

# Fortschritt-Berichte VDI

VDI

Reihe 18

Mechanik/  
Bruchmechanik

Nr. 349

M.Sc. Alexander Grübel,  
Paderborn

## Effiziente bruchmechanische Herangehensweisen für eine wirtschaftliche Produktentstehung und einen sicheren Bauteilbetrieb



# Effiziente bruchmechanische Herangehensweisen für eine wirtschaftliche Produktentstehung und einen sicheren Bauteilbetrieb

zur Erlangung des akademischen Grades  
**DOKTOR DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)**  
der Fakultät für Maschinenbau  
der Universität Paderborn

genehmigte  
**DISSERTATION**

von

M. Sc. Alexander Grübel  
aus Holzminden

Tag des Kolloquiums: 6. Dezember 2017

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Albert Richard

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Stefan Weihe



# Fortschritt-Berichte VDI

**Reihe 18**

Mechanik/  
Bruchmechanik

M.Sc. Alexander Grübel,  
Paderborn

**Nr. 349**

**Effiziente  
bruchmechanische  
Herangehensweisen für  
eine wirtschaftliche  
Produktentstehung  
und einen sicheren  
Bauteilbetrieb**

**VDI verlag**

Grübel, Alexander

## **Effiziente bruchmechanische Herangehensweisen für eine wirtschaftliche Produktentstehung und einen sicheren Bauteilbetrieb**

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 18 Nr. 349. Düsseldorf: VDI Verlag 2018.

138 Seiten, 90 Bilder, 16 Tabellen.

ISBN 978-3-18-334918-0, ISSN 0178-9457,

€ 52,00/VDI-Mitgliederpreis € 46,80.

**Für die Dokumentation:** Bruchmechanik in der virtuellen Produktentstehung – Ermüdungsrißwachstum – bruchmechanischer Festigkeitsnachweis – ersatzmodellbasierte Spannungsintensitätsfaktorermittlung – Mixed-Mode-Rissbeanspruchung – Nutzung vorhandener Spannungsdaten – effiziente Herangehensweisen – Restlebensdauer

Ermüdungsrißwachstum von Fehlstellen in Folge zyklischer Beanspruchung ist eine häufige Versagensursache von Bauteilen. Die im fehlstellenfreien Bauteil wirkenden Spannungen sind im Kontext einer modernen Produktentstehung unabhängig von einer bruchmechanischen Untersuchung verfügbar. Deren synergetische Nutzung zur Bestimmung der Rissbeanspruchung mit Hilfe numerischer Methoden ist Hauptthema dieser Arbeit. In der vorliegenden Dissertation werden Herangehensweisen erarbeitet, die vorhandene mehrachsige Spannungsdaten fehlstellenfreier Bauteile zur Bestimmung der Rissbeanspruchung nutzen. In der Praxis gestaltet sich dadurch die bruchmechanische Bauteilbewertung deutlich effizienter. Die Herangehensweisen basieren größtenteils auf kubischen Ersatzmodellen, wodurch der Modellierungs- und Berechnungsaufwand reduziert wird.

### **Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

### **Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek**

(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at <http://dnb.ddb.de>.

Dissertation Universität Paderborn

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 0178-9457

ISBN 978-3-18-334918-0

## **VORWORT**

Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fachgruppe Angewandte Mechanik der Universität Paderborn.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater und langjährigem Leiter der Fachgruppe Angewandte Mechanik Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans Albert Richard für die Diskussionsbereitschaft, die vielen wertvollen Ratschläge und Anregungen sowie das entgegengebrachte Vertrauen. Die konsequente Förderung hat wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Dem Direktor der Materialprüfungsanstalt der Universität Stuttgart, Herrn Prof. Dr.-Ing. Stefan Weihe, danke ich für das gezeigte Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Korreferrats meiner Dissertation. Ebenso gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner (Kunststofftechnik Paderborn, Universität Paderborn) sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Gerson Messchut (Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik, Universität Paderborn) für die Mitarbeit in der Promotionskommission.

Für die fachliche Unterstützung und die sehr hilfreichen Diskussionen bedanke ich mich außerdem bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunter Kullmer. Ein großer Dank für die kollegiale Arbeitsatmosphäre und die gute Zusammenarbeit gilt weiterhin den derzeitigen und ehemaligen Arbeitskolleginnen und Arbeitskollegen der Fachgruppe Angewandte Mechanik: Frau Dipl.-Medienwirtin (FH) Michaela Brock, Frau Dipl.-Ing. Katharina Dibblee, Frau M. Sc. Lena Risse, Frau Dr.-Ing. Britta Schramm, Herrn M. Sc. Benjamin Bauer, Herrn M. Sc. Jan-Peter Brüggemann, Herrn Dr.-Ing. Alexander Eberlein, Herrn M. Sc. Tintu David Joy, Herrn M. Sc. Sergius Kremer, Herrn Dr.-Ing. Wadim Reschetnik, Herrn Dr.-Ing. Andre Riemer, Herrn M. Sc. Karsten Schäfer und Herrn Dipl.-Ing. Markus Wirxel. Einschließen möchte ich sowohl die engagierten Studien-, Bachelor- und Masterarbeiter/-innen als auch die studentischen Hilfskräfte.

Abschließend geht ein besonderer Dank an meine Eltern Ulrike und Manfred für ihren uneingeschränkten Rückhalt sowie die Unterstützung auf meinem bisherigen Lebensweg. Gleichermaßen gilt meinem Bruder Carl. Großer Dank gilt außerdem meiner Partnerin Hedda für ihre Zuversicht, viele wertvolle Ratschläge und die notwendige Ablenkung.

Paderborn, im Dezember 2017

Alexander Grübel

Meinen Eltern

## INHALTSVERZEICHNIS

Verzeichnis der verwendeten Symbole und Abkürzungen.....	VIII
Kurzfassung .....	XIII
<b>1 Einführung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Fehlstellen in Bauteilen und Strukturen sowie ihre Bewertung .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Wirkung von Rissen und Fehlstellen auf Bauteile .....</b>	<b>4</b>
2.1.1 Rissbildung.....	4
2.1.2 Rissfortschritt .....	5
<b>2.2 Beispiele für Rissprobleme unter komplexer Belastung in der Praxis.....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Ermüdungsrißwachstum in Rotorwellen von Windenergieanlagen .....	7
2.2.2 Rissprobleme in der Kurbelwelle von Verbrennungsmotoren .....	8
<b>2.3 Kraftflussverlauf und Rissbeanspruchungsarten .....</b>	<b>9</b>
<b>2.4 Spannungsverteilung in der nahen Rissumgebung.....</b>	<b>12</b>
2.4.1 Spannungsverteilung ebener Rissprobleme .....	13
2.4.2 Spannungsverteilung räumlicher Rissprobleme .....	14
<b>2.5 Spannungsintensitätsfaktoren .....</b>	<b>16</b>
<b>2.6 K-Konzept bei Mixed-Mode-Bearbeitung .....</b>	<b>17</b>
2.6.1 K-Konzept bei Single-Mode-Bearbeitung.....	17
2.6.2 K-Konzept bei ebener Mixed-Mode-Bearbeitung.....	18
2.6.3 K-Konzept bei räumlicher Mixed-Mode-Bearbeitung .....	19
<b>2.7 Ermüdungsrißwachstum bei zyklischer Belastung mit konstanter Amplitude .....</b>	<b>21</b>
2.7.1 Zusammenhang zwischen Bauteilbelastung und zyklischem Spannungsintensitätsfaktor.....	21
2.7.2 Rissausbreitung unter zyklischer Bearbeitung .....	23
2.7.3 Mathematische Konzepte zur Beschreibung der Kennwerte des Ermüdungsrißwachstums .....	25
2.7.3.1 PARIS-Gesetz .....	25
2.7.3.2 FORMAN/METTU-Gleichung .....	25
2.7.3.3 Konzept nach KULLMER .....	26
2.7.4 Ermüdungsrißwachstum bei Mixed-Mode-Bearbeitung .....	26
<b>2.8 Regelwerke der bruchmechanischen Bauteilbewertung .....</b>	<b>28</b>
2.8.1 Vorgehensweise der bruchmechanischen Bauteilbewertung.....	29
2.8.2 Internationale Regelwerke zur bruchmechanischen Bauteilbewertung .....	29
2.8.2.1 FKM-Richtlinie Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis .....	30

2.8.2.2	British Standard 7910.....	30
2.8.2.3	European Fitness-for-Service Network FITNET .....	30
2.8.2.4	ASME Boiler & Pressure Vessel Code.....	31
2.8.3	Kennwertermittlung nach ASTM E 647-08.....	31
<b>3</b>	<b>Bruchmechanische Bauteilbewertung im Kontext der modernen Produktentstehung und -nutzung.....</b>	<b>33</b>
3.1	Virtuelle Entstehung technischer Produkte.....	33
3.2	Bruchmechanische Fragestellungen während Produktentstehung und Bauteilbetrieb .....	35
3.3	Anforderungen an die effiziente bruchmechanische Bauteilbewertung .....	36
<b>4</b>	<b>Verfahren zur Bestimmung der bruchmechanischen Beanspruchungsgrößen .....</b>	<b>38</b>
4.1	Grundlegende Ansätze für Basislösungen.....	38
4.1.1	Analytische Lösungen .....	38
4.1.2	Programmbasierte Bibliotheken .....	39
4.2	Numerische Beanspruchungsanalyse von Rissen .....	40
4.2.1	Grundlagen der Finite-Elemente-Methode .....	40
4.2.2	Ansätze der Finite-Elemente-Methode zur Beschreibung der Gegebenheiten an der Riss spitze .....	42
4.2.3	Spannungsintensitätsfaktorbestimmung auf Basis der Finite-Elemente Methode .....	46
4.2.3.1	Einfaches und modifiziertes Risschließungsintegral .....	46
4.2.3.2	<i>J</i> -Integral .....	47
4.2.3.3	<i>M</i> -Integral .....	49
4.2.3.4	Verschiebungskorrelationsmethode .....	49
4.2.4	Untersuchungen zur Ergebnisgenauigkeit .....	51
4.3	Automatisierte numerische Simulation des Ermüdungsrisswachstums .....	52
4.3.1	Automatisierte Rissausbreitungssimulationsprogramme .....	53
4.3.1.1	Programmsystem FRANC/FAM .....	53
4.3.1.2	Programmsystem ADAPCRACK3D .....	53
4.3.1.3	Programmsystem FRANC3D .....	54
4.3.2	Untersuchungen zur Ergebnisgenauigkeit .....	54
4.4	Bewertung der Verfahren zur Spannungsintensitätsfaktorbestimmung in Bauteilen und Strukturen .....	59
<b>5</b>	<b>Effiziente bruchmechanische Herangehensweisen für Produktentstehung und Bauteilbetrieb .....</b>	<b>62</b>
5.1	Hauptnormalspannungskonzept.....	64
5.1.1	Idee des Hauptnormalspannungskonzepts .....	64
5.1.2	Anwendbarkeit .....	65

<b>5.2 Mehrachsige halbanalytische Herangehensweise .....</b>	<b>66</b>
5.2.1 Rissbeanspruchungsrelevante Komponenten des mehrachsigen Spannungsfeldes .....	67
5.2.2 Idee der mehrachsigen halbanalytischen Herangehensweise .....	68
5.2.3 Anwendbarkeit .....	70
<b>5.3 Konzept der Schnittspannungsfelder .....</b>	<b>72</b>
5.3.1 Idee des Konzepts der Schnittspannungsfelder .....	72
5.3.2 Anwendbarkeit .....	75
<b>5.4 Konzept der parametrisierten Einflussfunktionen .....</b>	<b>76</b>
5.4.1 Idee des Konzept der parametrisierten Einflussfunktionen .....	76
5.4.2 Anwendbarkeit .....	79
<b>5.5 Bewertung der entwickelten Herangehensweisen .....</b>	<b>81</b>
<b>5.6 Umsetzung der mehrachsigen halbanalytischen Herangehensweise in ein Berechnungstool.....</b>	<b>84</b>
<b>6 Validierung der Herangehensweisen und Konzepte an Rissen in dreidimensionalen Bauteilen .....</b>	<b>87</b>
6.1 Kraftwerksbauteil: Y-Siebfilter.....	87
6.2 Motorenkomponente: Kurbelwelle .....	94
<b>7 Lösungsvorschläge zu praxisrelevanten Fragestellungen der bruchm. Bauteilebewertung.....</b>	<b>102</b>
7.1 Umgang mit nicht-proportionalen Mixed-Mode-Rissbeanspruchungen .....	102
7.1.1 Ungleiche positive $R$ -Verhältnisse .....	103
7.1.2 Ungleiche negative $R$ -Verhältnisse .....	105
7.1.3 Statische Mode II-Beanspruchung .....	107
7.2 Einfluss unscharfer Materialdaten auf die Restlebensdauer .....	108
7.3 Einfluss anisotroper Materialkennwerte auf die Restlebensdauer bei Mixed-Mode-Rissbeanspruchung.....	110
<b>8 Fazit .....</b>	<b>113</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>115</b>

## VERZEICHNIS DER VERWENDETOEN SYMBOLE UND ABKÜRZUNGEN

### a) Lateinisch

$A$	Querschnittsfläche
$C$	Integrationsweg des $J$ -Integrals
$C_{\text{FM}}$	Koeffizient der FORMAN/METTU-Gleichung
$C_{\text{P}}$	Koeffizient der PARIS-Gleichung
$F$	Kraft
$F_G$	Gaskraft, Gewichtskraft
$F_i$	Knotenpunktkraft
$F_{\max}$	maximale Kraft
$F_{\min}$	minimale Kraft
$F_{\text{RG}}$	radiale Hubzapfenkraft
$F_{\text{SG}}$	Hubzapfenkraft
$F_{\text{TG}}$	tangentielle Hubzapfenkraft
$G_{\text{I}}, G_{\text{II}}, G_{\text{III}}$	Energiefreisetzungsrat für Mode I, Mode II und Mode III
$J$	gesamte freigesetzte Energie bei Rissfortschritt
$J_{\text{I}}, J_{\text{II}}, J_{\text{III}}$	freigesetzte Energie für Mode I, Mode II und Mode III
$\underline{\underline{K}}$	Steifigkeitsmatrix
$K_{\text{I}}, K_{\text{II}}, K_{\text{III}}$	Spannungsintensitätsfaktor für Mode I, Mode II bzw. Mode III
$K_{\text{I,a}}, K_{\text{II,a}}$	Spannungsintensitätsamplitude für Mode I und Mode II
$K_{\text{IC}}, K_{\text{IIC}}, K_{\text{IIIIC}}$	Risszähigkeit für Mode I, Mode II und Mode III
$K_{\text{I,m}}, K_{\text{II,m}}$	Mittelwert des Spannungsintensitätsfaktors für Mode I und Mode II
$K_{\text{I,max}}, K_{\text{I,min}}$	maximaler bzw. minimaler Spannungsintensitätsfaktor für Mode I
$K_{\text{I,zul}}$	zulässiger Spannungsintensitätsfaktor
$K_{\text{C}}$	kritischer Spannungsintensitätsfaktor
$K_{\text{V}}$	Vergleichsspannungsintensitätsfaktor
$\Delta K_{\text{I}}, \Delta K_{\text{II}}, \Delta K_{\text{III}}$	zyklischer Spannungsintensitätsfaktor für Mode I, Mode II und Mode III
$\Delta K_{\text{I},0}, \Delta K_{\text{II},0}$	zyklischer Spannungsintensitätsfaktor für Mode I und Mode II unter Annahme von $R = 0$
$\Delta K_{\text{IC}}$	kritischer zyklischer Spannungsintensitätsfaktor für Mode I

$\Delta K_{I,zul}$	zulässiger zyklischer Spannungsintensitätsfaktor
$\Delta K_{I,th}$	Schwellenwert für Mode I
$\Delta K_V$	zyklischer Vergleichsspannungsintensitätsfaktor
$\Delta K_{V,0}$	zyklischer Vergleichsspannungsintensitätsfaktor unter Annahme von $R = 0$
$L$	Elementgröße an der Rissspitze
$L^*$	Verhältnis der Elementgröße an der Rissspitze zur Risslänge
$L_S$	Submodellelementgröße
$M$	Moment
$M_{Ab}$	Abtriebsmoment
$M_{An}$	Antriebsmoment
$N$	Lastwechselzahl
$N_{0 \rightarrow 1}$	benötigte Lastwechselzahl für definierte Rissverlängerung
$N_G$	Kolbenseitenwandkraft
$R$	Verhältnis von minimaler zu maximaler Beanspruchungsgröße
$S_E$	Sicherheit gegen stabile Rissausbreitung
$S_R$	Sicherheit gegen instabile Rissausbreitung
$\overline{U}$	elastische Energiedichte
$\underline{U}$	Verschiebungsvektor
$W_k$	Arbeit für Risschließen
$Y_I, Y_{II}, Y_{III}$	Geometriefaktoren für Mode I, Mode II und Mode III
$Y_{I,z}$	Geometriefaktor für Mode I in Folge einer Normalspannung $\sigma_z$
$Y_{II,zy}, Y_{III,zy}$	Geometriefaktor für Mode II und Mode III in Folge einer Schubspannung $\tau_{zy}$
$Y_{II,zx}, Y_{III,zx}$	Geometriefaktor für Mode II und Mode III in Folge einer Schubspannung $\tau_{zx}$
$a, b$	Risslänge
$a_0$	Initialrisslänge
$a_{0,crit}$	wachstumsfähige Anrisslänge
$a_C$	kritische Risslänge
$a_h$	Risslänge bei Rissstillstand

$\Delta a$	Risslängenzuwachs
$b$	Halbachse eines elliptischen Risses
$c$	Spezifische Wärmekapazität
$d$	Durchmesser
$da$	Risslängenänderung
$da/dN$	Rissgeschwindigkeit bzw. Rissfortschrittsrate
$dN$	Lastwechselzahländerung
$ds$	Wegkoordinate des $J$ -Integrals
$f$	Verhältnis von absoluter Ergebnisabweichung zum Thresholdwert
$h_{I,z}$	Einflussfaktor für Mode I in Folge einer Normalspannung $\sigma_z$
$h_{II,zx}, h_{III,zx}$	Einflussfaktor für Mode II und Mode III in Folge einer Schubspannung $\tau_{zx}$
$h_{II,zy}, h_{III,zy}$	Einflussfaktor für Mode II und Mode III in Folge einer Schubspannung $\tau_{zy}$
$j_z$	Verdrehung
$m_p$	Exponent im PARIS-Gesetz
$n, p, q$	Exponenten der FORMAN/METTU-Gleichung
$p_{\bar{u}}$	normierter Überdruck
$q$	Verhältnis von Submodellelementgröße zur globalen Elementgröße
$r, \varphi$	Polarkoordinaten
$r^*$	Abstand zur Rissspitze
$t$	Zeit, Probendicke
$\Delta t$	effektive Elementdicke
$\bar{u}$	Verschiebungsvektor
$u_x, u_y, u_z$	Verschiebungen
$\Delta u_x, \Delta u_y, \Delta u_z$	Rissuferverschiebung
$w$	Probenbreite
$x, y, z$	kartesische Koordinaten

**b) Griechisch**

$\Phi_{\text{I}}$ , $\Phi_{\text{II}}$	Phasenwinkel für Mode I und Mode II
$\alpha$	Wärmeausdehnungskoeffizient
$\gamma$	Rissöffnungsfunktion der FORMAN/METTU-Gleichung
$\varepsilon_{ij}$	Dehnungstensor
$\kappa$	Exponent des Exponentialansatzes nach KULLMER
$\lambda$	Koeffizient des Exponentialansatzes nach KULLMER, Wärmeleitfähigkeit
$\nu$	Querkontraktionszahl
$\rho$	Dichte, Kerbradius
$\sigma$	Spannung
$\vec{\sigma}$	Spannungsvektor
$\sigma_1$ , $\sigma_2$ , $\sigma_3$	Hauptspannung
$\sigma_a$	Spannungsamplitude bzw. Spannungsausschlag
$\sigma_{B,x}$ , $\sigma_{B,y}$ , $\sigma_{B,z}$	Normalspannungen des Basistensors
$\sigma_{ij}$	Komponenten des Spannungstensors
$\sigma_m$	Mittelspannung
$\sigma_{\max}$	maximale Spannung
$\sigma_{\min}$	minimale Spannung
$\sigma_s$ , $\tau_s$	Schnittspannungen
$\sigma_x$ , $\sigma_y$ , $\sigma_z$	Normalspannungen in kartesischen Koordinaten
$\sigma_\varphi$ , $\sigma_r$ , $\sigma_z$	Normalspannungen in Zylinderkoordinaten
$\Delta\sigma$	Schwingbreite der Normalspannung bzw. Spannungsschwingbreite
$\tau$	Schubspannung
$\tau_{B,xy}$ , $\tau_{B,yz}$ , $\tau_{B,zx}$	Schubspannungen des Basistensors
$\tau_{xy}$ , $\tau_{yz}$ , $\tau_{zx}$	Schubspannungen in kartesischen Koordinaten
$\tau_{rz}$ , $\tau_{rz}$ , $\tau_{\varphi z}$	Schubspannung in Zylinderkoordinaten
$\tau_z$	nichtebene Schubspannung
$\varphi$	Winkel, Kurbelwinkel
$\varphi_0$	Rissabknickwinkel

---

$\psi$	Rissbeanspruchung des Exponentialansatzes nach KULLMER
$\psi_0$	Rissverdrehwinkel
$\psi_{\text{th}}$	Schwellenwert des Exponentialansatzes nach KULLMER
$\omega_I, \omega_{\text{II}}$	Kreisfrequenz für Mode I-, Mode II-Beanspruchungs-Zeit-Funktion.

### c) Abkürzungen

ASTM	American Society for Testing and Material
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CT	Compact-Tension
CTSR	Compact-Tension-Shear-Rotation
DIN	Deutsches Institut für Normung
ESZ	ebener Spannungszustand
EVZ	ebener Verzerrungszustand
FEM	Finite-Elemente-Methode
FITNET	Fitness-for-Service-Network
FKM	Forschungskuratorium Maschinenbau
FRANC	Fracture Analysis Code
GW	Gigawatt
LEBM	Linear elastische Bruchmechanik
Lw	Lastwechsel
MVCCI	Modified Virtual Crack Closure Integral
SINTAP	Structural Integrity Assessment Procedures for European Industry

Alle weiteren verwendeten oder hiervon abweichenden Symbole und Bezeichnungen sind im Text erläutert.

## KURZFASSUNG

Eine der Ursachen für das Versagen technischer Bauteile ist das Ermüdungsrißwachstum von Fehlstellen in Folge zyklischer Beanspruchung. Im Kontext einer modernen Produktentstehung ist die numerische Simulation von Bauteilen weit verbreitet. Wichtige Daten, wie die im fehlstellenfreien Bauteil wirkenden Spannungen, sind unabhängig von einer bruchmechanischen Untersuchung auftretender Fehlstellen verfügbar. Deren synergetische Nutzung zur Bestimmung der Rissbeanspruchung durch herkömmliche Anwendung von Rissausbreitungssimulationenprogrammen ist jedoch nicht ohne Weiteres möglich. Neumodellierungen des Ausgangsproblems sind nötig. Vor diesem Hintergrund werden in der vorliegenden Dissertation Herangehensweisen erarbeitet, die vorhandene mehrachsige Spannungsdaten fehlstellenfreier Bauenteile zur Bestimmung der Rissbeanspruchung nutzen. In der Praxis gestaltet sich dadurch die bruchmechanische Bauteilbewertung deutlich effizienter. Die Herangehensweisen basieren größtenteils auf kubischen Ersatzmodellen, wodurch der Modellierungs- und Berechnungsaufwand reduziert wird. Der Fokus liegt dabei auf der Untersuchung der Wachstumsfähigkeit von Rissen. Die anhand von Fehlstellen eines im Bereich thermischer Kraftwerke verwendeten Y-Siebfilter sowie einer Kurbelwelle im Verbrennungsmotor durchgeföhrte Validierung zeigt die Ergebnisgenauigkeit und Effizienz der Herangehensweisen. Außerdem wird deutlich, dass die Wahl der verwendeten Herangehensweise von der Phase im Produktlebenszyklus abhängt.

## ABSTRACT

One of the major reasons for failure of technical components is fatigue crack growth of imperfections subjected to cyclic loading. In the context of the modern product development numerical simulations of technical components are widespread. Important information like the effective stress fields obtained from simulation results of defect-free components is available independently of the fracture mechanical assessment of imperfections. The synergistic use of this stress data with conventional crack growth simulation software is complicated so far. Comprehensive modeling is necessary to obtain stress intensity factors for the original problem. Against this background in this paper approaches are presented to determine crack loading using available multiaxial stress data obtained from existing simulation results of uncracked technical components synergistically. They promise an efficient fracture mechanical assessment procedure for industrial applications. The approaches are mostly based on cubical shaped substitute models whereby modelling and computing time are significantly reduced. They are especially suitable for evaluating the growth ability of imperfections. The validation of accuracy and efficiency of the approaches is done successfully by investigating imperfections of a Y-shaped strainer used in thermal power plants as well as in a crankshaft of a combustion engine. Here it is shown that the choice of the proper approach depends on the phase in the product life cycle.

