

Prüfverfahren für Betonzusatzmittel auf
die Eigenschaft, Wasserstoffversprödung
von Spannstahl in Beton zu fördern

T 1339

T 1339

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

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

www.baufachinformation.de

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
INSTITUT FÜR BAUINGENIEURWESEN III
LEHRSTUHL FÜR MASSIVBAU
O. PROF. DR.-ING. HERBERT KUPFER
Nr. 1238/Rau/K

8000 MÜNCHEN 2 , 11.9.1984
Arcisstraße 21
Postfach 202420
Tel. (089) 286017, 2105-2421 u. 2422
Telex 522854

Prüfverfahren für Betonzusatzmittel auf die
Eigenschaft Wasserstoffversprödung von Spannstahl
in Beton zu fördern.

Schlußbericht zum Forschungsvorhaben
des Instituts für Bautechnik, Berlin

Az.: IV/1-5-179

erstattet von

Dipl.-Chem. A. Rauen

Dipl.-Ing. H.H. Müller

Der Bericht darf nur ungekürzt veröffentlicht werden.
Die gekürzte oder auszugsweise Veröffentlichung bedarf
der vorherigen Genehmigung des Instituts für Massivbau.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Arbeitsprogramm und Versuchsmaterialien	4
3. Versuchsergebnisse	8
4. Beurteilung der Ergebnisse	9
5. Schlußbemerkung	10
Literatur	10
	Anlagen
Bilder 1 bis 10	1 - 5
Forschungsantrag	6

in seiner Anlage

1. Einleitung und Problemstellung

Betonzusatzmittel sind Stoffe, die in geringen Mengen, d.h. in Anteilen bis zu 5% des Zementgewichtes, dem Beton bei der Herstellung zugemischt werden, um die Frisch- oder Festbetoneigenschaften zu verbessern. Sie wirken chemisch/physikalisch auf die Komponenten des Betons, ohne einen nennenswerten Stoffraumanteil zu liefern. Letzteres ist das wesentliche Unterscheidungsmerkmal gegenüber Betonzusatzstoffen.

Betonzusatzmittel greifen beim Frischbeton in den Erhärtungsmechanismus ein (Beschleuniger, Verzögerer), vermindern den Wasseranspruch und verbessern die Verarbeitbarkeit (Betonverflüssiger, Fließmittel) oder vermindern das Bluten und fördern den Zusammenhalt (Stabilisatoren). Beim Festbeton kann durch Betonzusatzmittel ein definierter Luftporenanteil zur Erhöhung des Frost/Taumittelwiderstandes eingestellt werden (Luftporenbildner) oder die kapillare Wasseraufnahme vermindert werden (Dichtungsmittel). Auch Einpreßhilfen, die ausschließlich im Mörtel, meist reinem Zementleim, um das Verpressen von Spannkanälen zu erleichtern, nicht jedoch in Beton, angewandt werden, werden traditionell zu den Betonzusatzmitteln gezählt. Für die heutige Betontechnik sind die Betonzusatzmittel unbedingt erforderlich. Zulässig sind jedoch nur solche Betonzusatzmittel, welche ein vom Institut für Bautechnik (IfBt) zugeteiltes Prüfzeichen tragen. Dieses erhalten sie, wenn sie die in Richtlinien des IfBt fixierten Anforderungen erfüllen und die vorgeschriebenen Prüfungen bestehen.

Die Anforderungen sind unter zwei Aspekten zu sehen. Zum einen ist nachzuweisen, daß die Mittel nicht die Dauerhaftigkeit von Beton oder der Bewehrung beeinträchtigen, zum anderen, daß sie die angegebenen Verbesserungswirkungen mit gewisser Sicherheit auch tatsächlich aufweisen. Unter den denkbaren schädigenden Nebenwirkungen wurde von Anfang an besonders mißtrauisch auf eine eventuelle korrosionsfördernde Wirkung gegenüber Stahl in Beton geachtet. Deshalb wurde eine strenge Beschränkung des zulässigen Chloridgehaltes im Betonzusatzmittel auf höchstens 0,1% vorgeschrieben und das von Kaesche /1/ vorgeschlagene Prüfverfahren der Aufnahme einer anodischen Stromdichte-/Spannungskurve in zusatzmittelhaltigem Mörtel eingeführt. Bis heute wurde beim Stahlbeton kein einziger Korrosionsschadensfall bekannt, der in irgendeiner

Weise auf die Verwendung eines mit Prüfzeichen ausgestatteten Betonzusatzmittels zurückzuführen war. Mit Hilfe des erwähnten elektrochemischen Verfahrens war es Manns und Eichler /2/ möglich, eine neu in Zusatzmittelrezepturen eingeführte Substanz, das Thiocyanat, als korrosionsfördernd zu erkennen und damit aus den Betonzusatzmitteln zu verbannen.

Das in Einzelheiten abgeänderte und in den Bezeichnungen der Entwicklung angepaßte Kaesche-Prüfverfahren der anodischen Belastung von in Mörtel eingebettetem Stahl (Betonelektroden) wurde deshalb als bewährte Methode auch in die Neufassung der IfBt-Richtlinien für die Zuteilung von Prüfzeichen für Betonzusatzmittel /3/ aufgenommen. Allerdings hat sich in der Zwischenzeit der Anwendungsbereich der Betonzusatzmittel erweitert, besser gesagt, offiziell erweitert, weil neben den Einpreßhilfen auch die Wirkungsgruppen Verflüssiger, Fließmittel, Luftporenbildner und Verzögerer ausdrücklich für Spannbeton ein besonders Prüfzeichen erhalten können.

Im Spannbeton ist aber außer mit den allgemein bekannten mit Eisenauflösung verbundenen Korrosionsarten, wie Abtragung, Narbenbildung, Lochfraßbildung usw., mit einer neuen besonders gravierenden, speziell für Spannstähle gefährlichen Korrosionsart zu rechnen, den wasserstoffinduzierten Brüchen /4/. Darunter ist zu verstehen, daß bestimmte, in der chemischen Technologie als Katalysatorgifte bekannte Stoffe wie z.B. Schwefelwasserstoff, Thiocyanat, Arsenik, Quecksilbersalze u.v.a., den intermediär bei kathodischen Teilreaktionen entstehenden atomaren Wasserstoff kurzzeitig stabilisieren und dadurch sein Eindringen in den Stahl erleichtern. Bei hochfesten Stählen, um die es sich bei Spannstählen stets handelt, führt dies in sehr kurzer Zeit zu den dafür charakteristischen im Mikroskop erkennbaren inter- oder transkristallinen Rissen mit klaffenden Korngrenzen sowie Mikroporen und Haarlinien (Krähenfüße) auf den Korngrenzen /5/ und makroskopisch zu verformungslosen Brüchen. Diese Brüche liegen z.T. in minimalen Abständen von wenigen Zentimetern. Die Zulassungsprüfung für Spannstähle berücksichtigt seit langem diese speziellen Korrosionsmechanismen und versucht besonders empfindliche Spannstähle dadurch zu eliminieren, daß alle Spannstähle außer einem anodischen Korrosionsversuch in $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -Lösung

einem weiteren Dauerstandversuch in Schwefelwasserstoffwasser oder neuerdings in 20%iger NH_4SCN -Lösung unterzogen werden. Bei der Beurteilung derartiger Versuche ist zu bedenken, daß die Konzentration der Prüflösung sehr hoch und der pH-Wert recht niedrig liegen und daß die ertragenen Standzeiten auch bei in der Praxis bewährten Spannstählen nur einige Stunden betragen. Wie hoch die Spannstahlgefährdung durch wasserstoffinduzierte Brüche eingeschätzt wird, ergab sich zuletzt auf dem vom Institut für Bautechnik gemeinsam mit dem Verein Deutscher Eisenhüttenleute veranstalteten Symposium „Korrosionsverhalten von Spannstählen - Neue Forschungsergebnisse“/6/ in Berlin. Das derzeit angewendete elektrochemische Prüfverfahren für Betonzusatzmittel reicht demnach nicht aus, die zusätzliche und z.T. andersartige Korrosionsgefährdung für die Bewehrung von Spannstählen mit Sicherheit zu erkennen.

Es sei aus der Vorbemerkung für die Neufassung der Arbeitsvorschrift /7/ hier zitiert:

„Die angewandte Methode ist prinzipiell ungeeignet Stoffe in Betonzusatzmitteln nachzuweisen, die nur die kathodische Teilreaktion der Korrosion beeinflussen. Ob ein Betonzusatzmittel Bestandteile enthält, die die Spannstahlkorrosion nach dem Mechanismus der Wasserstoffversprödung fördern, kann deshalb anhand dieser Prüfung nicht beurteilt werden“.

Bei der Vielzahl der inzwischen in Betonzusatzmitteln verwendeten, teils recht unscharf definierten Stoffe, ist es daher dringend notwendig, ein zuverlässiges Prüfverfahren zu entwickeln, das es gestattet, diese Korrosionsart begünstigende Substanzen sicher nachzuweisen.

Zur Klarstellung ist auf folgende Tatsache hinzuweisen: Eine kathodische Teilreaktion ist naturgesetzlich stets an eine gleichzeitig stattfindende anodische Teilreaktion gekoppelt. Diese kann jedoch auch an anderer Stelle ablaufen, wenn eine elektrisch leitende Verbindung besteht. Mit Sicherheit kann also auch das Auftreten wasserstoffinduzierter Brüche ausgeschlossen werden, wenn und solange dicht in einwandfreien Beton eingebettete Spannstähle vor anodischer also eisenauflösender Korrosion geschützt sind. Soweit behält das bisherige elektrochemische Prüfverfahren auch für diesen Teilaspekt der Korrosion eine gewisse Aussagekraft.

2. Arbeitsprogramm und Versuchsmaterialien

Die befürchtete Schädigung durch die oben erwähnten, den atomaren Wasserstoff stabilisierenden Stoffe tritt nur bei Spannstählen ein. Sie hängt von der Wechselwirkung zwischen elektrolytischem Medium und Spannstahlqualität ab. Deshalb mußte ein Prüfverfahren angestrebt werden, das die Spannstahlarten, wie sie im Spannbeton eingesetzt werden, in die Untersuchung mit einbezieht. Da eine an sich wünschenswerte Variation der Spannstahlarten jedoch aus Kostengründen ausschied, mußte man sich dabei auf die Verwendung einer charakteristischen Spannstahlart beschränken. Gefordert werden mußte, daß sich das zu wählende Prüfverfahren nicht allzu weit von den Praxisbedingungen entfernte, um Schlußfolgerungen auf die tatsächliche Gefährdung zu erlauben. Unrealistisch hohe Konzentrationen und Temperaturen waren deshalb nicht geeignet, da so u.U. völlig von der Praxis abweichende Reaktionsmechanismen erzwungen werden. Andererseits sollten Prüfzeiten erreicht werden, die spätestens nach wenigen Tagen einen Abschluß der Prüfung zulassen.

Die mögliche Schädigung besteht, wie bereits geschildert, im Auftreten von Anrissen und Brüchen; der Korrosionsmechanismus ist dabei zweifellos kathodischer Art.

Nach einigen Vorversuchen wurde für die Entwicklung des Prüfverfahrens folgende Basis erkennbar:

An vorgespannten Spannstahlproben sollte an einer definierten Stelle mit reproduzierbarer Oberflächenbeschaffenheit in Gegenwart des zu prüfenden Betonzusatzmittels in unterschiedlichen Konzentrationen eine kathodische Wasserstoffentwicklung erzwungen werden; die Standzeit bis zum Bruch sollte als Prüfkriterium dienen.

Um die im Beton üblichen Verhältnisse hinsichtlich pH-Wert und Ionenkonzentration zu erreichen, sollte in einer Zementschlämme als Elektrolyt gearbeitet werden. Da auch ungünstige Bedingungen, wie sie nach dem Absinken des pH-Werts durch Karbonatisierung oder unter anderen Einflüssen vorliegen, ohne versuchstechnische Schwierigkeiten nachgeahmt werden sollten, war eine Prüfung des Betonzusatzmittels in wäßriger Lösung oder Suspension vorgesehen.

Für die Versuche wurde ein handelsüblich, weitverbreiteter, vergüteter Spannstahl gewählt. Vergüteter Spannstahl wurde gewählt, weil die vor-

herrschende Meinung, diesen Stählen mit ungerichteter Struktur des Stahlfüges eine höhere Spannungsrißkorrosionsempfindlichkeit zuschreibt, als den gezogenen mit ihrer parallel zur Oberfläche ausgerichteten Textur.

Verwendet wurde runder, glatter Spannstahl Sigma St 1420/1520, \varnothing 12,2 mm.

Die Analyse lautete:

C	Si	Mn	P	S	Cr
0,49	1,78	0,63	0,018	0,022	0,44 %

Festigkeitskennwerte:

	$R_{0,01}$ [N/mm ²]	R_S [N/mm ²]	R_Z [N/mm ²]	δ_{10} [%]	δ_{gl} [%]
Probe 1: ohne Kerbe	1362	1495	1603	9,2	4,0
Probe 2: ohne Kerbe	1333	1506	1610	8,3	3,0
Probe 3: ohne Kerbe	1277	1497	1605	4,2	3,0

Die Kerbe an der Probe Nr. 3 hatte dieselbe Form, wie bei den für die Dauerstandversuche verwendeten Proben. Die Kerbform ist unten beschrieben. Der Bruch der Probe erfolgte an der Kerbe. Infolge der Kerbwirkung wurde zwar die Bruchdehnung δ_{10} auf etwa die Hälfte abgemindert; die Festigkeitskennwerte zeigten sich jedoch durch die Kerbe nicht beeinflusst.

Das Gefüge des Spannstahles zeigen die Bilder 1 und 2, Anl. 1 u. 2, es handelt sich um ein typisches Zwischenstufengefüge. Bild 2, Anlage 2 zeigt die recht starke Randentkohlung der verwendeten Stäbe.

In die für die Dauerstandversuche verwendeten Spannstahlabschnitte von 250 mm Länge wurde eine Kerbe mit 4,6 mm² Kerbfläche eingefräst. Die Kerbtiefe betrug 0,5 mm, der Ausrundungsradius der Kerbe $R = 0,25$ mm (vgl. Bild 3, Anlage 2). Die Kerbe hatte also dieselben Abmessungen, wie bei den früher im Rahmen von Spannstahl-Zulassungsversuchen geforderten Kerbzugversuchen. Für den Einfluß dieser Kerbe auf das Festigkeits- und Verformungsverhalten von Spannstählen liegen also viele Versuchsergebnisse vor. Zur Dokumentation der Kerbenform ist ein Längsschliff durch die Kerbe als Bild 4, Anlage 3 im Mikrofoto gezeigt.

Für die Dauerstandversuche wurde der Spannstahl auf $0,8 \cdot \text{vorh } B_Z$ vorgespannt. Bei der Prüfung befand er sich in einer Plexiglasrinne mit Zementleim vom W/Z-Wert 1,0 umgeben, der die zu prüfenden Betonzusatzmittel in den Dosierungen von 5, 0,5 und 0,05% bezogen auf Zement enthielt. Die Kerbfläche wurde danach mittels einer Platinspitze über einen als Galvanostaten arbeitenden Wenking-Potentiostaten mit 10 mA/cm^2 kathodisch polarisiert. Soweit nicht vorher ein Stahlbruch eintrat, wurde der Versuch in der Regel nach 24 Stunden abgebrochen. Einige Versuche wurden jedoch bis zu erheblich längeren Standzeiten fortgeführt. Eine Skizze des Versuchsaufbaus zeigt Bild 3.

In einer zweiten Versuchsserie wurden die Betonzusatzmittel ohne Zementzugabe in reinem Wasser in den Gehalten 2,5, 0,25 und 0,025% gelöst oder suspendiert. Die Prüfung selbst erfolgte dann in derselben Weise.

Folgende Betonzusatzmittel wurden als Muster von den Herstellern bezogen und im Versuchsprogramm verwendet:

Betonverflüssiger

Prüfzeichen PA VII-

Aktival Grünau (BV)	1/134
Tricosal Verflüssiger (BV)	1/136
Beton Liquidol (BV)	1/138
Verflüssiger WS (BV)	1/141
Addiment Betonverflüssiger S (BV)	1/209
Cerinol-16 (BV)	1/235.1
Irgament Mighty 100 (BV)	1/265

Verzögerer

Murasit Verzögerer flüssig (VZ)	4/130
MV-Erstarrungsbremse flüssig (VZ)	4/143
Lentan 66 (VZ)	4/151
Addiment Erstarrungsverzögerer 1 (VZ)	4/160
Tricosal 100 flüssig (VZ)	4/162

Luftporenbildner

Tricosal Luftporenbildner S (LP)	2/124
Melment Luftporenbildner (LP)	2/171

Außerdem wurden folgende Chemikalen für Vergleichsversuche herangezogen:

KSCN	Kaliumthiocyanat (Kaliumrhodanid)
$\text{Ca}(\text{HCOO})_2$	Calciumformiat
$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	Natriumpyrophosphat
CaCl_2	Calciumchlorid
NaNO_3	Natriumnitrat

Als Zement für die Herstellung der Aufschlämmungen wurde ein handelsüblicher PZ 35 F mit folgenden Kenndaten verwendet.

Chem. Analyse

Glühverlust	2,96	Kalkstandard	94,6
Unlösliches	2,78	Silikatmodul	2,07
SiO_2	19,28	Tonderdemodul	2,07
Al_2O_3	6,28	C_3S	47,30
Fe_2O_3	3,03	C_2S	19,61
CaO	60,86	C_3A	11,52
MgO	1,21	C_4AF	9,22
SO_3	3,30		
Na_2O	0,11		
K_2O	0,19		(nach Bogue)

Der Chloridgehalt war kleiner als 0,03%.

Feinheit: Rückstand $> 63 \mu$: 8%
Rückstand $> 90 \mu$: 2,8%

Wasseranspruch: 25%

Erstarrungsbeginn: 2¹⁵

Erstarrungsende 3⁰⁵

Druckfestigkeit: nach 2 Tagen : 19 N/mm²
nach 28 Tagen: 48 N/mm²

3. Versuchsergebnisse

Die Standzeiten der Stähle bei den oben geschilderten Versuchsbedingungen sind in den beiden nachfolgenden Tabellen zusammengestellt. Gewertet wurden hierbei nur Versuchsergebnisse von Proben, die Brüche im Bereich der Kerbe aufwiesen und bei denen, keine versuchstechnischen Unregelmäßigkeiten, wie extreme Schaumbildung, Stromausfall u. dgl. vorkamen. Ein Teil der Versuche wurde wiederholt; die Ergebnisse der zweiten einwandfreien Messung sind in Klammern angegeben.

Die geprüften Betonzusatzmittel mit Prüfzeichen wurden mit Kennbuchstaben versehen, die keinen Zusammenhang mit der oben gegebenen Auflistung aufweist. Wegen der Verwendung handelsüblicher Betonzusatzmittel darf im vorliegenden Bericht die Zuordnung der Versuchsergebnisse nicht angegeben werden.

Tabelle 1: Standzeiten der Stähle bei Betonzusatzmitteln mit Prüfzeichen
 (Stunden)

Dosierung	Wasser als Elektrolyt			Zementleim als Elektrolyt		
	2,5%	0,25%	0,025%	5%	0,5%	0,05%
<u>Betonverflüssiger</u>						
BVA	-	-	-	-	-	-
BVB	-	-	11 ⁵²	-	4 ⁰⁷	4 ⁰⁸
BVC	-	12 ²⁴	9 ⁴⁷	-	-	-
BVD	3 ⁴⁷	12 ⁰⁴	-	-	-	7 ³³
BVE	-	3 ⁰¹	2 ⁴⁸	-	7 ¹⁹	4 ²⁶
BVF	3 ⁵⁵	3 ⁵⁷	10 ⁴¹	2 ⁰⁰	2 ⁵³	-
BVG	15 ⁸⁵	22 ⁵⁴	-	10 ¹⁹	4 ⁴⁹	4 ⁴⁷
<u>Verzögerer</u>						
VZA	-	-	-	-	3 ⁰⁸	6 ⁵⁹
VZB	-	-	-	4 ⁴³	5 ¹⁴	6 ⁵³
VZC	-	-	-	3 ⁴¹	4 ³⁹	6 ¹⁹ (6 ⁵⁵)
VZD	-	-	-	15 ⁵⁰	15 ⁴¹	4 ⁵⁵
VZE	-	-	-	-	-	4 ⁴⁴
<u>Luftporenbildner</u>						
LPA	-	-	-	2 ⁵⁶	4 ³⁴	3 ²⁵
LPB	-	-	-	2 ⁵²	6 ⁴³	6 ³⁰

Tabelle 2: Standzeiten der Stähle bei verschiedenen Chemikalien

Dosierung	Wasser als Elektrolyt			Zementleim als Elektrolyt		
	2,5%	0,25%	0,025%	5%	0,5%	0,05%
Natriumpyrophosphat	9 ²¹	-	-(5 ²⁶)	144(!)	-	8 ²⁵
Calciumformiat	3 ⁵²	4,20	4 ²⁶	-(20)	-(12 ⁰¹)	-
Natriumnitrat	n.b.	n.b.	n.b.		15 ⁰⁷	-
Kaliumthiocyanat	0 ⁴⁸	3 ⁴⁵	46 ⁰⁰	0,50	23 ⁴⁰ (11 ⁰⁰)	3 ⁵⁸

4. Beurteilung der Ergebnisse

Eine in sich schlüssige Bewertung der Betonzusatzmittel als Promotoren wasserstoffinduzierter Brüche anhand der Versuchsergebnisse ist uns nicht möglich gewesen.

Es zeigt sich zwar, daß das als gefährlich bekannte Thiocyanat bei hoher Dosierung sowohl in Zementleim wie in Wasser zu den kürzesten Standzeiten von weniger als einer Stunde führte. Es ist jedoch nicht verständlich, warum bei mittlerer Dosierung in Zementleim die Standzeit erheblich länger wird, als bei extrem niedriger (Tabelle 2).

In dem Verflüssiger F, der in Zementleim bei hoher und mittlerer Dosierung sehr kurze Standzeiten bewirkte, wurden nachträglich erhebliche Anteile an Thiocyanat chem. analytisch bestimmt. Die kurzen Standzeiten der Stähle waren also tatsächlich als Indikator für gefährliche Bestandteile zu werten.

Andererseits erzeugen die in der Praxis wohl zu Recht als korrosionschemisch unbedenklich geltenden Luftporenbildner sehr kurze Standzeiten; hier dürften physikalische Effekte, wie eine stärkere Schaumbildung mit eine Rolle spielen.

Insgesamt gesehen, scheint es uns nicht möglich, auf dem eingeschlagenen Wege zu einer brauchbaren Beurteilungsgrundlage zu kommen, die Betonzusatzmittel zu klassifizieren, im Hinblick auf ihre Fähigkeit wasserstoffinduzierte Brüche bei Spannstählen zu begünstigen.

5. Schlußbemerkung

Da, wie wir in der Einleitung ausgeführt haben, ein großes Interesse an einem Prüfverfahren bestehen muß, das es gestattet, die Risiken abzudecken, die hier gegeben sein können, haben wir nach Abschluß des geschilderten Versuchsprogrammes sehr zahlreiche weitere Tastversuche durchgeführt, um einen neuen Ansatz zu finden. Wegen dieser Arbeiten verzögerte sich die Fertigstellung des vorliegenden Berichtes. Wir glauben nun jedoch einen zwar wesentlich praxisferneren aber gangbaren Weg gefunden zu haben. Bei diesem Verfahren soll die Menge des durch eine Stahlmembran diffundierenden Wasserstoffs gemessen werden. Sie hängt unmittelbar von der Gegenwart solcher Substanzen ab, die sein Eindringen in den Stahl begünstigen. Das neu beantragte Versuchsprogramm ist ein mittelbares Ergebnis des hier geschilderten Forschungsvorhabens. Der Antrag wurde deshalb als Anlage beigefügt.

Literatur

- /1/ Kaesche, H. : Die Prüfung der Korrosionsgefährdung von Stahlarmerungen durch Betonzusatzmittel.
Zement-Kalk-Gips (1959) H. 7, 289-294
- /2/ Manns, W. : Zur korrosionsfördernden Wirkung von thiocyanathaltigen
Eichler, W.R. Betonzusatzmitteln.
Betonwerk + Fertigteiltechnik 48 (1982) H. 3, S 154-162
- /3/ - : Richtlinien für die Zuteilung von Prüfzeichen für Beton-
zusatzmittel (Prüfrichtlinie), Fassung Februar 1984.
Mitt. Institut für Bautechnik 15 (1984) H. 3, S. 82-92
- /4/ Naumann, F.K. : Bruchschäden an Spanndrähten durch Wasserstoffaufnahme
Bäumel, A. in Tonerdezementbeton.
Archiv Eisenhüttenwesen 32 (1962) 8.89 ff.
- /5/ Mitsche, R. : Anwendung des Rasterelektronenmikroskopes bei Eisen-
Jeglitsch, F. und Stahlwerkstoffen.
Scheidl, H. Radex Rundschau 1978, H. 3/4, S. 741 ff.
Stanzl, St.
Pfefferkorn, G.
- /6/ - : Korrosionsverhalten von Spannstählen. Neue Forschungs-
ergebnisse. Vortragsveranstaltung, Berlin, Juni 1983
- /7/ - : Elektrochemische Prüfung von Betonzusatzmitteln auf
passivitätsstörende Bestandteile. Arbeitsvorschrift,
IfBt, Fassung Februar 1983.

Schliffbilder des für die Versuche verwendeten Spannstahls

St 1420/1570, \varnothing 12,2 mm, rund, glatt, vergütet

(Ätzung 3%ige alkohol. HNO_3)



Bild 1a
Längsschliff
(Walzrichtung)
V = 45 x

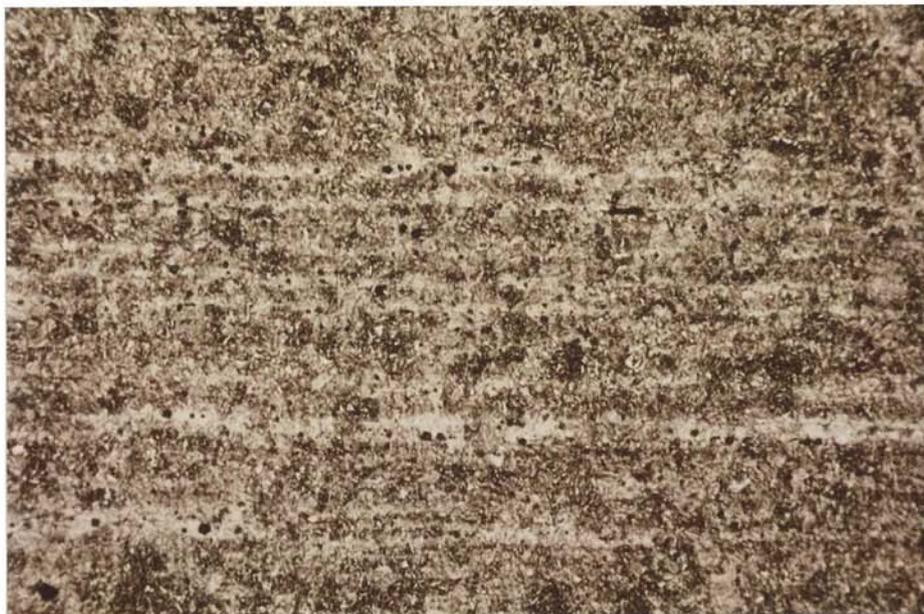


Bild 1b
Gefüge = Zwischenstufen-
gefüge mit zahlreichen
Einschlüssen mit Ferrit.
V = 200 x

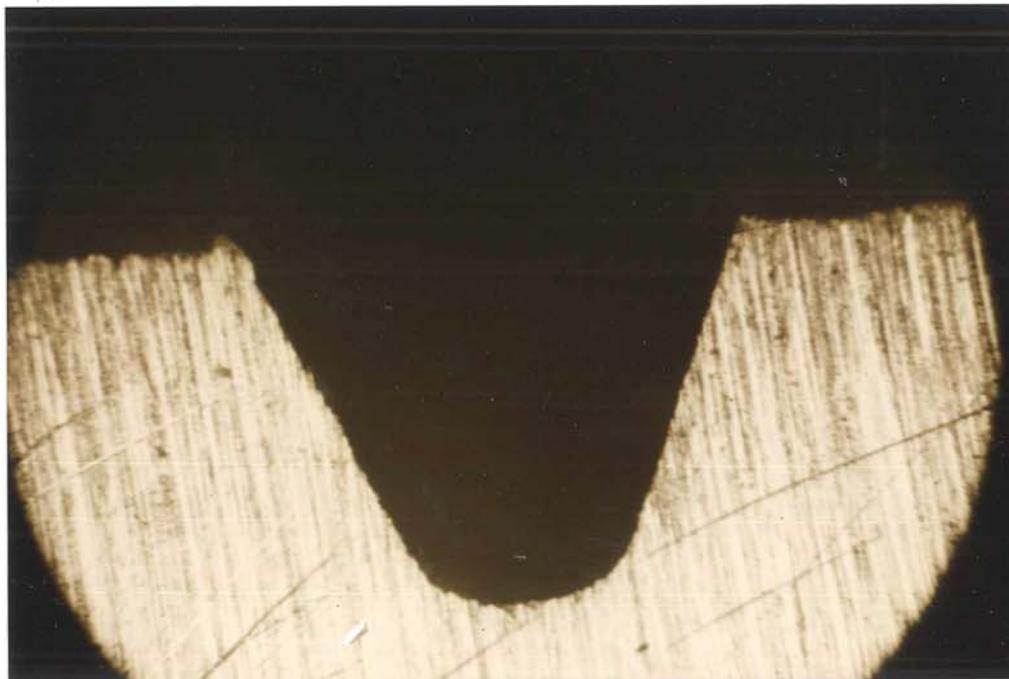


Bild 1c
Zwischenstufengefüge
V = 400 x

Schliffbilder des für die Versuche verwendeten Spannstahls
St 1420/1570, \varnothing 12,2 mm, rund, glatt, vergütet
(Ätzung 3%ige alkohol. HNO_3)



Bild 2: Randentkohlung mit Walzhaut



Stahloberfläche

0,5 mm

Bild 3: Querschnitt parallel zur Stabachse durch die Mitte der Kerbe

$M \sim 1 : 100$

Kerbtiefe 0,5 mm, Ausrundungsradius $R = 0,25$ mm

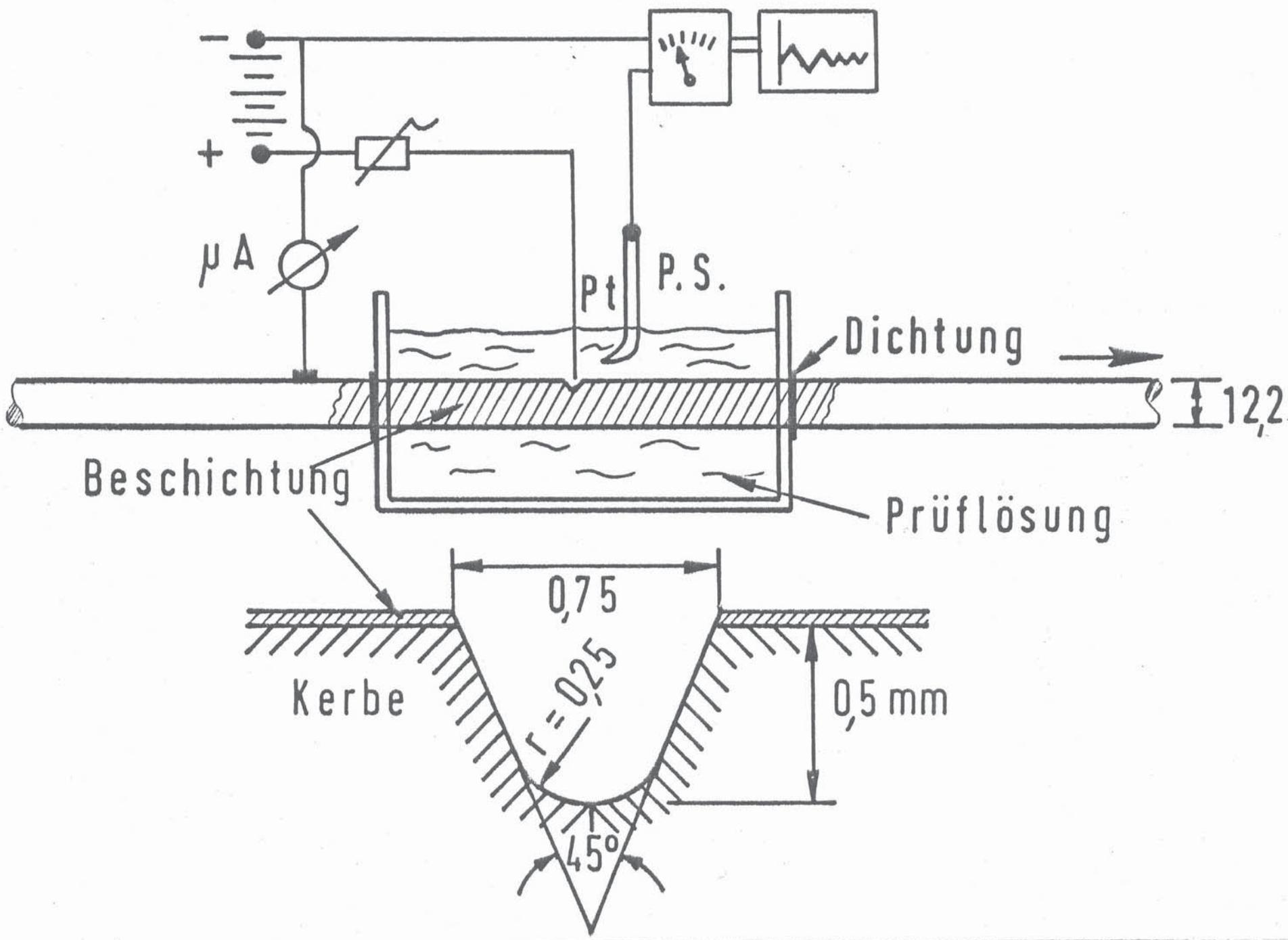


Bild 4: Versuchsanordnung (M = 1 : 1), Kerbform (M = 66 : 1)

Schliffe durch die Kerbe mit Bruchstelle nach dem Versuch
(Ätzung 3%iger alkohol. HNO_3)

Stahl-
ober-
fläche



Bild 5

Kerbe mit Bruch-
stelle

V = 45 x



Bild 6

Randentkohlung

bis 50 μm

Gesamt Entkohlung

bis 90 μm

V = 200 x

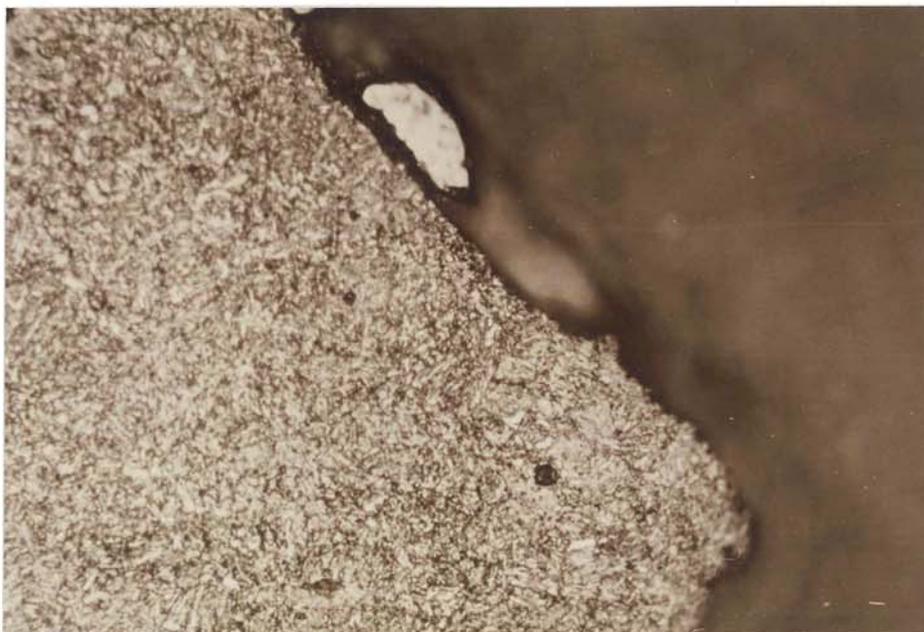


Bild 7

Gefüge im

Kerbengrund

V = 400 x

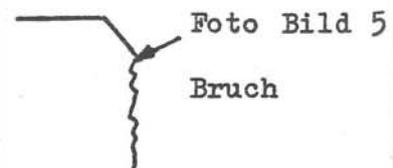




Bild 8
Bruch in der
 H_2 -Versprödungszone
V = 400 x

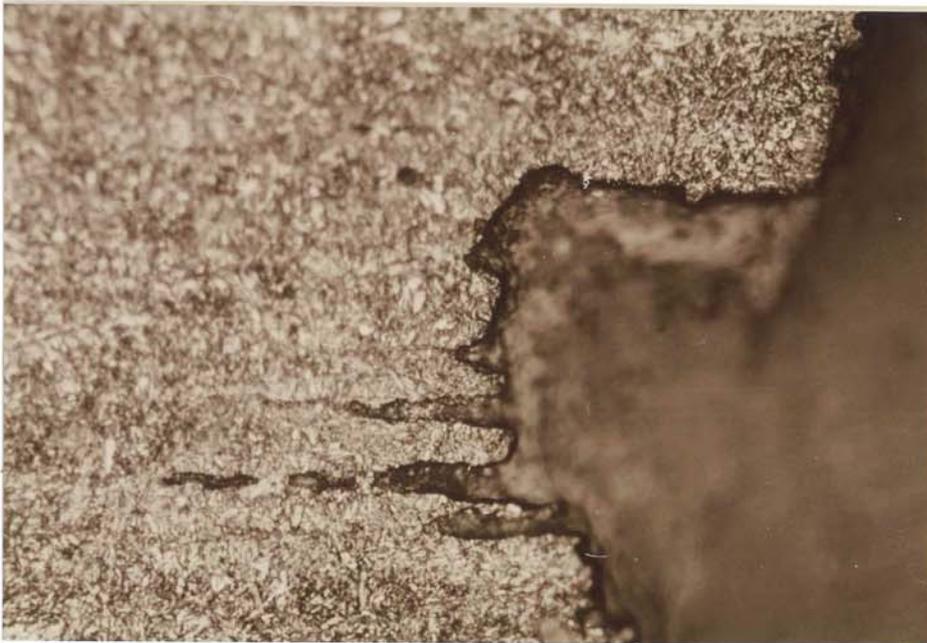


Bild 9
Übergang vom Sprödbruch
zum Gewaltbruch.
Aufrisse in der
Walzrichtung
V = 400 x



Bild 10
Gewaltbruch
V = 400 x