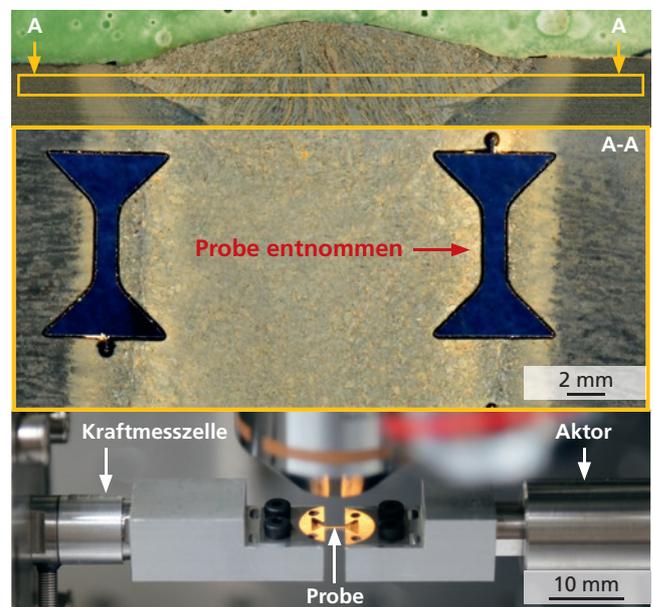


## SCHÄDIGUNGSMECHANISMEN EINES GESCHWEISSTEN BAUSTAHL MIT MIKROZUGPROBEN AUFGEDECKT

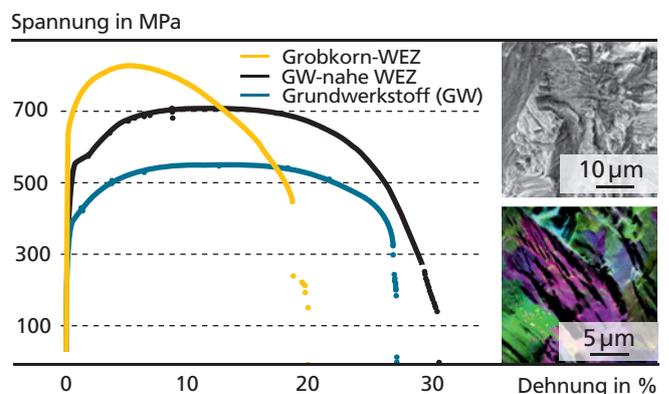
Die Rissentstehungsphase ist für eine Bauteilbewertung besonders wichtig. Diese ist insbesondere für Schweißverbindungen schwierig zu ermitteln, da hier, durch den Wärmeeintrag im Schweißprozess verursacht, verschiedene Gefügezonen (Grundwerkstoff, Wärmeeinflusszone, Schweißnaht) nebeneinander vorliegen, die stark unterschiedliche mechanische Eigenschaften besitzen. Für eine Bewertung sind genaue Kenntnisse über die Entstehung von Rissen vonnöten, da das bruchmechanische Konzept von einem vorhandenen Riss einer vorgegebenen Tiefe und Breite ausgeht. Dabei wird angenommen, dass die Ermüdungsrissausbreitung im Anfangsstadium entlang der Gleitebenen der einzelnen Körner erfolgt und auf der Basis der umgesetzten Arbeit bei mikroplastischer Wechselverformung beschreibbar ist. Diese Schädigungsmechanismen haben wir anhand intensiver Untersuchungen an einem typischen Feinkornbaustahl (S355NL) nachgewiesen.

### Herstellung und Tests von Mikroproben

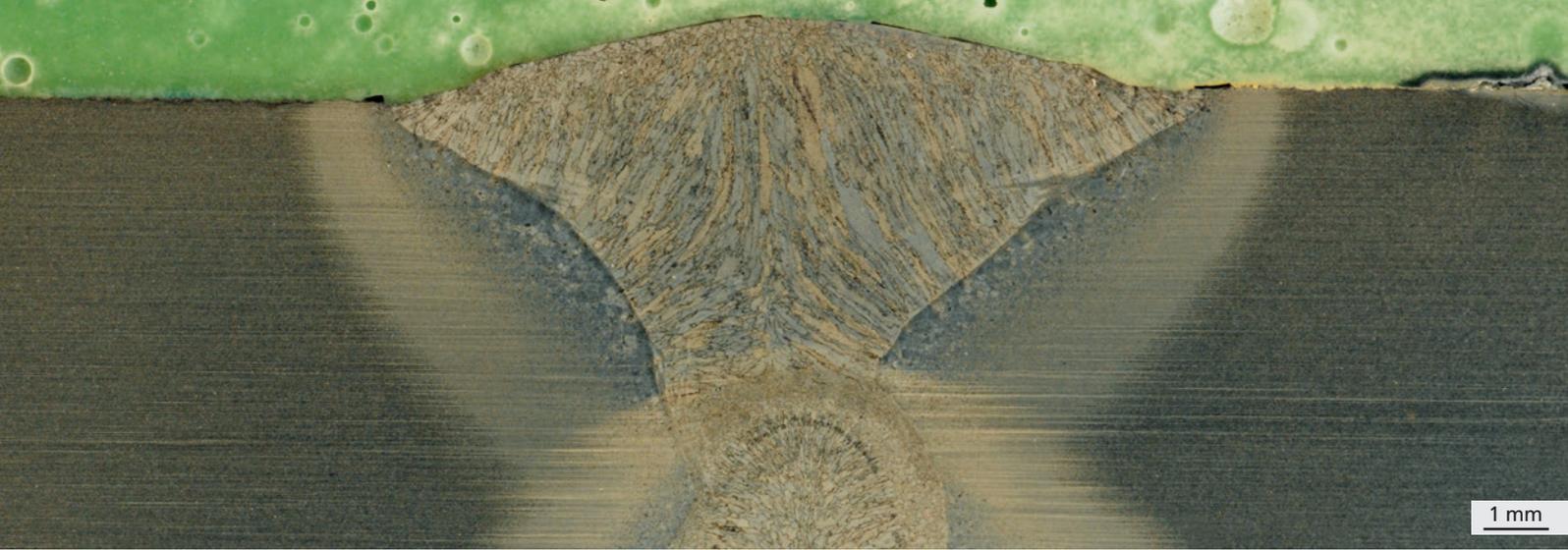
Um die mechanischen Eigenschaften der einzelnen Gefügezonen zu untersuchen, stellten wir Mikrozugproben aus der Schweißnaht her. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 1 dargestellt: Aus einer Schweißnaht wurden Probenscheiben getrennt und deren Dicken anschließend durch Schleifen und Polieren auf zirka 200 µm reduziert. Aus diesen Plättchen wurden durch Laserschneiden Mikrozugproben entnommen. Diese können anschließend im statischen Zugversuch oder auch zyklisch getestet werden. Wir haben dafür eine selbst entwickelte Apparatur verwendet: Die Verschiebung wird über einen Piezoaktor eingeleitet, der auf einem Linearmotor sitzt; die Kraft wird über eine Kraftmesszelle gemessen. Mithilfe eines angeschlossenen Mikroskops wurde über Bildkorrelation (Digital Image Correlation, DIC) die Dehnung der Probe berechnet. Es wurden Zugversuche mit konstanter



1 Einer Schweißnaht (oben) werden Mikrozugproben aus verschiedenen Gefügebereichen entnommen (Mitte) und in einer Miniaturzugprüfeinrichtung getestet (unten).



2 Ergebnisse aus Zugversuchen mit einer Dehnrates von  $2 \times 10^{-4}$  1/s (links), Bilder von Ermüdungstests (rechts): auf der Bruchfläche (oben) sind unterschiedliche Rissebenen je Korn sichtbar, die Rissinitiiierung erfolgt transkristallin (EBSD, unten).



*Lichtmikroskopische Aufnahme der unterschiedlichen Gefügezonen einer Schweißverbindung.*

Abzugsgeschwindigkeit bis zum Bruch und zyklische Versuche bis zu einem signifikanten Abfall der Probensteifigkeit (erste Rissbildung) durchgeführt.

### **Ergebnisse aus mechanischen Tests an Mikroproben**

In Mikrozugversuchen von Proben, die aus unterschiedlichen Wärmeeinflusszonen entnommen wurden, werden die stark unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften der verschiedenen Gefügezonen sichtbar (siehe exemplarische Zugversuchskurven in Abbildung 2). Die Probe der schweißgutnahen Wärmeeinflusszone (Grobkorn-WEZ) weist eine vergleichsweise hohe Festigkeit und geringere Duktilität auf. Proben aus der eher feinkörnigen Wärmeeinflusszone (grundwerkstoffnahe WEZ) zeigen eine ausgeprägte Streckgrenze in Form einer Lüdersdehnung. Im Vergleich dazu weist eine Probe aus dem angrenzenden Grundwerkstoff keine Lüdersdehnung auf und hat die niedrigsten Werte bezüglich Streckgrenze und Zugfestigkeit. In zyklischen Versuchen wurden diese Mikroproben jeweils auf ihre Rissentstehung hin getestet und analysiert. Nach den mechanischen Tests wurden dazu die Bruchflächen der Proben im Rasterelektronenmikroskop (REM) und die Oberflächen der Proben zusätzlich mittels Elektronenrückstreuung (Electron Backscatter Diffraction – EBSD) untersucht. Dabei haben wir festgestellt, dass der Riss stets transkristallin startet. Danach wächst der Riss in den ersten Zyklen auch transkristallin weiter, wechselt dabei aber die Rissebene im nächsten, angrenzenden Korn.

### **Einfluss der lokalen mikromechanischen Werkstoffeigenschaften auf die makroskopischen Eigenschaften**

Die Ergebnisse erlauben es uns nun, eine detaillierte mechanismenbasierte Berechnung der Rissinitiierungsphase zu erstellen. Basierend auf den Erkenntnissen wurde eine

detaillierte numerische Berechnungsprozedur erarbeitet, die das Kurzrisswachstum durch die polykristalline Mikrostruktur des Schweißgefüges auf mikromechanischer Ebene beschreibt. Die oben genannten experimentellen Analysen erlauben es zudem, die lokal unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften getrennt von der Schweißnahtgeometrie beziehungsweise der Kerbwirkung des Schweißnahtübergangs zu analysieren und zu bewerten. Im Zuge dessen ist es möglich, den Einfluss der lokalen Werkstoffeigenschaften auf die makroskopischen Eigenschaften der gesamten Schweißnaht zu übertragen.

Dr. Johannes Preußner, Dr. Tobias Kennerknecht