

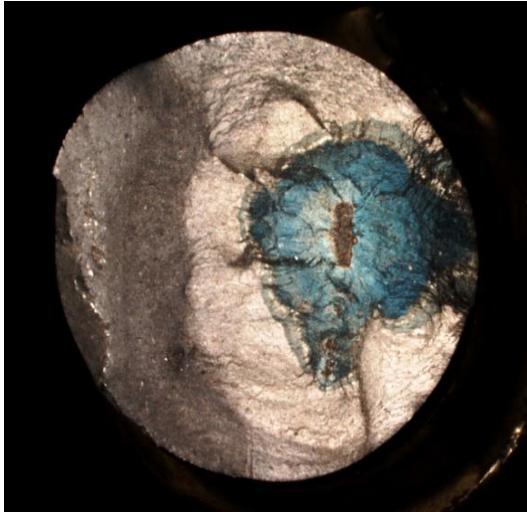
Herr Dr. Klaus F. Stärk zu „Resistometrie mit der Duplex-Potentialsonde (Anriss und Risswachstum)“

04.03.2022 - in News WPT



Einladung zum virtuellen werkstofftechnischen WPT Kolloquium

Herr Dr. Stärk hält am Mittwoch, **dem 23. März 2022 um 13 Uhr** einen Vortrag. Er ist Experte auf dem Gebiet der mechanischen Werkstoffprüfung mit dem Fokus auf Thermometrie und Resistometrie. Das WPT lädt alle Interessierten herzlich zum Vortrag und der anschließenden Diskussion ein. Eine Teilnahme ist unter folgendem Link möglich: <https://tu-dortmund.webex.com/tu-dortmund/j.php?MTID=mde2d7d638ff429cee27c36c681ce492a>



Resistometrie
Widerstandsmessung



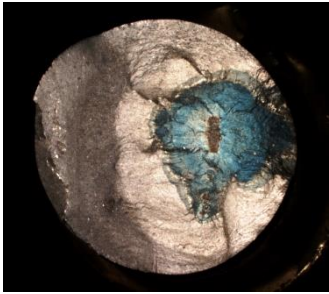
Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum

TU-Dortmund 23. März 2022

**Lehrstuhl für Werkstoffprüftechnik (WPT)
Prof. Frank Walther**

**Dr.-Ing. Klaus F. Stärk
Untersiggenthal/Schweiz**



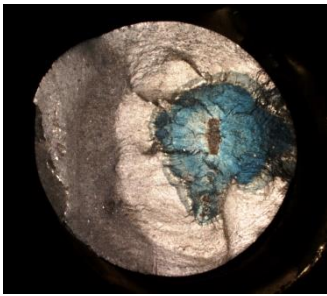
Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



Gliederung

1. Messtechnik
2. Risswachstum
 - zügig (Bruchzähigkeit)
 - zyklisch (Ermüdung)
 - zyklisch (Korrosionsermüdung)
3. Anrissbildung
 - glatt (thermal fatigue)
 - glatt (thermal gradient fatigue)
 - gekerbt
 - an Fehlstellen
4. «Zusammenfassung»
5. Ihre Fragen, meine Fragen



Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum

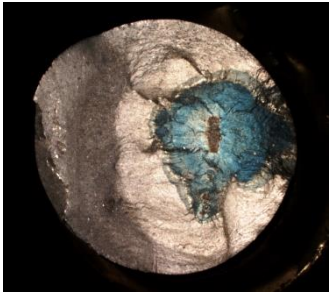


Gliederung

1. Messtechnik

Die Bedeutung der Messtechnik an unserem Wissenszuwachs ist enorm, s.

- Physik, Astrophysik, Medizin, Chemie etc.
- Umwelttechnik (Luft, Boden, Wasser)
- Gesundheitswesen (CT, MRT, US etc.)
- Signalverarbeitung (Funk, Verschlüsselung)
- Signalanalyse (Streuung, Statistik)



Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



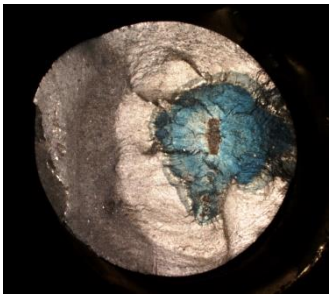
Zielsetzung

- Ermüdungsrisswachstumsmessung
 - Bei -50 °C bis 1000 °C
 - Auflösung **Ziel** ± 0.01 mm
- Widerstands- und Temperaturmessung

= Duplex-Potentialsonden-Entwicklung

1990: Einkanal DUPLEX (Quick-Basic)

2005: Vierkanal Adv. DUPLEX (LabView)



Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



Zielsetzung

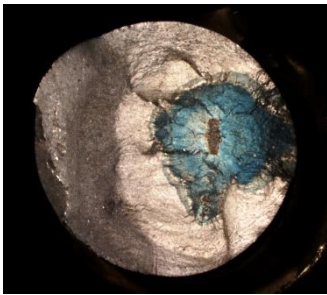
Duplex-Potentialsonde

Vorverstärker + AD-Wandler + Umpolung

2000-fach x **16 Bit** x **2** ≈ 28 Bit

Messwertanalyse:

- Ca. 1000 Messungen in jeder Stromrichtung
- Strommessung und Korrektur mit shunt
- Temperaturmessung und Korr. mit TE Typ K
- Statistik (Streuung, Ausreisser eliminieren)



Duplex-Potentialsonde

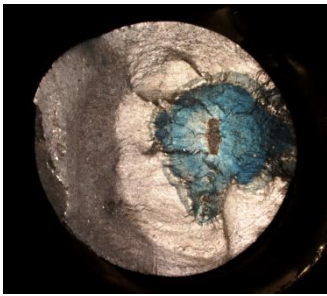
Anriss und Risswachstum



DUPLEX Potentialsonde mit
Stromumkehr (DC/AC)

→ Widerstandsmessung

- → Umpolung= gleicher Strom in beiden Richtungen
- → Umpolung= gleicher magnetisch/elektrischer Zustand
- → Umpolung= gleicher thermischer Zustand
- → Umpolung= halbe Strombelastung Probe und Leitungen
- → Präzisionswiderstand (shunt) zur Strommessung
- → Kontaktierung z.B. mit Bolzenschweissungen M3 bzw. M5



Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum

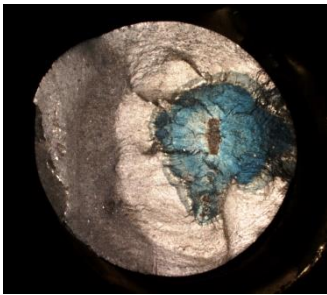


DUPLEX Potentialsonde mit
Stromumkehr (DC/AC)

→ Widerstandsmessung

- $R = f$ (Risslänge) → Ziel
- $R = f$ (Probengeometrie) → kalibrieren
- $R = f$ (Material) → $R/R_0 = f(a/W)$
- $R = f$ (Temperatur) → $R/R_0 = f(T)$
- $R = f$ (Spannungsverteilung) → eliminieren
- $R = f$ (Rissflächenkontakte) → bewerten

**Mit elektrisch isolierten Einspannungen der
(bzw. aller) Belastungseinrichtungen !!**

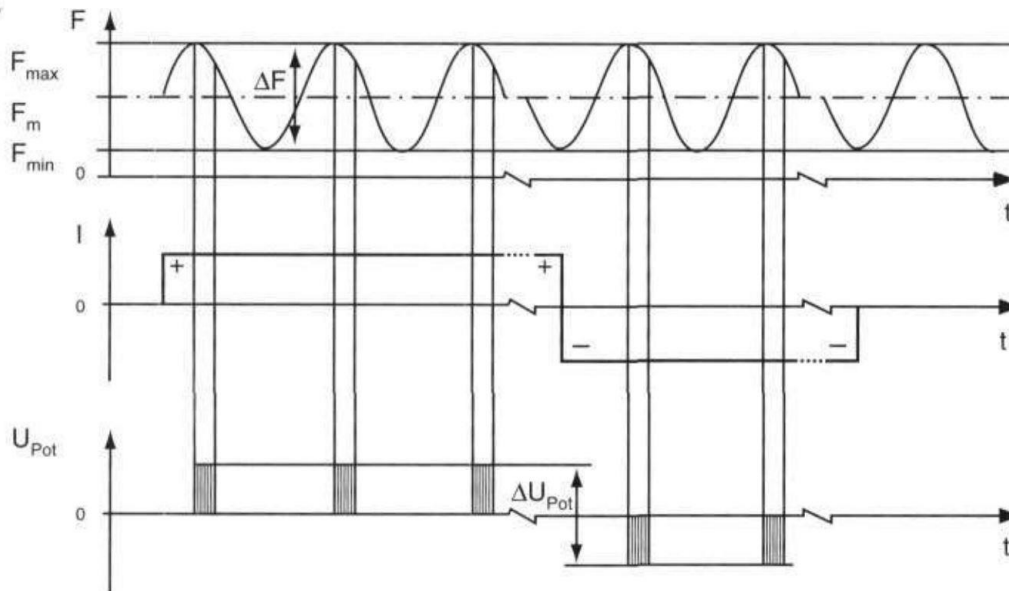


Duplex-Potentialsonde

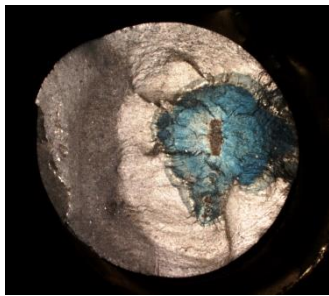
Anriss und Risswachstum



Duplex-Potentialsonde
DC/AC-Sonde



- ➔ Gleichstrom DC (1÷15 A)
- ➔ Umpolung "AC"
- ➔ Triggern= f (Kraftsignal)
(bei max. Rissöffnung)
- ➔ Messungen (100÷2000)
(auf Resonanzpulser 1x/Zyklus)



Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



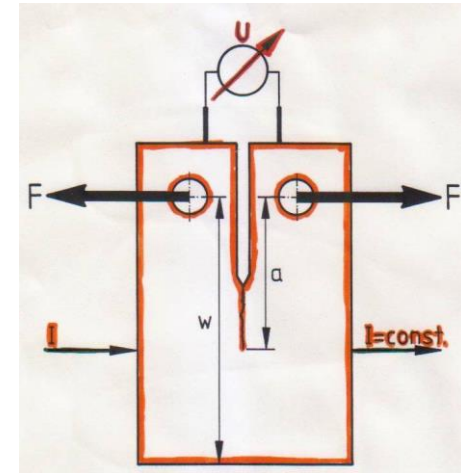
A/D-Wandler
D/A-Wandler
Relais

Modulares
Interface-
System
(MIS)

ABB-Spezial-
Vorverstärker
(2000x)



Konstant-
stromquelle
(Kepco)



DUPLEX 1-Kanal 1990

DMS-Clip

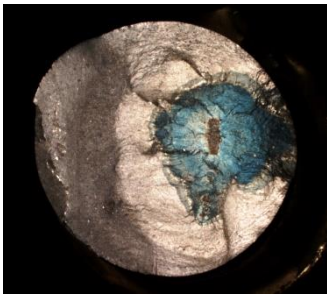
CT1-Probe



Bild 4: Die bipolare Stromquelle BOP 20-20M von Kepco

DCB-Probe
(double cantilever beam)

- ➔ Ermüdungsrisswachstum
- ➔ Spannungsrisskorrosion

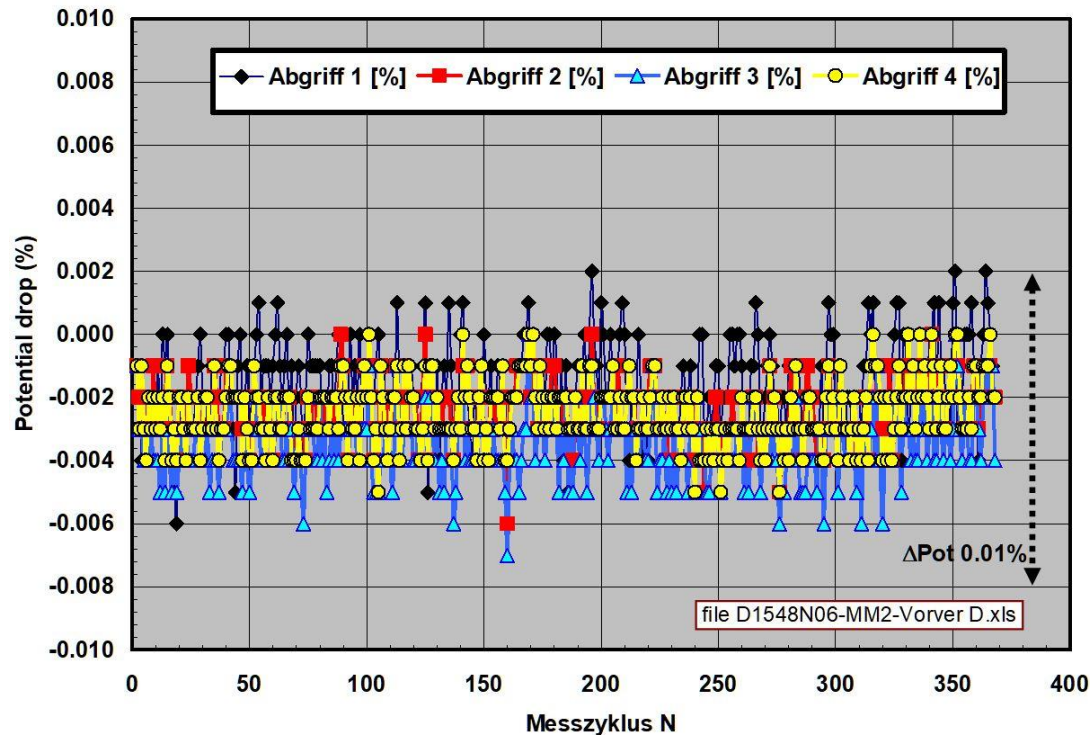


Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



Potentialstreuung Adv. Pot. Drop
4-fach Messverstärker Nr. 5, Probe MM2
Versuch D, Messrate 10kHz



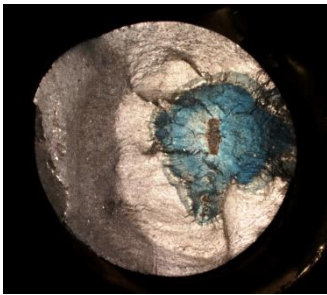
Streuungs-messung mit Advanced Potentialsonde an Probe MM2

Streuung !

- 4 Kanal DUPLEX

- Achsen !

Advanced DUPLEX 2005
4-Kanal und mit LabView



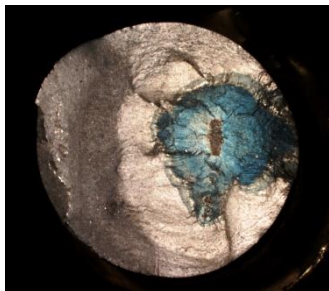
Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



Gliederung

1. Messtechnik
2. Risswachstum (Anwendungen)
 - zügig (Bruchzähigkeit)
 - zyklisch (Ermüdung)
 - zyklisch (Korrosionsermüdung)
3. Anrissbildung
 - glatt (thermal fatigue)
 - glatt (thermal gradient fatigue)
 - gekerbt
 - Fehlstelle
4. «Zusammenfassung»
5. Ihre Fragen, meine Fragen

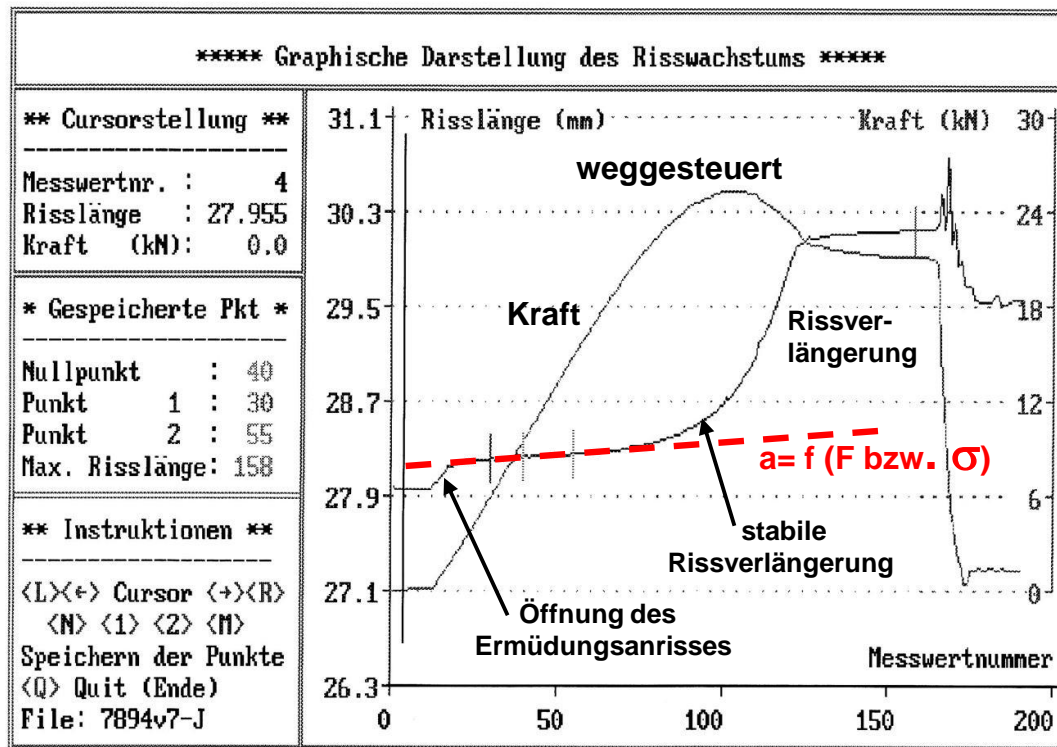


Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum

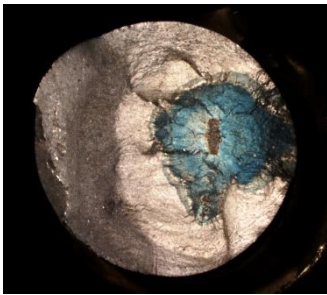


Bruchzähigkeitsmessung auf Servohydraulik an 1"-CT



1"-CT-Probe (ohne Seitenkerben)





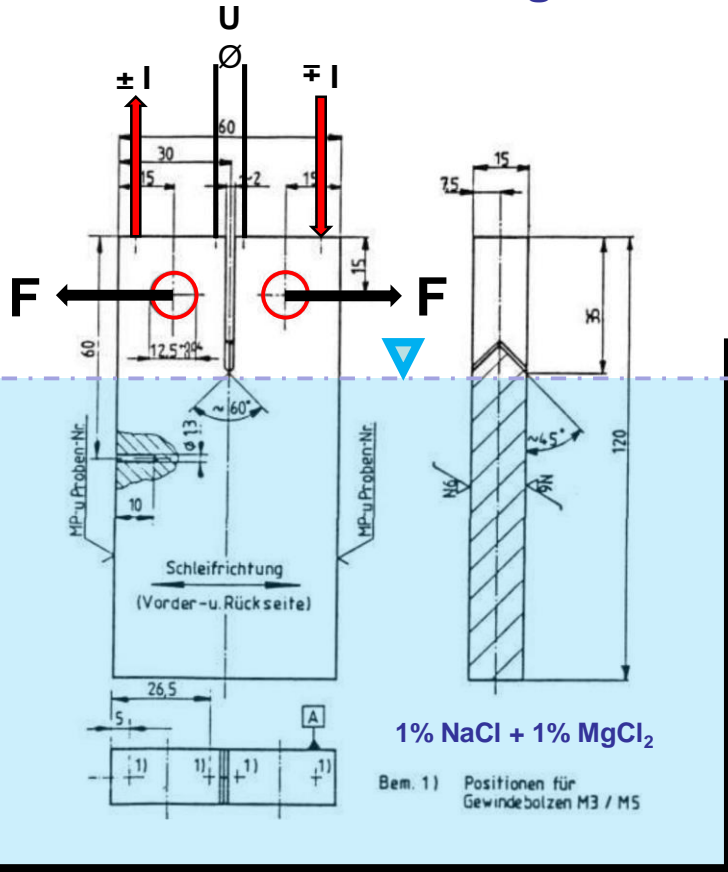
Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



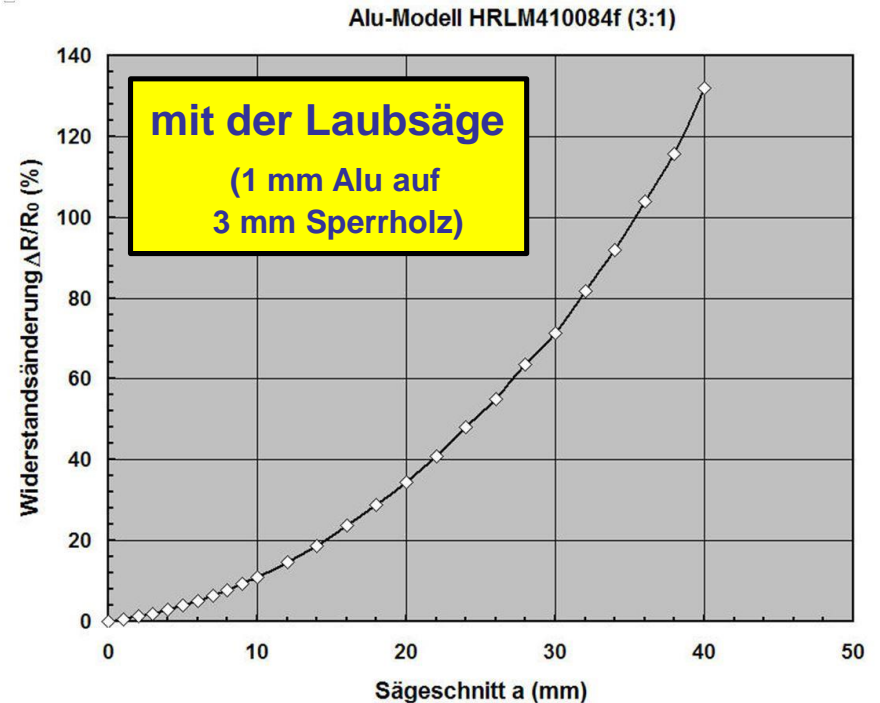
DCB-Probe
(double cantilever beam)

Korrosionsermüdung

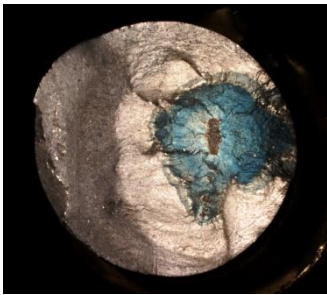


Ermüdungsrisswachstum

Probenkalibrierung $\Delta R/R_0 = f(a)$



: Change of specimen resistance over saw cut length (scale 3:1)



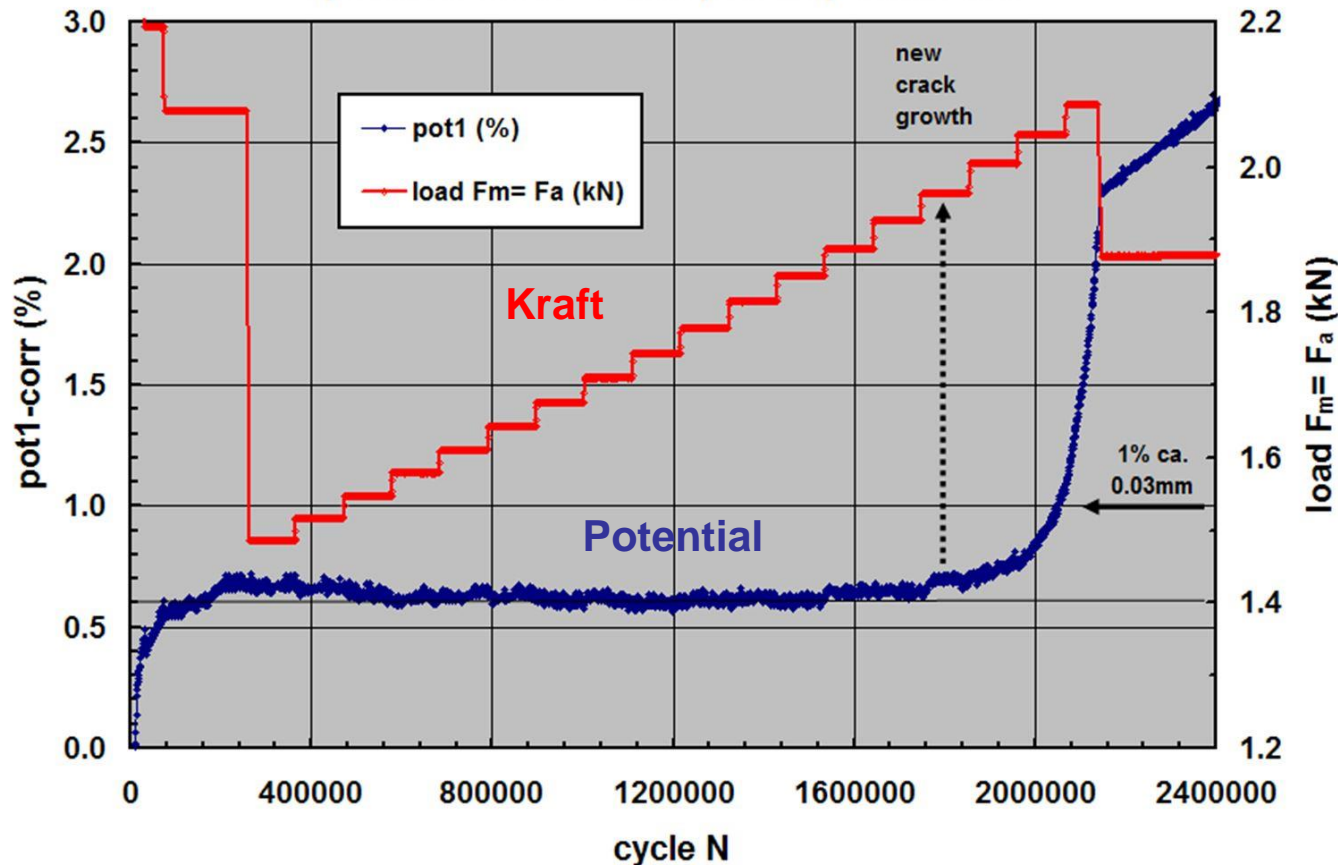
Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum

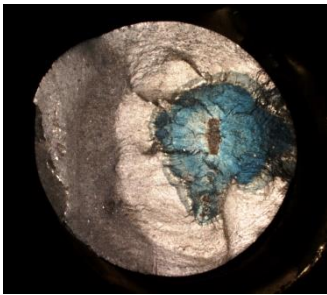


Ermüdungsprüfung auf Resonanzpulser

specimen 13c R= 0 with pot. drop correction



Laststeigerungs-
verfahren
(LSV= LIT)
an einer Probe
mit Anriss und
hoher Vorbe-
lastung (R= 0)



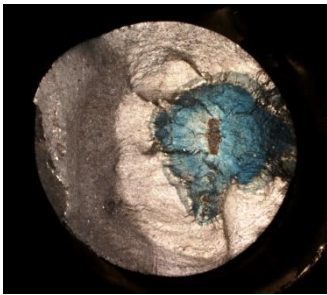
Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



Gliederung

1. Messtechnik
2. Risswachstum
 - zügig (Bruchzähigkeit)
 - zyklisch (Ermüdung)
 - zyklisch (Korrosionsermüdung)
3. Anrissbildung (Anwendungen)
 - glatt (thermal fatigue)
 - glatt (thermal gradient fatigue)
 - gekerbt
 - an Fehlstellen
4. «Zusammenfassung»
5. Ihre Fragen, meine Fragen

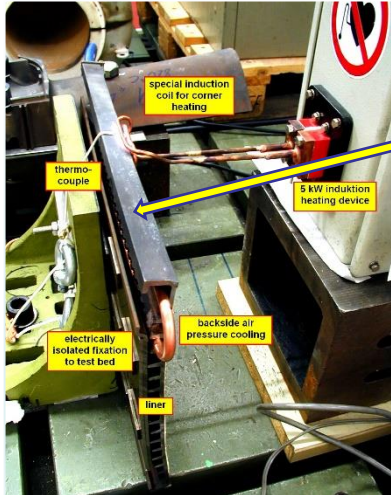


Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



Anrissbildung thermal fatigue TF

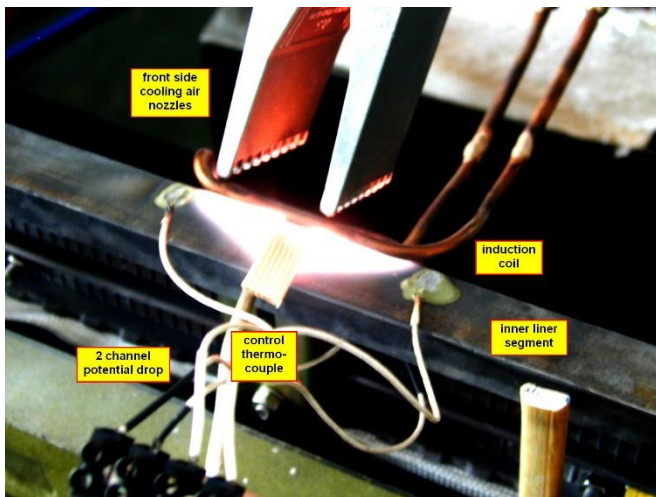
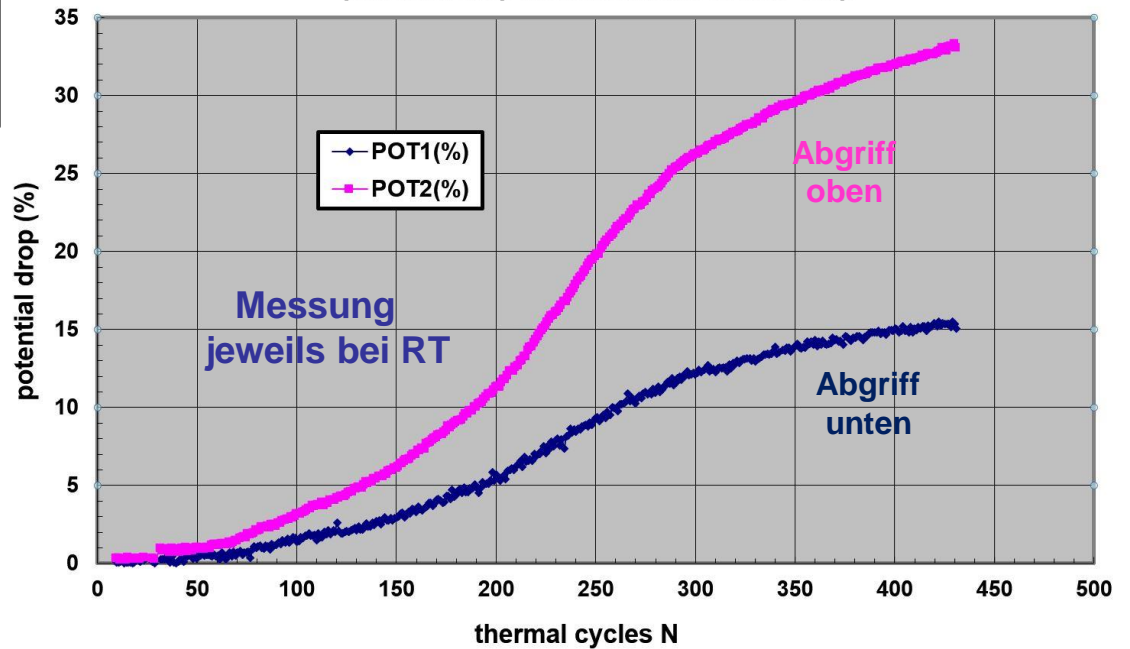


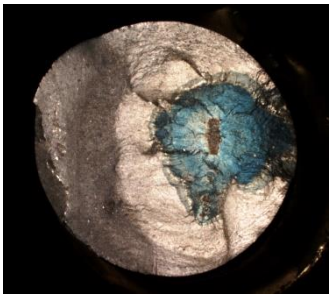
Hitzeschutzschild GT-Liner (Nickel-Basis-Guss)
RT ÷ 900 °C, Induktionsheizung + Pressluftkühlung

Vergleich:

- neu
- aus Betrieb
- reparatur-geschweisst

pretest TF liner with induction heating and forced air cooling
potential drop measurements at side strip





Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum

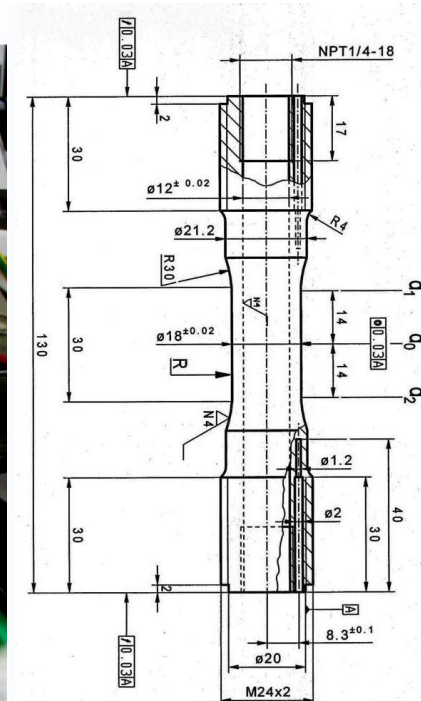
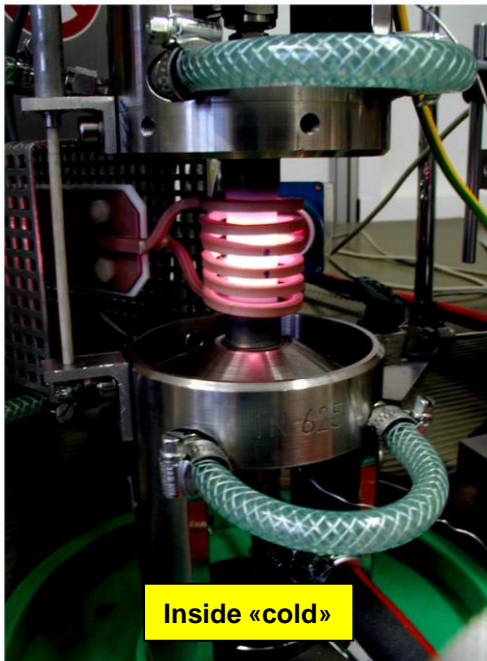


Anrissbildung thermal gradient fatigue TGF

HF-Induktionsheizung
+
Wasserkühlung

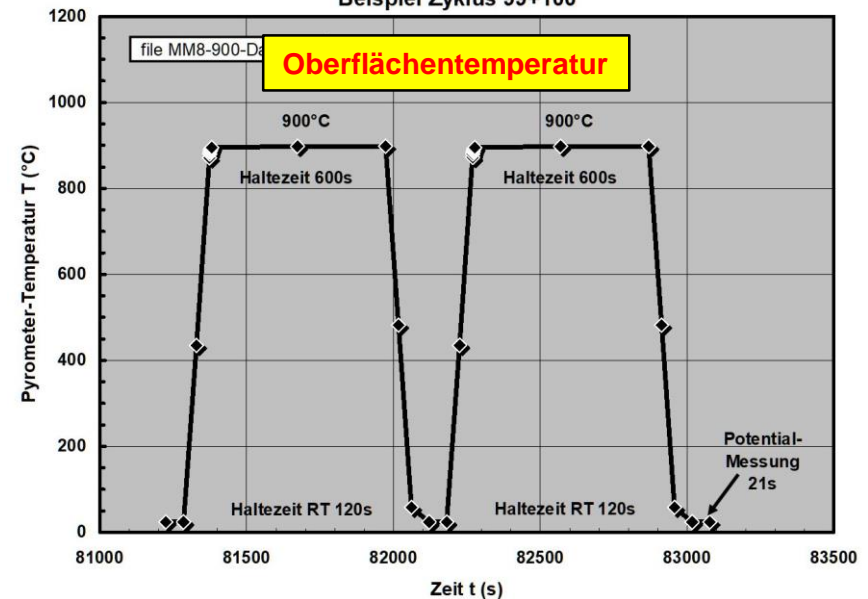
Hohlprobe (Nickel-Basis-Guss)
mit innerer Deionat-Kühlung
Temperaturgradient ca. 200 K/mm
(3-Jahres-Entwicklungsprojekt)

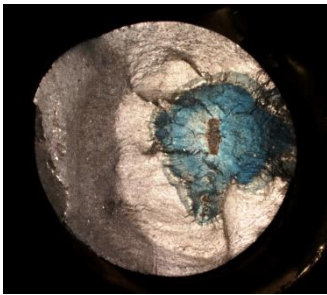
➔ Radialer Gradient



RT - 900 °C, HZ 10 min

Dauerversuch Probe MM8
Beispiel Zyklus 99+100





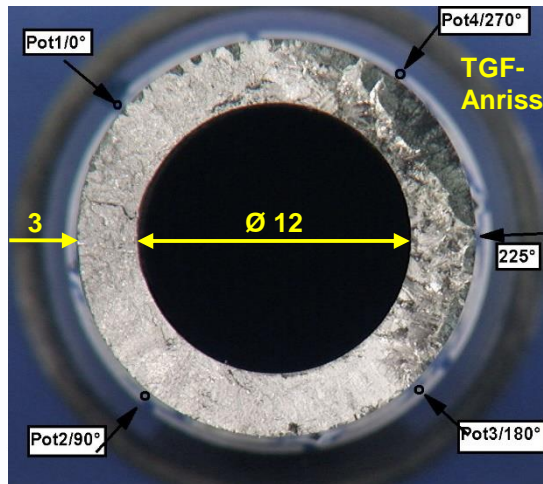
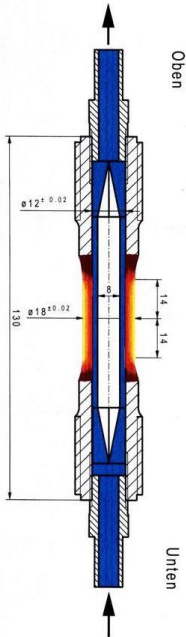
Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



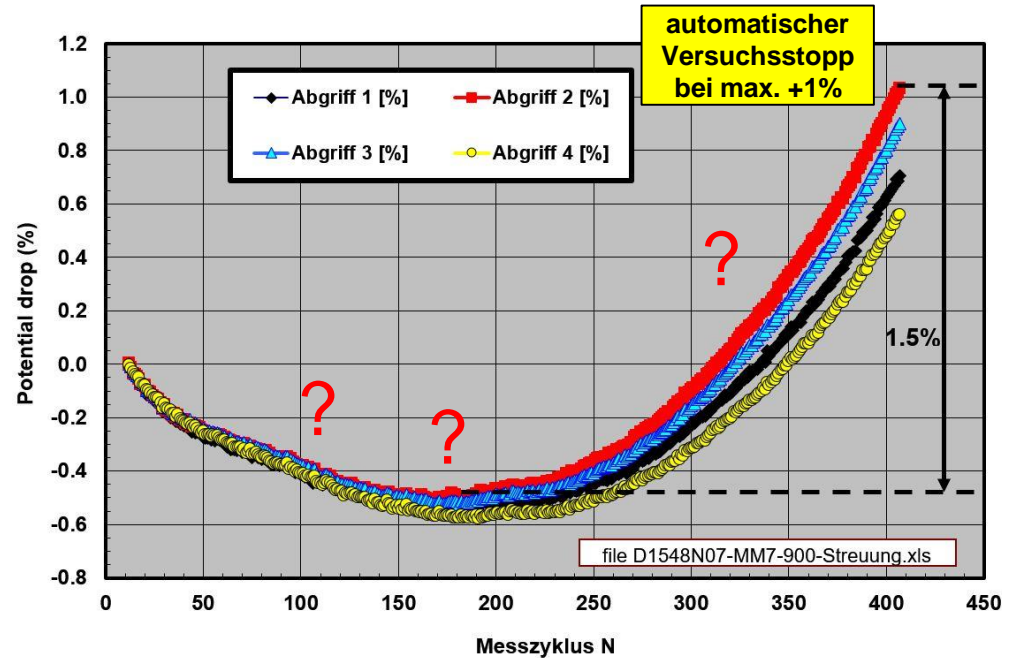
Anrissbildung thermal gradient fatigue TGF

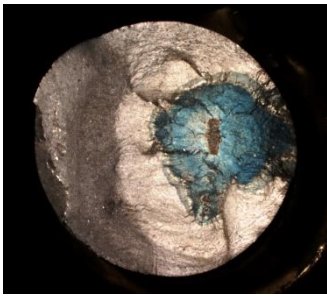
Hohlprobe mit Insert «Torpedo»
 Deionat-Strömung mit 17 l/min
 4 Potentialsondenabgriffe a.d.U.
 Messungen bei RT !!
Kein Durchriss erlaubt !!



Inside "cold"
Kein Durchriss !!

Potentialstreuung Adv. Pot. Drop
 4-fach Messverstärker Nr. 1, Probe MM7
 Hauptversuch ohne Last





Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



Anrissbildung an Kerben

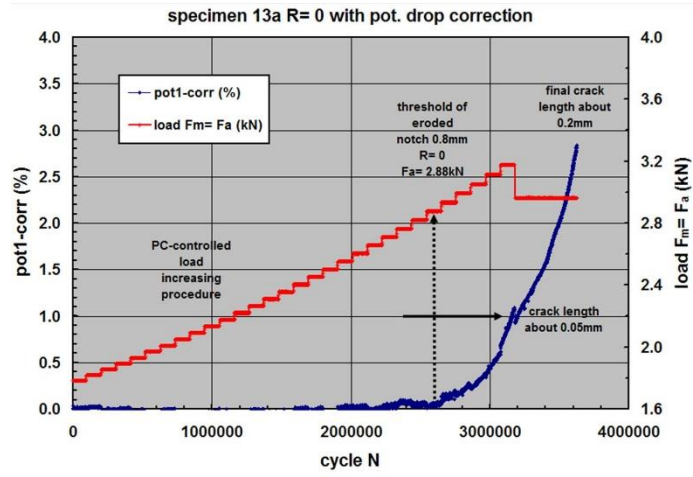
LCF-Prüfung mit Doppelkerbprobe und Kerbradien 0.5 bis 4 mm

- Nennquerschnitt A = 54 mm²
 - Die evtl. notwendigen Zentrierbohrungen sollen DIN 532-A-2.5x5.3 sein
 - Kerbfertigung: 1. ø20 drehen, 2. Kerbe als Umfangskerbe drehen (Profilstahl), 3. bei Kerbform C Kanien brechen, 4. Einsteiche R0.1 drehen, 5. R15 fräsen oder erodieren.
 - Rohling 23 mm x 23 mm x 135 mm oder ø23 x 135mm (notfalls 115mm Länge)
 - 1) Probennummerierung durch Schlagzahlen 2mm beidseitig auf den Stirnseiten zwischen ø6 und ø11
 - Fertigung der beiden Gewinde und ø20 in einer Aufspannung, dann Einspannende abstechen

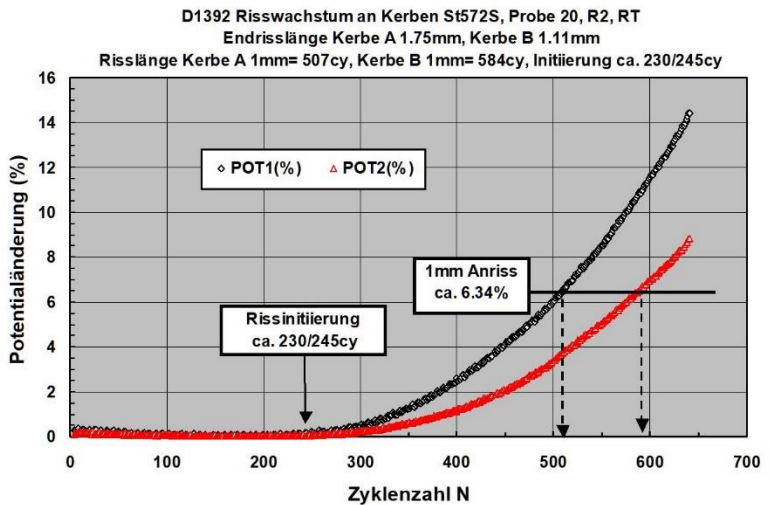
Kerbform	A	B	C	D
Kerbradius R [mm]	0.5	1	2	4
Kerbfaktor Kt (3D)	3.26	2.08	1.84	1.51
Position Einstich [mm]	2.5	3	4	6

Bemerkungen:
 Gezeichnet: V. Kühle
 Geprüft: K. Stärk
 Datum: 28.06.05
 Freigegeben: T. Heinz-Schwarzmaier

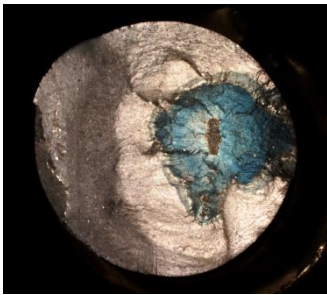
ALSTOM LCF - Kerbprobe M22x1 mit Zusatzeinstichen HRLM 410 084a



HCF-Prüfung mit Laststeigerungsverfahren LSV



LCF-Prüfung Probe mit Doppelkerbe

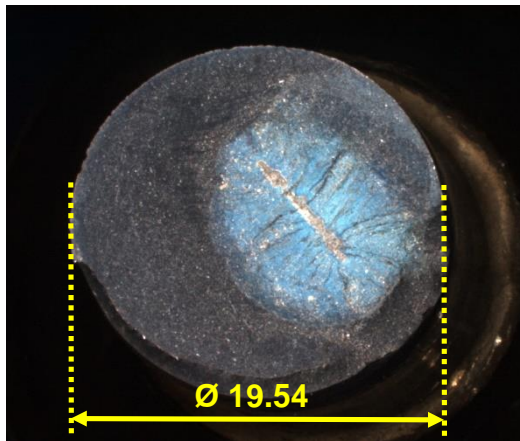


Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



Anrissbildung an künstlichen Fehlstellen



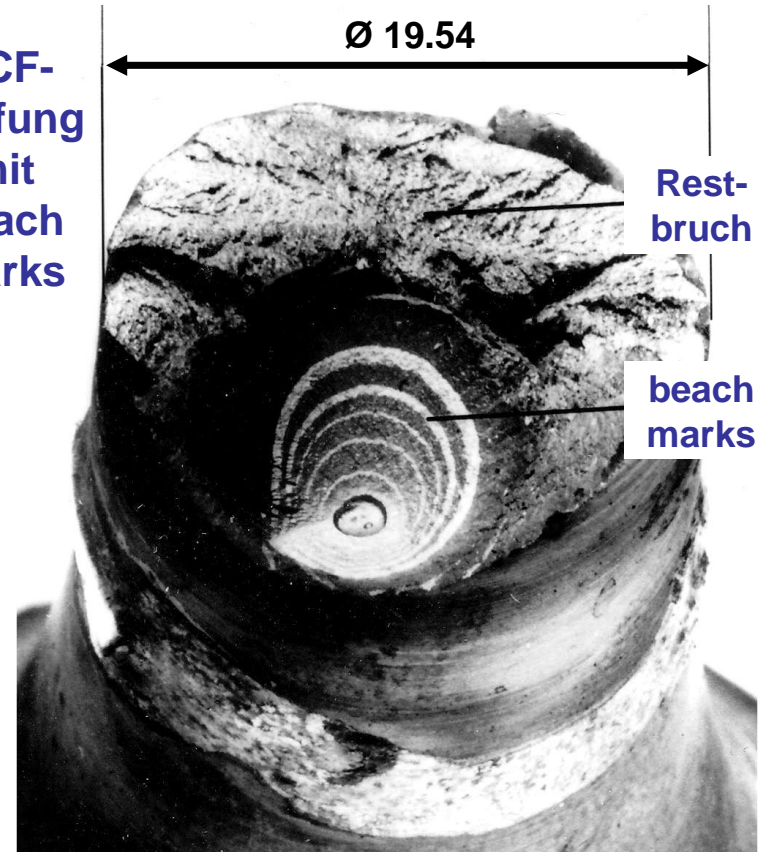
HCF-
Prüfung
mit heat
tinting

HCF-
Prüfung
mit
beach
marks

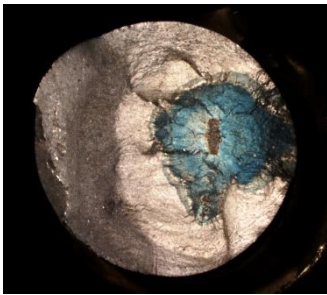
Grossproben
M52x2 aus
Versuchs-
schweissung
300 mm²



HCF-
Prüfung an
Schweiss-
poren



Leider keine Messungen
mehr zugänglich ☹️



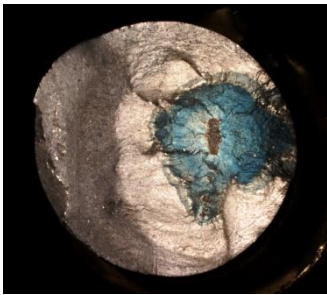
Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



Gliederung

1. Messtechnik
2. Risswachstum
 - zügig (Bruchzähigkeit)
 - zyklisch (Ermüdung)
 - zyklisch (Korrosionsermüdung)
3. Anrissbildung
 - glatt (thermal fatigue)
 - glatt (thermal gradient fatigue)
 - gekerbt
 - an Fehlstellen
4. «Zusammenfassung»
5. Ihre Fragen, meine Fragen



Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum

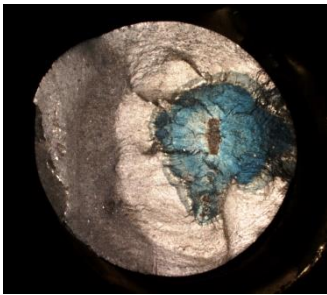


«Zusammenfassung»

- ☹ Habe leider keinen Zugriff mehr auf PCs, Datenbanken von BBC, ABB und Alstom
- ☹ Zentral-Labor wurde von **GE** geschlossen
- ☹ DUPLEX-Entwicklung war 1990 ff
- ☹ Gemessen werden Widerstandsänderungen
- ☺ Geht heute besser!
- ☺ Königsdisziplin ist die Bauteilprüfung!
- ☺ Zum Thema: s. Hobby-Homepage

www.staerk-erdwaerme.ch

unter «Berufliches» Vorträge und Veröffentlichungen [8-11, 17, 22-25, 27, 32, 39]



Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



«Todesanzeige»

Traurig und mit schwerem Herzen nehmen wir Abschied vom

Zentrallabor ZL Baden

1. November 1980 – 31. Januar 2020

Mit den Kindern ZLC Chemie
 ZLK Kunststoffe
 ZLM Metalle
 ZLP Physik und Werkstatt

Das schweizweit bekannte Labor vom „Familienbetrieb“ BBC („Badener Bastel Club“) wurde durch Klimaänderungen mit ASEA zum Labor der ABB („Alle Blöde Bliebet“), kam durch Notverkauf zu Alstom („Maschin‘ kaputt, Reparatur Paris“) und nun wurde amerikanisch durch Allgemeine Elektrizität die Todesstrafe vollstreckt.

Mit grossem Bedauern: *Klaus, Gerhard, Josef, Ulrich, Arnd, Elsa, Luzia, Wilfried, Patrick, Marlene, Brendon und viele ehemalige Kolleginnen und Kollegen. Aus der anderen Welt bedauern Karl-Heinz, Guy, Helge, Claus, Carlo und Klaus. Es galt im Labor immer:*

Was wichtig ist, kommt wieder. Die Hoffnung stirbt zuletzt.

Nun ist sie gestorben!

Alstom



ABB



BBC



1980



-



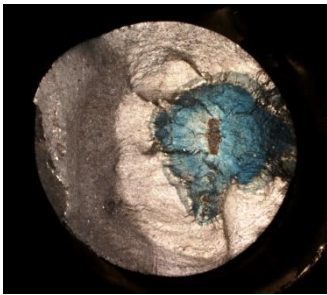
2008

-



2015

GE



Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



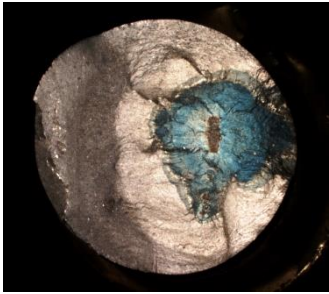
Gliederung

1. Messtechnik
2. Risswachstum
3. Anrissbildung
4. «Zusammenfassung»
5. Ihre Fragen, meine Fragen

Ist Ihnen was aufgefallen?

Es war nie die Rede von einer

Materialveränderung !!



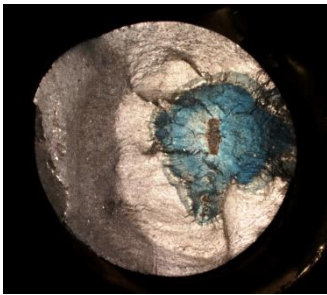
Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



Gliederung

1. Messtechnik
2. Risswachstum
 - zügig (Bruchzähigkeit)
 - zyklisch (Ermüdung)
 - zyklisch (Korrosionsermüdung)
3. Anrissbildung
 - glatt (thermal fatigue)
 - glatt (thermal gradient fatigue)
 - gekerbt
 - an Fehlstellen
4. «Zusammenfassung»
5. Ihre Fragen, meine Fragen

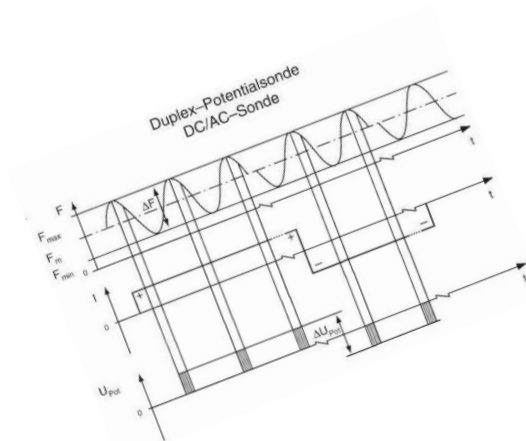


Duplex-Potentialsonde

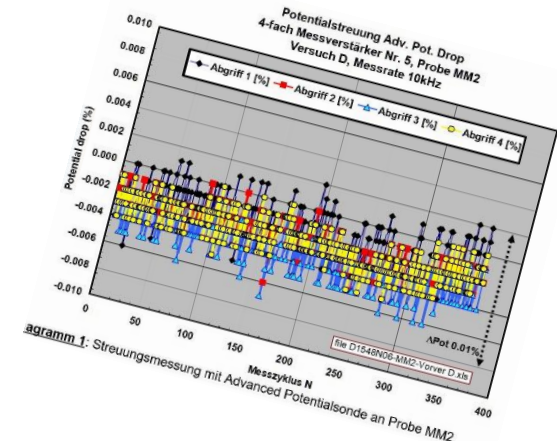
Anriss und Risswachstum



Vielen Dank!



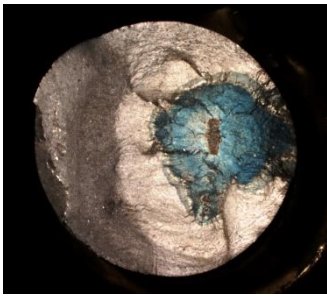
Fragen?
Anregungen?
Beiträge?



ES GIBT NICHT NUR PROBLEME, ES GIBT LÖSUNGEN !!

Dr.-Ing. Klaus F. Stärk
Untersiggenthal/Schweiz

klaus.staerk@swissonline.ch
www.staerk-erdwaerme.ch



Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum

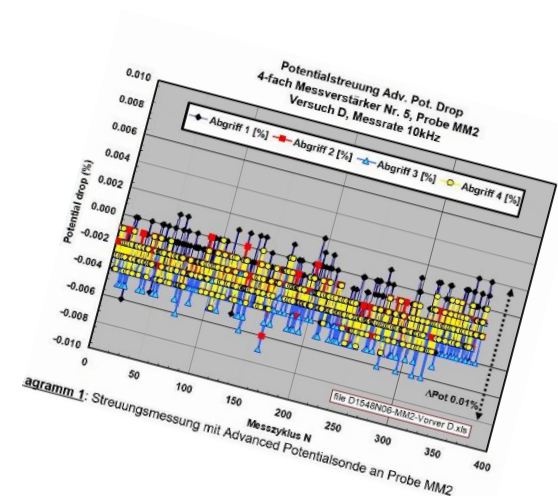
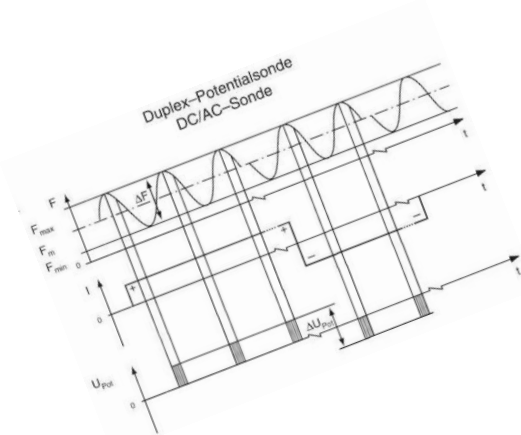


Vielen Dank!

Fragen?

Anregungen?

Beiträge?

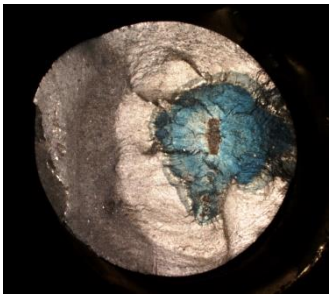


pdf + Videoaufzeichnung
unter «Berufliches»

Ab nächster
Woche

Dr.-Ing. Klaus F. Stärk
Untersiggenthal/Schweiz

klaus.staerk@swissonline.ch
www.staerk-erdwaerme.ch



Duplex-Potentialsonde

Anriss und Risswachstum



Vielen Dank!

Kein Physiker

Fragen?

Maschinenbauer

Kein Elektroniker !!

Anregungen?

Versuchingenieur

Beiträge?

Nun sind Sie dran !!

Dr.-Ing. Klaus F. Stärk
Untersiggenthal/Schweiz

klaus.staerk@swissonline.ch
www.staerk-erdwaerme.ch