



Heinz Meichsner

BAUWERKSRISSE kurz und bündig

Rissentstehung, -ursachen und -vermeidung,
Instandsetzung gerissener Bauteile

3., überarbeitete und erweiterte Auflage

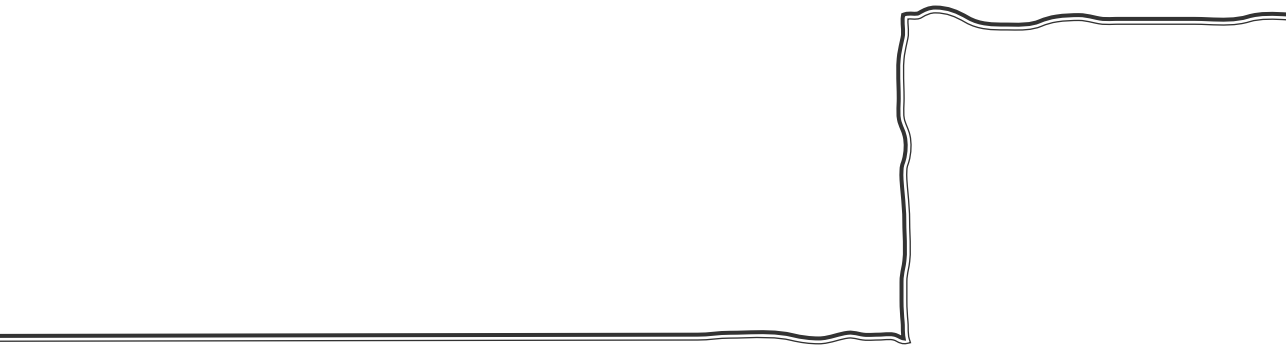


Fraunhofer IRB | Verlag

Heinz Meichsner

BAUWERKSRISSE

kurz und bündig





Heinz Meichsner

BAUWERKSRISSE **kurz und bündig**

Rissentstehung, -ursachen und -vermeidung,
Instandsetzung gerissener Bauteile

3., überarbeitete und erweiterte Auflage

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-7388-0703-5

ISBN (E-Book): 978-3-7388-0704-2

Layout: Frauke Renz

Herstellung: Gabriele Wicker

Umschlaggestaltung: Martin Kjer

Satz: Manuela Gantner – punkt, STRICH.

Druck: Offizin Scheufele Druck & Medien GmbH und Co.KG, Stuttgart

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Aus Gründen der leichten Lesbarkeit wird die männliche Sprachform bei personenbezogenen Substantiven und Pronomen verwendet. Dies impliziert keine Benachteiligung des weiblichen Geschlechts, sondern ist im Sinne der sprachlichen Vereinfachung als geschlechtsneutral zu verstehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2022

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-2500

Telefax +49 711 970-2508

irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

VORWORT ZUR 3. AUFLAGE

Im Stahlbetonbau wird Rissen heute eine relativ große Aufmerksamkeit gewidmet. Sie haben eine große Bedeutung bei der Dauerhaftigkeit von Stahlbetonkonstruktionen. Deshalb sind entsprechende Nachweise Gegenstand fast jeder statischen Berechnung. Sie sind schon seit mehreren Normengenerationen Bestandteil des Regelwerks.

Risse haben die Besonderheit, dass sie im Unterschied zu Bauwerken und Bauteilen nicht in der Längeneinheit Meter, sondern in Zehntel Millimeter gemessen werden. Das Normenwerk empfiehlt Größtwerte für die Rechenwerte der Rissbreite bis zu 0,4 mm. Differenzen von z. B. 0,1 mm – eine Winzigkeit – betragen in diesem Fall 25 % des empfohlenen Größtwertes, eine auch für technische Belange sehr große Abweichung. Kleinste Abweichungen, die nicht einfach vernachlässigt werden dürfen, sind im Bauwesen schon etwas ungewöhnlich. Bei Rissbreiten ist das normal.

Abweichungen zwischen Berechnung und Messung sind nicht die Ausnahme, sondern kommen sehr häufig vor. Deshalb wurde in der Literatur dringend davon abgeraten, Rechenwerte und Messwerte der Rissbreite miteinander zu vergleichen. In Unkenntnis dieser nachdrücklichen Empfehlung kommen Streitigkeiten wegen Überschreitung der »zulässigen Rissbreiten« gar nicht selten vor Gericht und werden dort auch meist von Richtern entschieden, die mit einer solchen Aufgabe überfordert sind. Trotz der sehr geringen Größe des Hauptgegenstands dieses Buches enthalten Risse also einiges Streitpotenzial.

Das Wissen über die Gesetzmäßigkeiten der Rissbildung und ihre richtige Umsetzung in der Planungsphase ist nicht sehr verbreitet. Der planende Architekt, der Tragwerksplaner, der Bauausführende und der Bauherr haben sehr unterschiedliche Kenntnisse über die Erscheinung »Riss«. Das erschwert in vielen Fällen die Verständigung untereinander, und so entstehen auch überzogene Forderungen und sogar Fehlentscheidungen. Es ist ein Ziel dieses Buches, Differenzen überbrücken zu helfen und so die Verständigung untereinander zu erleichtern und unrealen Forderungen einzelner Parteien von vornherein zu vermeiden.

Die Fachliteratur zur Rissbildung und zum Umgang mit Rissen im Massivbau hat überwiegend die Berechnung von Rissbreiten zum Inhalt, die nach Empfehlung der normbegleitenden Literatur strikt von den realen, nachmessbaren Rissbreiten zu trennen sind. Das bedeutet, dass die Rechenwerte der Rissbreite eine Angelegenheit der Planung sind, bei der es weder das zu planende Gebäude noch die erwarteten Risse gibt. Reale Risse am Bauwerk, die nachgemessen werden können, gibt es erst nach Fertigstellung bzw. Rohbaufertigstellung des Bauwerks. Die Messwerte der Rissbreite

können auf verschiedene Art gewonnen werden. Den gleichen Zahlenwert erhält man in keinem Fall. Deshalb sind die Messwerte der Rissbreite selten untereinander vergleichbar, sondern immer subjektiv beeinflusst. Sollwerte, mit denen die Messwerte verglichen werden könnten, gibt es nicht. Was im Normenwerk an Grenzwerten $w_{\max}$ empfohlen wird, sind Rechenwerte der Rissbreite, die für einen Vergleich mit Messwerten ungeeignet sind.

Die Messwerte kommen als fast »triviale Sachverhalte« in der Literatur sehr kurz, aber in einer gewissen Vielfalt weg. Das Ergebnis sind zahlreiche Arten, die Rissbreite zu messen und eine ebensolche Vielfalt der Auswertung von Messungen. Auf diesem Gebiet eine einheitliche, praktikable Vorgehensweise vorzuschlagen ist ein Teil der Erweiterung des Buches. Mit einem Anhang »Empfehlungen zur Messung der Rissbreite und der Rissufernverschiebung an Stahlbetonrissen« wird versucht, die Messung von Rissbreiten und ihre Auswertung etwas zu systematisieren.

Ein weiteres Problem, das die Arbeit mit realen, gemessenen Rissbreiten erschwert, ist die verschiedenartige Bedeutung, die dem Begriff der »realen Rissbreite« zugeordnet werden kann. Beispielsweise wird die Rissbreite sowohl als Einzelmesswert an einer Messstelle des Risses als auch für einen ganzen Riss als Mittelwert mehrerer Einzelmesswerte verwendet. Er wird auch einer Teilfläche eines Bauteils (Messfläche) zugeordnet, wobei möglichst viele Messwerte an einer beliebigen Anzahl von Messstellen für die Messfläche angestrebt werden. Das ist eine subjektiv beeinflussbare Vorgehensweise, die für Messvorgänge nicht zu akzeptieren ist. Auch dafür enthält das Buch Vorschläge für den einheitlichen Gebrauch dieser Ausdrücke.

Auch in der 3. Auflage wurde besonderer Wert auf die Anschaulichkeit und Verständlichkeit des Textes mit den bildlichen Ergänzungen gelegt. Damit wird ein relativ großer potenzieller Leserkreis mit unterschiedlichen Motivationen und Fachkenntnissen angesprochen, sich mit der Rissproblematik zu beschäftigen. Das Buch soll den fachkundigen Ingenieur nicht ersetzen, sondern die Zusammenhänge des Umgangs mit Rissen in einfacher Weise erläutern.

Unerwünschte Rissbildungen zu begutachten und dauerhafte Lösungen zu ihrer Beseitigung bzw. Instandsetzung zu erarbeiten, erfordert spezielle Kenntnisse, besonders über das Trag- und Verformungsverhalten von meist statisch unbestimmten Tragwerken.

Sowohl für Fachleute als auch für interessierte Laien ist es ungewöhnlich, dass sich Bauleute, die Bauwerke mit Längen und Höhen im zwei- und dreistelligen Meterbereich bauen, mit rechnerischen Rissbreiten von höchstens 0,4 mm Breite befassen und mit ihrer Hilfe die Bewehrung für große Stahlbetonbauwerke dimensionieren können. Zum Vergleich: ein menschliches Haar hat einen Durchmesser von bis zu 0,1 mm.

Außer diesem neuen Inhalt zur realen Rissbreite enthält das Buch wie die beiden vorherigen Auflagen viele Informationen zu Rissen und Rissbreiten in verständlicher Form. Die Rissbreitenberechnung für Stahlbetonkonstruktionen ist auch in dieser Auflage nicht enthalten. Diesbezüglich wird auf die Fachliteratur verwiesen.

Mit der neuen Auflage soll interessierten Lesern das Rissproblem im Beton- und Mauerwerksbau in verständlicher Form nahegebracht werden. Es kann keinen Fachmann ersetzen, der von der Rissentstehung im Tragwerk bis zur Rissbreitenänderung unter Last und Zwang alle Fragen beantworten kann. Es kann jedoch helfen, den Fachmann besser zu verstehen und ihm auch sachkundige Fragen zu stellen.

Am Gelingen dieses Buches waren direkt und indirekt viele Freunde und Kollegen beteiligt, bei denen ich mich vor allem für interessante Fachgespräche herzlich bedanke. Darin habe ich viele Anregungen und interessante Fragestellungen erhalten, die hoffentlich auch den Leser interessieren werden.

Mein besonderer Dank gilt dem Fraunhofer IRB Verlag und dort vor allem Herrn Dipl.-Ing. Thomas Altmann für die gewohnt sehr gute Zusammenarbeit.

Im Januar 2022
Heinz Meichsner



INHALTSVERZEICHNIS

1	WARUM RISSE IN MASSIVBAUWERKEN UNVERMEIDBAR SIND UND WIE SIE ENTSTEHEN	11
1.1	Die geringe Zugfestigkeit von Beton und Mauerwerk und der Verbundwerkstoff Stahlbeton	11
1.2	Die Funktion einer Bewehrung	16
1.3	Risse gibt es in Massivbauwerken schon seit Jahrhunderten – die Sandsteinkuppel der Frauenkirche Dresden – Risse seit den 1730er-Jahren	19
2	EIGENSCHAFTEN DER RISSE, GEFÄHRDUNGEN UND TECHNISCHE REGELN	21
2.1	Risse sind etwas komplizierter, als es der erste Blick vermittelt	21
2.2	Risseigenschaften	24
2.3	Potenzielle Gefährdungen durch Risse	37
3	DER RECHENWERT DER RISSBREITE UND DER VERGLEICH MIT MESSWERTEN	45
3.1	Differenzierung der Begriffe	45
3.2	Wie entstehen die rechnerische und die gemessene Rissbreite?	46
3.3	Die Messung von Rissuferverschiebung und Rissbreite	50
3.4	Grenzwerte der Rissbreite	56
3.5	Konstruktive Möglichkeiten zur Verminderung oder Vermeidung von Rissen im Mauerwerk	58
4	DIE WICHTIGSTEN RISSURSACHEN IN MASSIVBAUWERKEN	61
4.1	Nur Zugkräfte und Zugspannungen können Risse in Bauteilen verursachen	61
4.2	Zugkräfte aus Lastwirkungen	63
4.3	Zugkräfte aus Zwangwirkungen	67
4.4	Zugkräfte durch chemische Veränderungen im Zementstein	82
4.5	Zugkräfte durch die Sprengwirkung rostender Eiseneinlagen oder eingebetteter Stahlteile	83
4.6	Besonderheiten der Zugkraftentwicklung bei Zwangbeanspruchungen	85
4.7	Warum erscheinen viele Risse erst nach Monaten oder Jahren	86
5	TYPISCHE RISSFORMEN UND -BILDER IN STAHLBETONBAUTEILEN	89
5.1	Risse in Bodenplatten und Fußböden aus Beton	89
5.2	Risse in Stahlbetonwänden	96
5.3	Risse in Elementwänden	100
5.4	Risse in Elementdecken	101

6	TYPISCHE RISSFORMEN UND -BILDER IN MAUERWERK	105
6.1	Einfluss der Steinart auf die Rissbildung	105
6.2	Risse in freistehenden gemauerten Wänden	107
6.3	Risse in gemauerten Außenwänden – Bauwerke mit Stahlbetondecken	110
6.4	Besonderheiten der Aussteifung von Gebäuden mit Holzbalkendecken bezüglich der Rissgefahr	122
6.5	Besonderheiten der Rissbildung in gemauerten Außenwänden bei Gebäuden mit Holzbalkendecken	127
6.6	Risse in tragenden Innenwänden	129
6.7	Risse in nicht tragenden Innenwänden	133
7	RISSE IN WASSERUNDURCHLÄSSIGEN BAUWERKEN AUS BETON	139
7.1	Trennrisse in Wänden und Bodenplatte sind potenzielle Leckstellen im WU-Bauwerk	140
7.2	Die Besonderheiten des Entwurfsgrundsatzes B unter Nutzung der Selbstdichtung	141
7.3	Möglichkeiten zur Reduzierung des Zwangs	143
7.4	Was der Bauherr wissen sollte	147
7.5	Rechnerische Rissbreitenbegrenzung und ihre Bewertung für die Selbstdichtung (Selbtheilung)	152
7.6	Trennrisse in Zwischenebenen von Tiefgaragen	153
7.7	WU-Bauwerke aus Elementwänden	155
8	RATSCHLÄGE ZUR VERMEIDUNG VON RISSEN	157
8.1	Allgemeines	157
8.2	Rissbildung einschränken oder vermeiden in der Planungsphase	157
8.3	Rissbildung einschränken oder vermeiden in der Ausführungsphase	173
8.4	Rissbildung vermeiden oder einschränken in der Nutzungsphase	176
9	GERISSENE BAUTEILE INSTANDSETZEN	177
9.1	Für welche Risse ist eine Instandsetzung erforderlich?	177
9.2	Der günstigste Instandsetzungszeitraum	182
9.3	Ohne Kenntnis der Rissursachen keine Instandsetzung	186
9.4	Arten der Instandsetzung gerissener Bauteile	196
9.5	Injektionsmaterialien	197
9.6	Instandsetzung gerissener Stahlbetonbauteile	198
9.7	Füllen von Rissen in Bauteilen aus unbewehrtem Beton und Mauerwerk	199
9.8	Spiralanker zur elastischen Rissfixierung in gemauerten Wänden	205
9.9	Tipps für Bauherren zur Instandsetzung gerissener Bauteile	207
ANHANG		209
	Erläuterung von Fachbegriffen (vereinfachte Aussage)	211
	Literaturverzeichnis	221
	Stichwortverzeichnis	223

1 WARUM RISSE IN MASSIV-BAUWERKEN UNVERMEIDBAR SIND UND WIE SIE ENTSTEHEN

1.1 DIE GERINGE ZUGFESTIGKEIT VON BETON UND MAUERWERK UND DER VERBUNDWERKSTOFF STAHLBETON

Alle Massivbaustoffe haben eine gemeinsame Eigenschaft: Ihre → Zugfestigkeit ist wesentlich geringer als ihre Druckfestigkeit. Gegenüber der Druckfestigkeit (100 %) beträgt die Zugfestigkeit z.B. bei Beton 5 bis 10 %, manchmal auch etwas mehr. Dadurch sind diese Baustoffe besonders für die Abtragung von Druckkräften geeignet, während die Zugtragfähigkeit klein ist. Erst durch die Kombination des Betons mit einer stabförmigen Bewehrung aus Stahl entsteht ein neuer Verbundwerkstoff, der sowohl Druck- als auch Zugkräften widerstehen kann. Ansätze, diesen Weg auch bei Mauerwerk zu gehen, haben in Deutschland eine relativ geringe Verbreitung gefunden. Im Vorschriftenwerk hat man dem dadurch Rechnung getragen, dass für Standsicherheitsnachweise von Massivbauteilen die Zugfestigkeit von Beton und Mauerwerk nicht in Ansatz gebracht werden darf. Wenn Zugkräfte weiterzuleiten sind, kommt dafür nur die Bewehrung in Frage.

Die geringe Zugfestigkeit lässt auch nur eine kleine → Zugbruchdehnung zu. Bei Beton beträgt sie unabhängig von der Betondruckfestigkeit ungefähr 0,1 mm/m (Bild 1.1), bei Mauerwerk je nach Steinart meist etwas mehr.

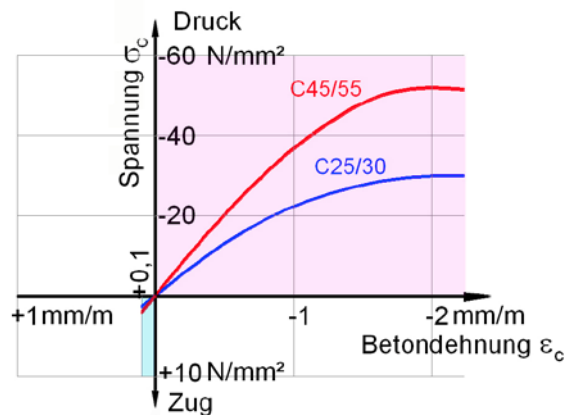
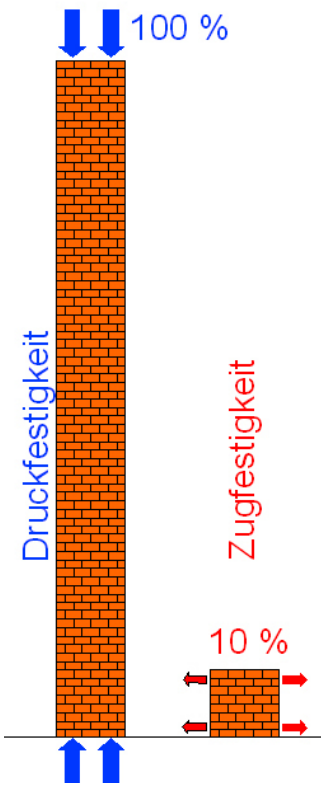


Bild 1.1
Spannungs-
Dehnungslinie
für zwei Beton-
klassen



Zur Veranschaulichung der Dehnung $0,1 \text{ mm/m}$: Eine 5 m lange Decke muss durch eine Zugkraft um $5 \text{ m} \times 0,1 \text{ mm/m} = 0,5 \text{ mm}$ verlängert werden, also um weniger als 1 mm , damit der erste Riss entsteht. Das ist etwas mehr als der in der DIN EN 1992-1-1 (Stahlbeton) angegebene größte Rechenwert der Rissbreite für Stahlbeton von $0,4 \text{ mm}$. Bild 1.1 und Bild 1.2 zeigen die Größenverhältnisse von Zug- und Druckfestigkeit von Beton bzw. Mauerwerk. Erst in Verbindung mit einer Stahlbewehrung ist der → Verbundbaustoff »Stahlbeton« in der Lage, größere Zugkräfte abzutragen und wird damit zu einem hochwertigen Baustoff.

Massivbauwerke wären demnach am günstigsten so zu konstruieren, dass alle Bauteile nur auf Druck beansprucht werden. In Bild 1.3 sind die wichtigsten Arten der Beanspruchung von Bauteilen durch Kräfte dargestellt.

Für die Lastbeanspruchung von Bauteilen werden unterschieden (Bild 1.3):

- Druckbeanspruchung; sie ist für Stützen typisch (links im Bild),
- Biegebeanspruchung; sie ist für horizontale Bauteile mit quer zur Bauteilachse wirkender Last typisch, z. B. Decken, Deckenträger (im Bild Mitte)

Bild 1.2

Druck- und Zugfestigkeit von unbewehrtem Ziegelmauerwerk als Wandhöhe dargestellt

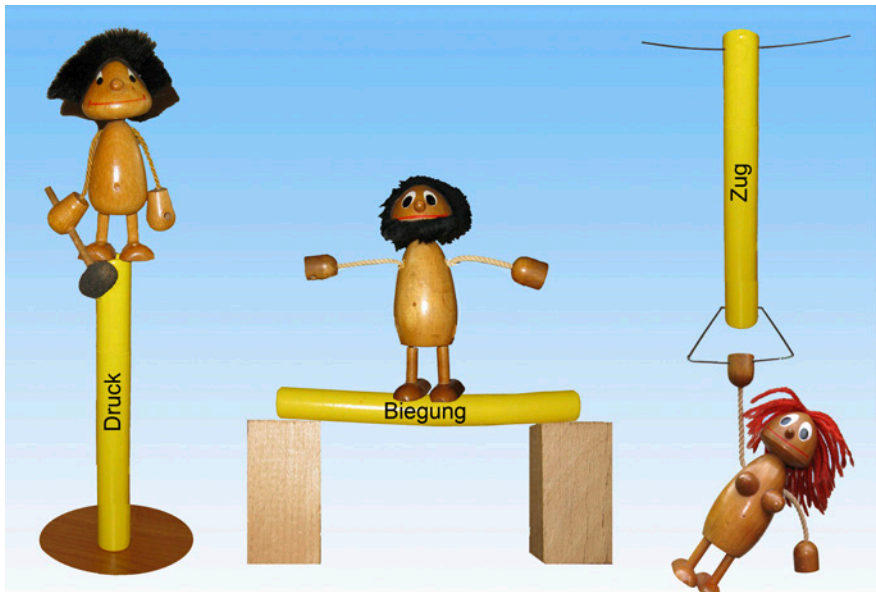
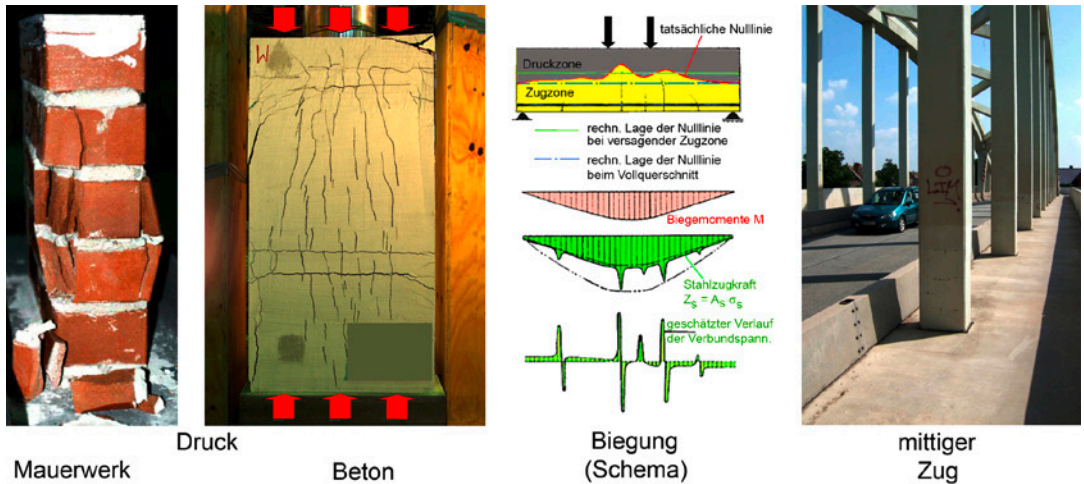


Bild 1.3

Beanspruchungen des Bauteils (gelb) durch Druck (links), Biegung (Mitte) und Zug (rechts)



- Zugbeanspruchung; sie kommt als planmäßige Beanspruchung selten vor, da die Baustoffe Beton und Mauerwerk nur eine sehr geringe Zugfestigkeit haben. Deswegen werden im modernen Bauen Zugbeanspruchungen (rechts im Bild) für Massivbauwerke nach Möglichkeit vermieden. Sie treten trotzdem häufig auf, etwa bei behinderten Eigenverformungen z. B. bei Erwärmung und Abkühlung (Zwang).

Bild 1.4
Typische Risserscheinungen bei Druck, Biegung und mittigem Zug

Die Gefahr, dass unter einer der drei Beanspruchungen Risse entstehen, ist unterschiedlich groß. Ebenso sind die möglichen Rissformen unterschiedlich. Bei → Druck entstehen erst beim Versagen der Stütze Risse. Dabei wird das Betongefüge zerstört, der Beton wird unter der Last zerquetscht. Unter → Gebrauchslast bleiben Stützen aus Beton oder Mauerwerk rissfrei. Bei Biegung entstehen an der gezogenen Seite (konvexer Bereich, Unterseite) sog. → Biegerisse. Sie enden in Höhe der → Nulllinie. Oberhalb der Nulllinie ist der Beton rissfrei. Bei Zug entstehen Risse, die den gesamten Querschnitt durchtrennen. Man bezeichnet sie als → Trennrisse. Am Bauwerk kann man sie von beiden Seiten eines Bauteils erkennen.

Das Bild 1.4 zeigt, dass unter den verschiedenartigen Kraftwirkungen unterschiedliche Rissformen und Bruchbilder entstehen.

Für Massivbauwerke wäre es vorteilhaft, wenn sie so gebaut werden könnten, dass in ihnen nur Druckkräfte entstehen könnten. Das sähe dann so ähnlich aus wie in Bild 1.5. Jedes kleine Kind, das ein solches Gebäude baut weiß, dass ein kleiner Anstoß ausreicht, um das Bauwerk einstürzen zu lassen. Das liegt daran, dass es außer der vertikal wirkenden Eigenlast horizontale oder schräge Kräfte gibt, die nur mit Zugkräften in den Baugrund geleitet werden können.

Bild 1.5

Ein »Bauwerk«, das seine Lasten nur durch Druckkräfte in den Baugrund überträgt



Der Konstrukteur kann für möglichst wenige nicht vertikal gerichtete Kräfte sorgen, aber sie sind nicht ganz zu vermeiden. Genannt seien hier nur die Windkräfte, die bei hohen Windstärken Dächer abdecken und andere unangenehme Schäden verursachen können.

Leider ist es kaum möglich, Massivbauwerke zu planen und zu bauen, in denen keine Zugkräfte entstehen. So müssen Architekt und Ingenieur nach Wegen suchen, wie trotz der Bedingung einer geringen Zugfestigkeit möglichst wenige Risse entstehen. Und: Die Risse sollen eine kleine Rissbreite haben, um schädliche Einflüsse auf die → Dauerhaftigkeit der Bauwerke zu vermeiden. Rissfreiheit für Stahlbeton- und Mauerwerksbauwerke ist ein illusionäres Ziel. Theoretisch geht so etwas, praktisch ist es mehr als riskant. Zu berücksichtigen ist, dass die meisten Massivbaustoffe nicht fertig sind, wenn sie das Werk verlassen oder der Rohbau fertig ist. Im Beton gibt es je nach den verwendeten Ausgangsstoffen jahrelange chemische und physikalische Prozesse, die ihn verändern und kleine Verformungen verursachen. Eine bestimmte Art solcher schädlichen Veränderungen hat als »Betonkrebs« traurige Berühmtheit erlangt. Es ist eine Art unter mehreren. Es gibt auch positive Veränderungen wie z. B. den Festigkeitszuwachs im Beton auch noch Monate nach seiner Verarbeitung.

Im → Massivbau versucht man, → Zugkräfte bzw. -spannungen zu vermeiden. Als Beispiel sind in Bild 1.6 zwei Stahlbetonbogenbrücken dargestellt. Bei der linken Brücke (1927) ist die Fahrbahn an den Bogen angehängt, die Hängestäbe bekommen Zugkräfte. Rechts ist ein aufgeständerter Bogen zu sehen (1997), bei dem die vertikalen Wände auf dem Bogen Druckkräfte



erhalten. Der Vergleich zeigt, dass für den gleichen Zweck ein Tragwerk – ein Bogen – mit und ohne Zugkräfte möglich ist. Man bevorzugt heute Konstruktionen, bei denen Stahlbetonbauteile keine oder nur geringe Zugkräfte erhalten. Wenn das nicht möglich ist, z. B. weil die Bauhöhe nicht zur Verfügung steht, dann wird für Zugglieder häufig Stahl verwendet oder der Stahlbeton vorgespannt (Bild 1.7).

Der Bogen ist in Bild 1.6 in beiden Fällen das tragende Bauteil. Im linken Teilbild liegt der Bogen oberhalb der Fahrbahn, die mit Stahlbetonhängestangen an den Bogen angehängt ist. Die schlanken Hängestangen bekommen fast reine zentrische Zugkräfte. Im rechten Teilbild liegt der Bogen unterhalb der Fahrbahn, die ihre Last über die vertikalen Wände auf den Bogen überträgt. In diesen ebenfalls schlanken Wänden wirken vertikale Druckkräfte.

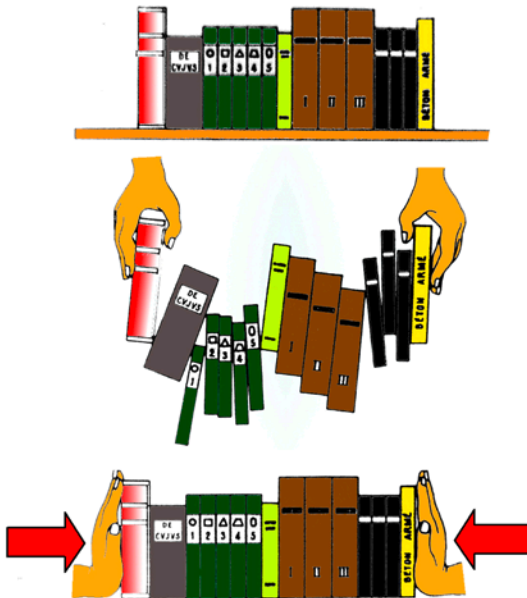
Eine besondere Form der Bewehrung ist die vorgespannte Bewehrung, die zum Spannbeton oder zum vorgespannten Mauerwerk führt. Beim → Spannbeton werden künstlich erzeugte Druckkräfte in den Beton eingeleitet, die dauerhaft erhalten bleiben und Bestandteile des Tragkonzepts sind. Durch die Vorspannung entstehen Druckspannungen im Bauteil, die die lastbedingten Zugspannungen im Bauteil überdrücken können. Dadurch entstehen in einem durch Zugkräfte beanspruchten Bauteil keine Zugspannungen und (theoretisch) auch keine Risse. Praktisch ist es etwas komplizierter.

Im Bild 1.7 wird veranschaulicht, wie ein Bücherstapel, der nur aus Einzelteilen besteht, durch Einleitung einer horizontalen Druckkraft in der unteren Hälfte zu einem »Balken« wird, der Lasten abtragen könnte, solange die Horizontalkraft wirkt. Das Vorspannprinzip besteht darin, die Druckkräfte dort einzuleiten, wo in der Nutzung eines Bauwerks Zugkräfte entstehen. Die Zugkräfte werden überdrückt, was die Voraussetzung für die Vermeidung von Rissen ist. In den Anfängen der Entwicklung der Vorspann-

Bild 1.6
Bogenbrücken aus Stahlbeton; links mit angehängter und rechts mit aufgeständerter Fahrbahn

Bild 1.7

Veranschaulichung der Vorspannwirkung: lose Bauelemente können durch Vorspannung zu einem Biegebauteil »zusammenge-spannt« werden

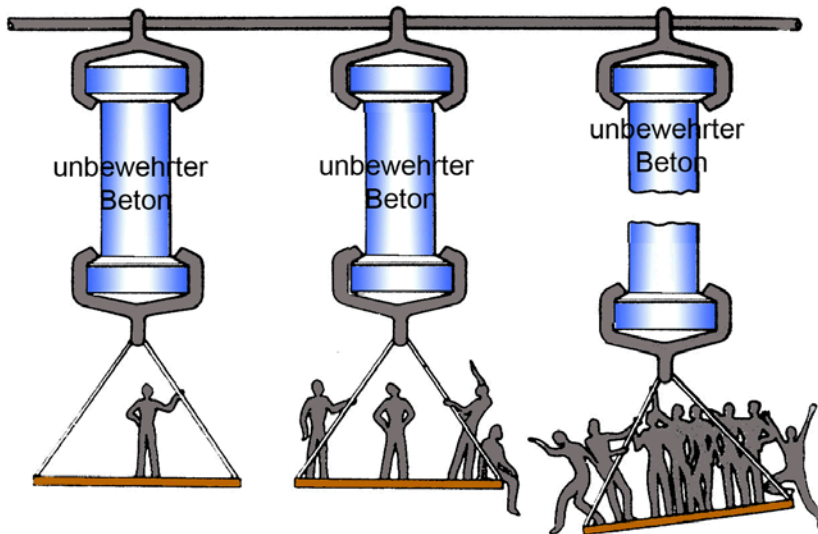


technik war der Glaube verbreitet, dass unter der Vorspannwirkung keine Risse entstehen können. Jahrzehntelange Erfahrungen besagen, dass es nicht ganz so einfach ist und in vorgespannten Bauteilen auch Risse entstehen können.

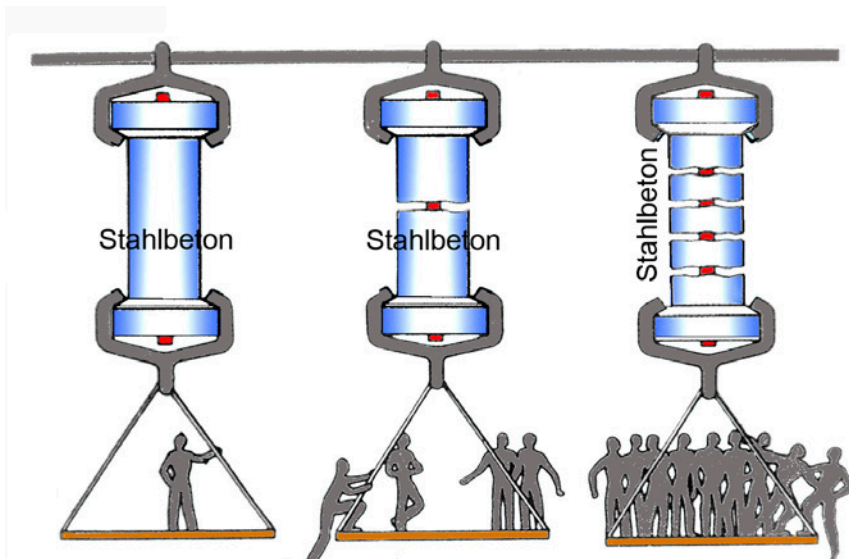
1.2 DIE FUNKTION EINER BEWEHRUNG

Das Wort »Riss« ist mit dem Begriff »reißen« verwandt. Ein Riss entsteht durch Zugkräfte, wenn die Zugfestigkeit des Materials erreicht und überschritten wird. Bei unbewehrtem Mauerwerk wird nach der Bildung eines Risses das Bauteil, z. B. eine Wand, in zwei Teile getrennt. Im unbewehrten Beton entsteht bei Überschreiten der Zugfestigkeit ein Riss, der gleichbedeutend mit dem Versagen des Bauteils ist (Bild 1.8).

Im Unterschied zu unbewehrtem Beton wurden in Bild 1.9 die gleichen Situationen für bewehrten Beton stark schematisiert dargestellt. Die Bewehrung ist vereinfacht als ein im Schwerpunkt des gezogenen Querschnitts angeordneter einzelner Stab gezeichnet. Wird die Betonzugfestigkeit erreicht, geht die Last allein auf die Bewehrung über, weil der Beton einen Zugbruch bekommt, und ein Riss entsteht, über den keine Zugkräfte übertragen werden können. Im Riss kann zwar der Beton keine Zugspannungen aufnehmen, aber an seine Stelle tritt die stabförmige Stahlbewehrung als

**Bild 1.8**

Ein unbewehrter Stahlbetonstab bei verschieden hoher Zugbelastung bis zur Bruchlast

**Bild 1.9**

In einem Stahlbetonzugglied können mehrere Risse entstehen (rechts)

relativ zugfeste Komponente des Verbundwerkstoffs »Stahlbeton«. Da sich die Bewehrung unter einer Zugkraft dehnt und diese Dehnung wesentlich größer als die Betondehnung ist, verbleibt eine Längendifferenz als Riss.

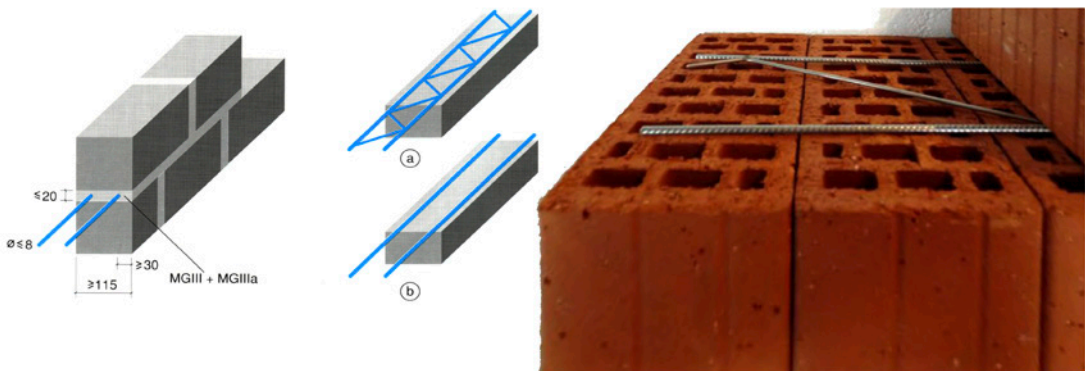
Bei Stahlbeton können in einem Bauteil mehrere Risse entstehen, weil die Zugkraft vom Bewehrungsstahl weitergeleitet werden kann, sodass bei Laststeigerung an anderer Stelle im gleichen Bauteil ein weiterer Riss entsteht (Bild 1.9).

Stahlbetonbauteile sind immer bewehrt. Mauerwerksbauteile werden überwiegend ohne Bewehrung gebaut. Sie können aber auch bewehrt werden. Das ist in Deutschland wenig verbreitet. Damit die Bewehrung ihre Funktion erfüllen kann, darf sie einen Mindestanteil an der Querschnittsfläche nicht unterschreiten, die sog. → Mindestbewehrung.

Bewehrung wird in den umgebenden Werkstoff – Beton oder Mauerwerk – so eingelegt, dass ein voller → Verbund besteht. Anhand des Stahlbetons wird die Funktion der Bewehrung erläutert. Im Mauerwerk wirkt sie ähnlich.

Wird das Bauteil gedehnt, dann dehnen sich die Bewehrung und der umgebende Baustoff gemeinsam und in gleicher Größe. Bei vollem → Verbund zwischen Bewehrungsstab und umgebendem Beton gibt es keine Verschiebungen zwischen beiden Werkstoffkomponenten. Da Beton und Mauerwerk bei einer Dehnung von etwa 0,1 mm/m reißen, beträgt die Stahlspannung im ungerissenen Verbundquerschnitt bei zentrischem Zug z.B. im Stahlbeton für diese Dehnung 20 N/mm². Die Streckgrenze des Bewehrungsstahls wird bei einer Spannung von 500 N/mm², also dem 25-fachen erreicht. Wollte man Risse vermeiden, dann dürfte die Stahlzugfestigkeit nur zu 4 % ausgeschöpft werden – eine nicht zu akzeptierende Verschwendung. Soll die Stahlzugfestigkeit zu 100 % ausgenutzt werden, müssen Risse in Kauf genommen werden, weil sich die umgebenden Baustoffe Beton bzw. Mauerwerk nicht so wie der Stahl dehnen können. Die Aufgabe des Konstrukteurs besteht darin, trotz der Bildung von Rissen die Dauerhaftigkeit der Konstruktion über die Nutzungszeit zu gewährleisten. Das ist mit kleiner Rissbreite und reichlicher → Betondeckung möglich. Bei gleicher Bauteildehnung entstehen bei kleiner Rissbreite mehr, aber weniger auffällige Risse.

Bild 1.10
Bewehrtes
Mauerwerk
(Quelle: Home-
page Murflor)



Gelegentlich ist die Meinung zu hören, dass Risse mit Hilfe von Bewehrung vermieden werden könnten. Das ist nicht möglich. Solange die Bewehrung im ungerissenen Beton oder Mörtel liegt, wird sie nicht nennenswert beansprucht und beeinflusst deshalb kaum das Tragverhalten der Konstruktion. Erst wenn die → Zugbruchdehnung im Beton oder Mauerwerk erreicht wird, beginnt die Bewehrung, ihre Funktion zu erfüllen. Der Riss bildet die Voraussetzung dafür, dass die Bewehrung ihre Festigkeit ausnutzen kann.

1.3 RISSE GIBT ES IN MASSIVBAUWERKEN SCHON SEIT JAHRHUNDERTEN – DIE SANDSTEINKUPPEL DER FRAUENKIRCHE DRESDEN – RISSE SEIT DEN 1730ER-JAHREN

Risse sind im viel verwendeten Baustoff Holz ein gewohnter Anblick. Rissursache ist das ungleichförmige Austrocknen des Holzes, das die Rissbildung verursacht (Bild 1.11).

Risse sind auch in → Massivbauwerken nichts Seltenes und bei einer guten Konstruktion mit kleinen Rissbreiten auch nichts Schädliches. Sie sind nahezu unvermeidlich und gehören zu den normalen Eigenschaften von Massivbauwerken. Sie sind Bestandteil solcher Bauwerke und entstehen in Verbindung mit sehr kleinen, meist nur indirekt wahrnehmbaren Bauwerksverformungen. → Verformungen können unter Last entstehen, wie

Bild 1.11
Risse in Holzfachwerk und in einer Holzbalkendecke





Bild 1.12
Frauenkirche in
Dresden nach
dem Wieder-
aufbau mit der
berühmten
Glockenform
der Haupt-
kuppel

die Durchbiegung bei einer beidseitig aufliegenden Bohle, die durch eine Person belastet wird (Bild 1.3). Aber auch ohne Lasteinwirkung sind Bauwerksverformungen möglich, z.B. durch Erwärmung oder Abkühlung oder durch Volumenverringerungen, wie sie beim → Schwinden von Beton, Mörtel und einigen Mauersteinarten entstehen.

Risse in Massivbauwerken gibt es schon so lange wie es Massivbauwerke gibt, also schon mehrere Tausend Jahre. Ein bekanntes Beispiel dafür ist die Dresdener Frauenkirche. Im Jahr 1733 wurde mit dem Bau der Steinkuppel begonnen, die 1738 vollendet wurde. Die zweischalige Kuppel besteht aus Sandsteinmauerwerk mit einer Masse von über 12 000 t. Mit einem Durchmesser von 26 m und einer Höhe von 24 m gehört sie zu den großen Natursteinkuppeln in Europa (Bild 1.12). Schon wenige Jahre

nach der Fertigstellung der Kuppel entstanden zahlreiche Risse in ihr, deren Ursachen bis zur Zerstörung der Kirche im Jahr 1945 nicht beseitigt werden konnten und die mehrfach zur zum Teil mehrjährigen Sperrung der Kirche führten. Beim Wiederaufbau der Kirche konnten die Rissursachen unter Nutzung moderner Methoden der Statik bestimmt und quantifiziert werden. Überbeanspruchungen der Stützkonstruktion hatten Verformungen der Pfeiler verursacht, die auch von zu schwach dimensionierten eisernen Zugringen nicht auf ein ertragbares Maß verringert werden konnten. Für die auf den Pfeilern ruhende Kuppel waren die sich verändernden Auflagerbedingungen nicht ohne Rissbildung aufnehmbar. Erst durch den Einsatz von richtig bemessenen vorgespannten Zugringen und durch die bewusste Beeinflussung der Lastabtragung über die Pfeiler wurde mit dem Wiederaufbau eine stabile und verformungsarme Konstruktion geschaffen.

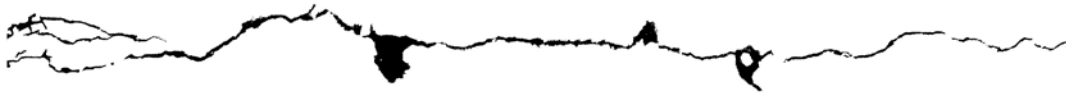
2 EIGENSCHAFTEN DER RISSE, GEFÄHRDUNGEN UND TECHNISCHE REGELN

2.1 RISSE SIND ETWAS KOMPLIZIERTER, ALS ES DER ERSTE BLICK VERMITTELT

Von einem Riss, etwa in einem Betonbauwerk, ist nur der kleine Bereich sichtbar, in dem der Riss an die Bauteiloberfläche tritt. Dort erscheint er als Spalt, der wie eine unregelmäßig geformte Linie aussieht. Nach Augenschein besteht er aus dem Spalt und aus den beiden den Spalt begrenzenden Rissufern (Bild 2.1). Der Riss ist nicht gerade, sondern wechselt in seinem Verlauf mehrfach die Richtung. Außerdem hat er geometrische Unregelmäßigkeiten, die von dem geschilderten Idealbild abweichen: (scheinbare) Unterbrechungen, Verzweigungen und mehrere Entartungen. Die Entartungen sind vermutlich auf wassergefüllte Blasen im Frischbeton zurückzuführen, die nach dem Austrocknen als Hohlräume zurückgeblieben sind.

Bild 2.1

Ein Riss mit Unterbrechungen, Verzweigungen und Entartungen

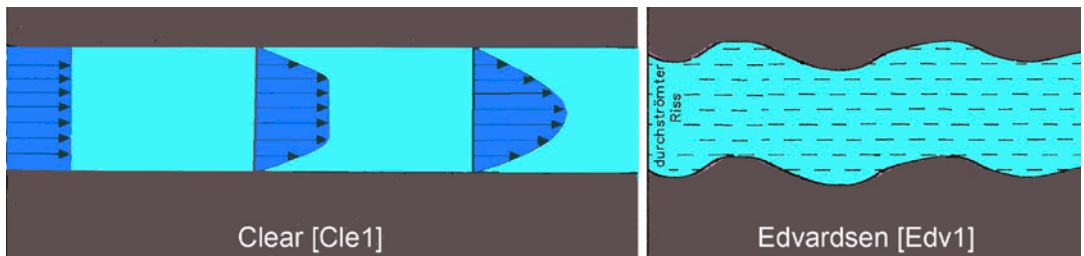


Das verbreitete Idealbild des Risses ist in Bild 2.2 (Zitate aus der Literatur) zu sehen. Die parallelen Rissufer verlaufen annähernd gerade und rechtwinklig zur Richtung der rissverursachenden Zugkraft.

Tatsächlich sehen Risse etwas anders aus, wie in Bild 2.1 erkennbar ist. Während die idealisierten Risse nahezu lückenlos in die Lage vor der Rissbildung zusammengeschoben werden könnten, ist das beim realen Riss

Bild 2.2

Verbreitete Vorstellung von der Rissgeometrie in Massivbauteilen [Cle1], [9]



nicht möglich, weil die Rissufer nicht parallel verlaufen. Es muss also noch ein Element der Rissgeometrie geben, das kaum zu bemerken ist, das aber die Rissbreite und den unregelmäßigen Rissverlauf verändert. Es ist eine Auflockerungszone, in der das Betongefüge kurz vor dem Zugbruch aufgelockert wird und sich plastisch verformt. Was wir als Rissufer wahrnehmen, ist plastisch verformter Beton. Die Konturen des Risses werden in starkem Maße vom Zufall bestimmt. Z.B. sind die Rissunterbrechungen im Bild 2.1 nur verdeckte Bereiche, in denen die plastische Verformung lokal so groß ist, dass sie den Spalt abdeckt. Tatsächlich verläuft der Riss auch darunter weiter.

Mit Hilfe eines Papiermodells lässt sich diese plastisch verformte Schicht an den Rissufern sichtbar machen. Dazu wird ein Blatt farbiges und etwas dickeres Papier vorsichtig etwa geradlinig zerrissen und wieder wie bei einem Trennriss aneinandergelegt (Bild 2.3). In unterschiedlichen Vergrößerungen der Rissränder ist die Auflockerungszone durch die unterschiedlichen Farben gut zu erkennen.

Die Auflockerungszone, im Bild 2.3 weiß, besteht bei unserem Bauwerksriss aus irreversibel verformtem Beton, der während der Rissbildung bei der Gefügetrennung an den beiden Rissufern durch lokal konzentrierte Mikrorisse entsteht.

In Bild 2.3 ist erkennbar, dass der in Papier nachgeahmte Riss nicht nur zwei, sondern vier Ränder besitzt: zwei innere und zwei äußere. Zwischen den äußeren bzw. den inneren Rändern lassen sich an der gleichen Messstelle zwei verschiedene ›Rissbreiten‹ w_1 und w_2 messen.

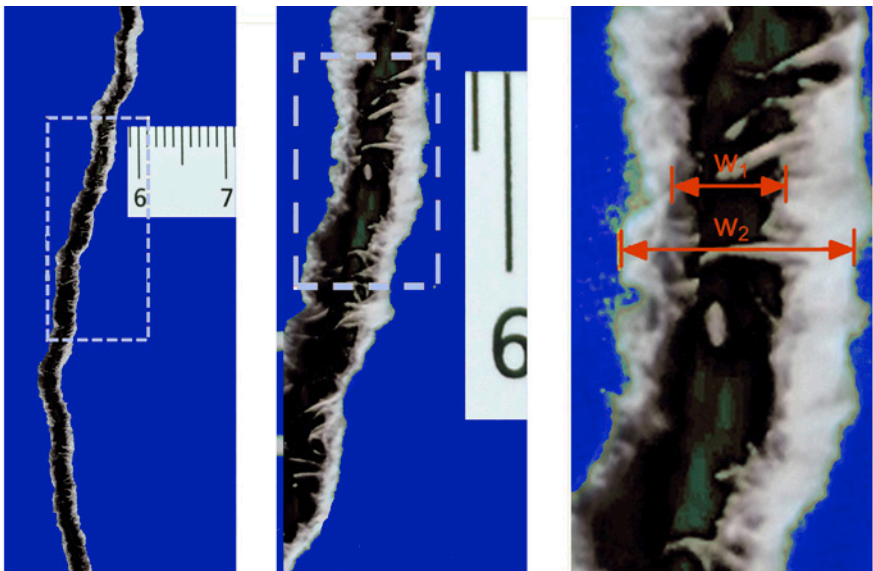


Bild 2.3

Ein Riss im blauen Papier in drei Vergrößerungsstufen mit Auflockerungszone (weiß) und Risspalt (schwarz)