

**Einfluss phasenverschobener Beanspruchungen  
auf das Risswachstumsverhalten von planar-  
biaxial beanspruchten, kreuzförmigen Proben  
aus einem austenitischen Stahl**

*Carl Heinrich Wolf*

# Inhaltsverzeichnis

Liste der verwendeten Abkürzungen und Symbole	XI
<b>1. Motivation und Zielstellung</b>	<b>1</b>
1.1. Motivation	1
1.2. Zielstellung	5
<b>2. Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1. Linear-elastische Bruchmechanik	7
2.1.1. Einordnung	7
2.1.2. K-Konzept	9
2.1.3. Verschiebungen an der Risspitze	14
2.2. Ermüdungsrisswachstum	16
2.2.1. Einordnung	16
2.2.2. Kenngrößen	16
2.2.3. Ablauf	19
2.2.4. Mehrachsige Beanspruchungen	21
2.3. Messverfahren	25
2.3.1. Digitale Bildkorrelation	25
2.3.2. Auswertung der Rissöffnungsverschiebung	26
2.4. Stand der Technik	26
<b>3. Experimentelles</b>	<b>31</b>
3.1. Planar-biaxialer Prüfstand	31
3.2. Versuchswerkstoff	33
3.3. Probengeometrie	34
3.4. Versuchsdurchführung	36
3.4.1. Prüfkräfte	36
3.4.2. Risslänge	41
3.5. FE-Rechnung	44

3.6. Kräfte, Spannungen und Spannungsintensitätsfaktoren der FE-Rechnung . . . . .	48
3.6.1. Skalierung und Superpositionierung . . . . .	48
3.6.2. Kopplung . . . . .	50
3.6.3. Berechnung der Spannungsintensitätsfaktoren für spezielle Beanspruchungen . . . . .	51
3.6.4. Berechnung der Spannungsintensitätsfaktoren bei planarbiaxialer, phasenverschobener Beanspruchung . . . . .	57
3.6.5. Dickenkorrektur des Spannungsintensitätsfaktors . . . . .	61
3.7. Auswertung der Rissöffnungsverschiebung . . . . .	62
3.7.1. Prinzip des Messverfahrens . . . . .	62
3.7.2. Benötigte Größen . . . . .	63
3.7.3. Datenerfassung . . . . .	63
3.7.4. Bildauswertung mittels digitaler Bildkorrelation . . . . .	64
3.7.5. Berechnung der Rissöffnungsverschiebung . . . . .	64
3.7.6. Berechnung der K-Lösung . . . . .	77
<b>4. Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>83</b>
4.1. FE-Rechnung . . . . .	83
4.1.1. Spannungen in ungekerbter, rissfreier Probe . . . . .	83
4.1.2. Risslängen- und startkerborientierungsabhängige Korrekturfunktionen zur Ermittlung der Spannungsintensitätsfaktoren bei ideal geraden Risspfaden . . . . .	94
4.2. Risswachstumsuntersuchungen . . . . .	104
4.2.1. Risspfade . . . . .	104
4.2.2. Spannungsintensitätsfaktoren und Risswachstumsgeschwindigkeiten . . . . .	110
4.2.3. Vergleichende Diskussion der Ergebnisse . . . . .	166
4.2.4. Bewertung der numerischen und der experimentellen Lösung . . . . .	170
<b>5. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>173</b>
5.1. Materialunabhängige Geometriefunktionen . . . . .	173
5.2. Risswachstum unter biaxialer Beanspruchung . . . . .	175
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>XXI</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XXVII</b>
<b>Literatur</b>	<b>XXXIII</b>

Bildnachweis	LIII
<b>Anhang</b>	<b>LV</b>
A. Technische Zeichnungen	LV
B. Umrechnung der Spannungsintensitätsfaktoren	LVII
C. Versuchspläne	LIX
D. Spannungen in ungekerbter, rissfreier Probe	LXI
D.1. Stahl . . . . .	LXI
D.1.1. Uniaxiale Beanspruchung . . . . .	LXI
D.1.2. Äquibiaxiale Beanspruchung . . . . .	LXVIII
D.2. Aluminium . . . . .	LXXI
D.2.1. Uniaxiale Beanspruchung . . . . .	LXXI
D.2.2. Äquibiaxiale Beanspruchung . . . . .	LXXIX
D.3. Einfluss der Querkontraktion . . . . .	LXXXV
E. Spannungsintensitätsfaktoren	LXXXVII
E.1. Ideal gerade Risspfade . . . . .	LXXXVII
E.2. Einfluss der Querkontraktion . . . . .	CIV
E.3. Experimentell bestimmte Risspfade . . . . .	CVI
F. Risspfade	CXXXVII
G. Im Messbereich mittels DIC bestimmte Verschiebungen	CXLIII