

Grundlagen der Bruchmechanik

**Herausgegeben von
H.-P. Rossmannith**

Springer-Verlag Wien New York



Grundlagen der Bruchmechanik

**Herausgegeben von
H.-P. Rossmann**

Springer-Verlag Wien New York



Doz. Dr. Hans-Peter Rossmannith

Institut für Mechanik
Technische Universität Wien, Österreich

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung,
des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen,
der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem
oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen,
bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.
© 1982 by Springer-Verlag/Wien
Printed in Austria by Novographic, Ing. Wolfgang Schmid, A-1230 Wien

Mit 187 Abbildungen

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Grundlagen der Bruchmechanik / hrsg. von
H.-P. Rossmannith. — Wien ; New York :
Springer, 1982.

ISBN 3-211-81683-6 (Wien, New York)

ISBN 0-387-81683-6 (New York, Wien)

NE: Rossmannith, Hans-P. [Hrsg.]

ISBN 3-211-81683-6 Springer-Verlag Wien—New York
ISBN 0-387-81683-6 Springer-Verlag New York—Wien



VORWORT

Die Bruchmechanik als Lehre und Wissenschaft der Vorgänge beim Brechen und Trennen von Festkörpern in zwei oder mehrere Teile kombiniert analytische und experimentelle Methoden und Verfahren aus der Materialtechnologie, der angewandten Mechanik und dem Ingenieurwesen. Die Ingenieurwissenschaft trägt zur Last- und Spannungsanalyse bei, die angewandte Mechanik liefert die Spannungsverteilung an der Rißspitze sowie die elastischen und plastischen Deformationsanteile des Materials in der Umgebung der Rißspitze, und die Materialtechnologie befaßt sich mit dem Bruchvorgang im mikrostrukturellen und atomaren Bereich. Diese Vernetzung verschiedener Wissensgebiete trägt einerseits zur Komplexität der Bruchforschung bei; andererseits liegt gerade in der interdisziplinären Wechselwirkung und konstruktiven Synthese der Grund für die besondere Attraktivität des heute hochaktuellen Forschungsgebietes der Bruchmechanik.

Der Grund für den außerordentlich raschen Aufschwung der Bruchmechanik in den letzten beiden Jahrzehnten ist vor allem in ihrer großen praktischen Bedeutung für die Festigkeitslehre zu suchen. Die Kumulation von katastrophalen Schäden im Flugzeug-, Schiff-, Reaktor- und Brückenbau infolge Sprödbrechenausbreitung bewirkte vor allem in USA in den vergangenen drei Jahrzehnten ein ständig wachsendes Interesse an der Erforschung und am Verständnis der dem Bruchvorgang zugrundeliegenden physikalischen Prozesse. Dabei entwickelte sich eine neue Disziplin - die Bruchmechanik -, welche große Teile der klassischen Fachgebiete Mechanik, Physik, Metallurgie und Ingenieurwesen umfaßt und in sich vereinigt. In den USA sind bereits seit längerem charakteristische Materialparameter, die das Bruchverhalten und den Widerstand des Materials gegen Bruchausbreitung beschreiben, in das ASTM - Book of Standards aufgenommen worden, und diese werden von der Industrie weitgehend zur Charakterisierung der Festigkeit von Werkstoffen benützt.

Um die Ergebnisse und Methoden der Bruchmechanik einem breiteren Kreis von Fachleuten aus Industrie, Wirtschaft und Technik vorzustellen und um über

Möglichkeiten der Anwendung, aber auch über die Grenzen der Bruchmechanik zu informieren, veranstaltete die Arbeitsgemeinschaft "Bruchforschung, Haftungs- und Schadensrecht" in Wien mit finanzieller Unterstützung aus der Industrie am 12. und 13. Juni 1980 ein Einführungsseminar in die Grundlagen der Bruchmechanik unter besonderer Berücksichtigung der Schadensanalyse für die Praxis. Teilnehmer aus Forschung und Industrie, die sich mit Bruchproblemen in Metallen, Kunststoffen, Beton, Fels und keramischen Werkstoffen beschäftigen, informierten sich über die theoretischen und experimentellen Grundlagen und die Anwendungsmöglichkeiten dieses Fachgebietes.

Nach einer kurzen Übersicht über die historische Entwicklung und die Aufgabenstellung der Bruchmechanik werden die theoretischen Grundlagen wie auch die für die Anwendungen interessierenden Meßvorschriften zur Ermittlung von bruchmechanischen Kenngrößen und Analysemethoden für die Schaden- und Fehlerbewertung in zehn Vorträgen vorgestellt. Unter den Voraussetzungen der linearen Elastizitätstheorie werden Spannungsverteilungen vor Rißspitzen in belasteten Platten berechnet; dabei wird der Spannungsintensitätsfaktor eingeführt, welcher die Intensität der Spannungssingularität, d.h. des Anstiegs der Spannung vor der Rißspitze, charakterisiert. Für einfache Fälle werden K-Faktoren ermittelt und für kompliziertere geometrische Konfigurationen und Lastfälle werden Approximationen angegeben und diskutiert. In den darauffolgenden Beiträgen wird gezeigt, daß sich der Widerstand eines Werkstoffes gegen Reißen durch eine vom Material selbst und den äußeren Betriebsbedingungen abhängige Kenngröße - die Materialzähigkeit K_{1C} - charakterisieren läßt. Bruch tritt ein, wenn der analytisch berechnete Spannungsintensitätsfaktor K einen experimentell zu bestimmenden Vergleichswert K_{1C} übersteigt. In den mehr anwendungsorientierten Beiträgen wird dieses Konzept - und dessen Erweiterung auf duktil sich verhaltende Werkstoffe - vorgestellt. Die Messung bruchmechanischer Kennwerte, Bemessungsgrundlagen, bruchmechanische Verfahren der Fehlerbeschreibung und -bewertung, Sicherheitskonzepte und Prüfverfahren werden in Zusammenhang mit aktuellen Beispielen der Schadensanalyse diskutiert. Rißausbreitungs- und Instabilitätskriterien, die Anwendung der Bruchmechanik auf Probleme der Ermüdungsrißausbreitung sowie auf schnellaufende Risse und Rißarrestkonzepte bilden den Inhalt dreier weiterer Beiträge. Die Rolle der Elektronenmikroskopie in der Erforschung der Mikromechanismen der verschiedenen Bruchformen und -typen bei metallischen Werkstoffen und in der mikroskopischen Schadensanalyse wird ebenso aufgezeigt wie die problemorientierte Anwendung spezieller finiter Elemente zur numerischen Behandlung von komplizierten aktuellen Problemen des Maschinenbaues und des Bauingenieurwesens. Der Einsatz der wichtigsten optischen Verfahren zur Ermittlung statischer und dynamischer Spannungsintensitätsfaktoren wird anhand von ausgewählten

VII

Beispielen demonstriert. Im abschließenden Beitrag über die Möglichkeiten und Grenzen der Bruchmechanik wird auf die Problematik der übereifrigen Anwendung der Methoden und Ergebnisse der Bruchmechanik und die daraus resultierenden Fehlinterpretationen hingewiesen.

Die Buchbeiträge wurden nach dem Abschluß des Seminars von den Autoren nochmals bearbeitet, ein Beitrag ist hinzugekommen, aus anregenden Diskussionen entstandene Problemstellungen wurden eingebaut und die Literaturliste auf den neuesten Stand gebracht.

Das dem Buch angeschlossene englisch-deutsche Fachwörterverzeichnis wird für die Einarbeitung in das Gebiet der Bruchmechanik eine wertvolle Hilfe sein.

Aufrichtigen Dank sei allen Autoren für ihre Beiträge ausgesprochen. Der Control Data GesmbH Wien sind wir für die finanzielle Unterstützung zu Dank verpflichtet. Dem Verlag sei für freundliches Entgegenkommen vielmals gedankt.

Insbesondere die Herren Dr.H.Linsbauer und Dr.E.Tschegg von der Technischen Universität Wien haben sich um das Zustandekommen des Seminars und seine Organisation sehr verdient gemacht. Mein besonderer Dank gilt den Herren Professoren Dr.H. Parkus von der Technischen Universität Wien und Dr.G.R. Irwin - dem "Vater der Bruchmechanik" - von der University of Maryland, USA, für die fachliche Unterstützung und konstruktive Zusammenarbeit.

Wien, im Januar 1982

H.-P. Rossmannith

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
HISTORISCHE ASPEKTE DER BRUCHMECHANIK	1
H.-P. Rossmannith, Wien	
1. Historische Entwicklung der Bruchmechanik	1
2. Stellung und Aufgaben der Bruchmechanik	5
3. Das Ingenieur-Problem	5
4. Vorgangsweise in der Bruchmechanik	7
GRUNDLAGEN DER INGENIEUR-BRUCHMECHANIK	11
H.-P. Rossmannith, Wien	
1. Spannungsanalyse an Rissen	11
1.1. Bruchbeanspruchungsarten	12
1.2. Das elastische Spannungsfeld eines Risses	12
1.3. Ermittlung der Spannungsintensitätsfaktoren	16
1.3.1. Elementare Spannungsintensitätsfaktoren	17
1.3.2. Einfluß der endlichen Probengeometrie	18
1.3.3. Methode der Green'schen Funktionen	21
1.3.4. Superposition von Spannungsintensitätsfaktoren	22
1.3.5. Elliptische Risse	23
1.3.6. Kreisrisse in Zugstäben	26
1.3.7. Spannungsintensitätsfaktoren bei der Plattenbiegung	27
2. Die plastische Zone an der Rißspitze	28
3. Die Bruchzähigkeit K_C	33
4. Energieumsetzung beim Bruch	35
4.1. Das Griffith'sche Kriterium	35
4.2. Das Irwin-Konzept : die Rißausbreitungskraft G	36
4.3. Der Zusammenhang von G mit dem Spannungsintensitätsfaktor K	36

	Seite
5. Das J-Integral	38
6. Die Reißwiderstandskurve	39
7. Das C(T)OD-Kriterium	43
8. Bruchkriterien bei gemischter Beanspruchungsart	45
MESSUNG BRUCHMECHANISCHER KENNWERTE	50
D. Munz, Karlsruhe	
1. Einleitung	50
2. Grunderscheinungen der Reißausbreitung	50
I. Unterkritische Reißausbreitung	51
II. Stabile Reißausbreitung bei stetig zunehmender Belastung	51
III. Instabile Reißausbreitung	52
3. K_{IC} -Ermittlung	54
4. Die J_{IC} -Ermittlung	63
5. Der Reißmodul (tearing-modul)	70
6. Ermittlung kritischer Werte der Reißaufweitung an der Reißspitze	72
ANWENDUNG DER BRUCHMECHANIK IM MASCHINENBAU	81
T. Varga, Wien	
1. Einleitung	81
2. Nachweis der plastischen Verformbarkeit mit Hilfe der Stufenfolge der Sprödbbruchprüfungen	83
2.1. Statistisch gestützte Verfahren - Die Kerbschlagprüfungen	83
2.2. Fallgewichtsprüfung (Grenzwertverfahren)	85
2.3. Angepaßte Prüfungen: Großplattenversuche	88
3. Quantitative Verfahren: Anwendungen der Bruchmechanik	89
3.1. Werkstoffeigenschaften	90
3.1.1. Linear elastische Bruchmechanik	90
3.1.2. Elastoplastische Kennwerte	92
4. Zur Anwendung linear elastischer und elastoplastischer bruchmechanischer Verfahren	95
4.1. Linear elastisches Bruchverhalten	97
4.2. Elastoplastisches Bruchverhalten	98
5. Einige Aspekte der Spannungsermittlung	101
6. Anmerkungen zur nichtzerstörenden Fehlerprüfung	101

	Seite
ANWENDUNG DER BRUCHMECHANIK AUF PROBLEME DER ERMÖDUNG - I	105
K.H. Schwalbe, Geesthacht	
1. Allgemeiner Zusammenhang zwischen Rißausbreitung und Spannungsintensität	105
2. Einfluß des Spannungsverhältnisses auf die Rißgeschwindigkeit	108
3. Einfluß des Werkstoffs auf die Rißgeschwindigkeit	110
4. Rißausbreitungsmechanismen	114
5. Rißausbreitung bei nicht-einstufiger Beanspruchung	116
ANWENDUNG DER BRUCHMECHANIK AUF PROBLEME DER ERMÖDUNG - II	122
K.H. Schwalbe, Geesthacht	
1. Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Lebensdauerermittlung	122
2. Lebensdauerberechnung bei der Einstufenbeanspruchung	124
3. Lebensdauerberechnung bei nicht-einstufiger Beanspruchung	126
4. Praktische Anwendung	128
5. Möglichkeiten zur Verlängerung der Lebensdauer angerissener Bauteile	133
ERSCHEINUNGSFORMEN VON BRÜCHEN METALLISCHER WERKSTOFFE	136
E. Tschegg, Wien	
1. Gewaltbruch	136
1.1. Spaltbruch	137
1.2. Quasispaltbruch oder Rosettenbruch	139
1.3. Duktiler Bruch	140
1.4. Korngrenzenbruch	142
2. Schwingungsbruch	143
3. Kriechbruch	146
4. Schadensanalyse	147
DIE ANWENDUNG DER METHODE DER FINITEN ELEMENTE IN DER BRUCHMECHANIK	152
H. Linsbauer, Wien	
1. Einleitung	152
2. Das Spannungs- und Verschiebungsfeld in der unmittelbaren Nähe der Rißspitze	152
3. Die Anwendung verschiedener Elementtypen in der Bruchmechanik	154

	Seite
3.1. Konventionelle Elemente	154
3.2. Spezielle Bruchmechanik Elemente	155
3.3. Spezielle Anwendung	158
4. Elasto-plastische Rißprobleme	159
5. Energetische Methoden	160
5.1. Linienintegrale	160
5.2. Verfahren der Energievariation	161
6. Abschließende Bemerkung	163
 ANWENDUNG OPTISCHER METHODEN ZUR BESTIMMUNG VON SPANNUNGS- INTENSITÄTSFAKTOREN	165
H.-P. Rossmanith, Wien	
1. Photoelastische Methoden	166
1.1. Ebene statische Spannungsoptik	166
1.2. Ebene dynamische Spannungsoptik	168
1.3. Bestimmung des Spannungsintensitätsfaktors aus Isochromaten	171
1.3.1. Die 2-Parameter Methode	171
1.3.2. Die Vielpunkt-Methode	174
1.4. Räumliche Spannungsoptik	175
1.5. Spannungsoptisches Oberflächenschichtverfahren	178
1.6. Methode der Isoklinen	179
1.7. K-Wertberechnung aus Äquidensiten	180
1.8. Bestimmung des K-Wertes aus Isopachen	181
2. Moiré-Verfahren	182
3. Kaustik-Methode	186
 BRUCHDYNAMIK LAUFENDER UND ARRETIERENDER RISSE	191
J.F. Kalthoff, Freiburg	
1. Einleitung	191
1.1. Zweck von Rißarrestuntersuchungen	191
1.2. Maßnahmen zur Rißinitiierung	192
2. Das Verhalten schnell laufender Risse	194
2.1. Das Spannungsfeld an der Spitze eines laufenden Risses	194
2.2. Die dynamische Bruchzähigkeit K_{ID} eines laufenden Risses	196
3. Rißarrestproben und deren Belastung	197
3.1. Einige Testproben und Spannungsintensitäts- faktor-Beziehungen	198
3.2. Belastungsart	200

XIII

	Seite
4. Statische und dynamische RiBarrestmeßvorschrift	201
4.1. Statisches RiBarrest-Konzept	201
4.2. Dynamisches RiBarrest-Konzept	202
4.2.1. Kritik an dem statischen RiBarrest-Konzept	202
4.2.2. Minimalbruchzähigkeit K_{Im} und Referenzkurven-Konzept	203
5. Modelluntersuchungen zur Mechanik des RiBarrestvorgangs	205
5.1. Das schattenoptische Kaustikenverfahren	205
5.2. Einfluß dynamischer Effekte auf den RiBarrestvorgang	208
6. Auswirkungen dynamischer Effekte bei RiBarrestsicherheitsanalysen	213
 MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER BRUCHMECHANIK	 220
E. Sommer, Freiburg	
1. Einleitung	220
2. Möglichkeiten	221
3. Grenzen	229
4. Schlußbemerkung	231
 FACHWÖRTERVERZEICHNIS FÜR DIE BRUCHMECHANIK (ENGLISCH-DEUTSCH)	 233
 NAMENVERZEICHNIS	 257
 SACHVERZEICHNIS	 261

HISTORISCHE ASPEKTE DER BRUCHMECHANIK

HANS-PETER ROSSMANITH

1. Historische Entwicklung der Bruchmechanik

Tritt ein Bruch bei einer technischen Konstruktion, einem Bauwerk oder auch in der Natur unerwartet auf, so ist in der Folge meist ein enormer Verlust an Material und unter Umständen auch Menschenleben zu beklagen. Beispiele des täglichen Lebens sind Achsbrüche bei Kraftfahrzeugen, Glasbruch, Kessel- und Behälterbruch, Schäden und Bruch von Talsperren zufolge Felsbewegungen, etc. Andererseits ist das gezielte und programmierte Auftreten und Ausbreiten von Brüchen sehr willkommen, z.B. im Tunnel- und Kavernenbau, im Minerallagerstättenabbau, bei der Erdölförderung, Ölschiefergewinnung und in der Steinbruchindustrie. Beispiele des alltäglichen Lebens sind das Teilen von Fliesen und Kacheln, das Trennen von Gläsern oder das Brechen der Weinheber der Weinbauern.

Mit dem rasanten technologischen Fortschritt werden wir zunehmend von der strukturellen Zuverlässigkeit unserer Konstruktionen und Bauwerke abhängig. Da die Bruchfestigkeit einen wesentlichen integralen Aspekt der Bauteilsicherheit und -zuverlässigkeit darstellt, hängt das Vertrauen, das wir in die Bruchsicherheit unserer Konstruktionen legen, sehr stark ab von der Kenntnis des Einmaleins der Bruchvorgänge und dem Verständnis der Ursachen sowie von der adäquaten Verwendung der gewonnenen Erkenntnisse im Entwurf, der Konstruktion, der Qualitätskontrolle und des sicheren Betriebes des technischen Anlagen. Diese Erkenntnisse fließen direkt in die Entwicklung und Verbesserung der Normvorschriften und dienen damit der Verhütung von Schäden. Große psychologische Wirkung - vornehmlich Unsicherheit - werden in der Bevölkerung durch z.B. heutzutage leider zu oft auftretende Schäden in städtischen Gasversorgungsanlagen und Gasleitungsnetzen hervorgerufen. Die betagten - manchmal bis zu achtzig Jahre alten - Gasleitungsnetze werden durch Straßenverkehrerschütterungen und verschiedene andere bruchfördernde Faktoren aufs höchste beansprucht und weisen oft gefährliche Bruchstellen mit Gasaustritt auf, die leider manchmal katastrophale Folgen nach sich ziehen.

Die Bruchmechanik ist wahrscheinlich so alt wie die Menschheit selbst, zieht man die Verwendung geschärfter Steinwerkzeuge unserer Urahnen in Betracht. Die ersten historisch belegten Überlegungen zur Bruchfestigkeit von imperfekten Eisendrähten finden sich in Leonardo da Vinci's Aufzeichnungen /1/ zusammen mit einer technischen Anordnung zur Bestimmung der Bruchfestigkeit von verschieden langen Eisendrähten. Allerdings war Leonardo noch mehr am sicheren Transport seiner bildhauerischen Meisterwerke als an der Bruchmechanik interessiert. Um ca. 1650 untersuchte der Hofingenieur Ludwigs XIV, Mariotte, bei Vorstudien zur Errichtung der großartigen Wasserspiele in Versailles die Deformation und den Berstdruck von zylindrischen Druckgefäßen und berichtete an die Französische Akademie der Wissenschaften über den linearen Zusammenhang zwischen Druck und Umfangsverlängerung der Gefäße wie auch über den Zusammenhang zwischen der kritischen Umfangsverlängerung und dem zugehörigen Berstdruck /2/. Vereinzelt Untersuchungen zur Materialzugfestigkeit von Eisendrähten stammen von Leblanc (1830) /3/, aber selbst um 1926 schreibt Love in seinem Standardwerk "A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity" /4/ noch, daß "...die Bedingungen für Bruch nur sehr vage verstanden werden..". Dieses unzureichende Verständnis der Bruchvorgänge wurde deshalb durch riesige Sicherheitsbeiwerte (6 für Boiler und Achsen, 6-10 für Eisenbahnbrücken und 12 für Propellerwellen) wettgemacht. Um 1860 kamen riesige Zugprüfmaschinen (Lloyd) in Verwendung und die Entwicklung des Kerbschlagbiegeversuchs setzte ein. Die Ludwik'sche Hypothese (1909) /5/ erklärte den relativ steilen Anstieg der Kerbschlagbrucharbeit mit der Prüftemperatur durch das Zusammenspiel der nahezu temperaturunabhängigen Kohäsionsfestigkeit und der stark mit der Temperatur ansteigenden Fließfestigkeit des Materials. Versuche von Stanton und Batson (1920) und Docherty (1930) /6/ zeigten, daß die Gesetze der mechanischen Ähnlichkeit bei bruchmechanischen Problemen keine Allgemeingültigkeit mehr besitzen; eine Tatsache, die auch von Ermüdungsrißausbreitungsversuchen gestützt wird. Daß der "Umsturz der Prinzipien der mechanischen Ähnlichkeit" durch Bruchvorgänge auf die Konstrukteure einen schockartigen Einfluß gehabt haben muß, ist aus der - leider auch heute noch oft angewendeten - Methode der geometrischen Ähnlichkeit in der konstruktiven Bemessungspraxis ersichtlich.

Die grundlegenden Ideen für den Beginn der modernen und eigentlichen Bruchmechanik stammen von A.A.Griffith (1920) /7/ und der Einführung der Versetzungsmechanik. Die auf der Energiebilanz beruhende Griffith'sche Bruchtheorie und die daraus abgeleitete Griffith'sche Formel setzen bereits die Rißlänge als wichtigste geometrische Größe in Beziehung zur angelegten kritischen Spannung und gewissen Materialkennwerten. Zwischen 1930 und 1950 erfuhr die Erforschung der Bruchphänomene in verschiedenen Materialien einen starken Auftrieb von der

Versetzungstheorie her.

Die Untersuchungen über Panzerungen und die Möglichkeit der Leichtgewichtspanzerung von Militärflugzeugen und der damit verbundenen metallurgischen Probleme ab 1937 am U.S.Naval Research Laboratory initiierten das Interesse für Bruchmechanikstudien an der University of North Carolina, USA.

In Europa entwickelte Weibull (1939) auf der Grundlage einer Art Griffith'scher Bruchtheorie eine statistische Theorie der Materialfestigkeit. Ähnliche, auch auf statistischen Konzepten beruhende Bruchhypothesen wurden etwa zur gleichen Zeit in Japan entwickelt.

Die erschreckende Häufung von Bruchschadensfällen während des zweiten Weltkrieges führte zum Wiederaufleben der intensiven Beschäftigung mit der Bruchmechanik. Die 1945 abgehaltene British Admiralty Conference über "Brittle Fracture of Mild-Steel-Plates" in Cambridge /8/, das Symposium der American Society for Metals (ASM) über "Fracturing of Metals" in Chicago 1947 /9/ sowie die zwei Übersichtsartikel von Gensamer et al./10,11/ beziehen sich bereits auf mehr als 250 Literaturstellen. Beim ASM-Symposium 1947 /9/ vertritt Irwin die Ansicht, daß ein Verständnis der Rißausbreitung nur über die Entwicklung des Nichtgleichgewichtes zwischen der auf der Griffith'schen Theorie beruhenden Energiefreisetzungsrate und der Änderung der für den Rißfortschritt notwendigen Arbeit der plastischen Deformation erreicht werden könne. Irwin und Orowan adaptierten und modifizierten die Griffith'sche Theorie des Sprödbruchs für die Anwendung auf Bruchvorgänge in Werkstoffen mit nicht mehr vernachlässigbaren plastischen Deformationsanteilen an der Rißspitze. Diese modifizierte Griffith -Theorie kann solange als brauchbares Instrumentarium angesehen werden, als Bruch vor allgemeinem globalem Fließen eintritt.

Das lebhafteste Interesse an der Bruchmechanik verbunden mit dem Fehlen einer übergeordneten allgemein akzeptierten Orientierung manifestiert und reflektiert sich in der sich ergebenden substantiellen Verwirrung in der Begriffsbildung und Forschungsmethodik in der Fachliteratur in der Zeit von 1948-1959. Es war beispielsweise nicht klar, welche Verwandtschaft zwischen der Neuber'schen Kerbspannungslehre und den auf Leistungsbilanzen basierenden Bruchanalysen besteht; und ebenso schwebte der Begriff der "Übergangstemperatur" bei der Spröd-Zäh-Bruchverhaltensänderung leer im Raum.

Die Weiterentwicklung der fundamentalen Ideen der Bruchtheorie und deren Anwendungen durch Irwin, Kies und Orowan zwischen 1948 und 1954 /6/, insbesondere die Entwicklung der Grundlagen der Ingenieur-Bruchmechanik durch Irwin und seine Mitarbeiter wurden nicht vor 1960 allgemein akzeptiert. Erst eine Serie von schweren Schadensfällen während der Periode 1954-60 (siehe Tabelle I) sicherte der Bruchmechanik festen Fuß durch den Beschluß der American

Society for Testing and Materials (1959) zur Gründung eines Komitees ASTM-E-24 für die Bruchprüfung von hochbeanspruchten metallischen Werkstoffen. Im ersten Report vom Jänner 1960 heißt es: "...die Gültigkeit der analytischen Methoden der Bruchmechanik ist hinreichend gut gesichert, um ihre Verwendung in der Fragestellung, ob ein Bruchversuch 'die signifikanten Größen für die Durchführung eines Testes mißt', zu erlauben, und den Grad der Verallgemeinerung von Bruchversuchsergebnissen auf in Betrieb befindliche komplexe Strukturen zu bestimmen".

Während der Periode 1960-1967 wurde die Bruchmechanik auf Probleme der Ermüdung und der Spannungskorrosion angewendet. Bruchmechanische Denkweisen und Methoden fanden Eingang in die Gebiete der Klebeverbindungen, Kompositmaterialien, der Felsbruchmechanik, in die Keramik- und Glasindustrie. Um 1967 waren die grundlegenden Methoden zur Materialprüfung für Probleme des ebenen Verzerrungszustandes gesichert und in weiter Verbreitung. Spezielle Probenkörper für die Materialprüfung wurden entwickelt und standardisiert. Die zunehmende Verwendung von dünnwandigen strukturellen Elementen (z.B. dünne Blechplatten im Flugzeugbau, etc.) forderte die Entwicklung neuer Charakterisierungs- und Bestimmungsmethoden, welche auch für Fälle mit relativ großen plastischen Zonen um die Rißspitze uneingeschränkte Gültigkeit besitzen.

Parallel zur Entwicklung der mehr anwendungsorientierten Ingenieur-Bruchmechanik erfolgte der Aufbau der auf den Grundlagen der Elastizitätstheorie und Plastizitätstheorie beruhenden mathematisch anspruchsvolleren Rißmechanik. Im Gegensatz zur Bruchmechanik, die ihre Untersuchungen an der ungerissenen Probe durchführen kann, geht die Rißmechanik von der gerissenen Probenkonfiguration aus und ermittelt das Spannungs-Verzerrungsfeld in der Rißspitzenumgebung. Modernste mathematische Methoden - Integraltransformationen, numerische und Finite-Elemente Verfahren - werden zur Berechnung von interessierenden physikalischen Größen herangezogen.

Die modernen Strömungen in der Bruchmechanikforschung sind sehr stark von der Wechselwirkung mit der Industrie und Technik geprägt. Bruchmechanische Methoden werden heutzutage bei Problemen des Bergbaues und der Energiegewinnung erfolgreich eingesetzt, sie finden Anwendung in der Biomechanik, etc. und haben in vielen anderen Gebieten zu alten Problemen eine Menge neuer Zugänge und Möglichkeiten eröffnet. Über dieser Euphorie und allzueifrigen Anwendung der Bruchmechanik wird aber allzuleicht vergessen, daß der Bruchmechanik von ihren inneren Prinzipien her auch Grenzen gesetzt sind. Es ist auch unsere Aufgabe, mögliche Fehlinterpretationen zu vermeiden und den Bereich der sinnvollen Anwendung der Bruchmechanik - besonders in der Schadensanalyse - abzustecken.

2. Stellung und Aufgaben der Bruchmechanik

Die Bruchmechanik als Lehre und Wissenschaft der Vorgänge beim Brechen und Trennen eines Körpers in zwei oder mehrere Teile kombiniert mathematisch-physikalische Methoden mit metallurgischen Konzepten.

Die Notwendigkeit zur genaueren Untersuchung der Bruchvorgänge in den verschiedensten Materialien hat zur Entwicklung der Bruchforschung als eigener Disziplin geführt. Dabei ist die Bruchmechanik nicht Teilgebiet der Mechanik, sondern erstreckt sich über die Materialtechnologie (materials science), angewandte Mechanik (applied mechanics) und das Ingenieurwesen (engineering). Die Ingenieurwissenschaft trägt zur Last- und Spannungsanalyse bei, die angewandte Mechanik liefert die Spannungsverteilung an der Rißspitze sowie die elastischen und plastischen Deformationsanteile des Materials in der Umgebung der Rißspitze. Die Materialtechnologie befaßt sich mit dem Bruchvorgang im mikrostrukturellen und atomaren Bereich. Dies ist in der Abbildung 1 nach D.Broek /13/ schematisch skizziert. Keinenfalls besteht die Aufgabe der Bruchmechanik allein darin, materialspezifische Kennwerte zu ermitteln, welche zur qualitativen und quantitativen Behandlung der Rißausbreitung in Bauteilen unter Betriebsbedingungen herangezogen werden können. Diese Kennwertermittlung fällt in das wichtige Gebiet der Materialprüfung. Im Bereich der Festigkeitslehre treten die bruchmechanischen Konzepte zu den klassischen elastizitäts- und plastizitätstheoretischen Bemessungsgrundlagen und moderne Zuverlässigkeits- und Sicherheitsuntersuchungen sind ohne die Berücksichtigung bruchmechanischer Aspekte nicht mehr denkbar.

3. Das Ingenieur-Problem

Wird ein sich ausbreitender Riß in einer Konstruktion noch entdeckt, bevor er sich zur Katastrophe entwickelt hat, so steht der Ingenieur oft vor folgendem Problem: Ein Bauteil besitzt einen Riß, welcher sich zufolge der Anwendung wiederholter Beanspruchung oder aufgrund der Kombination von Beanspruchung und ungünstigem Umgebungseinfluß verlängert und sich auf die Lebensfähigkeit und die Lebensdauer des Bauteils fatal auswirken kann. Die Tatsache, daß die Spannungsintensität an der Rißspitze mit zunehmender Rißlänge im allgemeinen ansteigt, führt zur zeitlich beschleunigten Rißausbreitung im Bauteil. Dieser Sachverhalt ist aus der Abb.2 ersichtlich und wird im Beitrag über Ermüdungsrißausbreitung detailliert behandelt. Das Tragvermögen des gerissenen Bauteiles sinkt mit zunehmender Rißlänge und die aktuelle Traglast kann die ursprünglich projektierte unterschreiten. Tritt dies nach einer gewissen Zeit ein, so entspricht der Bauteil den gestellten Anforderungen nicht mehr und es kommt zum Versagen.