

## Wasserstoffversprödung an Aufhängungen für Isolatoren als Folge einer Materialverwechslung

Wechselstrom hat gegenüber Gleichstrom den Vorteil, dass man ihn „transformieren“ kann. Der Strom kommt schon mit Hochspannung aus dem Kraftwerksgenerator (ca. 10 kV); im Maschinentransformator wird dieser Wert auf mindestens 110 kV gesteigert und der Strom so über Land geschickt. Vor Ort wird die Spannung dann stufenweise auf den üblichen Wert von 230 V gesenkt.

Durch Anwendung der Hochspannung lässt sich der Durchmesser der „Leiterseile“ auf ein wirtschaftliches Maß beschränken. Bei diesen Seilen handelt es sich um Adern aus Aluminium, die sich um eine Stahlseele gruppieren. Der Stahl übernimmt die Tragfunktion, das Aluminium dient als Leiter. Die Leiterseile werden an charakteristische Stahlmasten bzw. deren Auslegern aufgehängt. Damit der Strom nicht über die Masten abfließt, müssen die Seile durch „Isolatoren“ vom Mast getrennt werden. Diese Isolatoren bestehen aus Keramik (Porzellan) und sind an ihrem rippenförmigen Aufbau erkennbar. Die Verbindung zwischen dem Mast und den Isolatoren wird durch sogenannte Ösenklöppel hergestellt. Über einen Knauf werden diese Klöppel in den jeweiligen Isolator einzementiert.

Anfang des Jahres 1988 wurde am Kraftwerk Hagenwerder (Görlitz) die 220 kV-Freiluft-Schaltanlage erneuert. Man hing die Isolatoren ein, die schon mit dem jeweiligen Leiterseil verbunden waren. Nach einer halben Stunde fiel der erste Isolator ab, weitere folgten.

Die Ösenklöppel waren etwa 18 cm lang und wurden im Gesenk geschmiedet. Die Teile mussten eine Kraft von 40 kN übertragen. Das erforderte eine Streckgrenze/Festigkeit von mindestens 380/600 MPa. Als Werkstoff wurde der unlegierte Stahl C35 vorgesehen, der zu vergüten war (nach TGL 6547 bzw. DIN EN 10083).

Um die Oberfläche gegen gegen Korrosion zu schützen, verzinkte man die Teile im Schmelzbad (Feuerverzinken).

Gebrochen war der übergebene Ösenklöppel an zwei Stellen, und zwar sowohl im Bereich der Öse als auch am Ansatz der Knaufes (Bild 1).

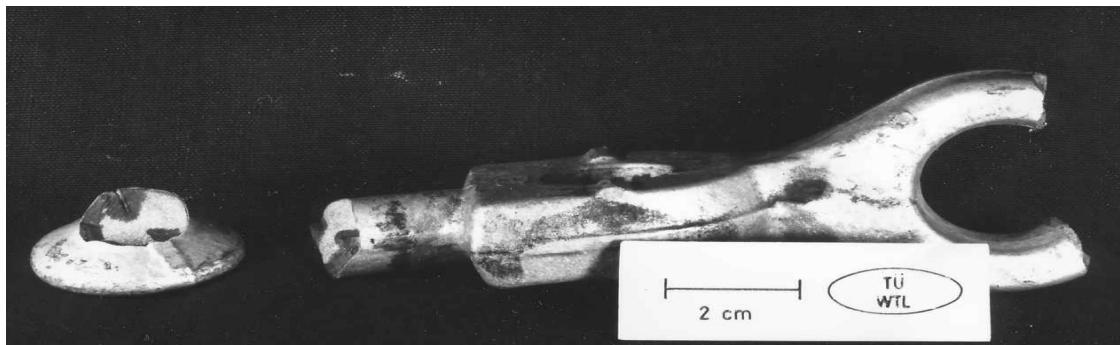


Bild 1:  
Ösenklöppel; Bruch am Knauf (links) und in den Schenkeln der Öse (rechts), Schmiedegrat auffällig

Betrachtet wird zunächst die Bruchstelle des Knaufs. Über zwei Drittel des Umfanges hat sich ein Kranz von Anrissen gebildet, die sich dunkel vom Restbruch abheben, was auf eine Oxidation verweist. Am Schmiedegrat dringen die Risse jeweils besonders tief ein (Bild 2).



Bild 2:  
die beiden  
Bruchflächen des  
Knaufansatzes;  
oxidierte Anrisse  
verteilt über den  
Umfang, tieferes  
Eindringen am  
Schmiedegrat;  
Schnitt für  
Metallographie  
eingezeichnet

An der Öse hoben sich die Anrisse weniger klar ab, waren also frischer. Im linken Schenkel gingen die Risse vom Rand aus, im rechten Schenkel vom Schmiedegrat (Bild 3).



Bild 3:  
Bruchlinsen  
in den  
Ösenschenkeln,  
links vom Rand,  
rechts vom  
Schmiedegrat  
ausgehend

Die Bruchfläche des Knaufes wurde mit dem REM untersucht. Die Risse sind auf leicht unterschiedlicher Höhe eingelaufen, so dass sich ein Abreißgrat gebildet hat, der im Restbruchgebiet allmählich ausläuft (Bild 4).

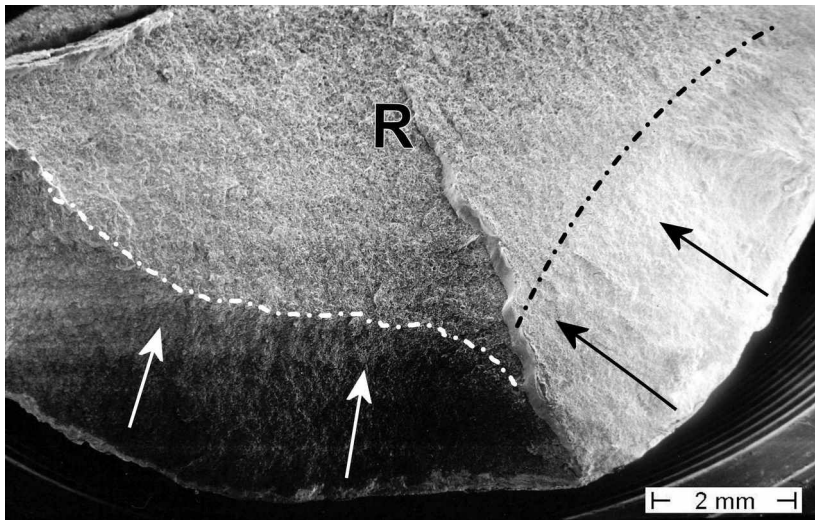


Bild 4:  
zwei Risse auf unterschiedlicher Höhe, getrennt durch einen Abreißgrat, R = Restbruch (Ausschnitt aus Bild 2, rechts)

Der Riss hat sich an den Korngrenzen orientiert, von denen vereinzelt transkristalline Facetten ausgingen. Im angrenzenden Restbruchbereich sind ebenfalls Korngrenzflächen zu sehen, die aber durch Wabengebiete voneinander getrennt sind (Bild 5).

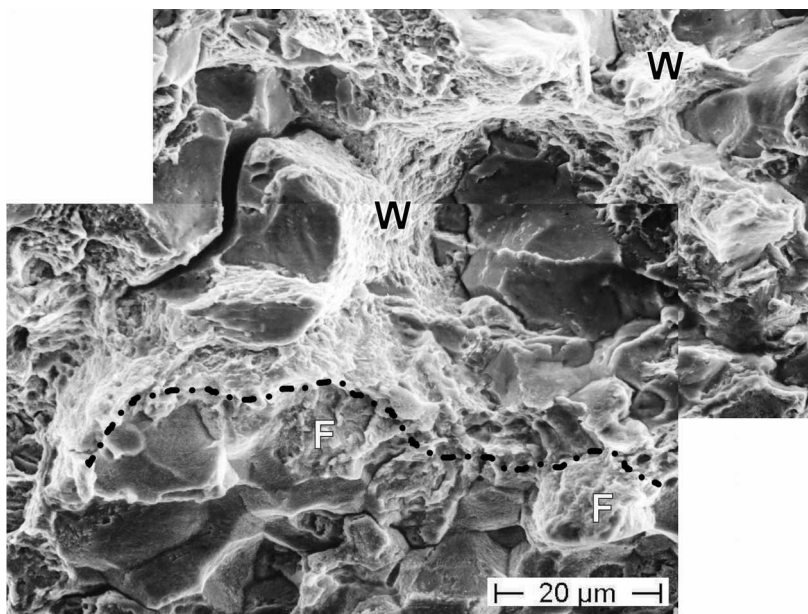


Bild 5:  
Übergang vom Anriss zum Restbruch;  
F= Facetten im Anriss  
W=Waben im Restbruchbereich

Der Anrissbereich erscheint leicht verätzt. In Bild 6 dient eine einzelne Korngrenze als Ausgangspunkt für transkristalline Facetten.

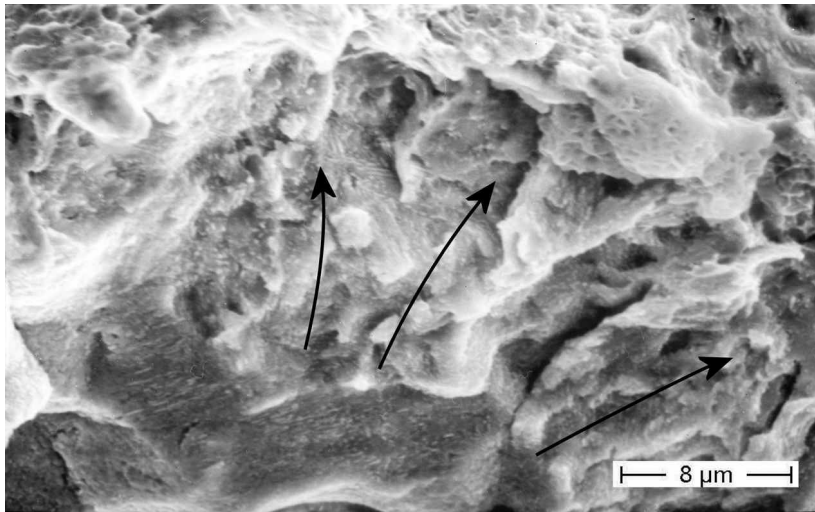


Bild 6:  
transkristalline  
Facetten, von  
Korngrenzfläche  
ausgehend,  
Verätzung  
(Ausschnitt aus  
Bild 5)

Die Bruchflächen in den Ösenschenkeln wurde nicht untersucht.

Im Folgenden sollen die Ergebnisse von Untersuchungen, die vom Auftraggeber (Staaliches Amt für Technische Überwachung) ausgeführt wurden, dargestellt werden.

#### Metallographie am Schnitt durch den Knauf:

In der Übersichtsaufnahme wird ein Nebenriss sichtbar, der sich gegenüber dem Hauptriss gebildet hat. Auffällig ist weiterhin ein Längsriss, der dem Schmiedegrad folgt (Bild 7).

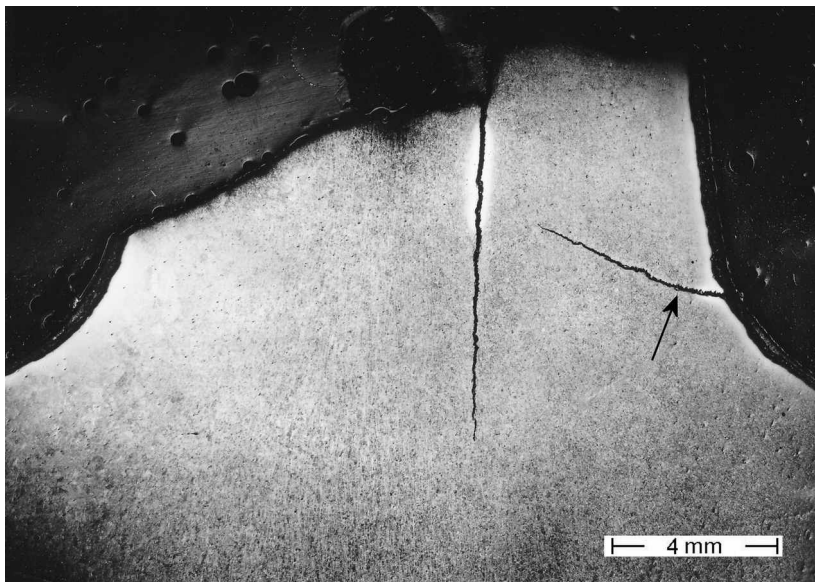


Bild 7:  
Schnitt durch den  
Knauf;  
Nebenriss jeweils am  
Querschnittsübergang  
und im Schmiedegrad,  
(vgl. Linie in  
Bild 3)

Bei höherer Vergrößerung findet sich ein feinnadliges Zwischenstufengefüge. Der Rissverlauf ist interkristallin, aber etwas verbreitert und durch Korrosionsprodukte gefüllt (Bild 8).

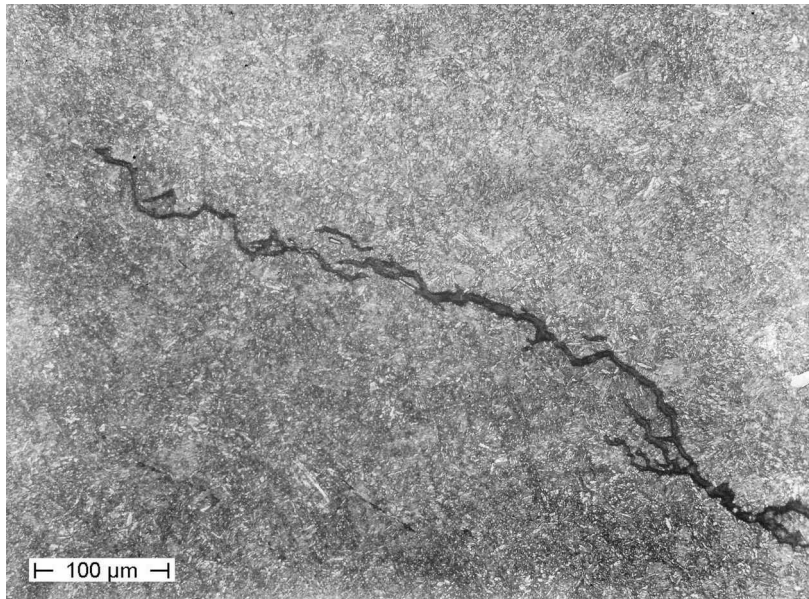


Bild 8:  
verbreiteter  
Auslauf eines  
Nebenrisses;  
interkristalliner  
Verlauf im  
feinnadligen  
Zwischenstufen-  
gefüge  
(Ausschnitt aus  
Bild 7)

#### Chemische Analyse des Stahls (u.a.):

Kohlenstoff	0,47%
Chrom	0,84%
Molybdän	0,26%

Der Stahl ist leicht mit Chrom und Molybdän legiert. Außerdem ist der Kohlenstoffgehalt erhöht. Es handelte sich um den Stahl 50CrMo4 (1.7228) statt des vorgeschriebenen C35.

#### Härtemessung nach Vickers:

Als Mittel über den Querschnitt wurden 520 HV30 gemessen (erforderlich war etwa Hälfte).

#### **Diskussion:**

Das Bauteil ist an den gegenüberliegenden Enden gebrochen (am Knauf und in der Öse). Das Auftreten von zwei Bruchstellen spricht dafür, dass die Risse zu unterschiedlichen Zeiten entstanden waren, wobei die Rissbildung am Knauf zuerst erfolgte (Dunkelfärbung).

Am Knauf war der Übergang vergleichsweise scharf ausgeführt worden. Als Kerbe, wenn auch längsorientiert, diente außerdem der Schmiedegrat.

Die Untersuchung der Bruchfläche des Knaufes ergab, dass im Anrissbereich vorwiegend ein interkristalliner Verlauf vorliegt. Vereinzelt haben die Korngrenzflächen als Startpunkt für transkristalline Facetten gedient. Im Restbruchbereich fanden sich ebenfalls Korngrenzen, doch überwog eine Wabenstruktur. Vom Bruchgefüge her war der Bruch somit als wasserstoffinduziert einzuordnen.

Anderweitig durchgeführte Untersuchungen ergaben, dass mit dem Stahl 50CrMo4 ein anderer Stahl als geplant vorlag, der außerdem sehr hoch gehärtet war (520 HV30).

Was die Risse im Knauf betrifft, dürfte Restwasserstoff maßgebend gewesen sein, der sich noch vom Vergießen her im Stahl befand. In der Phase direkt nach dem Härten besteht erhöhte Empfindlichkeit. Hinzu kamen hohe Eigenspannungen, die wiederum durch den scharfen Querschnittsprung bedingt waren. Beim Anlassen wurden die Rissflächen oxidiert und durch das eindringende Beizmittel verätzt.

Der Bruch der Öse wiederum könnte durch Wasserstoff bedingt sein, der erst beim Beizen eingetragen wurde.

Als alternative Schädigungsart war Härterissigkeit vorgeschlagen worden. Der Bruch verläuft in diesem Fall durchgängig interkristallin.

Dem Hersteller der Ösenklöppel wurde empfohlen, tatsächlich nur den geplanten Stahl C35 einzusetzen und die Härte auf deutlich unter 300 Vickers zu begrenzen. Auch sollte gelegentlich die Tragfähigkeit getestet werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine Vorschädigung vermutlich durch Restwasserstoff vorlag (Knauf), der endgültige Bruch (Öse) aber durch Beizwasserstoff ausgelöst wurde. Die Anfälligkeit des Stahles ergab sich aus einer überhöhten Härte, die wiederum durch eine Materialverwechslung bedingt war.

Martin Möser, 17. Dezember 2015

Relevante Ausarbeitungen in dieser Homepage:

Ein Fall, in dem es zu zwei Bruchstellen kam (bei unterschiedlicher Schädigungsart):  
„Abriss eines Fallrohres infolge Spannungsrissskorrosion“

Zwei Fälle, in denen Restwasserstoff maßgebend war:

„Rissbildung an Zentrifugen durch verschleppten Wasserstoff“  
„Flocken in Stahl nach Entschwefelung und Vergießen im Strang, Teil II“

Nachfolgende Untersuchungen zum Fall der Ösenklöppel:

„Mangelnde Tragfähigkeit von Ösenklöppeln“ [Restwasserstoff]  
„Versprödung von Ösenklöppeln“ [unterkritische Heißrissigkeit]