
2.1 Typische Beispiele für rißartige Schäden

Um zu dokumentieren, welche Folgen das Versagen von Konstruktionen durch Rißbildung, Rißausbreitung und den abschließenden Bruch haben kann, seien einige Schadensfälle vorgestellt, die seit dem Ende des 19. Jahrhunderts aufgetreten sind und mitunter nicht nur die Fachwelt beschäftigt haben.

2.1.1 Schäden an Stahlbrücken

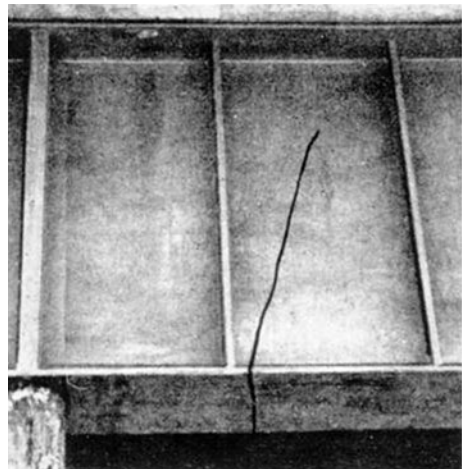
Auf der Strecke Edinburgh – Dundee stürzte am Sonntag, dem 28. Dezember 1879 die Eisenbahnbrücke über den Firth of Tay, die erst am 30. Mai 1878 für den Eisenbahnverkehr freigegeben worden war, bei orkanartigem Sturm während der Überfahrt eines Zuges ein. Ausgelöst wurde der Brückeneinsturz durch Rohrflanschrisse, Material mit unzureichenden Eigenschaften und die Nichtberücksichtigung der Windlasten bei der Bemessung der Konstruktion. Dieses Unglück, das 200 Menschenleben forderte, war das folgenschwerste Versagen einer Brückenkonstruktion (Abb. 2.1).

Zu einem Schadensfall, der zwar keine Menschenleben forderte, aber doch in der Fachpresse einen starken Widerhall fand, war das Auffinden von Rissen in der Brücke über die Hardenbergstraße am Berliner Bahnhof Zoo in der Zeit vor den bevorstehenden olympischen Spielen 1936. Ähnliche Brückenschäden traten einige Jahre später auf: In der Nacht vom 2. zum 3. Januar 1938 brachen unter rein statischen Bedingungen beim Absinken der Temperatur von -3 auf -13 °C mit lautem Knall die Untergurte zweier Hauptträger der als Schweißkonstruktion errichteten Autobahnbrücke über das Mühlenfließ bei Rüdersdorf, dem ersten Bauwerk, bei dem der in den 1930er Jahren für den Brückenbau entwickelte



Abb. 2.1 Ansicht der zerstörten Eisenbahnbrücke über den Firth of Tay [1]

Abb. 2.2 Der 1938
gebrochene Hauptträger der
Mühlenfließbrücke [2]



höherfeste Stahl St52 eingesetzt worden war. Beide Schadensfälle sind bedingt durch die unzureichenden Erfahrungen mit dem Schweißen stählerner Brücken. Bemerkenswert ist der Schaden an der Mühlenfließbrücke aber auch deshalb, weil es sich hier zeigte, daß unter günstigen Umständen die sich schlagartig ausbreitenden Risse – wie hier im Steg der 2,80 m hohen Hauptträger – aufgefangen werden können (Abb. 2.2).

Die Mühlenfließbrücke als ein in der Fachwelt bekanntes, 1938 noch während der Bauphase geschädigtes Bauwerk bereitete aber auch noch später gewisse Probleme (vgl. Abb. 2.3). Nach der teilweisen Zerstörung im Zweiten Weltkrieg und dem Wiederaufbau der zerstörten Bereiche war sie viele Jahre im Betrieb bis bei einer Brückenkontrolle ein großer

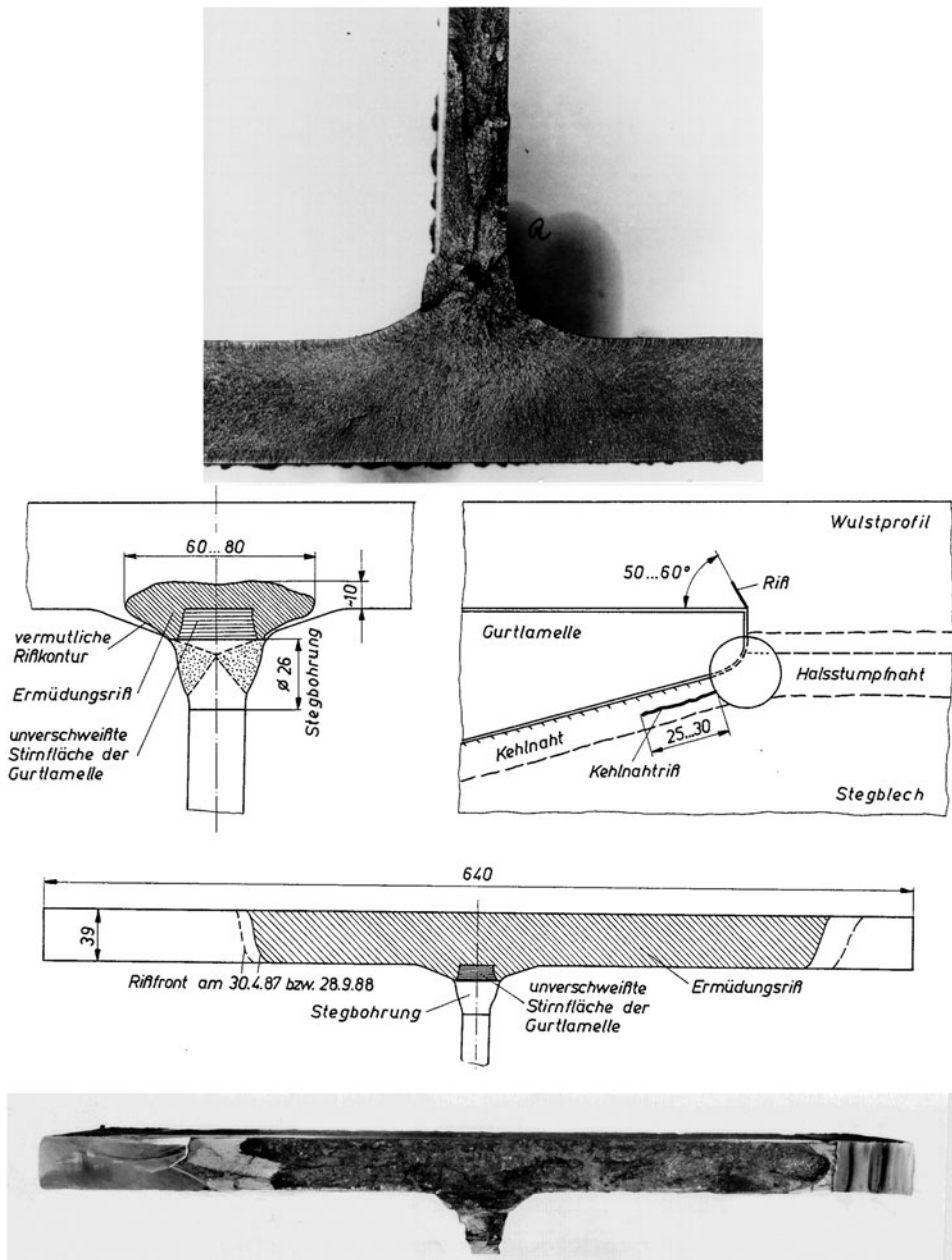


Abb. 2.3 Rißartige Schäden am Hauptträger der Mühlenfließbrücke mit dem bruchauslösenden Schweißfehler im Untergurt von 1938 (Darstellung oben [3]), des 1987/1988 zerstörungsfrei bestimmten Ermüdungsrissses im Obergurt (mittlere Darstellungen [4, 5]) sowie des aufgebrochenen Obergurtes [6]

Querriß in einem Obergurt aufgefunden wurde, der zur sofortigen Sperrung des Bauwerkes führte. Der Ausgangspunkt des Querrisses war eine herstellungsbedingt unverschweißte Stelle im Bereich des Überganges zwischen Steg und Gurt. Da in den Hauptträgern viele derartige Stellen vorhanden waren, wurden Untersuchungen zur Bewertung der Defekte und zur Restnutzungsdauer der Konstruktion durchgeführt. Auf Grund des bruchmechanischen Gutachten wäre eine weitere Nutzung bei periodischer zerstörungsfreier Kontrolle und Reparatur der nachweislich rißgeschädigten Brückenbereiche möglich gewesen. Da jedoch inzwischen festgelegt worden war, daß der Berliner Autobahnring sechsspurig auszubauen ist, dieser Ausbau unter Nutzung der vorhandenen Brückenkonstruktionen nicht realisierbar war, erfolgten der Abbau der Betonfahrbahn und der Stahlträger und deren Ersatz durch eine neue Stahlkonstruktion.

Der Bau der den Ohio in Ost-West-Richtung zwischen Point Pleasant (West Virginia) und Kanauga (Ohio) überspannenden „Silver Bridge“ [7], Abb. 2.4, wurde 1926 begonnen und 1928 abgeschlossen. Nach nahezu 40 jähriger Nutzung brach am 15. Dezember 1967 gegen 17 Uhr die Brücke ohne vorherige Warnung zusammen. 46 Menschen kamen dabei ums Leben; 37 Fahrzeuge gingen verloren. Die drei Brückensektionen mit den Spannweiten von 213,4 m im mittleren Teil und 115,8 m in den seitlichen Teilen wurden innerhalb von 60 Sekunden zerstört. Diesem Zusammenbruch unmittelbar voraus gingen „reißende“ Geräusche auf der Ohio-Seite der Brückenkonstruktion. Nach Augenzeugenaussagen begann die Brücke verzögert einzustürzen und brach dann mit einem „donnernden“ Geräusch, das während des gesamten Zusammenbruchs anhielt, vollständig zusammen.

Die nachfolgenden Untersuchungen zeigten, daß die nominellen statischen Spannungen in allen Augenstabelementen zum Zeitpunkt des Schadensfalles die Spannungen, die beim ursprünglichen Entwurf vorausgesetzt worden waren, nicht überschritten. Als Hauptursache für den Zusammenbruch wurde der von zwei kleinen Korrosionsrissen an der Bohrung eines der vier Augenstäbe der oberen Verspannung am Knoten C13 N ausgelöste Sprödbruch nachgewiesen. Der verwendete Werkstoff neigte unter den atmosphärischen Bedingungen zur Spannungsrißkorrosion, wobei die korrosionsinduzierten Risse im Laufe der Zeit wachsen konnten. Der konstruktive Entwurf der Kettenbrücke war insofern einmalig, als nur zwei Augenstäbe in jedem Kettensegment verwendet wurden, und diese Kette einen Teil der oberen Verspannung bildete. Durch Modelluntersuchungen wurde nachgewiesen, daß das Versagen eines Zugstabes der oberen Verspannung der Ausgangspunkt des Zusammenbruchs der gesamten Brückenkonstruktion war. Die Konstruktion der Brücke war nicht schadenstolerant („fail-safe“) (Abb. 2.5).

Die Eisenbahnbrücke über den Strelasund als Verbindung zwischen dem Festland und der Insel Rügen ist mit 540 m Länge eine der größten Eisenbahnbrücken der ehemaligen Deutschen Reichsbahn. Sie wurde Mitte der dreißiger Jahre als eine der ersten Brücken dieser Größe vollkommen geschweißt. Bedingt durch die Auffindung von mehreren großen, d. h. bis 470 mm langen Rissen in den Quer- und Hauptträgern sowie einer sehr großen Anzahl weiterer kleinerer Risse, vgl. Abb. 2.6, führten zu drastischen Verkehrseinschränkungen mit zulässigen Geschwindigkeiten von 30 km/h für normale Züge bzw. von 10 km/h für Güterzüge, an deren Rädern Flachstellen vorhanden waren, die die Gleise und die

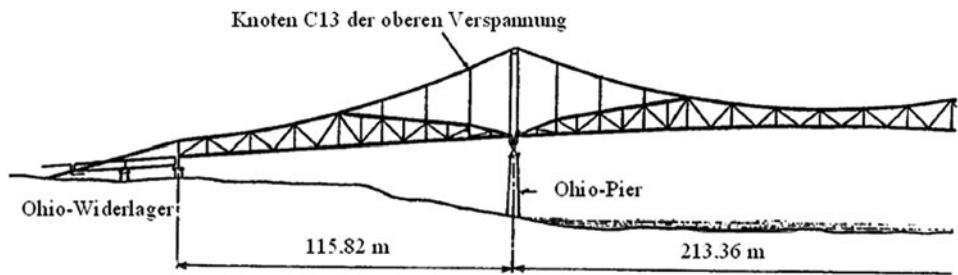


Abb. 2.4 Seitenansicht der Silver Bridge über den Ohio zwischen Point Pleasant (West Virginia) und Kanauga (Ohio) (nach [7])

Abb. 2.5 Die Silver Bridge über den Ohio [7]



Brückenkonstruktion höher als normal beansprucht. Ohne daß von den aufgefundenen Rissen und gegebenenfalls sanierten Bereichen gravierende Versagensfälle ausgelöst wurden, ist diese Brücke im Mai 1990 durch einen Neubau ersetzt worden.

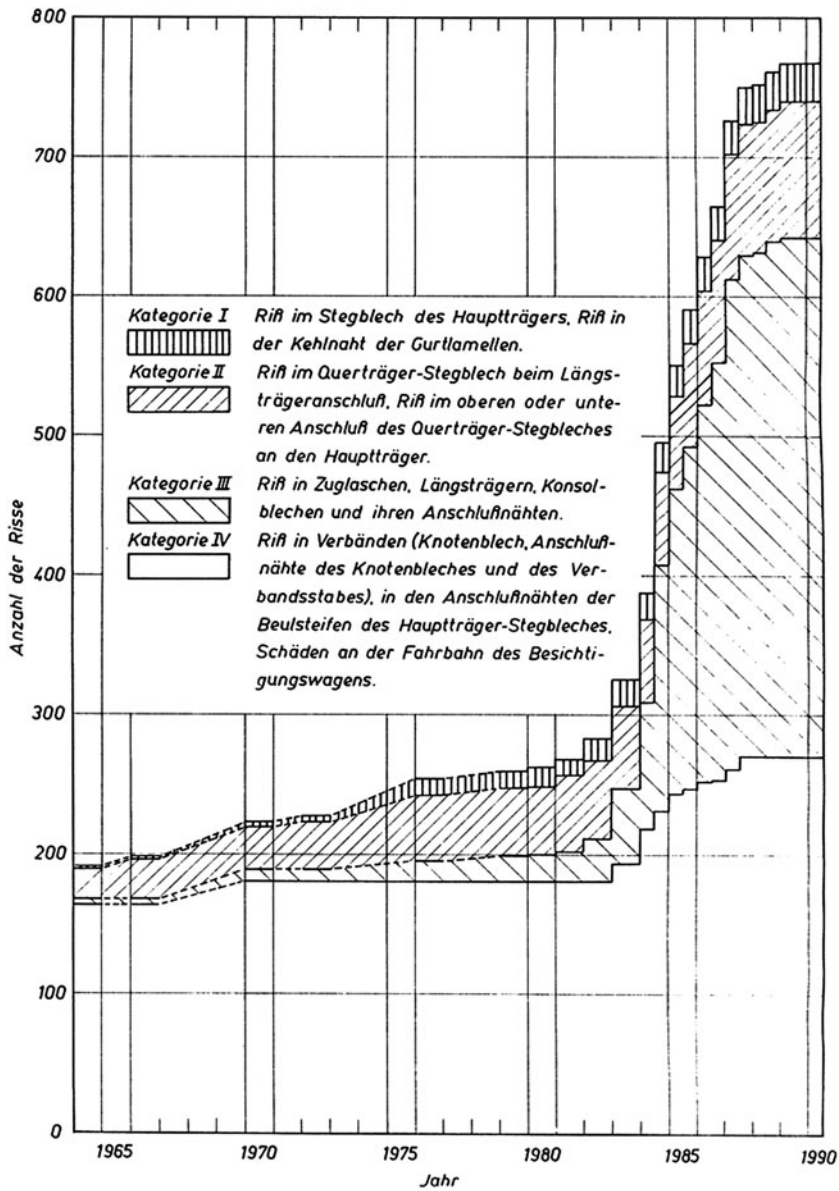
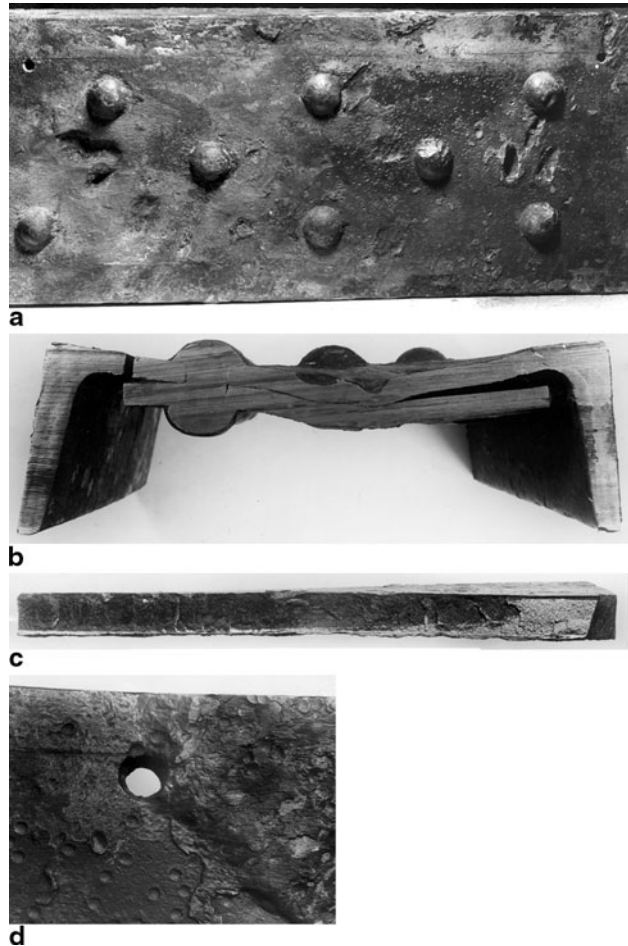


Abb. 2.6 Rißauffindung in der Strelasundbrücke, 1964–1990 [8]

In Brückenkonstruktionen können neben den typischen wachstumsfähigen Ermüdungsrisse auch Risse vorhanden sein, die durch außergewöhnliche Beanspruchungen z. B. Projektileinwirkung, Abb. 2.7, entstanden sind, unter normalen Betriebsbedingungen aber nicht ausbreitungsfähig sind.

Abb. 2.7 Längsrisse in einem Träger der im Jahre 1909 errichteten Eisenbahnbrücke über die Elbe bei Wittenberge, die unter kriegsbedingter Projektileinwirkung aus Werkstoff-Fehlern entstanden sind. **a** Ansicht der Oberfläche des Stegbereiches, **b** Ansicht des durch zwei Risse geschädigten Profilquerschnitts, **c** aufgebrochener Längsriß im Trägersteg, **d** leicht exzentrische Abbohrung am Ende des einen Längsrisses



2.1.2 Risse und Brüche an Schiffen

Das Problem des Sprödbruchs, d. h. eines an der Bruchfläche weitgehend verformungslosen Bruchs, der von kleinen, ohne technische Hilfsmittel zum Teil kaum nachweisbaren Anrissen ausgelöst wird, rückte mit umfassender Praxiseinführung der Schweißtechnik in das Blickfeld der Fachleute sowie der Öffentlichkeit. Bei Schiffkonstruktionen wurden schon im Jahre 1927 bei einem teilweise geschweißten Schiffskörper Risse beträchtlichen Ausmaßes festgestellt (siehe Abb. 2.8).

Die wohl spektakulärsten Fälle des Sprödbruchs im Bereich des Schiffbaus ereigneten sich an den im Zweiten Weltkrieg gebauten Liberty-Frachtern und T2-Tankern. Von rund 5000 während des Krieges gebauten Handelsschiffen hatten bis zum April 1946 mehr als 1000 von ihnen Risse. 10 Tanker und 3 Frachter brachen in der Mitte durch. Bei 25 anderen Schiffen wurden entweder die Decks oder die Böden der Schiffe vollständig

Abb. 2.8 Risse in einem teilweise geschweißten Schiffskörper aus den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts [2]

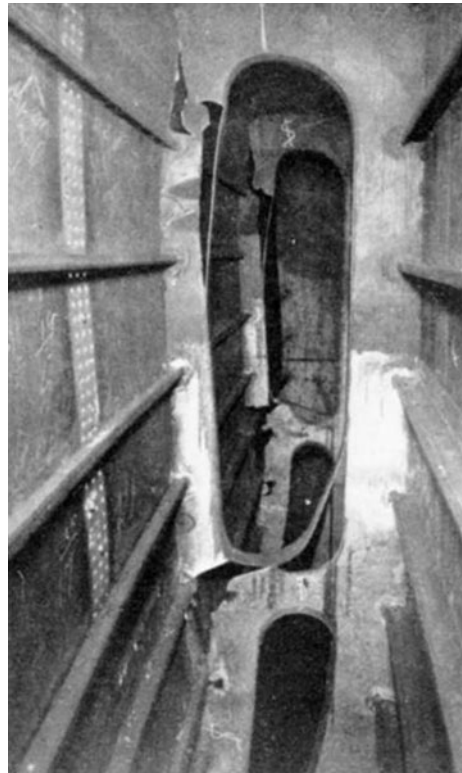


Abb. 2.9 Der nach der Probefahrt am Kai gebrochene Tanker „Schenectady“ [9]

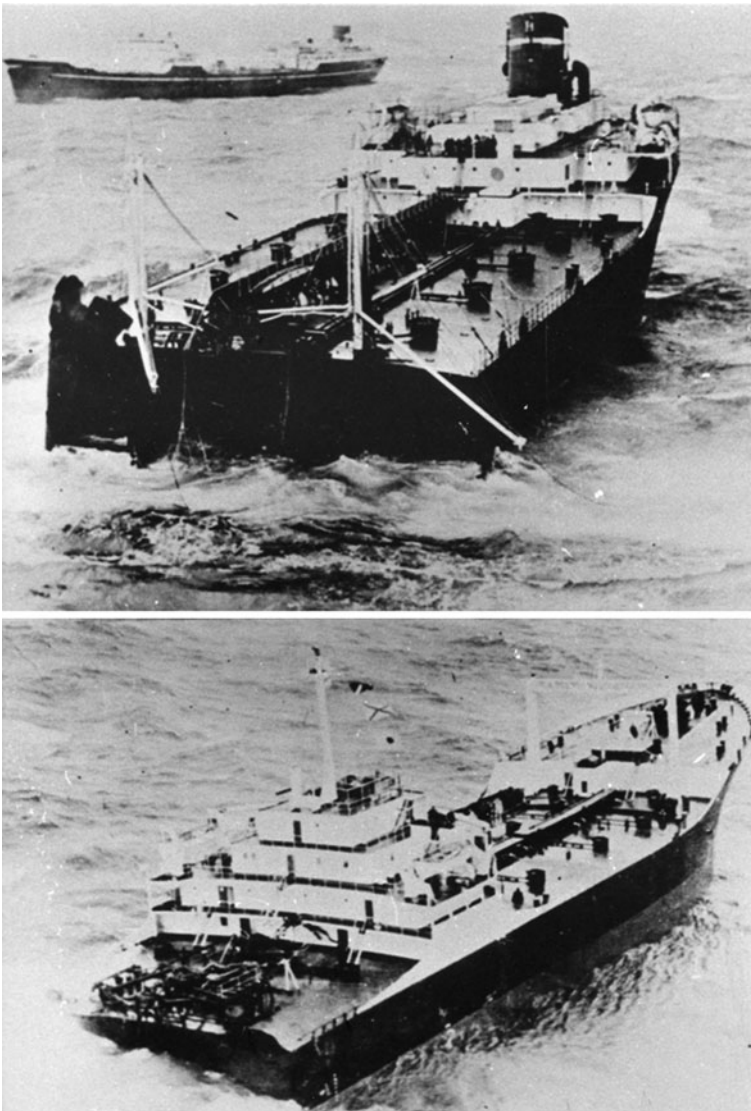


Abb. 2.10 Bei schwerem Sturm brach Ende November 1954 in der Irischen See der liberianische Tanker „World Concord“ auseinander [6] (Foto: ADN-ZB/Keystone)

zerstört. Andere Schiffe zeigten bereits Anrisse, bevor sie in Dienst gestellt wurden. Am 16. Januar 1943 brach bei ruhiger See der am Ausrüstungskai der Schiffswerft liegende Tanker „Schenectady“, der die Probefahrt bereits absolviert hatte, auseinander, Abb. 2.9. Ein ähnliches Schicksal erlitt der Tanker „Esso Manhattan“ bei einer Fahrtgeschwindigkeit von 14 kn, leichter See und Windstärke 2.

Da Schiffe Konstruktionen sind, die über Jahrzehnte genutzt werden, ist es nicht verwunderlich, daß an den im Zweiten Weltkrieg gebauten Schiffen auch noch Jahrzehnte später beträchtliche Schäden auftraten (Abb. 2.10).

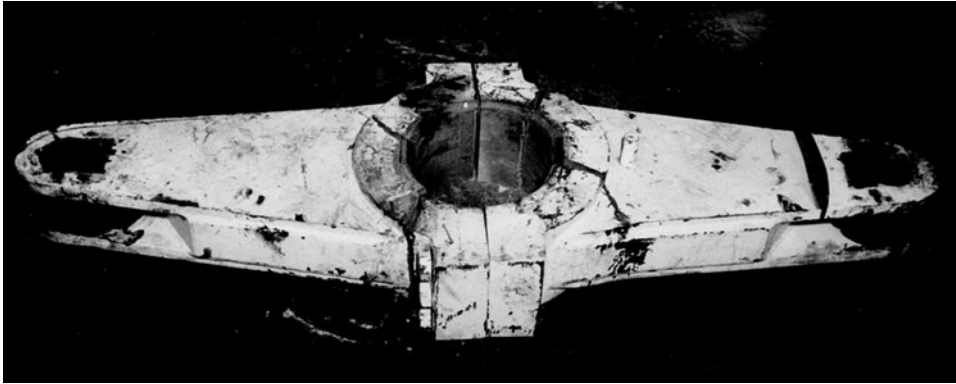


Abb. 2.11 Die gebrochene Ruderpinne des Fährschiffs „Rostock“ [10]

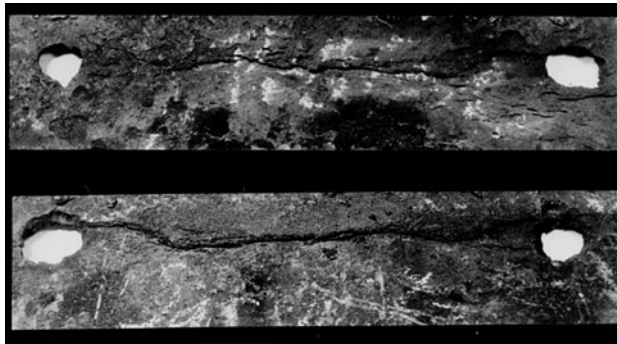


Abb. 2.12 Außenseite (oberes Teilbild) und Innenseite (unteres Teilbild) der bei der Reparatur herausgebrannten, 10 mm dicken Außenhaut des Fährschiffs "Warnemünde" der Deutschen Reichsbahn mit einem etwa 300 mm langen, provisorisch abgebohrten und zwischenzeitlich abgedichteten Riß aus dem Bereich des Doppelbodens [10] (Foto: ZME, Ziemer)

Gegenwärtig sind solche katastrophalen Ereignisse, wie auch die Sprödbrüche insgesamt stark zurückgegangen, doch darf nicht übersehen werden, daß sie – bedingt durch die Verwendung hochfester Werkstoffe – in unterschiedlichem Maß immer noch vorkommen oder vorkommen können, Abb. 2.11 und 2.12. Ein Beispiel für das Auftreten des Sprödbruchs an Schiffskonstruktionen ist der Bruch der Backbord-Ruderpinne des Fährschiffs „Rostock“ der Deutschen Reichsbahn am 20. März 1979 vor Saßnitz. Grund des Versagens der Konstruktion war die sehr geringe Zähigkeit des verwendeten Materials im Zusammenhang mit schlagartiger Beanspruchung der Ruderpinne bei relativ kalter Witterung.

2.1.3 Schäden an Offshore-Konstruktionen [11]

Die 10 105 t schwere Fünfeck-Plattform „Alexander L. Kielland“ wurde 1976 in Dunkerque als Bohrplattform gebaut, in den norwegischen Nordsee-Ölfeldern jedoch als Mannschafts-

Einführung in die bruchmechanische
Schadensbeurteilung

Edel, K.-O.

2015, XVI, 483 S. 125 Abb., 25 Abb. in Farbe.,
Hardcover

ISBN: 978-3-662-44263-0