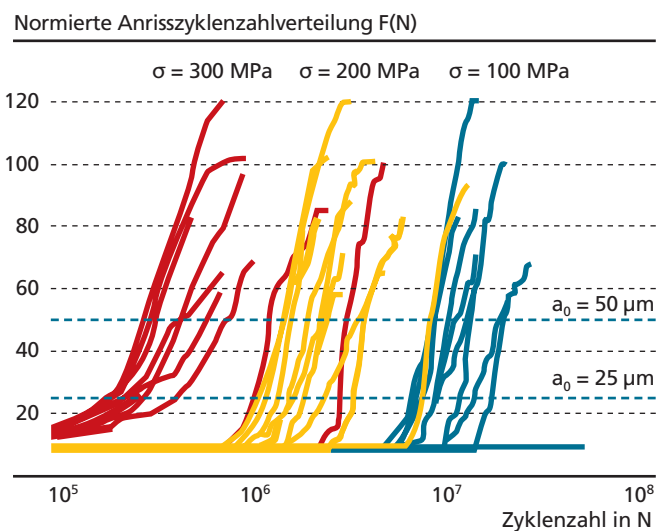


NEUE MIKROSTRUKTURBASIERTE BESCHREIBUNG: ENTSTEHUNG VON RISSEN IN SCHWEISSVERBINDUNGEN

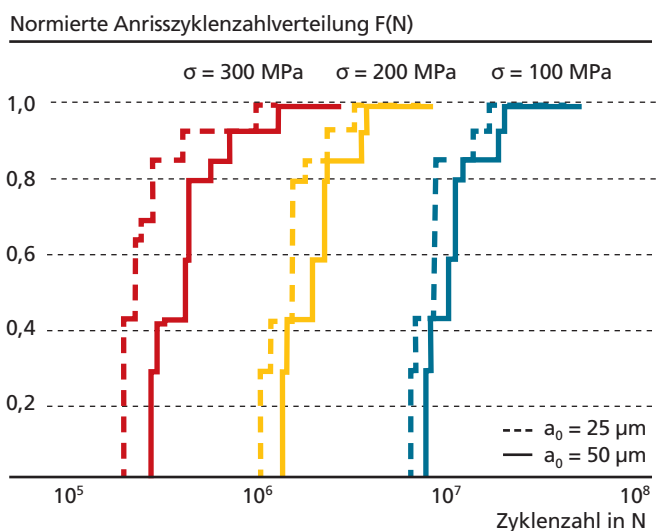
Für die Auslegung geschweißter Bauteile sind Untersuchungen und Bewertungskonzepte, die sich mit dem Verhalten unter zyklischer Belastung befassen, von großer Bedeutung. Während etablierte bruchmechanische Verfahren, ausgehend von einem postulierten Anfangsriss, das weitere Kurz- und Langrisswachstum zwar zuverlässig beschreiben, die Rissentstehungsphase aber nicht berücksichtigen, wird am Fraunhofer IWM ein experimentell-numerischer Ansatz zur mikrostrukturbasierten Beschreibung der Rissentstehungsphase in Schweißverbindungen verfolgt. Durch Einbeziehung der Rissinitiierungsphase können verbesserte und weniger konservative Lebensdauerabschätzungen vorgenommen werden. Im Folgenden wird exemplarisch das im Übergang vom Grundwerkstoff zum Schweißgut (in der Wärmeeinflusszone) durch Spannungskonzentrationen an der Oberfläche induzierte Risswachstum betrachtet (Bild oben rechts), da dies in vielen Bauteilen versagenskritisch ist.

Probabilistischer Ansatz

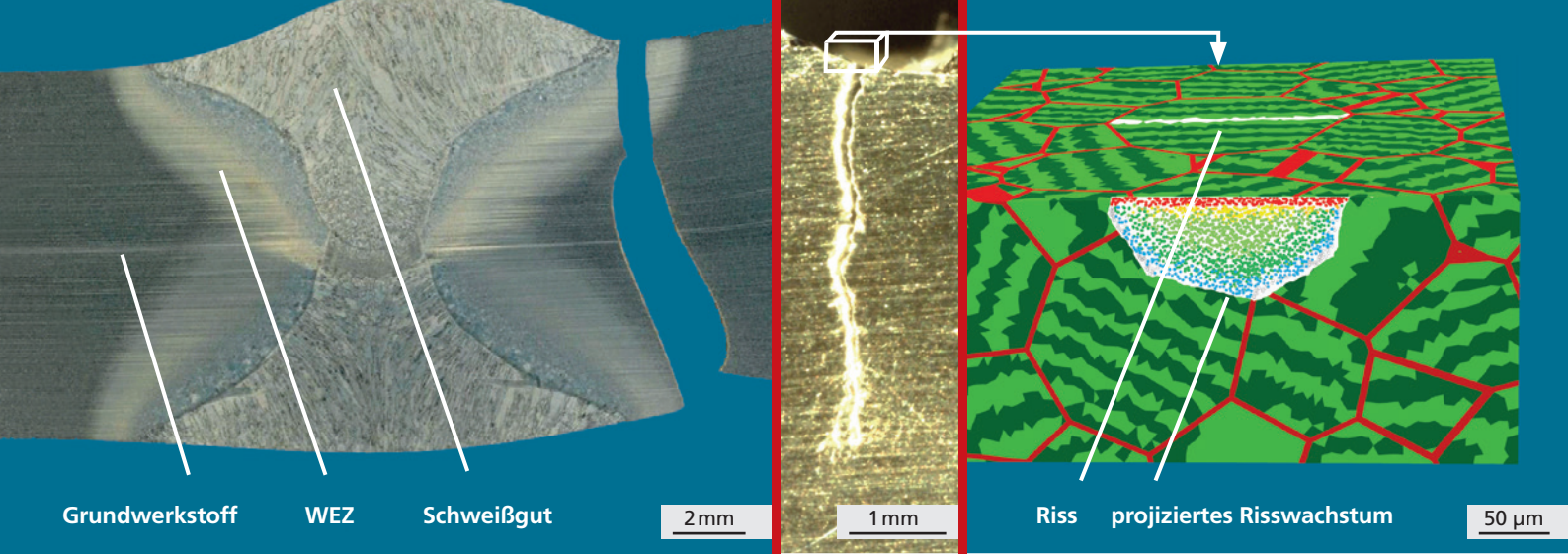
Im Bereich der Wärmeeinflusszone (WEZ) breiten sich Risse in polykristallinen Gefügeständen entlang von Gleitebenen aus. Daher ist von einer mikrostrukturbedingten Streuung in den Zyklenzahlen bis zum Erreichen einer vordefinierten Anrissstiefe auszugehen. Dem wird durch eine ausreichende Anzahl zufallsgesteuert generierter Finite-Elemente-Modelle mit variierender Kornstruktur und -orientierung (Bild oben rechts) und einer anschließenden probabilistischen Bewertung Rechnung getragen. So ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gleitband aktiviert wird, abhängig von der jeweiligen Kornorientierung und dem Belastungszustand. Unter uniaxialer, zyklischer Belastung sind vor allem Gleitebenen, die 45° zur Belastungsrichtung geneigt sind, aufgrund der auftretenden maximalen Schubspannungen versagenskritisch. Für die Finite-Elemente-Analyse bedeutet dies, dass für jedes Korn



1 Berechnetes Risswachstum bei Spannungsamplituden von 100, 200 und 300 MPa und einem Spannungsverhältnis von $R = 0,1$.



2 Mit dem probabilistischen Ansatz ermittelte Anrisszyklenzahlverteilungen für Anrissstiefen von 25 μm beziehungsweise 50 μm .



Geschweißter Stumpfstoß mit Rissinitiierung im Bereich der Wärmeinflusszone (links) und Rissausbreitungsmodell (rechts).

mit seiner zufälligen kristallographischen Orientierung bezüglich der Belastungsrichtung das Gleitsystem zu bestimmen ist, welches diese Forderung mit der geringsten Winkelabweichung α erfüllt. Im Folgenden wird eine polykristalline kubisch-raumzentrierte Kristallstruktur unter uniaxialer, zyklischer Belastung betrachtet. Unter Berücksichtigung ihrer zwölf Gleitsysteme lassen sich die Auftretswahrscheinlichkeiten für Rissausbreitungsebenen, die um den Winkel α von der versagenskritischen 45° -Richtung unter uniaxialer Belastung abweichen, durch Drehung dieser Kristallstruktur im Raum ermitteln.

Numerische Simulation der Rissentstehungsphase

Das zyklenabhängige Risswachstum wird im dugdaleschen Sinn durch eine vollständige Projektion der Schädigung im Modell in eine vordefinierte Rissausbreitungsebene, die sich im größten oberflächennahen Korn befindet und zufällig im Raum orientiert ist, berechnet. Zur Validierung des Modells haben wir Ermüdungsversuche an Mikroproben herangezogen, deren Prüfquerschnitt mit $450 \times 200 \mu\text{m}$ den Maßen der Finite-Elemente-Modelle (Bild oben rechts) entspricht. Die sich aus den Rechnungen mit den verschiedenen Finite-Elemente-Modellen ergebenden Risstiefenverläufe sind in Abbildung 1 für drei verschiedene uniaxiale Belastungen bei einem Spannungsverhältnis von $R = 0,1$ dargestellt. Da in den einzelnen Finite-Elemente-Modellen Rissausbreitungsebenen auftreten, die hinsichtlich Rissinitiierung und Risswachstum besonders günstig oder auch ungünstig sind, ist eine sehr große Streuung in den ermittelten Zyklenzahlen zu erkennen.

Nutzen der stochastischen Analyse für den Anwender

Für bruchmechanische Berechnungskonzepte ist insbesondere die Ausweisung der Streuung in den Zyklenzahlen für eine

angenommene Anrisstiefe von großem Interesse. Exemplarisch ist in Abbildung 2 eine Auswertung für eine Risstiefe von $25 \mu\text{m}$ beziehungsweise $50 \mu\text{m}$ dargestellt, wobei die Ergebnisse der einzelnen Finite-Elemente-Modelle gemäß den Auftretswahrscheinlichkeiten ihrer Rissausbreitungsebenen gewichtet wurden. Im Gegensatz zu reinen Monte-Carlo-Analysen, bei denen alle Ergebnisse gleich gewichtet werden, kann somit unter deutlich reduziertem Rechenaufwand die Streuung auf Mikrostrukturebene bei der Ermittlung der Anrissszyklenzahlverteilung berücksichtigt werden. Ein effizientes probabilistisches Berechnungskonzept ist von großem Interesse, weil streuende Mikrostruktureigenschaften große Auswirkungen auf die Lebensdauer von Bauteilkomponenten haben, da bei einer Ermüdung lokale Spannungskonzentrationen, wie sie an Defekten, aber auch an Korngrenzen auftreten, rissinitiierend sind. Im Unterschied zu rein deterministischen Bewertungskonzepten bieten stochastische Finite-Elemente-Analysen den essentiellen Vorteil, die aus der Mikrostruktur resultierende Streuung auf die Bauteileigenschaften, wie die Lebensdauer, ermitteln und durch Verteilungsfunktionen ausweisen zu können.

Dr. Carla Beckmann, Dr. Michael Luke