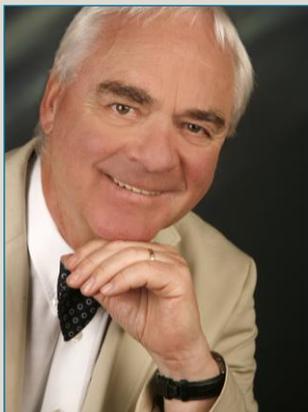
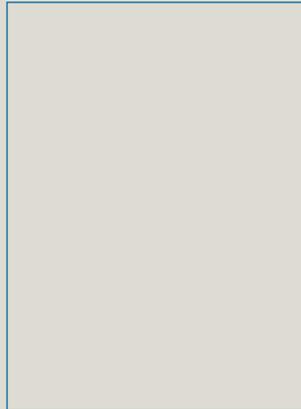


## WASSERSTOFF IM WASSERKRAFTWERK – DER SCHADENSFALL CLEUSON-DIXENCE



**N. Enzinger**

Institut für Werkstoffkunde  
und Schweißtechnik,  
TU Graz



**H. Cerjak**

Institut für Werkstoffkunde  
und Schweißtechnik,  
TU Graz



## INHALT

- Der Schadensfall
- Abschätzung der Umstände, durchgeführte Untersuchungen
- Schadensanalyse
- Weitere Untersuchungen
- Schlussfolgerungen

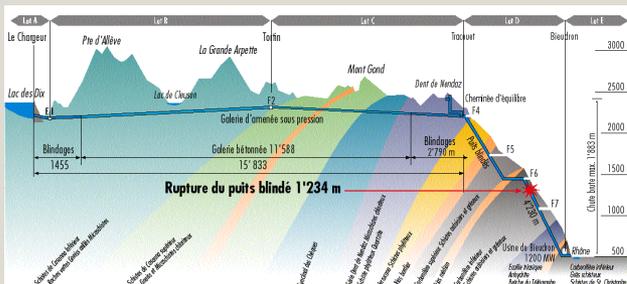
## CLEUSON – DIXENCE ECKDATEN

Die Cleuson-Dixence Anlage wurde zwischen 1993 und 1998 gebaut, um die Produktionskapazität des Komplexes zu erhöhen. Sie besteht aus:

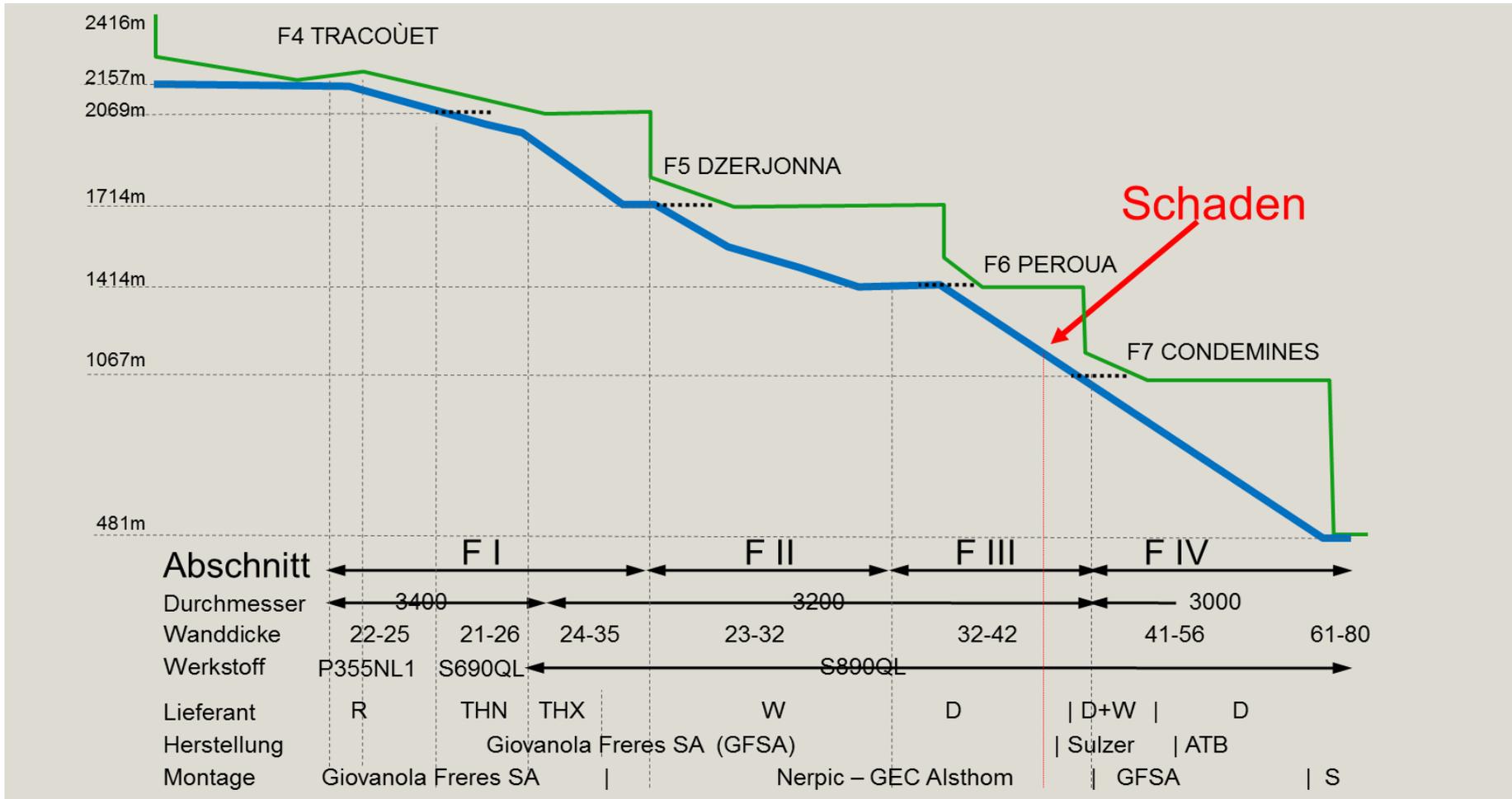
- einer Wasserfassung im Staudamm Grande Dixence (285m der höchste Gewichtsstaudamm; Fassungsvermögen: 400Mio.m<sup>3</sup>)
- einem Zuleitungsstollen von 15,8 km vom Staudamm bis Tracouet,
- einem Ausgleichsstollen in Tracouet,
- einem Druckschacht von 4,3 km, der Tracouet mit dem Kraftwerk Bieudron verbindet,

...

- dem unterirdischen Kraftwerk Bieudron.
- Fallhöhe: 1883m
- Abflussmenge: 75m<sup>3</sup>/s
- Leistung:
- 1269 MW (drei Pelton-Turbinen)
- 2 bill. kWh/a
- Baukosten: 1.3 Mrd. CHF



## TECHNISCHE RANDBEDINGUNGEN



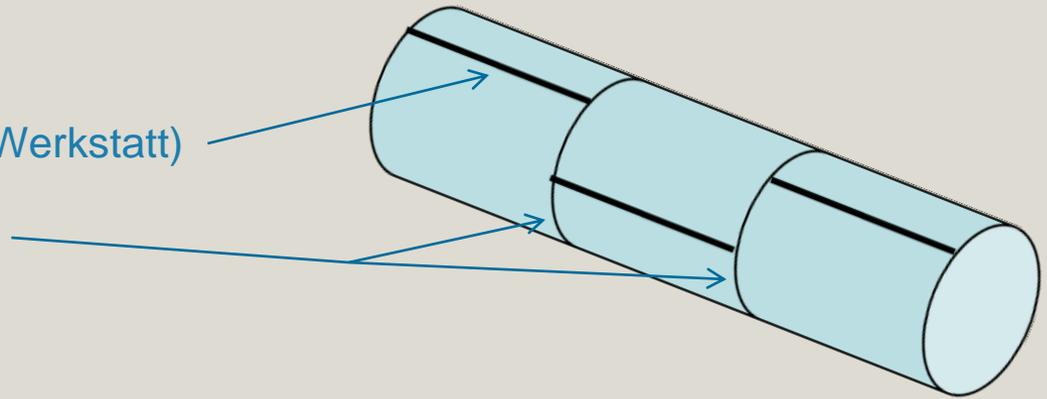
## DER SCHADENSFALL





## HERSTELLUNG DER DRUCKROHRLEITUNG

- Einrollen der Bleche
- UP Längsnähte schweißen (Werkstatt)
- Vorfertigung UP Rundnähte
  - Werkstatt
  - Vor dem Tunnel
- Zusammenbau im Tunnel (E-Hand und MAG Prozesse)
- [Zerstörungsfreie Prüfung / Reparatur]



## DIE VORGESCHICHTE

- Im Juli 1999 wurde bei einer routinemäßigen Kontrolle ein kleines Leck (2 Liter/Sekunde) im Druckschacht festgestellt.
- bei visueller Überprüfung wurde ein 260mm langer Riss in einer Längsschweißnaht gefunden. Es wurde angenommen, dass es sich um einen Einzelfall handelt.
- Nach der Reparatur dieses „Einzelfehlers“ wurde nach wie vor ein Leck beobachtet
- Im Feb. 2000 wird ein Verlust von 2,4 Liter/Sekunde gemessen. Es wird jetzt angenommen, dass es sich um ein komplexes Problem mit einer Vielzahl von Fehlstellen (Kaltrisse) handelt.

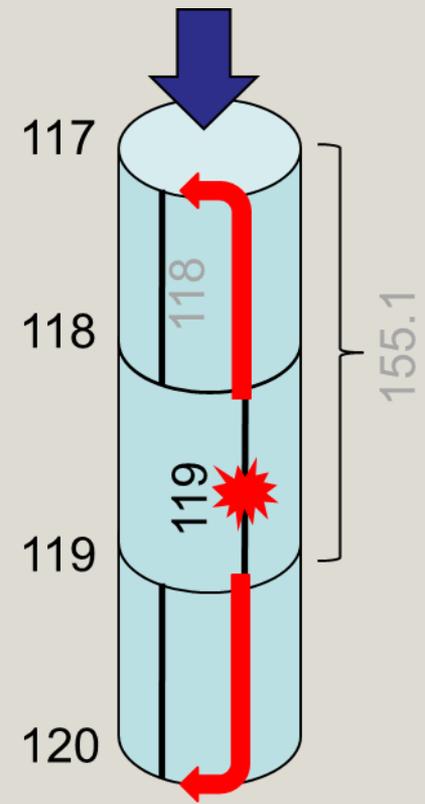
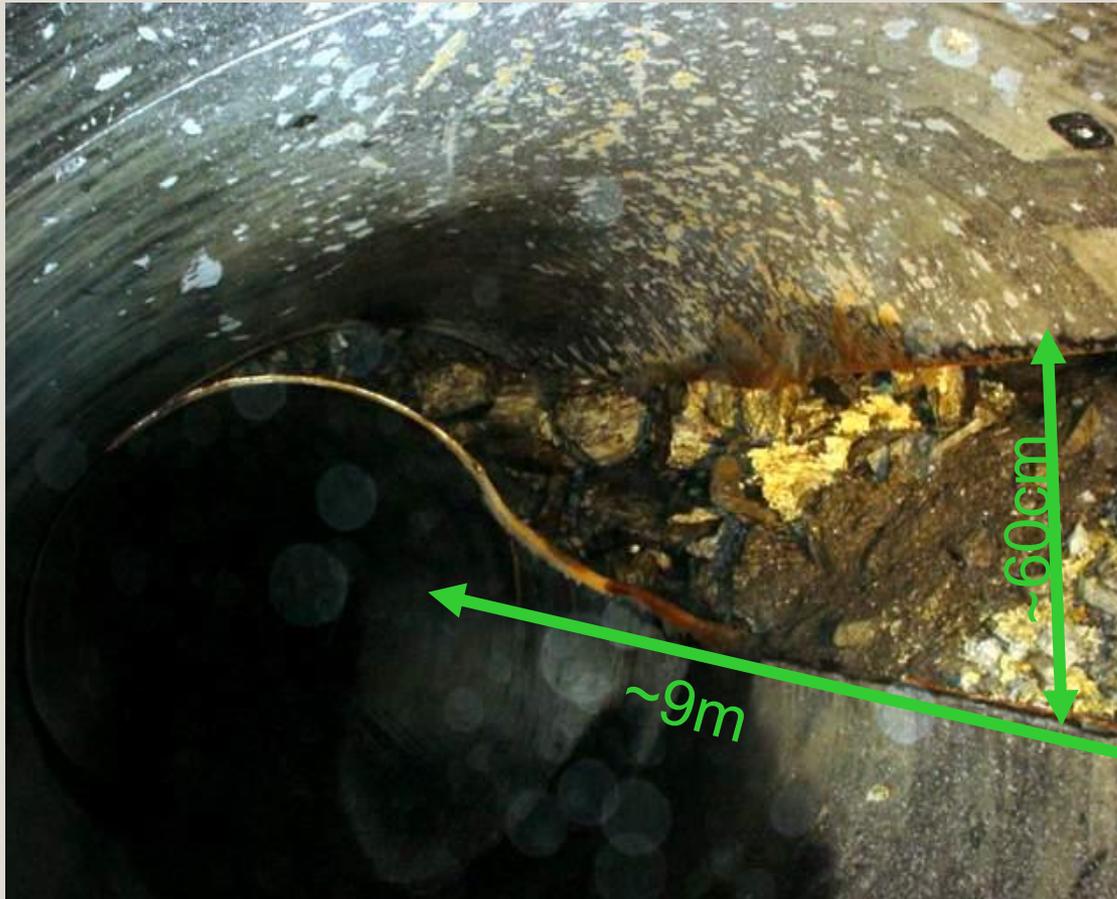
B. Hagin. Project Cleuson-Dixence and the Accident on Dec. 12th 2000.  
in: [High Strength Steels for Hydropower Plants. \(2005\), S. 1-1 - 1-34](#)

## DURCHGEFÜHRTE REPARATUREN

- 17,7 km Schweißnahtlänge wurde systematisch UT geprüft
- 66 Verbindungen (37 Umfang; 29 Längs) von 2700 mussten repariert werden. Großteils waren es vorgefertigte Schweißnähte.
- Dichtheitsprüfungen wurden am 15. Aug/Sep/Okt 2000 erfolgreich durchgeführt.

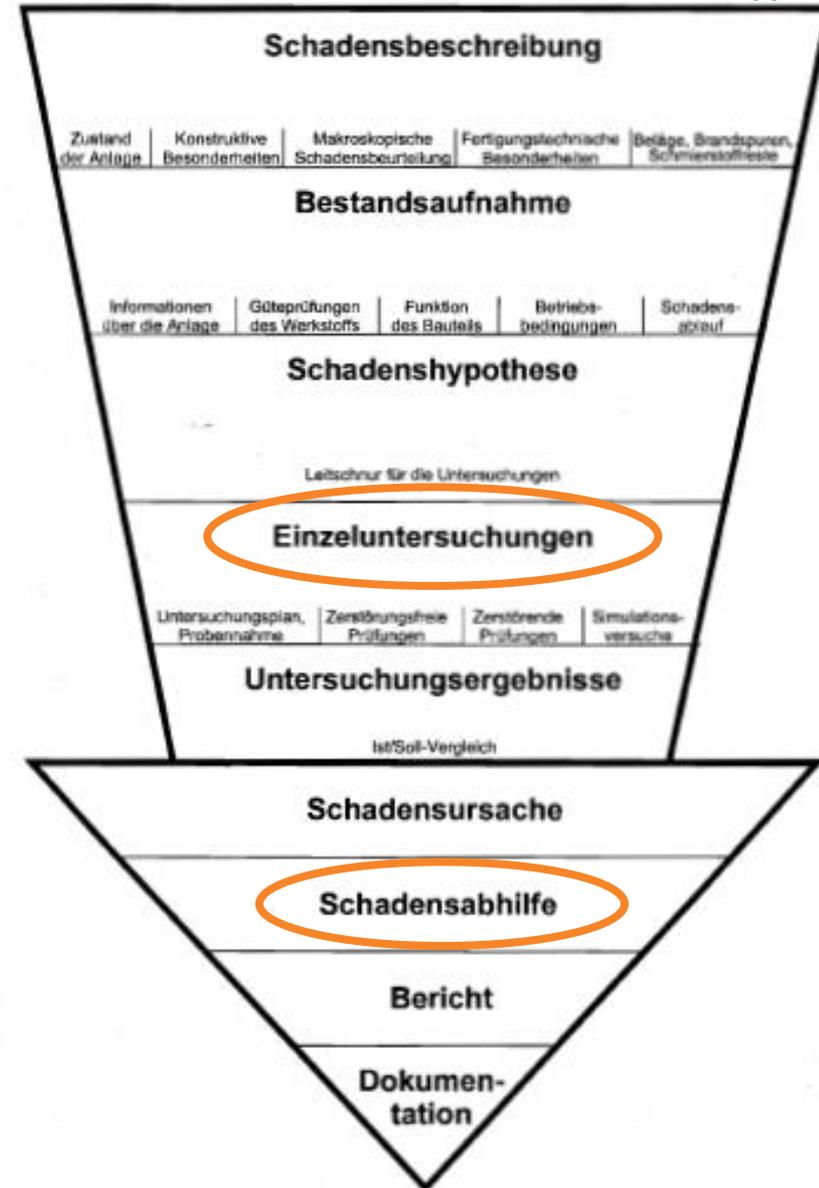
B. Hagin. Project Cleuson-Dixence and the Accident on Dec. 12th 2000.  
in: [High Strength Steels for Hydropower Plants. \(2005\), S. 1-1 - 1-34](#)

## DER SCHADENSFALL AM 12.12.2000



## SCHADENSANALYSE WAS IST PASSIERT?

- Umso mehr über die Geschichte des Bauteils bekannt ist, umso weniger Annahmen müssen getroffen werden, bzw. umso besser können diese begründet werden.
- Gespräche mit erfahrenen Experten können viel Energie, Zeit und Umwege ersparen. Dabei ist es allerdings wichtig immer den eigenen Verstand zu gebrauchen, nicht alles zu glauben, und jede Aussage zu hinterfragen, um einer möglichen Manipulation zu entgehen.



## AUSGANGSSITUATION

- Erstmals wurde ein hochfester Stahl (S890) für eine Druckrohrleitung eines Wasserkraftwerks eingesetzt
- Gerichtsgutachten benennt **Spannungsrissskorrosion** als Ursache für den Schaden → Verwendung hochfester Stähle wird generell in Frage gestellt
- Bei einer Begehung wurde der Geruch fauler Eier wahrgenommen (H<sub>2</sub>S)
- Zugang zu Material im Bereich des Bruchs war nicht gegeben (durch Gericht unter Verschluss).

Cachot, R.: Mortensen, A. Neal B. Expertise métallurgique du blindage du puits blindé de l'aménagement hydroélectrique de Cleuson-Dixence, Institut des matériaux, Lausanne, le 22 juillet 2002

## KONKRETE FRAGESTELLUNG

Was ist die Fehlerursache?

Ist dieser Werkstoff tatsächlich so anfällig gegenüber Spannungsrisskorrosion?

- Wie verhält sich ein unbeschädigtes Bauteil?
- Wie verhält sich ein Bauteil mit Anriss in verschiedenen Medien?
- Wie verhält sich die Schweißverbindung?

## WERKSTOFFVERHALTEN: SSRT

### Probenform

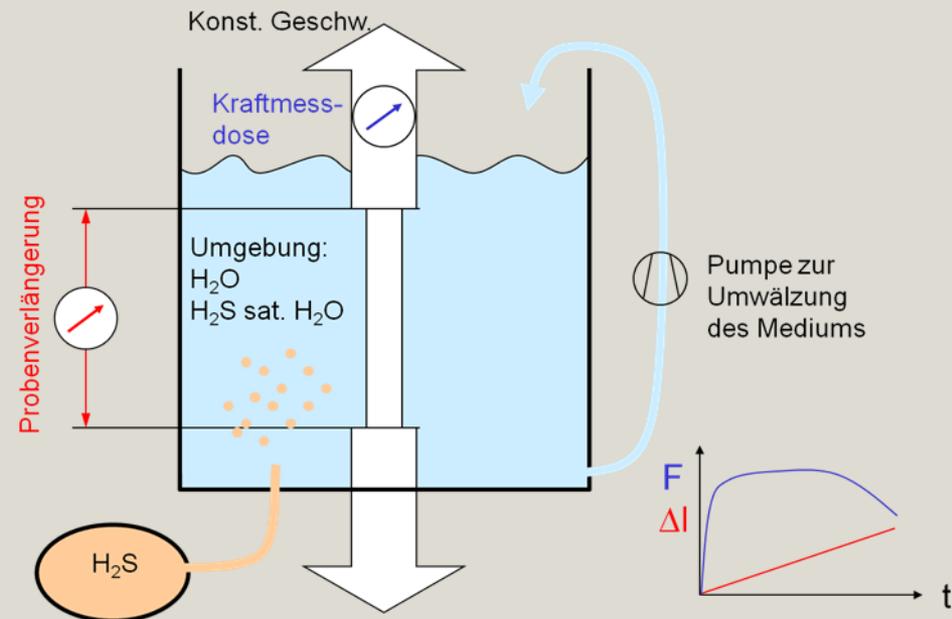
- runde, glatte Zugprobe

### Parameter

- Werkstoff: S890 (SG, GW); S690; P355NL1
- Medium: Luft, Originalwasser,  $H_2S$  gesättigtes Originalwasser
- Belastung: quasi-statisch (mit unterschiedlichen Dehnraten) bis zum Bruch

### Ergebnis:

- Bruchdehnung, Brucheinschnürung



## UNTERSUCHUNGSMATRIX

Medium		Dehnrate $d\varepsilon/dt$		
		1.00E-05	1.00E-06	1.00E-07
Luft	MPA		G+S	
	VTT	3, 7	G+S	
H2O	MPA	G+S	G+S	G+S
	VTT	G+S, 3, 7	G+S	G+S, 3, 7
H2S ges. H2O	VTT	G+S, 3, 7	G+S	G+S, 3, 7

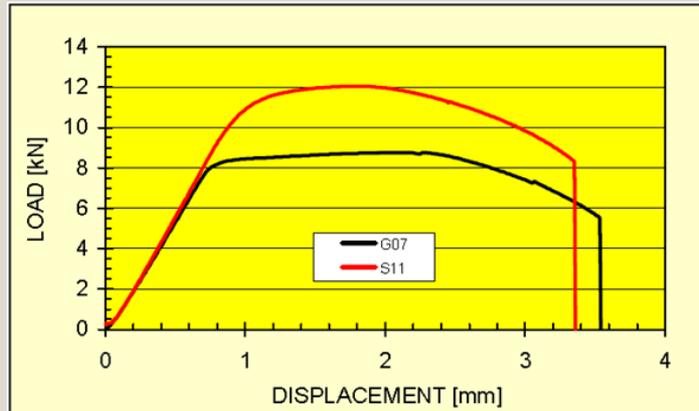
G...Grundwerkstoff S890QL

S...Schweißgut

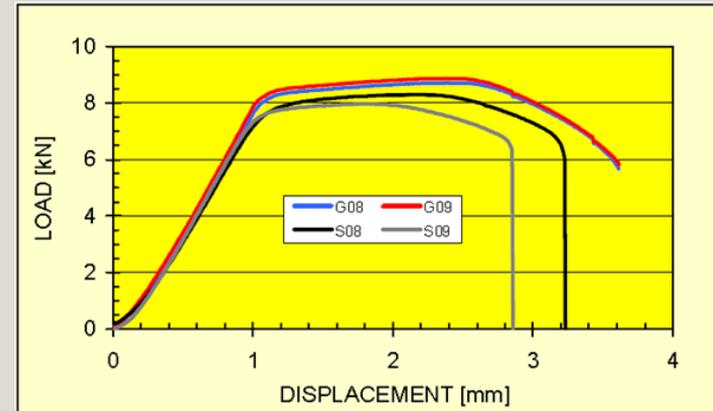
3...P355NL

7...S690QL

## ERGEBNISSE: SSRT (1E-6 1/S)

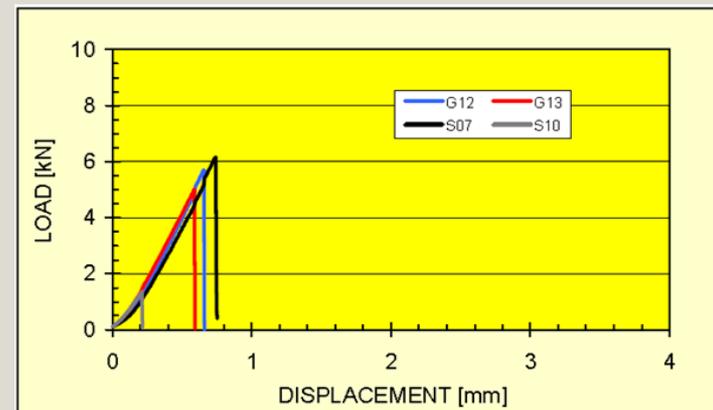


Test run 1: air



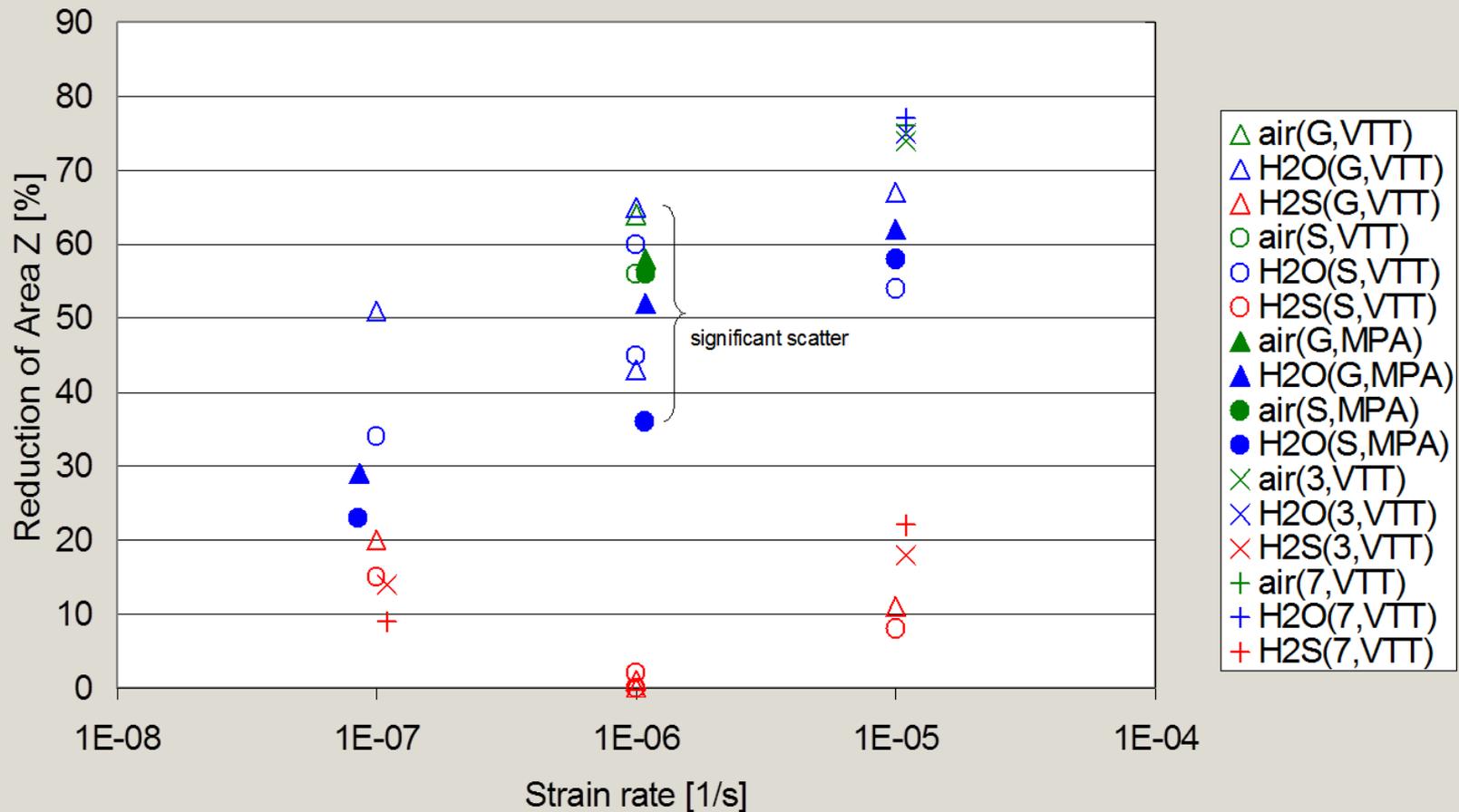
Test run 2: water

- keine signifikante Änderung der Ergebnisse bei Prüfung in Luft und Wasser
- deutliche Reduktion der Duktilität bei Prüfung in  $H_2S$  gesättigtem  $H_2O$
- sprödes Versagen im elastischen Bereich während der Lastaufbringung



Test run 4:  $H_2S$  sat.  $H_2O$

## ZUSAMMENFASSUNG DER SSRT ERGEBNISSE



## BRUCHFLÄCHEN BEIM SSRT

in Luft

MPA: Auftragsnr.: 950 7670 001  
Beilage 1

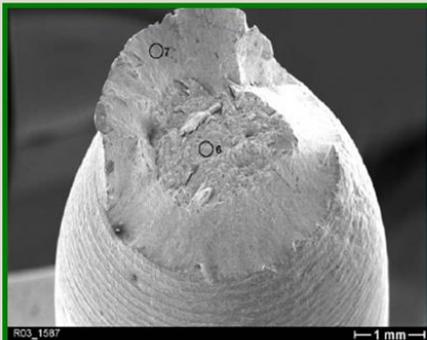


Bild 15: (S01; 1e-6 1/s)



Bild 16: (S01; 1e-6 1/s)

H<sub>2</sub>O

VTT: TUO75-032442

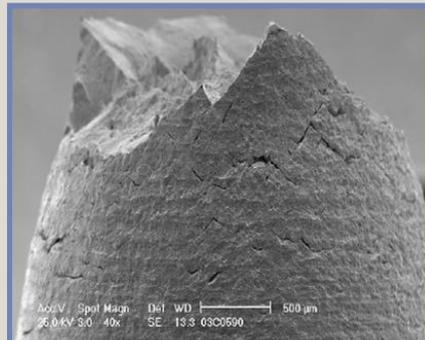


Fig: 13a (S12; 1e-5 1/s)

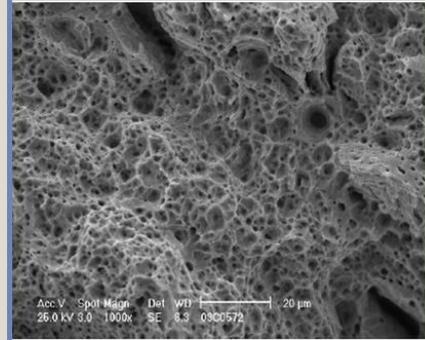


Fig: 12a (S12; 1e-5 1/s)

H<sub>2</sub>S sat. H<sub>2</sub>O

VTT: TUO75-032442

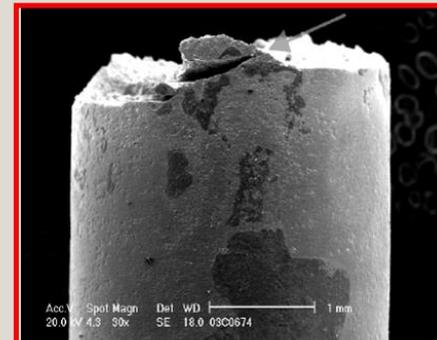


Fig: 28a (S10; 1e-6 1/s)

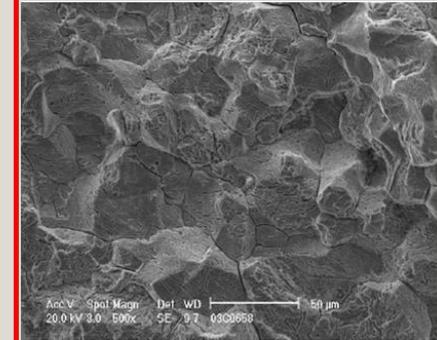


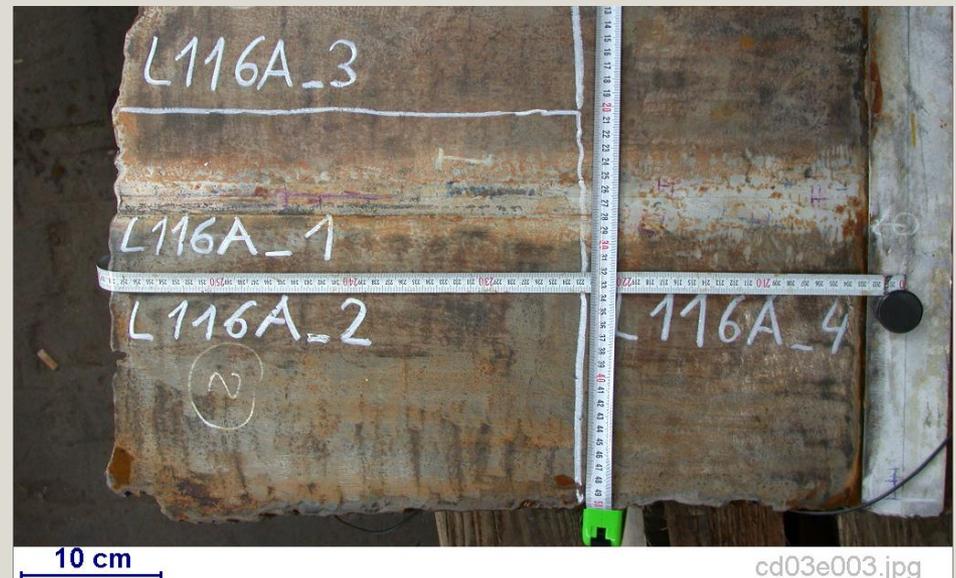
Fig: 19b (S10; 1e-6 1/s)

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

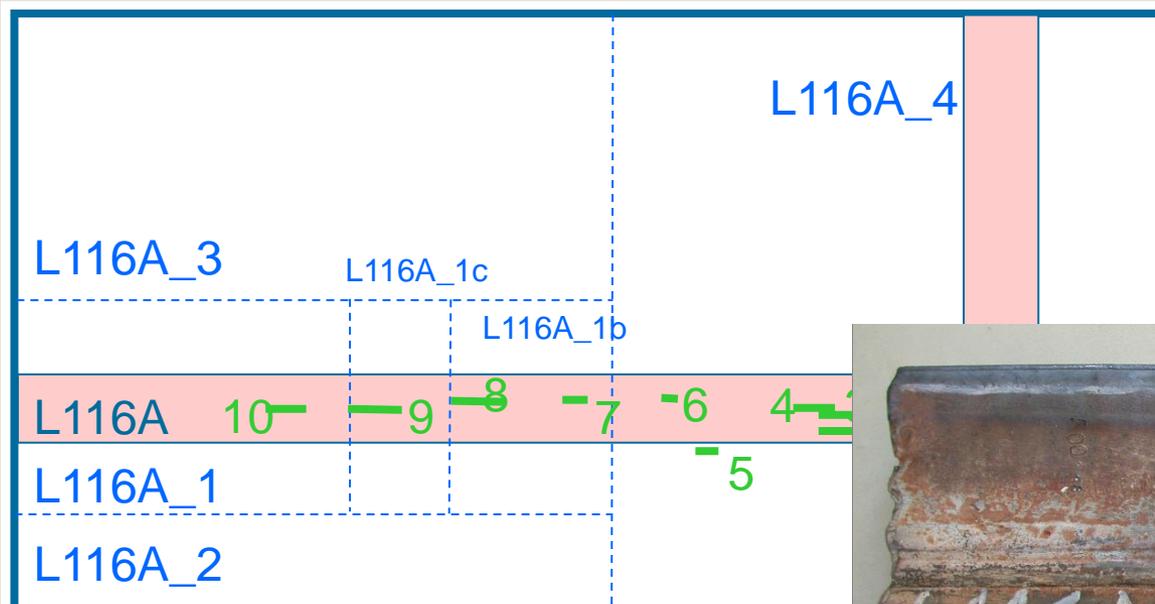
- Duktilität von S890 in Wasserumgebung sinkt gegenüber Luftumgebung nur geringfügig
- Abfall in  $H_2S$  gesättigtem Wasser ist für aller Dehnraten und Werkstoffe deutlich
- Das Verhalten ist auch an der Bruchfläche (makroskopisch und mikroskopisch) erkennbar
- Der Vergleich mit Stählen geringerer Festigkeit zeigt, dass auch diese unter den gewählten Prüfbedingungen deutlich vermindertes Verformungsverhalten zeigen.

## ENDLICH – MATERIAL FÜR SCHADENSANALYSE

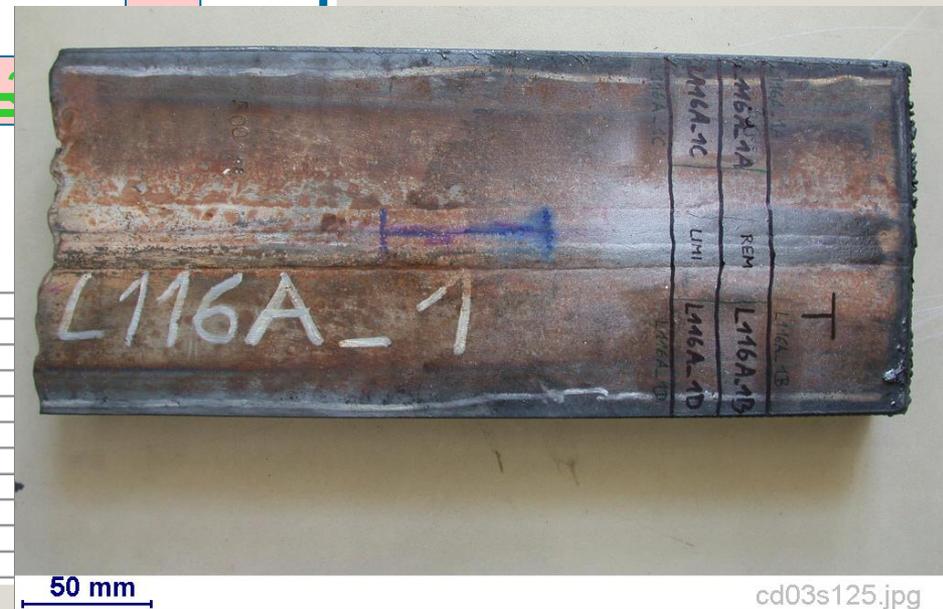
- Literaturstudie
- Schadensanalyse
  - Zerstörungsfreie Prüfung
  - Probenentnahme
  - Zerstörungsfreie Prüfung
  - Metallographie



## ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG UND PROBENENTNAHME



L116A	10	420	15	16	-20
L116A	9	365	80	3	-3 bis -14
L116A	8	300	30	5	0 bis 14
L116A	7	250	15	3	-3
L116A	6	195	<10	12	-20
L116A	5	170	15	20	-4
L116A	4	100	25	3	-4 bis +9
L116A	3	90	20	34	-3
L116A	2	80	30	34	-4 bis +4
L116A	1	60	<10	10	-20
Naht	Fehler Nr.	Pos.	Länge	Abst. v. Außen	dB zu Reg.gr.

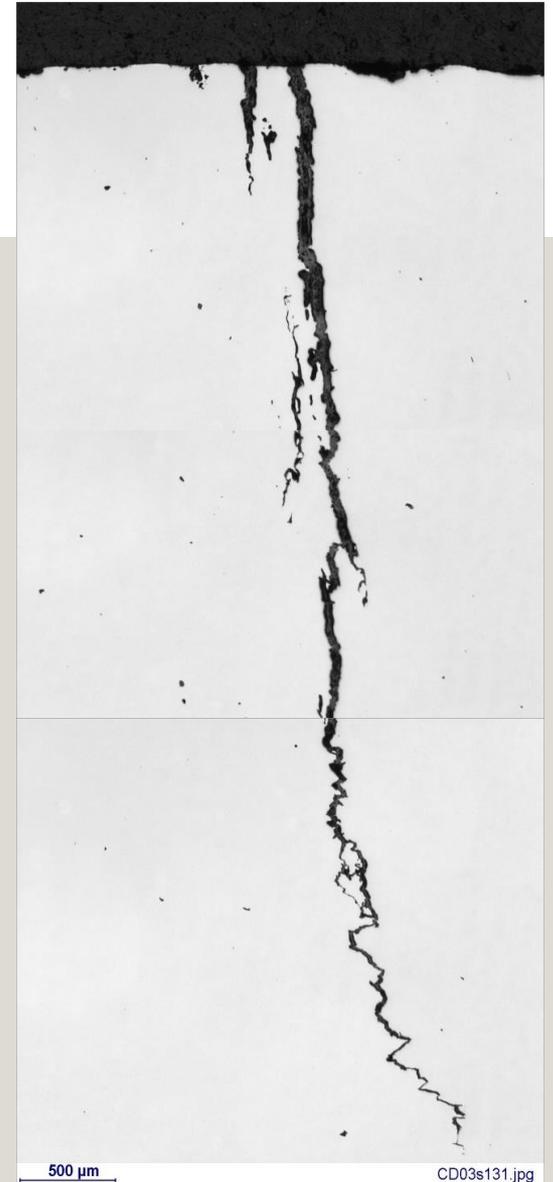
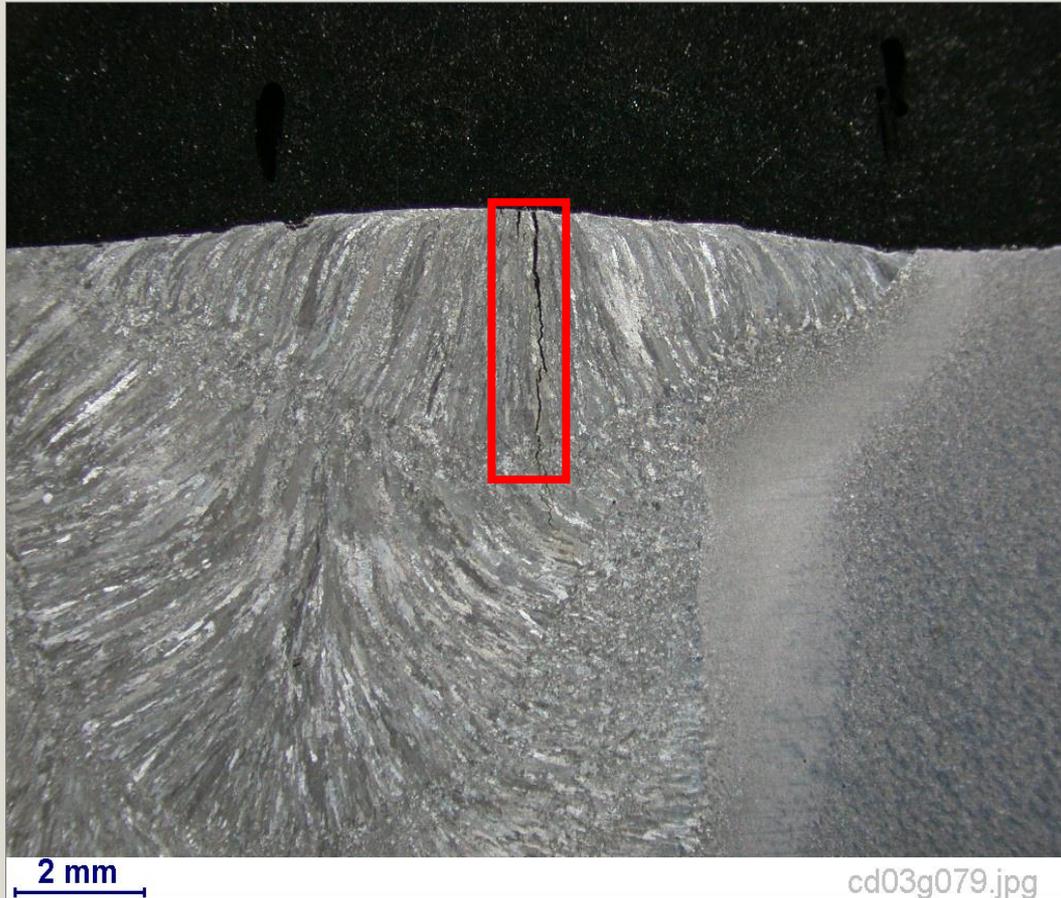


cd03s125.jpg

## PROBENENTNAHME, NR. 8, OFFENER RISS



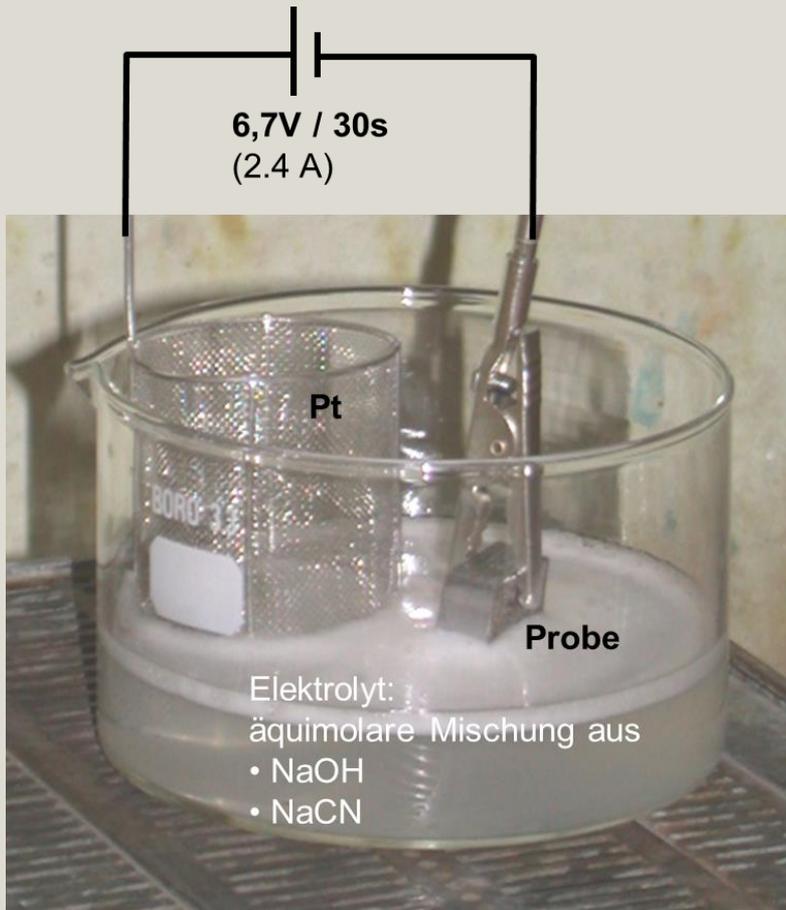
## OFFENER RISS, L116A, NR 8



## OFFENER RISS, NR. 8, AUFGEBROCHEN

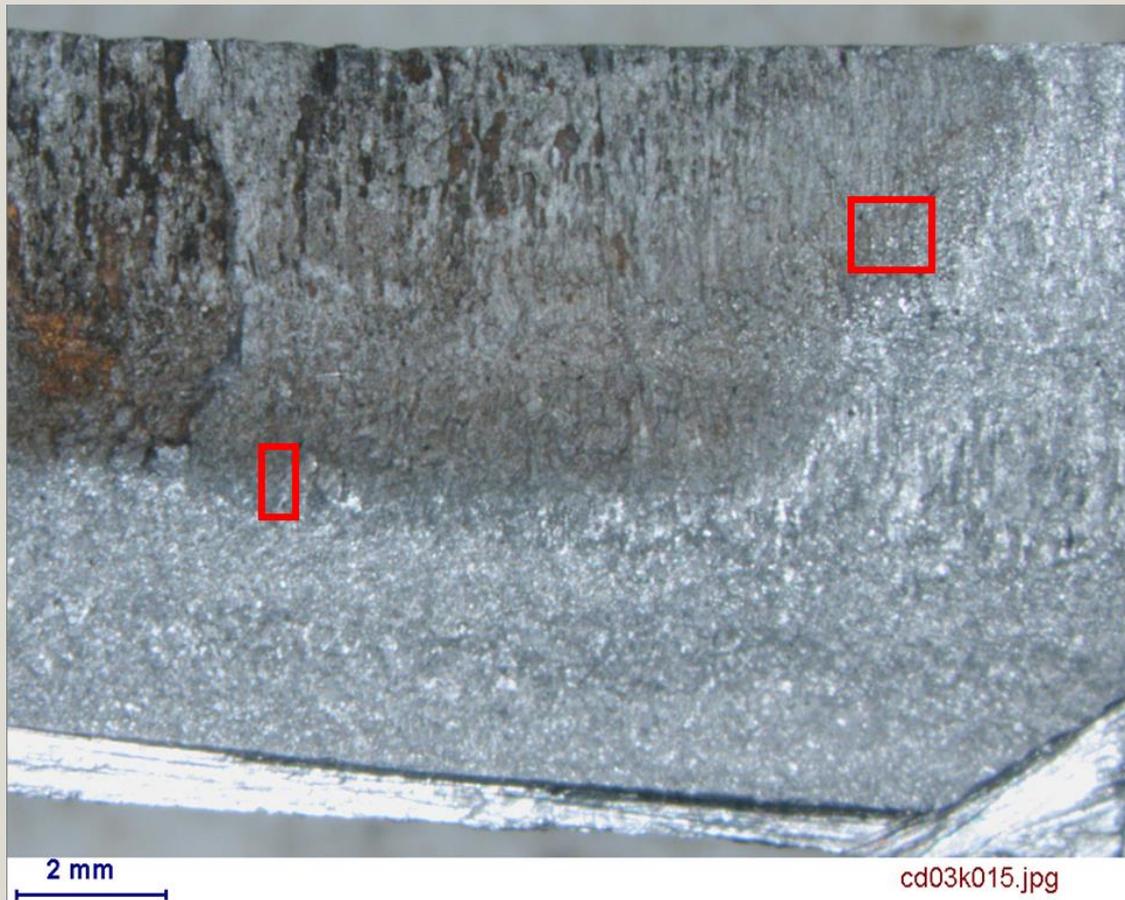


## ENDOX

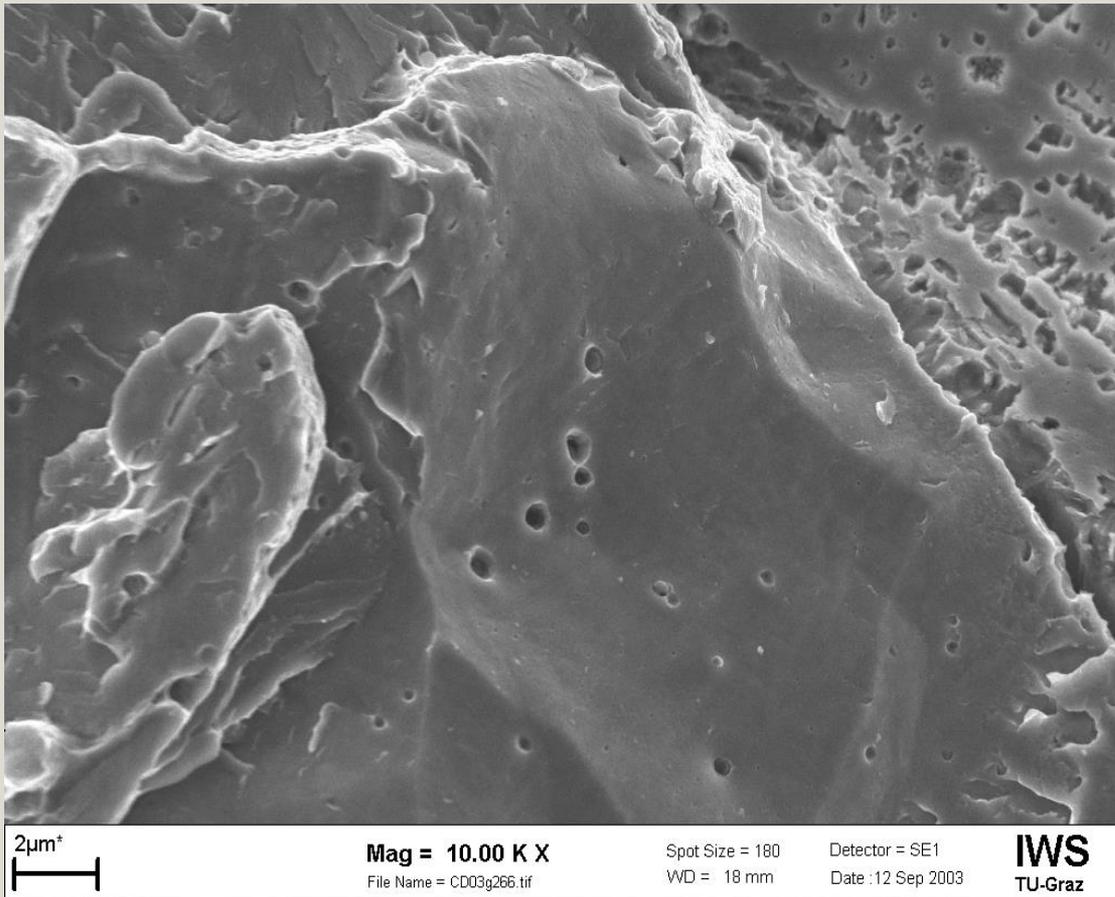


M. Neubauer, S. Poner, and R. Löhberg. Oxidablösung von Bruchflächen Hochlegierter Stähle. *Sonderbände der Praktischen Metallographie*, pages 195-202, 1982.

## GEREINIGTE BRUCHFLÄCHE, 12X30S ENDOX

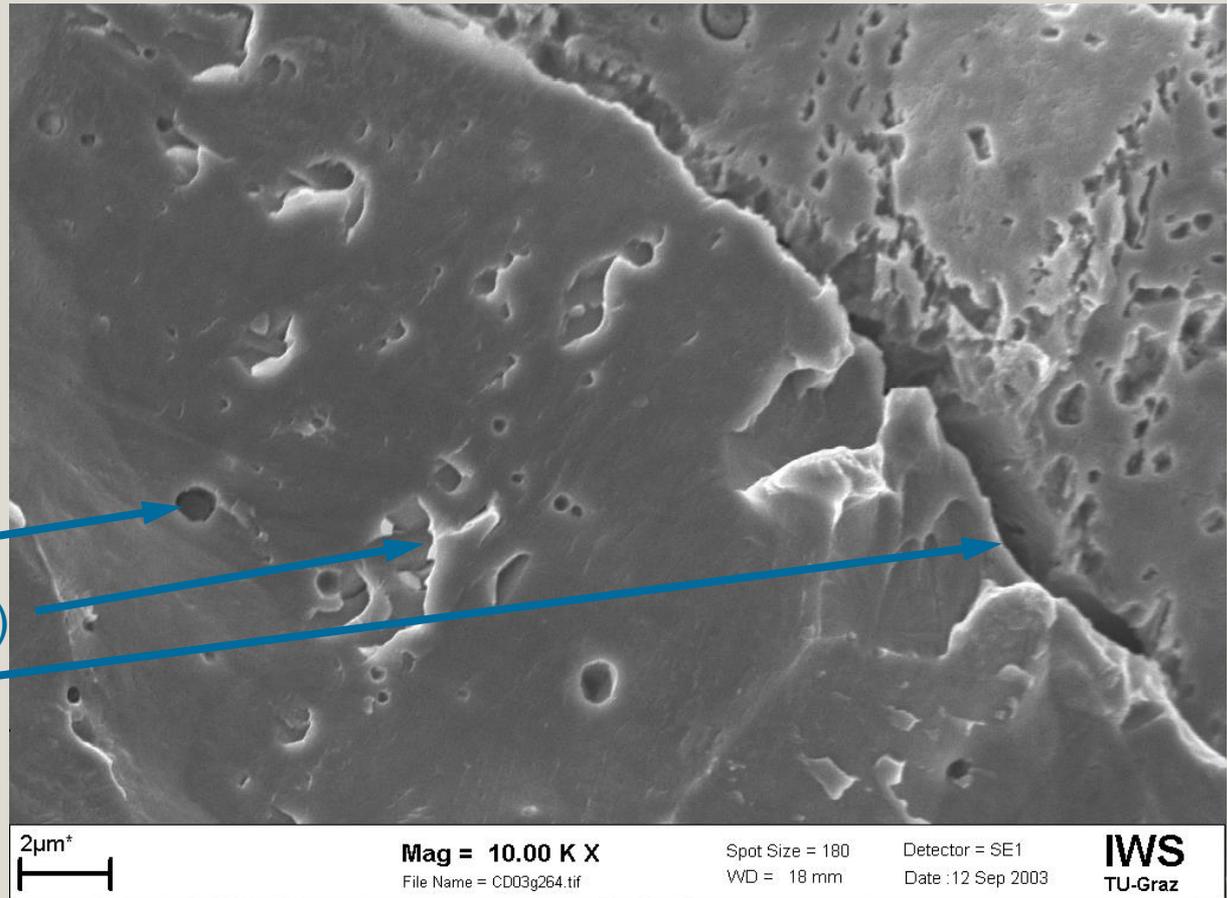


## OFFENER RISS NACH ENDOX(360S)



## OFFENER RISS NACH ENDOX(360S)

- Wasserstoffentgasungsporen
- Haarlinien (Krähenfüße)
- Offene Korngrenzen



## ZWISCHENERGEBNIS

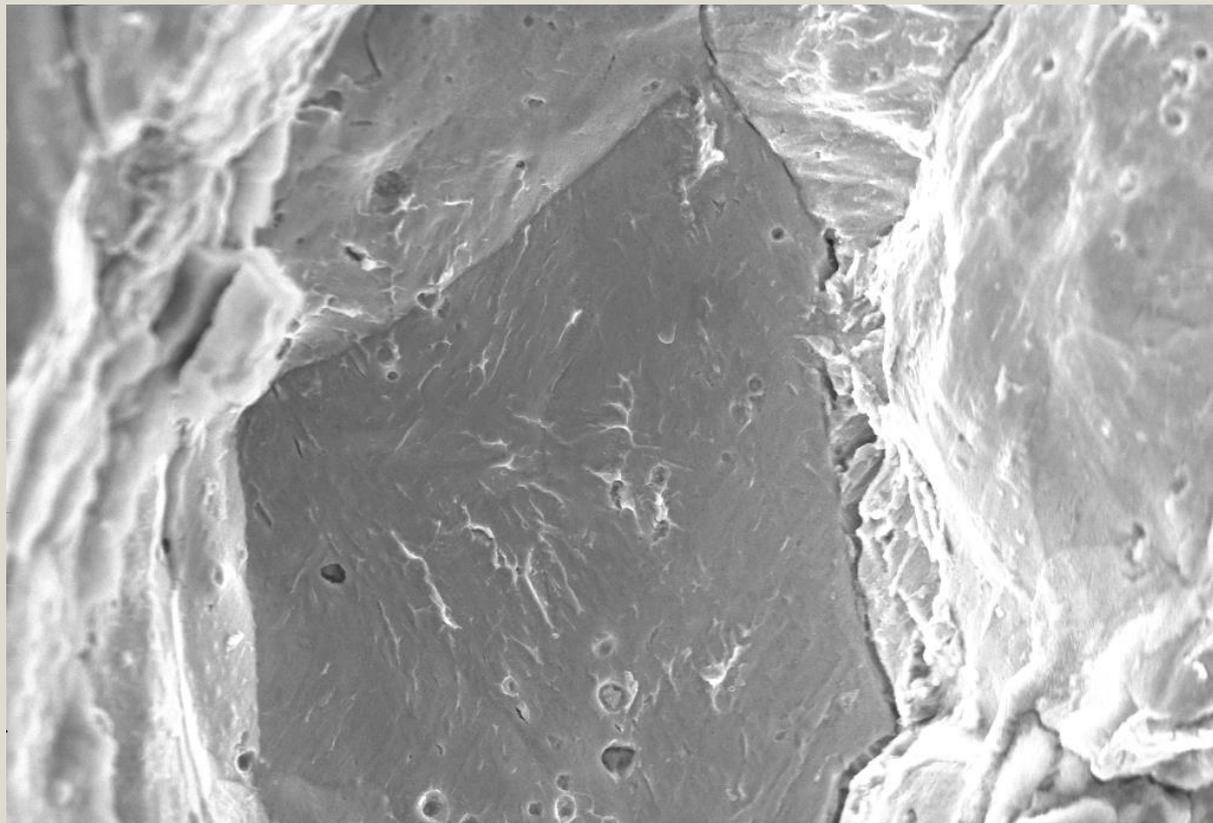
- Literaturrecherche
  - Untersuchung des offenen Risses
- 
- ➔ wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion
  - ➔ wasserstoffinduzierte Kaltrisse

## GESCHLOSSENER RISS, NR. 9





## GESCHLOSSENER RISS



10µm\*



**Mag = 5.00 K X**  
File Name = CD03g219.tif

Spot Size = 276  
WD = 8 mm

Detector = SE1  
Date : 9 Sep 2003

**IWS**  
TU-Graz

## SCHLUSSFOLGERUNG

- Wasserstoffentgasungsporen
- Haarlinsen
- Offene Korngrenzen
- Geschlossener Riss (kein Elektrolyt hat Zugang)
- ➔ Wasserstoffinduzierter Kaltriss
- Mangelnde Sorgfalt bei der Verarbeitung (Schweißen und Prüfen)
- Abhilfemaßnahmen:
  - Einhaltung der Schweißanweisungen
  - Sorgfältige Prüfung durch Dritte entsprechend der Anweisungen

## FOLGEN

- Verwendeter Werkstoff zeigt keine besondere Anfälligkeit
- Für Neubau wurde dennoch ein Werkstoff geringerer Festigkeit verwendet
- Ergebnisse wurden 2005 im Rahmen einer Konferenz diskutiert
- 2013 wurde die 3. Tagung abgehalten

