Stabstahlabschnitt St 950/1050 im Anlieferungszustand

### 2.2 Prüflösung

Für den Ringversuch wurde nach [1] die Prüflösung A ausgewählt. Die Prüflösung A ist eine wässrige Lösung von Ammoniumthiocyanat, hergestellt durch Lösen von 200 g  $\text{NH}_4\text{SCN}$  in 800 ml destilliertem oder entmineralisiertem Wasser. Das Ammoniumthiocyanat muss nach



[1] analytisch mindestens 99 %  $\text{NH}_4\text{SCN}$  enthalten und darf höchstens 0,005 % Chlorid, 0,005 % Sulfat und 0,001 % Schwefel aufweisen. Das destillierte Wasser darf eine elektrische Leitfähigkeit von 20  $\mu\text{S}$  nicht überschreiten.

Zum Nachweis der Spannungsrisskorrosionsbeständigkeit müssen Spannstäbe mit einem Durchmesser  $> 25$  mm in der Prüflösung A eine Mindestlebensdauer von 100 h bei Einzelprüfung und 400 h im Mittel aller Prüfungen nachweisen [3].

### 2.3 Prüfzelle

Die Prüfzelle soll nach [1] vorzugsweise zylindrisch sein und aus einem Werkstoff bestehen, der gegen die Prüflösung bei 50 °C beständig ist. Die Prüfzelle sollte einen Innendurchmesser  $D_c$  nach folgender Formel haben:  $D_c \geq \sqrt{(200 + d) \times d}$  (mit  $d$ =Probendurchmesser). Für die hier zu prüfenden Spannstähle wird ein  $D_c$  von  $\geq 100$  empfohlen. Die Länge der Zelle muss eine Prüflänge von mind. 200 mm ermöglichen. Während des Versuchs muss die Zelle geschlossen bleiben, um Luftzutritt zu vermeiden. Die Prüflösung darf nicht umgewälzt werden. Während der Versuchsdauer sind Temperatur, Kraft und Zeit aufzuzeichnen und dabei die in [1] genannten Toleranzen einzuhalten.

Die Proben müssen vor der Prüfung mit Aceton gereinigt werden. Im Bereich des Probeneintritts in die Prüfzelle muss die Probe durch geeignete Maßnahmen vor Spaltkorrosion geschützt werden.

Das Füllen der Zelle erfolgt (nach Aufbringen der Kraft) mit auf 50 bis 55 °C vorgewärmter Prüflösung. Das Füllen sollte innerhalb 1 min beendet sein und dann das Zeitmessgerät gestartet werden. Innerhalb eines Zeitabschnittes von max. + 5 min soll die Temperatur der Prüflösung (für die Stäbe) auf (50 +/- 2) °C eingestellt werden und für die Dauer des Versuches aufrecht gehalten werden.

Alle Mess- und Aufzeichnungsgeräte müssen kalibriert sein und einer ständigen Qualitätskontrolle unterzogen werden.

### 3 Versuchsdurchführung

#### 3.1 Versuchsdurchführung in den beteiligten Prüfstellen

Vor der Versuchsdurchführung wurde von der BAM ein Fragenkatalog zu technischen Einzelheiten und Abläufen erstellt (Anlage 2) und den Prüfstellen zur Beantwortung vorgelegt. Die beantworteten Fragebögen lagen vor Versuchsbeginn vollständig vor.

Jede Prüfstelle hatte 6 Vergleichsproben zur Verfügung, von denen mindestens 3 Proben geprüft werden sollten, während die restlichen 3 Proben als Reserve für evtl. erforderliche Zusatzversuche dienten. In jeder Prüfstelle wurde ein Teil der Versuche unter Teilnahme von Mitarbeitern der BAM gestartet. Im Folgenden wird die Durchführung der Versuche unter Einbeziehung der zusätzlichen Informationen aus den Fragenkatalogen beschrieben.

#### 3.2 Prüfstelle 1

Die erste Prüfung wurde am 05.12.2012 gestartet. Dazu waren 3 Prüfstände vorbereitet worden. Die Prü fzelle besteht hier aus einem handelsüblichen T-förmigen Kunststoffrohr aus schwarzem PE-HD-Material. Die Enden sind mit verschraubbaren Kappen verschlossen und die Durchführung an den Spann stählen speziell abgedichtet. Innendurchmesser und Länge der Zelle entsprechen den Empfehlungen in [1]. Die geforderte Prüflänge von mind. 200 mm kann erfüllt werden. Die Abb. 2 und Abb. 3 zeigen den prinzipiellen Aufbau der Prü fzellen. Die Beheizung erfolgt mittels handelsüblicher Parallelheizbänder, die um die Prü fzelle gewickelt und abgedeckt sind.

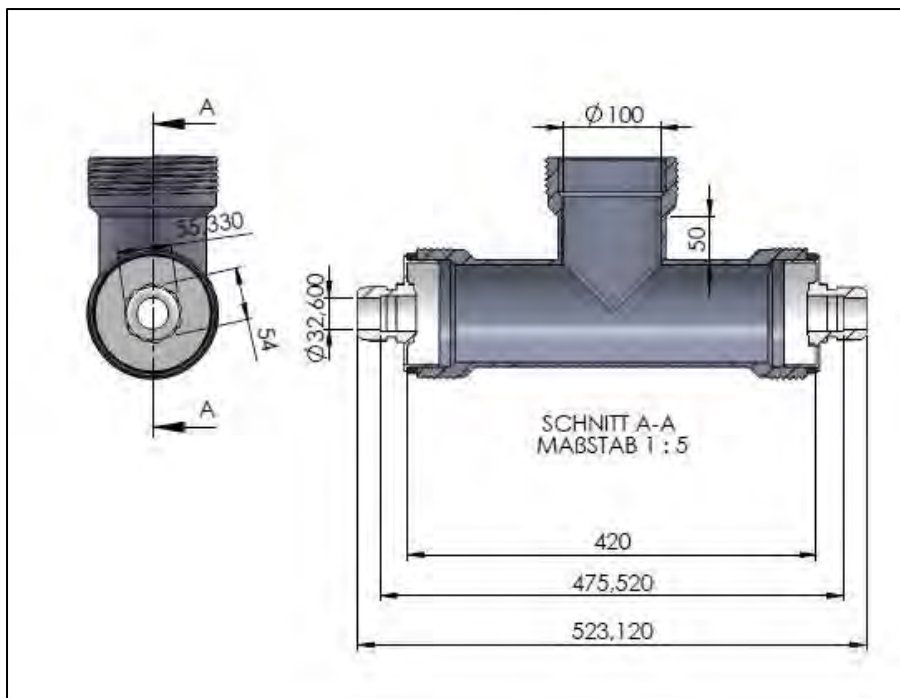


Abb. 2: Prü fzelle (Zeichnung der Prüfstelle 1)



Abb. 3: Prüfzelle mit Anschluss für Heizbänder (Foto: Prüfzelle 1)

Die Proben wurden mit Aceton gereinigt und die Bereiche der Durchführung aus der Prüfzelle auf einer Länge von 150 mm mit einem handelsüblichen Sprühlack bedeckt (Abb. 4). Beschriftungen auf der Oberfläche, die noch vom Hersteller der Proben stammen, wurden entfernt. Die Proben wurden eingebaut, bis zur maximal zulässigen Last gespannt und danach die vortemperierte Lösung über das nach oben offene T-Stück eingefüllt.



Abb. 4: Lackbeschichtung zum Abdecken des Durchführungsbereiches (150 mm)

Die Prüflösung war vom chemischen Labor vorbereitet worden und wird vor Gebrauch in Kunststoffkanistern gelagert. Kurz vor Füllung der Zelle wird die Prüflösung auf 50 °C vortemperiert. Hinsichtlich der Chemikalien werden zum Herstellen der Prüflösung die entsprechend [1] vorgeschriebenen Qualitäten verwendet.

Abb. 5 zeigt den Innenraum einer der Prüfzellen vor der Füllung mit Prüflösung. Es ist erkennbar, dass Reste von Korrosionsprodukten aus früheren Versuchen an den Wänden und an den Messfühlern vorhanden sind.



*Abb. 5: Innenraum der Prüfzelle vor dem Füllen*

Das Füllen der Prüfzelle erfolgte bis zur Unterkante des T-Stückbereiches, so dass während des Versuches ein Luftraum in der Prüfzelle verbleibt. Die Anschlüsse der Temperaturfühler werden durch seitliche Bohrungen in die Zelle geführt. Abb. 6 zeigt die Prüfzelle kurz vor dem Verschließen und vor dem Start des Versuches. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Temperaturfühler oder die Anschlusskabel die Oberfläche der Probe während der Prüfung berühren. Die Zelle wird 2 x pro Woche geöffnet um den Stand der Prüflösung zu kontrollieren und manchmal wird nachgefüllt.



*Abb. 6: Innenraum der Prüfzelle nach Einfüllen der Prüflösung*

Beim Start der Versuche 1, 2 und 3 (erste Serie) war es wegen technischer Probleme bei der Temperatursteuerung erst nach mehreren Stunden möglich, die geforderte Prüftemperatur in der Zelle zu erreichen. Nach Beseitigung der technischen Probleme lag die Prüftemperatur

bei allen Proben zwischen 48,5 und 50,7 °C. Eine zweite Serie mit drei weiteren Proben (4, 5 und 6) war nach Beendigung der ersten Serie ohne Beteiligung der BAM gestartet worden. Tabelle 1 enthält die erzielten Standzeiten aller Proben. Alle Proben sind vor Erreichen der für den Nachweis der Spannungsrisskorrosionsbeständigkeit erforderlichen Standzeit gebrochen.

*Tabelle 1: Standzeiten der Proben an der Prüfstelle 1*

<b>Probe Nr. Versuch Nr.</b>	<b>Prüfstand Nr.</b>	<b>Standzeit (h)</b>
1	17	53,8
2	18	28
3	19	83,1
4	17	213,4
5	19	99,9
6	18	54,4

Für die Proben liegen Protokolle der Kraft und Temperaturmessung vor. Die Proben wurden während des Versuches mehrfach nachgespannt. Die Temperatur während des Versuches wurde im vorgeschriebenen Intervallbereich konstant gehalten.

Die geprüften Proben wurden nach Beendigung der Versuche zusammen mit einer Probe der unbenutzten Prüflösung für mögliche weitere Untersuchungen der BAM zur Verfügung gestellt. Bei der Inaugenscheinnahme der Proben fällt auf, dass die zweite Prüfserie im Gegensatz zur ersten Serie keine Lackbeschichtung aufweist. Dagegen sind dort Reste einer Silikondichtmasse vorhanden. Zum Vergleich sind alle 6 Proben in Abb. 7 nebeneinander dargestellt. Auf den Proben der ersten Serie ist der ursprünglich nicht vom Lack abgedeckte Bereich (die freie Prüflänge) deutlich erkennbar. Der Bereich hat eine Länge von ca. 410 mm, was praktisch der Länge des freien Raumes in der Prüfzelle entspricht. Die in [1] Punkt 10.4.1 enthaltene Vorschrift, dass die Oberfläche der Proben mindestens 50 mm in das Innere der Zelle hinein geschützt werden soll, ist damit nicht erfüllt. Die vorhandene Lackbeschichtung weist auf der Oberkante der Rippen mechanische Beschädigungen auf. Jeweils ca. 20 bis 30 mm der Lackabdeckung sind, ausgehend von der freien Prüflänge, auf beiden Seiten teilweise durch Unterrostung zerstört (siehe auch Abb. 8). Das heißt, die Prüflösung unterwandert die Verschraubung um einige Zentimeter. Der Bruch an Probe 3 befindet sich unmittelbar am Beginn des Spaltbereiches.



Abb. 7: Proben 1 bis 6 (von oben nach unten) nach der Prüfung, Bruchstelle durch Pfeil gekennzeichnet,



Abb. 8: Makroaufnahme des mit Lack abgedeckten Bereiches an Probe 1

Die Proben der zweiten Serie haben keinen mit Lack abgedeckten Bereich in der Durchführung. Die Reste der Silikonmasse zur Abdichtung befinden sich an allen Proben in einem Abstand von ca. 510 mm voneinander. Die Abdichtung war demnach innerhalb der inneren, kleineren Verschlussverschraubung an den Enden der Prüfstelle. Die weiter im Inneren der Zelle liegenden Spaltbereiche waren von Prüflösung bedeckt. Probe Nr. 4 ist im Spaltbereich gebrochen.

Tabelle 2 enthält eine Übersicht der nach [1] geforderten Prüfbedingungen und den Vergleich zur Handhabung an der Prüfstelle 1.

Tabelle 2: Prüfbedingungen nach DIN EN ISO 15630-3 an der Prüfstelle 1

Bedingung DIN EN ISO 15630-3	Bedingung Prüfstelle 1
10.2 Probenabschnitt und Probe Prüflänge, Probenlänge	Bedingung erfüllt
10.3.1 Rahmen Aufbau, Lastaufbringung	Bedingung erfüllt
10.3.2 Kraftmesseinrichtung Genauigkeit $\pm 2\%$ , Kalibrierung	Bedingung erfüllt
10.3.3 Zeitmesseinrichtung Genauigkeit, Auflösung, Erfassung	Bedingung erfüllt
10.3.4 Zelle mit Prüflösung Maße, Größenverhältnis, Werkstoff, Geschlossen	<i>Bedingung teilweise erfüllt, Abweichung: Zelle wird nicht geschlossen gehalten, Luftzutritt ist möglich</i>
10.3.5 Prüflösung Chemikalien, Wasserqualität	Bedingung erfüllt
10.4.1 Bedingungen für die Proben Reinigung, Prüfzellendurchführung	<i>Bedingung teilweise erfüllt, Abweichung: in Serie 1 unzureichend abgedeckt, in Serie 2 Spaltbereich nicht abgedeckt und Beschriftung auf der freien Prüfoberfläche,</i>
10.4.2 Aufbringen und Aufrechterhalten der Kraft Kraftaufzeichnung, Kraftkonstanz	Bedingung erfüllt
10.4.3 Füllen der Zelle Füllgeschwindigkeit, Vortemperatur, Umwälzung	Bedingung erfüllt
10.4.4 Temperatur während des Versuches Temperaturkonstanz	<i>Bedingung teilweise erfüllt, Abweichung: Solltemperatur wurde bei drei Versuchen erst nach mehreren Stunden erreicht.</i>

### 3.3 Prüfstelle 2

Die erste Prüfung wurde am 06.03.2013 gestartet. Ein Stand war am Tag zuvor vorbereitet worden, da an dieser Prüfstelle die Spannstäbe vor dem Start der Prüfung 24 h in der Prüfwelle trocken temperiert werden und die Abdichtung in dieser Zeit aushärtet. An diesem Stand wurde das Einfüllen der Lösung (nach der Herstellung und Temperierung auf 50 °C) demonstriert. Stand 2 wurde für einen Start am folgenden Tag vorbereitet. Hier wurde das Einlegen der Spannstäbe und das Anbringen der Abdichtung demonstriert.

Die Prüfwelle besteht aus einem handelsüblichen T-förmigen Kunststoffrohr aus schwarzem PE-HD-Material. Die Enden sind mit verschraubbaren Kappen verschlossen und die Durchführung an den Spannstäben wird mit Silikon abgedichtet. Innendurchmesser und Länge der Welle entsprechen den Empfehlungen in [1]. Die geforderte Prüflänge von mind. 200 mm wird erfüllt. Die Abb. 9 und Abb. 10 zeigen den prinzipiellen Aufbau der Prüfwellen. Die Beheizung erfolgt mittels wasserführenden Kunststoffschläuchen, die um die Prüfwelle gewickelt und abgedeckt sind. Die Temperaturführung erfolgt mittels eines externen Thermostaten.

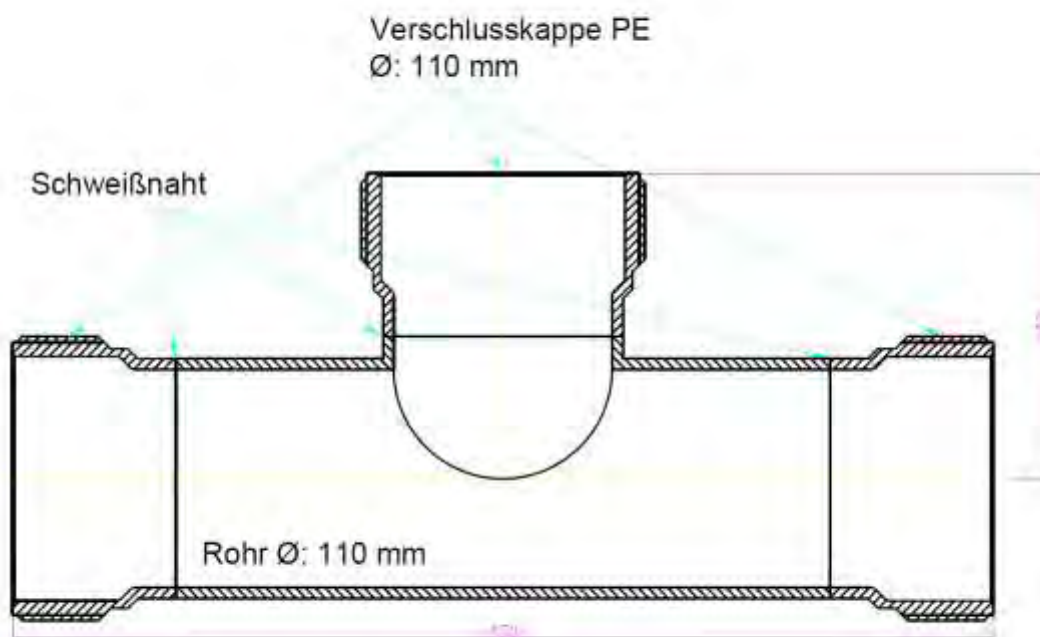


Abb. 9 Prüfwelle (Zeichnung der Prüfstelle 2)





Abb. 10: Prüfzelle im Spannrahmen mit Kunststoffschlauch der Heizung

Die Proben wurden mit Spiritus gereinigt und die Bereiche der Durchführung auf einer Länge von 200 mm auf jeder Seite mit einem handelsüblichen Sprühlack bedeckt. Die Probe im Stand 1 wurde über das nach oben offene T-Stück mit der vortemperierte Lösung befüllt und anschließend bis zur Prüflast gespannt.

Die Prüflösung war unmittelbar zuvor vorbereitet worden. Hinsichtlich der Chemikalien werden zum Herstellen der Prüflösung die entsprechend [1] vorgeschriebenen Qualitäten verwendet.

Abb. 1 zeigt den Innenraum einer der Prüfkammern vor der Füllung mit Prüflösung. Es ist erkennbar, dass Reste von Korrosionsprodukten aus früheren Versuchen an den Wänden vorhanden sind.



Abb. 11: Innenraum der Prüfkammer vor dem Füllen

Das Füllen der Prüfzelle erfolgte etwa bis 5 cm unterhalb der Öffnung des T-Stückes, so dass während des Versuches ein Luftraum in der Prüfzelle verbleibt. Die Temperatur im Prüfraum wird regelmäßig (täglich) durch Öffnen des Deckels und Eintauchen eines Glasthermometers kontrolliert. Abb. 1 zeigt die Prüfzelle kurz vor dem Verschließen und vor dem Start des Versuches. Zu Vergleichszwecken wurde vereinbart, dass einer der Versuche (Probe A2) ohne Öffnung der Zelle durchgeführt wird.



Abb. 12: Innenraum der Prüfzelle nach Einfüllen der Prüflösung

Insgesamt wurden in dieser Prüfstelle 6 Versuche durchgeführt. Tabelle 3 enthält die erzielten Standzeiten bzw. den Zeitpunkt des Versuchsendes für alle Proben. Im Versuchszeitraum ist keine der Proben gebrochen.

Tabelle 3: Standzeiten der Proben an der Prüfstelle 2

Probe Nr. Versuch Nr.	Prüfstand Nr.	Standzeit (h) *
A1	2	509
A2	1	486
A3	1	523,5
A4	2	548
A5	1	526,5
A6	2	502

\* hier Versuchsende

Für die Proben liegen Protokolle über die Messdaten der Kraft und Temperaturmessung vor. Alle Proben wurden während des Versuches mehrfach nachgespannt. Die Temperatur während des Versuches wurde im vorgeschriebenen Intervallbereich konstant gehalten.

Tabelle 4 enthält zusammenfassend eine Übersicht der nach [1] geforderten Prüfbedingungen und den Vergleich zur Handhabung an der Prüfstelle 2.

*Tabelle 4: Prüfbedingungen nach DIN EN ISO 15630-3 an der Prüfstelle 2*

<b>Bedingung DIN EN ISO 15630-3</b>	<b>Bedingung Prüfstelle 2</b>
10.2 Probenabschnitt und Probe Prüflänge, Probenlänge	Bedingung erfüllt
10.3.1 Rahmen Aufbau, Lastaufbringung	Bedingung erfüllt
10.3.2 Kraftmesseinrichtung Genauigkeit $\pm 2\%$ , Kalibrierung	Bedingung erfüllt
10.3.3 Zeitmesseinrichtung Genauigkeit, Auflösung, Erfassung	Bedingung erfüllt
10.3.4 Zelle mit Prüflösung Maße, Größenverhältnis, Werkstoff, Geschlossen	<i>Bedingung teilweise erfüllt, Abweichung: Zelle wird für Temperaturmessung geöffnet</i>
10.3.5 Prüflösung Chemikalien, Wasserqualität	Bedingung erfüllt
10.4.1 Bedingungen für die Proben Reinigung, Prüfzellendurchführung	Bedingung erfüllt
10.4.2 Aufbringen und Aufrechterhalten der Kraft Kraftaufzeichnung, Kraftkonstanz	Bedingung erfüllt
10.4.3 Füllen der Zelle Füllgeschwindigkeit, Vortemperatur, Umwälzung	Bedingung erfüllt
10.4.4 Temperatur während des Versuches Temperaturkonstanz	Bedingung erfüllt

### 3.4 Prüfstelle 3

Die erste Prüfung wurde am 10.04.2013 gestartet. Dazu war ein Prüfstand vorbereitet worden. Aus technischen Gründen mussten die Stähle in einem Prüfstand nacheinander geprüft werden.

Die Prüfwelle besteht hier aus einer einfachen Plexiglasröhre, die an den Enden durch aufgeklebte Plexiglasscheiben (mit Öffnung für Stab und Kunststoffstopfen) verschlossen ist. Innendurchmesser und Länge der Zelle entsprechen den Empfehlungen in [1]. Die geforderte Prüflänge von mind. 200 mm wird erfüllt. Die Abb. 13 bis 15 zeigen den prinzipiellen Aufbau der Prüfwellen und des Prüfstandes. Die Beheizung erfolgt mittels wasserführenden Kunststoffschläuchen, die eng um die Prüfwelle gewickelt sind. Die Temperaturführung erfolgt außerhalb der Zelle in einem Wasserbad. Zelltemperatur und Badtemperatur sind durch Kalibrierung so abgestimmt, dass die nach [1] geforderte Prüftemperatur eingehalten werden kann.

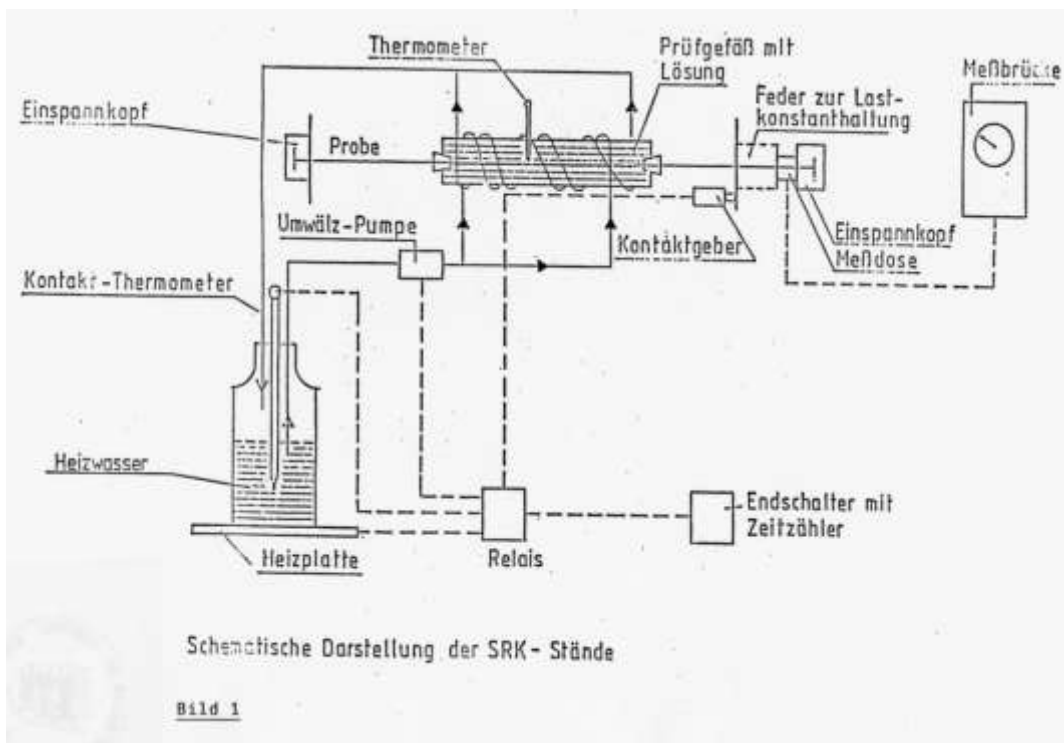


Abb. 13: Prinzipskizze des Prüfstandaufbaus (Zeichnung Prüfstelle 3)



Abb. 14: Prüfzelle im Spannrahmen mit Kunststoffschlauch der Heizung



Abb. 15: Prüfstand an der Prüfstelle 3

Die Proben wurden mit Aceton gereinigt. Die Bereiche der Durchführung durch die Behälteröffnung sind an dieser Prüfstelle nicht mit Lack abgedeckt. Die Proben werden seit Jahren ohne Lackabdeckung getestet, ohne dass dadurch auffällige Versuchsergebnisse registriert worden waren. Die Dichtung erfolgt durch eng anliegende Kunststoffstopfen. Die Prüfzellen werden vor jedem Versuch gereinigt.

Die Prüflösung war unmittelbar vor Beginn vorbereitet worden. Hinsichtlich der Chemikalien werden zum Herstellen der Prüflösung die entsprechend [1] vorgeschriebenen Qualitäten verwendet. Nach Vorspannen der Probe auf 1 % über die Prüflast wurde die Prüfzelle über zwei Schlauchanschlüsse mit der vortemperierten Lösung befüllt und anschließend die Probe bis zur Prüflast gespannt. Die Füllung kann mit dieser Methode so erfolgen, dass kein Luftraum in der Prüfzelle verbleibt. Die Temperatur im Prüfraum wird regelmäßig über eine kalibrierte Thermostatkonstruktion außerhalb des Prüfraumes gesteuert und kontrolliert. Im Prüfraum befinden sich keine Messfühler.

Tabelle 5 enthält die erzielten Standzeiten aller Proben. Alle Proben sind im Bereich der freien Prüflänge noch vor Erreichen der für den Nachweis der Spannungsrissskorrosionsbeständigkeit erforderlichen Standzeit gebrochen.

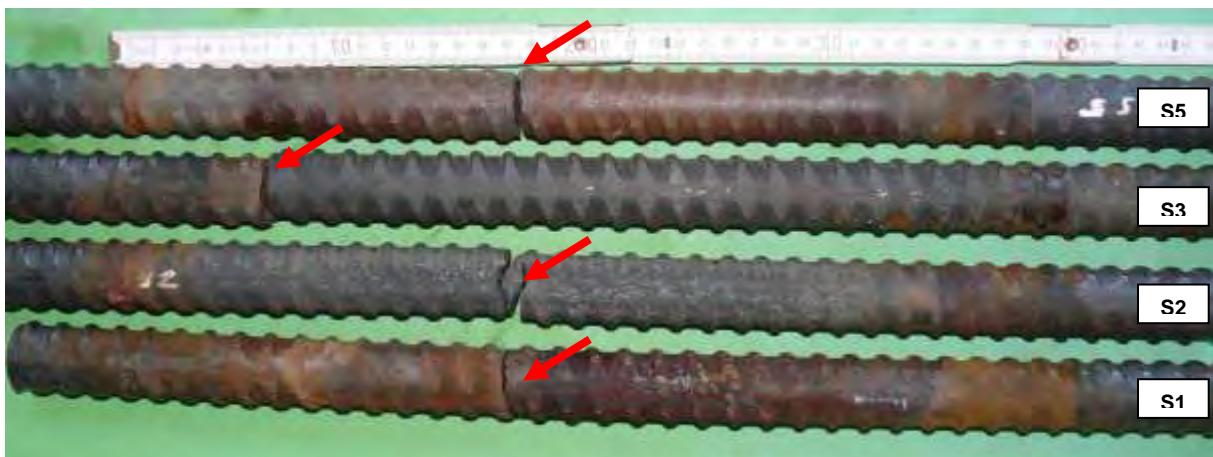
*Tabelle 5: Standzeiten der Proben in Prüfstelle 3*

Probe Nr. Versuch Nr.	Prüfstand Nr.	Standzeit (h)
S1	1	21,5
S2	1	24,6
S3	1	44,2
S5*	1	24,2*

\* Bei diesem Versuch wurde die Probe nach dem Aufbringen der Last nicht mehr nachgespannt

Die Proben S1, S2 und S3 wurden mehrfach nachgespannt. Die Brüche erfolgten bei allen 3 Proben jeweils ca. 1 bis 2 Stunden nach dem Nachspannen. Probe S5 wurde nicht nachgespannt. Für die Proben liegen Protokolle der Kraft und Temperaturmessung vor. Beide Messgrößen wurden während des Versuches im vorgeschriebenen Intervallbereich konstant gehalten.

Die geprüften Proben wurden nach Beendigung der Versuche für mögliche weitere Untersuchungen der BAM zur Verfügung gestellt. Zum Vergleich sind die Prüfbereiche der 4 Proben in Abb. 16 nebeneinander dargestellt.



*Abb. 16: Proben nach der Prüfung, Bruchstelle durch Pfeil gekennzeichnet*

Tabelle 6 enthält zusammenfassend eine Übersicht der nach [1] geforderten Prüfbedingungen und den Vergleich zur Handhabung an der Prüfstelle 1.

Tabelle 6: Prüfbedingungen nach DIN EN ISO 15630-3 an der Prüfstelle 3

<b>Bedingung DIN EN ISO 15630-3</b>	<b>Bedingung Prüfstelle 3</b>
10.2 Probenabschnitt und Probe Prüflänge, Probenlänge	Bedingung erfüllt
10.3.1 Rahmen Aufbau, Lastaufbringung	Bedingung erfüllt
10.3.2 Kraftmesseinrichtung Genauigkeit $\pm 2\%$ , Kalibrierung	Bedingung erfüllt
10.3.3 Zeitmesseinrichtung Genauigkeit, Auflösung, Erfassung	Bedingung erfüllt
10.3.4 Zelle mit Prüflösung Maße, Größenverhältnis, Werkstoff, Geschlossen	Bedingung erfüllt
10.3.5 Prüflösung Chemikalien, Wasserqualität	Bedingung erfüllt
10.4.1 Bedingungen für die Proben Reinigung, Prüfzellendurchführung	<i>Bedingung teilweise erfüllt, Abweichung: die Proben werden hier in der Durchführung nicht abgedeckt</i>
10.4.2 Aufbringen und Aufrechterhalten der Kraft Kraftaufzeichnung, Kraftkonstanz	Bedingung erfüllt
10.4.3 Füllen der Zelle Füllgeschwindigkeit, Vortemperatur, Umwälzung	Bedingung erfüllt
10.4.4 Temperatur während des Versuches Temperaturkonstanz	Bedingung erfüllt

#### 4 Bewertung und Diskussion

An drei unterschiedlichen Prüfstellen wurden Spannstäbe einer Herstellungscharge auf ihre Beständigkeit gegen Spannungsrisskorrosion hin getestet. Um etwaige Unterschiede weitgehend auszuschließen, wurden alle Proben aus ein und demselben Walzabschnitt entnommen. Die Prüfungen erfolgten entsprechend der in [1] angegebenen Verfahrensweise unter Verwendung der Prüflösung A. Der Nachweis der Beständigkeit sollte entsprechend dem hier verwendeten Stabdurchmesser nach [3] erfolgen. Danach ist die Beständigkeit gegen Spannungsrisskorrosion gewährleistet, wenn das Mittel der Lebensdauer aller Proben in Prüflösung A bei 400 h liegt.

Im Rahmen der Fremdüberwachung wurden an der Prüfstelle 1 bereits vor den hier durchgeführten Versuchen Proben derselben Materialcharge (Schmelzennr. 435402) und aus demselben Walzabschnitt stammend auf ihre Beständigkeit hin geprüft. Im Untersuchungsbericht vom 03.12.2012 [4] wird nachgewiesen, dass von 6 Proben nur eine Einzelprobe die erforderliche Standzeit nicht erreicht hat. Damit wäre für diese Charge der Nachweis der Spannungsrisskorrosionsbeständigkeit erbracht worden.

Bei den im Rahmen dieses Ringversuches durchgeführten Untersuchungen wurden an der Prüfstelle 1 sechs Proben geprüft. Von den sechs Proben hat keine die geforderte Standzeit erreicht. An der Prüfstelle 2 haben alle sechs Proben die erforderliche Standzeit erreicht. An der Prüfstelle 3 wurden 4 Proben getestet, von denen keine auch nur annähernd die erforderliche Standzeit erreicht hat. In Tabelle 7 sind die Standzeiten zur Verdeutlichung der extremen Abweichung gegenübergestellt. Zusätzlich enthalten ist das Ergebnis der an der Prüfstelle 1 vorab getesteten Serie der gleichen Charge.

*Tabelle 7: Standzeiten [h] der Proben an den Prüfstellen (ohne Probenbezeichnung)*

<b>Prüf. 1</b>	<b>Prüf. 2</b>	<b>Prüf. 3</b>	<b>Prüf. 1*</b>
53,8	509	21,5	>504
28	486	24,6	148,5
83,1	523,5	44,2	>405
213,4	548	24,2*	>405
99,9	526,5		>405
54,4	502		>406

\* Werte aus Untersuchungsbericht [4]



Das Ergebnis bedeutet, dass die untersuchte Charge in einer von drei Prüfstellen ihre Beständigkeit gegen Spannungsrisskorrosion nachgewiesen hat, während an zwei Prüfstellen dieser Nachweis nicht erbracht wurde; an einer dieser beiden Prüfstellen aber der Nachweis zu einem früheren Zeitpunkt ebenfalls schon einmal erbracht wurde. Grundsätzlich fällt auf, dass die Standzeiten für jede einzelne Prüfstelle bzw. für die Prüfstelle 1 für jede einzelne Prüfkampagne relativ gleichmäßig sind, was darauf hindeutet, dass es sich bei den unterschiedlichen Ergebnissen um einen systematischen Einfluss handeln könnte.

Die Prüfbedingungen werden für diese Versuche durch DIN EN ISO 15630-3 [1] geregelt. Hier sind Empfehlungen enthalten, wie die Prü fzellen zu gestalten sind und welche Versuchsbedingungen eingehalten werden sollten. Während der hier durchgeführten Untersuchungen wurden diese Vorgaben erfasst und offensichtliche Abweichungen registriert. Tabelle 8 enthält die an den einzelnen Prüfstellen festgestellten Abweichungen von den Normempfehlungen.

*Tabelle 8: Nicht erfüllte Prüfbedingungen nach DIN EN ISO 15630-3*

	<b>DIN EN ISO 15630-3</b>	<b>Abweichungen</b>
<b>Prüfstelle 1</b>	10.3.4 Zelle mit Prüflösung	Zelle wird nicht geschlossen gehalten, Luftzutritt ist möglich
	10.4.1 Bedingungen für die Proben	in Serie 1 unzureichend abgedeckt, in Serie 2 Spaltbereich nicht abgedeckt und Beschriftung auf der freien Prüfoberfläche,
	10.4.4 Temperatur während des Versuches	Solltemperatur wurde bei drei Versuchen erst nach mehreren Stunden erreicht.
<b>Prüfstelle 2</b>	10.3.4 Zelle mit Prüflösung	Zelle wird für Temperaturmessung geöffnet, Luftzutritt ist möglich
<b>Prüfstelle 3</b>	10.4.1 Bedingungen für die Proben	die Proben werden in der Durchführung nicht abgedeckt

Eine Systematik der Abweichungen in Bezug auf das frühe Versagen der Spannstäbe an den Prüfstellen 1 und 3 ist hieraus nicht ersichtlich. In [1] wird empfohlen das Prüfgefäß während des Versuches geschlossen zu halten, um Luftzutritt zu vermeiden. Aber selbst dieser die Korrosionsverhältnisse stark beeinflussender Faktor hat beispielsweise bei der Prüfstelle 2 offensichtlich keine Wirkung erzeugt. Hier haben alle Proben die Prüfung bestanden.

An den Prüfstellen 1 und 3 wurden die Spaltbereiche nicht entsprechend den Empfehlungen der Norm geschützt. Die Bruchpositionen lassen aber bei beiden Prüfstellen keine systematischen Rückschlüsse wegen dieser Abweichung zu. An der Prüfstelle 3 ist keine der Proben im Spaltbereich gebrochen. An der Prüfstelle 1 sind zwei Proben im Spaltbereich

gebrochen, vier weitere Proben auf der freien Prüflänge, obwohl hier an allen Proben Unterrostungen der Spaltbereiche festgestellt wurden. Die Bruchflächenuntersuchungen zeigten keine Auffälligkeiten. Die Bruchflächen wiesen alle die typische, zu erwartende Spröbruchcharakteristik auf.

Nicht geregelt in [1] ist die Sauberkeit der Prüfeinrichtung. Normalerweise gehört es zur guten Laborpraxis, dass Prüfgefäße vor Prüfungen von Rückständen vorheriger Korrosionsversuche gereinigt werden, um beispielsweise Einflüsse durch Rückstände aus Korrosionsprodukten zu vermeiden. An zwei Prüfstellen war das nicht der Fall, dennoch ist auch dadurch kein Zusammenhang mit dem Versagen der Spannstäbe ersichtlich.

Die Prüfeinrichtungen der einzelnen Prüfstellen sind Eigenbauanlagen, die aus handelsüblichen Materialien entsprechend den in der Norm vorgegebenen Volumenbedingungen angefertigt wurden und deshalb aus unterschiedlichen Materialien mit unterschiedlicher Anordnung der Mess- und Regeleinrichtungen bestehen. Geringfügige Volumenabweichungen sind vorhanden, alle Einrichtungen entsprechen aber den Mindestvorgaben in [1].

Die zur Prüfung eingesetzten Spannstäbe stammen nachweislich aus einer Herstellungsladung. Die Proben werden für diese Prüfung lt. [1] im Anlieferungszustand ohne weitere Vorbehandlung verwendet. Betrachtet man die Probenoberfläche im Mikroskop, ist festzustellen, dass diese bedingt durch den Herstellungsprozess sehr ungleichmäßig ist und zahlreiche Mikrospalte und Ungenzen aufweist (Abb. 17). Herstellungsbedingte Walzhautreste bedecken die Oberfläche ungleichmäßig und unvollständig. Der Korrosionsangriff durch die Prüflösung findet bei dieser Prüfung deshalb nie unter vergleichbaren Oberflächenzuständen statt.

Würde man die Proben vor der Prüfung beispielsweise durch Strahlen vorbehandeln, so wäre zumindest ein annähernd vergleichbarer Oberflächenzustand erreichbar. Die Abb. 1 zeigt beispielhaft die Oberfläche der Probe in Abbildung 17 nach der Behandlung mittels Glasperlenstrahlen.

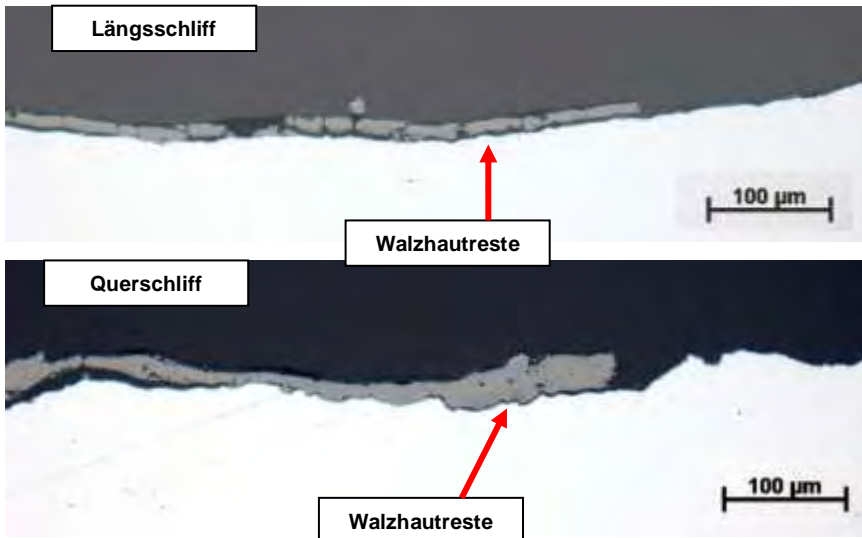


Abb. 17: Probenoberfläche im Anlieferungszustand im Längs- und Querschliff

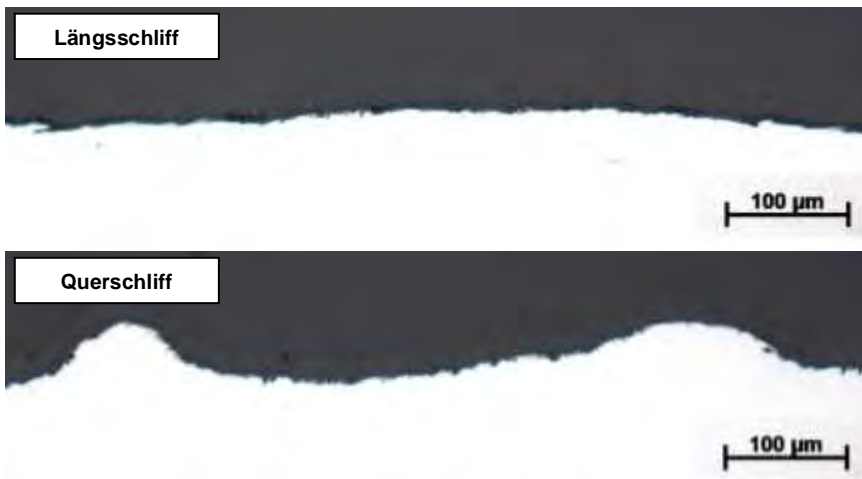
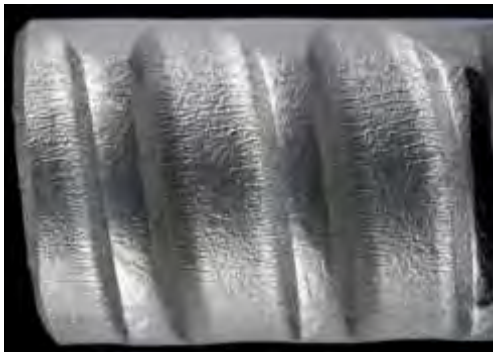


Abb. 18: Probenoberfläche mit Glasperlen gestrahlt im Längs- und Querschliff

## 5 Schlussfolgerungen

Das Prüfmedium, die Lösung aus Thiocyanat und Wasser, verursacht an der Oberfläche des Werkstoffes elektrochemische Reaktionen, wodurch in jedem Fall zunächst Korrosion ausgelöst wird, die im Versagensfall Spannungsrisskorrosion zur Folge hat. Grundsätzlich ist bekannt, dass sich bei den Prüfungen in der konzentrierten Prüflösung eine Reihe von Parametern während des Versuchsablaufs unkontrolliert überlagern, so dass die Standzeiten insgesamt großen Streuungen unterworfen sind und der Versuch keine für die baupraktische Eignung von Spannstählen verwertbaren Ergebnisse liefern kann. Eine quantitative Korrelation der Einflussgrößen auf die Standzeit ist nicht möglich. Lebensdauerabschätzungen für die Praxis lassen sich aus den Versuchsergebnissen nicht durchführen. Die Prüfung in der Prüflösung B weist gegenüber der Prüflösung A den Vorteil auf, dass nicht eine relativ kurze Standzeit bis zum Bruch das Entscheidungskriterium ist, sondern das Auftreten oder Nichtauftreten eines Bruches innerhalb einer vorgegebenen Versuchsdauer. Weitere Vorteile sind, dass sich die Prüflösung B weitestgehend an den im Baubetrieb vorliegenden Korrosionsbeanspruchungen der Spannstähle orientiert [5]. Trotzdem wird die Prüflösung A für Überwachungsprüfungen wegen des deutlich kürzeren Prüfzeitraumes standardmäßig eingesetzt.

Die im Rahmen des Ringversuches festgestellten starken Streuungen zeigen aber, dass die Zuverlässigkeit dieser Prüfung erheblich in Frage zu stellen ist. Die Ergebnisse eines ADZB-Ringversuches vor einigen Jahren zeigten ebenfalls erhebliche Streuungen. Offensichtlich gibt es doch selbst an ein und demselben Walzstab geringfügige Unterschiede, die unter Umständen zur Risseinleitung führen können. Die durchgeführten Oberflächenuntersuchungen haben gezeigt, dass an den Proben im Anlieferungszustand zum Teil zahlreiche Mikrospalte vorliegen, die die unterschiedlichen Standzeiten erklären könnten.

Um zuverlässigere Aussagen aus den Spannungsrisskorrosionsprüfungen zu erhalten, sollten weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden. Verbesserungen hinsichtlich einer besseren Reproduzierbarkeit der Ergebnisse könnten möglicherweise durch eine Oberflächenbehandlung vor der Prüfung oder auch durch potentiostatische Prüfbedingungen, bei denen die Prüfung bei einem konstanten von außen aufgeprägten Potential durchgeführt wird, erreicht werden.

## 6 Literatur

- [1] DIN EN ISO 15630-3, Februar 2011, Stähle für die Bewehrung und das Vorspannen von Beton - Prüfverfahren
- [2] 3.1 Abnahmeprüfzeugnis vom 15.03.2012, Voestalpine Stahl Donawitz GmbH & Co KG
- [3] Entwurf DIN EN 10138-4, Oktober 2000, Spannstähle, Teil 4: Stäbe
- [4] Untersuchungsbericht Nr.: 32-12-0012-05-K1 vom 03.12.2012, TUM, MPA Bau
- [5] B. Isecke, Kritische Beurteilung neuer Spannstahlentwicklungen, Bauforschungsbericht, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 1998

## Anlage 1

## 3.1 Abnahmeprüfzeugnis vom 15.03.2012, Voestalpine Stahl Donawitz GmbH &amp; Co KG

ScholarOne Manuscripts Seite 1 von 1

01-MAR-2012 15:07 (mailto:STAHLE.DON@TSR) 43 SEITE 200 BREI /int/+498654487951 5/3/5

Forward Center and Date

voestalpine Stahl Donawitz GmbH & Co KG

Kopfbüchse 100  
8700 Leoben, Austria  
T +4335704625-4319  
F +433570465-2654  
www.voestalpine.com

---

**Abnahmeprüfzeugnis**  
nach EN10204 - 3.1 Leoben am, 2012-03-15

---

**Kundendaten**

Besteller: STAHLWERK ANNAHUETTE      Empfänger: STAHLWERK ANNAHUETTE  
Bestell-Nr.: 99007709      Bestell-Nr. Empfänger: 99007709

---

**Erzeugungsdaten**

Erzeugungsweg: LD-CC 0 x 230 mm      vorgewalzt 155 x 155 mm  
Vakuumbehandelt: Ja      Auftragsnummer: 3750101238 Pos. 1  
Schmelzdatum: 2012-03-14      Werkstoffnummer:  
Lieferdatum: 2012-02-28      Stahlmarke: PC700  
Schmelznummer: 435402      Norm: D0700 990914

---

**Chemische Zusammensetzung [%]**

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Mo	V	Sn	B	N2
0.695	0.233	0.63	0.013	0.009	0.03	0.02	0.02	0.0011	0.0007	0.004	0.001	0.004	0.0000	0.0054
W	Nb	O2	H2/ppm	As	Ta	Te	Pb	Co	Zr	Sb	Ca	Bi	Zn	C.E.
0.0000	0.000		1.0	0.002	0.000		0.000	0.002		0.000	0.0001	0.000	0.000	

F1: 0.0711 CR+NI+CU

---

**Charakteristische Kennwerte**

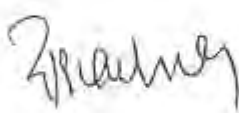

JOMINY Härtewerte



Reinheitsgrad Korngröße

Sonstige Prüfungen

Material ist nicht radioaktiv kontaminiert.  
Wir bestätigen, dass das Material den angeführten Vorschriften des Auftrages entspricht.

voestalpine Stahl Donawitz GmbH & Co KG

[http://mc.manuscriptcentral.com/include/content/email\\_popup\\_bottom.j...](http://mc.manuscriptcentral.com/include/content/email_popup_bottom.j...) 23.11.2012

## Anlage 2

Fragenkatalog zu technischen Einzelheiten und Abläufen der Prüfung



BAM-Vorhaben: 6625 Ringversuch zur Prüfung der Spannungsrisskorrosion an Spannstahl

### Fragebogen zur Durchführung

1. Gibt es eine Standardarbeitsanweisung für die Versuchsdurchführung?
2. Wie sind die Prü fzellen aufgebaut (Maße)?
3. Wie erfolgt die Heizung, Temperatursteuerung und Kontrolle?
4. Herstellung der Prüflösung: welche Ausgangschemikalien werden verwendet (Lieferant, Reinheit,)?
5. Wer stellt die Prüflösung her, wie erfolgt die Lagerung bis zur Verwendung, wird die Lösung jedes Mal neu angesetzt?
6. Wie werden die Proben vorbereitet (gereinigt) bzw. unmittelbar vor dem Einbau gelagert?
7. Wie ist der Ablauf beim Einbau der Proben in die Zellen?
8. Wie erfolgt die Füllung der Prü fzelle, wie wird die Prüflösung vorher erwärmt?
9. Wie erfolgt die Aufzeichnung von Temperatur und Prüfkraft?
10. Wo befinden sich die Temperatur-Fühler?
11. Wie wird die Zelloberfläche (Spaltbereich Zelle Spannstahl) abgedichtet/abgedeckt?
12. Welche Kraftmesseinrichtungen werden benutzt?
13. Wie erfolgt die Datenerfassung, Kontrolle und Kalibrierung der Kraftmesseinrichtung?
14. Welche Aufzeichnungsintervalle werden zur Messdatenerfassung genutzt?