

## Ermüdung an einer Einspritzleitung (KKW Greifswald)

Im Kernkraftwerk Greifswald wurden vier Blöcke betrieben, deren Leistung jeweils auf 440 MW ausgelegt war. Anlässlich einer Dichtheitsprobe im Jahre 1984 wurde ein Riss an einer Einspritzleitung gefunden, welche zum Primärkreislauf gehörte. Der Riss war umlaufend an der Innenseite gestartet und mit einer Länge von 40 mm zur Außenwand durchgetreten. Die Risslage war dadurch gegeben, dass die Wanddicke innenseitig auf die Hälfte geschwächt worden war. Somit lag eine konstruktive Kerbe vor.

Der Reaktor war 1975 in Betrieb gegangen und vier Jahre später erstmalig gründlich untersucht worden (mit Druckprobe). Eine weitere Inspektion erfolgte 1983.

Technische Daten:

Stahl:	X8CrNi18-10
Wanddicke:	8 bzw. 4 mm
Betriebstemperatur:	325 °C
Laufzeit:	10 Jahre

Zehnmal am Tag sinkt die Temperatur durch Wassereinspritzen um 60 °C.

Die Anlage war bis dahin ungefähr dreißig mal abgefahren. Dabei verminderte sich die Temperatur jeweils um 100 °C.

Für die fraktographische Untersuchung wurde ein Bereich aufgebrochen, in dem der Riss die Wand halb durchlaufen hatte.

Zwei Bereiche wurden untersucht:

- Risseinlauf
- Übergang zum Restbruch.

Im Risseinlauf war die Bruchfläche weitgehend durch Korrosion zerstört worden; nur vereinzelt fanden sich intakte Bruchfelder, wie es in (Bild 1) zu sehen ist.

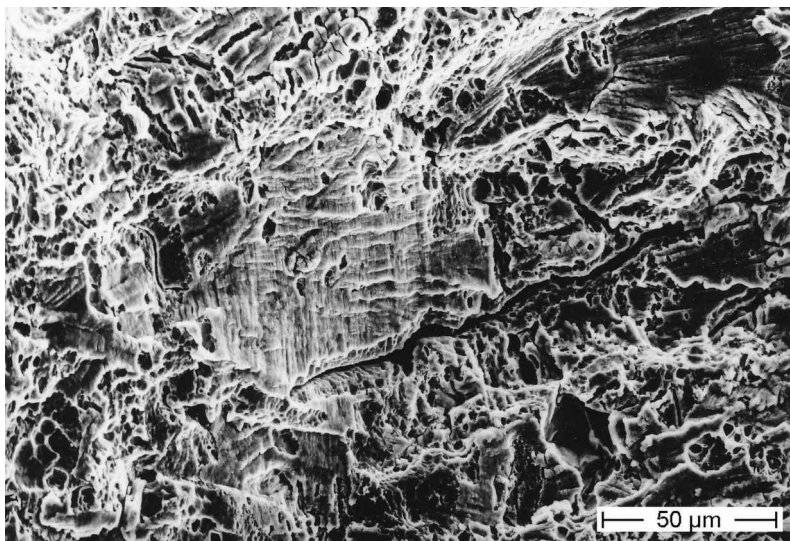


Bild 1:  
zwei Bruchfelder  
erhalten  
(mittig und rechts  
oben)

Bei höherer Vergrößerung wird eine Querstreifung sichtbar (Bild 2).

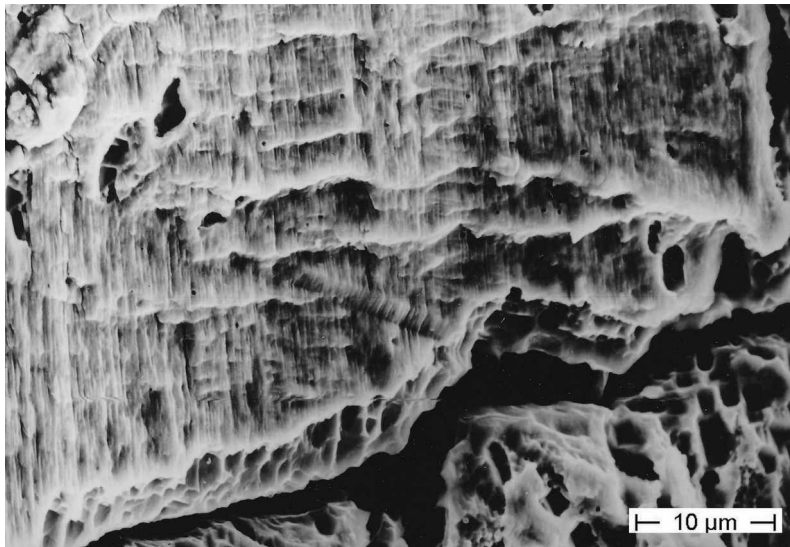


Bild 2:  
Bruchbahnen mit  
Querstreifung  
(Ausschnitt aus Bild 1)

Verschiedentlich sind die Bruchbahnen geradflächig ausgebildet, d. h., sie orientieren sich am Kristallgitter. Die Breite der Streifen beträgt  $0,2\ \mu\text{m}$ , was die Grenze der Erkennbarkeit darstellt (Bild 3).

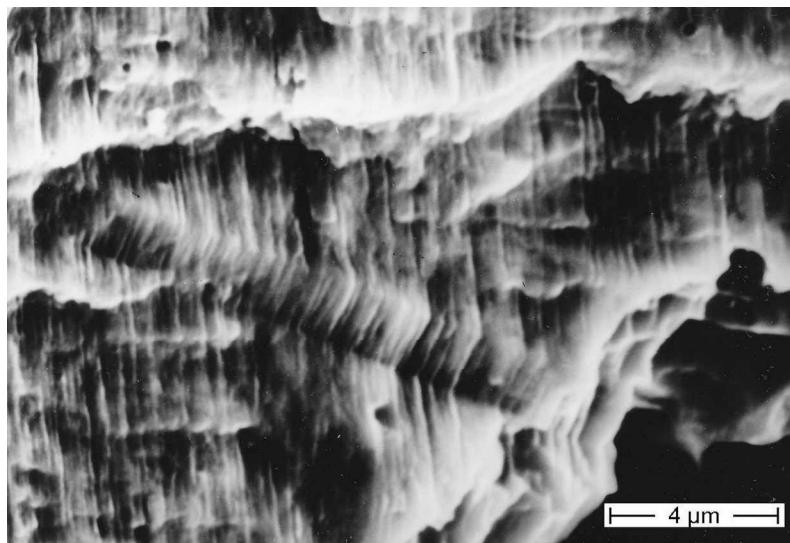


Bild 3:  
kristallographisch  
orientierte  
Bruchbahnen  
(Ausschnitt aus Bild 2)

Am Übergang zum Restbruch sind die Bruchstrukturen erwartungsgemäß gut erhalten (Bild 4).

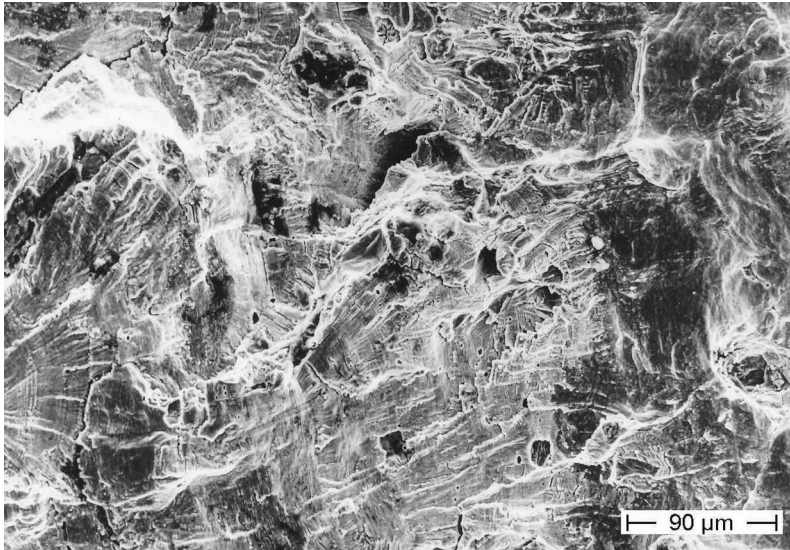


Bild 4:  
Übergang vom  
Anriss (links) zum  
Restbruch (rechts)

Die Bruchbahnen haben ihren Fächercharakter verloren; die Querstreifung wird nur klar erkennbar (Bild 5).

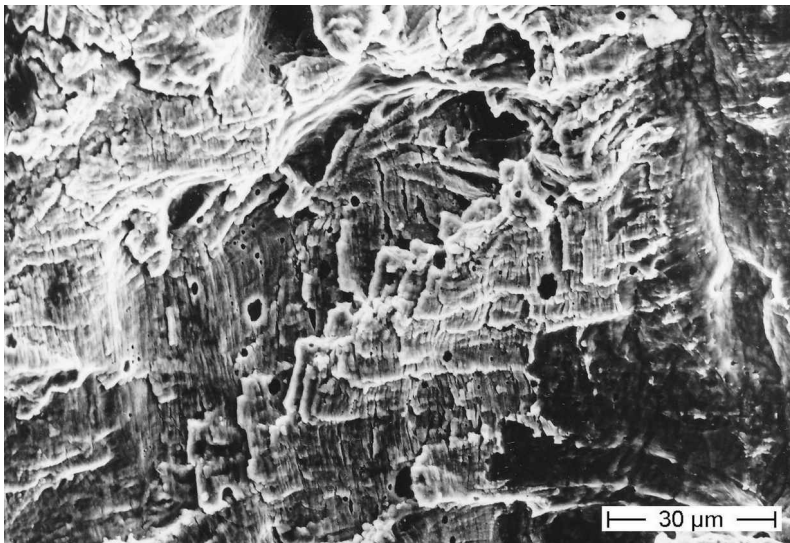


Bild 5:  
Querstreifen deutlich  
(Ausschnitt aus Bild 4)

Die Breite der Streifen hat den Wert von etwa  $0,5\ \mu\text{m}$  erreicht. Infolge Serpentinengleitens erscheint der Restbruch zunächst strukturlos (Bild 6).

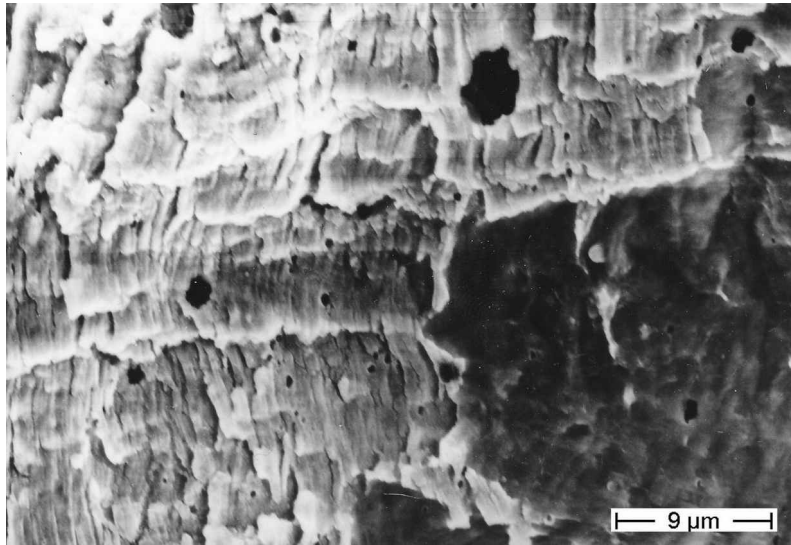


Bild 6:  
Streifenbreite etwa  
 $0,5\ \mu\text{m}$   
(Ausschnitt aus Bild 5)

## Diskussion

Die Bruchfläche war im Einlauf nur ausschnittsweise erhalten; ihr Zustand verbesserte sich mit zunehmender Risstiefe. Die Rissausbreitung hat sich also über eine längere Zeit hingezogen.

Anfangs sind die Bruchbahnen noch fächerartig angeordnet, und es deutet sich eine Orientierung am Kristallgitter an. Im letzten Stadium war die Ebene der Normalspannung maßgebend.

Durchgehend wurden quer verlaufende Streifen gefunden, deren Breite von  $0,2\ \mu\text{m}$  auf  $0,5\ \mu\text{m}$  zunimmt. Die Streifen markieren den Rissfortschritt pro Lastwechsel; somit liegt eine Ermüdung vor.

Dass die betrieblichen Temperaturwechsel von ca.  $60\ ^\circ\text{C}$  als Auslöser gedient haben („Thermoermüdung“), erschien wenig wahrscheinlich. Üblicherweise werden Temperatursprünge beim vorliegenden Stahl erst dann kritisch, wenn die Spanne eine Größenordnung darüber liegt. Das ist bei Gas- und Dampfturbinen gegeben, wenn sie zur Abdeckung von Spitzenlasten eingesetzt werden, siehe [1] und [2]. Der Rissverlauf orientiert sich dann eher an den Korngrenzen (interkristallin).

Die Korrosion des Risseinlaufbereiches lässt sich damit erklären, dass es längere Phasen gegeben hat, in denen die Wechselbelastung ruhte. Das Wasser im Riss verarmte an Sauerstoff, und die Passivität des Stahles brach zusammen (Spaltkorrosion).

Es wurde schließlich vermutet, dass sich in der Wassersäule resonanzartige Druckschwankungen aufbauen können. Vorzugsweise sollten solche Instabilitäten während der Druck- oder Dichtheitsproben auftreten.

## Literatur

- [1] Huff, H.; Roßmann, A.: Zur Kurzzeitermüdung von Turbinenrädern. In: Bruchuntersuchungen und Schadenklärung – Probleme bei Eisenwerkstoffen. München und Berlin. Allianz-Versicherungs-AG 1976, S. 98-103
- [2] Geiger, T.; Staub, F.: Beobachtung zum Thermoschockverhalten von ferritischen und austenitischen Stählen. In: Bruchuntersuchungen und Schadenklärung – Probleme bei Eisenwerkstoffen. München und Berlin. Allianz-Versicherungs-AG 1976, S. 92-97

Martin Möser, 18. August 2015 (nach eigenen Berichten vom 23.10.1984 und 19.06.1985)

siehe in dieser Homepage auch:

- Spannungsrisskorrosion in Wärmetauscherrohren aus CrNi-Stahl – Kernkraftwerk Greifswald
- Rissbildung an Spitzenlast-Gasturbinen
- Bruch durch Resonanzen (Ermüdung) I