

Heinz Meichsner

BAUWERKSRISSE kurz und bündig

Rissentstehung, -ursachen und -vermeidung,
Instandsetzung gerissener Bauteile

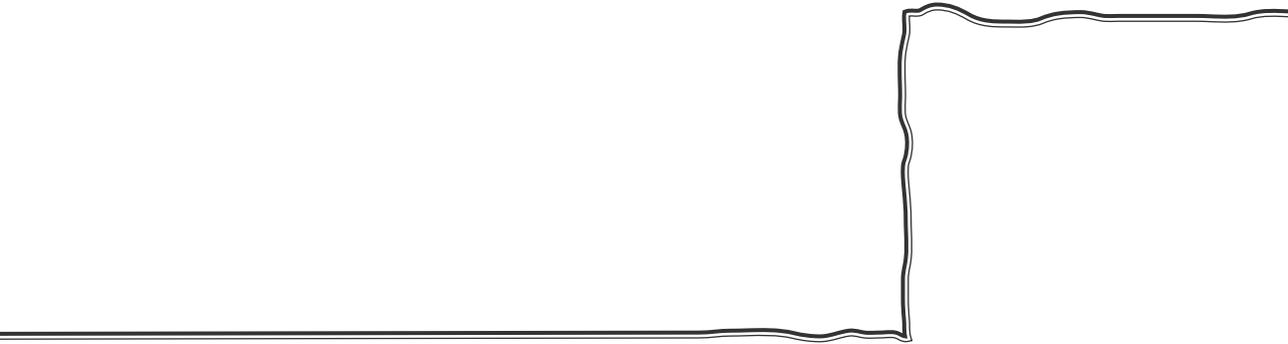
3., überarbeitete und erweiterte Auflage



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 unreaie 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 Rissuferverschiebung 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.

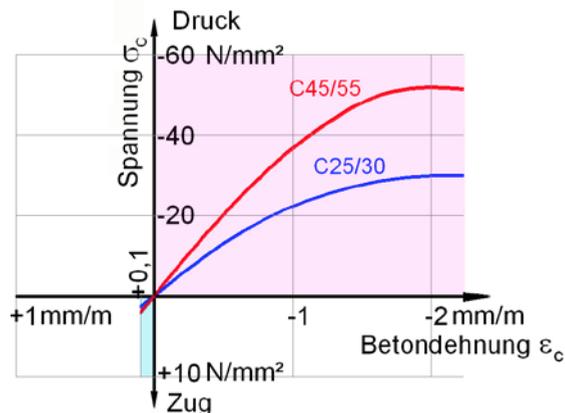
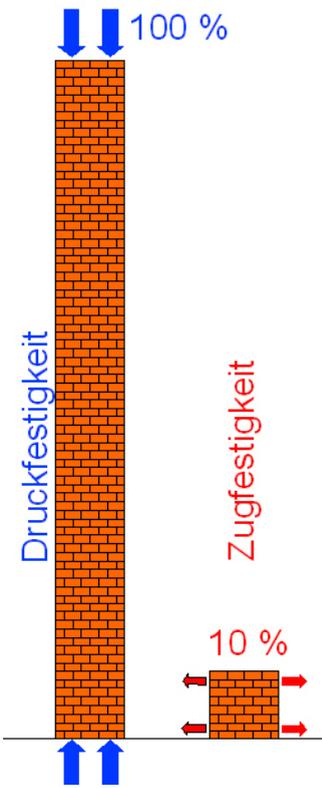


Bild 1.1
Spannungs-
Dehnungslinie
für zwei Beton-
klassen



Zur Veranschaulichung der Dehnung 0,1 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 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.

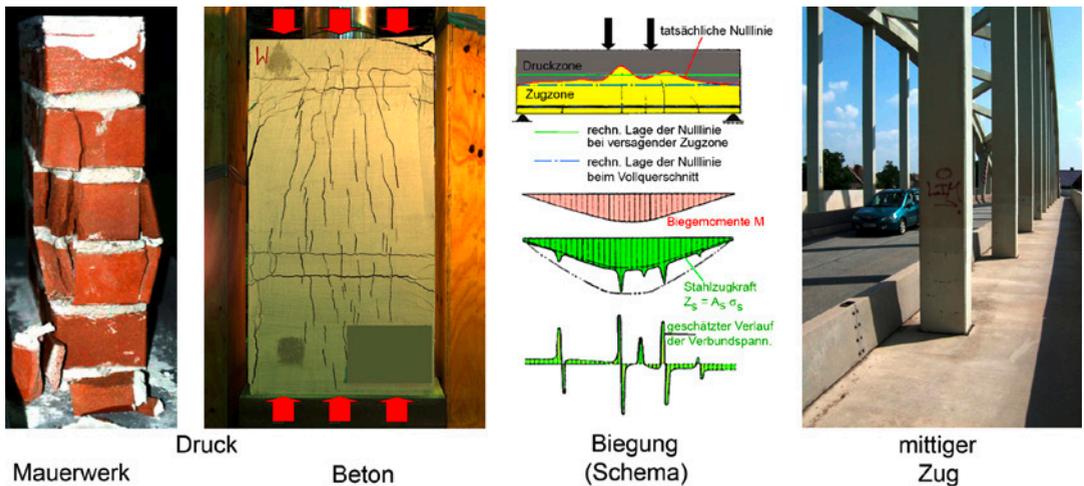
Für die Lastbeanspruchung von Bauteilen werden unterschieden (Bild 1.3):

- 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).

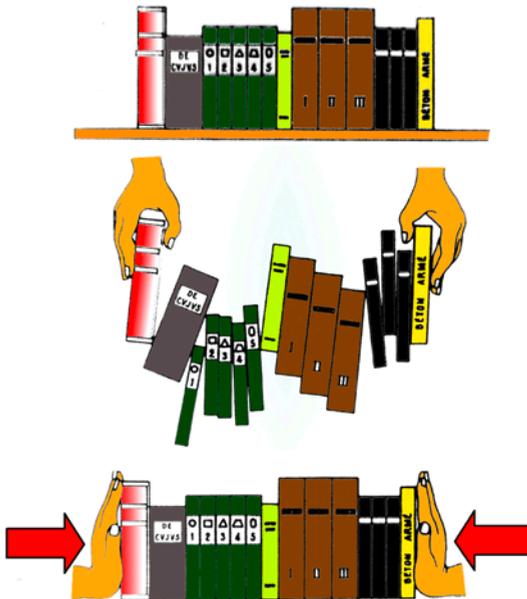
Der Bogen ist in Bild 1.6 in beiden Fällen das tragende Bauteil. Im linken Teilbild liegt der Bogen oberhalb der Fahrbahn, die mit Stahlbetonhängestangen an den Bogen angehängt ist. Die schlanken Hängestangen bekommen fast reine zentrische Zugkräfte. Im rechten Teilbild liegt der Bogen unterhalb der 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 »zusammengespannt« 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

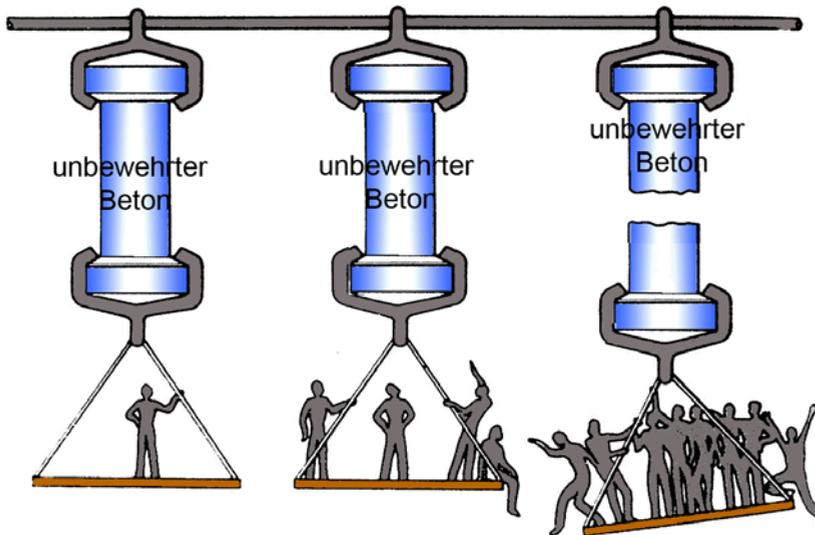


Bild 1.8

Ein unbewehrter Stahlbetonstab bei verschieden hoher Zugbelastung bis zur Bruchlast

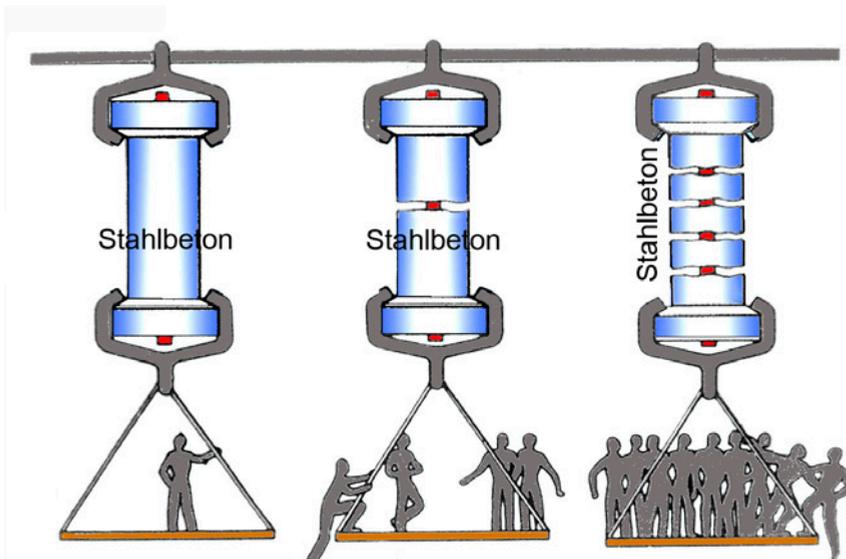


Bild 1.9

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.

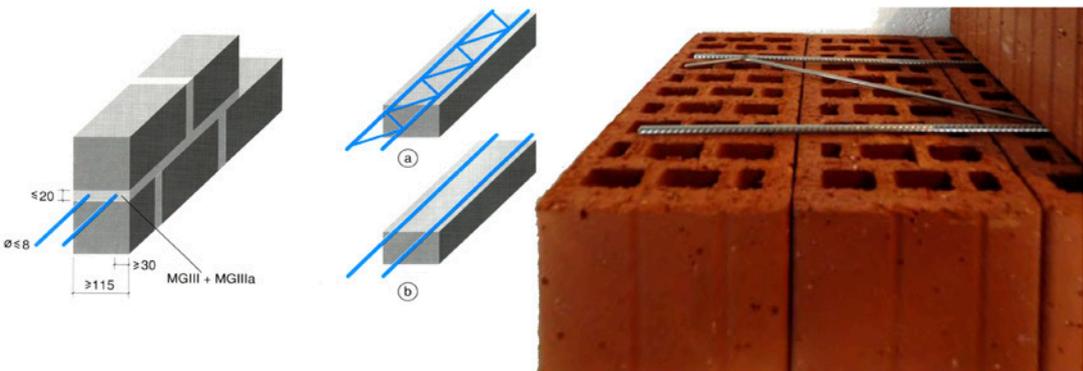
Bei Stahlbeton können in einem Bauteil mehrere Risse entstehen, weil die Zugkraft vom Bewehrungsstahl weitergeleitet werden kann, sodass bei Laststeigerung an anderer Stelle im gleichen Bauteil ein weiterer Riss entsteht (Bild 1.9).

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 Stahzugfestigkeit nur zu 4 % ausgeschöpft werden – eine nicht zu akzeptierende Verschwendung. Soll die Stahzugfestigkeit 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.

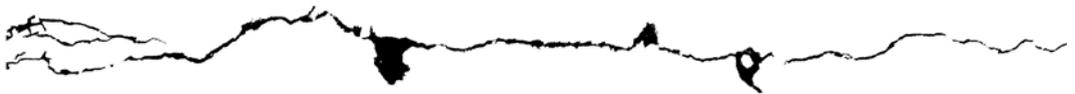
2 EIGENSCHAFTEN DER RISSE, GEFÄHRDUNGEN UND TECHNISCHE REGELN

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

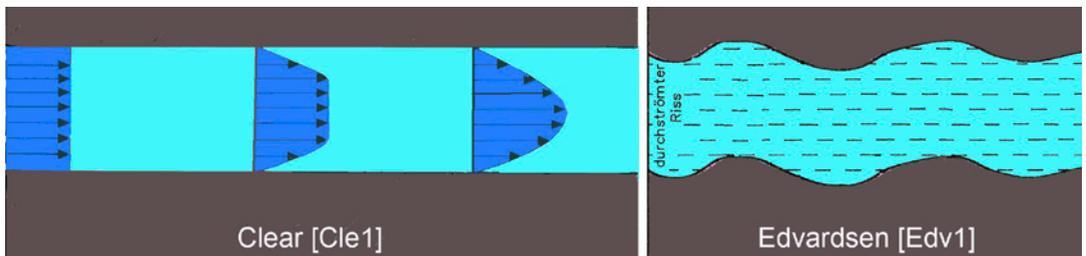


Das verbreitete Idealbild des Risses ist in Bild 2.2 (Zitate aus der Literatur) zu sehen. Die parallelen Rissufer verlaufen annähernd gerade und rechtwinklig zur Richtung der rissverursachenden Zugkraft.

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.

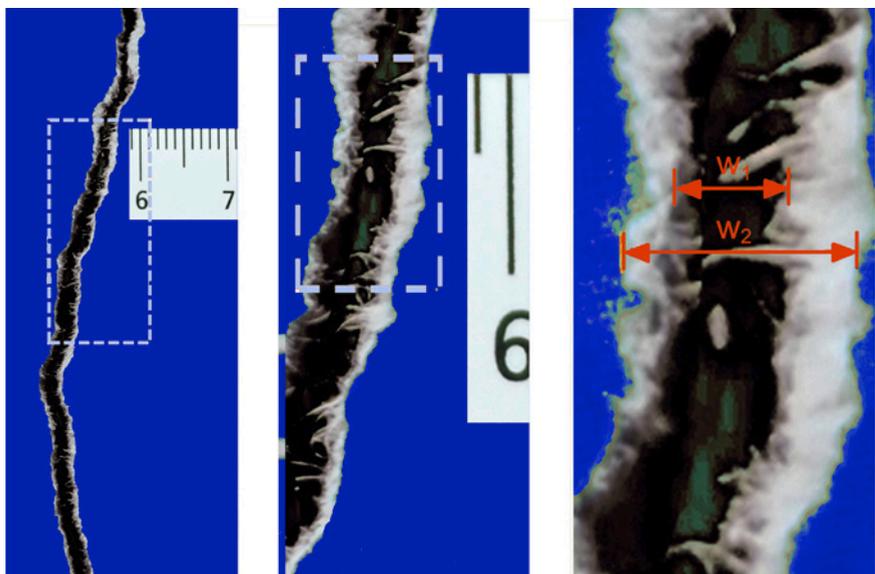


Bild 2.3

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

Die inneren, sehr unregelmäßig geformten Ränder begrenzen den Risspalt. Ihr Verlauf ist nur entfernt als parallel zu bezeichnen, und der gegenseitige Abstand, die lokale Rissbreite, wechselt im Rissverlauf ständig. Die äußeren Begrenzungen verlaufen annähernd parallel und schließen die weiß gefärbte Auflockerungszone ein. Das ist beim realen Bauwerksriss eine dünne, plastisch verformte Zone, deren Betongefüge durch Mikrorisse aufgelockert ist. Sie trägt einen kleinen Anteil zur Verlängerung des Zugglieds bei. Nach bisherigen Kenntnissen beträgt die Größenordnung der plastischen Verformung 0,03 bis 0,10 mm pro Riss. Das ist auch die Differenz zwischen den beiden ›Rissbreiten‹. Beide werden bis heute als die Rissbreite bezeichnet, obwohl es sich um zwei unterschiedliche Größen handelt.

Um Verwechslungsmöglichkeiten auszuschließen, sollen sie unterschiedlich bezeichnet werden (Anhang 1):

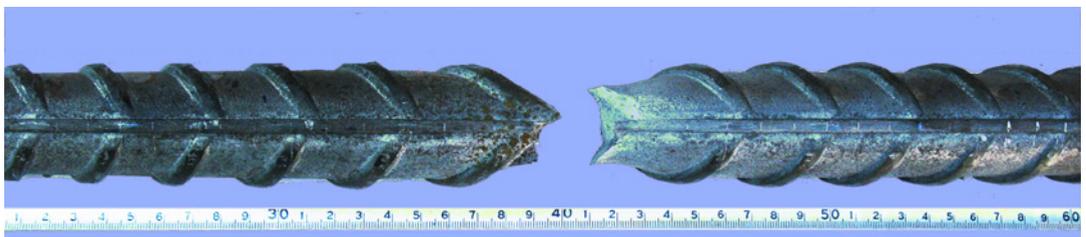
- Als Rissbreite wird die **Spaltbreite** bezeichnet, die mit bloßem Auge zu erkennen ist und die keine plastisch verformten Längenteile enthält. Die Rissbreite wird mit optischen Geräten nur in einer Ablesung gemessen (z. B. Rissmesslupe, Vergleichsmaßstab).
- Als Rissuferverschiebung wird der Weg bezeichnet, den die beiden Rissufer außerhalb der Auflockerungszone zurücklegen. Die Rissuferverschiebung wird mit einem Wegmessgerät mit zwei Ablesungen gemessen (z. B. Setzdehnungsmesser, induktive Wegaufnehmer). Zu messen ist die Länge der vorher applizierten Messstrecke vor der Längenänderung und danach. Die Messgröße enthält sowohl elastische als auch plastische Anteile.

Eine ähnliche Erscheinung gibt es auch beim Stahl. Bild 2.4 zeigt die Bruchstelle eines Zugversuchs für einen Bewehrungsstab nach dem Bruch. Plastische Verlängerung im Bruchbereich und Einschnürung sind charakteristisch für einen Bruch im Betonstahl.

Es ist wenig bekannt, dass analoge Erscheinungen beim Beton zu beobachten sind. Der Unterschied zum Bewehrungsstahl besteht darin, dass der Stahl nach Überschreiten der Streckgrenze, also nachdem es plastische

Bild 2.4

Ein Bewehrungsstab nach einem Zugversuch bis zum Bruch; Einschnürung in Bildmitte und plastische Verlängerung nach Überschreiten der Streckgrenze



Verformungen gegeben hat, nicht mehr genutzt werden darf. Beim Beton entstehen die plastischen Verformungen bei Überschreiten der Risslast, also auf einem relativ niedrigen Beanspruchungsniveau, bei dem die volle Funktionsfähigkeit des Verbundwerkstoffs Stahlbeton erst beginnt. Die plastisch verformten Bereiche an den Rissuferfern bleiben während der gesamten Nutzungsdauer des Bauteils erhalten.

Risse, die wir für die Nutzung von Massivbauwerken als akzeptabel ansehen, haben (rechnerische) Rissbreiten von 0,2 bis 0,4 mm. In Ausnahmefällen sind die (rechnerischen) Rissbreiten auch größer (z. B. 0,5 oder 0,6 mm), aber auch kleiner (z. B. 0,1 mm).

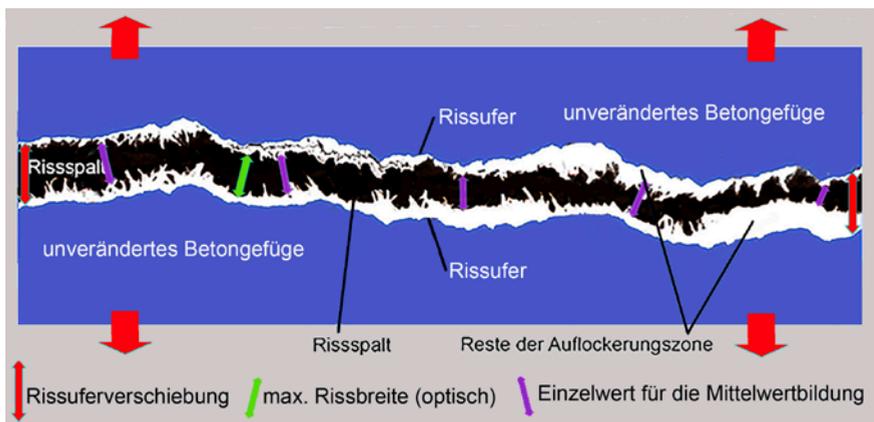
2.2 RISSEIGENSCHAFTEN

DER RISS UND SEINE BESTANDTEILE

Jeder Riss hat ein Risslänge, eine Rissbreite, eine Rissuferverschiebung, zwei Teile einer Auflockerungszone (plastisch verformter Beton) und zwei Rissränder (Bild 2.5). Es ist allgemein nicht bekannt, dass sich die Rissbreite (Spaltbreite) und die Rissuferverschiebung (Weg der Rissufer) an der gleichen Messstelle zahlenmäßig unterscheiden. Diese Tatsache hat auf der Baustelle nur eine geringe Bedeutung, weil am Objekt und am bereits bestehenden Riss die Rissbreite nur mit optischen Methoden zu messen ist. Dabei kann nur die Spaltbreite ohne den plastisch verformten Beton der Auflockerungszone gemessen werden.

Die Messung der Rissuferverschiebung erfordert etwas mehr Aufwand und ein anderes Messgerät, das für eine Wegmessung geeignet ist. Deshalb wird es unter Laborbedingungen bevorzugt.

Bild 2.5
Prinzipskizze der Hauptbestandteile eines Trennrisses: Rissuferverschiebung, Risspalt, Auflockerungszone und Rissufer



Die reale Rissgeometrie ist an Hand des Papiermodells in Bild 2.5 zu sehen. Die hier weiß gefärbte Auflockerungszone ist am realen Betonriss nicht vom unverformten Beton zu unterscheiden und somit nicht erkennbar.

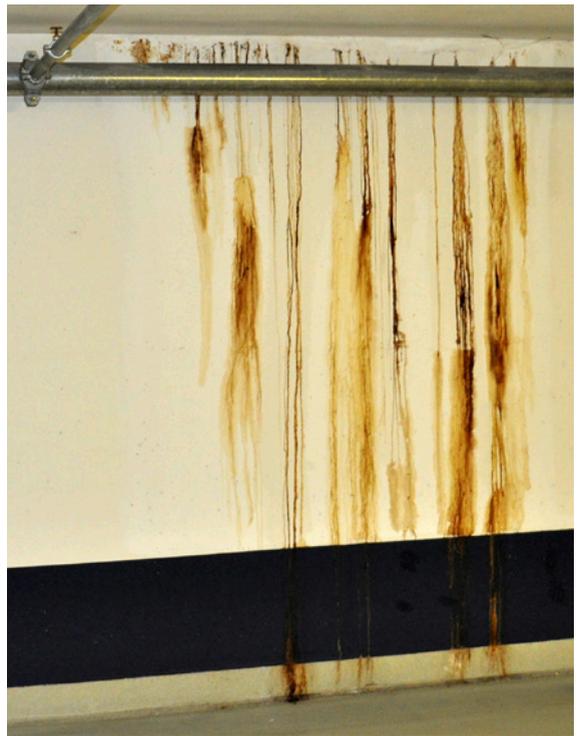
Nur bei sehr sprödem Material gibt es keine Auflockerungszone. Solch ein Material ist z. B. Porzellan. Bei einem zerbrochenen Porzellanteller fügen sich abgebrochene Scherben lückenlos in den Rest des Tellers ein. Porzellan ist ein homogenes, feinkörniges, sprödes Material, das eine völlig passgenaue Verklebung eines Risses ermöglicht. Im Unterschied dazu gibt es im Beton keinen Bruch ohne plastische Formänderungen. Deshalb entsteht während des Zugbruchs die plastisch verformte Auflockerungszone, und dadurch passen die beiden Rissufer nicht mehr lückenlos aneinander.

Ein Riss entsteht bei der Längenänderung eines Bauteils über die Risslast hinaus. Dabei entstehen der Risspalt und die irreversible Auflockerungszone. Die Ränder des Risspals sind sehr unregelmäßig geformt und verlaufen nur sehr grob parallel zueinander. Der Zusammenhang zwischen Längenänderung des Bauteils und der Rissuferverschiebung ist viel direkter als bei der Rissbreite, bei deren Messung die mittlere Längenänderung der Auflockerungszonen nicht berücksichtigt wird. Die Rissbreite (Spaltbreite) ist für Praktiker die wichtigere Größe, weil nur sie an einem bereits vorhandenen Riss gemessen werden kann. Die Wegmessung ist die häufigste Art der Rissbreitenmessung unter Laborbedingungen, weil die Messeinrichtung bereits vor der Entstehung eines Risses angebracht sein muss und diese Messmethode die Automatisierung des Messvorgangs erlaubt.

Die Auflockerungszone ist im Mittel 0,03 bis 0,10 mm dick. Das entspricht der Dicke eines menschlichen Haares (0,06 bis 0,10 mm), und man glaubt, einen so geringen Rissbreitenanteil vernachlässigen zu können. Bei vielen praktischen Aufgaben ist das auch so. Bei kleinen Rissbreiten, wie sie für WU-Konstruktionen gebräuchlich sind (0,10 bis 0,20 mm Rissbreite), nimmt die Auflockerungszone einen beträchtlichen Teil der Spaltbreite ein und verringert den Durchflussquerschnitt (Spalt) gegenüber dem benutzten Berechnungsmodell

Bild 2.6

Aus einem Trennriss in einer Tiefgaragenaußenwand punktuell austretendes, braunes Wasser (nicht als geschlossener Wasserfilm) lässt auf einen Risspalt mit unterbrochenen Fließwegen im Inneren schließen; angenommen wird ein durchgängiger Spalt mit geschlossenem Wasserfilm



(vgl. Bild 2.2). Die Folge davon ist der durchgängige, punktförmige Wasseraustritt aus wasserführenden Trennrissen, im Unterschied zum erwarteten nicht unterbrochenen Wasserfilm (Bild 2.6).

UNTERSCHIEDE ZWISCHEN RISSEN IN STAHLBETON UND IN MAUERWERK

Äußerlich sehen Risse im Mauerwerk nicht anders aus als Risse im Beton. Trotzdem gibt es einen wesentlichen Unterschied: die Bewehrung. Mauerwerk ist in Deutschland meist unbewehrt und verhält sich bei Zugbeanspruchungen anders als Stahlbeton (Bild 2.9).

Unbewehrtes Mauerwerk: Mit dem ersten Riss ist das Mauerwerk durchgetrennt. Über den Riss hinweg kann keine Kraft übertragen werden. Zieht man weiter am Bauteil, z. B. durch temperaturbedingte Längenänderungen, dann öffnet sich der Riss weiter. Die dafür erforderliche Zugkraft ist viel kleiner als die → Risslast und wird durch den Reibungswiderstand benachbarter Bauteile, des Baugrunds oder durch die Größe der → Dehnung bestimmt.

Der Rissverlauf passt sich oft dem Fugenverlauf im Mauerwerksverband an, weil die Mörtelfestigkeit kleiner als die Steinfestigkeit ist (links im Bild 2.7). Der Riss ist nur durch die Konstruktion des Bauteils und des Bauwerks beeinflussbar. Im Stahlbeton bietet die Bewehrungskonstruktion eine weitere, wirksamere Beeinflussungsmöglichkeit.

Bild 2.7
Risse in unbewehrtem Mauerwerk





Bild 2.8

Charakteristisch für Mauerwerk: sehr breite Trennrisse

Stahlbeton: Mit der Entstehung eines Risses wird der Beton des gerissenen Bauteils durchgetrennt und kann keine Zugkräfte mehr aufnehmen. Die Zugkraft lagert sich auf den Bewehrungsstahl um. Dadurch entsteht ein Riss und das Bauteil bleibt funktionstüchtig. Am statischen System und der Tragwirkung ändert sich durch den Riss nichts. Das Bauteil ist lediglich um den Betrag der Rissbreite (ggf. auch von mehreren Rissbreiten) länger geworden. Die Zugkraft wird planmäßig weitergeleitet. Der gerissene Zustand ist der normale Zustand eines Stahlbetonbauteils. Feine Risse bis etwa 0,5 mm Rissbreite sind für ein Bauteil unschädlich, wenn keine Dichtigkeit notwendig ist.

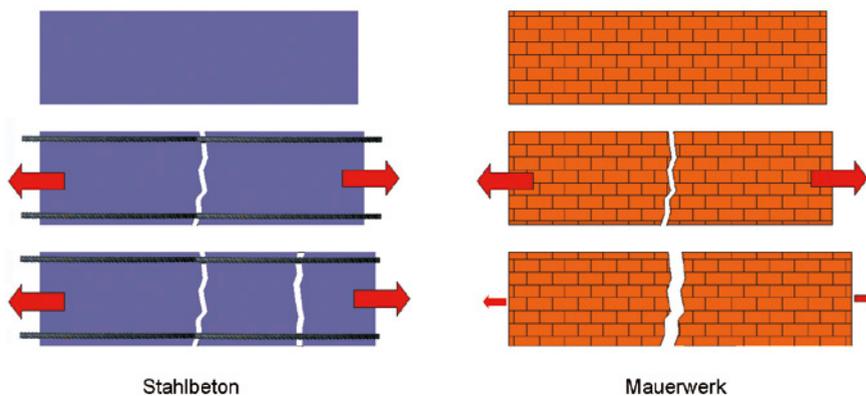


Bild 2.9

Vergleich der Rissbildung von Stahlbeton (links: mehrere Risse mit begrenzter Rissbreite) und Mauerwerk (rechts: nur ein Riss, der sich bei weiterer Dehnung öffnet)



Bild 2.10
Zugelemente in einem Mauerwerksbau (links) als Maueranker und freiliegende Bogenzugbänder und in einem Fachwerkbau (rechts) als zugfester Balkenstoß

Während die Rissgeometrie im Stahlbeton durch eine geeignete Bewehrungskonstruktion beeinflusst werden kann (Rissbreite und -anzahl), gibt es keine vergleichbare Möglichkeit im unbewehrten Mauerwerk. Hier stehen nur einfache Mittel zur Verfügung wie z. B. → Bewegungsfugen, die einen gewissen Dehnweg in mehrere kleine Teilwege teilen, die jeder für sich in wenig auffällige Risse oder Fugenbewegungen umgewandelt werden können. Eine Zwangverformung (→ Schwinden, Temperatur) kann man nicht verhindern. Sie ist objektiv vorhanden und muss bei der Konstruktion berücksichtigt werden.

Auch in Mauerwerkskonstruktionen treten Zugkräfte auf, die abgeleitet werden müssen, um das Entstehen von Rissen zu vermeiden. Im Bild 2.10 sind zwei Beispiele dargestellt. Typisch für Mauerwerkskonstruktionen sind Zuganker, durch die die parallel verlaufenden Außenwände in Deckenhöhe miteinander verbunden werden und so das Gebäude versteifen. Auch Holzbalken können zugfest gestoßen werden. Das zeigt das rechte Teilbild in Bild 2.10.

BIEGE- ODER TRENNRISSE

Obwohl alle Risse für den Laien scheinbar gleich aussehen, unterscheiden sie sich in ihren Erscheinungsformen. Anhand der Risseigenschaften kann man einerseits auf die Rissursachen schließen und andererseits beurteilen, ob sich die Risse auf das betroffene Bauwerk negativ auswirken. Deswegen haben die Risseigenschaften, die man in sog. Rissbildern dokumentiert, für den begutachtenden Fachmann einen hohen Informationsgehalt.

Bild 2.11 zeigt je einen Biege- und Trennriss im Schema. Biegerisse treten bei Biegebeanspruchung z.B. in Decken und Unterzügen auf, die bei einer Bauteilkrümmung entsteht. Bei biegebeanspruchten Bauteilen (Decken, Balken) entstehen in einem Querschnitt sowohl → Druck- als auch → Zugspannungen.

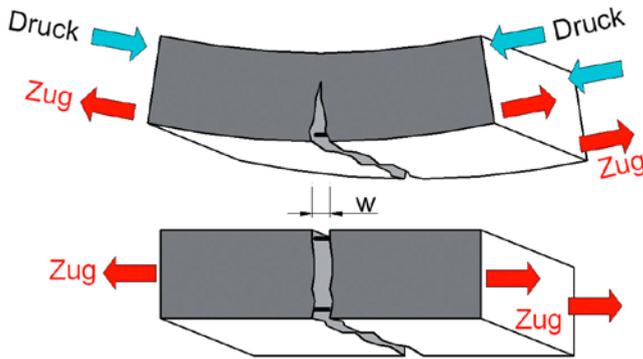


Bild 2.11
Trennriss (oben)
und Biegeriss
(unten) in einem
Bauteil

Nur → Zugspannungen führen zu Trennrissen, z. B. als horizontaler Zug in einer kreisrunden Behälterwand. Trennrisse sind bei → wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton Leckstellen. Unter bestimmten Bedingungen darf man Bauwerke wie Keller im Grundwasser, Behälter und Becken auch bauen, wenn → Trennrisse zu erwarten sind. Im Abschnitt 7 ist mehr darüber zu lesen.

Bild 2.11 zeigt die beiden Rissarten für ein bewehrtes Stahlbetonbauteil. Die Bewehrung kreuzt den Riss und ist in der Skizze eingezeichnet. Die Beanspruchung ist durch die Pfeile angedeutet. Mauerwerksrisse sind → Trennrisse, weil die bei Biegung entstehenden Zugkräfte ohne Bewehrung nicht kompensiert werden können.

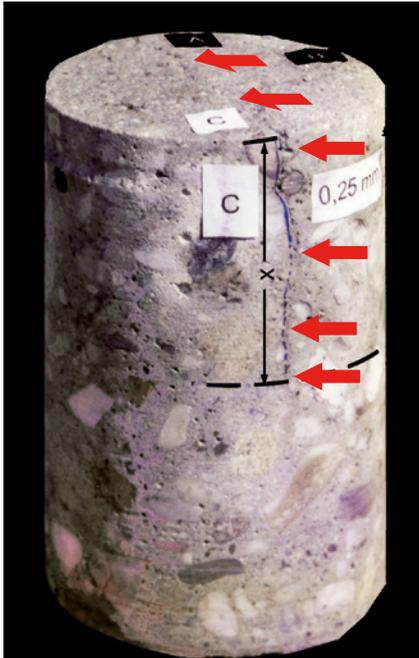
Statische Berechnungen müssen nach dem Regelwerk so gestaltet werden, dass rechnerisch keine Zugspannungen wirken. Die geringe Zugfestigkeit von Mauerwerk und Beton könnte ohnehin nur einen geringen Beitrag zur Standsicherheit liefern, der wegen der breiten Streuung der Festigkeitswerte noch mit einigen Risiken behaftet wäre. Das bedeutet, dass bereits in der Planung der Massivbauwerke mit dem Ent-



Bild 2.12
Risse in
unbewehrtem
Mauerwerk
sind i. d. R.
Trennrisse

Bild 2.13

Bohrkern aus einer Decke zur Feststellung der Risstiefe, Rissverlauf entlang der Pfeile



stehen von Rissen gerechnet wird. Wenn Risse entstanden sind, ist der Zustand eingetreten, der in der statischen Berechnung angesetzt worden ist. Das ist auch der Grund, weshalb Risse meist keine Stand sicherheitsprobleme hervorrufen.

Einen Riss kann man an der Bauteiloberfläche nur dann als → Biege- oder → Trennriss identifizieren, wenn man die gegenüberliegende Oberfläche einsehen kann. Um die Risstiefe festzustellen, wird häufig ein Bohrkern über dem Riss entnommen. An ihm kann man den Rissverlauf in der Tiefe beurteilen.

Bild 2.13 zeigt einen Bohrkern mit einem Durchmesser von 100 mm aus einer Decke, der einen vertikalen Riss an der Oberseite besitzt.

Die Risstiefe ist größer als die Druckzonenhöhe an der Unterseite des Bohrkerns. Daran kann man ihn als → Biegeriss mit der → Zugzone an der Oberseite erkennen. Die Rissursache muss eine Krümmung der Deckenplatte sein, die diesen an der Oberfläche sichtbaren Riss verursacht hat. Erfahrene Fachleute können meist auch ohne Kernbohrung beurteilen, ob es sich um einen Biegeriss handelt und wie tief er ggf. ist [19], [12]. Die Theorie des Stahlbetons stellt dafür rechnerische Möglichkeiten bereit.

GERICHTETE ODER UNGERICHTETE RISSE

Gerichtete Risse entstehen durch gerichtete Zugkräfte im Bauwerk oder im Bauteil. Ungerichtete Risse entstehen durch behinderte Volumenvergrößerungen im Inneren des Materials (Bild 2.14). Sie werden durch chemische Vorgänge im Beton ausgelöst. Dabei entstehen neue chemische Verbindungen im Beton, die ein größeres Volumen besitzen als die Ausgangsstoffe und dadurch eine Sprengwirkung ausüben.

Ungerichtete Risse können auch durch gute Austrocknungsbedingungen des noch nicht abgebundenen Betons entstehen. Bei der Erhärtung des Betons werden sie dann »eingefroren« und bleiben im erhärteten Beton dauerhaft sichtbar. Eine ähnliche Erscheinung ist das Austrocknen von Pflügen auf tonigem Untergrund (Bild 2.15).



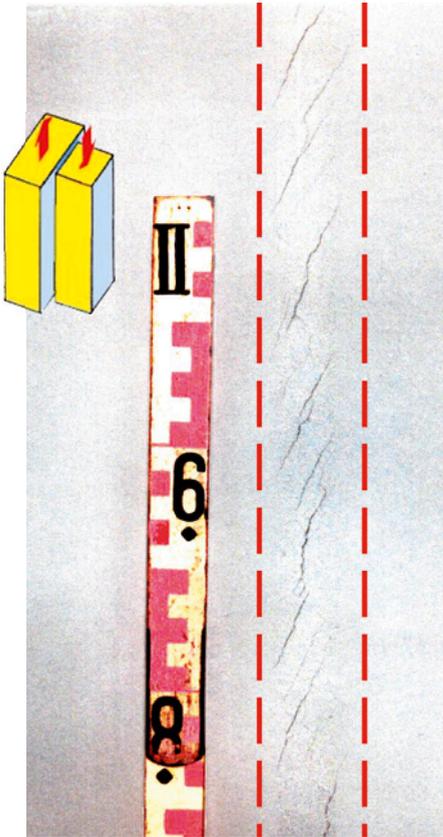
Die ausgetrocknete Oberflächenschicht des Bodens ist »kürzer« als die darunter befindliche wassergesättigte Masse. Das Verkleinern der ausgetrockneten Oberfläche wird nach allen Richtungen durch die unteren nassen Schichten behindert, wodurch die ungerichteten Risse an der Oberfläche entstehen.

Bild 2.14
Gerichtete Risse in einer Wand (links) und ungerichtete Risse in einer Verkehrsfläche (rechts)



Bild 2.15
Austrocknungsrisse im bindigen Boden

Bild 2.16
Schrägrisse
zwischen einer
Stahlbeton-
stütze und einer
gemauerten In-
nenwand durch
eine Schwind-
differenz



SCHUBRISSE

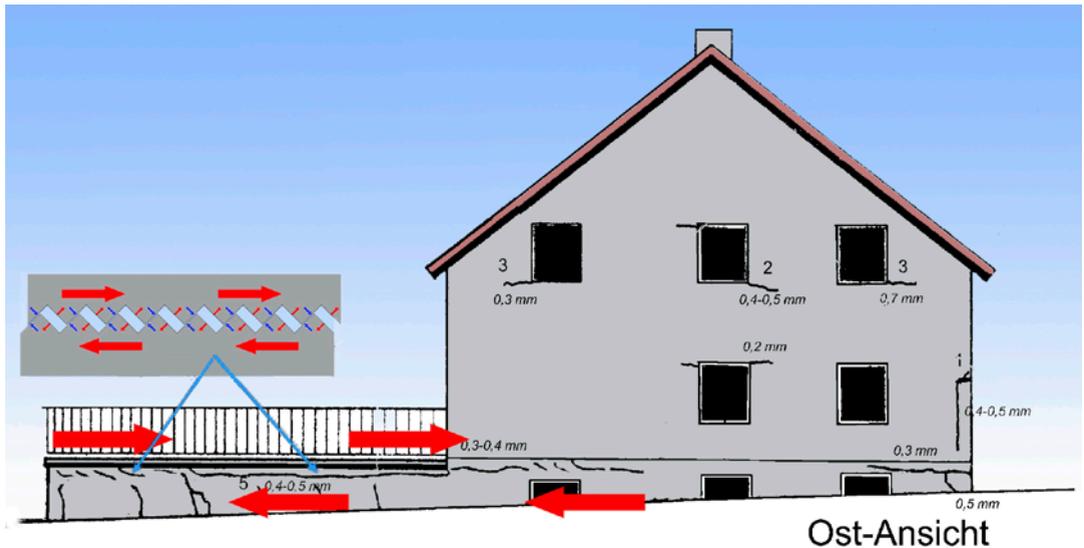
Eine besondere Rissform sind die Schubrisse. Sie entstehen in fest miteinander verbundenen Bauteilen, bei denen es unterschiedliche Längenänderungen gibt. Schubrisse sind eine Schar paralleler, schräger Risse, wie sie in Bild 2.16 zu sehen sind. Eine Stahlbetonstütze bindet in eine gemauerte Wand ein (gebrannte Ziegel). Die Schwinddifferenz von etwa 0,3 bis 0,4 mm/m sowie das Betonkriechen der Stütze bewirken eine Verkürzung der Stütze gegenüber der Wand. Die Längendifferenz äußert sich im Putz in Form der parallelen Schrägrisse (vgl. auch Bild 1.10).

Schubrisse sind eine besondere Rissform, die bei genauerer Betrachtung aus aneinander gereihten Schrägrissen besteht. Sie entstehen durch die schrägen Hauptzugspannungen (rote Pfeile rechtwinklig zu den Rissen), wie

das im Schema links in Bild 2.17 zu sehen ist. Im rechten Winkel zu den Hauptzugspannungen verlaufen schräge Hauptdruckspannungen (blaue Pfeile), deren relativ kleine Druckwirkung nicht sichtbar ist. So entsteht der gezackte Verlauf, der teilweise auch als fast gerade Linie wahrnehmbar ist.

Bild 2.17 zeigt Schubrisse in einer anderen Konstruktionssituation, die in vielen modernen Häusern mit Mauerwerkswänden und Stahlbetondecken typisch und fast unvermeidbar ist. Zwischen der Kellerdecke und der stützenden Wand ist ein gut sichtbarer Horizontalriss bis zu 0,5 mm Rissbreite entstanden. Er geht von den Ecken des Gebäudes aus, denn die behindernde Auflast hat im Randbereich eine geringere Wirkung als in Wandmitte. Die Rissursache besteht in einer Schwinddifferenz zwischen der Stahlbetondecke und der Außenwand. Sie ist in den ersten Monaten nach dem Betonieren am größten und wird in den darauffolgenden Monaten und Jahren kleiner bis zum Ausgleich nach längerer Zeit.

In der anschließenden Garage, deren Dach als Terrasse genutzt wird, gibt es nur eine geringe Vertikallast auf der Decke, die eine Verschiebung der



Stahlbetondecke nur wenig be- oder verhindert. Deshalb ist dort die Verschiebung der Decke gegenüber der darunterliegenden Wand am größten (Rissbreite bis 0,5 mm).

Bild 2.17
Schubriss
an einer
Kellerdecke

AUS DER OBERFLÄCHE HERAUSTRETENDES RISSUFER

Verschiebt sich ein Rissufer aus der Oberfläche heraus, dann muss es eine Kraft geben, die in der gleichen Richtung wirkt. Sie wirkt entweder allein – dann ist es keine Zugkraft – oder in Verbindung mit einer parallel zur Bauteiloberfläche wirkenden Zugkraft.

Ein weiteres Beispiel zeigt, wie Risse entstanden sind, deren eine Rissuferfläche aus der Bauteiloberfläche herausgetreten ist. Ursache war eine trotz richtiger Planung fehlerhaft ausgeführte Bewegungsfuge.

In einer Industriehalle mit einer Tragkonstruktion aus vor-



Bild 2.18
Das hintere
Rissufer hat sich
aus der Wand-
ebene in den
Raum hinein
verschoben

Bild 2.19

Gabellagerung eines Stahlbetonbinders auf einer Stahlbetonstütze; links: planmäßige Ausführung mit Bewegungsfuge; rechts: zugschachtelte Fuge behindert die Bewegung (Auflagerdrehung) und führt zum Vertikalriss



gefertigten Stahlbeton-Stützen und -bindern traten schon bald nach der Inbetriebnahme Risse an einigen Stützenköpfen auf. Die Stützenköpfe sind gabelförmig ausgebildet, sodass der schlaff bewehrte Binder im Endzustand in der Gabel liegt. Einige der Stützen waren rissfrei (Bild 2.19 links) und einige andere hatten einen annähernd vertikalen Riss in beiden ›Zinken‹ der Gabel (rechts im Bild). Die Rissufer liefen von oben nach unten aus. Oben besaßen sie die größte Rissbreite, die zur Auflagerfläche auslief. Sie traten mit einem auffälligen vertikalen Riss oben etwas aus der Oberfläche heraus (Bild 2.19).

Die Gabellagerung des Binders ließ eine ausreichende Auflagerverdrehung zu, die sich bei der statisch bestimmten Lagerung als Einfeldträger einstellt. Durchbiegungen solcher schlaff bewehrten Binder mit 20 m Stützweite von $1/500$ der Stützweite sind normal. Das entspricht einer Durchbiegung in Feldmitte von $20\,000\text{ mm}/500 = 40\text{ mm}$ und einem Drehwinkel am Auflager von $\tan \alpha = 0,008$. Bei einer Risslänge von rd. 800 mm verschiebt sich die Oberseite des Binders gegenüber der Gabel um $800\text{ mm} \times 0,008 \approx 6\text{ mm}$. Das entspricht etwa der Beobachtung vor Ort. Diese abgeschätzten Verformungen beziehen sich auf eine Kurzzeitbelastung. Da es sich hier mit einem hohen Eigenlastanteil überwiegend um langfristig wirkende Lasten handelt, ist im Laufe der ersten Jahre durch Betonkriechen mit einer erheblichen Vergrößerung der Durchbiegung in Feldmitte des Trapezbinders und einer entsprechenden Auflagerverdrehung zu rechnen.

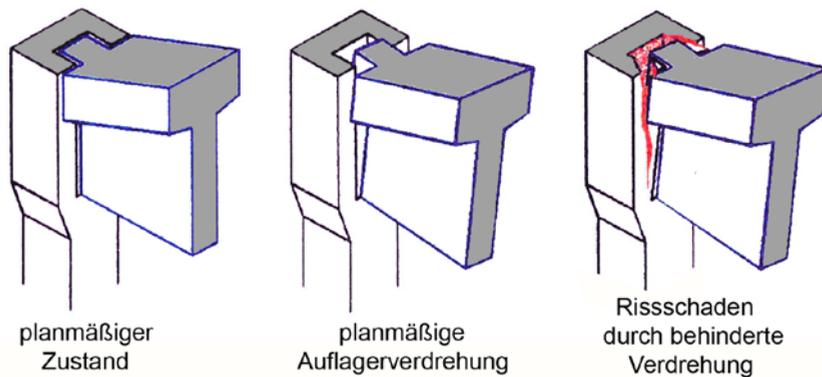


Bild 2.20
Skizze zur
Erläuterung der
Auflagerver-
drehung

Bild 2.20 zeigt die Auflagerverdrehung des Trapezbinders im Schema. Links im Bild ist der Ausgangszustand dargestellt, in der Mitte die Verformung bei ordnungsgemäßer Fuge und rechts bei fehlender Bewegungsfuge. Wenn die Bewegung (Drehung) durch Verspachteln des Fugenspaltens behindert wird, dann bewegt sich der Binder trotzdem unter Bildung von Rissen links und rechts in den seitlichen Wänden der Gabel. Es entstehen die beobachteten Risse. Ein einfacher handwerklicher Fehler ist die Rissursache.

Die Instandsetzung ist einfach, indem die Bewegungsmöglichkeit der Bauteile hergestellt wird. Die fehlerhafte Fuge muss ausgeräumt und so hergerichtet werden, wie das in den Planunterlagen vorgegeben ist. Die durch die Risse abgetrennten Betonteile an der Stütze sind mit einem Betonersatz wieder aufzubauen.

RISSE IM FRISCHBETON

Beton ist im frischen Zustand, in dem er verarbeitet wird, eine plastische Masse mit wählbarer Konsistenz. An einer freien Betonoberfläche, die je nach Betonrezeptur und Verdunstungsbedingungen über mehrere Stunden bis zur Erstarrung spürbare Mengen an Feuchtigkeit abgibt, tritt der gleiche Effekt ein, der in Bild 2.15 für bindigen Boden gezeigt wird: durch die geringere Wassermenge gegenüber den tieferen Schichten entstehen an der Betonoberfläche Risse, die sich vorzugsweise über der Bewehrung ausbilden (Bild 2.21).

Da sich frischer Beton etwas absetzt, entstehen bei dickeren Betonschichten Sackungen, die die Rissbildung über der Bewehrung im Frischbeton noch unterstützen. Der Beton erstarrt mit diesen Rissen, die später zwar das Aussehen, aber nur selten die Nutzung beeinträchtigen. Die Rissufer derartiger Risse bewegen sich nach der Erhärtung des Betons nicht mehr und können ohne Zeitverzug mit einfachen Mitteln dauerhaft gefüllt werden.

Bild 2.21
Risse über der Bewehrung durch Austrocknung des Frischbetons und Sackung



KONSEQUENZEN AUS DEN ZWEI MESSBAREN ›RISSBREITEN‹ AN EINER MESSSTELLE

Bis in die Gegenwart hinein kennen sowohl der praktisch tätige Ingenieur als auch der Wissenschaftler nur eine Rissbreite im Stahlbetonbau. Tatsächlich sind, wie vorher schon ausführlich beschrieben, zwei Rissbreitenwerte messbar, und die Größe des Messwertes hängt von dem gewählten Messverfahren ab. Mit einer Wegmessung wird an der gleichen Messstelle eine größere Rissbreite (besser: Rissuferverschiebung) gemessen als mit einem optischen Messverfahren. In der gesamten Geschichte des Stahlbetonbaus war dieser Unterschied nicht bekannt, und man kam damit gut zurecht. Allerdings waren alle Versuche, die Rissbreite zu berechnen, von großen Streuungen begleitet. Jetzt, da die Doppelnatur der Rissbreite bekannt ist, erhebt sich die Frage, welche Vorteile bei Berücksichtigung der neuen Tatsache bestehen.

- Im direkten Vergleich von berechneten und gemessenen Rissbreitenwerten kann die Streubreite der Messwerte reduziert werden. Sie hat mehrere Ursachen, von denen die Existenz eines zweiten möglichen Messwertes nur eine ist. Deswegen sind auch künftig die Rissuferverschiebung und die Rissbreite streuende Größen.
- Bei kleinen Rissbreitenwerten, wie sie bei WU-Bauwerken wegen ihrer Selbstdichtungseigenschaften verwendet werden, ist der Einfluss der Auflockerungszone auf die Rissbreite so groß, dass die Berechnungsergebnisse z. T. unbrauchbar sind. Wird trotzdem dafür eine

Bewehrung bestimmt, ergeben sich die bekannten außergewöhnlich großen Bewehrungsmengen. Eine Verbesserung des Berechnungsverfahrens für Rissbreiten unter 0,2 mm verspricht eine reale und damit kleinere Mindestbewehrung.

- Dass die Vorhersagewahrscheinlichkeit der Rissbreite mit abnehmender Rissbreite ebenfalls abnimmt, wurde bereits in [6] in einem Diagramm dargestellt. Eine Erklärung für diese empirische Feststellung gab es nicht. Mit der Auflockerungszone kann dieses Phänomen erklärt und gegebenenfalls einer mathematischen Modellierung zugeführt werden.

2.3 POTENZIELLE GEFÄHRDUNGEN DURCH RISSE

Risse sind bei jedem Massivbauwerk normale Erscheinungen. In den statischen Berechnungen werden die Standsicherheitsnachweise unter Berücksichtigung ungünstigster Rissbildungen geführt. Deshalb sind sie nur in seltenen Fällen gefährlich. Andererseits ist es ein Vorzug von Massivkonstruktionen, dass sich kritische Zustände durch Rissbildung so rechtzeitig ankündigen, dass genügend Zeit bis zum Bruch verbleibt, um sich in Sicherheit bringen zu können. Man spricht vom duktilen Verhalten einer Massivbaukonstruktion.

STANDSICHERHEIT

Risse sind bei kleinen Rissbreiten meist ungefährlich, weil unter planmäßigen Beanspruchungen Bauwerke und Bauteile auch mit Rissen stand sicher sind. Das fordern die Berechnungsvorschriften, nach denen die Zugfestigkeit aller Mauerwerksarten und von Beton und Mauerwerk gleich Null zu setzen ist. Entsteht ein Riss, dann sind in diesem Bauteil die Annahmen in der statischen Berechnung eingetreten. Das heißt, es gibt durch den Riss keine Beeinträchtigung der Standsicherheit.

Risse können aber auch durch sehr auffällige Rissbreiten Überbeanspruchungen anzeigen, bei denen man sich außer Gefahr bringen sollte. Erinnerung sei an extreme Rissbildungen nach Erdbeben und an Katastrophen bei sehr großen Baugrundabsenkungen – Bilder, die jeder schon gesehen hat. Risse können die Standsicherheit nur dann gefährden, wenn sie ein statisches System so verändern, dass die Lastabtragung in der geplanten Weise nicht mehr möglich ist oder wenn sie unter der Wirkung von Lasten entstehen und dadurch der Gleichgewichtszustand beeinträchtigt wird. Ein

Bild 2.22

Extrem breiter Mauerwerksriss in der Burg in Bild 2.23, ein sicheres Zeichen für den bevorstehenden Verlust der Tragfähigkeit



Beispiel dafür ist in Bild 2.22 und Bild 2.23 zu sehen.

In der mittelalterlichen Burg mit dicken Wänden aus Natursteinmauerwerk hat sich das Bauwerk so bewegt, dass Risse entstanden sind, in die man die Faust hineinstecken kann. Das war möglich, weil beim Bau an Mauerankern gespart wurde, mit denen man gegenüberliegende Wände gegenseitig stützen kann. Dadurch drifteten einige Wände auseinander. Es entstand ein Standsicherheitsproblem, das durch den Riss rechtzeitig genug angezeigt wurde, um Sicherungsmaßnahmen zu veranlassen. Die Ursachen liegen im teilweisen Versagen der Wände

aus Natursteinmauerwerk und in Baugrundbewegungen (→ Setzungen). Um den Einsturz zu vermeiden, musste das Gebäude bandagiert werden (Bild 2.23). Erst nach einer aufwändigen Instandsetzung, bei der auch die

Bild 2.23

Außergewöhnliche Sicherungsmaßnahmen am Turm



Standsicherheit wieder hergestellt wird, kann die Bandage entfernt werden. Der gefährliche Riss ist wohl hier die Folge ungleichmäßiger Baugrundsetzungen, nicht die Ursache.

Mauerwerksrisse können sich relativ weit öffnen, weil sie von keiner Bewehrung gekreuzt werden, die das verhindern kann. Im Unterschied dazu haben Risse in Stahlbetonbauteilen mit der Bewehrung eine ›Bremsen‹. Je weiter sich der Riss im Stahlbeton öffnet, umso größer wird die ›rückstellende‹ → Zugspannung in der Bewehrung. Sie wirkt ähnlich wie ein angespanntes elastisches Seil, d. h. sie entwickelt eine Rückstellkraft, die die Rissbreite begrenzt. Das ist auch der Hauptgrund, warum bei Stahlbetonbauteilen spektakuläre Risse seltener sind als bei Mauerwerk (vgl. Bild 2.9).

GEFÄHRDUNG DER DAUERBESTÄNDIGKEIT DURCH KORROSION DER BEWEHRUNG IN STAHLBETONBAUTEILEN

Die Bewehrungskorrosion ist eine die Standsicherheit gefährdende Erscheinung, weil die Stahlbewehrung als tragendes Element dadurch allmählich zerstört wird. Im jungen Beton ist der Bewehrungsstahl sehr gut gegen Rostbildung geschützt. Der Stahl liegt mit der Einbettung in den Beton in einem alkalischen Milieu ($\text{pH} > 12,5$), das ihn vor Korrosion schützt. Erst wenn das alkalische Milieu durch chemische Reaktionen mit dem Kohlendioxid der Luft beseitigt ist ($\text{pH} < 8$ bis 9), kann der Korrosionsprozess einsetzen. Dieser Prozess dauert je nach der Porosität des Betons mehrere Jahre oder auch Jahrzehnte. Die Korrosionsgefahr ist bei kleinen Rissbreiten (bis etwa 0,5 mm) unabhängig von der Rissbreite.

Wenn der passive Korrosionsschutz durch das alkalische Milieu nicht mehr gegeben ist und wenn Sauerstoff und Luftfeuchtigkeit an die Bewehrung gelangen, setzt der Korrosionsprozess ein. Der bevorzugte Weg dieser Stoffe ist der durch den Porenraum der ungerissenen → Betondeckungsschicht. Deshalb ist es beim Bauen genauso wichtig, die Betondeckung möglichst dicht und porenarm auszubilden, wie die Rissbreiten möglichst klein zu halten.

Im Korrosionsprozess entsteht Rost, der ein Mehrfaches des Volumens seiner Ausgangsprodukte besitzt. Mit der Rostbildung entwickelt sich ein innerer Druck im Beton, der zu Absprengungen führt. In Bild 2.24 sind die Folgen einer verrosteten Bewehrung an einem 60 Jahre alten Stahlbetonbecken in der Trinkwasserspeicherung dargestellt.

Das Wasserbecken in einem Trinkwasserwerk wurde in den 30er-Jahren des vorigen Jahrhunderts gebaut. Als Bewehrung wurde der seinerzeit übliche Betonstahl I mit glatter Oberfläche und geringerer Zugfestigkeit als heutiger Betonstahl (50 bis 60 %) verwendet. Die → Betondeckung war zur damaligen Zeit kleiner als heute, so dass die Bewehrung nicht gut und

Bild 2.24

Flächige Ab-
sprengung
der → Beton-
deckung an der
Innenseite eines
älteren Wasser-
behälters aus
Stahlbeton



nicht lang genug im Beton geschützt war. Die Folge ist die großflächige Schädigung durch abgesprengte Betondeckung. Die Instandsetzung ist durch eine gründliche Reinigung des Stahls und der Betonoberfläche mit Sandstrahlen und anschließendem Schutz des Stahls nach den Regeln der Betoninstandsetzung sowie eine Reprofilierung mit Spritzbeton möglich.

Dass Korrosion zum vollständigen Verlust der Tragfähigkeit eines Bewehrungsstabes führen kann, zeigt Bild 2.25. Es ist ein Blick von oben auf eine befahrene Bodenplatte in einer Tiefgarage. Der eingeschleppte, taumittelhaltige Schneematsch taut auf, verdunstet und hinterlässt das Taumittel auf der Oberfläche. Wird Flüssigkeit z. B. durch abtropfendes Regenwasser eingebracht, entsteht eine chloridhaltige Lösung, die in Risse im Beton eindringt und bis an die Bewehrung gelangen kann. An der Bewehrungsfläche bilden sich in einer besonderen Art der Korrosion Roststellen, die je nach den konkreten Bedingungen im Beton örtlich sehr tief wirken, man spricht von → Lochfraßkorrosion. Der abgebildete, vollständig zerstörte Bewehrungsstab (Pfeil) ist durch diese Form der Korrosion geschädigt worden. An der Bildunterseite befindet sich ein Fugenspalt, in dem sich das chloridangereicherte Wasser sammeln konnte. So war die Einwirkungszeit der Lösung viel länger als bei einer Pfütze an der Oberfläche.



Bild 2.25
Durch Korrosion zerstörter Bewehrungsstab in der Bodenplatte einer Tiefgarage (ursprünglicher Stabdurchmesser 8 mm)

BEEINTRÄCHTIGUNG DES WÄRME-, FEUCHTE- UND SCHALLSCHUTZES

Risse sind Schwachstellen im Beton und Mauerwerk, durch die Feuchtigkeit eindringen kann. Besonders bei Mauerwerk kann es dadurch zu Schädigungen kommen, die sich allmählich erweitern können. Allerdings betrifft das die größeren Rissbreiten. → Trennrisse mit nennenswerter Rissbreite können auch den Schallschutz beeinträchtigen. Ein Beispiel für solche Beeinträchtigungen ist in Bild 2.26 abgebildet. Ein grober Trennriss mit einer

Bild 2.26
Grober Riss an einer einspringenden Ecke, Rissbreite 12 mm; im linken Foto ist die rechte Wand die Fassadenlängswand



Rissbreite von 12 mm befindet sich an einer einspringenden Gebäudeecke. Er ist durch eine Kippbewegung als Folge einer einseitigen → Setzung des linken Vorbaus (→ Risalit) entstanden. Die Rissbreite des Trennrisses war oben am größten und betrug 12 mm. Um die Arbeitsbedingungen im dahinter liegenden Raum erträglich zu gestalten, musste der Riss bis zur Instandsetzung an der Innenseite mit einer Pressspanplatte verdeckt werden, weil die Außenluft nahezu ungehindert eintreten konnte.

Eine so große Rissbreite von 12 mm ist indiskutabel und natürlich nicht zumutbar. Auch bei kleineren Rissbreiten können die gleichen schadhafte Wirkungen auftreten. Z.B. können bei Mauerwerk aus Leichtbetonsteinen in den Fensterbrüstungen vertikale Risse entstehen, deren Luftdurchlässigkeit an der Innenseite wahrnehmbar ist. Auch eine Rissbreite von einem Millimeter ist daher nicht mehr zumutbar.

BEEINTRÄCHTIGUNG DER OPTISCHEN ERSCHEINUNG

Risse werden immer dann als störend empfunden, wenn man sie deutlich wahrnehmen kann und sie das Bild einer Fläche beeinträchtigen. Wand- und Deckenflächen sollen in Wohn- und Büroräumen bestimmte ästhetische Anforderungen erfüllen. Dazu gehören die Ebenföächigkeit und ein gleichmäßiges Erscheinungsbild. Auch an Fassaden werden solche Anforderungen gestellt. Je deutlicher ein Riss zu sehen ist, umso störender wirkt er. Risse entstehen auch in anderen Werkstoffen.

Ob Risse in einer Sichtfläche zumutbar sind, ist eine subjektive Entscheidung. Mehrere Betrachter kommen naturgemäß zu unterschiedlichen Urteilen über die Zumutbarkeit. Der Bauherr wird strengere Maßstäbe als der Baubetrieb anlegen. Eine objektive Beurteilung oder gar Kriterien zur Beurteilung von gerissenen Flächen kann es nicht geben, sodass immer ein Ermessensspielraum und damit Streitpotenzial verbleibt.

Bild 2.27
Wohngebäude mit Rissen in den Außenwänden, die aus einem gewissen Abstand kaum zu sehen sind



Bild 2.27 zeigt ein Wohnhaus mit einigen Rissen in der Fassadenfläche. Die Risse sind vom Standort des Fotografen kaum wahrnehmbar und stören das Gesamtbild kaum. Verringert man den Betrachtungsabstand wie in Bild 2.28, dann sind die Risse deutlicher wahrnehmbar und beeinträchtigen das Bild. Das Gleiche gilt für die Lichtverhältnisse beim Betrachten der Risse. Nähe man

eine helle Leuchte zu Hilfe, würde man noch einige zusätzliche Risse entdecken, die bei normaler Helligkeit nicht auffallen. Der Vergleich der beiden Bilder zeigt, dass die Wahrnehmung und Bewertung von Rissen immer an eine bestimmte Helligkeit und einen bestimmten Betrachtungsabstand gebunden sind.

Die folgenden Bilder sollen die Wirkung unterschiedlicher Rissbreiten auf einer gemusterten Beton- und einer glatten Fläche zeigen. In Bild 2.29 oben sind unterschiedlich breite Risse vor gleichen Hintergründen abgebildet. Man sieht, dass die Rissbreite einen großen Einfluss auf die Sichtbarkeit eines Risses hat. Andere Faktoren sind aber ebenfalls von Bedeutung. Die Wahrnehmbarkeit von Rissen hängt von mehreren Faktoren ab:

- **Rissbreite** (vgl. Bild 2.29): Mit zunehmender Rissbreite werden Risse auffälliger.
- **Betrachtungsabstand**: Je geringer der Abstand zum Riss ist, umso deutlicher wird er wahrgenommen.
- **Ausleuchtung der gerissenen Fläche**: Je heller die Fläche ausgeleuchtet ist, umso deutlicher sieht man den Riss. Sehr feine Risse sind dann überhaupt erst sichtbar.
- **Färbung oder Ebenheit des Untergrundes**: In einem dunklen und unregelmäßig gemusterten Untergrund fallen Risse weniger auf als in hellen, einfarbigen Flächen. In Bild 2.29 unten sind die gleichen Risse wie im Bild oben auf hellem Grund dargestellt. Sie erscheinen auffälliger als im Beton.

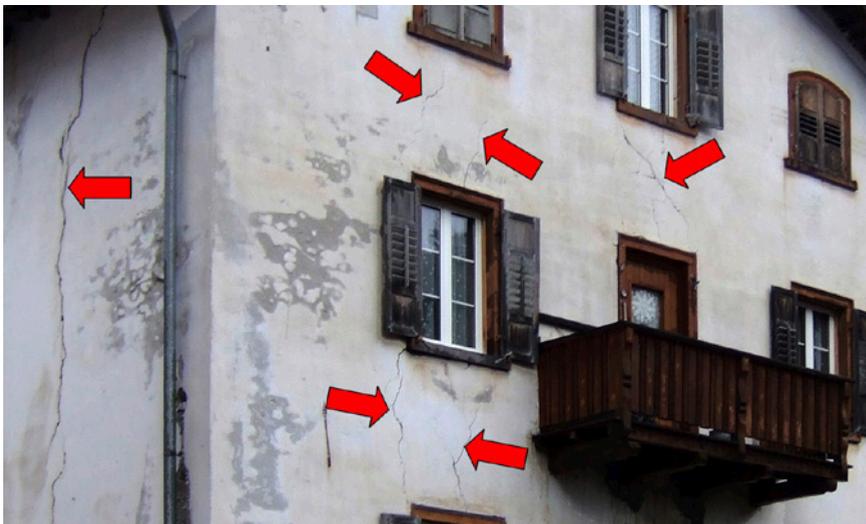
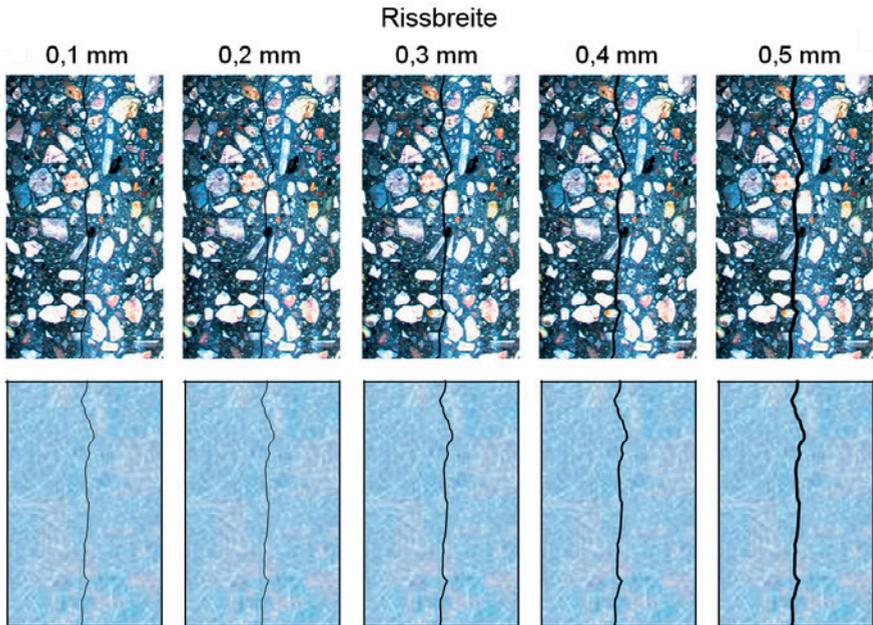


Bild 2.28
Detail aus
Bild 2.27 mit
Anzeige der
Risse aus der
Nähe

Bild 2.29
Wirkung unterschiedlicher
Rissbreiten
in Beton und auf hellem
Untergrund



Auf ein Phänomen sei noch hingewiesen. Risse werden meist erst eine gewisse Zeit nach ihrer Entstehung bemerkt. Das hängt damit zusammen, dass der Laie keine Risse in seinem Haus oder an seinem Arbeitsplatz vermutet. Sucht man gezielt nach Rissen, dann findet man sie auch schon eher. Der Fachmann weiß, wo er suchen muss. Er findet sie mit Sicherheit weit vor dem Zeitpunkt, an dem sie von Laien entdeckt werden.

3 DER RECHENWERT DER RISSBREITE UND DER VERGLEICH MIT MESSWERTEN

3.1 DIFFERENZIERUNG DER BEGRIFFE

Der Begriff ›Rissbreite‹ ist im Stahlbetonbau ein häufig benutzter Begriff, der nicht eindeutig definiert ist. Eine mehrdeutige Verwendung ist die Folge. Im Vorschriftenwerk wird ausschließlich der ›Rechenwert der Rissbreite‹ verwendet. Er ist ein fiktiver Wert, der am Bauwerk nicht nachmessbar ist. Trotzdem wird er häufig ohne den Zusatz ›Rechenwert‹ als realer Wert benutzt. Die Mehrdeutigkeiten lassen viel Platz für Missverständnisse.

Beim realen Riss hat die ›Rissbreite‹ mehrere Bedeutungen (Bild 3.1):

- Als Einzelmesswert. Er wird nach jeder Messung an einer Messstelle des Risses gewonnen. Das ist sowohl bei der Wegmessung als auch bei der optischen Messung so. Der Einzelmesswert sagt wenig über die Rissbreite des Risses aus. Dazu sind weitere Einzelmesswerte an systematisch bestimmten Messstellen notwendig, die zu nur einem Wert, dem Messwert der Rissbreite verarbeitet werden, z.B. durch Mittelwertbildung.
- Der Messwert der Rissbreite für den gesamten Riss. Er wird aus mehreren Einzelwerten meist als Mittelwert gebildet. Gelegentlich gibt es in der Literatur, den Vorschlag, den größten Einzelmesswert als ›Messwert der Rissbreite‹ zu verwenden. Im Anhang 1 sind entsprechende Vorschläge dazu zu finden.

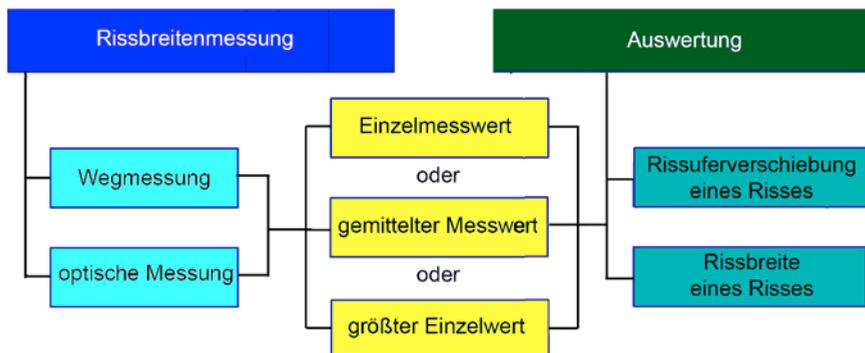


Bild 3.1
Die differenzierte Betrachtung des Begriffes ›Rissbreite‹

Außerdem ist nach der Messmethode zu unterscheiden:

- Mit der optischen Messung wird die eigentliche Rissbreite, die Spaltbreite, an einer Messstelle gemessen. Das ist die örtliche Rissbreite (Einzelmesswert) zwischen den beiden Rändern der Auflockerungszone. Das Messergebnis enthält keine plastischen Verformungsanteile. Das einzelne Messergebnis spiegelt die Zufälligkeiten der plastischen Längenänderung wider und kann deshalb für den gesamten Riss nicht repräsentativ sein. Deshalb sind für eine Gesamtaussage zum Riss (›Rissbreite des Risses‹ oder ›Messwert der Rissbreite‹) immer mehrere Einzelmesswerte notwendig, die vorzugsweise zu einem Mittelwert verknüpft werden.
- Mit der Wegmessung muss am ungerissenen Beton begonnen werden. Erst wenn es die ›Nullmessung‹ vor der Rissentstehung gibt, lassen sich bei weiterer Dehnung des Bauteils die Wege der Rissufer messen. Diese Messung enthält zwangsläufig die mittlere Längenänderung der plastisch verformten Auflockerungszone und ist deshalb am gleichen Riss zahlenmäßig größer als die Rissbreite (Spaltbreite). Eine Wegmessung am bereits bestehenden Riss liefert die gleichen Rissbreitenwerte wie die optische Messung, weil die Phase der Rissbildung und -öffnung in ihr nicht enthalten ist und die plastischen Verformungsanteile bereits entstanden sind.

3.2 WIE ENTSTEHEN DIE RECHNERISCHE UND DIE GEMESSENE RISSBREITE?

Die Rissbreite (nicht Rissweite!) ist das wichtigste Merkmal eines Risses. Eine zu große Rissbreite kann schädlich für das Bauteil sein, wenn dadurch z. B. bei Stahlbeton die Bewehrung nicht mehr geschützt ist und zu rosten beginnt. Langfristig können damit der Standsicherheitsverlust oder andere Nachteile verbunden sein. Deshalb wurde in den letzten Jahrzehnten eine Berechnungsmethode für die Rissbreite entwickelt, die sich inzwischen in der Planungsphase als sehr nützlich erwiesen hat, obwohl sie keinen direkten Vergleich zwischen Berechnungs- und Messergebnis zulässt. Einen denkbaren Vergleich eines realen Risses mit einem Rechenwert der Rissbreite zeigt Bild 3.10. Unterschiede zwischen der Realität und der Idealisierung sind in Tabelle 3.1 zusammengestellt. Daraus ergeben sich zwei Konsequenzen:

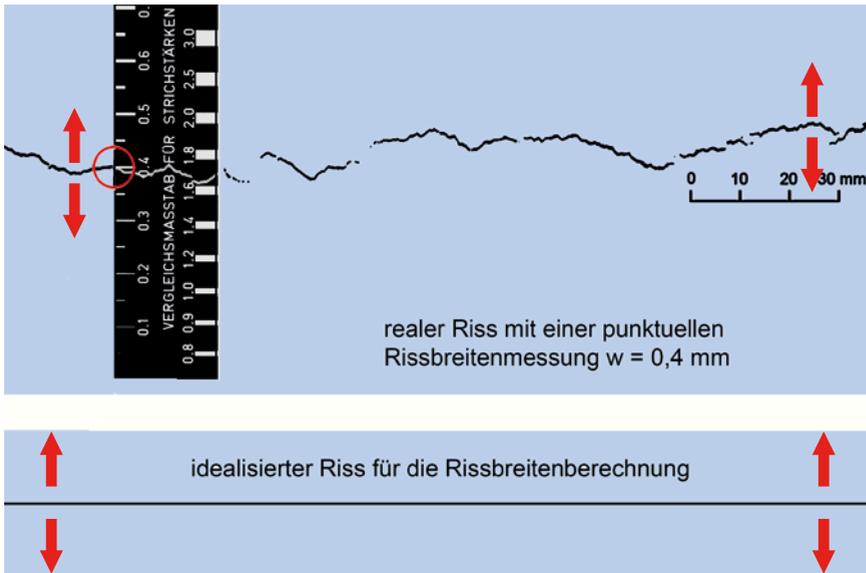


Bild 3.2
Realer Riss (oben) und der schematisierte Riss für die Herleitung des Rechenwertes der Rissbreite (unten)

1. So wie nur ein Rechenwert der Rissbreite benutzt wird, muss zum Vergleich auch nur ein Messwert der Rissbreite gebildet werden. Dazu sind im Anhang 1 drei Möglichkeiten vorgeschlagen worden. Wenn nicht der größte Rissbreitenwert im Riss gewählt wird, muss aus mehreren, systematisch ausgewählten Einzelmesswerten ein ›Messwert der Rissbreite‹ gebildet werden, der analog zum Rechenwert der Rissbreite für den Riss als Ganzes gilt.
2. Es ist üblich und wird auch im Anhang 1 empfohlen, dass bei der optischen Rissbreitenmessung immer rechtwinklig zum Rissverlauf zu messen ist. Das bedeutet für den Fall, dass Rissverlauf und Zugkrafttrichtung nicht rechtwinklig zueinander gerichtet sind, dass entgegen der Rechenannahme die gemessene Rissbreite kleiner ist als die

Tabelle 3.1
Unterschiede zwischen dem realen Riss und dem Rechenwert der Rissbreite (Bild 3.2)

Parameter	Realer Riss	Idealisierter Riss
Rissbreite	Über die Risslänge unterschiedlich	Über die Risslänge konstant
Winkel zw. Zugkraft und Rissverlauf	Über den Rissverlauf wechselnd im Bereich von $\pm 30^\circ$	Über den Rissverlauf konstant 90°
Größe der Rissbreite	Mehrere reale Werte am Bauteil mit unterschiedlicher Größe, meist kein Größtwert	Maximalwert

berechnete. Für den Rechenwert der Rissbreite wird immer vorausgesetzt, dass der Riss rechtwinklig zur Zugkraft verläuft.

Der Rechenwert der Rissbreite ist als Maximalwert definiert. Dazu wird folgendes Zitat aus [5], einem Einführungskommentar zur DIN 1045-1 verwendet, weil dieser Kommentar auch heute noch für die Rissbreitenberechnung in der derzeit gültigen DIN EN 1992-1-1 gilt:

Für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit eines Betonbauteils ist der Riss mit maximaler Breite von größerer Bedeutung als die mittlere Breite aller Risse. Gemäß diesem Gedanken wird in der neuen DIN 1045-1 der Rechenwert der Rissbreite w_k der maximalen Rissbreite w_{max} gleichgesetzt. In diesem Zusammenhang soll jedoch erwähnt werden, dass die rechnerisch ermittelte maximale Rissbreite w_k von zahlreichen streuenden Faktoren abhängt und deshalb wiederum nur einen charakteristischen Wert möglicher maximaler Rissbreiten darstellt. Mit anderen Worten bedeutet dies, dass Risse mit größeren Rissbreiten als die rechnerische Rissbreite w_k nicht völlig ausgeschlossen werden können.

Nach dieser Definition sind Rechenwert und Messwert der Rissbreite unterschiedliche Dinge an einem Riss, die im Sonderfall ausnahmsweise den gleichen Zahlenwert haben können. Für ein Bauteil gibt es nur einen Rechenwert der Rissbreite, es sind aber für das gleiche Bauteil mehrere Risse mit einem jeweils anderen Rissbreitenwert möglich.

Mit dem Vergleich kann (theoretisch) nur geprüft werden, ob (fast) alle Messwerte am Bauteil kleiner als der berechnete Maximalwert sind. Einige veröffentlichte repräsentative Rissbreitenmessungen am Bauwerk zeigen, dass Theorie und Praxis nur unbefriedigend übereinstimmen, z. B. [18]. Der Anteil von Messwerten, deren Rissbreiten über dem Maximalwert liegen, ist größer als theoretisch vorausgesetzt. Das muss man wissen, wenn solche Vergleiche trotz der vielen Unsicherheiten immer wieder gemacht und bei der Abnahme eines Bauwerks als Entscheidungshilfe genutzt werden.

DER RECHENWERT DER RISSBREITE – EIN SEHR FORMALISIRTER WERT

Rechenwerte der Rissbreite sind fiktive Größen, die nach dem Vorbild realer Risse abgeleitet worden sind. Für den elementaren Fall der zentrischen Zugbeanspruchung ist in Bild 3.3 die Berechnung in schematisierter Form für einen 1 m langen Zugstab dargestellt.

Ausgangspunkt ist der Zustand ohne Beanspruchung, also mit nicht verformten Komponenten Stahl und Beton in ursprünglicher Länge. Nach

einer Zugbeanspruchung reißt der Beton bei einer Dehnung von 0,1 mm. Diese überwiegend elastische Dehnung geht nach der Trennung der Rissufer bis nahe an den Ausgangspunkt zurück.

Wird über das Risslastniveau hinaus belastet, entstehen weitere Risse und Längenänderungen des Zugstabes. Es entsteht die Verformungssituation im unteren Teil des Bildes. Die Betondehnung ist sehr gering (fast nur der irreversible Dehnungsanteil der Auflockerungszone). Die Stahldehnung kann an der Grenze der Belastbarkeit mit mehreren Millimetern angegeben werden.

Die Differenz zwischen der elastischen Beton- und der elastischen Stahldehnung ist etwas vereinfacht die rechnerische Rissbreite. Bei dieser Betrachtung gehen keine irreversiblen Längenanteile der Rissbreite in die Berechnung ein. Für die Herleitung einer Formel wird keine konkrete Situation am Bauteil oder Bauwerk benötigt.

Der Rechenwert der Rissbreite ist vereinfacht die Differenz von zwei elastischen Längenänderungen, der des Stahls und der des Betons. Die plastische Längenänderung der Auflockerungszone hat in dem Berechnungsalgorithmus keinen Platz. Das hat vor allem bei kleinen Rissbreiten Auswirkungen, wo der Risspalt ähnlich breit ist wie die mittlere Breite der Auflockerungszone. Die Breite des wahrnehmbaren Risspalts hat dadurch nur noch zum Teil mit dem Öffnungsweg der Rissufer zu tun. Ohne eine nähere Untersuchung ist festzustellen, dass die kleinen Rissbreiten von 0,10 mm, 0,15 mm und 0,20 mm der WU-Richtlinie für WU-Bauwerke spürbar ungenauer berechnet werden als Rissbreiten über 0,20 mm.

Rissfreie Bauteilflächen sind wünschenswert, aber nur schwer und mit hohem Aufwand realisierbar. Risse sind sowohl in Beton als auch in Mauerwerk normale Erscheinungen und im Vorschriftenwerk als zulässig erwähnt. Um schädliche Auswirkungen von Rissbildungen zu vermeiden oder zu verringern, müssen die Rissbreiten möglichst klein bleiben. Im Stahlbetonbau kann man Rissbreiten in der Planungsphase näherungsweise berechnen bzw. mit der Bewehrungskonstruktion die Rissbreite beeinflussen, allerdings ist die Streubreite der Ergebnisse relativ groß. Die in der Planungsphase benutzten sog. Rechenwerte der Rissbreite sind theoretisch berechnete Werte, die am Bauwerk nur als idealisierte Werte virtuell existieren.

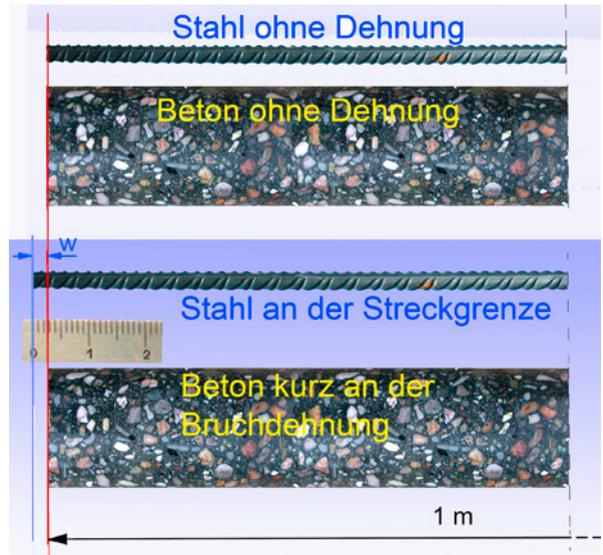


Bild 3.3
Rissbreitenberechnung für zentrische Zugbeanspruchung (vereinfacht)

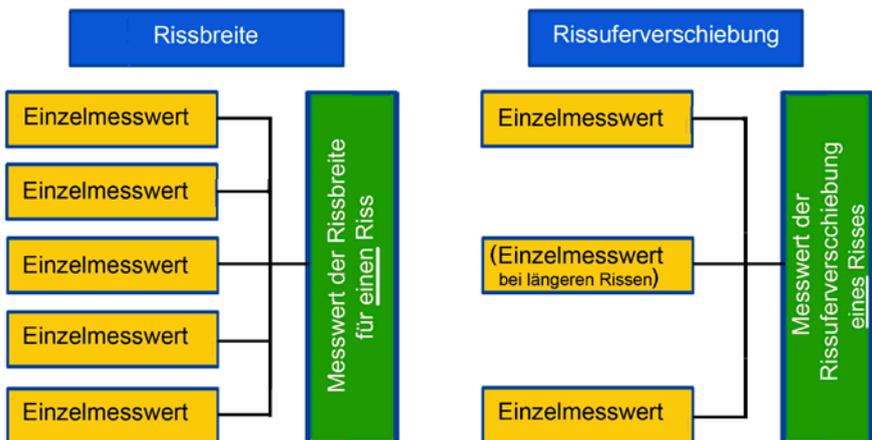
Trotzdem gehört in jede statische Berechnung eines Stahlbetonbauwerks oder -bauteils eine Rissbreitenbegrenzung, die sich auf die Rechenwerte der Rissbreite bezieht. Ein direkter Vergleich der Rechenwerte mit Messwerten kann irreführend sein und ist nicht statthaft. Die Rechenwerte der Rissbreite sind theoretische Größen, die Vergleiche ermöglichen und dem Konstrukteur mehr helfen als allgemeine Konstruktionsregeln. Man kann sie mit dem Norm-Kraftstoffverbrauch bei Kraftfahrzeugen vergleichen, der praktisch nicht erreichbar ist, aber eine Vergleichsmöglichkeit mit anderen Fahrzeugen für den Nutzer bietet, weil er für gleiche Bedingungen (Prüfnorm) ermittelt worden ist.

3.3 DIE MESSUNG VON RISSUFERVERSchiebung UND RISSBREITE

Rissuferverschiebung und Rissbreite sind zwei Eigenschaften eines Risses, zwischen denen üblicherweise nicht unterschieden wird. Der Unterschied ist nur über die Messung und den Vergleich von Rissbreite und Rissuferverschiebung an der gleichen Messstelle feststellbar. Für die Rissuferverschiebung ist, wie vorher bereits erläutert, ein Wegmessgerät erforderlich (z.B. induktiver Wegaufnehmer), für die Rissbreite ein optisches Messgerät (z.B. Rissmesslupe).

Das Bild 3.4 zeigt die Beziehung zwischen dem Messwert der Rissbreite und dem Einzelmesswert am Riss. Bei der Rissuferverschiebung wird der Weg der Rissufer gemessen, der viel stetiger verläuft als die sichtbaren

Bild 3.4
Rissbreite und Rissuferverschiebung eines Risses und ihre Beziehung zu Einzelmesswerten



Rissufer, die durch die plastische Verformung des Betons viel mehr vom Zufall beeinflusst wird.

Zu unterscheiden sind der Einzelmesswert der Rissbreite und der Messwert der Rissbreite für den gesamten Riss. Analog ist es bei der Rissuferverschiebung (Bild 3.4). Bei der Messung der Rissbreite sind möglichst viele Einzelmesswerte zweckmäßig, weil der Zufallseinfluss bei den plastisch verformten Rissufern groß ist. Bei der Messung der Rissuferverschiebung werden nur elastische Größen gemessen (Weg der Rissufer), wodurch die Streuung viel kleiner ist. Deshalb genügen weniger Einzelmesswerte.

Die am meisten verbreiteten Messgeräte:

- Für Messungen am bereits existierenden Riss kommen optische Messgeräte wie Vergleichsmaßstab oder Rissmesslupe am häufigsten zur Anwendung. Mit derartigen Messgeräten wird der Abstand der sichtbaren Rissufer an vorher ausgewählten Stellen gemessen, die Rissbreite. Es kann immer nur eine lokale Rissbreite als Einzelmesswert bestimmt werden. Wird eine Aussage für einen ganzen Riss gesucht, sind mehrere Einzelmesswerte erforderlich, die z. B. zu einem Mittelwert oder in anderer Weise miteinander verknüpft werden.
- Sollen außer der Rissbreite Längenänderungen in der Rissentstehungsphase mitgemessen werden, ist das nur mit einer → Wegmessung möglich. Ein Teil dieser Längenänderungen sind plastische Verformungen, die in der Rissbreitenberechnung mit elementaren Mitteln nicht erfasst werden können.

Was bei der praktischen Messung zu wenig Beachtung findet, ist die Unterscheidung des Einzelmesswertes vom Messwert der Rissbreite. In [17] sind die Messergebnisse einer Rissbreitenmessung mit der Rissmesslupe an drei vertikalen Trennrissen in einer Behälterwand veröffentlicht worden (Bild 3.5). Die Risse verlaufen in jeweils einem Meter Abstand. Der Trinkwasserbehälter war bei der Messung etwa halb gefüllt.

Bei den über drei Meter langen Rissen wurde die Rissbreite im Abstand von 0,10 m gemessen und als symmetrische Rissform aufgezeichnet. Die Einzelmesswerte schwanken bei allen drei Rissen zwischen 0 mm und 0,20 mm. Trotzdem stimmen die Mittelwerte mit 0,08 mm sehr genau überein. Es ist zu vermuten, dass die Übereinstimmung der Mittelwerte zufällig besteht. Die Einzelmesswerte lassen keine Verwandtschaft der Risse untereinander erkennen, die unter den gleichen Bedingungen entstanden sind.

Im Bild 3.5 liegen für jeden Riss mehr als 30 Einzelmesswerte vor. Trotzdem oder gerade deswegen ist die Angabe eines Messwertes der Riss-

Bild 3.5
gemessene
Rissbreite an
vertikalen
Zwangrissen in
einer Behälter-
wand (Rissform
schematisiert)

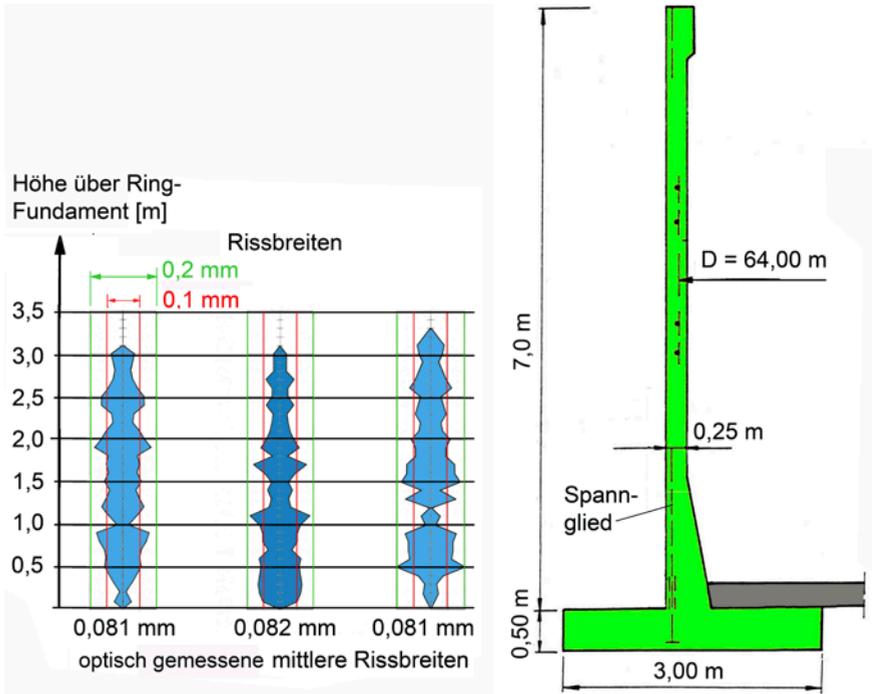
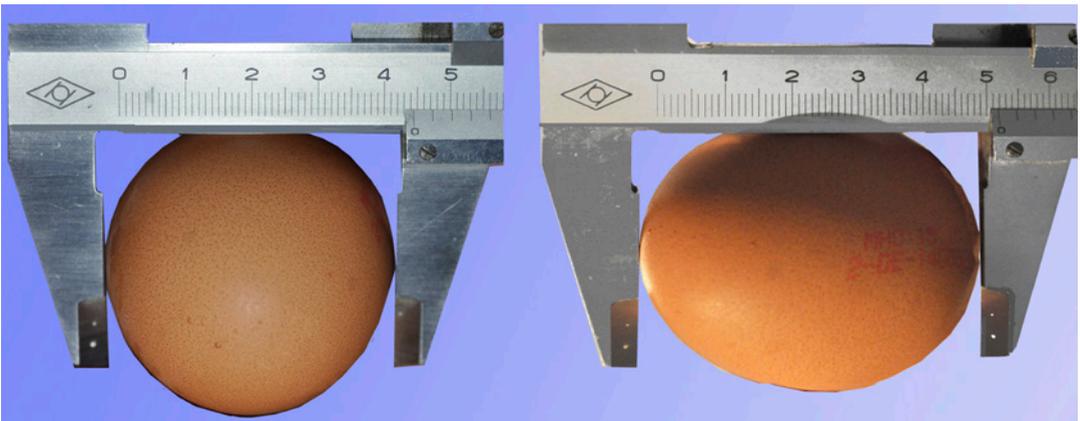


Bild 3.6
Die Rissbreite
eines Risses zu
messen ist wie
den Durchmes-
ser eines Eies
zu bestimmen:
mehrdeutig

breite mehrdeutig. Ohne eine Prüfvorschrift für die Rissbreitenmessung ist die Mehrdeutigkeit nicht zu beseitigen.

Mehrere Personen werden für den gleichen Riss unterschiedliche Messwerte messen können, ohne dass Messfehler gemacht werden. Im Anhang 1 dieses Buches wird deshalb ein Vorschlag für eine einheitliche Verfahrensweise bei der Rissbreitenmessung und -auswertung angefügt, der als Richtschnur für praktisches Handeln dienen soll [13].



Bei den zahlreichen ohne Manipulation möglichen Messwerten der Rissbreite (vgl. Anlage 1) existiert keine objektive, allgemein akzeptierte Rissbreite am Bauwerk. Das Messergebnis ist nie objektiv und kann für den gleichen Riss unterschiedliche Zahlenwerte haben. Keiner der Messwerte ist ›richtig‹, oder sie sind es alle. Bild 3.6 verdeutlicht die Situation.

Wenn die Aufgabe besteht, den Durchmesser eines Eies zu messen, dann sind viele unterschiedliche Ergebnisse möglich. Das liegt weder am Messenden noch am Messgerät. Da es den Durchmesser eines Eies nicht gibt, ist der zu messende Gegenstand genauer zu bezeichnen, z.B. ist die Länge der großen Achse des Ellipsoids zu messen. Auf die Rissbreitenmessung übertragen bedeutet das, dass das zu messende Objekt genauer zu bezeichnen ist. Ein solcher Versuch ist im Anhang 1 gemacht worden.

Bei Rissen mit kleinen Rissbreiten ($< 0,2$ mm) hat die Vernachlässigung des irreversiblen Längenänderungsanteils der Auflockerungszone an der Rissbreite größere Auswirkungen als bei Rissbreiten über 0,2 mm. Beispielsweise wurden für die Erforschung des Phänomens der Selbstdichtung von wasserführenden Trennrissen die Rissbreiten an den Versuchskörpern nicht einheitlich, sondern je nach Autor mit unterschiedlichen Messprinzipien eingestellt. Gleiche Messwerte bedeuten bei beiden Autoren nicht, dass die gleiche Rissbreite benutzt worden ist.

TYPISCHE MESSGERÄTE – SETZDEHNUNGSMESSER FÜR DIE WEGMESSUNG UND VERGLEICHSMASSTAB FÜR DIE SPALTBREITE

So sind die für Durchflussversuche in der Literatur zu findenden Rissbreitenmesswerte nur bedingt vergleichbar. Beispielsweise sind in [Rip1] Rissuferverschiebungen und in [9] Rissbreiten gemessen worden. Gleicher Messwert und ungleiche Messgrößen?

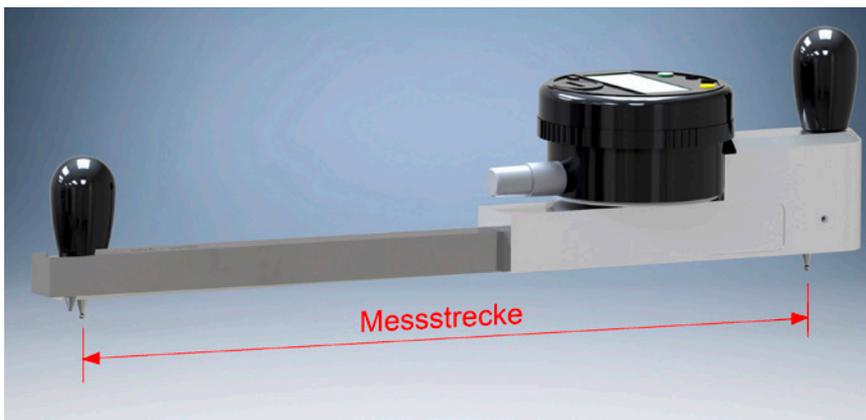


Bild 3.7
Setzdehnungsmess-
messer (Quelle:
Fa. Richter
Deformations-
messtechnik)

- Die optische Messung ist die Standard-Methode der Rissbreitenmessung für bereits bestehende Risse. Mit ihr wird der gegenseitige Abstand der Rissufer an der Messstelle rechtwinklig zum Rissverlauf gemessen. Er ist kleiner als der Weg der Rissufer. Messinstrumente für die optische Messung der Rissbreite sind beispielsweise der Vergleichsmaßstab (Bild 3.8), die Rissmesslupe und fotografische Verfahren. Das Ergebnis der optischen Messung der Rissbreite soll im Unterschied zur Rissuferverschiebung als **Rissbreite** bezeichnet werden.
- Die Wegmessung mit einem Setzdehnungsmesser oder einem induktiven Wegaufnehmer erfordert im Unterschied zu optischen Messverfahren zwei Ablesungen, eine sog. Nullablesung vor der Dehnung und eine danach.

Das Bild 2.5 zeigt einige hilfreiche Angaben zur Rissbreitenmessung. Danach werden drei Möglichkeiten zur Bestimmung der Rissbreite des Risses empfohlen (vgl. Anhang 1):

- Die Wegmessung aus zwei oder mehr Einzelwerten;
- Die optische Messung aus mehreren Einzelwerten mit Mittelwertbildung;
- Die optische Messung des größten, sichtbaren Rissbreitenwertes.

Bild 3.8

Rissbreitenmessung mit dem Vergleichsmaßstab, einem bei Baupraktikern beliebten optischen Messinstrument

Da sich alle drei Messwerte für den gleichen Riss voneinander unterscheiden, ist jeder Messwert der Rissbreite je nach Art der Messung erläuternd zu bezeichnen, also z. B. Rissbreite des Risses Nr. XYZ $w=0,35$ mm, optisch als Mittelwert aus 6 Einzelmesswerten bestimmt.

In der Vergangenheit wurde der Riss im Beton als Spalt angesehen, der zwei Rissufer hat. Heute wissen wir, dass der Riss durch die Auflockerungszone zweimal zwei Begrenzungen besitzt, die sich ineinander befinden. Sie

erscheinen an der Bauteiloberfläche als zwei unregelmäßig geformte Risse (Bild 2.5). Einer hat eine etwas kleinere Rissbreite und wird von dem anderen mit der größeren Rissbreite umschlossen. Das Betongefüge lockert sich an den Rissufern auf. Ist der Riss völlig getrennt, verbleiben die Reste der Auflockerungszone an beiden Rissufern wie in Bild 2.5 zu sehen. Die Differenz zwischen der



Rissuferverschiebung und der Rissbreite am gleichen Riss ist die Dicke der Auflockerungszone (beide Teile an beiden Rissuferflächen). Sie ändert sich kontinuierlich und ist nur als Mittelwert rechnerisch handhabbar.

Jede Mess- bzw. Auswertungsmöglichkeit liefert für den gleichen Riss einen anderen Zahlenwert [13]. Das Bild 2.5 vermittelt einen Eindruck von der Vielfalt der Möglichkeiten an einem Riss. Solange es keine Prüfvorschrift für die Rissbreitenmessung gibt, sind alle Möglichkeiten zulässig und uneingeschränkt verwendbar. Allerdings ist mit spürbarer Fehlerhaftigkeit zu rechnen. Ein Vorschlag zur Einschränkung der Möglichkeiten und zu einer einheitlichen Verwendung der üblichen Begriffe ist im Anhang 1 enthalten.

Die Messung mit dem Vergleichsmaßstab ist umso zutreffender, je heller die Messstelle ausgeleuchtet ist. Bei der Ablesung sollte man wissen, dass die Auflösung des menschlichen Auges ca. 0,1 mm bei einem Betrachtungsabstand von 500 mm beträgt. Das heißt, dass man zwei sehr dicht beieinander liegende (Abstand 0,1 mm), parallele Linien mit einer Strichstärke von 0,1 mm ohne Hilfsmittel gerade noch als zwei Linien wahrnimmt. Bei der Rissbreitenmessung mit dem Vergleichsmaßstab befinden wir uns in der Nähe des unteren Randes der sicheren Wahrnehmbarkeit. Die Ablesegenauigkeit ist deshalb nicht besonders groß. Daher genügt es, Rissbreiten in Millimetern mit einer Stelle nach dem Komma anzugeben.

Die Strichstärke von 0,1 mm, manchmal auch 0,05 mm, entspricht der kleinsten Vergleichslineie auf dem Vergleichsmaßstab. Bild 3.8 zeigt die Rissbreitenmessung mit dem Vergleichsmaßstab. Der Ablesewert beträgt im Bild 0,7 mm.

Sowohl Rissbreitenberechnungen als auch -messungen sind mit einigen Unsicherheiten und relativ großen Streuungen verbunden. Trotzdem gibt es nicht nur bei Bauherren einen fast religiösen Glauben an die genaue Vorhersagbarkeit von Rissbreiten in der Planungsphase.

Ein Bauherr sollte wissen, dass die Einhaltung von bestimmten Rissbreiten am fertigen Bauwerk nicht möglich ist und deshalb auch vertraglich nicht vereinbart werden darf, weil bei den großen Streuungen niemand – weder der Planer, noch der Ausführende – in der Lage ist, eine solche Vereinbarung zuverlässig einzuhalten. Es wäre unseriös, einen entsprechenden Passus in den Bauleistungsvertrag aufzunehmen. Wenn der Architekt rissfreie Sichtbetonflächen fordert, muss man sehr genau prüfen, ob die vorgesehenen Flächen objektiv ohne Risse herstellbar sind.

Bild 3.9
Rechenwerte
für w_{\max} nach
DIN EN 1992-1-
1/NA

Tabelle NA.7.1 — Rechenwerte für w_{\max} (in Millimeter)

Expositions- klasse	Stahlbeton und Vorspannung ohne Verbund	Vorspannung mit nachträglichem Verbund	Vorspannung mit sofortigem Verbund	
			mit Einwirkungskombination	
	quasi-ständig	häufig	häufig	selten
X0, XC1	0,4 ^a	0,2	0,2	—
XC2 – XC4	0,3	0,2 ^{b, c}	0,2 ^b	
XS1 – XS3 XD1, XD2, XD3 ^d			Dekom- pression	0,2

^a Bei den Expositionsklassen X0 und XC1 hat die Rissbreite keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und dieser Grenzwert wird i. Allg. zur Wahrung eines akzeptablen Erscheinungsbildes gesetzt. Fehlen entsprechende Anforderungen an das Erscheinungsbild, darf dieser Grenzwert erhöht werden.

^b Zusätzlich ist der Nachweis der Dekompression unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination zu führen.

^c Wenn der Korrosionsschutz anderweitig sichergestellt wird (Hinweise hierzu in den Zulassungen der Spanverfahren), darf der Dekompressionsnachweis entfallen.

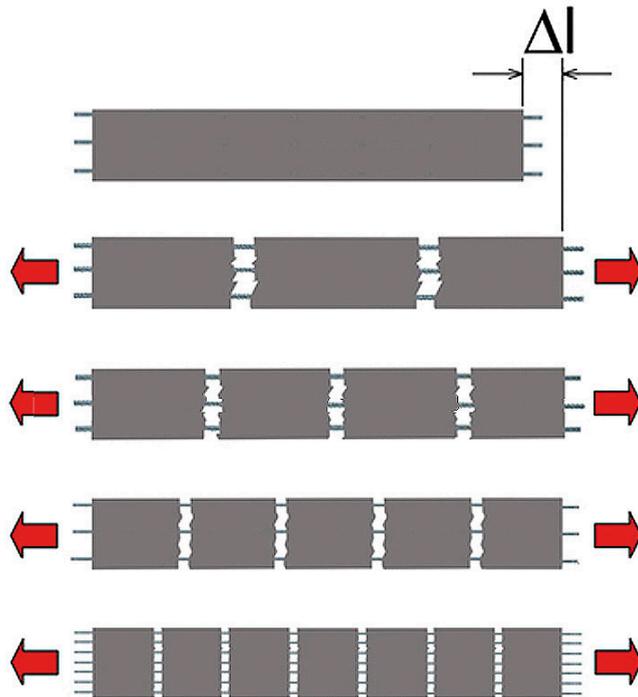
^d Beachte 7.3.1 (7).

3.4 GRENZWERTE DER RISSBREITE

Im Normenwerk gibt es keine Grenzwerte für reale, messbare Rissbreiten. Die in der DIN EN 1992-1-1 enthaltenen Grenzwerte werden als w_{\max} bezeichnet und gelten nur für Rechenwerte der Rissbreite, also für fiktive Größen. Sie sind als rechnerische Größtwerte zu verstehen. Über kleinere Rissbreiten, die am gleichen Bauteil auftreten können, sagen sie nichts aus.

Bild 3.9 enthält einen Auszug aus dem Nationalen Anhang zur DIN EN 1992-1-1 mit den Rechenwerten für w_{\max} . Die Tabelle enthält nur drei Maximalwerte: 0,3 mm und 0,4 mm für Stahlbeton und 0,2 mm für Spannbeton. Für Mauerwerk gibt es nichts Vergleichbares.

Gelegentlich kommt es in der Praxis zu einer gerichtlichen Auseinandersetzung, weil der Bauherr zu große Rissbreiten bei der Abnahme als Mangel geltend macht. Liegen die beanstandeten Werte weit über den Werten dieser Tabelle, dann hat der Bauherr mit großer Wahrscheinlichkeit recht. Liegen sie in der Größe der Tabellenwerte oder wenig darüber, dann gibt es Verhandlungsspielraum, z. B. über die Art der Messung und der Auswertung.

**Bild 3.10**

Die gleiche Bauteildehnung Δl eines auf Zug beanspruchten Stahlbetonbauteils ist entweder mit vielen Rissen mit kleiner oder mit wenigen Rissen mit größerer Rissbreite möglich

Im Stahlbetonbau besteht – anders als bei unbewehrtem Mauerwerk – die Möglichkeit, bereits in der Planung die zu erwartenden Rechenwerte der Rissbreite durch eine geschickte Bewehrungskonstruktion günstig zu beeinflussen. Zwischen Rissbreite und Bewehrungsdurchmesser besteht Proportionalität. Das heißt, dass bei gleicher Zugkraft viele Bewehrungsstäbe mit kleinem Durchmesser mehr Risse, aber mit kleineren Rissbreiten verursachen als wenige dickere Stäbe (Bild 3.10). Voraussetzung für den Vergleich ist, dass in beiden Fällen die gleiche Bewehrungsfläche benutzt wird.

Im Bild 3.10 sieht man, dass die erforderliche Bauteildehnung etwa gleich der Summe der Rissbreiten sein muss. Mit kleineren Rissbreiten steigt bei gleicher Bauteildehnung die Rissanzahl, und die Rissbreite verringert sich für alle Risse. In dieser schematischen Darstellung eines gerissenen Stahlbeton-Zugstabes fehlen die plastischen Längenänderungen, ohne die kein Riss entsteht. Ihr Längensanteil an der Längenänderung des Zuggliedes beträgt meist weniger als 0,1 mm. Bei 6 Rissen wie in Bild 3.10 unten kann dieser vernachlässigte plastische Anteil an der Längenänderung des Zuggliedes bis zu 0,6 mm betragen, das ist mehr als die Rissbreite eines zusätzlichen Risses mit der größten in der Norm enthaltenen zulässigen Rissbreite (Rechenwert).

3.5 KONSTRUKTIVE MÖGLICHKEITEN ZUR VERMINDERUNG ODER VERMEIDUNG VON RISSEN IM MAUERWERK

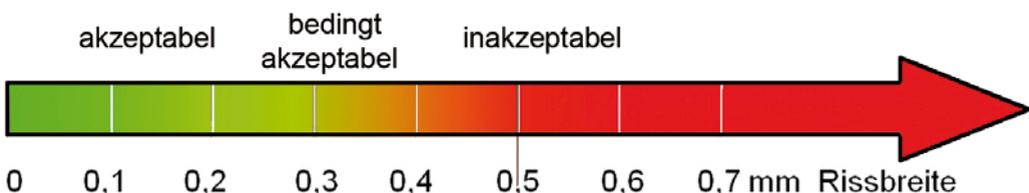
Für Mauerwerk gibt es sowohl kein genormtes Verfahren zur Berechnung von Rissbreiten als auch zu ihrer Messung. Hier muss man sich auf Konstruktionsregeln verlassen, wie z. B. die Anordnung von → Bewegungsfugen und eine gute Aussteifung des Gebäudes.

Im Streitfall behilft man sich mit Hinweisen aus der Literatur über »empfohlene zulässige« Rissbreiten, zu denen sich manche Autoren äußern, die aber alle nicht ›gerichtsfest‹ sind. Auch in diesem Buch ist eine solche Meinung enthalten (vgl. Bild 3.11). Man muss trotzdem jedem Streitwilligen empfehlen, einen Streit über die Zulässigkeit oder Zumutbarkeit von Rissen immer nur außerhalb eines Gerichts auszutragen. Er kann nur mit subjektiven Positionen entschieden werden, und dabei verliert der Schwächere. Außerdem kann auch bei der Wahl der Messmethode für die Rissbreite etwas unterstützend eingegriffen werden, um das Ergebnis für die eine oder andere Seite freundlicher zu gestalten. Da es keine Prüfnorm für die Rissbreitenmessung gibt, kann das auch nicht als Manipulation gewertet werden.

Die Rissbreite ist das wesentliche Beurteilungskriterium für die Akzeptanz von Rissen. Je größer die Rissbreite ist, umso kritischer wird man Risse beurteilen. Wenn mehrere Risse ein Rissbild ergeben, kann eine übermäßige Häufung von Rissen an einer Fläche ebenfalls störend wirken, auch wenn der einzelne Riss relativ fein ist.

Die Grenzen der Akzeptanz sind fließend und nur unter den jeweiligen konkreten Bedingungen eingrenzbar. ›Gerichtsfeste‹ Grenzen für zulässige Rissbreiten gibt es nicht. Eine Orientierung soll Bild 3.11 geben. Bei ungünstigen Umgebungsbedingungen (wechselnde Befeuchtung eines gerissenen Bauteils gefährdet die → Bewehrung) sind Rissbreiten über 0,3 mm zu vermeiden. Einzelne Ausnahmewerte können auch 0,4 mm betragen. In

Bild 3.11
Orientierung für akzeptable Rissbreitenwerte bei Messung mit optischem Messgerät



trockener Umgebung sind Werte bis 0,4 mm unbedenklich (Einzelwerte bis 0,5 mm). Größere Rissbreiten sind im Stahlbetonbau immer bedenklich und erfordern eine Instandsetzung.

Auch für Mauerwerk können die Werte in Bild 3.11 als Orientierungswerte benutzt werden. Da es keine → Bewehrung gibt, die rosten kann, können die Werte in Bild 3.11 unter bestimmten Bedingungen überschritten werden. Zu solchen Bedingungen gehören z. B.

- größerer Betrachtungsabstand,
- verdeckte Flächen
- untergeordnete Flächen,
- dunkle, unregelmäßig gemusterte oder verschattete Flächen.

Eine Sonderstellung nehmen die sog. → wasserundurchlässigen Bauwerke aus Beton (WU-Bauwerke) ein, auch als weiße Wannen bekannt, in denen natürlich ebenfalls Risse entstehen können. Durch sie kann Wasser fließen (→ Trennrisse), d. h. es gibt unerwünschte Undichtigkeiten. Hier nutzt man eine günstige Eigenschaft von feinen Rissen, durch die Wasser hindurchfließt. Sie können sich nach einem gewissen Wasserdurchfluss innerhalb weniger Tage oder Wochen selbst abdichten. Man bezeichnet diese Erscheinung als → Selbstdichtung oder Selbstheilung. Dieser Effekt beruht auf der Bildung von Calciumcarbonat (Kalk aus dem Zementstein, CO_2 aus dem Wasser aus dem durchflossenen Riss) und der Ablagerung feiner Wasserinhaltsstoffe an den Engstellen der Risse. Voraussetzung für die Anlagerung von feinen Partikeln ist die Rauigkeit der natürlich gebildeten Rissflächen.

Um den Selbstdichtungseffekt nutzen zu können, müssen bei solchen Bauwerken nach der WU-Richtlinie die Rechenwerte der Rissbreite auf Werte von 0,1 bis 0,2 mm begrenzt werden. Ein hoher Wasserdruck bzw. eine größere Wanddicke erfordern kleinere Rechenwerte der Rissbreite. Vorsicht bei der Anwendung dieser zulässigen Rechenwerte der Rissbreite. Sie sind keineswegs so zuverlässig wie es den Anschein hat. Auch wenn man sich an die Vorschrift hält [3], ist die Selbstdichtung nicht garantiert, weil die WU-Richtlinie [3] die Realität nur mit Streuungen abbildet und die Rissbreitenberechnung bei Rechenwerten der Rissbreite von 0,1 bis 0,2 mm nicht besonders genau ist.



4 DIE WICHTIGSTEN RISSURSACHEN IN MASSIVBAUWERKEN

4.1 NUR ZUGKRÄFTE UND ZUGSPANNUNGEN KÖNNEN RISSE IN BAUTEILEN VERURSACHEN

Risse können nur entstehen, wenn in einem Bauteil Zugkräfte oder → Zugspannungen wirken. Am einfachsten könnte man das durch eine angehängte Last erreichen (Bild 1.6 links). Es ist aber schwierig, eine Zugkraft an ein bewehrtes Betonbauteil anzuhängen, bei Mauerwerk ist das gar nicht möglich. Deshalb wird kaum ein statischer Zugkräfte in Massivbauteile einleiten, weil es für Zugbeanspruchungen bessere Lösungen mit anderen Baustoffen gibt. Anders ist das bei Zugspannungen aus Biegung, für die Stahlbetonbauteile gut geeignet sind (vgl. Bild 1.2). Wir unterscheiden zwei Arten, wie Zugkräfte in Bauwerken entstehen und wirken:

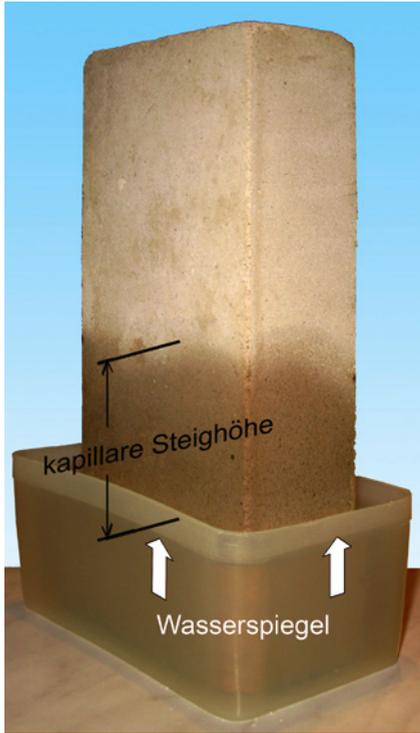
- **Kräfte durch Lastwirkungen**, die auf Bauteile oder ein Tragwerk einwirken und eine Folge der Gravitation sind. Beispiele sind Eigenlasten der Bauteile und Nutzlasten aus Personen- und Fahrzeugverkehr und Lagergütern.
- **Kräfte durch Zwangwirkungen**. Zwangkräfte entstehen, wenn lastunabhängige Eigenverformungen von Bauteilen behindert werden. Sie können nur in statisch unbestimmten Tragwerken entstehen, weil in statisch bestimmten oder statisch bestimmt gelagerten Tragwerken definitionsgemäß keine Verformungsbehinderungen auftreten.

Eigenverformungen entstehen vorwiegend durch temperaturbedingte Volumen- und Längenänderungen und durch Austrocknungs- und Quellvorgänge bei der Abgabe oder Aufnahme von Wasser in das Porensystem der Massivbauteile.

Baustoffe für den Massivbau wie Beton und fast alle Mauersteine sind poröse Baustoffe. In das Porensystem können Flüssigkeiten und Gase eindringen (Bild 4.1) und unerwünschte chemische Reaktionen verursachen. Dabei entstehen Volumenveränderungen, die meist als Bauteilverlängerung oder -verkürzung oder als Verkrümmung wahrgenommen werden.

Bild 4.1

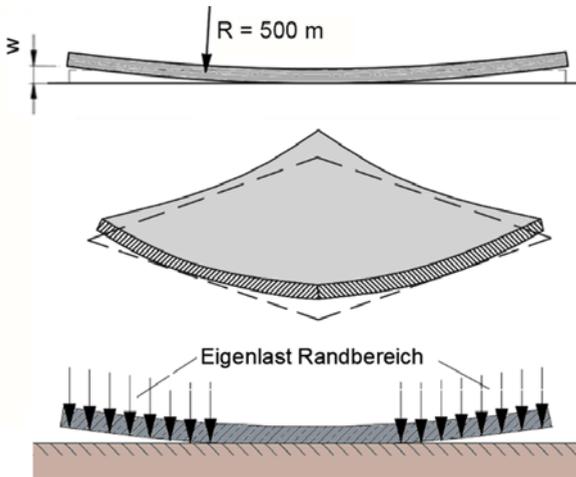
Ein Kalksandstein, im Wasser stehend mit im Porensystem angesaugtem Wasser



Das Bild 4.1 veranschaulicht die kapillare Saugwirkung eines Kalksandstein-Mauersteins, der mit einer Stirnseite im Wasser steht. Die dadurch bedingte Volumenvergrößerung wirkt sich z. B. bei einem stabförmigen Bauteil als Längenänderung aus. Umgekehrt bedeutet in diesem Fall die Austrocknung eine Bauteilverkürzung.

Ein Beispiel für eine behinderte Krümmung ist in den Skizzen und Fotos in Bild 4.2 und Bild 4.3 für eine dünne Betonplatte erläutert. Sie »schüsselt« bei tiefen Temperaturen auf, weil die Oberseite kälter und damit etwas kleiner als die Unterseite ist. So wölbt sie sich an den Rändern auf. Solange das unbehindert möglich ist, entsteht kein Riss. Erst, wenn die Eigenlast zu groß ist oder ein Fahrzeug über den Plattenrand fährt, wird sie auf den Untergrund gedrückt.

Dadurch wird die Eigenlast an der gegenüberliegenden Plattenseite mit einem größeren Hebelarm aktiviert, was zum Abbrechen dieser Plattenseite führt. Die gleiche Wirkung kann es auch bei dickeren Platten geben, so wie das im Bild 4.2 skizziert ist.

**Bild 4.2**

Beispiel für die Rissursache »behinderte Bauteilverkrümmung« – die Aufwölbung der Stahlbetonplatte wird durch die Eigenlast und ggf. Radlasten behindert



Bild 4.3
Parkplatz-
befestigung aus
unbewehrten
Betonplatten
auf dem Dach
eines Super-
marktes mit
Längsrisse in der
Mitte der Plat-
ten mit einer
Seitenlänge von
fünf Metern

4.2 ZUGKRÄFTE AUS LASTWIRKUNGEN

Auch wenn man Bauteilen aus Beton und Mauerwerk keine planmäßigen Zugkräfte zuweist, können trotzdem lastbedingte Risse entstehen. Das sind z. B. indirekte Wirkungen von hohen Punktlasten. Die Risse verlaufen parallel zur Richtung der Punktlasten. Rechtwinklig unter konzentrierten Einzellasten entstehen hohe Zugkräfte, die eine Spaltwirkung verursachen. Diese Wirkung wird z. B. zur Bestimmung der sog. ›Spaltzugfestigkeit‹ am Betonwürfel mit 150 mm Kantenlänge oder am Zylinder mit 150 mm Durchmesser benutzt. Man kann sie mit der spaltenden Wirkung einer Axt im Holz vergleichen.

Unter Einzellasten entstehen Querspannungen rechtwinklig zur eingetragenen Einzellast, die am Lasteinleitungspunkt am größten sind und von dort aus mit zunehmender Entfernung kleiner werden. In Bild 4.4 ist ein solcher Fall dargestellt. Im 5. Untergeschoss einer Tiefgarage sind Stahlbetonstützen eingebaut, auf denen die schweren Deckenträger liegen (große Stützweiten). Am Rand eines solchen Trägers entsteht ein leicht nach unten geneigt verlaufender Riss durch eine Querspannung wie bei einer Spaltung.

Ein ähnliches Beispiel für ein Nebengebäude in Mauerwerk zeigt Bild 4.5. Die Dachsparren geben ihre Lasten nahezu punktförmig ins Mauerwerk ab. Durch die entstehenden Querspannungen unterhalb der Lasteintragungspunkte entstehen vertikale Risse (rechtwinklig zur Wirkungslinie

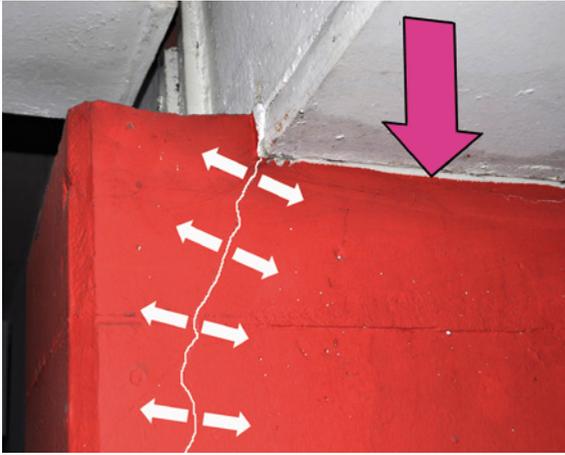


Bild 4.4
Spaltzugriss
unter dem
Auflager eines
schweren Stahl-
trägers in einer
Tiefgarage
(Riss weiß nach-
gezeichnet)

werk mit höherer Festigkeit (hochwertige Steine und Mörtel) sind solche Risse vermeidbar.

Je kleiner die Fläche ist, auf die eine Last einwirkt, umso größere → Druckspannungen entstehen an der Stelle der Lasteintragung. In Bild 4.6 ist das an einem Beispiel aus dem Alltag dargestellt. Die Folgen der hohen Druckspannungen unter dem dünnen Absatz kann man in Boutiquen vor dem großen Spiegel als Abdruck kleiner und kleinster Absatzflächen im Fußbodenbelag sehen. Sie entstehen durch relativ hohe Druckspannungen

Bild 4.5
Vertikale Risse
zeigen die Wir-
kung horizonta-
ler Zugkräfte an



der horizontalen → Zugspannungen). Im vorliegenden Fall handelt es sich um Mauerwerk mit geringer Festigkeit, bei dem bereits die relativ geringen Dachlasten durch die Sparren zu den Vertikalrissen geführt haben.

Hier hätte ein auf der Mauer ringsum laufender Ringanker aus Stahlbeton den Schaden vermieden. Er hält einerseits die Wände zusammen und bildet andererseits einen lastverteilenden Balken, der den Querspannungen unter der Last ohne Probleme widersteht. Auch durch mehrere Schichten von Mauer-



unter der Lasteintragungsfäche bei gleicher Gesamlast. Je höher die vertikalen Druckspannungen sind, umso größer werden auch die horizontalen → Zugspannungen direkt unter der Lasteintragung. Mit einer günstigeren Lastverteilung (im Bild 4.6 die größere Absatzfläche) entstehen kleinere Druckspannungen in der Kontaktfläche, geringere Zugspannungen und eine geringere Zusammendrückung.

Lastwirkungen rufen zunächst die → elastischen Verformungen hervor, durch die gleichzeitig mit der Lasteintragung auch die ersten Risse entstehen. Man bezeichnet diese → Verformungen als elastische Verformungen. Wenn anschließend entlastet wird, geht die elastische Verformung wieder fast auf null zurück. Die bei der Rissbildung entstandenen plastischen Verformungen sind irreversibel und bleiben erhalten.

Die in Bild 4.5 gezeigten Vertikalrisse unter einer konzentrierten Vertikallast gibt es auch beim Mauerwerk im Bruchzustand. Bild 4.7 zeigt einen Versuchskörper aus Ziegelmauerwerk nach einem Bruchversuch.

Neben der → elastischen Verformung gibt es bei Beton und Mauerwerk auch plastische Verformungen am ständig belasteten Bauteil, das sog. Kriechen. Sie

Bild 4.6

Eine kleine Aufstandsfläche ergibt große Spannungen und umgekehrt

Bild 4.7

Mauerwerksprüfkörper nach einem Bruchversuch (Vertikallast) mit typischen Vertikalrisse



entstehen, wenn eine Last lange auf den Werkstoff einwirkt. Dann verformt sich das Bauteil unter der Last ganz langsam über mehrere Jahre hinweg weiter. Die Kriechverformung ist eine plastische Verformung, die bei Entlastung bestehen bleibt. In Bild 4.8 ist das Kriechen am Beispiel eines Betonmastes erläutert.

Der Endmast aus Stahlbeton einer oberirdischen Stromleitung erhält durch die vier Drähte einseitigen Zug und biegt sich unter dieser Last leicht durch. Während der ersten Jahre nach der Lasteintragung vergrößert sich die Durchbiegung allmählich, weil der Mast unter der dauernd wirkenden Last eine Kriechverformung erhält, die größer ist als die elastische Durchbiegung. Beide Durchbiegungsanteile sind an der Mastspitze durch einen roten Pfeil (elastisch) und einen blauen Pfeil (plastisch) gekennzeichnet. Das rechte, manipulierte Foto zeigt den Zustand nach einer (gedachten) Entlastung durch Abnehmen der Leitungsdrähte. Die → elastische Verformung geht zurück, der Mast richtet sich etwas auf. Die plastische Verformung (Kriechverformung) bleibt erhalten. Der Mast ist auch nach der Entlastung noch gekrümmt.

Das Kriechen hat für durch Lasten verursachte Risse in Bauwerken eine besondere Bedeutung. Das müssen keine primären Zugkräfte sein, sondern es können normale vertikale Lasten sein, die z. B. durch eine Hebelwirkung Zugkräfte in benachbarte Bauteile eintragen. Ein solches Beispiel

Bild 4.8
Kriechverformung eines Stahlbetonmastes für die Stromversorgung unter Last und nach der Entlastung; rechtes Foto etwas verändert



wird im Abschnitt zu Rissen in Mauerwerksbauteilen erläutert. In einem solchen Fall entstehen die Risse mit der Lasteintragung, werden dann aber im Zuge des Ausbaues überputzt und damit unsichtbar gemacht. Die langsam wachsende Kriechverformung der immer noch wirkenden Last öffnet den Riss weiter, was zum Reißen des Putzes führt: der Riss wird nach einem oder zwei Jahren erneut sichtbar. Man sieht dann allerdings nicht die gesamte Rissbreite, sondern nur den Kriechanteil, der i. d. R. größer als die ursprüngliche Rissbreite aus → elastischer Verformung ist.

4.3 ZUGKRÄFTE AUS ZWANGSWIRKUNGEN

WAS VERSTEHT MAN UNTER ZWANGSWIRKUNGEN?

Bauwerke werden für bestimmte → Nutzlasten bemessen, die → Spannungen in den Bauteilen hervorrufen. In einer statischen Berechnung ist nachzuweisen, dass die unter den zulässigen Lasten (Eigen- und Nutzlasten) entstehenden Beanspruchungen kleiner als die Versagenslast in einem definierten Grenzzustand bleiben. Einen solchen Nachweis bezeichnet man als Standsicherheitsnachweis.

Außer durch Lastwirkungen entstehen Beanspruchungen im Bauwerk auch durch → Zwang. Zwang hängt nicht von der Belastung, sondern von → lastunabhängigen Verformungen ab. Er entsteht immer dann, wenn

- sich durch ungleichmäßige → Setzungen die Auflagerung des Bauwerks ändert und die Lasten auf anderen als den geplanten Wegen in den Baugrund gelangen;
- Längenänderungen eines Bauteils (durch → Schwinden und Temperaturänderungen) behindert werden, z. B. durch andere Bauteile.

Zwangwirkungen gibt es nicht nur an Bauwerken, sondern auch in der Natur. In Bild 4.9 ist ein alter Baum abgebildet, der am Fahrbahnrand steht und die Bordsteine zur Begrenzung des Fußweges weggedrückt hat. Dazu war eine Druckkraft nötig, die durch Volumenvergrößerung des Baums entstanden ist, als diese durch die Bordkante behindert wurde. Die Kraft war so groß, dass die Bordkante aus der Flucht gedrückt wurde (rote Linie).

Im geschilderten Beispiel sind durch das behinderte Dickenwachstum → Druckspannungen entstanden. Wenn Risse entstehen, dann ist das nur unter → Zugspannungen möglich. Sie entstehen bei Bauteilen, die sich verkürzen wollen und dabei behindert werden. Bauteilverkürzungen entstehen beim → Schwinden von Beton und Mauerwerk sowie bei einer Abkühlung. Am Beispiel kann man die Eigenschaften von Zwangswirkungen erkennen:



- Die Zwangverformungen → Schwinden und Temperaturänderung verlaufen ähnlich wie das Wachstum eines Baumes sehr langsam; die Bauteile verkürzen sich durch Austrocknung bzw. durch Abkühlung;
- Die behinderte Verformung kann nur durch Bauteilverformungen kompensiert werden, z. B. durch Risse;
- Die eingetragene Verformung wird meist nicht vollständig behindert (100%), weil sich die behindernden Bauteile ebenfalls verformen. Man spricht deshalb von einem Behinderungsgrad, der kleiner als 100% ist).

Bild 4.9

Verdrängte Bordsteine durch langsame Volumenzunahme des Baums

ZWANG DURCH WÄRMEWIRKUNG

Ein Beispiel dafür, dass behinderte Wärmedehnungen große Kräfte entwickeln können, zeigt Bild 4.10 aus dem Rohrleitungsbau. In der Leitung wird ein heißes Medium transportiert. Unter der Wirkung der heißen Flüssigkeit dehnt sich das Stahlrohr aus. Würde diese Ausdehnung behindert, entstünden so große Druckkräfte, dass die Rohrleitung ausknicken müsste. Um das zu vermeiden, werden sog. U-Bögen in die Leitung eingebaut, die durch ihr Verformungsvermögen die sonst entstehende Druckkraft in Längsrichtung des Rohres nur wenig behindern und so eine Längsausdehnung des Rohres ermöglichen. Für das transportierte Medium sind die kleinen Umwege in der Leitung bedeutungslos.

Bei den Massivbauwerken gibt es ähnliche Situationen, bei denen Eigenverformungen (durch Temperaturänderung, Schwinden oder Kriechen) durch angrenzende Bauteile behindert werden. Allerdings interessieren dabei nur solche Behinderungen, durch die Zugkräfte entstehen. Das sind behinderte Bauteilverkürzungen und Verkrümmungen.

ZUGSPANNUNGEN DURCH SETZUNGSDIFFERENZEN

Fast jedes Bauwerk setzt sich schon während der Bauphase und auch danach. → Setzungen entstehen durch Zusammendrücken von Bodenschichten unter Last. Wenn die Zusammendrückung nicht gleichmäßig unter dem gesamten Bauwerk verläuft, verändern sich die Stützungsbedingungen für

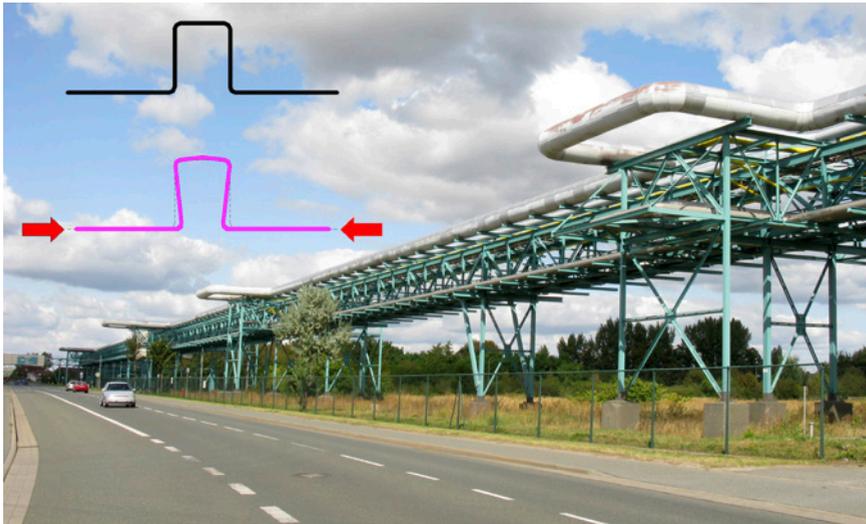


Bild 4.10
Die behinderte Ausdehnung der stählernen Rohrleitung erzeugt eine Längsdruckkraft in der Rohrleitung

das Bauwerk, und die Kräfte nehmen einen anderen Weg in den Baugrund, als das planmäßig vorgesehen war. Dadurch entstehen auch andere Beanspruchungen, die häufig Risse verursachen. Das Bild 4.11 zeigt typische Setzungsrisse in der gemauerten Außenwand eines Mehrfamilienhauses.

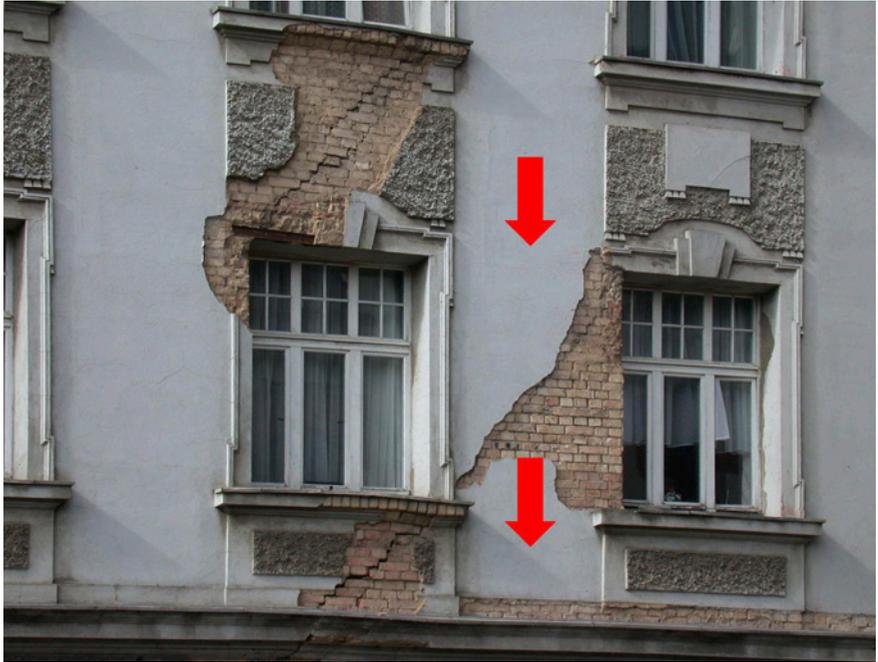
Der Verlauf der Setzungsrisse hängt von der Bauwerksgeometrie und -steifigkeit sowie von den Baugrundbedingungen ab. Bedingung für die Rissbildung sind Setzungsdifferenzen. Setzt sich das Bauwerk als Ganzes, dann ändert es nur seine Höhenlage, ohne zusätzliche, unplanmäßige Beanspruchungen zu erhalten. In Bild 4.12 ist das am Beispiel eines Schiffshebewerkes nach dem Prinzip des Schrägaufzugs veranschaulicht. Man erkennt, dass das Schiff beim Hebevorgang, genau wie das Bauwerk, keine Beanspruchungen erfährt. Es ändert beim Schwimmen lediglich seine Höhenlage.

Die häufigsten Setzungsrissebilder in den Außenwänden von Gebäuden sind in Bild 4.13 und Bild 4.15 angegeben und als Foto in Bild 4.14 zu sehen. Es handelt sich um gemauerte Außenwände, in denen sich bevorzugt schräge Risse ausbilden. In Bild 4.15 ist zu sehen, wie eine Bodenplatte durch die auf ihr stehenden Außenwände mit nach unten gedrückt wird und dadurch eine Biegebeanspruchung erhält. Bild 4.15 zeigt die reale Situation in einem Foto.

Setzungen werden vor allem bei Nichtfachleuten als die verbreitetste Rissursache bei Gebäuden gesehen. Das ist in zweifacher Hinsicht falsch:

Bild 4.11

Schräge
Setzungsrisse in
einem Mehr-
familienhaus
mit gemauerten
Außenwänden

**Bild 4.12**

Schiffshebe-
werk nach dem
Prinzip eines
Schrägaufzugs



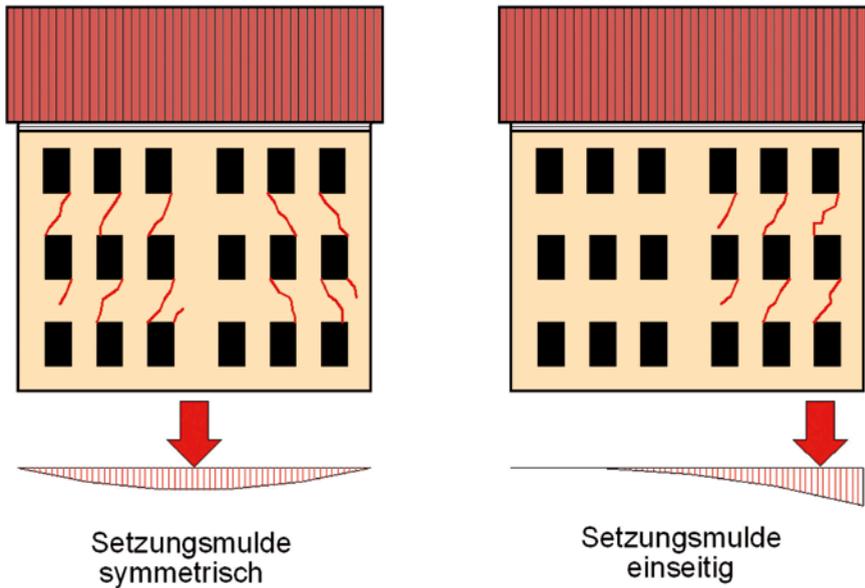
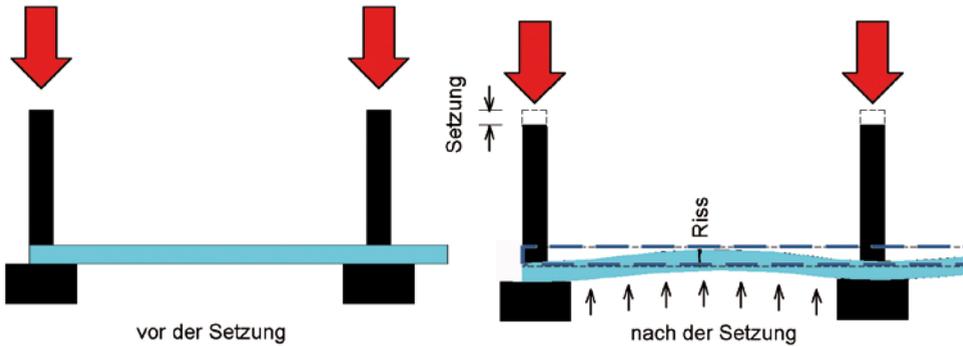


Bild 4.13
Rissbild durch Setzungsdifferenzen an einer Fassade.
links: Setzungsmulde in der Mitte;
rechts: Setzungsmulde am Rand

Bild 4.14
Typische Setzungsrisse analog zu Bild 4.13



- Nicht Setzungen sind die Rissursache, sondern Setzungsdifferenzen, weil dadurch die Auflagerbedingungen verändert werden. Das Beispiel mit dem Schiffshebewerk hat das verdeutlicht. Nur wenn sich ein Teil eines Gebäudes setzt und der andere Teil auf der ursprünglichen Höhe verbleibt, kommt es zu einer veränderten Lastableitung und in den meisten Fällen zu Rissen (Bild 4.11).
- Durch behinderte Zwangswirkungen entstehen mehr Risse. Das sind behinderte temperaturbedingte Verkürzungen, Schwindverkürzungen und gar nicht so selten zeitabhängige plastische Verformungen (Kriechen).

**Bild 4.15**

Die Bodenplatte wird durch die Wände nach unten gedrückt und erhält einen oder mehrere Biegerisse an der Oberseite

Für Setzungsdifferenzen gibt es mehrere Ursachen:

- Weiche Einschlüsse in Teilbereichen des Baugrunds unterhalb der Gründungssohle, die vor und während der Bauzeit nicht erkannt worden sind. Am bekanntesten sind Torfeinschlüsse, die sich unter Last viel mehr zusammendrücken, als der umgebende Boden. Bekanntestes Beispiel für eine → Setzung ist der Schiefe Turm von Pisa. Er hat sich über Jahrhunderte hinweg sehr langsam geneigt.
- Bergbautätigkeit ist mit der Schaffung von unterirdischen Hohlräumen verbunden, was zu ungleichmäßigen Setzungen führen kann. Dazu gehören auch künstliche Eingriffe in den Boden durch Tiefbaumaßnahmen. Am bekanntesten sind relativ tiefe Baugruben in bebauten Gebieten, die an der Grundstücksgrenze eines bebauten Nachbargrundstücks liegen (Bild 4.17). Die schwarze Wand in Bild 4.17 gehört zu einem vorhandenen Gebäude. Seine Gründung wurde durch die Bohrpfähle nachträglich nach unten »verlängert«. Dadurch steht es auf Höhe der Gründungssohle des neuen Gebäudes, wie das nach den Regeln der Technik sein soll. Die Lastumlagerung von der alten auf die neue Gründung ist i. d. R. mit Bauwerksbewegungen und damit mit Rissen im vorhandenen Gebäude verbunden.

Bild 4.16

Reale Situation für einen Biegeriss nach Bild 4.15 (Gebäudetiefe rd. 17 m)

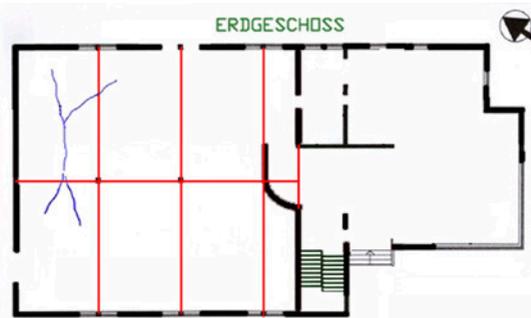
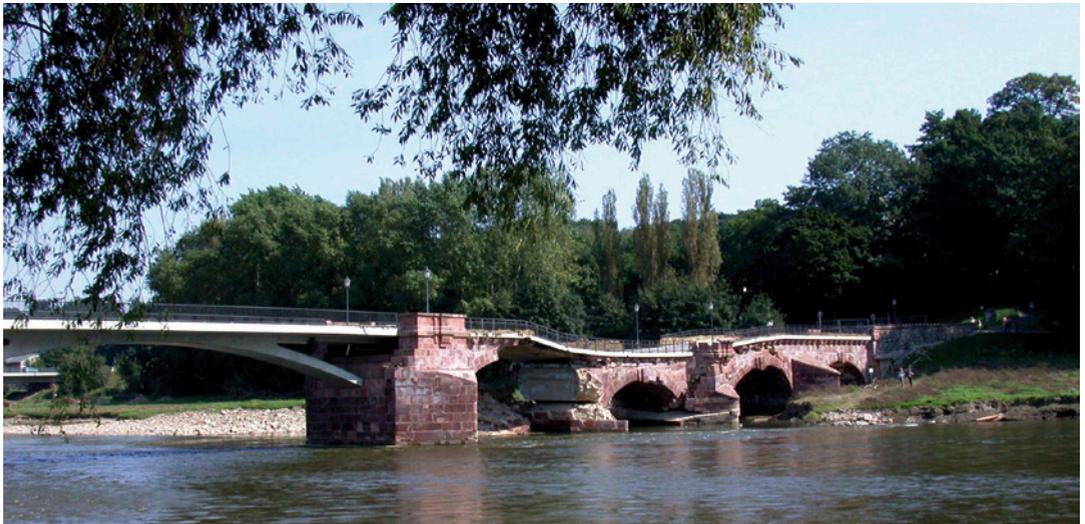




Bild 4.17
Sicherung einer tiefen Baugrube an einer bebauten Grundstücksgrenze mit einer Bohrpfehlwand

Auch Unterspülungen durch die Wirkung von Wasser können Setzungen verursachen. Das kann durch defekte Wasser- oder Abwasserleitungen, aber auch durch Unterspülung von Brückenpfeilern bei einem Hochwasser verursacht sein (Bild 4.18).

Bild 4.18
Beim August-Hochwasser 2002 unterspülte Pfeiler einer Muldebrücke in Grimma führten zur »ungleichförmigen Stützensenkung« und damit zum teilweisen Einsturz der Brücke



Außer → Setzungen können auch Baugrundhebungen die Rissursache bilden. Für ein Bauwerk besteht kein Unterschied zwischen einem teilweisen Absenken oder Anheben des Baugrunds. Hebungen sind z. B. in ehemaligen Bergbaugebieten unter Einwirkung von ansteigendem Grundwasser oder durch Eingriffe in tiefere Bodenschichten bekannt geworden.

In Bild 4.18 ist eine Natursteinbrücke abgebildet, die bei einem Ausnahme-Hochwasser überflutet und durch Unterspülung von zwei Pfeilern stark beschädigt worden ist. Die beiden Pfeiler haben sich durch die Unterspülung gesenkt, die Fahrbahn musste unter der Eigenlast der Abwärtsbewegung folgen, wodurch die Brücke unbrauchbar geworden ist. Zur Veranschaulichung: Wenn sich alle Pfeiler und die Widerlager um den gleichen Betrag und mit gleichem zeitlichem Verlauf abgesenkt hätten, wäre die Brücke noch intakt. Sie stünde nur einige Dezimeter tiefer als vor der Unterspülung. Tatsächlich sind nur zwei Pfeiler unterspült worden, so dass die Brücke danach durch die ungleichmäßigen → Setzungen unbrauchbar war. Ein Teilabriss und Wiederaufbau sind notwendig.

Dass Setzungsrisse auffälliger als andere Risse sind, sieht man auch innerhalb der Gebäude. In gemauerten Wänden gibt es fast nie eine → Bewehrung, die die Rissöffnung begrenzen könnte. Deshalb öffnen sich Setzungsrisse relativ weit. In Bild 4.19 sind zwei Beispiele dargestellt. Sie sind in dem Gebäude entstanden, das sich in Bild 4.17 hinter der schwarzen Wand befindet. Es sind Setzungsrisse, die auf menschliche Eingriffe in den Baugrund zurückzuführen sind. Sie zeigen: Setzungsrisse sind im Mauerwerk meist deutlich sichtbare Risse, deren Rissbreite in Millimetern oder gar in Zentimetern gemessen wird.

Bild 4.19
Setzungs-
schäden in be-
stehenden Ge-
bäuden hinter
einer nachträg-
lich gebauten
Bohrpfahlwand
in Bild 4.17



ZUGKRÄFTE DURCH BEHINDERUNG VON SCHWINDVERKÜRZUNGEN

Beton und fast alle Mauerwerksarten → schwinden. Dabei entweicht überschüssiges Wasser, das zwar für die Verarbeitung im frischen Zustand, nicht aber chemisch zum Abbinden des Zements oder Kalks benötigt wird. Die Wasserabgabe ist mit einer Volumenverringerung des Bauteils verbunden, dem Schwinden. Man spricht auch von → Baufeuchte, die in den ersten Jahren nach der Fertigstellung in jedem Massivbauwerk zu spüren ist. Das ist die abgegebene chemisch nicht erforderliche Feuchtigkeit.

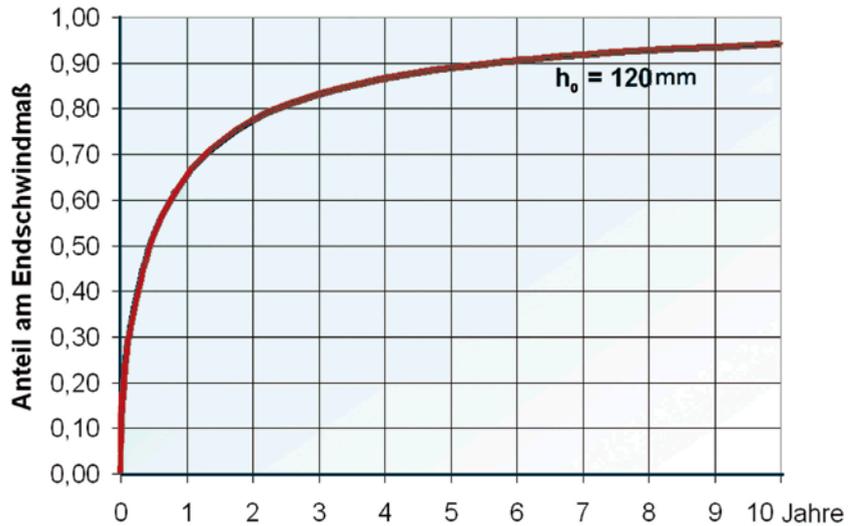
Die Größe des Schwindmaßes ist einerseits eine Materialeigenschaft, andererseits wird sie durch die Austrocknungsbedingungen und die Bauteilabmessungen beeinflusst. In einer Umgebung mit großer Luftfeuchtigkeit schwindet ein Bauteil weniger und langsamer als in einer trockenen Umgebung. Bauteile mit kompakten Abmessungen trocknen langsamer aus als dünne Bauteile. So können sich für gleichartiges Mauerwerk oder gleichartige Betone an unterschiedlichen Orten unterschiedliche Schwindmaße einstellen.

Das → Schwinden wird als Bauteilverkürzung wahrgenommen. Solange sich die Schwindverkürzung unbehindert vollziehen kann, entstehen keine → Spannungen und auch keine Rissgefahr im Bauteil. Erst wenn die Verkürzung behindert wird, entstehen → Zugspannungen und damit ggf. Risse.

Die Schwindverkürzung strebt über mehrere Jahre hinweg einem Endwert zu, dem → Endschwindmaß. Es ist das Verhältnis der Schwindverkürzung zur Ursprungslänge und wird in Millimeter/Meter (mm/m) angegeben. Bei Beton beträgt es je nach den Austrocknungsbedingungen 0,3 bis 0,6 mm/m. Eine 10 m lange Stahlbetondecke (etwa die Seitenlänge eines Einfamilienhauses) verkürzt sich durch → Schwinden um $10 \text{ m} \times (0,3 \text{ bis } 0,6 \text{ mm/m}) = 3 \text{ bis } 6 \text{ mm}$. Die Deckenverkürzung wird durch die Wände, auf denen die Decke aufliegt, behindert. Da auch die Wände nicht starr, sondern bis zu einem gewissen Grad nachgiebig sind, wird die Decke nicht um das volle Schwindmaß verkürzt. Die verbleibende → Dehnung von etwa 2 bis 5 mm wird genügen, um die → Risslast im Mauerwerk zu erreichen. Dafür genügt eine Betondehnung von 0,1 mm/m.

Die Schwindverkürzung verläuft je nach den Austrocknungsbedingungen über mehrere Jahre hinweg etwa wie im Beispiel Bild 4.20. In den ersten Jahren ist der Zuwachs der Verkürzung besonders spürbar, während nach 4 bis 5 Jahren nur noch geringe Schwindmaßbeträge hinzukommen.

Bild 4.20
 Normierte
 Schwindkurve
 für eine 120 mm
 dicke Boden-
 platte aus Beton



Wird die Verkürzung irgendwo im Bauwerk behindert, entstehen
 → Zugspannungen (Zugkräfte), die bis zur → Risslast anwachsen können.
 Ist die Risslast erreicht, dann entsteht der erste Riss. Er wird dort entstehen,
 wo der kleinste Zugfestigkeitswert im Rahmen der Streuung der Festigkeits-
 werte liegt.

Bild 4.21
 Tropfspuren
 von Wasser in
 einer Tiefgarage
 aus der oberen
 Etage, die auf
 Trennrissen
 in der Decke
 hinweisen



Eine typische Behinderung von Schwind- und auch temperaturbedingten Verkürzungen ist bei Zwischenebenen von Tiefgaragen zu beobachten. Häufig entstehen in den Stahlbetondecken durch behinderte Schwind- und Temperaturverformungen horizontale Zugkräfte und → Trennrisse, durch die eingeschlepptes Wasser von oben in die darunter liegende Ebene tropft (Bild 4.21).

Die Ursachen für derartige → Trennrisse sind in der behinderten Schwind- und Temperaturverkürzung der Decke durch Wände zu suchen. Die Decke ist in einer Tiefgarage sowohl von oben als auch von unten gut belüftet und schwindet deshalb mehr und schneller als die Wände. Sie sind einseitig erdberührt und können deshalb weniger und langsamer austrocknen. Dadurch ist das Schwindmaß der Wände geringer, sodass die Schwinddifferenz zu einer Zugbeanspruchung der Decke mit Bildung von Trennrissen führt. Bei Abkühlung entsteht die gleiche Beanspruchung durch Temperaturänderung bzw. sie addiert sich zur Schwindverkürzung.

ZUGKRÄFTE DURCH BEHINDERUNG VON TEMPERATURDEHNUNGEN

Alle Massivbauteile verändern ihre Abmessungen auch ohne Lasteinwirkungen durch Temperaturwirkungen. Bei Erwärmung verlängern sich die Bauteile und bei Abkühlung verkürzen sie sich. Werden diese Verlängerungen behindert, entstehen → Druckspannungen, bei Behinderung der Verkürzungen entstehen → Zugspannungen. Nur der letztere Fall ist bei Untersuchungen zur Rissgefährdung von Interesse.

Durch Erwärmung und Abkühlung verformen sich Bauteile während ihrer gesamten Nutzungszeit. Dabei entstehen sowohl → Stauchungen als auch → Dehnungen. Hauptursache der Änderung von Bauteiltemperaturen ist die tägliche, monatliche und jährliche Schwankung der Lufttemperatur. Auch Heiztemperaturen oder anderweitig erzeugte Wärme können auf Bauteile einwirken und zu → Verformungen führen. Kritisch ist die Abkühlung von Bauteilen, wenn die dadurch bedingte Verkürzung z. B. durch die Verbindung mit angrenzenden Bauteilen ver- oder behindert wird.

Die Lufttemperaturen (Tagesmittel) verlaufen etwa als Wellenlinie mit jährlich unterschiedlichen Abweichungen vom langjährigen Mittel. Sie bestimmen die Oberflächentemperatur von Außenbauteilen und sind nicht die maßgebenden Werte für die Bauteildehnung. Maßgebend sind die mittleren Bauteiltemperaturen. Sie errechnen sich näherungsweise als Mittelwert aus den Oberflächentemperaturen der beiden Wandseiten. Wenn z. B. an einer Wand die Innen- und die Außentemperatur unterschiedlich groß sind, dann ist die mittlere Bauteiltemperatur etwa der Mittelwert der beiden Temperaturwerte. Zu beachten ist auch, dass sich Bauteiltemperaturen nicht

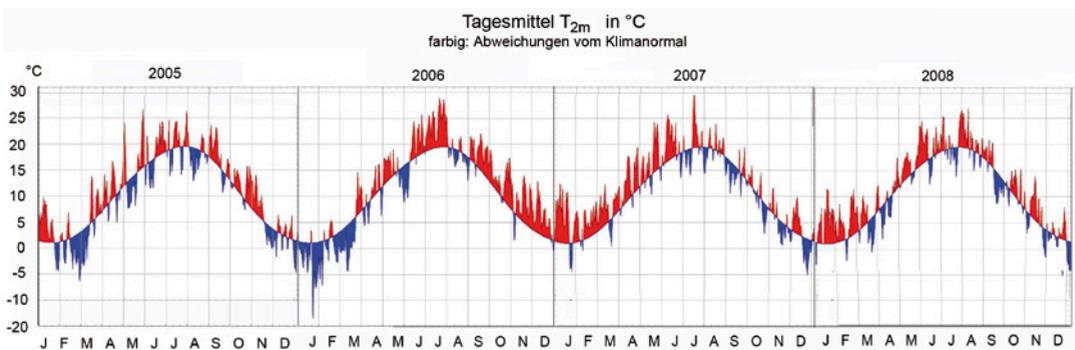
sofort, sondern mit einer Verzögerung einstellen, weil sich eine Wand langsamer erwärmt oder abkühlt als die sie umgebende Luft.

Temperaturänderungen, die durch die Außenluft verursacht werden, treten mit einer gewissen Schwankungsbreite während der gesamten Nutzungszeit eines Bauwerks auf. Die Lufttemperaturen verändern sich im Tages-, Monats- und Jahresverlauf (Bild 4.22). Mit ihnen ändern sich die Bauteillängen. Im Sommer werden Bauteile länger, im Winter werden sie kürzer. Als Faustregel gilt, dass eine Temperaturänderung um 10 Kelvin

- bei Beton eine Längenänderung von 0,1 mm/m verursacht. Beispielsweise verkürzt sich eine 5 m lange Stahlbetonsäule bei einer Abkühlung von 20 °C auf 0 °C (–20 K) um $5 \text{ m} \times 0,1 \text{ mm/m} \times 20 \text{ K}/10 \text{ K} = 1 \text{ mm}$.
- bei Mauerwerk eine Längenänderung je nach Steinart von 0,06 bis 0,08 mm/m bewirkt.

Den Verlauf der Tagesmitteltemperaturen kann man bei jedem Wetterdienst für bestimmte Regionen erfahren. Bild 4.22 enthält solche Werte für die Jahre 2005 bis 2008 in Leipzig. Durch die farbliche Markierung erkennt man die Abweichungen vom langjährigen Mittel. Um Längenänderungen als Rissursache abzuschätzen, benutzt man die mittlere Bauteiltemperatur, nicht die Oberflächentemperatur. Aus den Lufttemperaturen an der Außen- bzw. an der Innenseite lässt sich die mittlere Bauteiltemperatur als Mittelwert bestimmen. Mittlere Bauteiltemperaturen stellen sich je nach Bauteildicke und anderen Umständen erst nach einer gewissen Zeit ein.

Bild 4.22
Tagesmitteltemperaturen in den Jahren 2005 bis 2008 in Leipzig (Meteorologisches Institut der Universität Leipzig)



Die Temperaturänderung bezieht sich auf die sog. Aufstelltemperatur. Das ist die mittlere Bauteiltemperatur zu dem Zeitpunkt, in dem das statische System kraftschlüssig wirkt. I. d. R. ist das die Rohbaufertigstellung des Bauwerks. In Bild 4.23 ist ein Beispiel für die Schwankungsbreite der mittleren Bauteiltemperatur dargestellt. Die Aufstelltemperatur betrug +10 °C. Zum

Winterminimum von -20°C beträgt die Differenz der mittleren Bauteiltemperatur -30 K , zum Sommermaximum $+15\text{ K}$.

Wärmebedingte Längenänderungen haben nicht nur im Bauwesen eine Bedeutung, sondern auch in anderen Bereichen der Technik. Teilweise sind erhebliche Aufwendungen nötig, um solche Längenänderungen zu kompensieren, weil sie sonst Schäden verursachen würden. Fernwärmeleitungen, Gleise und lange Brücken erfordern aufwändige Konstruktionen, um die temperaturbedingten Längenänderungen schadlos zu kompensieren. Bild 4.24 zeigt die Längenänderung eines Brückengeländers gegenüber dem Einbauzeitpunkt. Durch Abkühlung haben sich die beiden Geländerteile um rd. 20 mm gegeneinander verschoben.

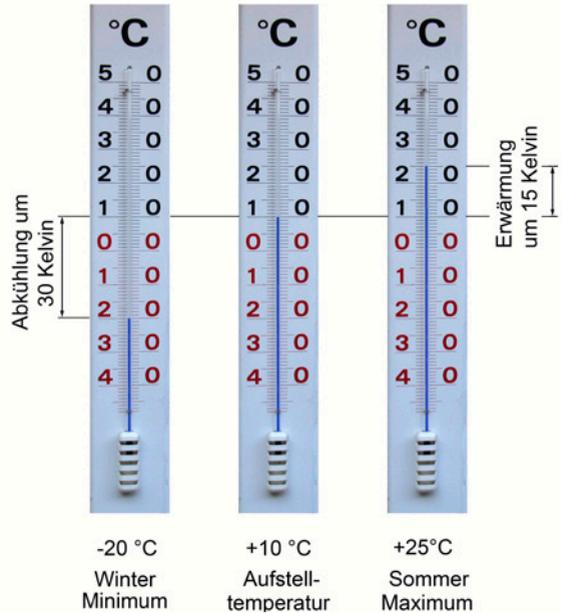


Bild 4.23

Für die Längenänderungen sind die Differenzen der Maximalwerte zur Aufstelltemperatur maßgebend (im Beispiel $+10^{\circ}\text{C}$)



Bild 4.24

Wärmebedingte Verschiebung eines Brückengeländers gegenüber dem Fertigstellungszeitpunkt des Geländers: fast 20 mm

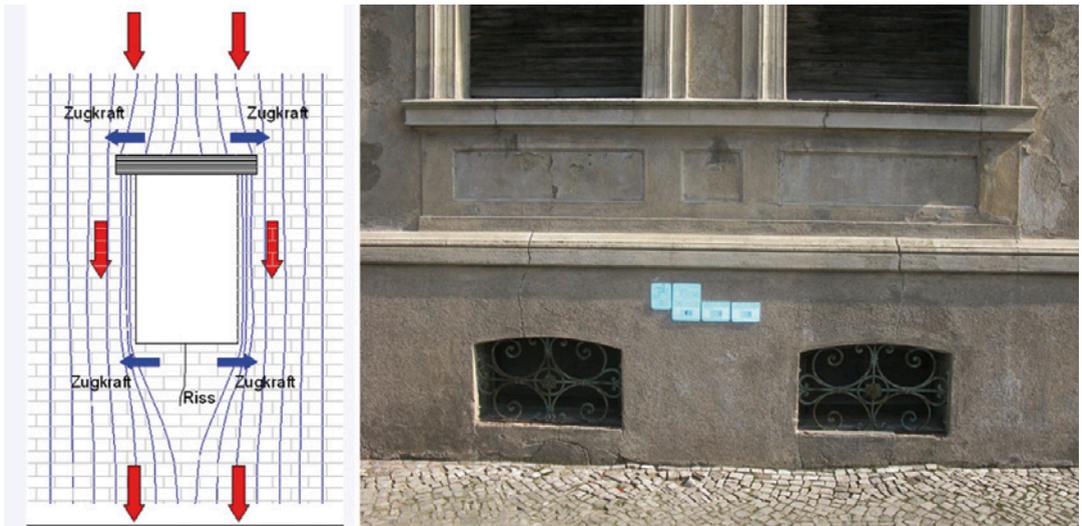
ZUGKRÄFTE DURCH LASTUMLENKUNGEN

Die Eigen- und → Nutzlasten haben unter der Wirkung der Erdanziehung das Bestreben, den kürzesten Weg zwischen dem Lastangriffspunkt und dem Stützpunkt (Fundament) zu wählen. Trotzdem kommt es vor, dass Richtungsänderungen einer Last notwendig sind, die nur durch zusätzliche, rechtwinklig zur Krafttrichtung verlaufende Kräfte möglich sind. Diese Erscheinung kann man auch in anderen Bereichen außerhalb des Bauwesens beobachten. In Bild 4.25 ist die Richtungsänderung eines Flusses zu sehen. An der angeströmten Seite der Flussbiegung entsteht eine Umlenkkraft, die den Fluss in die neue Richtung zwingt. Am Abtrag des Ufers an dieser Seite erkennt man die Kraftwirkung. Am anderen Flussufer wird Material angelagert, weil sich die Fließgeschwindigkeit verringert und damit die mitgeführten Feststoffe absinken.

In einem schnell fahrenden Zug oder Auto spüren wir die Umlenkkraft bei der Kurvenfahrt als seitlich wirkende Fliehkraft. So ähnlich kann man sich auch die Wirkung von Lastumleitungen vorstellen. Auch dabei entstehen Kraftwirkungen rechtwinklig zur Richtung der umzulenkenden Kraft. Ein klassischer Fall ist die Lastumlenkung unter Fensterbrüstungen (Bild 4.26). Die Vertikallasten, die links und rechts vom Fenster über die Pfeiler in den Baugrund geleitet werden, sind im Erdgeschoss am größten. Da die Zugkraft für die Lastumlenkung proportional zur umzulenkenden

Bild 4.25
Kraftwirkung
beim Wechsel
der Fließ-
richtung eines
Flusses





Druckkraft ist, findet man – wenn überhaupt – vertikale Risse meist nur in den Brüstungen im Erdgeschoss. In Bild 4.27 ist eine unzuweckmäßige Anordnung der Fenster- bzw. Türöffnungen dargestellt. Die mehrfache Umleitung der Vertikallasten bedeutet Rissgefahr an den Umlenkstellen und ist etwa rechtwinklig zur Lastrichtung (blau eingezeichnet).

Solche potenziellen Rissstellen können bereits in der Planungsphase für das Gebäude bzw. für eine Umbaumaßnahme vermieden werden, wenn der Planende die Gefahr kennt und erkennt.

Bild 4.26
Rissursache:
Umlenkung
vertikaler
Lasten durch
quer wirkende
Zugkräfte in
einer Fenster-
brüstung

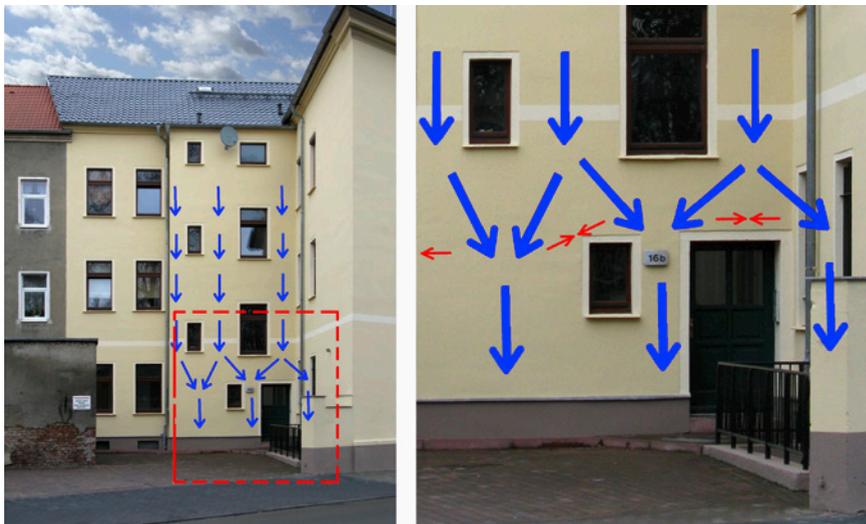


Bild 4.27
Mehrfache
Umlenkung
der vertikalen
Lasten im Erd-
geschoss durch
ungeschickte
Anordnung der
Wandöffnungen

4.4 ZUGKRÄFTE DURCH CHEMISCHE VERÄNDERUNGEN IM ZEMENTSTEIN

Nach dem Erhärten des Betons bzw. Mörtels sind die chemischen Vorgänge, in deren Verlauf der Zement abbindet, nicht abgeschlossen. Sie verlaufen meist über Monate und auch Jahre weiter. Bestandteile der Betonausgangsstoffe können bei bestimmten chemischen Voraussetzungen zu unerwünschten und schädlichen Reaktionen führen, bei denen Reaktionsprodukte mit bedeutend größerem Volumen als das der Ausgangsstoffe entstehen. Die Folge ist eine innere Sprengwirkung, die unregelmäßige Risse im Beton hervorruft (Bild 4.28). Am bekanntesten ist die Alkali-Kieselsäure-Reaktion im Beton, die bei Spannbetonschwellen große Schäden verursacht hat. Es gibt aber noch andere Erscheinungen mit ähnlicher Wirkung.

Bei solchen Erscheinungen werden nicht Verkürzungen, sondern Volumenvergrößerungen des Zementsteins durch den inneren Zusammenhalt behindert. Wird die Zugfestigkeit des Zementsteins durch den inneren → Druck erreicht, dann wird der Beton von innen her aufgerissen. Diese Rissursache soll nicht weiter erläutert werden, da für deren Beurteilung Spezialwissen erforderlich und deshalb unbedingt ein Fachmann hinzuzuziehen ist.

Bild 4.28

Unregelmäßige, netzartige Risse deuten auf chemische Prozesse im erhärteten Beton hin



4.5 ZUGKRÄFTE DURCH DIE SPRENGWIRKUNG ROSTENDER EISENEINLAGEN ODER EINGEBETTETER STAHLTEILE

Die Rostsprengung ist eine bekannte Erscheinung sowohl in Beton als auch in Mauerwerk. Rostprodukte haben ein Mehrfaches des Volumens ihrer Ausgangsstoffe. Wenn die dafür notwendige Volumenvergrößerung behindert wird, entstehen große → Druckspannungen im Beton bzw. Mauerwerk, die zu Rissen und Absprengungen führen.

Rost entsteht, wenn das chemische Element Eisen mit Wasser und Sauerstoff in Berührung ist. Bewehrungsstahl ist im Beton dadurch geschützt, dass der Beton durch seinen Alkaligehalt einen pH-Wert von 12 bis 14 besitzt, bei dem keine Korrosion möglich ist. Ist das Betongefüge in der Umgebung der → Bewehrung durch eine poröse Struktur nicht besonders dicht, dann dringt Luft in die → Betondeckung ein, in der Sauerstoff und Feuchtigkeit enthalten sind. Im Beton vollzieht sich dann über mehrere Jahre ein Umwandlungsprozess, bei dem das im Beton enthaltene alkalische Calciumhydroxid in chemisch neutrales Calciumcarbonat umgewandelt wird. Man spricht von der Karbonatisierung der äußeren Betonschicht, die mit einer chemischen Passivierung des Betonstahls einhergeht. Sinkt der pH-Wert im Beton durch diese Reaktion unter $\text{pH}=9$, dann ist die Bewehrung nicht mehr geschützt und beginnt unter durchschnittlichen klimatischen Bedingungen zu rosten. Einige Jahre danach sind Risse oberhalb der Bewehrung und Rostabsprengungen an der Oberfläche zu sehen (Bild 4.29, Bild 4.30).

Im Mauerwerk gibt es den passiven Schutz nicht oder bei Zementmörtel in sehr begrenztem Maße. Deshalb beginnen Eisen- oder Stahleinlagen sehr bald zu rosten, was nach Jahren ebenfalls zu Absprengungen führt (Bild 4.31). Der eiserne Haltewinkel in Bild 4.31, der eine dünne Wand zwischen zwei Pfeilern halten soll, ist nach mehreren Jahrzehnten der Nutzung stark angerostet. Der ros-

Bild 4.29
Horizontalrisse in einer Stützwand durch stark korrodierte Bewehrung

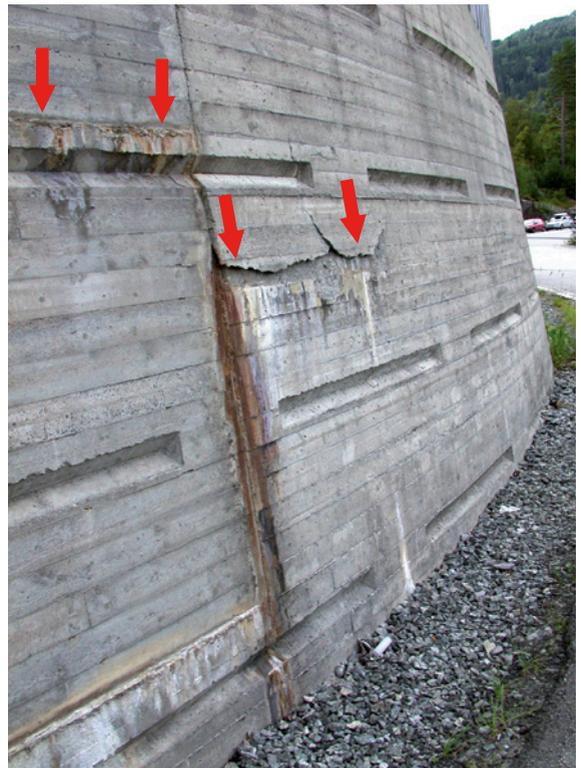


Bild 4.30

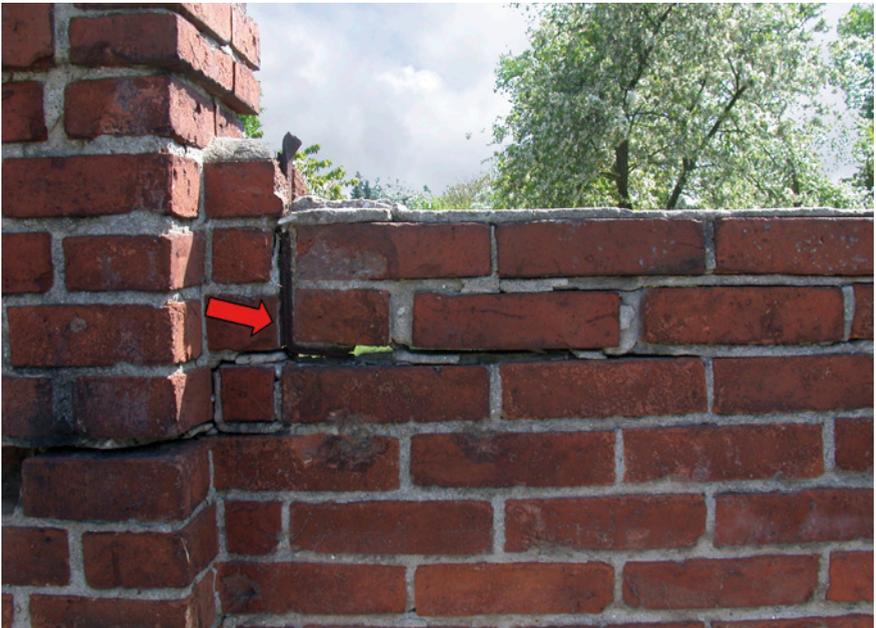
Stahlbetonbalken in einer Ruine, die seit mehreren Jahrzehnten direkt am Meer steht



tende Winkel hat die zwei darüber liegenden Steinschichten angehoben und dabei einen Stein durchtrennt (Pfeil). Der Winkel ist im Pfeiler allseitig eingespannt und muss dadurch bei der Volumenvergrößerung das Mauerwerk absprengen.

Bild 4.31

Ein eingelegerter Stahlwinkel, der die nur 1/2 Stein dicke Wand zwischen den Pfeilern halten soll, ist stark angerostet und hat den Riss erzwungen



4.6 BESONDERHEITEN DER ZUGKRAFTENTWICKLUNG BEI ZWANGBEANSPRUCHUNGEN

Zwangbeanspruchungen haben ihren Ursprung immer in → Verformungen:

- Längenänderungen im Baugrund, die ungleichförmige → Setzungen verursachen,
- Schwindverkürzungen,
- temperaturbedingte Bauteilverkürzungen, wie bereits vorher erläutert.

Bei ungleichförmigen → Setzungen wird die Auflagerung des Bauwerks durch die Baugrundverformungen verändert. Dadurch entstehen außerplanmäßige Beanspruchungszustände im Bauwerk, die zu Rissen führen.

Anders ist das bei der Behinderung von Schwind- und Temperaturverkürzungen. Das → Schwinden ist ein sehr langsam verlaufender Prozess, der spürbare Auswirkungen über mehrere Jahre hat. In dieser Zeit entstehen durch eine langsam wachsende Bauteilverkürzung ebenso langsam wachsende Zugkräfte im Bauteil. Vergleichbar ist das mit dem Dickenwachstum eines Baumes an einer Bordsteinkante (Bild 4.32). Der Baum vergrößert seinen Durchmesser Jahr für Jahr um mehrere Millimeter. Nach vielen Jahren ist der Bordstein im Weg, er behindert das weitere Dickenwachstum. Dadurch entsteht bei dem Beispiel eine Druckkraft, die von Jahr zu Jahr allmählich wächst. Sie wird so groß, dass der Bordstein aus seiner Lage geschoben wird. Je nach Verarbeitungsqualität des Bordsteins tritt das früher oder später ein.

Auch am Baum selbst sind Zwangwirkungen zu beobachten. Die Rinde ist zerfurcht, wobei eine Längsorientierung der Furchen auffällt (Bild 4.33 links). Das ist durch das Dickenwachstum bedingt, das unabhängig vom Längenwachstum im Kambium, einer Wachstumsschicht unter der Borke stattfindet. Es treibt die Borke auseinander, so-

Bild 4.32

Durch Behinderung des Dickenwachstums eines Baumes entstehen erhebliche Kräfte, die einen eingebauten Bordstein verschieben können



Bild 4.33

Vertikal orientierte Risse in der Rinde eines Eichenstammes



dass die Furchen etwa rechtwinklig zur Dickenzunahme entstehen. An den keilförmigen Furchen sieht man, dass die Borke vom Kambium aus Nachschub erhält und die Furchen direkt über der Wachstumsschicht geschlossen bleiben. Die vertikal orientierten Furchen sind ähnlich wie zwangbedingte Risse zu bewerten. Das Längenwachstum findet an der Spitze des Baumes und von Ästen statt und hat kaum Einfluss auf die ›Rissbildung‹ in der Borke.

4.7 WARUM ERSCHEINEN VIELE RISSE ERST NACH MONATEN ODER JAHREN

Man hört häufig, dass sich Risse in Wohnhäusern erst nach zwei oder drei Heizperioden ausbilden. Das ist bezüglich der Zeitangabe richtig, bezüglich der Rissursache, die ein Austrocknen assoziiert, nur bedingt richtig. Das Austrocknen von Mauerwerk und Beton ist zwar eine wesentliche, aber nur eine unter mehreren Ursachen. Die möglichen Rissursachen sind Gegenstand des nächsten Abschnitts. Die Tatsache, dass Risse manchmal nicht sofort auftreten, hat zwei Gründe:

- Kein Bauherr sucht nach Fertigstellung seines Gebäudes nach Rissen. Feine Risse sind unauffällig und werden zum Entstehungszeitpunkt kaum bemerkt.
- Fast alle Risse werden durch zeitabhängige Prozesse verursacht oder begleitet. Sie entstehen langsam und mit sehr kleiner Rissbreite. Erst nach Monaten oder Jahren sind die Rissbreiten auffälliger, so dass die Risse vom Nutzer des Bauwerks – i. d. R. kein Baufachmann – wahrgenommen werden.

Bauteildehnungen durch → Zwang und Last sind zeitabhängige Prozesse. Zwangverformungen durch → Schwinden wachsen über mehrere Jahre allmählich einem Endwert entgegen (Bild 4.20). Temperaturbedingte → Verformungen ändern sich mit der Temperaturänderung, z. B. der Lufttemperatur. Sie wachsen und verringern sich mit der Jahreszeit. Lasten verursachen mit der Lasteintragung eine → elastische Verformung. Bleibt die eingetragene Last sehr lange wirksam – das trifft z. B. auf die Bauwerkeigenlasten zu – dann vergrößert sich die elastische Verformung durch das sog. »Kriechen« um einen bleibenden Anteil. Er ist manchmal ebenso groß wie die elastische Verformung, kann aber auch das Zwei- und Dreifache dieses Wertes erreichen.

Da es einen Zusammenhang zwischen Bauteildehnung und Rissbreite gibt, müssen sich auch die Rissbreiten mit den veränderlichen Bauteildehnungen ändern. Leider sind Bauteildehnungen und Rissbreiten nicht proportional zueinander. Bauteildehnungen lassen in der Anfangszeit der Nutzung (das können mehrere Jahre sein) in Stahlbetonbauteilen immer neue Risse entstehen, ohne dass sich die bereits entstandenen Risse weiter öffnen müssen. Dadurch verlaufen Bauteildehnung und Rissbreite nicht proportional. Erst in höherem Bauteilalter entstehen keine neuen Risse mehr. Dann besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Rissbreite und Bauteildehnung, der rechnerisch leicht zu erfassen ist.



5 TYPISCHE RISSFORMEN UND -BILDER IN STAHLBETONBAUTEILEN

5.1 RISSE IN BODENPLATTEN UND FUSSBÖDEN AUS BETON

Bodenplatten sind als unterer Abschluss eines Gebäudes durch Eigen- und → Nutzlasten beansprucht und können sowohl eine abdichtende Funktion gegen Wasser im Boden haben als auch nur Raumabschluss nach unten sein, aber auch Teil der Gründung des Bauwerks. Man unterscheidet zwei Arten von Bodenplatten (Bild 5.1):

- Bodenplatten als Bestandteil der Bauwerksgründung. Sie sind mit dem Bauwerk so verbunden, dass die Bauwerkslasten über die Bodenplatte in den Baugrund geleitet werden.
- Bodenplatte als Fußboden ohne tragende Funktion für das Bauwerk. Die Gebäudelasten werden in diesem Fall über die Fundamente in den Baugrund geleitet, ohne die Bodenplatte zu beanspruchen.

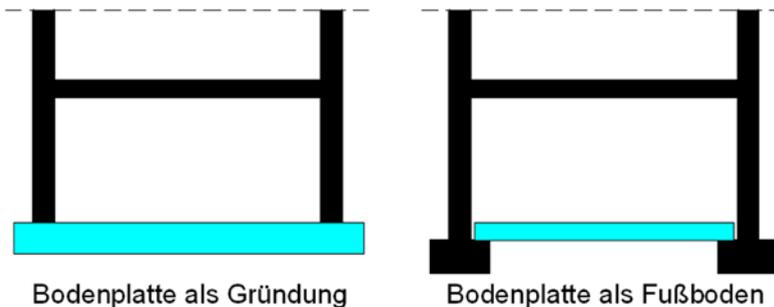


Bild 5.1
Bodenplatten
als Gründungselement
oder
als Fußboden

BODENPLATTE ALS GRÜNDUNGSELEMENT

Bodenplatten, die als Gründung benutzt werden, erhalten Lasten aus dem darüberstehenden Bauwerk. Sie müssen die gesamten Lasten des Gebäudes so verteilen, dass die zulässige Beanspruchbarkeit des Baugrunds nicht überschritten wird. Die Platten werden aus Stahlbeton gefertigt und sind dicker

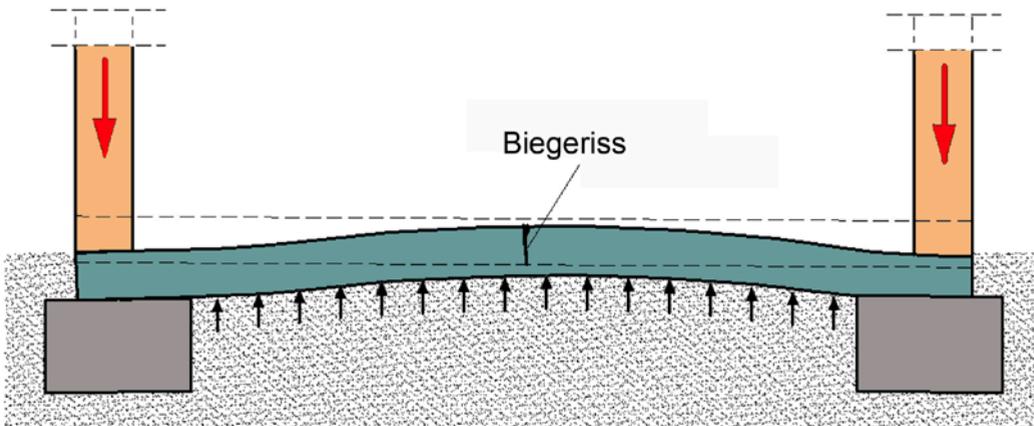


Bild 5.2
Biegung der
Bodenplatte bei
gleichmäßiger
Setzung des
Gebäudes

als Bodenplatten, die zwischen den Streifenfundamenten für die Wände liegen und nur als Fußboden genutzt werden.

Wegen der Zusammendrückung des Baugrunds unter den mit dem Bauwerk eingetragenen Lasten setzen sich alle Bauwerke. Solange → Setzungen gleichmäßig über den gesamten Grundriss verlaufen und keine oder nur geringe Setzungsunterschiede entstehen, bedeutet das für das Bauwerk mit Ausnahme der Bodenplatte nur eine Änderung der Höhenlage ohne setzungsbedingte Beanspruchungen. Gleichmäßige Setzungen verursachen keine Risse. Das ist ähnlich wie bei einem Schiffshebewerk oder einer Schleuse: Das Schiff verändert lediglich seine Höhenlage, ohne dass es irgendwelche Beanspruchungen erhält (vgl. Bild 4.12).

Im Beispiel Bild 5.2 sind die Fundamente mit einer kleineren Aufstandsfläche höher belastet als die Bodenplatte. Die Fundamentsetzungen sind deshalb größer als die → Setzungen der Bodenplatte. Entsprechend Bild 5.2 wird die Bodenplatte an den Rändern gewissermaßen auf den Baugrund gedrückt, während die weniger belastete Mitte der Platte dieser Bewegung nur teilweise folgen kann. Dadurch entstehen → Biegerisse in der Platte, die nicht durch die gesamte Bodenplatte hindurchgehen, sondern von der Oberfläche aus in einer gewissen Tiefe enden. Die reale Situation eines solchen Risses ist in Bild 4.16 zu sehen.

In der Bodenplatte können auch Biegerisse an der Unterseite der Platte entstehen, die an der Oberfläche nicht wahrnehmbar sind.

BODENPLATTE ALS BEWEHRTE FUSSBODENPLATTE

Alle Bodenplatten werden durch → Nutzlasten belastet. Das können Einrichtungsgegenstände, Lagergüter, PKW oder Flurförderfahrzeuge sein. Dabei verformen sie sich gemeinsam mit dem weicheren Untergrund, wodurch

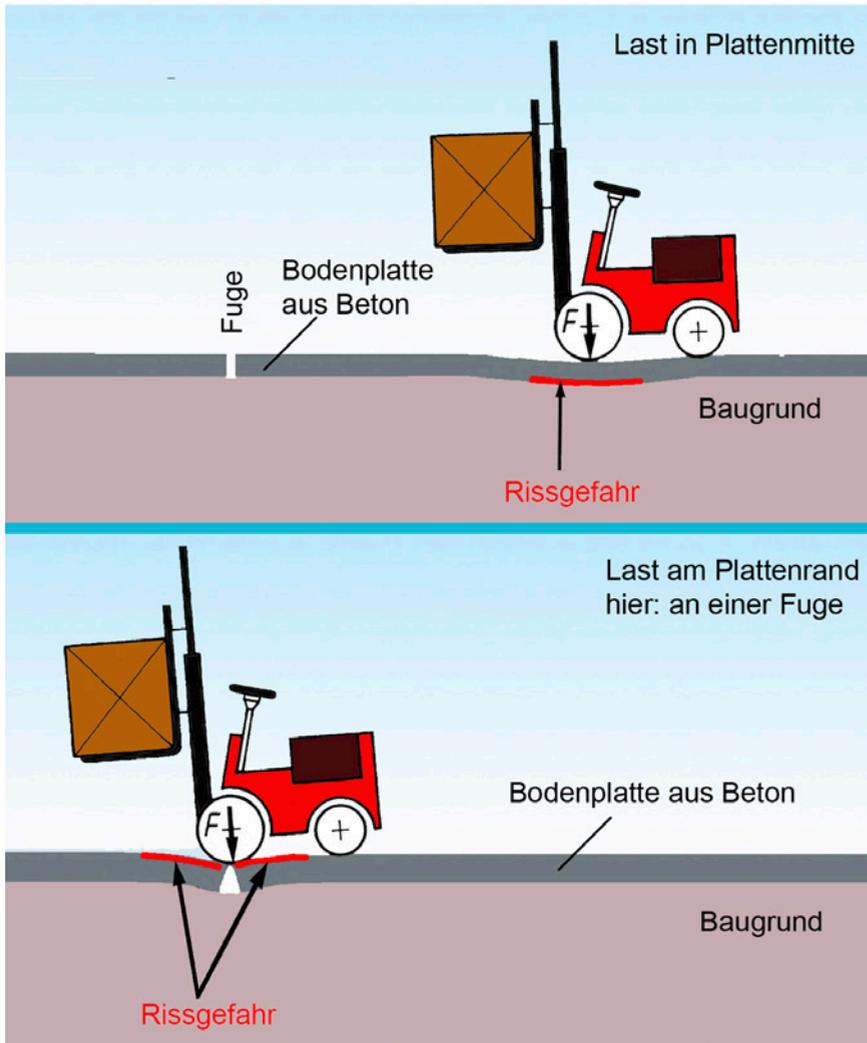


Bild 5.3

Belastung und Verformung einer Fußbodenplatte durch einen Gabelstapler; Risse entstehen oben: im Inneren der Platte, unten: am Plattenrand (Fuge)

Risse entstehen können. In Bild 5.3 sind die Belastung durch einen Gabelstapler sowie die dadurch entstehende → Verformung der Bodenplatte schematisch dargestellt. Die Radlast verursacht Biegespannungen in der Betonplatte, d.h. an einer Seite Zug- und an der gegenüberliegenden Seite → Druckspannungen. Es handelt sich um → Biegerisse. Sie entstehen nur an der Seite der Platte, an der → Zugspannungen wirken. Das ist immer die konvexe Seite. Bodenplatten mit größeren Abmessungen sind meist durch Fugen in Felder unterteilt. Im Beispiel Bild 5.3 sind zwei Laststellungen dargestellt, bei denen einerseits die Risse an der Plattenunterseite entstehen (im oberen Bild) und andererseits an der Plattenoberseite (im unteren Bild). → Biegerisse

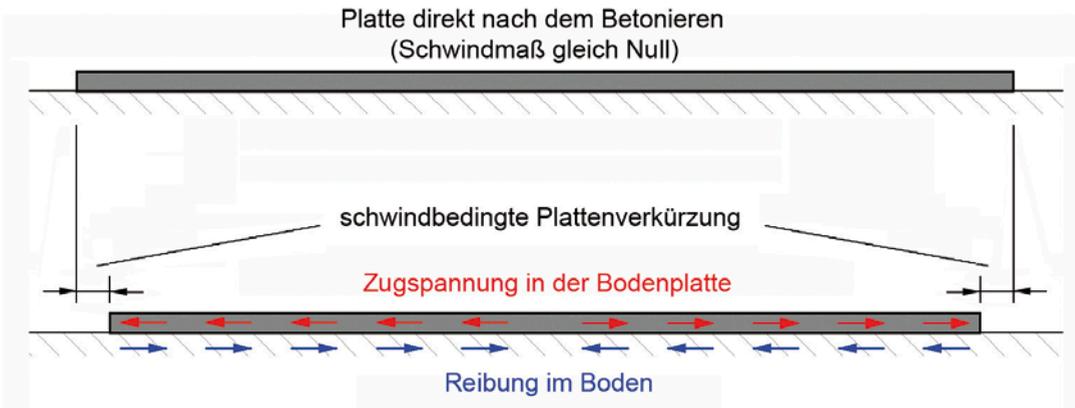


Bild 5.4
Zugspannungen in einer Bodenplatte durch behinderte Schwindverkürzung

entstehen immer an der konvexen Seite der verformten Platte. Deshalb sind sie bei Belastung innerhalb der Platte an der Oberseite nicht zu sehen.

Bodenplatten können beträchtliche Abmessungen erreichen (z. B. Lagerflächen). Durch die Schwindverkürzung des Betons entstehen spürbare und sichtbare Verschiebungen der Plattenränder zur Mitte hin. Diese Verschiebungen werden durch die Reibung der Betonplatte auf dem Untergrund behindert, was → Zugspannungen in der Platte zur Folge hat.

Bild 5.4 zeigt im Schema das Entstehen der → Zugspannungen in einer Bodenplatte, deren Verkürzung durch die Bodenreibung behindert wird. Die Betonzugspannungen sind in der Mitte der Platte am größten und am Rand gleich Null. Durch die Schwindverkürzung bewegen sich die Plattenränder um einen kleinen Betrag auf den Plattenmittelpunkt zu. Bei einem → Endschwindmaß von 0,4 mm/m und einer Plattenlänge von z. B. 20 m beträgt die (unbehinderte) Plattenverkürzung $0,4 \text{ mm/m} \times 20 \text{ m} = 8 \text{ mm}$, d. h. für jeden Plattenrand 4 mm. Durch die Reibungsbehinderung verringert sich dieser Betrag etwas.

Die Reibung kann man durch Gleitschichten unter der Bodenplatte vermindern, sodass die Zugkraft kleiner und damit die notwendige → Bewehrung zur Begrenzung der Rissbreite nicht zu groß wird. Allerdings können ein- oder mehrlagige Gleitfolien zusätzliche Erschwernisse verursachen. Bei windigem Wetter sind große Flächen kaum fehlerfrei mit einer Folie abdeckbar. Das Bild 5.5 zeigt ein solches Beispiel am Bohrkern aus einer Bodenplatte. Die für die Plattenunterseite vorgesehene Gleitfolie hat sich vor dem Betonieren aufgefaltet und eine Fehlstelle in der Bodenplatte verursacht. In dem geschwächten Querschnitt darüber ist ein auffälliger Riss entstanden.

Bei WU -Bauwerken sind → Trennrisse unerwünscht, aber oft nicht zu vermeiden. Die Bewehrung muss dann so ausgelegt werden, dass die Risse möglichst fein sind. Dann besteht die Chance, dass sie sich bei Wasserdurch-

fluss selbst abdichten (Selbstdichtung, Selbstheilung). Das ist durch Ablagerung von Calciumcarbonatkristallen (Calcitkristalle) und Wasserinhaltsstoffen an Engstellen im Riss möglich (vgl. Abschnitt 7).

Die Tragfähigkeit und die Rissicherheit gegenüber Lastwirkungen hängen vor allem von den Eigenschaften der Bodenschichten unter der Platte ab. Eine gut konstruierte Platte liegt auf mehreren vorbereiteten Schichten, deren Steifigkeit in einem möglichst stetigen Übergang zwischen Baugrund und Betonplatte abgestuft wird.

UNBEWEHRTE ODER MIT STAHLFASERN BEWEHRTE BODENPLATTEN

Stahlfasern sind mehrere Zentimeter lange Drahtstücke oder gefräste Stahlspäne, die dem frischen Beton zugemischt werden. Sie haben in Bodenplatten keine der Stab- bzw. Stabgitterbewehrung im Stahlbeton vergleichbare Wirkung. Bezüglich der Rissentstehung verhalten sich unbewehrte und mit Stahlfasern bewehrte Platten annähernd

gleich, wenn nicht der Mischung eine relativ große Menge Stahlfasern zugegeben wird. Nach der Entstehung eines oder mehrerer Risse unterstützen die Stahlfasern dann eine Lastumlagerung hin zu weniger belasteten Plattenbereichen, was unbewehrte Platten nicht leisten können. Dadurch unterscheiden sich stahlfaserbewehrte von unbewehrten Platten, und auf diese Eigenschaft ist die große Anwendungsbreite von stahlfaserbewehrten Bodenplatten zurückzuführen. Allerdings ist eine solche Wirkung bei der oft zu geringen Dosierung der Stahlfasern bis herunter zu 15 oder 20 kg/m² nicht zu erwarten.

Platten mit größeren Abmessungen reißen bei reibungsbehinderten Plattenverschiebungen mit großer Wahrscheinlichkeit (→ Trennrisse). Deshalb schneidet man in unbewehrte oder mit Stahlfasern bewehrte Platten sog. → Scheinfugen in einem in der Planung zu bestimmenden Raster ein, die eine Tiefe von etwa 1/3 der Plattendicke haben. Diese Scheinfugen sind



Bild 5.5 Bohrkern aus einer Bodenplatte, bei der die Gleitfolie nicht an der Unterseite liegt und der Betonquerschnitt geteilt und geschwächt worden ist

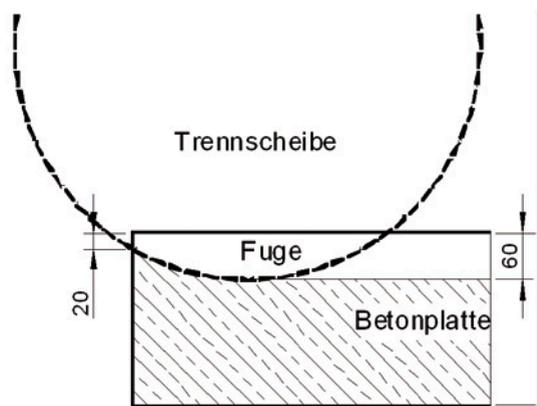
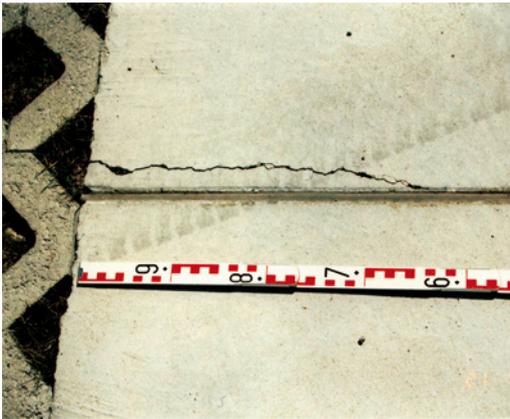


Bild 5.6
Neben der nachträglich eingeschnittenen Scheinfuge und fast parallel zu ihr ist ein Riss entstanden

planmäßige Schwachstellen, in denen Risse entstehen sollen. Damit wird die Schwindverkürzung der Fläche ermöglicht. Die Risse entstehen nicht an beliebigen Stellen, sondern in den geradlinig geschnittenen Scheinfugen. Nachdem die Scheinfugen (Sollbruchstellen) gerissen sind, öffnen sich die eingeschnittenen Schlitzte etwas, was der Laie nicht wahrnimmt.

In Bild 5.6 ist eine eingeschnittene → Scheinfuge am Plattenrand zu sehen. Dort war die Schnitttiefe bedingt durch die Geometrie des Sägeblatts zu gering, so dass ein Riss dicht neben der eigentlichen Scheinfuge in Fortsetzung der eigentlichen Scheinfuge entstanden ist.

Ein weiteres Beispiel für das Versagen einer → Scheinfuge ist in Bild 5.7 abgebildet. In unmittelbarer Nähe zur Scheinfuge und annähernd parallel zu ihr hat sich ein Riss in der Bodenplatte gebildet. Die Ursachen sind kaum zu bestimmen, ohne die Bodenplatte zu zerstören. Vermutlich sind es Unebenheiten im → Planum. Dadurch ist ein gleichmäßiges Gleiten auf dem Planum nicht nur durch die Reibung in der Fläche, sondern z. B. durch einen Stein oder dgl. zusätzlich behindert. So kann eine Schwachstelle des Betons in der Nähe aufreißen und die Aufgabe der Bewegungsmöglichkeit übernehmen, die der Fuge zugedacht war.

Auch Arbeitsfugen sind Schwachstellen in Bodenplatten, in denen der Beton bei Zugbeanspruchungen zuerst reißt. Arbeitsfugen entstehen, wenn der Betoniervorgang z. B. durch das Schichtende unterbrochen werden muss. Am nächsten Tag wird die Betonage fortgesetzt. Der Beton vom Vortag ist dann bereits erhärtet und hat gegenüber dem neuen Beton andere Eigenschaften. Arbeitsfugen versagen bei Zugbeanspruchung leichter als das natürliche Betongefüge.

Bild 5.8 zeigt ein Beispiel, bei dem ein in der → Arbeitsfuge entstandener Riss so breit ist, dass er sogar durch die rissüberbrückende Beschichtung der Bodenfläche durchgeschlagen ist. Es handelt sich um die Bodenplatte

(3. Untergeschoss) einer innerstädtischen öffentlichen Tiefgarage, die fugenlos gebaut worden ist. Die fugenlose Bauweise großer Betonplatten ist heute öfter anzutreffen. Sie funktioniert aber nur, wenn die Bodenplatte eine reibungsarme Bewegungsmöglichkeit auf dem Untergrund besitzt. Das war hier nicht der Fall, so dass sich die Arbeitsfuge, erkennbar am recht geraden Verlauf, als Schwachstelle geöffnet hat, um die Schwind- und Temperaturverkürzung zu ermöglichen. Wahrscheinlich hätte man die Beschichtung etwas später aufbringen müssen, damit sich ein größerer Teil der Schwindverkürzung ohne Beschichtung hätte vollziehen können.

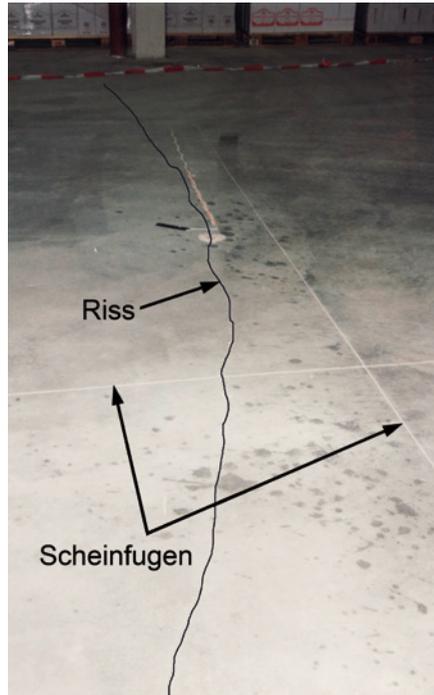


Bild 5.7

Langer unplanmäßiger Riss in einem Hallenfußboden in der Nähe einer Scheinfuge (Riss nachgezeichnet), die ihre geplante Funktion nicht erfüllt



Bild 5.8

Durch die Beschichtung hindurch gerissene Arbeitsfuge in der Bodenplatte einer Tiefgarage

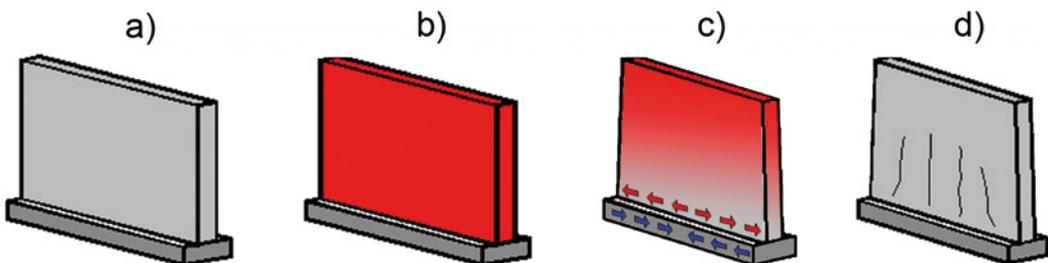
5.2 RISSE IN STAHLBETONWÄNDEN

Stahlbetonwände werden entweder auf einem Fundament oder auf einer Bodenplatte betoniert. Für den Bauablauf ist es am günstigsten, wenn die Bauteile zeitlich getrennt und nacheinander hergestellt werden. Im ersten Arbeitsgang wird die Bodenplatte gefertigt. Danach wird die Wand auf die bereits erhärtete Bodenplatte betoniert. In Bild 5.9 ist das schematisch dargestellt.

Der frische Beton der Wand hat unmittelbar nach dem Betonieren die gleiche Temperatur wie der ältere Beton der Bodenplatte oder des Fundaments (a). Es ist die Umgebungstemperatur. Beim → Abbinden erwärmt sich der frische Beton auf Temperaturen (z. B. zwischen 30 und 40 °C), die merklich höher als die der Bodenplatte sind (b). Der warme Beton bekommt beim Erhärten eine gewisse Festigkeit und seine endgültige Gestalt. Nach dem Erhärten kühlt sich der Wandbeton allmählich ab. Der inzwischen feste Beton muss sich dabei verkürzen. Das ist in der Nähe der Aufstandsfläche nicht möglich, weil das die feste Verbindung zur Bodenplatte bzw. zum Fundament verhindert.

Im Fundament entsteht eine Druckkraft und am Wandfuß eine gleich große horizontale Zugkraft (c). Diese Zugkraft ist fast immer so groß, dass rechtwinklig zu den → Zugspannungen vertikale Risse am Wandfuß entstehen (d). Wenn die Wandhöhe im Vergleich zur Wandlänge groß ist, enden die Risse innerhalb der Wand. Ist die Wandhöhe klein im Vergleich zur Wandlänge, dann reißt die Wand über die gesamte Höhe auf. Der Vorgang dauert nur einige Tage bis die Wand die Umgebungstemperatur angenommen hat und wiederholt sich dann während der gesamten Nutzungszeit des Bauwerks nicht mehr. Die Schwindverkürzungen der Wand werden nicht behindert, weil die nur wenige Tage ältere Bodenplatte ebenfalls schwindet. So kann keine nennenswerte Schwinddifferenz zwischen beiden Bauteilen entstehen.

Bild 5.9
Durch abfließende Abbinde-
wärme können vertikale Risse im Bereich des Wandfußes entstehen



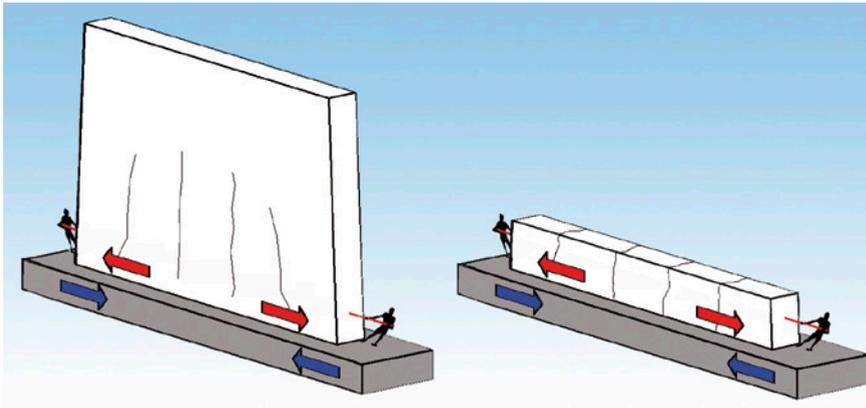


Bild 5.10
Zug an der Wandunterseite durch behinderte Verkürzung beim Abkühlen (gleich große Druckkräfte entstehen in der Bodenplatte)

Bild 5.10 zeigt das letzte Stadium der Rissentstehung in veranschaulichter Form. Die Zugkraft an der Wandunterseite erfordert aus Gleichgewichtsgründen eine gleich große Druckkraft in der Bodenplatte bzw. im Fundament, die für den Beton ohne Bedeutung ist. Bei kleinerer Wandhöhe verlaufen die Risse bis zur Wandoberseite (rechts).

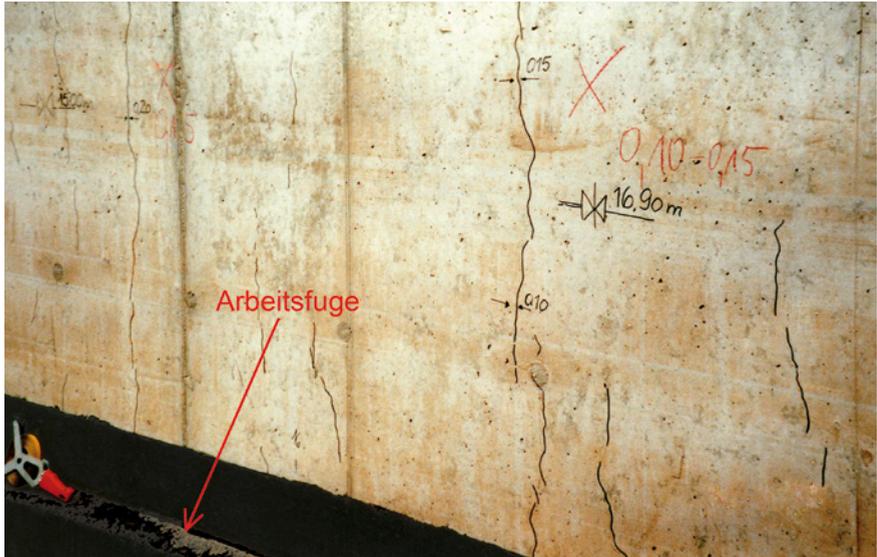
Derartige Risse sind nur schwer zu vermeiden. Deshalb werden als Lösung → vertikale Bewegungsfugen in der Wand vorgesehen, wenn das möglich ist. Sie beeinträchtigen das Erscheinungsbild der Wand nicht und ermöglichen die erforderliche Bewegung. In der Nutzungsphase der Wand gestatten die Fugen zwängungsfreie Längenänderungen der Wand infolge von Temperaturschwankungen. Solche Längenänderungen treten während der gesamten Lebensdauer der Wand auf. Bild 5.11 zeigt eine im Vergleich zur



Bild 5.11
Vertikale Bewegungsfugen in einer langen und niedrigen Stahlbetonwand

Bild 5.12

Vertikale Trennrisse in einer Beckenwand, auf dem Beton nachgezeichnet



Höhe lange Wand aus Stahlbeton als Einfriedung. Sie hat eine Fugenteilung, mit der eine zwängungsarme Bewegungsmöglichkeit geschaffen wurde.

In Bild 5.12 sind Vertikalrisse an einer Beckenwand abgebildet, die im Bauprozess durch abfließende Abbindewärme entstanden sind. Sie sind auf der Bauwerksoberfläche nachgezeichnet worden. Man kann solche Risse kaum vermeiden, weil das → Abbinden von Zement ein exothermer Vorgang ist, bei dem Wärme freigesetzt wird. Durch Wahl eines Zements mit geringer Wärmeentwicklung, einen niedrigen Zementgehalt und langsames Abfließen der Abbindewärme (Dämmmaßnahmen) hat man begrenzte Möglichkeiten, um das Problem etwas zu verringern. Leider kann man es nicht beseitigen.

Derartige Risse sind → Trennrisse, die bei einer Wasserfüllung undicht sind. In der Planung werden die Rissbreiten durch eine zweckmäßig konstruierte → Bewehrung begrenzt. Das erfordert Bewehrung, die nur einmal, beim Erhärten des Betons, benötigt wird. Später ist diese Bewehrung nicht mehr erforderlich.

Bei WU-Bauwerken ist die → Arbeitsfuge zwischen Bodenplatte und Wand häufig undicht (Bild 5.13), auch wenn es heute üblich ist, Arbeitsfugen durch Einlagen abzudichten.

Abhilfe schafft eine sorgfältige Verlegung der → Arbeitsfugendichtung (Fugenband, -blech, Quelfugenband, Injektionsschlauch) und eine raue Anschlussfläche bei Beendigung des ersten Abschnitts. Der Konstrukteur muss wissen, dass keine noch so gute Aufrauhung der natürlichen Rauigkeit einer Betonbruchfläche hinsichtlich der Wasserundurchlässigkeit gleichkommt.



Bild 5.13
Undichte
Arbeitsfuge
einer Tiefgarage
im Grundwasser

→ Arbeitsfugen sind Schwachstellen im Betongefüge und reißen bereits bei geringen Zugspannungen auf. Wenn zwei etwas unterschiedliche Betonmischungen aneinandergrenzen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten erhärtet sind, ist die Grenzfläche eine Störung im homogenen Betongefüge. Vergleichbar ist das mit dem Gebäck in Bild 5.14, das bevorzugt genau an der Grenze zwischen den beiden Teigsorten bricht.



Bild 5.14
Die Grenz-
fläche zwischen
zwei verschie-
denen Teig-
sorten ist die
Schwachstelle
bei mechani-
scher Beanspru-
chung

5.3 RISSE IN ELEMENTWÄNDEN

→ Elementwände sind Standardformen des modernen Bauens. Sie spielen wie die Decken nach dem gleichen Konstruktionsprinzip eine bedeutende Rolle im modernen Hochbau. Analog zu den Elementdecken bestehen die Wände aus zwei dünnen Fertigteilshalen, die in einem vorgegebenen Abstand durch → Bewehrung stark miteinander verbunden sind. Diese Elemente kommen als Halbfabrikate auf die Baustelle und werden dort montiert. Der Spalt zwischen den Fertigteilenelementen wird dann vor Ort mit Beton ausgefüllt (Bild 5.15). Damit spart man ebenso wie bei Elementdecken die Schalung.

Die Wände sind äußerlich an den vertikalen Montagefugen der Fertigteilenelemente auch im fertigen Zustand erkennbar. Diese senkrechten Fugen bleiben i. d. R. sichtbar. Sie bedeuten statisch Querschnittsschwächungen der Wand, die für die normalen, vertikalen Belastungen während der Nutzung ohne Bedeutung sind.

Bild 5.15

Elementwand montiert, vor dem Betonieren

Wandflächen haben meist größere Längsabmessungen, bei denen die Schwindverkürzungen entsprechend groß sind. Werden diese Verkürzungen behindert, entstehen horizontale Zugbeanspruchungen in der Wand, die

in den geschwächten Bereichen in den Elementfugen zu Rissen im Kernbeton führen. In Bild 5.16 ist ein solcher Riss im Foto zu sehen. Die Rissbreite beträgt hier im Frühjahr etwa 0,4 mm. Im Winter ist sie etwas größer.

Die Fertigteilenelemente – sowohl für Wände als auch für Decken – sind wegen ihrer geringen Konstruktionsdicke (50 bis 70 mm) besonders empfindlich gegen Beschädigungen beim Transport und Umschlag. Insbesondere ruckartige oder -Stoßbeanspruchungen führen leicht zu Rissen, die auch im eingebauten Zustand zu sehen sind (Bild 5.19). Solche Risse sind schwer zu reparieren, da sie unplanmäßige Schwachstellen sind, die sich bei den kleinsten Erschütterungen wieder öffnen können.

Die Bauleitung oder der Bauherr sollten nicht zulassen, dass beschädigte Elemente montiert werden. Bei der



Montage der Fertigteillemente sieht man die Transportschäden und kann ihren Einbau als Bauherr oder Bauleiter verhindern. Transportrisse sind auffällige Risse, die nur schwer durch Instandsetzungsmaßnahmen verdeckt werden können. Deshalb sollte der Bauherr den Baubetrieb von vornherein wissen lassen, dass er beschädigte Fertigteillemente in seinem Bauwerk nicht dulden wird. Das erspart späteren Ärger.

5.4 RISSE IN ELEMENTDECKEN

Stahlbetondecken sind auf Biegung beanspruchte Bauteile, bei denen die → Bewehrung in der → Zugzone die entstehenden Biegezugkräfte übernehmen muss. → Biegerisse können wie bereits erläutert nur in der Zugzone entstehen. Das ist immer die konvexe Bauteilseite nach der Biegeverformung. Bei der statischen Berechnung und Bemessung von Decken wird die Bewehrung normgemäß so ausgebildet, dass bestimmte Rechenwerte der Rissbreite eingehalten werden. Deshalb gibt es bei Decken, die vor Ort auf einer Schalung hergestellt werden (→ monolithische Decken), kaum Rissprobleme oder Beanstandungen.

Decken werden aber auch für die Aussteifung von Gebäuden herangezogen. Für diesen Zweck sind sie als große, scheibenförmige Betonbauteile auszubilden. Ähnlich wie bei den Bodenplatten haben diese Platten große Bauteilabmessungen, bei denen → Schwinden des Betons und Temperaturänderungen nennenswerte → Verformungen in ihrer Ebene hervorrufen. Wenn die Decken auf Mauerwerk aufgelagert werden, können dadurch im (schwächeren) Mauerwerk Risse entstehen. Sind die Decken mit Stahlbetonwänden verbunden, dann können bei Deckenverkürzungen durch Schwinden und Abkühlung die Risse auch in der Decke entstehen.

Häufig werden Decken als Monolithkonstruktion geplant und während der Baudurchführung in → Elementdecken umkonstruiert. In Bild 5.17 ist eine Elementdecke vor dem Betonieren abgebildet. Sie besteht im Montagezustand aus einer dünnen Schale (50 bis 70 mm dick), die im Endzustand die Unterfläche der fertigen Decke bildet (Bild 5.17).



Bild 5.16
Vertikaler Riss in der Montagefuge einer Elementwand



Bild 5.17
Element-
decke vor dem
Betonieren

Die Deckenelemente werden provisorisch abgestützt, um die Frischbetonlast tragen zu können. Nachdem die → Bewehrung verlegt worden ist, wird die Decke durch eine Betonschicht komplettiert, für die die Fertigteilelemente zunächst die Schalung bilden und im erhärteten Zustand Bestandteil der Decke werden. Solche Decken sind gegenüber vertikalen Lasten den → monolithisch gefertigten Decken gleichwertig. Etwas anders ist das, wenn die Decke als aussteifende Scheibe wirkt und horizontale Kräfte in ihrer Ebene erhält. Durch die Montagefugen haben die Decken linienförmige Querschnittsschwächungen, die bei horizontalen Zugkräften Risse verursachen können.

→ Elementdecken haben wie alle Stahlbetonbauteile Schwindverkurzungen, die bei Abmessungen über 5 bis 10 m zu spürbaren → Verformungen an den Plattenrändern verbunden mit der Entstehung von Rissen führen. Bei Zugbeanspruchungen in der Deckenebene, die i. d. R. durch behinderte Schwindverformungen entstehen, verhält sich die Decke in beiden Richtungen unterschiedlich. In Längsrichtung der Fertigteilelemente – also parallel zu den Montagefugen – wirkt die Elementdecke wie eine → monolithische Decke.

In Querrichtung – also rechtwinklig zu den Elementfugen – führt eine Zugbeanspruchung z. B. aus behinderter Schwindverkurzung zur Bildung von Rissen im → Ortbeton des Fugenbereichs (Bild 5.16). Die Fugen zwischen den aneinander gestellten Fertigteilen wirken wie Kerben von 50 oder 60 mm Tiefe (je nach Dicke der Fertigteilschale). Es sind also Schwachstellen, in denen Risse bevorzugt entstehen. Die Risse bei Zugbeanspruchung sind → Trennrissen, d. h., dass z. B. in einer Tiefgarage eingeschlepptes Wasser durch den Riss in der Decke in das darunter liegende Geschoss gelangen kann (Bild 5.18). Es ist verschmutzt und im Winter salzhaltig, was zu Lack-

schäden an den abgestellten PKW führen kann. Streit und Ärger sind zu erwarten.

Darüber hinaus findet man bei → Elementdecken und -wänden gelegentlich Risse, die mit den üblichen Beanspruchungen nicht zu erklären sind. Es handelt sich meist um grobe, auffällige Risse wie z. B. in Bild 5.19.

Solche Risse sind Anzeichen von Transportschäden. Sie waren bereits bei der Montage der Fertigteile in den Elementen. Die Rissursachen sind dann in der fertigen Decke nicht mehr feststellbar. Deshalb lohnt es sich für den Bauherrn bzw. die von ihm beauftragte Bauüberwachung, die Decke während oder unmittelbar nach der Montage der Fertigteile zu inspizieren und solche Elemente ggf. austauschen zu lassen.



Bild 5.18

Riss in einer Elementfuge, durch den eingeschlepptes Wasser aus der oberen Ebene der Tiefgarage geflossen ist (Blick von unten)

Bild 5.19

Ausgeprägter Riss in einer Elementdecke, der beim Transport des Fertigteils entstanden sein muss



6 TYPISCHE RISSFORMEN UND -BILDER IN MAUERWERK

6.1 EINFLUSS DER STEINART AUF DIE RISSBILDUNG

Viele Risse entstehen dadurch, dass Mauersteine mit unterschiedlichen → Endschwindmaßen und Wärmedehnzahlen aneinandergrenzen. Beispielsweise hat eine Ziegelaußenwand praktisch keine Neigung zum Schwinden, während sich die rechtwinklig eingebundene Kalksandsteininnenwand mit einem Endschwindmaß von z. B. 0,3 mm/m verkürzen will. Das ist an der Verbindungsfläche nicht ohne Behinderung möglich. Deshalb entsteht ein Riss in der Kontaktfläche oder in ihrer Nähe. Die folgenden Fotos Bild 6.1 bis Bild 6.4 zeigen die gebräuchlichsten Steinarten.



Bild 6.1
Mauerwerk aus Ziegeln (links) und Kalksandstein (rechts)



Bild 6.2
Mauerwerk aus Betonsteinen (links) und aus Porenbetonsteinen (rechts); das Häuschen rechts wird noch mit Holz verkleidet

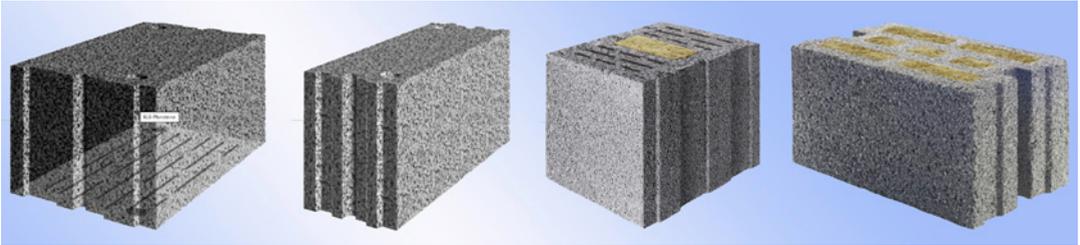


Bild 6.3

Leichtbeton-
steine (Bims),

Quelle:

Website

KLB-Mauer-
werksysteme

Allgemein gilt:

- Je mehr überschüssiges Wasser im angelieferten Stein ist, desto mehr schwindet er. Überschüssiges Wasser entsteht dadurch, dass für die chemische Reaktion von Kalk oder Zement weniger Wasser benötigt wird, als für eine gute Verarbeitbarkeit bei der Herstellung erforderlich ist. Allerdings kann Feuchtigkeit auch durch unsachgemäße Lagerung auf der Baustelle in die Steine gelangen.
- Je weniger Wasser im Mauerstein enthalten ist, umso geringer ist das Schwindmaß. Bei Ziegelsteinen entweicht das Wasser während des Brennprozesses aus dem Stein. Deshalb hat Ziegelmauerwerk praktisch kein Schwindmaß.

Schwindverkürzungen und → Dehnungen aus Temperaturänderungen wirken immer gemeinsam. Während die Schwindverkürzungen sich im Verlauf von mehreren Jahren allmählich einem Endwert annähern, schwanken die äußeren Lufttemperaturen im jährlichen Rhythmus zwischen Sommer und Winter während der gesamten Nutzungszeit eines Bauwerks. Die Schwindverformungen sind meist etwas größer als die Temperaturverformungen. In Tabelle 6.1 sind Zahlenwerte für die → Endschwindmaße und für die temperaturbedingten → Dehnungen bei einer Abkühlung um 10 Kelvin angegeben. Das negative Vorzeichen bedeutet eine Verkürzung und das positive eine Verlängerung des Bauteils. Zum Vergleich sollen die Bruchdehnungen von Mauerwerk und Beton genannt werden:

Bruchdehnung Beton	0,1 mm/m
Bruchdehnung für Mauerwerk	0,1 bis 0,15 mm/m.

Sie sind kleiner als die angegebenen Dehnungswerte. Das bedeutet, dass die Rissgefahr bei Kombination verschiedener Mauerwerksarten mit Stahlbetondecken groß ist.

Die Dimension mm/m gestattet eine einfache Berechnung der Längenänderungen. Ein 10 m langes Betonbauteil, das sich um 10 Kelvin abkühlt,

Beton/ Mauerwerk mit Steinen aus	Endschwindmaße	Temperaturdehnung je 10 K
Mauerziegel	+0,3 bis -0,2 mm/m	-0,05 bis -0,07 mm/m
Kalksandstein	-0,1 bis -0,3 mm/m	-0,07 bis -0,09 mm/m
Leichtbeton-, Hüttensteine	-0,2 bis -0,5 mm/m	-0,08 bis -0,12 mm/m
Betonsteine	-0,1 bis -0,3 mm/m	-0,08 bis -0,12 mm/m
Porenbetonsteine	+0,1 bis -0,3 mm/m	-0,07 bis -0,09 mm/m
Normalbeton	-0,2 bis -0,6 mm/m	-0,07 bis -0,12 mm/m
Leichtbeton	-0,3 bis -0,6 mm/m	-0,07 bis -0,10 mm/m

verkürzt sich dabei um $10 \text{ m} \times (0,07 \text{ bis } 0,12 \text{ mm/m}) = 0,7 \text{ bis } 1,2 \text{ mm}$. Wird diese Verkürzung behindert, dann reißt der Beton. Die Bruchdehnung beträgt $0,1 \text{ mm/m}$ oder für das vorliegende Beispiel $0,1 \text{ mm/m} \times 10 \text{ m} = 1 \text{ mm}$. Interessant ist, dass der geringe Temperaturunterschied von 10 Kelvin bereits einen Riss verursachen kann.

Tabelle 6.1
Endschwindmaße und Wärme-
dehnzahlen für
verschiedene
Mauerwerks-
arten

6.2 RISSE IN FREISTEHENDEN GEMAUERTEN WÄNDEN

Solche Wände werden für die Einfriedung von Flächen benötigt. Sie werden nur durch ihre Eigenlast, Windlasten und wechselnde Temperaturen beansprucht. Freistehende Wände für eine Einfriedung sind linienförmige Bauwerke (Bild 6.4), bei denen Längenänderungen aus Temperatureinwirkungen und \rightarrow Schwinden relativ groß werden.

Um die großen \rightarrow Verformungen aus Temperaturänderung zu beherrschen, sind Fugen unverzichtbar. Die Größe der Wärmeausdehnung und die dabei entstehende Kraft verdeutlicht Bild 6.5. An einer Wanddecke, die wie eine zusätzliche Fixierung wirkt, hat sich der Wandteil oberhalb der Feuchtigkeitssperre um rd. 10 mm nach außen verschoben (Pfeil in Bild 6.5).

In Bild 6.6 sieht man, welche Kräfte bei einer behinderten Wärmeausdehnung entstehen können. Der Metallzaun hat im Vergleich zum Mauerwerk eine größere Oberfläche im Verhältnis zum Volumen und eine bessere Wärmeleitung. Er erwärmt sich schneller als das Mauerwerk und dehnt sich

Bild 6.4

Gemauerte Wand an einer Grundstücksgrenze



Bild 6.5

Verschiebung des oberen Mauerwerks-teils auf einer eingelegten Feuchtigkeitssperre



in seinem Feld nach beiden Seiten zu den Pfeilern hin aus. Da man hier keine Bewegungsmöglichkeit im Mauerwerk vorgesehen hat, drückt die fest mit dem Mauerwerk verbundene Metallbefestigung gegen das Mauerwerk. In diesem Fall kam es zu einer Beschädigung allein durch eine Zwangdruckkraft.

Bild 6.7 zeigt eine Fuge, die dem Mauerverband folgt, damit sie im Sicht-

mauerwerk nicht auffällt. Die abgelenkte Fugenführung hat jedoch den Nachteil, dass die Fugenmasse sowohl auf Zug (vertikale Fugen) als auch auf Abscheren (horizontale Fugen) beansprucht wird. Man sieht auf dem Bild, dass sich die Fugenflanken stellenweise von der Fugenmasse abgelöst haben. Die Fuge muss nachgearbeitet werden.



Bild 6.6
Lokale Zerstörung des Mauerwerks durch die feste Verbindung von Metallgitter und Mauerwerk



Bild 6.7
Die Bewegungsfuge entsteht bei Ersatz des Mörtels durch eine elastische Fugenmasse

Besser ist eine gerade, vertikale Fuge z. B. an den Pfeilern, wo man das wenig auffällig gestalten kann (Bild 6.4). In Bild 6.8 ist das für eine niedrige Stahlbetonwand zu sehen. Die bereits etwas ältere Fuge ist funktionstüchtig und zeigt keine Schäden. → Bewegungsfugen erfordern immer einen gewissen Unterhaltungsaufwand, den der Bauherr niemals vergessen sollte.

Bild 6.8
Vertikale Fuge
in einer frei ste-
henden Stahl-
betonwand



6.3 RISSE IN GEMAUERTEN AUSSENWÄNDEN – BAUWERKE MIT STAHLBETONDECKEN

Als Rissursache kommen Schwinddifferenzen zwischen Deckenbeton und Mauerwerk in Frage. Bei geputzten Wänden ist zu unterscheiden, ob sich die Risse nur im Putz befinden oder aus dem Putzgrund heraus auch den Putz durchgerissen haben. Putzrisse können nur durch Ausbesserungen instandgesetzt werden. Danach sieht man immer, dass ausgebessert worden ist. Will man das vermeiden, dann hilft nur ein Anstrich der gesamten Fassade.

Putzrisse und -schäden sind immer mit einem teilweisen Ablösen des Putzes vom Untergrund verbunden. Man kann das leicht durch Abklopfen der verdächtigen Bereiche feststellen. Wenn die Schläge hohl klingen, haftet der Putz nicht mehr flächig auf dem Putzgrund. Eine dauerhafte Ausbesserung erfordert das Abschlagen aller losen Putzteile. Manchmal ist es besser, den gesamten Putz einer Fassade zu erneuern (Bild 6.10).



Bild 6.9
Putzrisse erkennt man an ihrer ungerichteten Verteilung und am hohlen Klang beim Klopfen

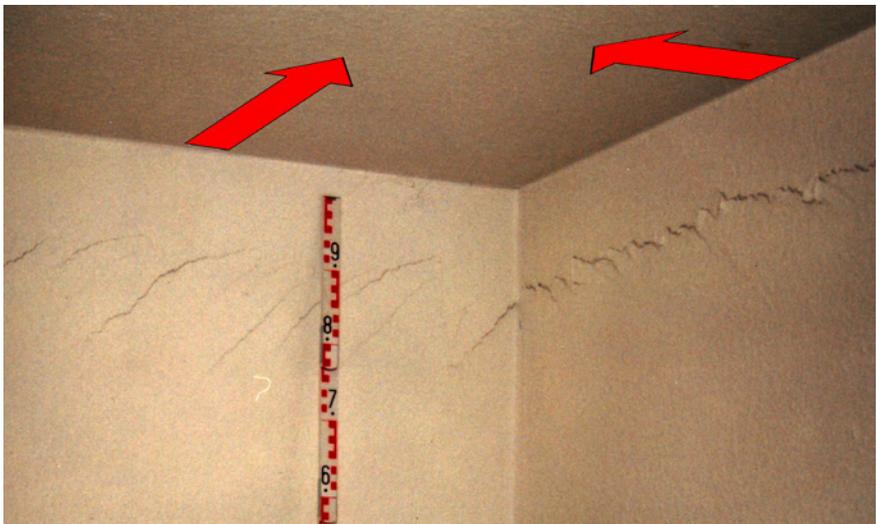


Bild 6.10
Putzrisse und andere Putzschäden

HORIZONTALE WANDRISSE IN UNMITTELBARER NÄHE VON STAHLBETONDECKEN

Horizontale Risse unter Stahlbetondecken entstehen in den häufig aus Ziegelmauerwerk bestehenden Außenwänden. Ob die Decken vor Ort betoniert oder als → Elementdecke aus dünnen Fertigteilen erst vor Ort mit Beton ergänzt werden, ist unerheblich. Bild 6.11 zeigt dafür ein Beispiel. Die Stahlbetondecke, die als Elementdecke ausgeführt worden ist, hat sich durch das → Schwinden gegenüber dem Ziegelmauerwerk aus Leichthochlochziegeln um 1 bis 2 mm verkürzt. Diese Verkürzung wird durch die Außenwände behindert. Die entstehende Zugkraft führt zum Abreißen der Decke von der Wand und zu einer horizontalen Verschiebung der Decke gegenüber der Wand. Das ist hier wegen der guten Verzahnung der beiden Bauteile nicht in der Kontaktfuge, sondern in einer Lagerfuge unterhalb der Decke geschehen.

Bild 6.11
Horizontale Risse in einer Lagerfuge unmittelbar unterhalb der Decke



Da die Decke unterschiedliche Seitenabmessungen besitzt, ist ihre Schwindverkürzung in Richtung der langen Seite größer als in Richtung der kurzen. Im Bild sieht man das an der Verschiebung nach innen des oberen Wandteils rechts im Bild mit einem gut sichtbaren Versatz. Der linke obere Wandteil hat sich weniger nach innen verschoben, was zur Bildung der sägezahnartigen Risse unter der Decke geführt hat (Schubrisse). Die horizontalen Risse aus der Schwinddifferenz zwischen Mauerwerk und Decke verlaufen als → Trennrisse durch die Wand hindurch. Man kann sie auch außen sehen. Die horizontalen Risse entstehen von den Ecken aus nach innen, weil sich die Längendifferenz zwischen Decke und Wand zu den Ecken hin aufsummiert. In Bild 6.12 ist das im Schema dargestellt.

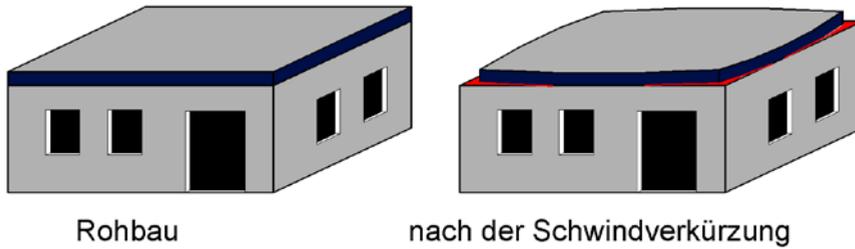


Bild 6.12
Horizontale Risse (rot) in den Wänden durch Schwind-differenzen zwischen Wand und Decke

Horizontale Risse in Höhe der oberen Geschossdecke können durch andere Einflüsse verstärkt oder auch verursacht worden sein. Die obere Decke hat nur relativ geringe Auflasten und kann sich deshalb in gewissem Umfang auch vertikal nach oben bewegen. Das Bestreben, dass sich die Ecken abheben wollen, liegt im Tragverhalten der Platten begründet.

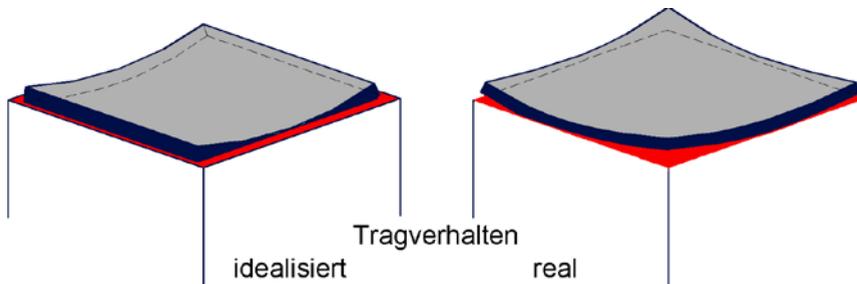


Bild 6.13
Biegefläche einer Decke, links: als Träger auf zwei Stützen idealisiert, rechts: real als zweidimensionale Platte

Bild 6.13 zeigt schematisch, wie Decken üblicherweise in einer statischen Berechnung in idealisierter Form berechnet werden, rechts ist die reale Biegefläche dargestellt. Die Decke liegt nicht nur, wie idealisiert, auf zwei gegenüberliegenden Wänden, sondern auf allen vier Wänden auf und gibt Last in jede Wand ab. Links ist die Decke so dargestellt, wie das in statischen Berechnungen meist angenommen wird: die Decke spannt in einer Richtung und gibt rechnerisch nur in zwei gegenüberliegende Wände Lasten ab.

Eine auf allen vier Wänden aufliegende Decke hat eine räumlich gekrümmte Biegefläche, d. h., dass sich die Ecken nach oben wölben. Ist die Auflast nicht groß genug, können sich die Ecken etwas abheben, und es entstehen ebenfalls horizontale Risse.

Bei massiven Dächern wirken außer den Deckenlasten auch nennenswerte Temperaturänderungen durch die Sonneneinstrahlung im Sommer. Die Dachdecke und der Raum darunter erwärmen sich durch die Sonneneinstrahlung im Vergleich zur Unterkonstruktion sehr stark. In Bild 6.14 sind die Auswirkungen an einem Stallgebäude zu sehen. Die massive Dachplatte

hat sich durch ihre Ausdehnung horizontal verschoben und dadurch einen horizontalen Riss im Giebel direkt unter der Platte erzeugt. Außerdem ist dadurch die Längswand nach außen geschoben worden und von der Giebelwand schräg abgerissen. Dadurch hat sich ein schräger Riss im Giebel gebildet, der nach unten vertikal ausläuft.

Bild 6.14
Rissbild durch
Wärmeein-
wirkung auf das
Dach und die
Giebelwand



Bild 6.15
Horizontale
Risse unter
einem unzu-
reichend ge-
dämmten Dach



Solche wärmebedingten Risse sind am wirksamsten durch Dämmmaßnahmen zu vermeiden. Durch die sich immer wiederholende Temperaturdehnung wirkt die Rissursache während der gesamten Lebensdauer des Bauwerks. Deshalb sind ein Zuspachteln und Überstreichen der Risse keine dauerhafte Instandsetzung. Bereits die nächste Erwärmung und anschließende Abkühlung lässt den Riss wieder erscheinen. In solchen Fällen ist der Rat eines Fachmannes für die Instandsetzung unerlässlich.

In Bild 6.15 ist ein anderes Beispiel für wärmebedingte Risse dargestellt. Ein ungedämmter Dachboden über nachträglich eingerichteten Büros ist die Ursache der Rissbildung. Das Dach besteht aus Holznagelbindern mit Holzschalung mit einer bituminösen Pappeindeckung. Die Decke unter dem Dach ist wärmedämmt. In dem darüber befindlichen, ungedämmten und ungenutzten Bodenraum können im Sommer Temperaturen bis zu 50 oder 60 °C entstehen, unter deren Wirkung sich die Decke über den Büroräumen erwärmt und ausdehnt. Die Auswirkungen sieht man im Bild. Auch hier schafft nur die Dämmung des Dachraumes und die damit verbundene Absenkung der Maximaltemperatur Abhilfe.

VERTIKALE RISSE

Die Schwinddifferenz zwischen Decke und Wand führt häufig zu Rissen. Oben wurde beschrieben, dass horizontale Risse in der Grenzfläche zwischen beiden Bauteilen oder oben in der Wand entstehen, wenn der Deckenbeton mehr schwindet als das Mauerwerk der Wand (Kombination Stahlbetondecke – Ziegelmauerwerk). Es ist aber auch der Fall möglich, dass das Mauerwerk der Außenwände mehr schwindet als der Deckenbeton. Dann entstehen senkrechte Risse in den Wänden. Das ist insbesondere bei Leichtbetonsteinen in Verbindung mit Stahlbetondecken so. Sie haben ein größeres Schwindmaß als der Normalbeton der Decke. Deshalb verkürzt sich die Wand mehr als die Decke. Diese Wandverkürzung wird durch die Decke und die Bodenplatte behindert. In Bild 6.16 ist links der Ausgangszustand (Rohbau) und daneben der Endzustand mit den vertikalen Rissen analog zu Bild 6.12 dargestellt.

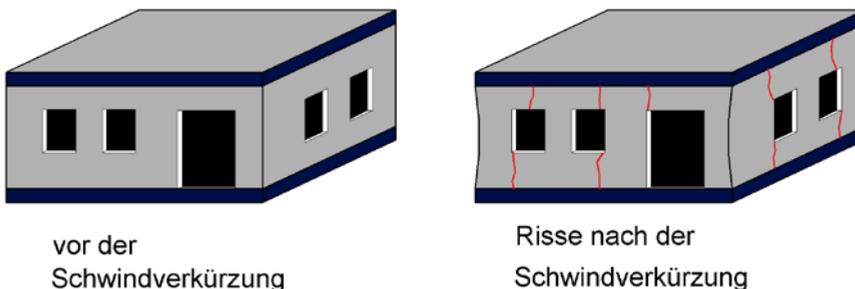


Bild 6.16
Vertikale Risse in der Wand durch ein gegenüber dem Deckenbeton größeres Schwindmaß des Mauerwerks

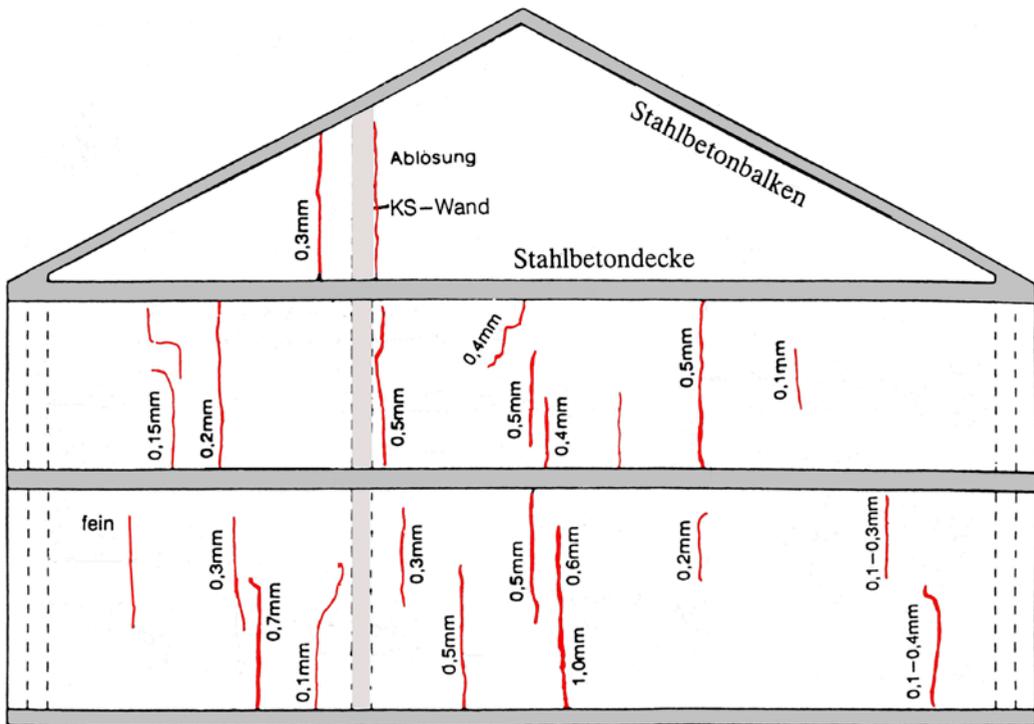


Bild 6.17
Rissbild in Blähtonmauerwerk (Versuchshaus Universität Stuttgart [1])

Die Behinderung der relativen Wandverkürzung durch Decke und Bodenplatte (z. B. Kellerdecke) verursacht horizontale Zugkräfte in den Wänden. Dadurch bilden sich vertikale Risse in den Außenwänden. In Decke und Fußboden entstehen aus Gleichgewichtsgründen Druckkräfte, die für den Beton unbedeutend sind.

In Bild 6.17 ist als weiteres Beispiel das Rissbild eines Versuchshauses aus Blähtonmauerwerk mit Stahlbetondecken dargestellt. Ein ausgeprägtes Rissbild mit vertikalen Rissen in den Wänden ist für diese Baustoffkombination typisch.

Wenn Beton und Mauerwerk sich wegen eines unterschiedlichen Dehnverhaltens gegenseitig an der → Verformung behindern, entsteht der Riss immer im Baustoff mit der geringeren Zugfestigkeit. Das ist bei dieser Materialkombination das Mauerwerk.

Vertikale Risse sind in Fassaden seltener als horizontale oder diagonale Risse. Sie können verschiedene Ursachen haben, die man meist nicht ohne eine genauere Untersuchung bestimmen kann. Einige weitere Beispiele sollen genannt werden.

Bild 6.18 zeigt einen häufigen Fall. Zwei unterschiedlich hohe Gebäude grenzen unmittelbar aneinander. Oftmals handelt es sich um Anbauten



mit um mehrere Jahre unterschiedlicher Bauzeit. Das kleinere Gebäude wurde in beiden Fällen ohne Fuge an das größere angebaut. Die Berührungsfläche muss Unstetigkeiten in der Schwinddehnung und in der → Setzung der beiden Teilgebäude ausgleichen. Die dabei entstehenden horizontalen Zugspannungen wachsen so weit an, dass die ohnehin geringe Zugfestigkeit des Mauerwerks in der Kontaktfuge erreicht wird. Es bildet sich der vertikale Riss, dessen Rissbreite oben am größten ist. Er läuft nach unten aus. Ist der Anbau einige Jahr nach dem ursprünglichen Bauwerk angebaut worden, kommen noch die horizontalen Schwindverkürzungen hinzu, die vom Fundament behindert werden. Dazu addieren sich ggf. einseitige Setzungen am freien Ende des Anbaus.

Vertikale Risse treten auch in Fensterbrüstungen im unteren Geschoss auf, weil dort horizontale Zugspannungen durch die Kraftumleitung von den Pfeilern in das Brüstungsmauerwerk entstehen. Sie werden umso größer, je größer die umzuleitende vertikale Kraft in den Pfeilern ist. Deswegen bilden sich derartige Risse bevorzugt im Erdgeschoss und ggf. noch im 1. Obergeschoss. Weiter oben reicht die um die Fensteröffnungen zu leitende Auflast aus dem Dach und ggf. darüber liegenden Geschossen nicht mehr aus, um eine für die Rissbildung erforderliche Größe zu erreichen.

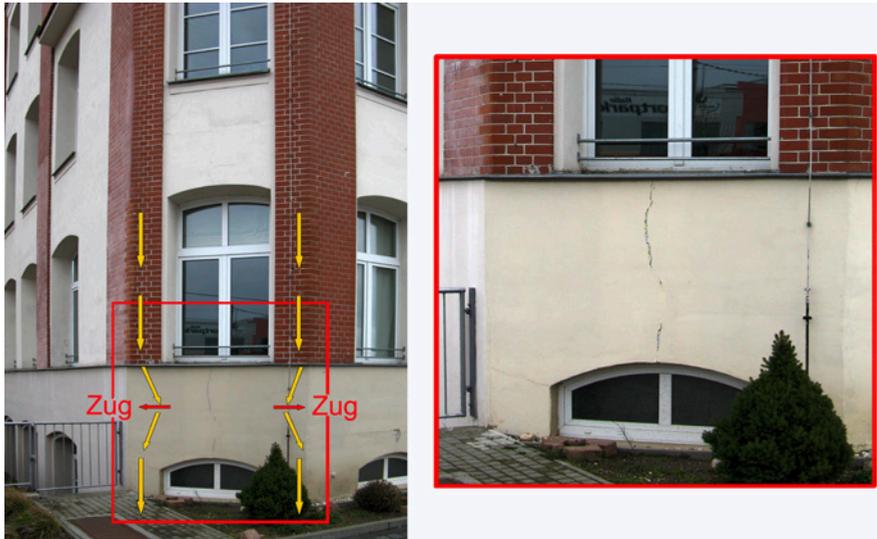
In Bild 6.19 ist ein solcher Riss unter einem Fenster im Erdgeschoss in einem älteren Gebäude abgebildet. Zwischen den Fenstern im Untergeschoss und Erdgeschoss hat sich ein vertikaler Riss gebildet, der sich sogar bis oberhalb des Erdgeschossfensters als sehr feiner Riss fortsetzt.

Anders ist der vertikale Riss in Bild 6.20 entstanden. Wenn Einzelasten in Mauerwerk oder auch Beton eingetragen werden, dann haben sie das Bestreben, sich mit zunehmendem Abstand von der Lasteintragungsstelle auf eine größere Fläche zu verteilen. Dadurch entstehen horizontale

Bild 6.18

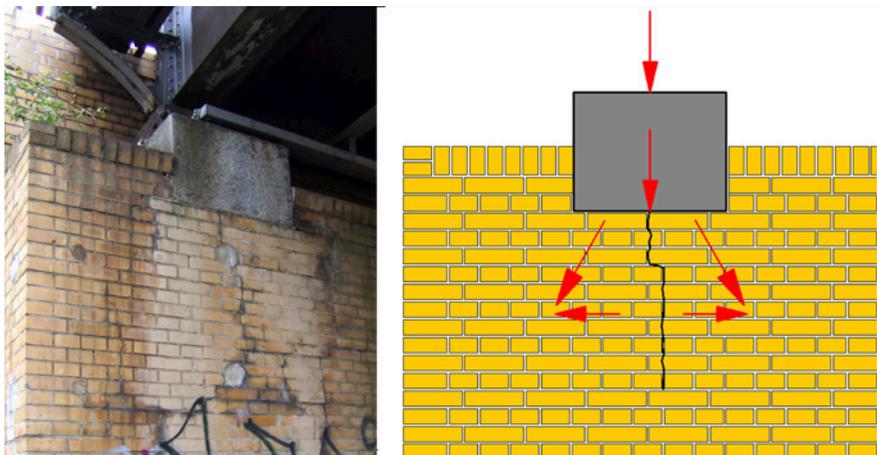
Rissursache unterschiedliche Sohlpressung unter den Fundamenten mit geringer Neigung und Schwindverkürzungen des Mauerwerks

Bild 6.19
Riss in der
Brüstung eines
Erdgeschoss-
fensters



Zugspannungen und damit ein vertikaler Riss. Diese Erscheinung gibt es auch z. B. unter den Dachsparrenaullagern, wenn dort nicht örtlich besseres Mauerwerk (Zementmörtel, höhere Steinfestigkeit) verwendet wurde, oder unter Stahlträgern, die ihre Last ins Mauerwerk abgeben. Die Wirkung solcher konzentrierten Lasten kann man mit der Wirkung eines Beils beim Spalten eines Holzklotzes vergleichen. Die Spaltwirkung setzt Zugspannungen rechtwinklig zum Spalt voraus, die durch das keilförmig geformte Beil eingetragen werden.

Bild 6.20
Vertikaler Riss
unter einer
konzentrier-
ten Einzellast
(Auflager einer
Eisenbahn-
brücke)



SCHRÄGE RISSE IN GEMAUERTEN AUSSENWÄNDEN

Schräge Risse können unterschiedliche Ursachen haben. Das macht die Beurteilung der Rissursachen besonders schwer. Häufig verursachen ungleichmäßige → Setzungen schräge Einzelrisse. Bild 6.21 zeigt ein solches Beispiel. Der Giebel ist mit einem Teil der Längsfassade abgerissen und hat sich gesetzt. Die Risse sind noch so fein, dass der obere (links) nachgezeichnet werden musste, um ihn auf dem Foto sichtbar zu machen.

Setzungsrisse verlaufen oft durch die Fensteröffnungen, die als Schwächung der Wandflächen bei Zugbeanspruchungen wirken. Bild 6.22 zeigt ein solches Beispiel. Der Schrägriss beginnt an einer Fensterecke und verläuft diagonal in die andere Ecke. Hingewiesen sei auf die große Rissbreite – eine Besonderheit der Setzungsrisse. Einseitige → Setzungen eines Gebäudes verursachen Schrägrisse in den Wänden, die nur nach einer Richtung geneigt sind. Bild 6.23 zeigt ein solches Rissbild, allerdings aus einer Baugrundhebung. Hebungen des Baugrunds sind hauptsächlich durch Bergbautätigkeit verursacht, die schon einige Jahrzehnte zurückliegt. Obwohl die Hebungsrichtung der Setzungsbewegung entgegengesetzt ist, sind die Beanspruchungen des Bauwerks und die Rissbilder ähnlich.

Bild 6.21
Setzungsrisse in einem älteren Wohnhaus (der obere Riss ist nachgezeichnet)

Bild 6.22
Auffälliger Setzungsrisss schräg von der Fensterecke oben zur Türecke unten

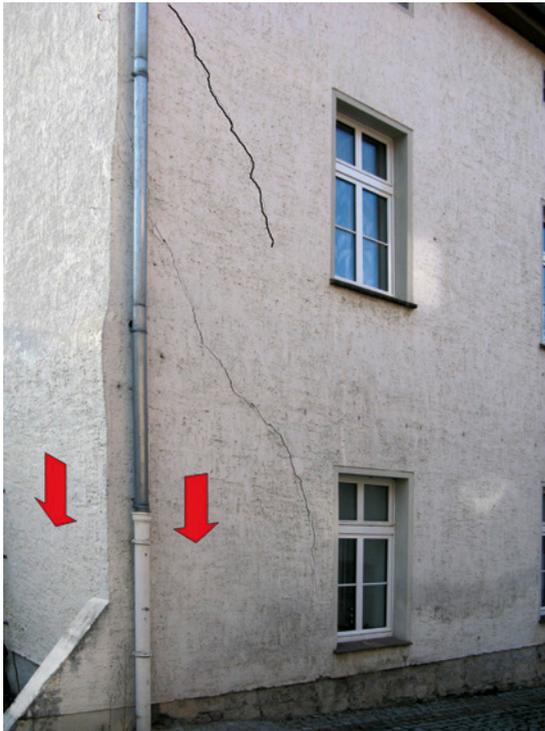


Bild 6.23

Rissbild in einem gemauerten Giebel durch eine Baugrundhebung (Pfeil), Risse nachgezeichnet



Bei einseitiger → Setzung kann es auch zum Abkippen eines ganzen Gebäudeteils kommen (Bild 6.24). Der entstehende, vertikal orientierte Riss ist keilförmig nach oben geöffnet und endet unten etwa im Drehpunkt der Bewegung.

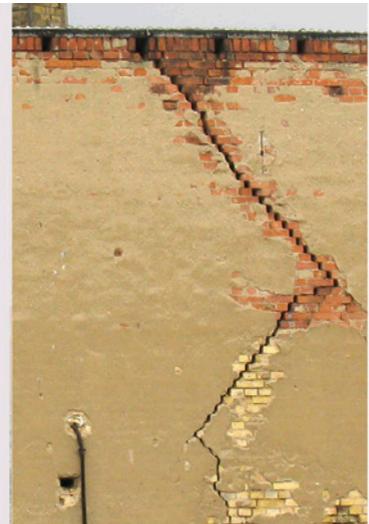
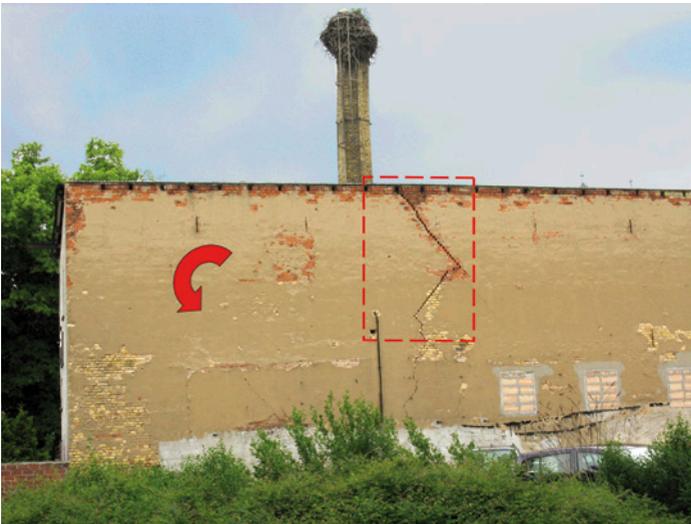
Am Ausschnitt aus dem linken Bild (rechts) erkennt man, dass sich die Steine nur horizontal verschoben haben. Eine Vertikalbewegung gibt es nicht. Bemerkenswert ist auch der schräg abgetreppte Rissverlauf. Tatsächlich wäre es bei einem homogenen Baustoff ein vertikaler Riss. Da die horizontale Zugfestigkeit

Bild 6.24

Keilförmiger Riss durch eine Kippbewegung des linken Gebäudeteils

des Mörtels viel kleiner als die der Steine ist, sind die (vertikalen) Stoßfugen gerissen. Dort, wo ein einzelner Stein die schräge Linie gekreuzt hat, ist er schräg gerissen.

Auch unter Lasteinwirkung kommen schräge Risse vor. Unter der Last drückt sich das Mauerwerk um einen kleinen Betrag zusammen. Da die un-



mittelbar benachbarten Bereiche diese Bewegung zwangsläufig mitmachen müssen, verteilt sich die Last mit zunehmendem vertikalem Abstand von der Lasteinleitungsstelle auf eine immer größere Breite. So entsteht eine schräge Lastkomponente, die einen Querkzug zur Umlenkung benötigt.

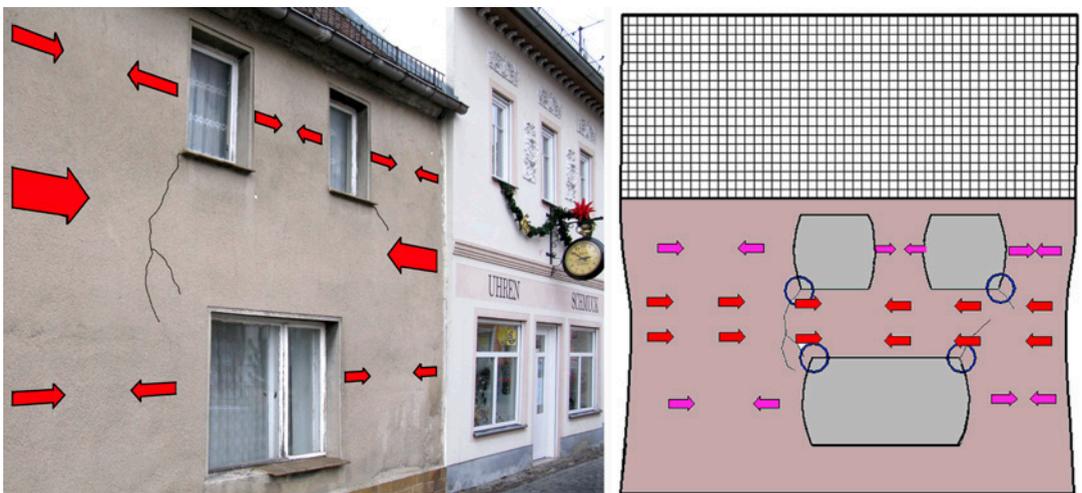
RISSE AN WANDÖFFNUNGEN

Wandöffnungen sind Schwächungen der Wandfläche und deshalb bevorzugte Ausgangspunkte für Risse. Man sieht häufig Risse in Fassaden, die ihren Ausgangspunkt an einer Ecke einer Fenster- oder Türöffnung haben. Woher kommen die Zugspannungen in der Wand? Bild 6.25 zeigt die Fassade eines zweigeschossigen Wohnhauses mit zwei schräg nach unten verlaufenden Rissen im Brüstungsbereich.

Solche Risse entstehen durch horizontale → Dehnungen der Wand infolge Temperaturänderungen und Schwindverkürzungen. Die Bewegungsrichtung der Wandflächen bei Abkühlung ist durch rote Pfeile gekennzeichnet. Im Bereich ungestört durchlaufenden Fensterbrüstungen verlaufen die Zugspannungen ebenso ungestört über die Gebäudelänge von einem Giebel zum anderen.

In Höhe der Fensteröffnungen ist das nicht möglich. Dort können sich nur die jeweiligen Pfeilerflächen zwischen den Öffnungen verkürzen. Dadurch entstehen an den Fensterecken gegenläufige Zugspannungen. Die Fensterecken, bei denen gegenläufige Zugspannungen auftreten, sind mit kleinen Kreisen versehen. Man sieht am Foto links, dass die Risse auch dort ihren Ausgangspunkt haben. Verdeutlicht wird das auch dadurch, dass im mittleren Pfeiler im Obergeschoss die Zugspannungen an den Ecken in der gleichen Richtung verlaufen wie in der darunterliegenden Fensterbrüstung.

Bild 6.25
Risse in den Fensterecken, rechts: In den Kreisen verlaufen die Zugspannungen gegenläufig



6.4 BESONDERHEITEN DER AUSSTEIFUNG VON GEBÄUDEN MIT HOLZBALLENDECKEN BEZÜGLICH DER RISSGEFAHR

Wände und Decken von Häusern haben neben ihren tragenden und umhüllenden Funktionen auch eine Bedeutung für die Aussteifung und Stabilisierung des gesamten Hauses. Aussteifung heißt, dass das Gebäude als Ganzes steifer wird und sich weniger verformen kann. → Verformungen sind meist mit der Bildung von Rissen verbunden. Deswegen gibt es konstruktive Regeln, um Gebäude auszusteifen. Wenn die Aussteifung nicht richtig funktioniert, können Risse entstehen, deren Ursache bei oberflächlicher Betrachtung nicht zu finden ist. Deshalb sollen in diesem Abschnitt dazu einige Ausführungen gemacht werden.

Die tragenden Wände eines Gebäudes haben zwei wesentliche Aufgaben:

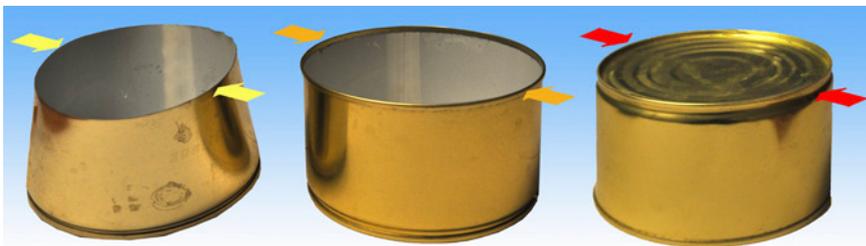
- Sie müssen alle vertikalen Lasten in die Fundamente leiten. Das sind die → Eigenlasten des Daches, der Decken und der Wände selbst. Dazu kommen die → Nutz- oder Verkehrslasten, die nicht ständig wirken, wie Personen und Einrichtungsgegenstände und Schnee. Dadurch entstehen vertikale → Druckspannungen in den Wänden. wofür Beton und Mauerwerk mit ihrer im Vergleich zur Zugfestigkeit großen Druckfestigkeit gut geeignet sind.
- Sie müssen horizontale Lasten ohne große → Verformungen aufnehmen und in die Fundamente leiten. Das sind Lasten aus Wind, geringen Schiefstellungen und Maßtoleranzen. Dazu sind die Wände nur für Beanspruchungen in ihrer Ebene geeignet – sie wirken als ›Scheiben‹. Scheiben sind sehr steife Elemente, die nur geringe Verformungen der Gesamtkonstruktion zulassen und nur durch Kräfte in ihrer Ebene belastet werden.

Wie gefährlich eine unwirksame Gebäudeaussteifung sein kann, zeigt Bild 6.26. Beide Fotos zeigen aus ihrer Flucht ausgewichene Wände, rechts sogar an einem Fachwerkhaus. Links sind an einer älteren Scheune die Längswände nicht durch eine Decke oder einen Ringanker gehalten. Die Wand hat sich so verformt, dass ein Absturz der nach außen geneigten Teilfläche zu befürchten ist. Eine Instandsetzung der gefährdeten Wand ist nicht durch Rissinjektion oder dgl., sondern nur durch nachträglichen Einbau von Aussteifungselementen möglich.

**Bild 6.26**

Ausgewichene Längswand (links) und Decke über dem Erdgeschoss (rechts) infolge einer fehlenden Einbindung der Wand in das Aussteifungssystem

Im rechten Foto ist die Wand in Höhe der Erdgeschossdecke ausgewichen, obwohl die Fachwerkbalken allein schon eine gewisse Aussteifung bewirken. Aussteifung bedeutet, dass Bauteile so miteinander verbunden werden, dass steife räumliche Gebilde entstehen. Die Möglichkeiten zur Aussteifung von Wandoberseiten zeigt schematisch Bild 6.27 an Hand von Blechbüchsen. Der freie obere Rand einer Wand ist weich und gegen horizontale Beanspruchung nachgiebig, Große \rightarrow Verformungen sind die Folge (Büchse links). Die Büchse in der Mitte hat einen oberen Metallrand, der schon eine gute Aussteifung bewirkt. Am besten ist die Aussteifung der Wandoberseiten durch eine kreisrunde Scheibe, in diesem Falle einen passenden Deckel. Sie gestattet bei vergleichbaren Kräften nur sehr kleine Verformungen (rechts im Bild 6.27).

**Bild 6.27**

Aussteifende Wirkung von Ringbalken und Deckenscheibe; links: ein freier oberer Rand ist leicht verformbar, Mitte: Versteifung des Randes durch eine Rippe (ähnlich einem Ringbalken im Gebäude) ist eine wirksame Aussteifung; rechts: eine obere Scheibe ist die beste Aussteifung

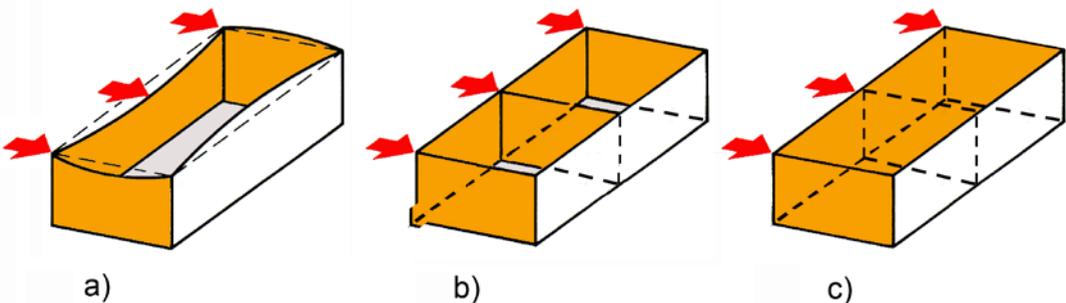
In Bild 6.28 sind die Grundelemente der Aussteifung eines Gebäudes gegenüber horizontalen Lasten (Wind, geringe Schiefstellung) schematisch dargestellt. Unter a) ist ein nicht ausgesteifter Baukörper zu sehen, bei dem es relativ große → Verformungen der Wände an der freien Wandoberseite gibt. Unter b) ist eine Aussteifung durch Querwände dargestellt. Die freien Wandoberseiten sind kürzer und damit auch steifer geworden. Die Verformungen der freien Ränder sind kleiner. Unter c) ist durch Einbeziehung der Decke ein räumlich steifer Baukörper entstanden, der in allen drei Richtungen des Raumes ausgesteift und stabil ist. Solche steifen prismatischen Baukörper entstehen durch Verbindung von Wänden und Decken und durch eine steife Ausbildung der Decken als Scheiben. Es ist auch üblich, die Wandoberseiten durch aufbetonierte sog. Ringbalken zu versteifen. Sie haben eine ähnliche versteifende Wirkung wie die Büchse in Bild 6.27 Mitte.

Am günstigsten für die Aussteifung sind Stahlbetondecken, weil sie für horizontale Lasten sehr steife Scheiben sind. Sie müssen nur in geeigneter Weise mit den Wänden verbunden werden, so dass der Baukörper wie ein steifes hohles Prisma wirkt. Das kann z. B. durch eine am Deckenrand umlaufende → Bewehrung oder durch Ringbalken oder Ringanker erreicht werden, die in der Nähe der Decke horizontal verlaufen. Decke und Ringanker aus Stahlbeton bedeuten im Kontakt mit den unterschiedlichen Mauerwerkarten Verformungsdifferenzen vor allem durch unterschiedliche Schwindmaße (vgl. Tabelle 6.1).

Gebäude, die keine Stahlbetondecken besitzen, müssen anders aussteift werden. Die wichtigste Deckenart, die im Hochbau bis etwa zur Mitte des vorigen Jahrhunderts vorherrschte, war die Holzbalkendecke. Bei älteren Wohngebäuden, die in der Bundesrepublik Deutschland einen hohen Anteil am Wohnungsbestand bilden, überwiegen solche Holzbalkendecken. Sie – sind nicht so steif wie Stahlbetondecken, können aber mit Hilfe von Mauerankern ebenfalls zur Aussteifung von Gebäuden herangezogen werden.

Wenn Holzbalkendecken eine aussteifende Wirkung haben sollen, dann müssen sie so ausgebildet werden, dass sie in jeder Richtung gegen

Bild 6.28
Elemente für
die Aussteifung
eines Gebäudes





horizontale Lasten wie steife Scheiben wirken. Die Decken werden daher so konstruiert, dass die einander gegenüberliegenden Wände über einzelne Deckenbalken (i. d. R. jeder 4. Balken) miteinander verbunden werden. Außerdem werden sie durch eiserne Anker verstärkt, die die gesamte Balkenlage zu einer einheitlichen Scheibe zugfest verbinden. Die Ankerplatten und die Verankerung selbst sind häufig sichtbar (Bild 6.29 und Bild 6.32) und manchmal als Zierelemente gestaltet worden.

Auf dem rechten Foto in Bild 6.29 sind vier Maueranker durch den Abbruch eines Gebäudeteils freigelegt worden (rote Pfeile). Sie liegen in der Decke und haben die Aufgabe, gegenüberliegende Giebel zugfest miteinander zu verbinden. Im vorliegenden Fall sind sie auf einer Seite nicht mehr verankert, sodass sie funktionsuntüchtig geworden sind.

Eine funktionstüchtige zugfeste Verbindung der Wände in Höhe der Geschossdecken ist eine wichtige Voraussetzung zur Aussteifung von Gebäuden. Selbst in Holzfachwerkhäusern kann man eine zugfeste Verbindung von Balken in Höhe der Decken finden (Bild 6.30).

Bild 6.29

In Längs- und Querrichtung angebrachte Maueranker stabilisieren die Gebäude



Bild 6.30

Zugfeste Verbindung von Balken in der Ebene der Erdgeschossdecke in Fachwerkhäusern



Wenn Maueranker fehlen oder im Laufe der Jahre ihre Wirkung verloren geht, können dadurch in den Wänden Risse entstehen. Es sind vertikal orientierte Risse in den Fassaden. Sie verlaufen meist durch die Fensteröffnungen als natürliche Schwächung der Wandfläche. Sie entstehen durch → Schwinden und Wärmeeinwirkung, wenn die Abkühlung einer zuvor gedehnten Wand z. B. durch die Decke behindert wird. Die Decken behindern Wandverformungen in ihrer Ebene, also horizontale Längenänderungen. Dadurch entstehen horizontale Zugspannungen in der Wand, die vertikale Risse verursachen.

In mittelalterlichen Städten findet man wahrscheinlich aus Kostengründen an Stelle der Zuganker auch flache Stützbögen zwischen Häusern (Bild 6.31), die in kurzen Abständen zueinander

Bild 6.31
Stützbögen zwischen zwei Häusern dienen ebenfalls zur Gebäudeaussteifung



Bild 6.32
Nachträglich eingebauter Anker mit Spannungsmöglichkeit durch Gewinde und Mutter

stehen. Der schmale Durchgang zwischen den Häusern wird damit überbrückt, wichtiger ist jedoch die gegenseitige Stützfunktion der Gebäude und damit die Längsaussteifung. Beim Abbruch eines solchen Hauses sind vorher Sicherungsmaßnahmen am verbleibenden Gebäude durchzuführen.

Mit Mauerankern kann man nachträglich Gebäude versteifen und stabilisieren, wenn es keine Aussteifung gibt oder sie ihre Wirkung verloren hat. Bild 6.32 zeigt nachträglich eingebaute Maueranker, mit denen sogar Natursteinmauerwerk einerseits und Ziegelmauerwerk andererseits verankert wird.

Wenn die Anker in einem Gebäude fehlen, kann darin die Ursache einer Rissbildung liegen. Vor allem vertikale Risse in Außenwänden deuten auf diese Rissursache hin. Die Ursache der Risse in Bild 6.34 sind vermutlich fehlende Maueranker. Anker können auch so ausgebildet sein, dass man sie von außen nicht wahrnehmen kann. Dann ist ein größerer Aufwand erforderlich, um sie bei baulichen Veränderungen festzustellen.

6.5 BESONDERHEITEN DER RISSBILDUNG IN GEMAUERTEN AUSSENWÄNDEN BEI GEBÄUDEN MIT HOLZBALKENDECKEN

Bild 6.33

Von den Längswänden abgerissener Giebel in Natursteinmauerwerk

Wohngebäude, die bis etwa zur Mitte des letzten Jahrhunderts gebaut wurden, besitzen häufig Holzbalkendecken. Gegenüber vertikalen Lasten verhalten sie sich ähnlich wie neuere Gebäude mit Stahlbetondecken. Für die Aussteifung gegenüber horizontalen Lasten (Wind, Schrägstellungen) müssen diese Decken ebenso wie die Stahlbetondecken dauerhaft und kraftschlüssig mit den Außenwänden verbunden werden. Damit soll verhindert werden, dass sich die Außenwände unabhängig von den Decken nach außen bewegen und so die Gesamtstabilität des Hauses gesichert wird.

Wenn das nicht oder nicht mehr gegeben ist, dann reißt im Laufe der Zeit z. B. der Giebel von den Längswänden ab, wie das in Bild 6.33 an einem alten Gebäude zu sehen ist, das überwiegend aus Natursteinmauerwerk besteht.



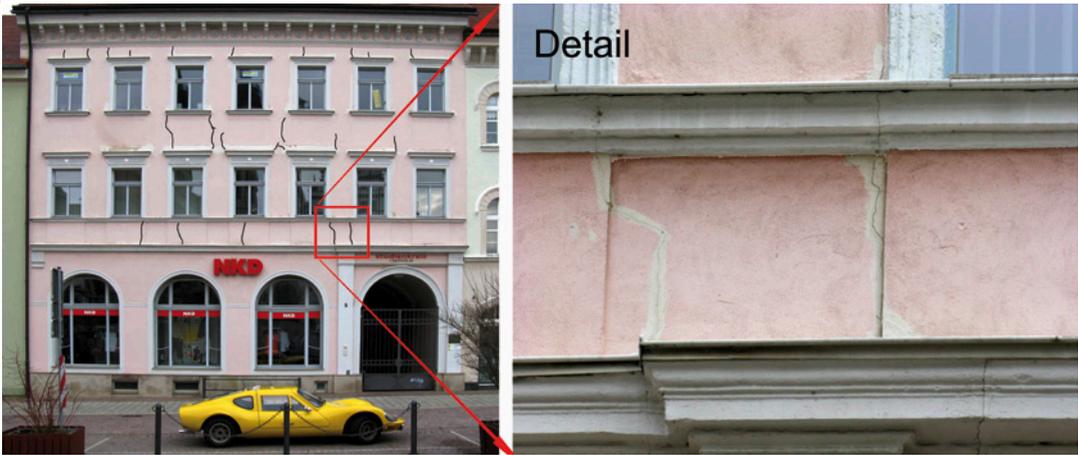


Bild 6.34
Vertikale Risse
in einer Altbau-
fassade
(Risse links
nachgezeichnet,
rechts Detail)

Man vermeidet das durch eine scheibenartige Ausbildung der Decke und eine gute Verbindung von Decke und Außenwänden. Wichtigste Konstruktionselemente dafür sind Maueranker aus Eisen oder Stahl, die durch das gesamte Gebäude verlaufen und gegenüberliegende Wände untereinander und mit der Decke verbinden.

Wie sich eine unzureichende oder nicht mehr funktionstüchtige Verbindung von Decken und Giebelwänden auswirkt, zeigt Bild 6.34. Die Fassade kann sich durch Temperatureinwirkung mit geringen Behinderungen ausdehnen. Bei der Abkühlung wird die Wand durch die Decken an der Verkürzung behindert und reißt. Durch die vielen Fenster in zwei Etagen und

Bild 6.35
Nachträglich
eingebaute Zug-
anker in einer
Außenwand zur
Instandsetzung
nach Riss-
bildung



die im Erdgeschoss liegenden größeren Wandöffnungen sind die potenziellen Schwachstellen für die vertikalen Risse vorgegeben. Die Risse verlaufen senkrecht von Fenster zu Fenster.

Im Detailausschnitt rechts erkennt man die vergeblichen Ausbesserungsversuche. Die Risse wurden mit einem von der Fassadenfarbe abweichenden Material verspachtelt. Danach haben sie sich erneut geöffnet und hatten zum Zeitpunkt der Fotoaufnahme eine geringe Rissbreite.

Wenn es Anzeichen für eine nicht mehr funktionstüchtige Verankerung der Wände mit den Decken gibt – das können Risse sein wie in Bild 6.34 – dann kann man die bedrohte → Standsicherheit solcher Gebäude durch nachträglich einzubauende Maueranker wieder herstellen (Bild 6.35).

Es gibt auch Situationen, wo bereits beim Bauen des Hauses ohne Anker gearbeitet wurde. Bei älteren Gebäuden hat man wahrscheinlich aus Kostengründen die Anker manchmal eingespart und die Häuser gegeneinander abgestützt. Eine gesamte Häuserzeile ist dann so gebaut worden, dass die Häuser dicht aneinander stehen und keine Verankerung in sich benötigen, solange alle Häuser stehen. Wird aber ein innen liegendes Haus abgebrochen, entsteht ein Aussteifungsproblem für die benachbarten Gebäude.

6.6 RISSE IN TRAGENDE INNENWÄNDE

Tragende Innenwände werden häufig aus anderem Mauerwerk als die Außenwände errichtet. Jedes Mauerwerk hat sein eigenes → Endschwindmaß. So kann es in den Kontaktflächen zu Schwinddifferenzen kommen, die sich in Rissen äußern.

In Bild 6.36 ist ein Beispiel für unterschiedliche Wandmaterialien angegeben. Der Riss entsteht immer in der Wand, deren Verkürzung behindert wird. Nur in ihr entstehen Zugspannungen, während die angrenzende Wand → Druckspannungen erhält, die ohne Rissbildung ertragen werden. Die Rissformen unterscheiden sich je nach Wandmaterial erheblich voneinander. In der linken Bildhälfte in Bild 6.36 ist die Kombination Ziegelwand als Außenwand / Kalksandsteinwand als Innenwand gezeichnet. Links ist unter a) der Ausgangszustand nach dem Mauern dargestellt, daneben unter b) der idealisierte Endzustand mit einer gedachten Trennung der beiden Wände. Dadurch könnte sich die Verkürzung durch → Schwinden in vertikaler Richtung unbehindert vollziehen. In diesem Teilbild sind auch die Zwangkräfte angegeben, die notwendig sind, um die geometrische Übereinstimmung der beiden Wandhöhen herzustellen. Die beiden rechten Teilbilder c) und d) zeigen das Ergebnis der behinderten → Dehnung mit einem oder zwei Rissen in der Innenwand.

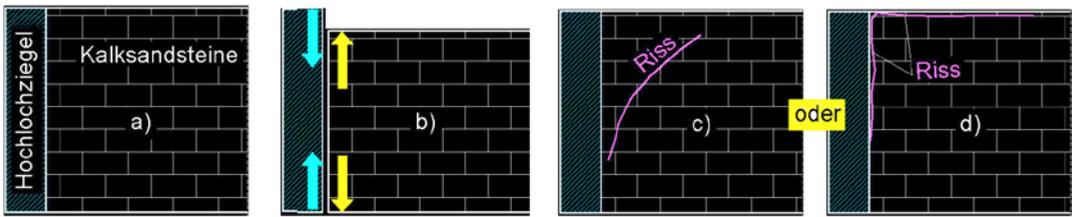


Bild 6.36
Rissform bei der Kombination unterschiedlicher Wandbaustoffe

Zu beachten ist, dass diese Betrachtung nur etagenweise möglich ist, weil die Wände von Etage zu Etage immer auf der zugehörigen Decke stehen. Dadurch kann sich die Schwinddifferenz nicht über die Gebäudehöhe summieren. In Bild 6.37 ist das Rissbild – für den Fall Ziegelwand außen und Kalksandsteinwand innen rechtwinklig angebunden – dargestellt. Es entspricht dem Teilbild d) in Bild 6.36.

Bild 6.37
Die Kalksandsteinwand reißt von der Außenwand aus Ziegelmauerwerk und von der Decke ab

Eine andere Rissform kommt an geputzten Innenwänden vor, in die eine Decke nur von einer Seite einbindet. Das trifft z. B. auf Wände in Treppenhäusern zu (Bild 6.38), in die von der anderen Seite eine Decke einbindet. In der Nähe der Außenwand ist die Schwinddifferenz zwischen Stahlbetondecke und Innenwand am größten, was zu einer geringen Verschiebung der Decke gegenüber der Wand führt. Innerhalb der Wand entsteht ein horizontaler Riss analog zu Bild 6.11. Das kann zu einer Rissform wie in Bild 6.38 führen (Schubriss).

Die erforderliche Horizontalverschiebung (Schwinddifferenz) ist durch diese Rissform über die Deckenhöhe möglich. Die Schrägrisse befinden sich im Putz, der sich teilweise vom Untergrund ablöst. Ein Schubriss mit sägezahnartigen kurzen, parallelen Schrägrissen im Putz entsteht auch, wenn z. B. eine Stahlbetonstütze in eine Wand eingemauert wird (vgl. Bild 2.16).

An der Neigung der Risse von unten innen nach oben außen erkennt man die Richtung der Hauptdruckspannungen und rechtwinklig dazu die der Hauptzugspannungen. Sie entstehen durch die Schwindbewegung der Decke von außen nach innen, die an der Unterseite der Decke durch die darunter befindliche Wand behindert wird.

Da die Schwindverkürzung ein langsam über mehrere Jahre verlaufender Pro-





Bild 6.38
Schrägrisse in Deckenhöhe in einem Treppenhaus durch eine Schwinddifferenz (Risse nachgezeichnet, Pfeil zeigt in Bewegungsrichtung)

zess ist, entstehen solche Risse erst nach und nach. Bei der Abnahme des Hauses gibt es sie noch nicht oder sie liegen unter dem Putz. Der Putz verdeckt bereits entstandene Risse, wird aber bei noch neu entstehenden Rissen ebenfalls reißen. Deshalb empfiehlt es sich, eine (möglichst lange) Pause zwischen Rohbaufertigstellung und dem Putzen einzulegen. Wird spät geputzt, dann sind die bis dahin entstandenen Risse verdeckt.

Handelt es sich um lastbedingte Risse, dann gibt es auch nachträglich noch plastische Verformungen (→ Kriechen des Mauerwerks), die wie die Schwindverformungen viel Zeit zu ihrer Entstehung und Entwicklung benötigen. Bei Zwangsrissen, z. B. durch Schwindverkürzung der Decke, sind dann weniger oder keine neuen Risse zu erwarten als bei sofortigem Putzen.

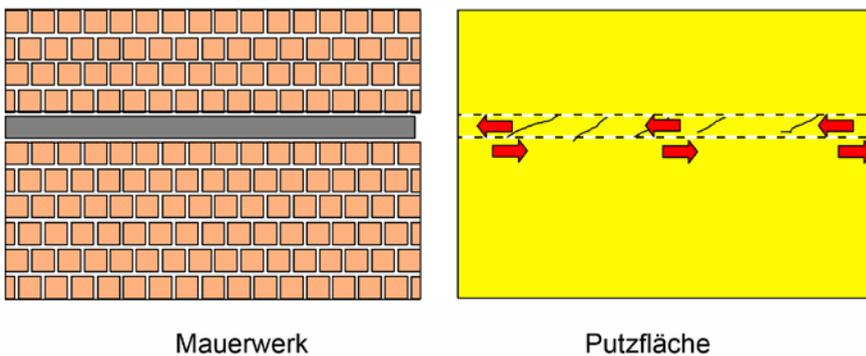


Bild 6.39
Sägezahnartige Risse in der Putzfläche über einem Riss, Rissursache: Schwinddifferenz zwischen Decke und Wand

Bild 6.40
Abgleich der
Schräge am
Giebel mit
Stahlbeton



Eine heute nicht mehr so häufig praktizierte ›Rationalisierung‹ für das Giebelmauerwerk ist der Abgleich der Schräge mit einem Stahlbetongurt, der passgerecht zugeschnittene Steine ersetzt und die Unebenheiten des Giebelmauerwerks in der Schräge ausgleicht.

Bild 6.41
Gemauerter
Giebel ohne
Stahlbetongurt



Bild 6.40 zeigt ein solches Beispiel. Es handelt sich hier allerdings um einen Rahmen aus Stahlbeton, der das neu auf ein altes Haus aufgestockte Geschoss aussteifen soll. Die Wirkung bezüglich der Rissgefährdung ist die gleiche wie bei einem einfachen Stahlbetongurt. Zwischen dem Ziegelmauerwerk und dem Stahlbetongurt entsteht allmählich eine Längendifferenz aus der Schwindverkürzung des Betons. Sie wird die Ursache für einen Riss in der Verbindungsfläche bilden. Dieser Riss wird erst nach Monaten oder vielleicht sogar erst nach einem Jahr sichtbar werden. Auch der horizontale Ringanker aus Stahlbeton unter der neuen Giebelwand ist wegen der → Standsicherheit unverzichtbar, wird aber zu Rissen führen, weil sich der Beton zwischen Natursteinmauerwerk und Ziegelwand durch → Schwinden verkürzen muss und dabei Risse entstehen.

Die richtige Lösung zeigt Bild 6.41. Die Wandschrägen sind wie die großen Flächen mit Ziegelmauerwerk gebildet worden. Die Ziegelsteine sind zwar aus unterschiedlichem Ausgangsmaterial, Schwinddifferenzen sind hier aber nicht zu erwarten.

6.7 RISSE IN NICHT TRAGENDEN INNENWÄNDEN

Nicht tragende Innenwände auf schlanken Stahlbetondecken führen häufig zu Rissen in den Wänden, die auf eine Differenz der Wand- und der Deckendurchbiegung zurückzuführen sind. In Bild 6.42 ist das Problem am Pappmodell veranschaulicht. Die schlanke Decke biegt sich unter der Eigen- und der Nutzlast (durch die Figur dargestellt) sichtbar durch. Die nicht tragende Innenwand ist wegen ihrer großen Höhe im ungerissenen Zustand viel steifer und kann dieser Durchbiegung nicht folgen.

An der Kontaktlinie entsteht eine Durchbiegungsdifferenz, die einen horizontalen Spalt erkennen lässt, solange die nicht tragende Innenwand ungerissen ist. Die nicht tragende Wand hat zwar nur sich selbst zu tragen, ist aber dafür nicht konstruiert und versagt durch unplanmäßige Zugspannungen.

Links im Bild sieht man die Durchbiegungsdifferenz zwischen Wand und Decke. Ein solcher Zustand ist nur möglich, wenn sich die Wand selbst tragen kann. An der Unterseite der Wand entstehen horizontale Zugspannungen wie in einem Balken, die zum teilweisen Versagen führen können. Rechts im Bild hat sich zwischen den beiden Auflagerpunkten, an denen sich auch die Decke nicht durchbiegen kann, ein Bogen gebildet, von dem der darunter befindliche Teil der Wand abgerissen ist und auf der Decke

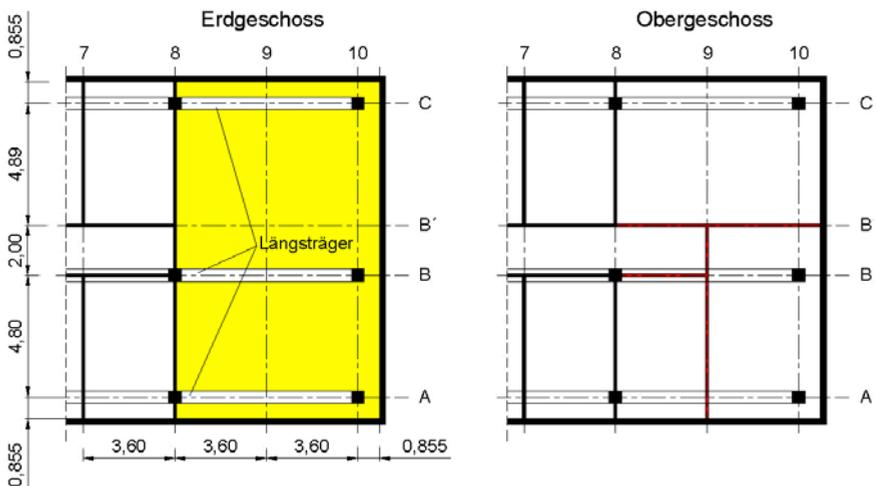


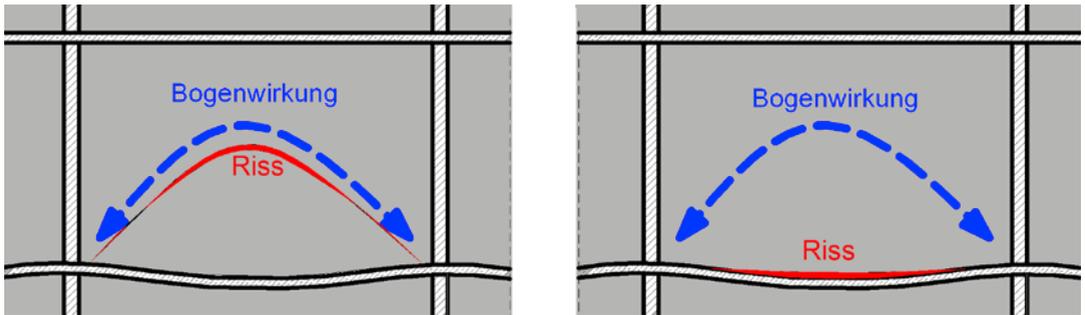
Bild 6.42
Risse durch größere Durchbiegung der schlanken Decke an der Wandunterseite (Pfeile links) oder bogenförmig (Pfeile rechts)

liegt. So entsteht ein bogenförmiger Riss, der je nach der Größe der Verformungsdifferenz mehr oder weniger ausgeprägt ist. Der bogenförmige Riss entsteht nur in einer Wand ohne Fenster- bzw. Türöffnungen. Öffnungen können ein anderes Rissbild erzwingen, das immer auf die vertikale Durchbiegungsdifferenz zurückzuführen ist. In den folgenden Bildern kann man das verfolgen.

An einem Beispiel soll die Wirkung erläutert werden (Bild 6.43). Das Bild zeigt einen Teil des Grundrisses des betroffenen Gebäudes im Erd- und Obergeschoss. Im Erdgeschoss wurde ein größerer, stützenfreier Raum vorgesehen, der durch Überbrückung der Achse 9 mit sehr schlanken Längsträgern zwischen den Achsen 8 und 10 gewonnen wurde, im Bild gelb angelegt. Im Obergeschoss befinden sich über diesem Raum mehrere kleine Laborräume. Zur Unterteilung der Fläche in die kleineren Räume wurden leichte, nicht tragende Trennwände verwendet, die auf der Decke stehen.

Bild 6.43
Grundrisse des Erd- und des Obergeschosses für das Beispiel; alle Innenwände sind leichte, nicht tragende Wände





In dem Stahlbetonskelettbau wurden als Längsträger mit einer Spannweite von $2 \times 3,60 = 7,20$ m sehr schlanke, \rightarrow schlaff bewehrte Stahlbetonfertigteile mit einer Trägerhöhe von nur 650 mm eingesetzt. Solche Träger haben relativ große Durchbiegungen von z.B. $1/200$ der Spannweite. Das entspräche hier $7200/200 = 36$ mm! Diese Durchbiegung stellt sich an mehreren Stellen ein, beispielsweise am Kreuzungspunkt der Achsen B und 9. Der Deckenträger mit der Stützweite von 7,20 m hat dort seine Mittelachse. Mit der Durchbiegung des Trägers gemeinsam mit der Decke verliert die Trennwand im mittleren Bereich ihr Auflager.

Die Folge ist, dass die Trennwand entweder unterhalb des Druckbogens sichelförmig abreißt (Bild 6.45 links, Bild 6.44) oder an der Unterseite im mittleren Bereich frei steht (Bild 6.44 rechts).

Bild 6.44
Große Deckendurchbiegung verursacht eine Bogentragwirkung in der Trennwand



Bild 6.45
Typische Bogenform des abgerissenen unteren Wandteils

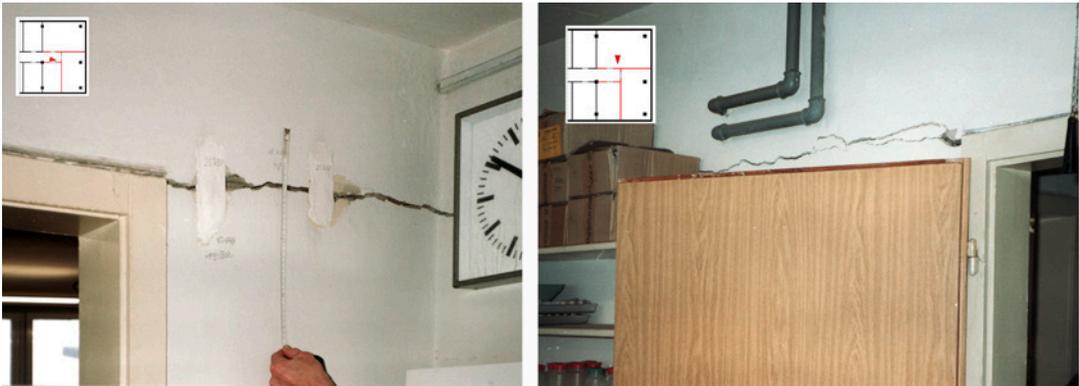


Bild 6.46
Horizontaler
Abriss des
unteren Wand-
teils etwas
oberhalb der
Decke; links
im Bild eine
Türöffnung mit
Türrahmen

Bild 6.44 zeigt den bogenförmigen Riss, mit dem der untere Teil der Wand wegen der Deckendurchbiegung abgerissen ist. Wenn sich in der leichten Trennwand eine Türöffnung befindet, kann sich meist kein Bogen ausbilden, weil das geometrisch nicht möglich ist. In diesem Fall kann ein Riss wie in Bild 6.46 und Bild 6.47 entstehen. Nicht immer sind die Risse in leichten Trennwänden auf einer schlanken Decke so ausgeprägt wie in dem erläuterten Beispiel. Die Rissbreiten leiten sich direkt aus der Deckendurchbiegung ab. Je größer sie ist, umso auffälliger und breiter sind die dadurch verursachten Risse.

In der Stahlbetonnorm DIN EN 1992-1-1 gibt es eine Begrenzung der Biegeschlankheit für Decken, um die geschilderten Rissprobleme zu vermeiden. Dazu sind zwei Formeln und einige Hilfwerte angegeben. Mit der Einhaltung der angegebenen Grenzwerte für die Biegeschlankheit kann die Durchbiegung von Biegebauteilen begrenzt werden.

Derartige Rissbildungen sind am einfachsten in der Planungsphase zu vermeiden. Dazu bestehen zwei Möglichkeiten

- Man bildet die Decke so dick aus, dass keine großen Durchbiegungen entstehen. Verwendet man an Stelle einer Deckendicke von 160 mm eine Dicke von 180 mm, dann reduzieren sich die rechnerischen Deckendurchbiegungen bei ansonsten gleichen Bedingungen von 100 % auf 73 % (Annahme ungerissener Stahlbeton). Bei einer weiteren Verstärkung auf 200 mm Deckendicke beträgt die rechnerische Durchbiegung nur noch 51 %.
- Man bildet die Wand so aus, dass die → Verformungen nicht sichtbar sind. Eine Bewegungsmöglichkeit zwischen Decke und Wand sowie eine weiche Wandkonstruktion, die auf der Decke liegen bleibt, ermöglichen das.



Bild 6.47
Horizontaler
Abriss des unteren
Wandteils
etwas oberhalb
der Decke; links
im Bild eine
Türöffnung mit
Türrahmen

Eine nachträgliche Lösung des Problems ist nicht möglich. Man kann die relativ großen → Verformungen nur verdecken, sie aber nicht mehr rückgängig machen. Mit der Instandsetzung der Risse muss man solange warten bis die Kriechverformungen abgeklungen sind (mehrere Jahre), sonst öffnen sich die Risse wieder.

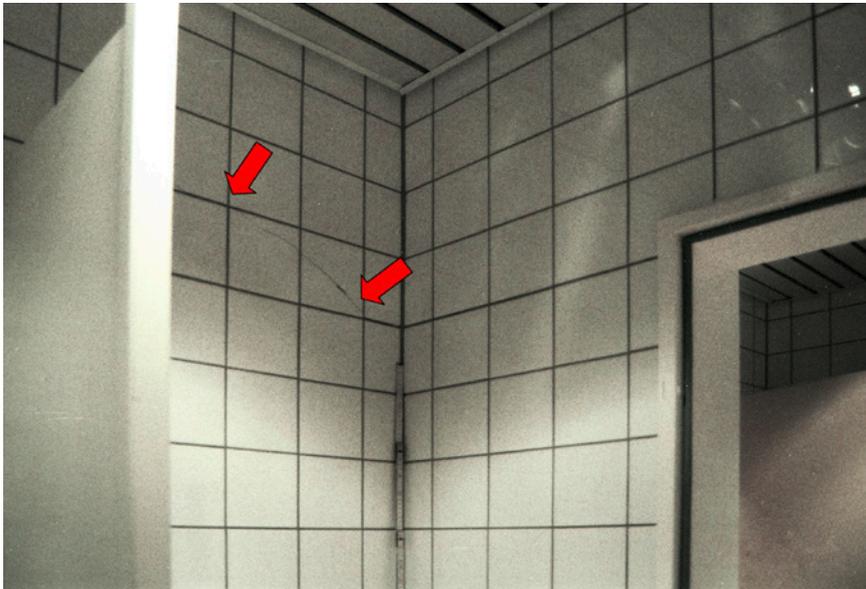


Bild 6.48
Selbst durch
die Fliesen hin-
durch zeichnet
sich der bogen-
förmige Riss ab

Bild 6.48 zeigt einen bogenförmigen Riss in einer gefliesten, nicht tragenden Innenwand. Er ist dadurch entstanden, dass die Decke sich durchgebogen hat, auf der die Wand steht. Der untere Wandteil ist abgerissen und steht nunmehr auf der durchgebogenen Decke.

7 RISSE IN WASSERUNDURCHLÄSSIGEN BAUWERKEN AUS BETON

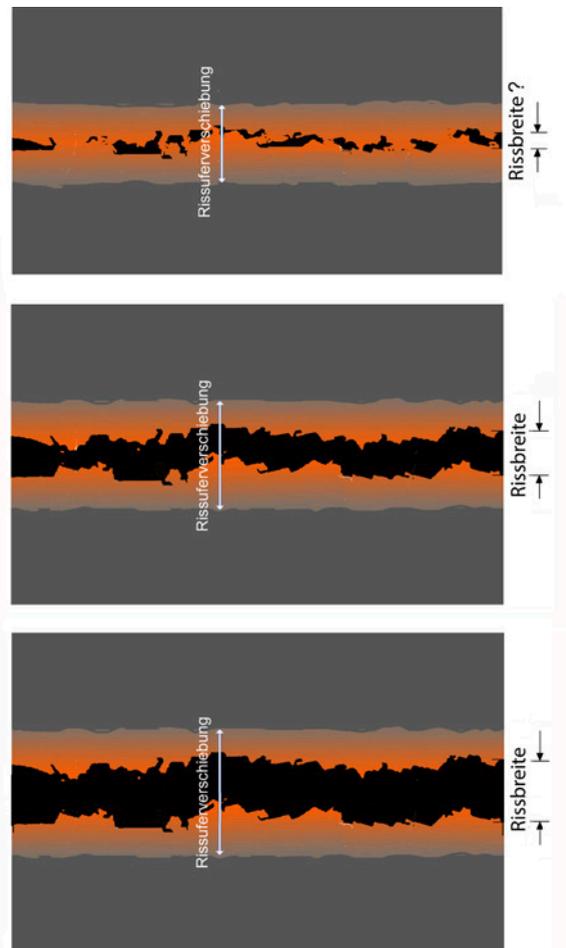
Risse in wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton (WU-Bauwerken) haben die Besonderheit, dass sie im Normenwerk für den Stahlbeton keine Erwähnung finden. Sie sind in der »DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton« [3] geregelt. Eigentlich sind sie Stahlbetonbauwerke mit einigen wenigen Besonderheiten und wurden schon Jahrzehnte vor der Herausgabe der WU-Richtlinie gebaut.

In der WU-Richtlinie [3] beträgt der größte Rechenwert der Rissbreite, bei der mit einer Selbstdichtung des wasserführenden Risses zu rechnen ist, $w=0,2$ mm. Außerdem sind Rechenwerte der Rissbreite von 0,1 mm und 0,15 mm geregelt. Das sind drei kleine Rissbreiten, bei denen die Spaltbreite in der gleichen Größenordnung liegt wie der irreversible Längenänderungsanteil der Auflockerungszone. Im Bild 7.1 ist das veranschaulicht. Im oberen Teilbild mit der kleinsten Rissuferverschiebung gehört der größere Teil der Rissuferverschiebung zur Auflockerungszone. Der eigentliche Risspalt ist relativ klein. Im mittleren Teilbild mit der etwas größeren Rissbreite sind die Anteile des Risspals und der Auflockerungszone an der Rissuferverschiebung etwa gleich groß. Je größer die Rissbreite ist, umso mehr nähern sich die Zahlenwerte der beiden »Rissbreiten« an (unteres Teilbild).

Der Rechenwert der Rissbreite ist als Differenz elastischer Längenänderungen von Bewehrungsstahl und Beton in einer Formel der DIN EN 1992-1-1

Bild 7.1

Der Trennriss mit unterschiedlichen Rissbreiten; die Auflockerungszone ist zur besseren Unterscheidbarkeit vom grauen Beton rötlich eingefärbt



definiert. Damit ist er der Rissuferverschiebung ähnlicher als der Rissbreite ohne den irreversiblen Längenänderungsanteil des Risses. Wenn das so ist, sind die Rechenwerte der Rissbreite in der WU-Richtlinie relativ ungenau. Das mag auch ein Grund dafür sein, dass sehr viel Bewehrung errechnet wird, wenn für kleine Rechenwerte der Rissbreite das genormte Rissbreitenberechnungsverfahren benutzt wird.

7.1 TRENNRISSE IN WÄNDEN UND BODENPLATTE SIND POTENZIELLE LECKSTELLEN IM WU-BAUWERK

Die Begriffe wasserundurchlässig und wasserdicht unterscheiden sich etwas in ihrer Bedeutung. Das sollte der Bauherr beachten. Bei einem wasserundurchlässigen Bauwerk können ein temporärer Wasserdurchtritt in geringer Menge oder Feuchtstellen an der Luftseite möglich sein, bei einem wasserdichten Bauwerk ist das auszuschließen.

Wasserundurchlässige Bauwerke aus Stahlbeton benötigen keine besonderen Abdichtungsmaßnahmen an der Konstruktion, wenn einige Vorkehrungen getroffen worden sind. Dazu gehören:

- Fugenloses Bauen oder zuverlässig dichte und funktionierende Bewegungs- und Arbeitsfugen;
- Funktionierende Abdichtung von Rohr- und Kabeldurchführungen durch Wände und Bodenplatten;
- Vermeidung von Trennrissen oder Begrenzung der Trennrissbreite auf eine für die Selbstdichtung/Selbtheilung geeignete Rissbreite. Trennrisse sind potenzielle Leckstellen, deren Selbstdichtung auch bei Rechenwerten der Rissbreite bis höchstens 0,2 mm (nach WU-Richtlinie) nicht garantiert werden kann. Das bedeutet, vor allem die Eigenverformungen der Konstruktion durch Schwinden und Temperaturänderung nicht oder möglichst wenig zu behindern. Lösungsansätze sind in Abschnitt 8.2 dargestellt. Ein gut konstruiertes WU-Bauwerk erkennt man daran, dass es die Eigenverformungen (Schwind- und Temperaturverkürzungen) wenig behindert und dass dadurch wenige Trennrisse zu erwarten sind.
- Gefügedichter, wasserundurchlässiger Beton. Die Anforderungen an die Wasserundurchlässigkeit sind mit den heute üblichen Betonfestigkeitsklassen ab C25/30 und bei einem w/z-Wert von höchstens 0,6 erfüllbar. Das ist nur eine Voraussetzung für die Wasserundurch-

lässigkeit. Die andere, ebenso wichtige ist, dass es keine Trennrisse im wasserberührten Teil des Bauwerks gibt.

7.2 DIE BESONDERHEITEN DES ENTWURFSGRUNDSATZES B UNTER NUTZUNG DER SELBSTDICHTUNG

Die WU-Richtlinie sieht drei Entwurfsgrundsätze vor, »um Risse zu beherrschen«:

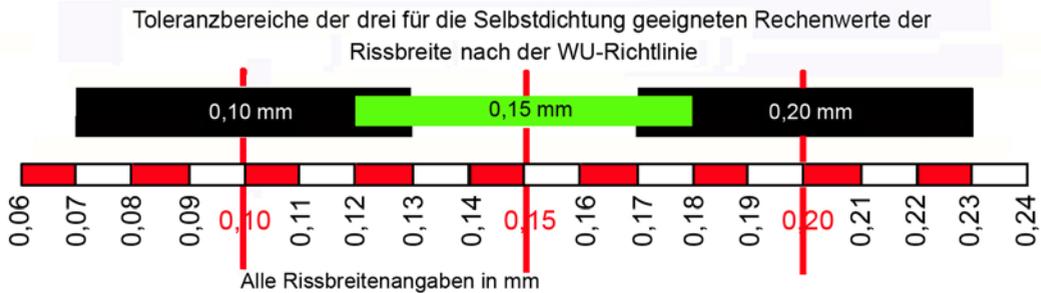
- a Vermeidung von Trennrissen
- b Festlegung von Trennrissbreiten, die so gewählt werden, dass bei Beanspruchungsklasse 1 (drückendes Wasser) der Wasserdurchtritt durch Selbstheilung begrenzt wird.
- c Festlegung von Trennrissbreiten, die in Kombination mit im Entwurf vorgesehenen planmäßigen Dichtmaßnahmen ... die Anforderungen erfüllen.

Risse spielen nur im Entwurfsgrundsatz **b** im Zusammenhang mit der Selbstdichtung eine Rolle. Deshalb wird hier nur dieser Entwurfsgrundsatz behandelt.

Maßgebende Einflussfaktoren für die Selbstdichtungswahrscheinlichkeit sind nach der WU-Richtlinie die Rissbreite und die Druckdifferenz zwischen Wasser- und Luftseite des gerissenen Bauteils mit der Druckwasserbeanspruchung. Die oberen Grenzen der beiden Größen sind ein **Rechenwert der Rissbreite** von 0,2 mm und eine Druckdifferenz von 10 mWS.

Während die Wasserdruckhöhe eine genau definierbare Größe ist, ist die Rissbreite eine unscharfe technische Größe, die nicht exakt definiert ist und für deren Messung es keine Prüfnorm gibt. Für den Begriff »Rissbreite« gibt es deshalb mehrere Bedeutungen mit unterschiedlichen Zahlenwerten für die gleiche Erscheinung [13].

Für die WU-Richtlinie wurde ein Selbstdichtungskriterium auf rein empirischem Weg mit Hilfe von Durchflussversuchen bestimmt [9]. Dazu musste an den Versuchskörpern eine definierte Rissbreite eingestellt werden. In [9] wurde der Mittelwert aus 12 optisch gemessenen Einzelmesswerten mit einer zulässigen Toleranz von jeweils $\pm 0,03$ mm benutzt. Dadurch tritt der Fall ein, dass z. B. die Rissbreiten 0,12 und 0,13 mm sowohl für den Rechenwert 0,10 mm als auch für 0,15 mm gelten. Die erforderliche Bewehrungsfläche unterscheidet sich für beide Fälle ganz erheblich, wenn statt mit einem Rechenwert der Rissbreite von 0,10 mm mit einem

**Bild 7.2**

Die für die Selbstdichtung nach der WU-Richtlinie empfohlenen Rechenwerte der Rissbreite 0,10 mm, 0,15 mm und 0,20 mm mit einer Toleranzbreite von $\pm 0,03$ mm (Edv1) und dadurch bedingte Überschneidungen der zulässigen Rechenwerte

Rechenwert von 0,15 mm gerechnet werden könnte. In Bild 7.2 sind die in der WU-Richtlinie enthaltenen Rissbreiten mit ihren Nenngrößen und den Toleranzbereichen dargestellt. Die Toleranzbereiche von $\pm 0,03$ mm ergaben sich in [9] dadurch, dass die optisch gemessenen 12 Rissbreitenmesswerte am Versuchskörper nicht genauer einstellbar waren.

Die Versuchsergebnisse aus [9] sind in die WU-Richtlinie eingeflossen und bis heute gültig. Sie sind nicht besonders zuverlässig, obwohl die Tabelle 2 in der WU-Richtlinie, die das Selbstdichtungskriterium enthält, exakt und zuverlässig erscheint. Das Selbstdichtungskriterium der WU-Richtlinie ist hier in Tabelle 7.1 wiedergegeben. Die Spalte 1 wurde durchgestrichen, weil sie keinen nachgewiesenen Einfluss auf die Selbstdichtung hat und auch aus der WU-Richtlinie entfernt werden sollte.

Das Selbstdichtungskriterium der WU-Richtlinie ist aus mehreren Gründen nicht besonderes zuverlässig:

- Die Toleranzbreite der in den Versuchen benutzten optisch gemessenen Rissbreiten von $\pm 0,03$ mm ist sehr reichlich bemessen. In die Durchflussformel von Hagen-Poiseuille geht die Rissbreite in der 3. Potenz ein. Die Ergebnisse von mit dieser Formel berechneten Durchflussmengen am Anfang des Durchflusses verhalten sich für den Mittelwert von 0,15 mm zum unteren tolerierten Wert von 0,12 mm wie $0,15^3/0,12^3 = 1,95$ oder als Kehrwert $0,12^3/0,15^3 = 0,51$. Das heißt, dass sich der berechnete Anfangsdurchfluss für den noch tolerierten unteren Wert der Rissbreite fast halbiert. Für den oberen Wert von 0,18 mm erhöht er sich auf 173 %. Das bedarf keines Kommentars angesichts der Rauigkeit der natürlich gebrochenen Rissuferflächen (vgl. Bild 7.2).
- Die experimentell gefundenen Rissbreiten, bei denen eine Selbstdichtung zu erwarten ist, wurden als ein Mittelwert von 12 realen Einzelmesswerten mit optischem Messgerät bestimmt und ohne

	1 Druckgefälle h_w/h_0^a	2 Maximale Druckhöhe h_w^a	3 Zulässige Rissbreite w_k^b
1	≤ 10	3,0 m	0,20 mm
2	> 10 bis ≤ 15	6,0 m	0,15 mm
3	> 15 bis ≤ 25	10,0 m	0,10 mm

a h_w = Druckhöhe des Wassers in m; h_0 = Bauteildicke in m

b Für angreifende Wässer mit $> 40 \text{ mg/l CO}_2$ (kalklösende Kohlensäure) oder mit pHWert $< 5,5$ darf die Selbstheilung der Risse nicht in Ansatz gebracht werden

Anpassung dem Rechenwert der Rissbreite gleichgesetzt. Von der Gleichsetzung von Mess- und Rechenwerten der Rissbreite wird in Veröffentlichungen aus dem Deutschen Ausschuss für Stahlbeton und aus dem Deutschen Beton- und Bautechnikverein nachdrücklich abgeraten, weil die unmittelbare Vergleichbarkeit nicht gegeben ist. Den Rechenwerten der Rissbreite kann kein realer Messwert gegenübergestellt werden [13]. Beispielsweise sei angeführt, dass die Rechenwerte der Rissbreite immer rechtwinklig zur Zugkrafttrichtung zu messen wären. Optisch gemessene Rissbreiten werden aber immer rechtwinklig zum tatsächlichen Rissverlauf gemessen und sind dadurch etwas kleiner (vgl. Bild 3.8).

- In der Rissbreitenberechnung bleiben die plastischen Längenänderungen bei der Bildung eines Risses unberücksichtigt.

Tabelle 7.1
Selbstdichtungs-Kriterium der WU-Richtlinie

7.3 MÖGLICHKEITEN ZUR REDUZIERUNG DES ZWANGS

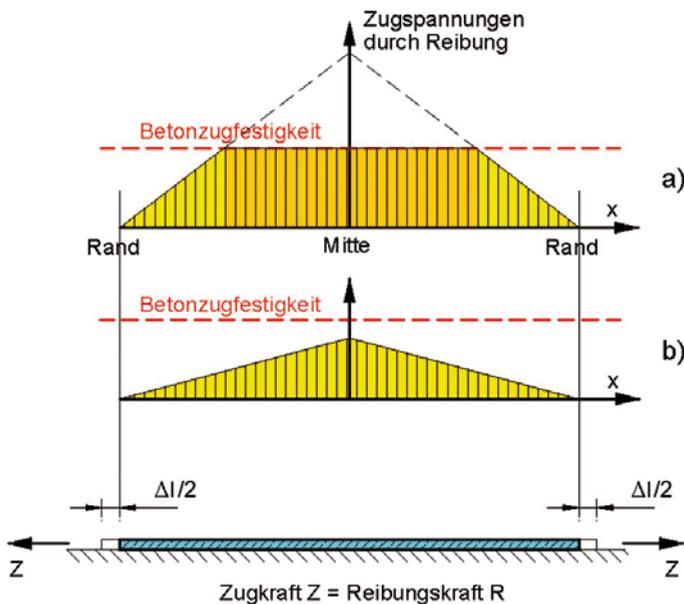
Hauptursache der für die Bildung von Rissen notwendigen Zugkräfte sind Zwangsspannungen. Zwang entsteht, wenn lastunabhängige Verformungen behindert werden (vgl. Abschnitt 4.3). Zugzwang, durch den Risse und insbesondere die undichten Trennrisse verursacht werden, entsteht überwiegend bei Behinderung von Bauteilverkürzungen durch Schwinden und Abkühlung der Bauteile. Solche Behinderungen lassen sich abschwächen oder ganz beseitigen, wenn entsprechende konstruktive Vorkehrungen getroffen werden. Einige Beispiele sollen genannt werden.

REIBUNGSVERMINDERUNG UNTER DER BODENPLATTE DURCH EBENE SAUBERKEITSSCHICHT UND/ODER KUNSTSTOFFFOLIEN UNTER DER PLATTE

Bodenplatten haben relativ große Abmessungen. Ihre Schwindverformungen können mehrere Millimeter betragen. Die Plattenverkürzung erfordert ein Gleiten der Bodenplatte auf der Unterlage zur Mitte hin, wodurch ein Reibungswiderstand mit entsprechenden Zugspannungen in der Platte entsteht (Bild 7.3).

In Bild 7.3 ist eine rechteckige Bodenplatte schematisch im Schnitt dargestellt (unten). Darüber sind die Zugspannungen infolge der durch Reibung behinderten Verkürzung der Platte angegeben. Sie verlaufen vom Rand (Zugspannung gleich null) stetig wachsend bis zur Mitte der Platte. Im Fall a) übersteigen die Betonzugspannungen die Betonzugfestigkeit. Es entstehen im mittleren Bereich der Platte Trennrisse. Im Fall b) bleiben die Zugspannungen kleiner als die Betonzugfestigkeit, es entstehen keine Risse. Welcher der beiden Fälle eintritt, hängt von der Plattengröße und vom Reibungswiderstand des Untergrunds ab. Letzteren kann man beeinflussen, die Plattengröße nicht oder durch Unterteilung mit Bewegungsfugen, was bei WU-Bauwerken ungern gemacht wird. Fugen sind Risikostellen für die Dichtigkeit. Die Bodenplatte muss an ihrer Unterseite möglichst sehr eben sein, um den Reibungswiderstand zu minimieren. Man erreicht das dadurch, dass der Unterbeton besonders sorgfältig mit möglichst geringen Ebenheitstoleranzen herzustellen ist und dass in ihr keine Vertiefungen (z. B. Pumpen-

Bild 7.3
Reibungs-
widerstände
in einer
Bodenplatte



sümpfe) enthalten sind. Auf den ebenen Unterbeton legt man eine oder zwei Lagen Kunststoffolie zur Reibungsverminderung aus (Bild 7.4). Der Bohrkern in Bild 7.4 ist komplett in zwei Teile getrennt. Man erkennt das an dem Riss in der Bodenplatte, der an der Trennlage aus zwei Kunststofffolien endet.

Eine ebene Unterfläche der Bodenplatte wird nicht immer möglich sein. Z.B. kann ein Pumpensumpf notwendig sein. In dem Fall muss man die Verschiebung der Bodenplatte durch Abfließen der Abbindewärme sowie durch Schwinden des Betons ermöglichen. Bild 7.5 zeigt eine Lösungsmöglichkeit. In die Schalung des Pumpensumpfes stellt man vor dem Betonieren eine dauerbeständige, weiche Kunststoffplatte.

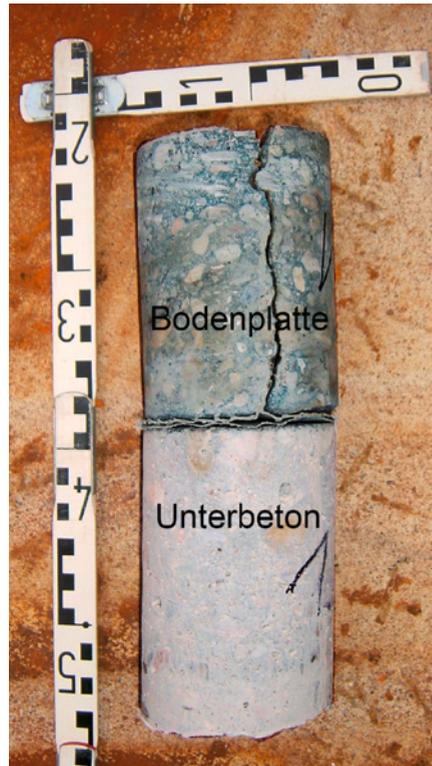


Bild 7.4

Bohrkern durch die Bodenplatte (oben, mit Riss) und den Unterbeton (unten)

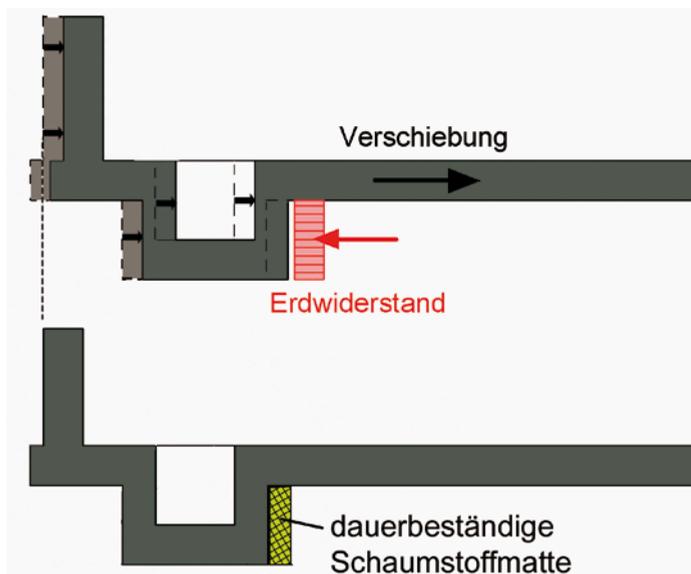


Bild 7.5

Pumpensumpf in einer Bodenplatte mit weicher Kunststoffplatte in der Bewegungsrichtung

VERHINDERUNG ODER VERMINDERUNG VON VERTIKALRISSEN IN DEN AUSSENWÄNDEN

Mit dem Betonieren einer Bodenplatte ist ein technologischer Abschnitt rohbaufertig, und es entsteht eine Pause im Arbeitsablauf, in der die Schalungs- und Bewehrungsarbeiten der Wände durchgeführt werden. In dieser Zeit erwärmt sich die Bodenplatte kurzzeitig wegen der Abbindewärme, die bei der Hydratation des Zementes entsteht. Nach wenigen Tagen ist die Wärme abgeflossen, der Beton hat die Umgebungstemperatur angenommen. Die Bodenplatte ist bei der Abkühlung etwas kürzer geworden, was wegen der relativ geringen Temperaturdifferenz keine nennenswerten Zugkräfte verursacht hat.

Wird nach z. B. einer Woche die Wand betoniert, wiederholt sich die Wärmeentwicklung beim Abbinden für den Wandbeton. Die notwendige Verkürzung der erhärteten Wand bei der Abkühlung wird in der Aufstandsfläche fast völlig behindert, was horizontale Zugspannungen in der Wand hervorruft. In Bild 5.9 und Bild 5.10 ist die Rissursache bereits erläutert worden.

Bei Rissen mit der Rissursache abfließende Abbindewärme spielen die Bedingungen und Umstände bei der Bauausführung eine große Rolle. Zementmenge und -art bestimmen die entstehende und damit auch abfließende Wärmemenge. Einen großen Einfluss hat die Frischbeton-

Bild 7.6

Undichte Vertikalrisse in der Außenwand einer Tiefgarage; Rissursache: abfließende Abbindewärme



temperatur, die man nur bedingt steuern kann. Aber schon die Wahl des Betonierzeitpunkts z. B. vor Beginn der Nacht hat Einfluss auf die Ausgangstemperatur vor der Erhärtungsphase mit der Betonerwärmung. Die Betonachbehandlung bestimmt das Tempo des Wärmeabflusses und damit das Temperaturgefälle im Bauteil. Bild 7.6 zeigt einen solchen Riss in einer Außenwand. Steht an der Wand außen Wasser an, dann wirkt der Riss als Leckstelle. Im günstigsten Fall schließt er sich durch Selbstdichtung.

7.4 WAS DER BAUHERR WISSEN SOLLTE

Weiße, schwarze und braune Wannen sind heute übliche Bezeichnungen für wasserdichte oder besser – wasserundurchlässige – Bauwerke, die im Grundwasser stehen. Früher wurden dichte Bauwerke nur durch das Aufbringen einer Abdichtungshaut oder einer Beschichtung gebaut. Heute gibt es auch dichte Bauwerke aus dem Konstruktionsmaterial, wenn der Baustoff selbst dicht ist. Je nach Art des Abdichtungsmaterials bestehen die weiße Wanne aus Beton, die schwarze Wanne aus bituminösen Bahnen auf einem tragfähigen Untergrund und die braune Wanne aus Bentonitmatten ebenfalls auf einem tragfähigen Untergrund. Weiße Wannen haben in den letzten Jahrzehnten viele Anwendungen gefunden, weil sie die Trag- und die Abdichtungsfunktionen vereinigen und dadurch wirtschaftliche Vorteile haben. Andere Abdichtungsarten brauchen einen tragfähigen Untergrund, auf den eine dichtende Beschichtung aufgebracht wird.

Eine Besonderheit der Trennrisse in WU-Bauwerken ist die Selbstdichtung wasserführender Risse, oft auch als Selbstheilung bezeichnet. Sie äußert sich so, dass nach längerem Durchfluss die transportierte Wassermenge stark abnimmt und der Durchfluss allmählich zum Erliegen kommt. Die Eignung zur Selbstdichtung von Trennrissen hängt hauptsächlich von der Rissbreite und vom Druckunterschied zwischen Wasser- und Luftseite ab. Sich selbst dichtende Risse haben Rissbreiten von 0,1 bis 0,2 mm, bei geringem Wasserdruck auch bis 0,25 mm. Experimentelle Untersuchungen zur Selbstdichtung wurden bis zu einem Druckunterschied von 10 m Wassersäule geführt. Gängige Druckunterschiede liegen bei 5 Meter Wassersäule. Die Selbstdichtung ist leider nicht zuverlässig vorherzusagen. Es ist möglich, dass sie versagt und dadurch eine Abdichtung mit Injektionen notwendig wird. Derartige Bauwerke erfordern eine überdurchschnittliche Sorgfalt bei der Herstellung.

Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton werden in zunehmendem Maße für eine anspruchsvolle Nutzung, z. B. für Wohnzwecke oder die Unterbringung von EDV-Technik im Keller genutzt. Das stellt höhere

bauphysikalische Anforderungen an das Bauwerk, um hohe Luftfeuchtigkeit und Tauwasserbildung zu vermeiden. Gleichzeitig wächst das Risiko, dass das Bauwerk nicht völlig dicht ist (staubtrocken). Die Schäden können dann entsprechend groß sein.

Weißer Wannen wurden viele Jahre ohne eine Norm oder andere technische Regel gebaut. Es sind Stahlbetonbauwerke, die bis auf die Dichtigkeitsfunktion geregelt sind. Die Dichtungsfunktion wurde aus anderen Regelwerken, z. B. für Fugenbänder, oder aus der Fachliteratur übernommen, z. B. Rissbreiten und Selbstdichtung. Heute gibt es die Richtlinie wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie [3]) des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. Sie enthält die notwendigen Regeln in zusammengefasster Form und hat Normcharakter, ohne eine Norm zu sein. Bezüglich des eigentlichen Selbstdichtungsvorgangs sind die Regelungen der WU-Richtlinie seit 2003, dem ersten Erscheinungsjahr der Richtlinie, bis heute unverändert geblieben.

In der Richtlinie werden zwei Nutzungsklassen für das WU-Bauwerk definiert. Sie unterscheiden sich dadurch, ob geringe Mengen Wasser von der Wasser- zur Luftseite gelangen können oder nicht. Tabelle 7.2 enthält eine kurze Beschreibung der Nutzungsklassen [3]. Welche Nutzungsklasse der Planung zugrunde gelegt wird, entscheidet der Bauherr z. B. nach Beratung durch den Planer. Wenn es nach Fertigstellung des Bauwerks Differenzen zwischen der erwarteten Dichtigkeit und der nicht ganz dichten Realität gibt, lassen sich die Ursachen und die Schuldfrage leichter ermitteln.

Bei WU-Bauwerken sollte sich der Bauherr in der Planungsphase gründlich von seinem Planungsbüro beraten lassen. Die Regelungen in der WU-Richtlinie sind heute vielfältig und verzweigt. Deshalb ist es im Interesse von Planungsbüro und Bauherr, klare und für beide Seiten verständliche Absprachen zu treffen. Das kann später langwierige Auseinandersetzungen und Ärger ersparen.

WU-Bauwerke können mit dem heutigen Wissen nicht zuverlässig wasserundurchlässig gebaut werden, Es können immer Umstände eintreten, die zur Trennrissbildung und damit zu Undichtigkeiten führen. Deshalb gibt es in der WU-Richtlinie den Abschnitt 12 »Dichten von Rissen und Instandsetzung von Fehlstellen«. Er ist anzuwenden, wenn die diesbezüglichen Anforderungen an das Bauwerk nicht erfüllt werden.

Ein Beispiel soll zur Veranschaulichung dienen. Eine Sporthalle eines Schulneubaues wurde etwa 3 m tief unter der Geländeoberfläche gegründet und steht dort überwiegend im drückenden Wasser. Der Teil, der unter der Geländeoberfläche liegt, wurde als WU-Bauwerk (weiße Wanne) geplant. Der Tragwerksplaner hat den Rissbreitennachweis vorschriftsmäßig geführt. Damit wird nachgewiesen, dass eine rechnerische Trennrissbreite von

0,15 mm eingehalten wird. Mit ihr wäre nach der WU-Richtlinie eine Selbstdichtung möglicher Risse wahrscheinlich, aber nicht sicher. Der Fußbodenaufbau sieht eine Elektroheizung vor, für die kein Wasserzutritt zulässig ist. Bei der Planung wurden zwei Umstände nicht beachtet:

- Die Selbstdichtung von Trennrissen tritt nicht immer zuverlässig ein. Während der Bauzeit war das wegen einer Grundwasserabsenkung auch nicht überprüfbar.
- Die Selbstdichtung funktioniert nur, nachdem längere Zeit, z. B. mehrere Wochen, Wasser durch den Riss geflossen ist. Das wäre erst nach Fertigstellung des Fußbodens und nach Abschaltung der Grundwasserabsenkung möglich. Die Katastrophe war ohne Vorsatz geplant.

Tabelle 7.2
Nutzungs-
klassen im
Vergleich nach
der WU-Richt-
linie [3]

Weder Bauherr noch Architekt hatten das bemerkt. Sie hatten sich nicht über die Nutzungsanforderungen abgestimmt, und der Bauherr hat keine dies-

Nutzungsklasse A	Nutzungsklasse B
Kein Durchtritt von flüssigem Wasser <ul style="list-style-type: none"> • keine Feuchtstellen durch Wasserdurchtritt ^{1), 2), 3)} • keine – auch nicht temporär – wasserführende Risse und Fugen 	Begrenzter Wasserdurchtritt zulässig <ul style="list-style-type: none"> • feuchte Flecken zulässig • temporär bis zur Selbstheilung wasserführende Risse, ⁴⁾ • Risse mit längerfristig feuchten Rissufern, jedoch keine Wasseransammlungen auf der wasserabgewandten Bauteiloberfläche ¹⁾
Anwendungsbeispiele <ul style="list-style-type: none"> • Standard für Wohnungsbau • Lagerräume mit hochwertiger Nutzung 	Anwendungsbeispiele <ul style="list-style-type: none"> • Einzelgaragen, Tiefgaragen • Installations- und Versorgungsschächte und -kanäle • Lagerräume mit geringen Anforderungen

- 1) Bei Wassertropfen auf der Bauteiloberfläche muss geprüft werden, ob es sich um Oberflächenwasser handelt
- 2) Unterhalb einer innenseitig vorgesehenen Dampfsperre kann sich infolge der Dampfdruckverhältnisse eine hohe Ausgleichsfeuchte des Betons ausbilden, welche die Betonoberfläche dunkel erscheinen lässt, wenn die Dampfsperre entfernt wird. Der Grund hierfür ist die verhinderte Abführung der Baufeuchte und hängt nicht mit der gewählten Art der Abdichtung zusammen.
- 3) Mit dem ›Löschblatttest‹ kann zuverlässig festgestellt werden, ob es sich bei dunklen Flecken um Feuchtstellen handelt. Ein lose auf die Betonoberfläche aufgelegtes Löschblatt oder saugfähiges Zeitungspapier darf sich nicht infolge Feuchtigkeitsaufnahme dunkel verfärben.
- 4) Der Zeitpunkt des Abschlusses der Selbstheilung muss mit den Nutzungsanforderungen des Bauwerks vereinbar sein.

bezüglichen Festlegungen getroffen. Selbst für einen Rechtsstreit zwischen Bauherrn und Architekt waren keine Argumente verfügbar. Es entstand ein Rechtsstreit zwischen dem Bauherrn und der Baufirma bzw. seiner Versicherung, der beim Abschluss der Instandsetzung noch nicht entschieden war.

Leckstellen in Form von undichten Trennrissen in WU-Bauwerken können Wochen und Monate wasserdurchlässig sein und auch undicht bleiben. An der Luftseite treten dann geringe Mengen Wasser aus, das mit Kalk übersättigt ist. Der dünne Wasserfilm verdunstet je nach Witterung meist recht schnell, wobei der Kalk in Form von kleinen Calcit-Kristallen auf der Betonfläche verbleibt und einen hellen Schleier hinterlässt (Bild 7.7). Oft wird irrtümlich angenommen, dass dieser Schleier ein Zeichen der Selbstdichtung ist. Das ist aber nicht so. Die für die Selbstdichtung notwendigen Calcit-Kristalle verbleiben als Dichtungsmaterial im Riss und sind nach erfolgreicher Abdichtung nicht sichtbar. Das aus dem Riss abfließende Wasser ist kalkgesättigt (CaCO_3). Wenn es nur in einem dünnen Wasserfilm abfließt, verdunstet ein Teil des Wassers, erhöht dadurch die Konzentration der Lösung, was zu weiterer Calcitkristallausfällung führt.

Wenn ein »staubtrockenes« Untergeschoss besonders wichtig ist, muss man Alternativen zur weißen Wanne in Erwägung ziehen und prüfen. Kommt es auf kleine feuchte Flecken nicht an (vgl. Tabelle 7.2), sind WU-Bauwerke sehr wirtschaftlich. Zudem können solche Stellen auch nachträglich durch Kunstharzinjektionen abgedichtet werden. Die Leckstelle ist bei WU-Bauwerken auch die Wasseraustrittsstelle. Bei hautartigen Abdichtungen kann das anders sein. Sie können hinterläufig werden. So können Wassereintritts- und Wasseraustrittsstelle weit auseinander liegen, was eine nachträgliche Abdichtung sehr erschwert.

Stahlbetonbauwerke sind nie ganz ohne Risse zu bauen, sonst wäre die Bewehrung nicht erforderlich. So haben auch WU-Bauwerke Risse, ohne dass das zu beanstanden ist. Bei → Biegerissen sind keine Undichtigkeiten zu befürchten. Sie verlaufen nicht durch den

Bild 7.7
Wasserführender Riss in der Wand eines Nachklärbeckens mit Aussinterungen



Beanspruchungsklasse 1

Kontakt des Bauteils mit anstehendem drückendem oder nicht drückendem

Wasser

- Grundwasser, Hochwasser, Schichtenwasser
- zeitweise aufstauendes Sickerwasser,
- nicht drückendes Wasser, ausschließlich auf horizontale und geneigte Flächen.

Beanspruchungsklasse 2

Kontakt des Bauteils mit Feuchte oder herabsickerndem Wasser

- feuchtes Erdreich
- nicht stauendes Sickerwasser, nur bei stark durchlässigem oder dauerhaft rückstaufreier Drainage nach DIN 4095

gesamten Querschnitt, sondern nur auf einer Bauteilseite bis zu einer gewissen Tiefe (Bild 2.11). Wenn der nicht gerissene Teil des Querschnitts mindestens 50 mm tief ist (beim Größtkorn von 16 mm: mindestens 30 mm tief), genügt das den Dichtigkeitsanforderungen. Bei → Trennrissen ist das ganz anders. Jeder Trennriss ab etwa 0,1 mm Rissbreite (Bild 7.7) ist eine Leckstelle. Deshalb besteht eine wichtige Aufgabe des planenden Ingenieurs darin, Trennrisse weitgehend zu vermeiden, mindestens aber ihre Anzahl auf ein Minimum zu begrenzen. Der Riss in Bild 7.7 mit 0,1 mm Rissbreite führt eine so geringe Wassermenge, dass sie beim Herablaufen an der Wand als dünner Film verdunstet und die Inhaltsstoffe als Rückstand an der Oberfläche verbleiben. Nur bei sehr geringem Wasserdurchfluss entstehen solche Kalkschleier unterhalb der Wasseraustrittsstelle. Mit der Erscheinung der Selbstdichtung haben sie wenig zu tun.

Im Unterschied zu anderen durch Wasser im Boden beanspruchten Bauwerken wird bei WU-Bauwerken nur nach drückendem und nicht drückendem Wasser unterschieden. In der WU-Richtlinie werden deshalb zwei Beanspruchungsklassen unterschieden, deren Merkmale in Tabelle 7.3 enthalten sind.

Die richtige Beanspruchungsklasse muss das Planungsbüro auf der Grundlage eines Baugrund- oder geohydrologischen Gutachtens bestimmen. Bei weißen Wannen hat die Kenntnis des → Bemessungswasserstandes nicht die Bedeutung wie bei den hautartigen Abdichtungen, weil der Konstruktionswerkstoff schon eine wesentliche Grundlage für die Dichtigkeit bietet. Das kann bei leichten Bauwerken oder in Bauzuständen eine Standsicherheitsgefährdung durch Auftrieb verursachen (Bild 7.8).

Der in Bild 7.8 abgebildete Auftriebsschaden ist nur durch Ersatz des geschädigten Bereichs der Bodenplatte zu reparieren – eine aufwändige Reparatur. Ggf. ist eine Rückverankerung der Platte mit Mikropfählen im Bau-

Tabelle 7.3
Beanspruchungsklassen nach der WU-Richtlinie [3]

Bild 7.8
 Auftriebsscha-
 den in einer
 Tiefgarage:
 aufgewölbte
 Bodenplatte
 durch unter-
 schätzte Auf-
 triebswirkung



grund notwendig. Das muss ein Standsicherheitsnachweis mit einem vorsichtig gewählten Bemessungswasserspiegel ergeben.

7.5 RECHNERISCHE RISSBREITENBEGRENZUNG UND IHRE BEWERTUNG FÜR DIE SELBSTDICHTUNG (SELBSTTHEILUNG)

Wenn Trennrisse in einem WU-Bauwerk nicht zu vermeiden sind, muss die Breite der Rechenwerte der Trennrisse auf einen der in der WU-Richtlinie angegebenen zulässigen Rissbreiten begrenzt werden. Das ist durch die Konstruktion der Bewehrung möglich. Je kleiner der Rechenwert der Rissbreite ist, umso kleiner ist das Risiko, dass sich der Riss durch Selbstdichtung (Selbstheilung) abdichten lässt.

Das ist hauptsächlich mit einer geeigneten Formgebung des Bauwerks und einer guten Bewehrungskonstruktion zu erreichen. Maßnahmen der Bauausführung können das unterstützen. Dafür besonders geeignete Betonrezepturen sollen ein geringes Schwindmaß besitzen, um möglichst kleine Zwangdehnungen zu bekommen. Das vermindert die Rissgefahr. Besondere Bedeutung kommt der Nachbehandlung des Betons nach dem Betonieren zu. Sie muss gewährleisten, dass der junge Beton an der Oberfläche nicht austrocknet und Temperaturunterschiede von ihm ferngehalten werden. Sorgfältige Bauherren nehmen für WU-Bauwerke über die Normforderungen

hinausgehende Nachbehandlungsmaßnahmen in die Ausschreibung auf und vergüten sie auch dementsprechend. Das verringert die Rissgefahr.

Der Rechenwert der Rissbreite ist als Maximalwert zu verstehen, der in der Realität nicht oder nur selten überschritten wird. Repräsentative Rissbreitenmessungen zeigen, dass die realen Überschreitungen zahlreicher sind als es in der Theorie vorausgesetzt wird, z.B. [18], [11]. Da aber nur der Größtwert der rechnerischen Rissbreite berechnet wird, haben alle anderen Risse eigentlich kleinere Rissbreiten, und man liegt so in den meisten Fällen auf der sicheren Seite. In Wahrheit bedeuten Unsicherheiten bei der Berechnung Undichtigkeiten, die meist zusätzliche Abdichtungsarbeiten erfordern.

7.6 TRENNRISSE IN ZWISCHENEbenen VON TIEFGARAGEN

Tiefgaragen sind gut belüftete Bauwerke, in denen sich die äußeren Lufttemperaturen in etwas gedämpfter Form und mit einer gewissen Verzögerung einstellen. Bei mehretagigen Tiefgaragen gibt es auch ein Dichtigkeitsproblem für die Stahlbetonkonstruktion im Inneren. Es kommt häufig vor, dass die

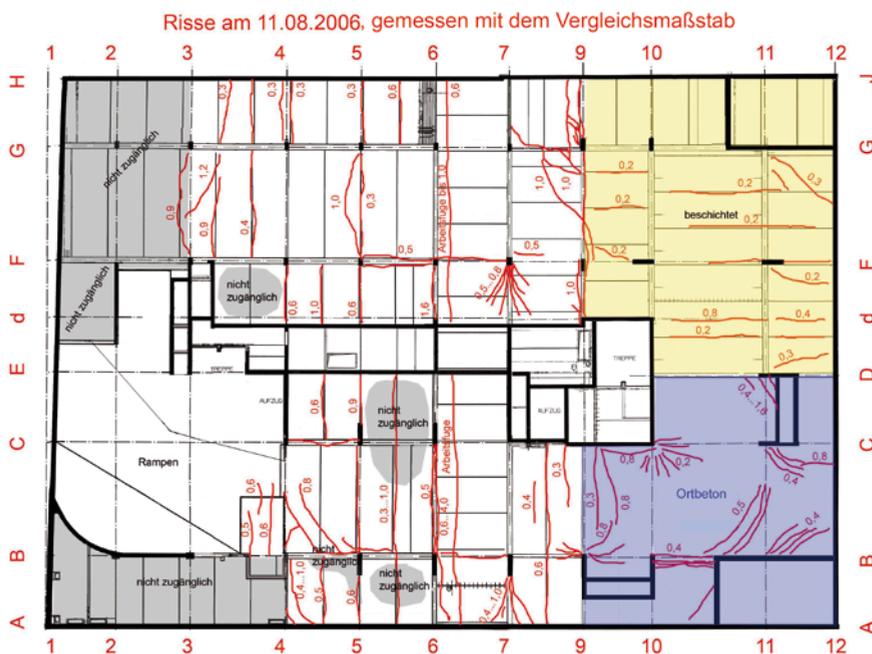
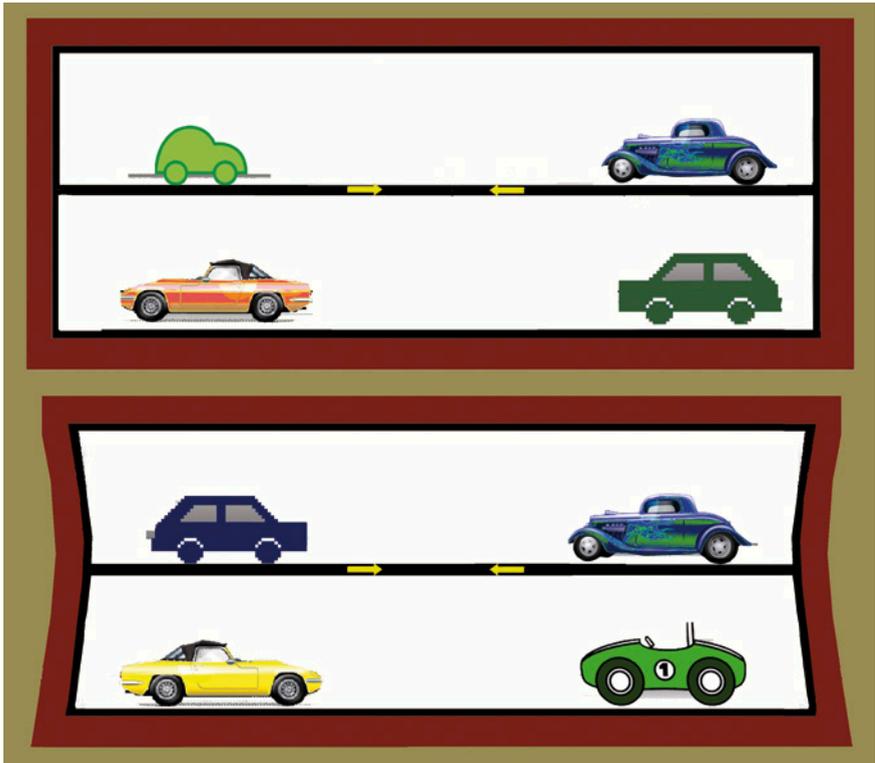


Bild 7.9

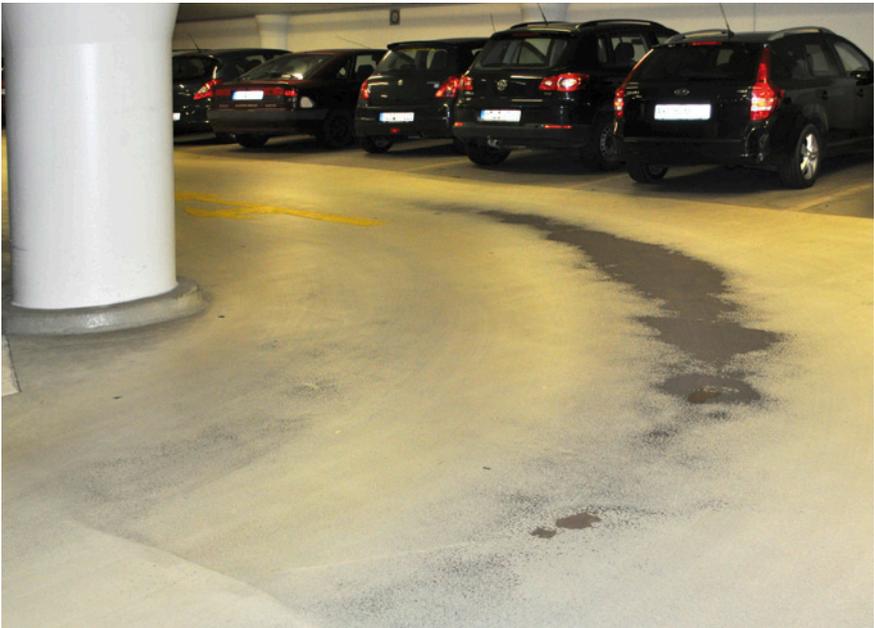
Zwischenebene als Elementdecke in einem Parkhaus mit Rissen (überwiegend Trennrisse)

Bild 7.10

Die Zwischen-
ebene in einer
Tiefgarage er-
hält im Winter
horizontale
Zugspannun-
gen durch
Abkühlung

**Bild 7.11**

Abgenutzte
Beschichtung
in der Fahrspur
einer öffent-
lichen Tiefgarag



Decken Trennrisse erhalten. Durch sie läuft mit Fahrzeugen eingeschlepptes Wasser in die untere Etage und kann dort Lackschäden an abgestellten Fahrzeugen verursachen. Bild 7.9 zeigt ein Beispiel einer Zwischenebene in einer Tiefgarage. Die Decke wurde als Elementdecke ausgeführt. Die Besonderheit von Elementdecken besteht gegenüber der monolithischen Decke darin, dass die fertige Decke im Abstand der Elementbreite 50 bis 70 mm tiefe unbewehrte Fugen besitzt, die bei Zugbeanspruchung wie eine Sollbruchstelle wirken: in ihnen entstehen bevorzugt Risse. Man sieht das am Grundriss der Zwischenebene in Bild 7.9. Rissursache sind behinderte Schwind- und Temperaturverkürzungen der Decke. Behindert werden die Deckenverformungen an den erdberührten Außenwänden und am Kern des Gebäudes. Das Rissbild zeigt überwiegend parallel zu den Gebäudeseiten verlaufende Risse, die meist in den Elementfugen verlaufen. Bemerkenswert ist, dass unter dem gelb markierten Deckenbereich oben rechts das Archiv einer Arztpraxis eingerichtet worden ist. Wegen des durch die Risse tropfenden Wassers musste dieser Abschnitt rissüberbrückend beschichtet werden.

Die erdberührten Außenwände sind im Winter wärmer als die von der Ober- und Unterseite belüftete Decke. Dadurch entsteht ein Längenunterschied, der an den Außenwänden behindert wird. Das bedeutet, dass die Decke gedehnt wird und Trennrisse entstehen.

Wird mit den Fahrzeugen im Winter Schneematsch eingeschleppt, taut er und tropft in flüssiger Form in die untere Ebene.

Durch Rissbreitenbegrenzung ist dieses Problem nicht lösbar, weil schon kleinste Risse mit Rissbreiten von 0,1 mm wasserdurchlässig sind. In diesem Fall ist nur eine Rissbreitenbegrenzung auf einen Rechenwert von z. B. 0,15 mm in Kombination mit einer rissüberbrückenden Beschichtung hilfreich. Allerdings sind solche Beschichtungen weich und fahren sich in öffentlichen Garagen mit viel Verkehr schnell ab (Bild 7.11).

7.7 WU-BAUWERKE AUS ELEMENTWÄNDEN

Fertigteilelemente als Halbfabrikate haben für Decken und Wände eine weite Verbreitung gefunden (Elementdecken und -wände). So hielt diese Entwicklung auch Einzug in den Bau von WU-Bauwerken. Es gibt viele gute, gelungene Beispiele, aber auch eine Reihe von Fehlschlägen.

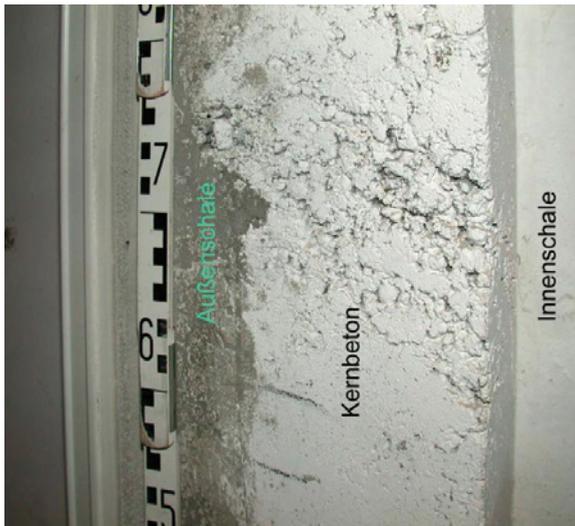
Bild 7.12 zeigt eine besonders hohe Wand eines WU-Kellers in einem Warenhaus, bei dem zwei Wandelemente übereinandergestellt werden mussten. Die Horizontalfuge sowie vertikale, linienförmige Undichtigkeiten sind sichtbar. Sie erfordern eine nachträgliche abdichtende Kunstharzinjektion.

Bild 7.12

Elementwand mit doppelter Höhe (zwei Elemente übereinander), nicht überall dicht

**Bild 7.13**

Stirnseite einer WU-Elementwand (Türöffnung) mit schlechter Betonverdichtung



Die Schwierigkeiten bei der Fertigung der WU-Elementwände liegen in den Baustellenprozessen. Wie bei allen Arbeiten in der Bauwerksabdichtung ist besondere Sorgfalt geboten. Z.B. ist es schwer, einen mehrere Meter hohen Spalt von z. B. 160 mm Breite ordnungsgemäß zu betonieren und zu verdichten, in dem auch noch Bewehrung

das Einbringen des Betons behindert. Das unbefriedigende Ergebnis ist in Bild 7.13 zu sehen. Der Kernbeton ist stellenweise nicht richtig verdichtet. Das kann schon Undichtigkeiten verursachen.

8 RATSCHLÄGE ZUR VERMEIDUNG VON RISSEN

8.1 ALLGEMEINES

Der Bauherr ist an einem weitgehend rissfreien Bauwerk interessiert. Viele Bauherren wissen gar nicht, dass das praktisch nicht möglich ist. Das wurde bereits an mehreren Stellen in diesem Buch erläutert. Die Zielstellung aller am Bau Beteiligten muss daher sein, ein Bauwerk zu planen und zu errichten, das keine auffälligen Risse besitzt und dessen Nutzbarkeit nicht durch Rissbildungen beeinträchtigt wird.

Möglichkeiten, um Rissbildungen zu vermeiden oder zu vermindern, gibt es in allen Phasen der Entstehung eines Bauwerks, von der Planung bis zur Realisierung. Das größte Potenzial zur Reduzierung von Rissbildungen besitzt die Planungsphase, aber auch in der Phase der Bauausführung können Risse durch regelgerechte Arbeit vermieden oder eingeschränkt werden. Die wichtigsten technischen Möglichkeiten beziehen sich auf das Bauwerk als Konstruktion, unabhängig vom Baustoff Beton oder Mauerwerk. Es gibt aber auch einige Besonderheiten, die nur von den Baustoffeigenschaften abhängen.

8.2 RISSBILDUNG EINSCHRÄNKEN ODER VERMEIDEN IN DER PLANUNGSPHASE

AUSREICHENDE BAUGRUNDERKUNDUNG

Bei Einfamilienhäusern und anderen kleinen Bauwerken wird häufig das Geld für die Baugrunderkundung eingespart. Meist geht das gut, weil die Lasten bei solchen Gebäuden verhältnismäßig klein sind. Trotzdem kommt es immer wieder vor, dass Setzungsdifferenzen auftreten und dass in den Keller – trotz einer trockenen Baugrube – Feuchtigkeit oder Wasser eindringt. Solche Schäden sind nur schwer nachzubessern. Der Aufwand für eine Instandsetzung übersteigt den Aufwand für die Baugrunderkundung meist um ein Mehrfaches.

Ein Baugrundgutachten enthält Informationen über die Bodenbeschaffenheit unter dem zu errichtenden Bauwerk, die Setzungsempfindlichkeit und die zu erwartenden Grundwasserstände und -bewegungen. So

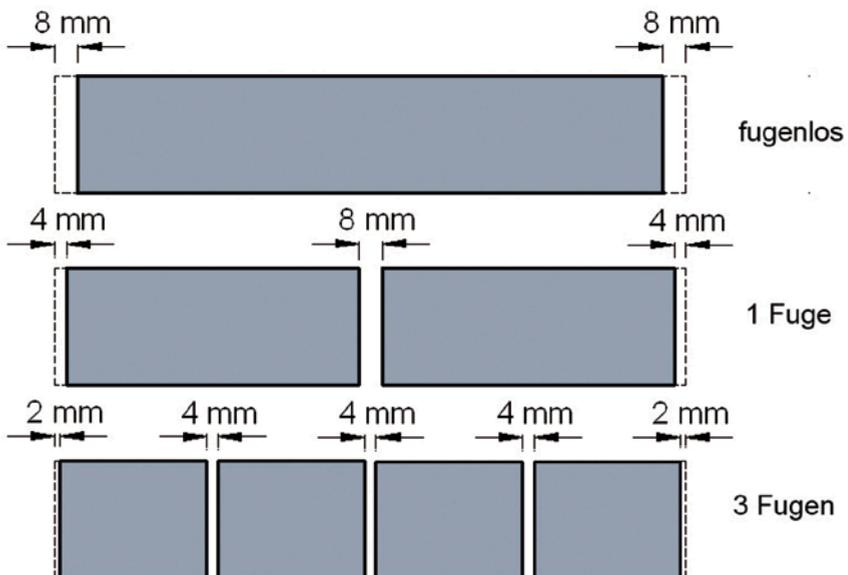
sind mögliche Setzungsdifferenzen rechtzeitig in der Planung erkennbar und vermeidbar. Baugrundsetzungen sind so zu beeinflussen, dass sie sich gleichmäßig vollziehen können. Alle durch gleichmäßige → Setzungen bewegten Bauteile müssen den Baugrundbewegungen ohne Behinderung folgen können (vgl. Beispiel in Bild 4.12). Unterschiedliche Setzungen kann der Planer durch die Wahl einer geeigneten Gründung oder z. B. durch Bodenaustausch vermeiden.

FUGEN ANORDNEN

Fugen haben den Zweck, zu erwartende Längenänderungen eines Bauwerks, die sich an einer Stelle häufen, so zu teilen, dass sie als kleinere Beträge an mehreren Stellen auftreten und dadurch weniger auffallen. Solche Stellen sind dort gegeben, wo Bauteile mit unterschiedlicher Geschosszahl aneinandergelagert werden. Man ordnet zwischen solchen Bauteilen → Bewegungsfugen an, die eine unabhängige Bewegung der benachbarten Bauteile ermöglichen. Die Bauteile haben wegen der Lastdifferenzen auch unterschiedliche → Setzungen, durch die wegen der Entkoppelung mit der Bewegungsfuge keine gegenseitigen Beschädigungen entstehen können.

Bewegungsfugen unterteilen ein Bauteil in zwei oder mehrere Bauteile. Dadurch wird auch die Längenänderung dieses Bauteils, z.B. einer Wand, in kleinere Beträge unterteilt. Bild 8.1 verdeutlicht das an einem Beispiel.

Bild 8.1
Längenänderungen von Bauteilen werden durch Bewegungsfugen in kleinere Beträge unterteilt



Damit Bewegungsfugen ihre Funktion auch erfüllen können, müssen sie beide Bauteile völlig trennen. Andernfalls sind Beschädigungen die Folge. Auch muss die Linienführung der Fugen einfach, also vorzugsweise gerade, sein. Alle Abwinkelungen funktionieren auf Dauer nicht und sollen deshalb vermieden werden.

Einen solchen Fehler in einer Stahlbetonkonstruktion zeigt Bild 8.2. Horizontale Bodenfuge und vertikale Wandfuge sind um ca. 1 m gegeneinander versetzt. Die Boden-Wand-Fuge zwischen dem horizontalen und dem vertikalen Fugenteil hätte ebenfalls als Bewegungsfuge ausgebildet werden müssen. Durch die starre Verbindung über eine kurze Strecke von ca. 1 m ist keine gegenseitige Bewegung der durch die Fuge getrennten Bauteile möglich. Deshalb ist der Vertikalriss in der Wand entstanden, und Wasser konnte von außen eindringen. Heute sind abgewinkelte Bewegungsfugen in Tiefgaragen ausdrücklich untersagt [3].

In Bild 8.3 ist die Linienführung einer Bewegungsfuge in Mauerwerk mit Klinkern im Normalformat zu sehen, die dem Fugenverlauf folgt. Die Fuge ist nach relativ kurzer Zeit nicht mehr funktionsfähig. Das äußert sich oft in Rissbildungen in der Nähe der Fuge. Anders ist das bei gerader Linienführung (Bild 8.4). Das Bild zeigt eine Bewegungsfuge in der Außenschale einer zweischaligen Außenwand. Solche Fugen können sich in der

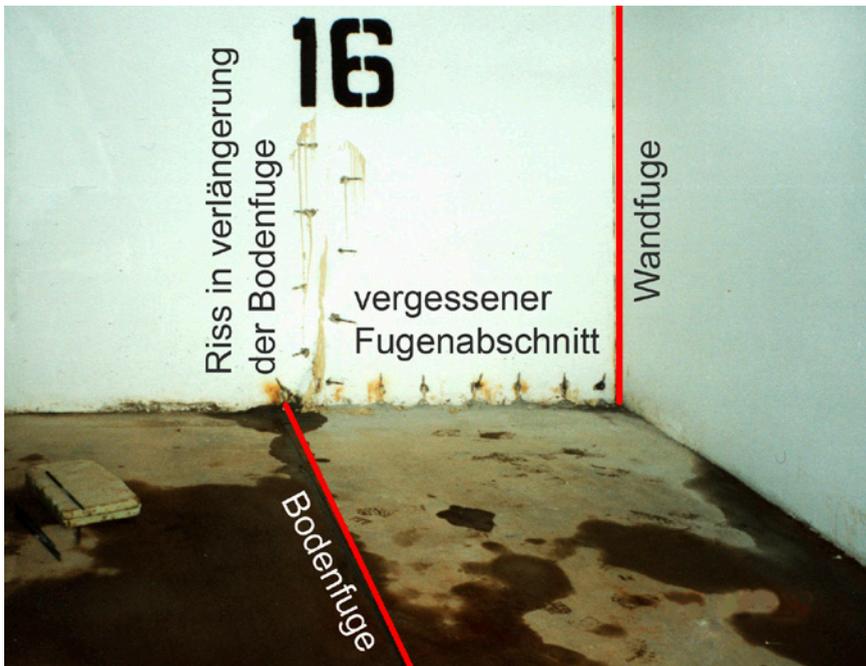


Bild 8.2

Durch fehlerhafte Fugenführung unterbrochene Bewegungsmöglichkeit in einer Tiefgarage aus Stahlbeton, korrekte Fugenabschnitte rot

Bild 8.3

Risikoreiche
Linienführung
einer Bewe-
gungsfuge im
Mauerwerks-
verband

**Bild 8.4**

Vertikale Be-
wegungsfuge
in einer aus
Klinkern ge-
mauerten Vor-
satzschale



vorgesehenen Richtung– hier horizontal – bewegen und so die Temperaturverformungen kompensieren.

Die Fuge kann durch die einfache Linienführung einwandfrei arbeiten und hat eine längere Lebensdauer. Die Fuge in Bild 8.4 wurde im Alter von mehr als 10 Jahren fotografiert. Aus dem Bild sieht man, dass der Verband zwar optisch unterbrochen wird, aber dass das bei Betrachtung der Fläche wenig stört.

Bewegungsfugen müssen sorgfältig geplant werden. Es ist nicht zulässig, die Anordnung von Fugen der Bauausführung durch einen entsprechenden Vermerk auf den Zeichnungen zu überlassen. Jeder Schnitt durch ein Bauteil bedeutet einen

Eingriff in das statische System. Deshalb muss die Fugenteilung dem Tragwerksplaner überlassen bleiben. Für die Anordnung von Bewegungsfugen gibt es keine allgemeingültigen Regeln. Die Fugenabstände können nur wenige Meter, aber auch 30 oder 40 m betragen. Das hängt vom Bauwerk, aber auch von der Größe der Bauwerksverformungen ab. Der Tragwerksplaner kann die → Verformungen berechnen oder abschätzen und muss deshalb die Fugenanordnung festlegen.

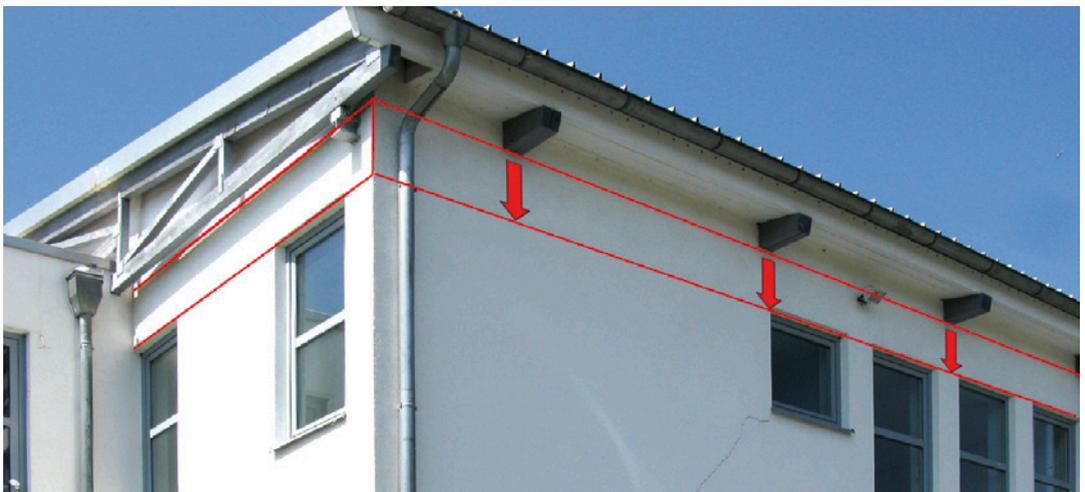
KONZENTRIERTE LASTEN VERMEIDEN ODER SIE DURCH BALKEN ODER RINGANKER VERTEILEN

Hohe vertikale Einzellasten können zu vertikalen Rissen unter der Stelle der Lasteintragung führen. Deshalb sind die Einleitungspunkte entsprechend auszubilden. Bild 8.5 zeigt ein solches Beispiel, bei dem ein steifer Ringbalken diese Aufgabe mit erfüllt. Insgesamt übernimmt er drei Aufgaben:

- Er ist → Ringbalken als oberer Abschluss der Wände und für den Zusammenhalt des Gebäudes mit Außenwänden aus Ziegelmauerwerk zuständig.
- Er ist → Sturz für alle Wandöffnungen im Obergeschoss.
- Er ist Auflager für die 17 m weit spannenden Holzbinder, die die Dachlasten punktförmig in die Außenwände einleiten. Der Ringbalken aus Stahlbeton verteilt die Auflagerkräfte dieser Binder so, dass das Mauerwerk nicht örtlich überlastet wird.

Bild 8.5
Steifer Ringbalken aus Stahlbeton dient auch als Auflager für die Dachbinder

Allerdings bedeutet der direkte Kontakt zwischen dem Beton des Ringbalkens und dem Ziegelmauerwerk der Außenwände (zugelassene Plan-



**Bild 8.6**

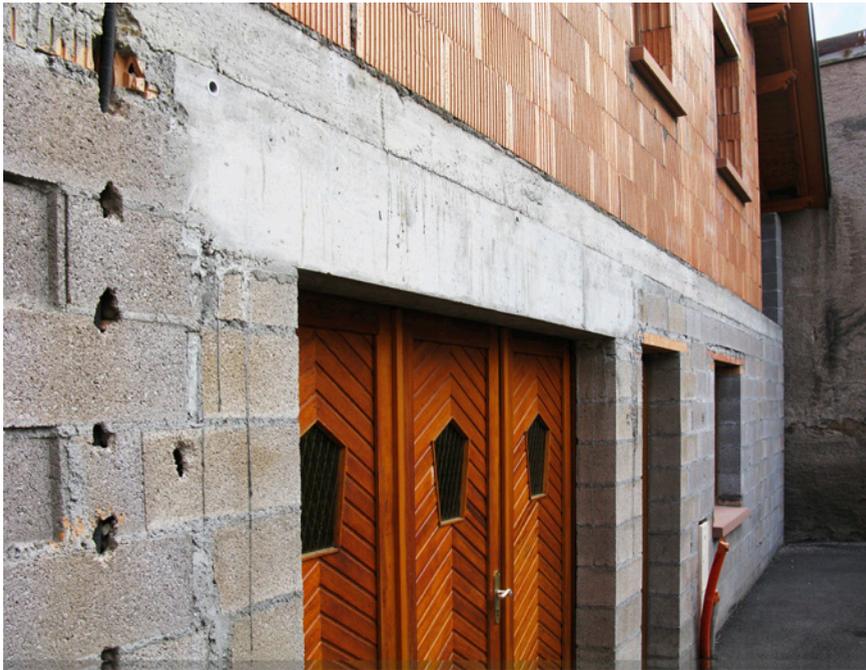
Skizze der ganzen Fassade von Bild 8.5 mit Stahlbeton- (blau) und Mauerwerksflächen (rot)

hochlochziegel) eine andere Rissgefahr, die vorher schon beschrieben wurde. Der Beton hat hier ein Schwindmaß von etwa 0,4 mm/m, die Planhochlochziegel haben ein Schwindmaß von Null. Bei einer Länge der Fassade von rd. 30 m beträgt die rechnerische Schwindverkürzung des Betons $\Delta l = 0,4 \text{ mm/m} \times 30 \text{ m} = 12 \text{ mm}$ gegenüber dem Mauerwerk, also 6 mm an jeder Giebelseite. Ein Teil dieser rechnerischen Verkürzung wird durch \rightarrow elastische und plastische Verformungen des Mauerwerks kompensiert. Der restliche Teil verursacht feine Horizontalrisse direkt unter dem Ringbalken insbesondere in Nähe der Giebel, wo sich die Verformung aufsummiert.

Das Bild 8.6 zeigt die Verteilung der Werkstoffe Beton und Mauerwerk in der Fassade. An den Grenzlinien entstehen Verformungsdifferenzen und Risse, die die Grenzlinien im Außenputz abbilden. Die Rissbreiten sind mit etwa 0,2 bis 0,3 mm so klein, dass sie im Foto kaum dokumentierbar sind. Im folgenden Abschnitt werden solche Rissursachen erläutert.

SCHWIND- UND TEMPERATURDIFFERENZEN ANEINANDERGRENZENDER BAUTEILE VERMEIDEN ODER VERHINDERN

Risse durch Schwind- und Temperaturdifferenzen gehören zu den häufigsten Rissursachen bei Massivbauwerken. Die verwendeten Materialien – Beton und fast alle Mauerwerksarten – unterscheiden sich bezüglich der Wärmeausdehnung und des \rightarrow Schwindens. Sind Bauteile mit unterschiedlichen Wärme- und Schwinddehnungen fest miteinander verbunden, dann genügen wegen der geringen Zugfestigkeit von Mauerwerk kleine Längendifferenzen, um Risse zu verursachen. Die Risse entstehen immer in dem Bauteil mit der geringeren Zugfestigkeit oder direkt in der Kontaktfläche. Bei Kontakt mit Beton ist das Mauerwerk der Baustoff mit geringerer Festigkeit, in dem die Risse entstehen. Bild 8.7 zeigt eine Mischung von zwei Mauerwerksarten mit Stahlbeton für Decke und Tor-, Tür- und Fensterstürze. Eine solche Mischung bietet die Garantie für zu erwartende Rissbildungen. Sie haben ihre Ursache vor allem in der Schwinddifferenz

**Bild 8.7**

Stahlbeton mit Leichthochlochziegeln und Leichtbetonsteinen in einer Fassade

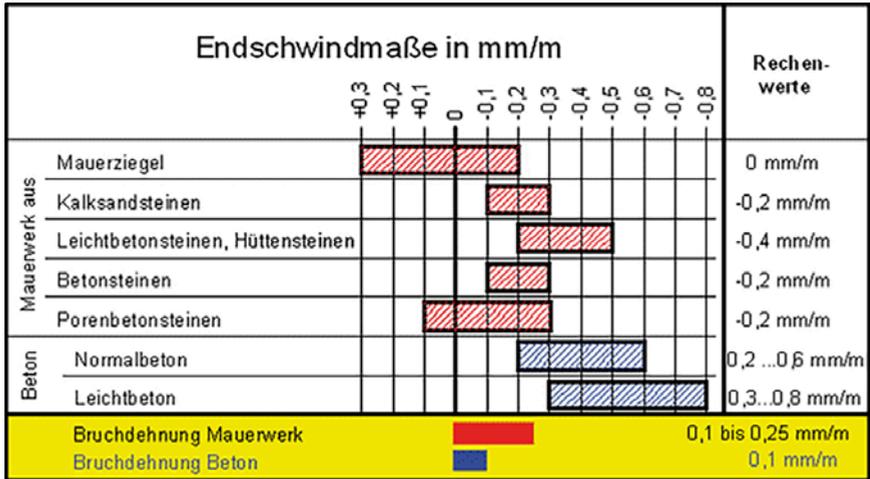
der direkt aneinandergrenzenden Teile der Wand. Es ist daher von Vorteil, wenn das Haus über Monate oder gar ein oder zwei Jahre unverputzt bleibt. Dann können sich die Risse zunächst bilden und werden später überputzt und damit verdeckt. Nennenswerte spätere Verformungen sind dann nicht mehr zu erwarten, weil sich die Schwindverformungen über mehrere Jahre einem Endwert asymptotisch annähern. Schwindrisse bilden sich nur in den ersten Jahren nach der Rohbaufertigstellung. Später sind die Schwindverformungen abgeklungen, und es entstehen keine neuen Schwindrisse mehr. Die Temperaturdehnungen sind kleiner als die Schwinddehnungen und bedeuten meist keine Rissgefahr.

Die Möglichkeiten zur Beeinflussung der → Endschwindmaße sind relativ begrenzt. Der sog. ›schwindarme‹ Beton ist kein genormter Begriff. Durch die Wahl einer geeigneten Betonrezeptur lässt sich das Endschwindmaß z. B. durch Verringerung des Zementgehalts verkleinern. Das bedeutet aber auch, dass mit sinkendem Zementgehalt die Druckfestigkeit abnimmt, was die → Standsicherheit beeinflussen kann. Die Betonzusammensetzung wird durch eine Reihe von Anforderungen bestimmt, an denen das Endschwindmaß nur einen begrenzten Anteil haben kann. Deshalb ist es schwer, eine Eigenschaft zu beeinflussen, ohne andere Eigenschaften zu verändern.

In Bild 8.8 sind die → Endschwindmaße für Beton und verschiedene Mauerwerksarten angegeben. In Bild 8.9 ist die Umrechnung von

Bild 8.8

Endschwindmaße für
Mauerwerk
nach
DIN 1053-100
und für Beton
nach
DIN 1045-1



Temperaturdifferenzen in Bauteil deformungen angegeben und maßstäblich dargestellt. Bauteiltemperaturen sind keine Oberflächentemperaturen, sondern wie bereits erwähnt bei annähernd konstanter Temperaturdifferenz die mittlere Temperatur zwischen der Innen- und Außenseite.

An den Zahlenwerten erkennt man, dass die temperaturbedingten Längenänderungen meist kleiner als die Längenänderungen aus dem → Schwinden sind. Außerdem sind die Differenzen z.B. zwischen Beton und Ziegelmauerwerk bei Wärmedehnungen kleiner als bei Schwinddehnungen.

Planende Architekten und Ingenieure können die lastunabhängigen Dehnungsdifferenzen aus Temperaturänderung und → Schwinden nicht beseitigen, sondern müssen die Bauwerke so konstruieren, dass den unvermeidbaren → Verformungen in geeigneter Form Rechnung getragen wird. Entweder werden sie in Kauf genommen. Dann muss man sie an möglichst unauffälligen Stellen zulassen, wo die optische oder funktionelle Beeinträchtigung durch einen Riss oder eine geöffnete Bewegungsfuge eine untergeordnete Rolle spielt. Oder man begrenzt sie im Rahmen des Möglichen. Man kann auch beide Möglichkeiten nutzen, z.B. durch Fugen und durch Gleitlager für die Decken.

Am günstigsten wäre es, alle Bauteile aus dem gleichen Werkstoff herzustellen. Dann wären nur noch Temperaturdifferenzen zwischen den Bauteilen als Rissursache möglich. Für Mauerwerksbauten wird so etwas z.B. von den Lieferanten der Mauersteine als sog. Systemergänzungen angeboten. Sonderelemente, wie z.B. U-Schalen, Rollladenkästen und Stürze werden im gleichen Wandbaustoff angeboten, und sogar Dachelemente aus

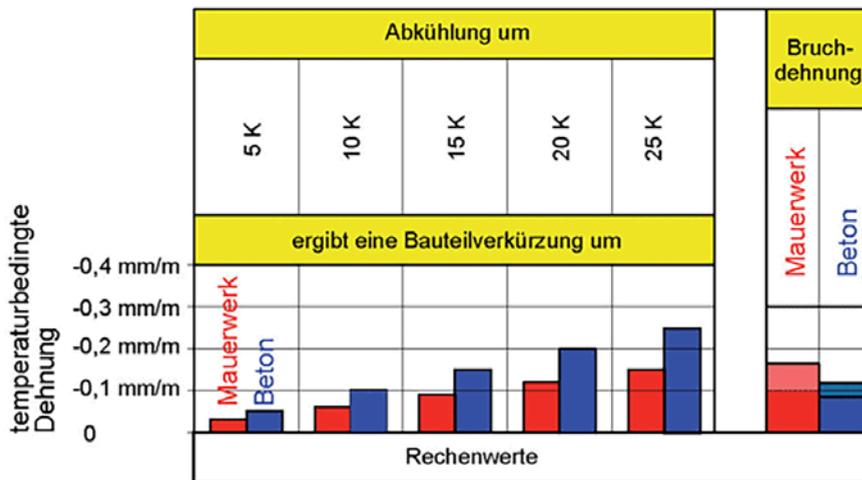


Bild 8.9

Temperaturbedingte Dehnungen in Abhängigkeit von der mittleren Temperaturänderung des Bauteils

Porenbeton. In Bild 8.10 ist eine solche Lösung zu sehen. Die U-Schalen dienen als Schalung zur Herstellung von Ringankern und Fenster- und Türstürzen. Ihre rissvermindernde Wirkung beruht auf zwei Faktoren:

- die umhüllte, geringere Betonmenge hat im Verbund eine kleinere Schwindverkürzung als ein reiner, etwas größerer Betonquerschnitt.
- durch die äußere Ziegelhülle werden ggf. entstehende Risse im Beton verdeckt.

Das Gegenbeispiel ist in Bild 8.7 zu sehen. Die Decke und die Stürze enden ohne Wärmedämmung der Stirnseite an der Außenfläche der Fassade. Wenn die Fassade nicht mit einem Wärmedämmverbundsystem verkleidet wird, sind Wandrisse unter den Decken und Stürzen, ggf. auch in der ersten Lagerfuge unterhalb der Decke zu erwarten. Die im Schutze eines Wärmedämmverbundsystems (WDVS) entstehenden Risse sind verdeckt und damit



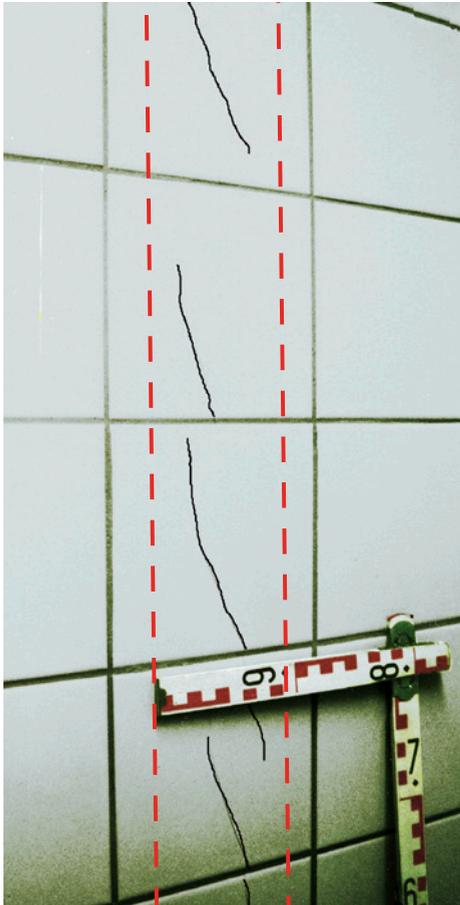
Bild 8.10

U-Schalen aus gebranntem Ton für Ringanker und Stürze (Quelle: Poroton)

unsichtbar. Diese Variante ist allerdings teuer und nur dann zweckmäßig, wenn ohnehin eine zusätzliche Wärmedämmung erforderlich ist.

In Mauerwerk werden manchmal Stahlbetonstützen oder Wandscheiben eingebettet, die zur Stabilisierung eines Hauses notwendig sind. Das sind potenzielle Rissstellen, weil hier Beton und Mauerwerk mit ihrem unterschiedlichen Dehnungsverhalten direkt aufeinandertreffen. Beim belasteten Beton entsteht nicht nur eine Schwinddifferenz zwischen Mauerwerk und Beton. Das Betonkriechen vergrößert die lastbedingte, elastische → Stauchung durch langsam über mehrere Jahre verlaufende plastische Formänderungen (→ Kriechen). Wird eine im Mauerwerk integrierte Stahlbetonstütze belastet, dann kommt es erst nach mehreren Monaten oder noch später zu sichtbaren → Verformungen, die nach 5 bis 10 Jahren auf ein Maß abgeklungen sind, das man ohne Hilfsmittel nicht mehr feststellen kann.

Bild 8.11
Sägezahnartige
Schrägrisse in
Wänden durch
eine bündig
in die Wand
eingemauerte
Stahlbeton-
stütze (Risse
nachgezeichnet)



Werden solche Stützen oder auch Wandteile bündig in die Wand eingemauert, dann kommt es zu Risserscheinungen im Putz, die auf die Verformungsdifferenz von Beton und Mauerwerk zurückzuführen sind. Bild 8.11, Bild 2.16 und Bild 6.38 zeigen solche Beispiele. Die Kriech- und Schwindverkürzung der tragenden Stahlbetonelemente innerhalb der Wand zeichnet sich im Putz durch kurze, parallele, vertikal bzw. horizontal gruppierte Schrägrisse ab (Schubrisse). Sie treten nicht sofort, sondern erst nach Monaten oder im 2. Nutzungsjahr auf, weil die Kriechverformung sehr langsam verläuft. Will man solche Risse vermeiden, dann muss man die tragenden Stützen oder Wandscheiben innerhalb des Mauerwerks vermeiden. Falls das statisch nicht möglich ist, sollen die Stützen so versteckt wer-



Bild 8.12
Beton und
Ziegel-
mauerwerk
im direkten
Kontakt

den, dass keine Risse an der Wandoberfläche möglich sind. Auch für diesen Zweck können U-Schalen sinnvoll sein.

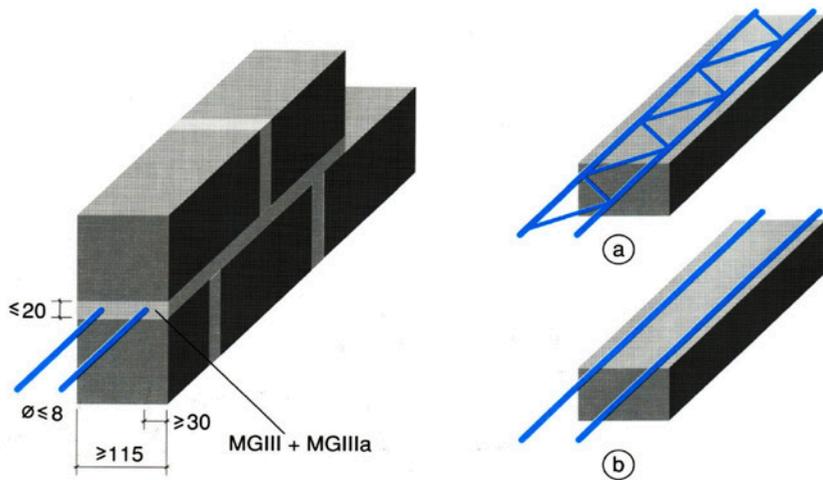
Das Problem unterschiedlicher Längenänderungen durch → Kriechen und → Schwinden lässt sich einfach durch die Zeit lösen. Man stellt das Haus fertig und wartet mit dem Außenputz mehrere Monate oder Jahre, in denen sich die zeitabhängigen Verformungen ganz oder zum größten Teil vollziehen können. Dabei werden die geschilderten Risse entstehen. Sie fallen jedoch auf dem Untergrund einer Ziegelwand nicht auf. Werden dann nach der Wartezeit die Fassaden geputzt, sind die Risse durch den Putz verdeckt und weitere Verformungen nicht zu erwarten. Da sie zeitabhängige Ursachen haben, sind diese dann nicht mehr wirksam, so dass das Bauwerk nach dem späten Putzen keine sichtbaren Risse hat. In Bild 8.12 ist ein solcher Fall abgebildet. Das Haus ist bis auf den Putz fertig. Die Bauarbeiten sind für längere Zeit unterbrochen worden.

BEWEHRTES MAUERWERK

Ein bewährtes, aber wenig genutztes Mittel, um Rissbreiten zu begrenzen, ist Mauerwerksbewehrung. Sie hat einige Besonderheiten gegenüber der Bewehrung für Stahlbeton. Insbesondere sind das:

Bild 8.13

Beispiel für eine horizontale Mauerwerksbewehrung
 a) Murförmiges Gitter, b) Stabstahl
 (Quelle: Bekaert G. m. b. H.)



- der Korrosionsschutz der → Bewehrung durch Verzinkung oder durch Verwendung von nichtrostendem Stahl als Werkstoff,
- geringe Stabdurchmesser, die in einer Lagerfuge untergebracht werden können.

Für die eigentliche → Bewehrung gibt es keine Norm. Deshalb ist für die Verwendung des Produkts in Deutschland eine Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik Berlin erforderlich, die der Hersteller der Bewehrung einholen muss.

Horizontale Mauerwerksbewehrung wird z.B. im Brüstungsmauerwerk von Fenstern im Erdgeschoss verwendet. Dadurch kann die → Dehnung des Mauerwerks auf mehrere und dadurch feinere Risse verteilt werden. Unbewehrtes Mauerwerk kann an solchen Stellen nur in einem vertikalen Riss reißen, der sich soweit öffnet, wie das die Dehnung z.B. durch Richtungsänderung der vertikalen Last erfordert (vgl. auch Bild 4.26).

DECKENSCHLANKHEITEN BEGRENZEN

Nicht tragende Wände auf schlanken Decken sind rissgefährdet. Im Abschnitt 6.7 wird das erläutert. Die Deckendurchbiegung unter Last ist bei schlanken Decken so groß, dass die als Scheibe wirkende Wand dieser Durchbiegung nur folgen kann, wenn Teile abreißen und sich auf der Decke absetzen. Die Deckendicke um 10 oder 20 mm zu erhöhen erfordert einen viel geringeren Aufwand als die Risse zu behandeln oder die Durchbiegungsdifferenz mit abdeckenden Leisten zu verdecken. In der Stahlbetonnorm DIN EN 1992-1-1 sind entsprechende Angaben dazu zu finden. Der Bauherr erkennt solche Rissgefahren daran, dass in zwei aufeinander folgenden Geschossen

die Wandeinteilung nicht übereinstimmt. Wenn im unteren Geschoss größere Stützweiten auftreten als im oberen, ist die Gefahr gegeben. Deshalb sollten die Grundrisse in den Etagen möglichst gleich sein. Mit dieser Forderung soll verhindert werden, dass Wände auf schlanke Decken gestellt werden und dann der Deckendurchbiegung nicht folgen können. Wenn das nicht möglich ist, dann sollten die Deckendicken etwas vergrößert werden.

DACHDECKE DÄMMEN

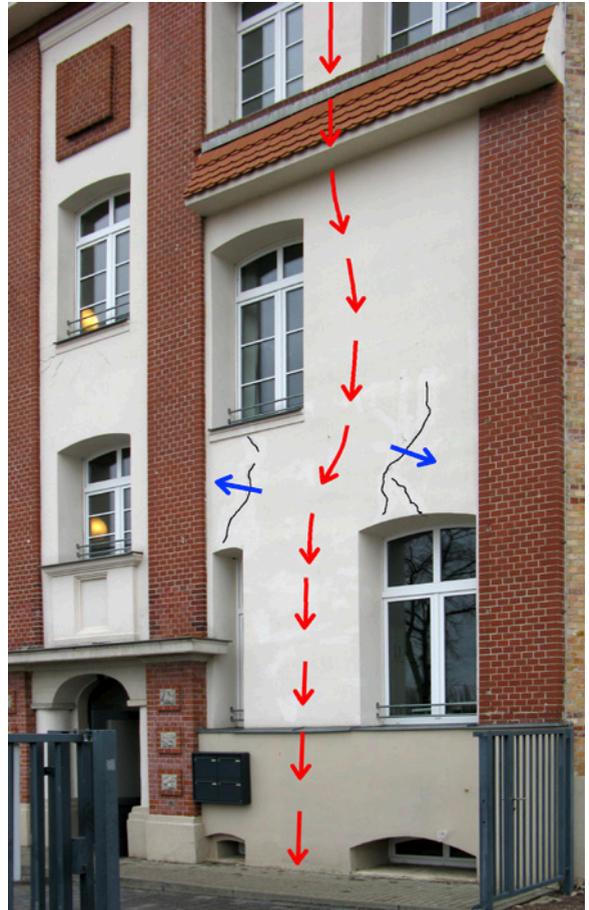
In ungedämmten Bodenräumen entstehen im Sommer durch Sonneneinstrahlung so hohe Temperaturen, dass sich die Dachkonstruktion spürbar verformt. Eine äußere Wärmedämmung der oberen Geschossdecke kann die unter dem Boden liegenden Räume schützen. Eine zusätzliche Dämmung der Dachkonstruktion ist besser, weil dadurch die Wärme von ihr ferngehalten wird und die → Verformungen kleiner bleiben (vgl. Abschnitt 6.1).

Bild 8.14
Ungünstige Lastabtragung in Außenwänden (Risse nachgezeichnet)

LASTEN OHNE UMWEGE IN DIE FUNDAMENTE LEITEN

Die in einem Bauwerk wirkenden Lasten sind auf dem kürzesten Weg in den Baugrund zu leiten. Jede Richtungsänderung der Kraftwirkungslinie im Bauwerk ist nur durch rechtwinklig zum Kraftverlauf wirkende Zugkräfte und in deren Folge durch lastbedingte Risse möglich. Derartige Zugkräfte sind vermeidbar, wenn Kraftumleitungen vermieden werden.

Die Änderung der Kraftrichtung ist in einem Bauwerk wie in einem Fluss nur durch quer gerichtete Kräfte möglich. An Hand von Bild 4.25 wurde diese Erscheinung bereits erläutert. Bild 8.14 zeigt ein Beispiel dafür. Durch eine ungewöhnliche Anordnung von Fenster- und Türöffnungen sind Richtungsänderungen der vertikalen Lasten in den Pfeilern zwischen den Fenstern erforderlich. Dort, wo sich die Lastrichtung ändert, entstehen Querzugspannungen, die zu Rissen führen können. Je größer die umzulenkende Kraft ist, desto wahrscheinlicher ist die Bildung von Rissen.



Deshalb treten derartige Risse am häufigsten in den unteren Geschossen auf. Die Größe der Querkraft ist proportional zu den vertikalen, umzuleitenden Kräften. Große Vertikallast bedeutet auch eine große Zugkraft quer zur Lastrichtung.

Lastumleitungen sind an Asymmetrien in der Fassadenansicht erkennbar. Auch ein Laie kann sie bereits an Hand der Ansichtszeichnungen erkennen, die zur Genehmigung eines jeden Bauvorhabens eingereicht werden müssen. Der Bauherr sollte die Ansichten diesbezüglich prüfen. Ggf. ist die Raumaufteilung im Gebäude etwas zu verändern, wenn er die zu erwartenden Risse vermeiden will.

In Bild 8.14 ist ein solches Beispiel dargestellt. Die Eigenlast von Dach und Mauerwerk muss im 1. Obergeschoss um ein Fenster geleitet werden (rote Pfeile). Die umzuleitende Kraft wechselt dabei zweimal die Richtung. Der obere Richtungswechsel ist ohne Risse möglich. Beim unteren Richtungswechsel kommen eine Wandlast und die Last der Decke über dem Erdgeschoss mit ihrer Nutzlast hinzu und vergrößern die umzuleitende Kraft. Dieser Lastzuwachs bewirkt die sichtbaren Risse an der unteren Lastumleitungsstelle über den beiden Fenstern des Erdgeschosses.

RISSBREITENBEGRENZUNG UND MINDESTBEWEHRUNG IN DER STATISCHEN BERECHNUNG

Bei Stahlbetonbauwerken ist die Rissbreitenbegrenzung Teil der statischen Berechnung. Die zu führenden rechnerischen Nachweise beziehen sich nur auf Rechenwerte der Rissbreite, nicht auf reale Rissbreiten. Nur der Tragwerkplaner hat die Möglichkeit, im Planungsprozess in gewissen Grenzen die → Bewehrung so zu konstruieren, dass bestimmte, in der Norm vorgegebene Anforderungen an die Rechenwerte der Rissbreite eingehalten werden. Rechenwert und Messwert der Rissbreite am Bauwerk unterscheiden sich [3]. Der Rechenwert ist ein rechnerischer Größtwert. Zugehörige Messwerte sollen nach dieser Definition kleiner sein. Dass sich das nicht immer definitionsgemäß einstellt, hat jeder selbst erlebt, der Rissbreitenmessungen in nennenswertem Umfang praktiziert hat. Aufgrund der nicht geregelten Definition der ›realen Rissbreite‹ und der Streuung realer Rissbreitenmesswerte ist bei Messungen am Bauwerk immer mit Abweichungen zwischen Rechen- und Messwerten nach oben und nach unten zu rechnen. In [4] wird darauf ausdrücklich hingewiesen:

»Die statistische Aussagewahrscheinlichkeit der Rissbreitenberechnung (Quantilwerte) wird durch die Vereinfachungen des Rechenmodells und durch die unvermeidbaren Streuungen der tatsächlichen Einwirkungen, der Materialeigenschaften (insbesondere Verbund und Betonzugfestigkeit) und

der Ausführungsqualität (z. B. Abweichungen bei Querschnittsabmessungen und Bewehrungslage) bestimmt ... Daher lassen sich im Bauwerk auch bei Einhaltung der in DIN EN 1992-1-1 enthaltenen Konstruktions- und Bemessungsregeln einzelne Risse, die etwa um 0,1 mm bis 0,2 mm breiter sind als die Rechenwerte, nicht immer vermeiden [6].«

Diese mögliche Toleranzbreite ist so groß wie die für eine hohe Selbstdichtungswahrscheinlichkeit empfohlenen Rechenwerte der Rissbreite von 0,1 mm bis 0,2 mm [3]. Diese Tatsache kann als Anlass betrachtet werden, um die Rissbreitenberechnung für diese Rissbreitenklasse zu überdenken.

An einem konkreten Beispiel soll gezeigt werden, wie unsicher die Vorhersage von Rissbreiten mit dem Berechnungsverfahren der DIN EN 1992-1-1/NA ist. In der »größten fugenlosen weißen Wanne Deutschlands« [18], [11] wurden noch in der Rohbauphase die im ausgedehnten Untergeschoss entstandenen Risse erfasst. Ursprünglich bestand die Absicht, diese Risse durch Selbstdichtung abdichten zu lassen. Aus Zeitgründen wurde diese Absicht noch während der Bauzeit verworfen. Die undichten Risse wurden durch Injektionen gefüllt.

Die fugenlose weiße Wanne mit den Grundrissabmessungen 190 m × 160 m steht in einer bis zu 14,5 m tiefen Baugrube. Der Grundwasserstand steht bis zu 11 m über der Sohle an. Die Sohlplatte ist 1,00 bis 1,20 m dick, die Wände haben Dicken von 0,40 bis 0,65 m. Die rissbreitenbegrenzende Bewehrung wurde einheitlich für einen Rechenwert der Rissbreite von $w_{\text{cal}} = 0,15$ mm ausgelegt, obwohl für die beabsichtigte Selbstdichtung nach WU-Richtlinie [3] teilweise ein Wert von 0,10 mm erforderlich gewesen wäre. Es wurde deshalb von vornherein mit Undichtigkeiten und abdichtenden Injektionsarbeiten gerechnet. Besondere Aufmerksamkeit wurde auf eine zwängungsarme Konstruktion und die Optimierung der Betontechnologie gelegt (Betonzusammensetzung für eine niedrige und verlangsamt Wärmeentwicklung, gute Nachbehandlung, kleiner w/z -Wert).

Tabelle 8.1 zeigt das Ergebnis der Risserfassung und -bewertung. Die Risse wurden nach Anzahl und Länge erfasst. Sie waren in vielen Fällen nur zu einem Teil ihrer Länge wasserführend und mussten nur bereichsweise verpresst werden. Detaillierte Zahlen darüber liegen nicht vor. Von der Summe der Risslängen von 1580 lfd. m waren mit nur 778 m fast genau die Hälfte (49 %) trocken und die andere Hälfte (51 %) wasserführend. Das bedeutet, dass fast genau die Hälfte der Summe der Trennrisslängen mit Rissbreiten über und unter 0,15 mm dicht ist und keine Selbstdichtung benötigt – ein unglaubliches Ergebnis. Es passt nicht zu unseren Vorstellungen über die Wasserdurchlässigkeit von Trennrissen. Das bedeutet weiter, dass ein Trennriss mit einer Rissbreite zwischen 0,1 mm und 0,2 mm nicht auf seiner

	Anzahl	Prozent	Länge	Prozent
Risse gesamt	961	100 %	1580 lfd. m	100 %
darunter wasserführend, $w_{\text{vorh}} \leq 0,15 \text{ mm}$	198	21 %	354 lfd. m	22 %
darunter wasserführend, $w_{\text{vorh}} > 0,15 \text{ mm}$	170	18 %	448 lfd. m	28 %
Risse trocken	593	61 %	778 lfd. m	49 %

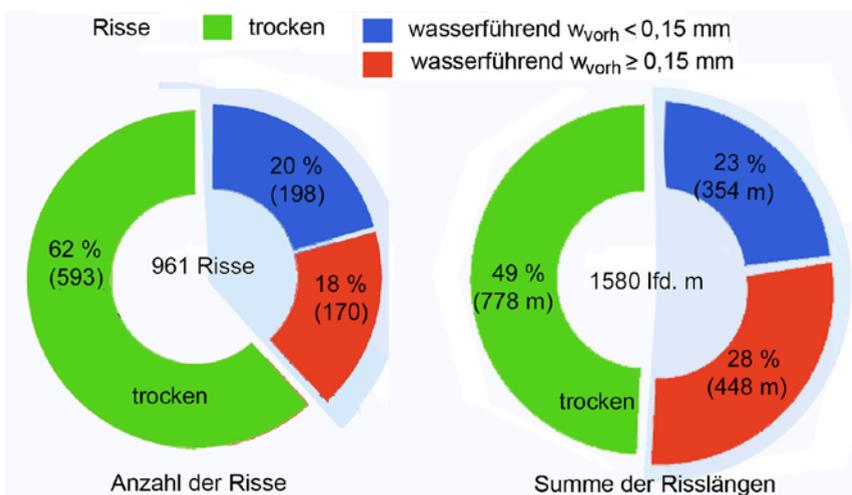
Tabelle 8.1
Risse gesamt
und darunter
wasserführende
Risse

gesamten Länge wasserführend sein muss, sondern nur in bestimmten Bereichen. Im Bild 2.6 wird das dadurch sichtbar, dass das aus dem Riss fließende Wasser nicht als geschlossener Film, sondern in einzelnen Fließpfaden fließt.

Die Erfassung aller Risse und ihrer Rissbreiten an diesem Objekt zeigt auch, dass eine zielsichere Einhaltung eines bestimmten Wertes der Rissbreite (Rechenwert der Rissbreite) starken Zufallseinflüssen unterliegt. Im vorliegenden Fall hätte keine gemessene Rissbreite größer sein dürfen als 0,15 mm. Tatsächlich war aber ein Anteil von 18 % der Rissanzahl bzw. 28 % der aufsummierten Risslängen größer als der Grenzwert von 0,15 mm, für den die Bewehrung ausgelegt worden ist (Bild 8.15).

Aus mehrfacher Beobachtung bei Rissbreitenmessungen ist erkennbar, dass die Rechenwerte der Rissbreite von Messwerten am Objekt häufiger überschritten werden, als das nach der Definition der Norm zu erwarten wäre. Man kann davon ausgehen, dass der Rechenwert der Rissbreite und

Bild 8.15
Anteile der
erfassten Risse
nach trocken
bzw. wasser-
führend und
nach Rissbreite
größer 0,15 mm
bzw. kleiner
und gleich
0,15 mm



die tatsächliche Rissbreite am konkreten Bauwerk in einer Beziehung zueinanderstehen, auch wenn der Rechenwert am Bauwerk nicht nachmessbar ist [10].

8.3 RISSBILDUNG EINSCHRÄNKEN ODER VERMEIDEN IN DER AUSFÜHRUNGSPHASE

Auch auf der Baustelle gibt es Möglichkeiten, Zwangverformungen zu reduzieren. Allerdings stehen Zwangreduzierung und Wirtschaftlichkeit im Bauablauf nicht selten im Widerspruch zueinander.

EINEN TEIL DER SCHWINDVERKÜRZUNG DURCH ZWISCHENLAGERUNG VORWEGNEHMEN

Schwindverkürzungen kann man für Bauteile reduzieren, indem Mauersteine (mit Ausnahme von gebrannten Ziegeln) oder Stahlbetonfertigteile nicht gleich nach der Fertigung, sondern nach einer gewissen Zwischenlagerungszeit verarbeitet werden. In dieser Zeit kann sich ein Teil der Schwindverkürzung vollziehen, bevor der Stein bzw. das Fertigteil Bestandteil einer Wand oder Decke wird. Da können schon wenige Tage spürbar helfen. Die Schwindverkürzungen vollziehen sich in ganz jungem Alter besonders schnell. Für eine → Elementwand oder -decke reduziert sich dadurch das Schwindmaß und damit die Rissgefahr. Betriebswirtschaftlich ist das ungünstiger als die sofortige Verarbeitung (mit erhöhter Rissgefahr), weil damit entweder im Werk oder beim Baubetrieb Kapital gebunden wird.



Bild 8.16
Fertigung von Halbfabrikaten für Decken und Wände; im Vordergrund: ein 50 mm dickes Deckenelement kurz vor dem Betonieren im Betonwerk

Das Gleiche gilt für Betonfertigteile z.B. dünnwandige Decken- oder Wandelemente mit Wanddicken von 50 oder 60 mm (Bild 8.16). Sie → schwinden in den ersten zwei bis drei Wochen besonders intensiv und tragen, im ganz jungen Zustand verbaut, Zugkräfte aus dem Differenzschwinden in den → Ortbeton ein. Das begünstigt die Rissbildung in den Elementfugen. Deshalb sollen auch solche Elemente nicht unmittelbar nach der Fertigung montiert werden. Die Praxis sieht meist anders aus. Zwischen Ausschalen der Elemente und Montage liegen manchmal nur Stunden, höchstens aber ein oder zwei Tage. Die Interessen des Bauherrn (rissfreies oder rissarmes Bauwerk) sind gegenläufig zu den Interessen des Bauunternehmers (möglichst geringe Baukosten).

LANGSAME UND GEORDNETE ABLEITUNG DER ABBINDEWÄRME VON ERHÄRTENDEM BETON

Beim Betonieren von Bauteilen auf vorhandenen Beton kommt es wegen der abfließenden Abbindewärme zu Temperaturdifferenzen zwischen den beiden Bauteilen. Die Rissgefahr ist wegen der Differenz von Eigenverformungen relativ groß und nur mit außergewöhnlichen und teuren Maßnahmen einzudämmen. Übliche Maßnahmen zur Minderung der Rissgefahr sind

- für das Betonieren im Hochsommer die Abend- oder Nachtstunden nutzen, damit die Wärmeentwicklung nicht durch hohe Lufttemperaturen unterstützt wird,
- möglichst niedrige Frischbetontemperatur, ggf. eine Kühlung der Betonbestandteile vor der Dosierung und dem Mischprozess,
- das Abfließen der Abbindewärme so verlangsamen, dass die Temperaturdifferenzen zwischen altem und frischem Beton möglichst klein bleiben und beim Auftreten der Zugspannungen die Zugfestigkeit des Betons schon eine gewisse Größe erreicht hat, z.B. durch spätes Ausschalen.

KONTROLLE ALLER ANGELIEFERTEN FERTIGTEILE FÜR ELEMENTDECKEN UND -WÄNDE

Für die dünnen Fertigteile für → Elementdecken und -wände ist der Transportzustand sehr gefährlich. Obwohl für den ordnungsgemäßen Transport der Fertigteile bis zur Baustelle viel Mühe aufgewendet wird, entstehen bei den fein gegliederten Elementen immer wieder Transportschäden. Sie äußern sich in deutlich sichtbaren Rissen nach der Montage, die der Bauherr nicht hinnehmen muss (Bild 5.19). Der Bauherr kann durch Kontrolle der angelieferten Stahlbetonfertigteile verhindern, dass Teile mit Transportschäden eingebaut werden.

VERHINDERUNG DER FEUCHTIGKEITSAUFNAHME VON MAUERWERK AUF DER BAUSTELLE

Durch Aufnahme von unplanmäßiger Feuchtigkeit z.B. infolge von Niederschlägen, können Mauersteine quellen. Das trifft auch auf gebrannte Steine zu. Werden sie in diesem Zustand eingebaut, bedeutet das für die fertige Wand eine Vergrößerung des Schwindmaßes und damit eine Vergrößerung der Schwinddifferenzen. Außerdem können unangenehme Nebenwirkungen entstehen wie Frostschäden und Ausblühungen. Praktisch bedeutet das, dass Mauersteine auf der Baustelle abgedeckt zu lagern und die Wände zum Schichtende abzudecken sind (Bild 8.17). Diese Forderung wird auch von den Ziegeleien erhoben, damit das Mauerwerk möglichst rissfrei bleibt.

Dazu gehören der Schutz aller horizontalen Flächen, in die Niederschlagswasser eindringen kann (Fensterbrüstungen, Aussparungen) und die Wegleitung des Wassers vom ungeschützten Mauerwerk (Bild 8.18).

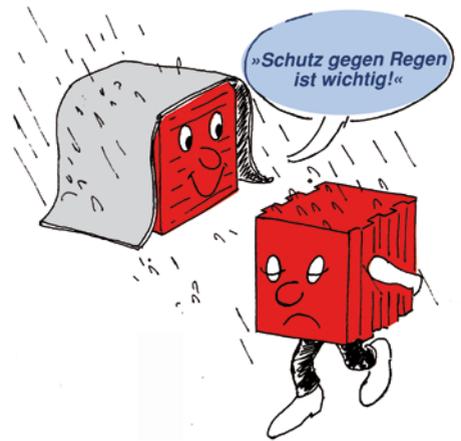


Bild 8.17
Feuchtigkeitschutz auf der Baustelle (Quelle: unipor)

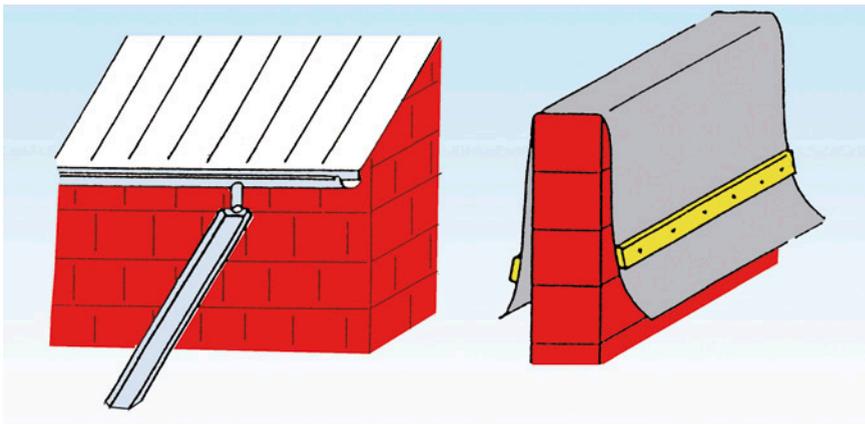


Bild 8.18
Ableitung des Niederschlagswassers und Mauerwerksabdeckung während der Bauzeit (Quelle: unipor)

AUSREICHENDE NACHBEHANDLUNG VON BETON

Beton ist nicht fertig, wenn er sich gut verdichtet in der Schalung befindet. Die Erhärtung des Betons dauert nicht nur Stunden, sondern je nach den Eigenschaften des Betons Wochen, Monate und Jahre. Nach jedem Betonvorgang ist eine Nachbehandlung erforderlich, die für die Qualität des Betonbauteils sehr wichtig ist. Mit ihr werden folgende Ziele verfolgt:

- Die oberflächennahe Randzone des Betons darf nicht austrocknen, weil danach keine Reaktion des Zements mehr möglich ist. Dadurch wird die Randzone weniger fest als die inneren Bereiche eines Bauteils. Der Beton ist dadurch im Randbereich weniger dicht als im Inneren, und dadurch ist die → Bewehrung nicht so gut gegen Korrosion geschützt wie das potenziell möglich wäre,
- Es soll verhindert werden, dass an der Oberfläche Risse entstehen und die Oberflächen unansehnlich werden. Durch schnelles Austrocknen der Randzone besteht die Gefahr, dass unnötige, oberflächennahe Risse entstehen. Diese Gefahr besteht auch, wenn der junge Beton ungeschützt der Sonnenstrahlung ausgesetzt wird,
- Verhinderung von Frostschäden,
- Schutz des noch jungen Betons gegen mechanische Beschädigung und Erschütterungen.

Die Mindestanforderungen sind in der DIN EN 13670 in Verbindung mit der aktuellen DIN 1045-3 geregelt. Die Nachbehandlungsmaßnahmen sind je nach den jeweiligen Bedingungen zu wählen und die in den Normen angegebenen Fristen als Mindestwerte zu betrachten. Eine sorgfältige Nachbehandlung kann durchaus -mehrere Wochen betragen.

8.4 RISSBILDUNG VERMEIDEN ODER EINSCHRÄNKEN IN DER NUTZUNGSPHASE

In der Nutzungsphase sind Bauwerke bei durchschnittlichen Nutzungsbedingungen kaum hinsichtlich der Rissbildung zu beeinflussen. Der Nutzer sollte wissen, dass es kaum ein Haus ohne Risse gibt und dass hauptsächlich die Wände von Rissbildungen betroffen sind. Deshalb kann es sinnvoll sein, in Neubauten die Wände zu tapezieren und damit die feinen Risse zu überdecken. Tapeten haben auch ein gewisses Rissüberbrückungsvermögen, das kleinere Rissbewegungen unsichtbar machen kann. Für einen Bauherrn muss es sehr frustrierend sein, wenn an seinen nicht tapezierten Wänden oder gar im extra glatten Gipsputz jeder feinste Riss zu sehen ist und er damit den Schwindverlauf über mehrere Jahre hinweg direkt miterleben kann.

9 GERISSENE BAUTEILE INSTANDSETZEN

9.1 FÜR WELCHE RISSE IST EINE INSTANDSETZUNG ERFORDERLICH?

Diesem Kapitel sei ein Zitat aus einer Mängelanzeige für einen ›Risschaden‹ vorangestellt, das die absurde Forderung eines Bauherrn zeigt:

»... sind mehrere Fehlleistungen eingetreten, die zu den augenscheinlichen Rissbildungen, die im Wesentlichen bei 0,1 mm liegen, geführt haben.

...möchten wir Sie bitten, uns für den nachfolgenden Schadensfall einen Vorschlag zu unterbreiten, wie dieser mit Produkten der Firma ... instandgesetzt werden kann und gegebenenfalls einen Richtpreis je Laufmeter Rissanierung zu benennen.«

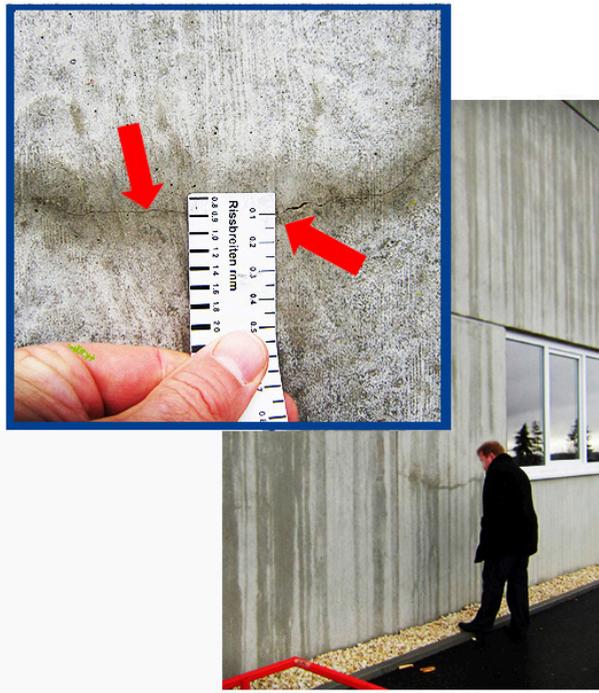


Bild 9.1
Der ›Riss-
schaden‹ – das
Bild zum Zitat

Ein Riss mit einer Rissbreite von 0,1 mm ist weder eine Fehlleistung noch ein Schaden. Er muss weder behandelt noch instandgesetzt werden. Es gibt eine Ausnahme: Wenn die Einhaltung bestimmter Rissbreiten vertraglich vereinbart worden ist, stellt die Nichteinhaltung der Vereinbarung einen Mangel im juristischen Sinn dar. Es sei aber daran erinnert, dass eine solche Vereinbarung nicht redlich ist, weil der Baubetrieb objektiv nicht über Mittel verfügt, um sie garantieren zu können. Auch die Normen für unterschiedliche Massivbauweisen enthalten keine konkreten Angaben zu zulässigen Rissbreiten, die am Bauwerk nachmessbar sind.

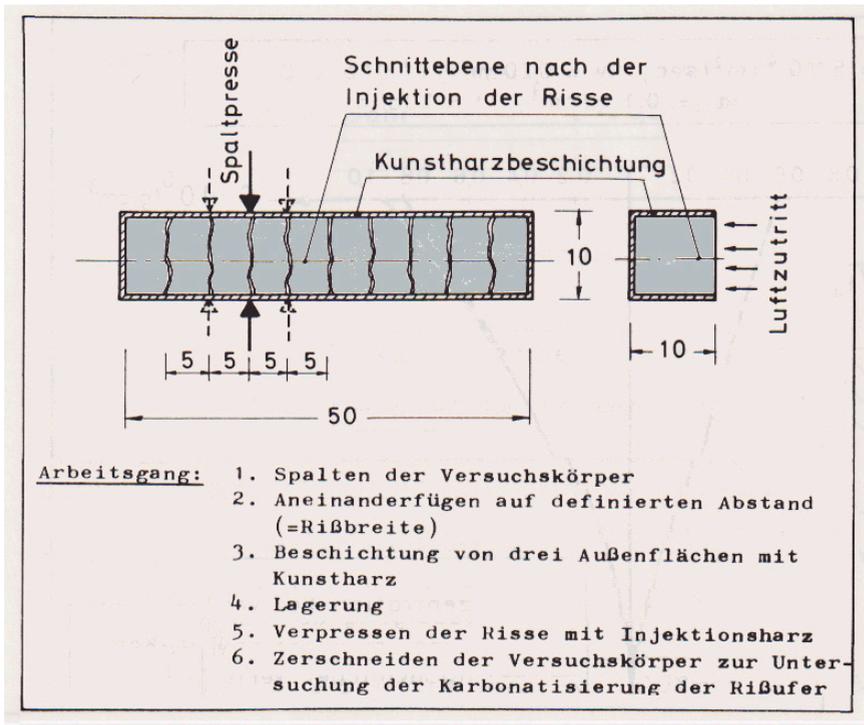
In der DIN EN 1992-1-1 wird im Abschnitt 7.3 für Stahlbetonbauteile ganz allgemein gefordert:

- (1) »Die Rissbreite ist so zu begrenzen, dass die ordnungsgemäße Nutzung des Tragwerks, sein Erscheinungsbild und die Dauerhaftigkeit nicht beeinträchtigt werden.
- ...
- (5) Ein Grenzwert w_{\max} für die rechnerische Rissbreite w_k ist in der Regel unter Berücksichtigung des geplanten Gebrauchs und der Art des Tragwerks sowie der Kosten der Rissbreitenbegrenzung festzulegen.«

Die darauf in der Norm folgende »Tabelle 7.1N – Empfohlene Werte für w_{\max} (mm)« enthält je nach Expositionsklasse Rechenwerte der Rissbreite von 0,2 mm, 0,3 mm und 0,4 mm. Über reale, am Bauwerk, messbare Rissbreiten enthält die Norm keine zahlenmäßigen Aussagen. Ein Streit über real gemessene Rissbreiten am Bauwerk hat deshalb auch mit den Angaben der DIN EN 1992-1-1 keinerlei Grundlage. Es gibt im Regelwerk keine in Zahlen ausgedrückte Anforderungen an die Beschaffenheit von Rissen. Das hängt vermutlich auch damit zusammen, dass es keine allgemein anerkannten Regeln zur Rissbreitenmessung gibt. Üblich sind:

- Einzelmesswerte,
- zur Rissbreite eines Risses zusammengefasste Einzelmesswerte (z. B. [15]) bis zur
- statistischen Auswertung von Einzelmesswerten mehrerer Risse in einer Fläche [6]. Alle diese Möglichkeiten ergeben unterschiedliche »Rissbreiten« am gleichen Riss bzw. am gleichen Objekt.

Wenn die Art der Rissbreitenmessung nicht vereinbart worden ist, kann schon an dieser Frage ein Streit entfacht werden, der meist nach dem Recht des Stärkeren entschieden wird.

**Bild 9.2**

Versuchskörper mit künstlichen Rissen (Spaltzug) und eingestellten ›Rissbreiten‹ für Injektionsversuche

Die Frage nach zulässigen Rissbreiten kann nicht aus Rechenwerten abgeleitet werden. Umgekehrt sind zulässige Rissbreiten aus Versuchsergebnissen abgeleitet worden, die durch systematische Auslagerungsversuche gewonnen worden sind. Für derartige Versuche müssen Rissbreiten an Versuchskörpern eingestellt werden.

Ein Beispiel eines solchen Versuchskörpers ist in Bild 9.2 dargestellt nach [Sch1]. Die Risse wurden für diese Untersuchungen durch Abspalten von Betonscheiben mit 50 mm Dicke erzeugt, die anschließend mit dem gewünschten Abstand (= Rissbreite) aneinandergereiht und fixiert worden sind. So konnten neun Risse auf einem nur 500 mm langen Versuchskörper eingetragen werden, was auf realitätsnahe Weg nicht möglich gewesen wäre.

Die Auswirkungen von Rissen auf die Nutzung eines Bauwerks sind differenziert zu betrachten. Risse sind nur dann als Schäden einzustufen, wenn sie Rissbreiten deutlich über 0,4 mm besitzen (optisch gemessen). Unsere heute üblichen Massivbauwerke (Mauerwerk und Stahlbeton) sind so konstruiert und bemessen, dass bei normaler Nutzung planmäßig mit Rissen zu rechnen ist. Ohne Risse kann, wie bereits geschildert, die Stahlbewehrung keine nennenswerte tragende Funktion erfüllen. Die Stahl-

bewehrung in Stahlbetonbauteilen kann erst dann ihre Funktion erfüllen, wenn Risse entstanden sind. Aufgabe des Konstrukteurs ist es, die nachteilige Wirkung einzelner Risse oder eines Rissbilds soweit zu mildern, dass die Nutzung des Bauwerks nicht beeinträchtigt wird. Trotzdem entstehen vor allem in Mauerwerksbauteilen auch Risse, die störend wirken oder gar die Dauerhaftigkeit eines Bauwerks beeinträchtigen können. In solchen Fällen sind die Risse zu füllen und die durch die Arbeiten beeinträchtigten Flächen farblich anzugleichen.

Ob und welche Risse gefüllt oder so fixiert werden müssen, dass sie sich nicht mehr oder nur noch ganz gering öffnen können, ist immer im Einzelfall festzulegen. In den Kapiteln 1 und 2 werden Fragen zur Zulässigkeit und zur Zumutbarkeit von Rissen behandelt, die vor jeder Instandsetzung zu stellen und zu beantworten sind.

Gerissene Bauteile müssen nur dann instandgesetzt werden, wenn

- die Rissbreiten so groß sind, dass schädliche Substanzen in das gerissene Bauteil eindringen und die Bewehrung erreichen und schädigen können,
- die Rissbreiten bei Ansicht der Bauwerksflächen auffällig groß sind und die Erscheinung der Fläche beeinträchtigen oder
- die Risse Undichtigkeiten in WU-Bauwerken bedeuten, die sich nicht durch Selbstdichtung abdichten. Rechenwerte der Rissbreite sind in WU-Bauwerken nur im Bereich von 0,1 bis 0,2 mm zulässig.

Risse mit größeren Rissbreiten sollen im Stahlbeton i. d. R. gefüllt werden. Die untere Grenze für das Füllen von Rissen liegt bei 0,2 bis 0,25 mm. In solche Risse ist das Injektionsgut kaum hineinzubekommen. Die → Bewehrung, die den Stahlbetonriss kreuzt, ermöglicht hohe Injektionsdrücke, weil sie die Rissufer miteinander verbindet und ein Auseinanderdrücken verhindert.

Im Mauerwerk und bei unbewehrtem Beton ist das etwas anders. Es gibt bei solchen Bauteilen keine → Bewehrung, die ein Auseinanderschieben der Rissufer behindert. Deshalb wird entweder nicht injiziert oder nur mit mäßigem → Druck. Die Formulierung »auffällig groß« bedeutet, dass es keine objektiven Kriterien für die Instandsetzung gerissener Bauteile mit Rissbreiten bis 0,5 mm gibt. Der Bauherr vermutet naturgemäß viel eher einen Schaden als der Baubetrieb oder der Planer. Er möchte für sein Geld ein einwandfreies Bauwerk haben. Der Baufachmann weiß, dass Risse in Stahlbeton- und Mauerwerksbauteilen normal und mit üblicher Sorgfalt bei der Bauausführung nicht zu vermeiden sind. Sie sind sogar Bedingung für die Funktion des Stahlbetons. Deshalb müssen Risse nicht zwangsläufig gefüllt

werden. Die feinen Risse stören i. d. R. nicht und bilden für die Stahleinlagen während vieler Jahrzehnte keine Korrosionsgefahr.

Im Einzelfall ist zu berücksichtigen, ob der Riss auf dem Untergrund, bei üblichen Lichtverhältnissen und Betrachterabständen störend auffällt. Bei Rissbreiten über 0,6 mm sollte man nicht ernsthaft über die Notwendigkeit einer Instandsetzung streiten, sondern sie ohne Widerstand durchführen. Andererseits darf der Bauherr seine Ansprüche an das Nachbessern von Rissen nicht übertreiben (vgl. die Eingangspassage für das 9. Kapitel).

Von der Vereinbarung einzuhaltender Größtwerte der Rissbreite am Bauwerk ist unbedingt abzuraten. Kein Bauunternehmer kann Rissfreiheit oder die Einhaltung eines Grenzwerts garantieren. Der Autor kennt nur eine Stahlbetonplatte, für die Rissfreiheit vertraglich vereinbart worden ist. Das war die Eislauffläche in Chemnitz (Küchwald), auf der mehrere Weltmeisterinnen und Weltmeister trainiert haben. Die Fläche wurde fugenlos betoniert und sehr lang nachbehandelt. Die Rohre für die Kühlung wirkten erschwerend als sehr starke Bewehrung in der Platte. Zur Nachbehandlung wurde die Fläche mit einigen Zentimetern Wasser ca. vier Wochen lang vollständig eingestaut.

Bild 9.3 zeigt ein schlechtes Beispiel für die Instandsetzung einer Tiefgarageninnenwand mit Injektionen. In der Wand stecken Packer, über die das Injektionsgut mit hohem Druck in die Risse gepresst wird.



Bild 9.3
Zahlreiche Packer an feinen Rissen in einer neuen Tiefgarage

Es handelt sich um eine Innenwand im Einfahrtbereich einer Tiefgarage. Sie hat lediglich die Funktionen als Deckenaufleger und zur Unterteilung des Ein- und Ausfahrtbereichs, sodass für das Füllen der Risse nur ästhetische Gesichtspunkte in Frage kommen. Die Risse sind aus dem Betrachterabstand des Fotografen selbst mit dem Blitzlicht nicht zu erkennen, haben also Rissbreiten von höchstens 0,2 bis 0,3 mm. Die roten Markierungen zeigen den Rissverlauf! Das Füllen dieser Risse ist überflüssig, weil sie unauffällig sind und in der Tiefgarage niemand stören. Wenn die Wand z. B. nach mehreren Jahren gestrichen wird, wird man die Risse nicht mehr wahrnehmen. Wahrscheinlich hat ein ängstlicher Bauherr die Abnahme verweigert, sodass es zu dieser überflüssigen ›Instandsetzung‹ kam.

9.2 DER GÜNSTIGSTE INSTANDSETZUNGSZEITRAUM

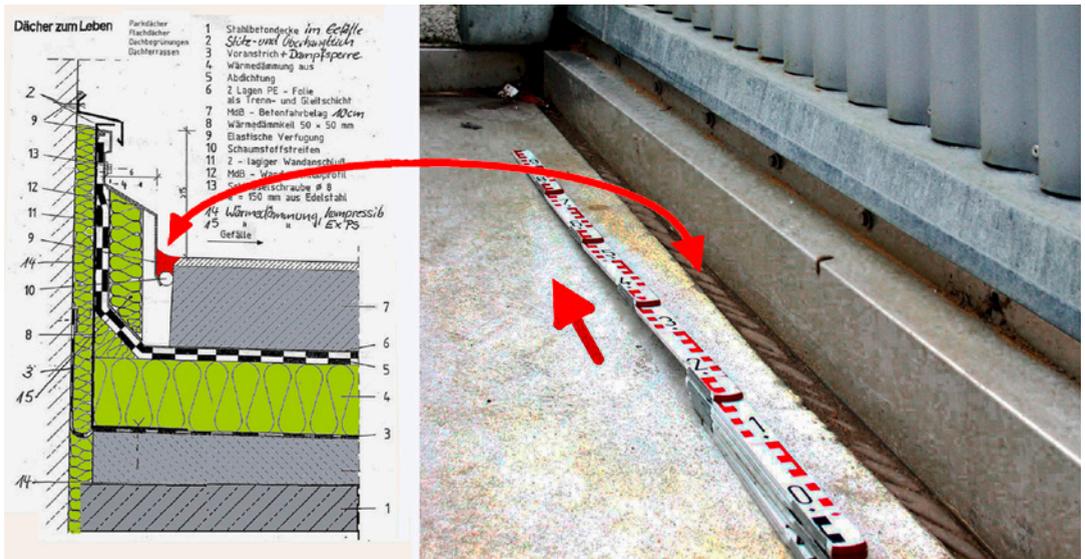
Bei der Entscheidung für eine Instandsetzung gerissener Bauteile aus Beton und Mauerwerk kann der Zeitraum (Monat) der Instandsetzung im Unterschied zu anderen Instandsetzungsarbeiten entscheidend für einen dauerhaften Erfolg sein. Die aktuelle Jahreszeit bestimmt die mittlere Bauteiltemperatur und beeinflusst direkt die Bauteillänge und damit die jeweilige Rissbreite. Die Rissbreitenänderung ist denkbar klein. Die Differenz kann aber eine zweistellige Prozentzahl und damit nicht vernachlässigbar sein.

Günstig ist es, wenn bei der Instandsetzung

- der Riss möglichst weit geöffnet ist. So ist er leichter zu füllen. Ist eine begrenzte Dehnfähigkeit gefordert, dann ist die dadurch mögliche Längenänderung der Rissbreite proportional. Die mögliche Längenänderung des Bauteils ist umso größer, je größer die Rissbreite beim Füllen ist,
- das Füllmaterial nach der Instandsetzung keine Zug-, sondern Druckbeanspruchungen erhält. Bei Zugbeanspruchungen und den damit verbundenen Dehnungen kann sich das Füllmaterial von den Rissflanken ablösen, sodass sich der alte Riss erneut öffnet.

Diese Forderungen lassen sich am besten durch die Wahl eines günstigen Zeitraumes für die Instandsetzung erfüllen. Dabei gibt es einen längerfristigen (mehrere Jahre) und einen kurzfristigen Aspekt (Jahreszeit).

Dass Fugen nennenswerte Verformungen kompensieren können, zeigt Bild 9.4. Hier handelt es sich um eine 100 mm dicke, kunststofffaser-



bewehrte Betonplatte als Verkehrsfläche auf dem Dach eines Lebensmittelmarktes. Für den seitlichen Anschluss der Platte an eine begrenzende Wand wurde eine elastische Vergussfuge gewählt, die durch Wärmeausdehnung zu einer nennenswerten Scherbeanspruchung des Fugenmaterials geführt hat.

INSTANDSETZUNG NACH ABKLINGEN DER EINMALIGEN, ZEITABHÄNGIGEN LÄNGENÄNDERUNGEN

Die Hauptrissursachen – Setzungsdifferenzen, schwind- und temperaturbedingte Bauteilverkürzungen – sind zeitabhängige Prozesse. In der Zeit, in der sich die Bauteildehnung ändert, können neue Risse entstehen und die bereits entstandenen Risse ihre Rissbreite ändern. Deshalb ist in dieser Zeit von einer Rissinstandsetzung abzuraten. Die zeitabhängigen Längenänderungen erreichen mit Ausnahme der temperaturbedingten Bauteilverkürzungen nach mehreren Jahren praktisch eine Endgröße. Setzungsdifferenzen können schon nach Wochen oder Monaten ihren Endwert erreichen. Danach sind die Längenänderungen so klein, dass sie keine Bedeutung für das Rissverhalten mehr besitzen. Deshalb ist es ratsam, diesen Zeitpunkt abzuwarten und erst danach die Risse zu füllen. Sonst riskiert man für die Zeit nach der Instandsetzung neue Risse oder die erneute Öffnung bereits gefüllter Risse. Viele Bauherren, aber auch Bauunternehmen, wissen das nicht und riskieren mit der sofortigen Instandsetzung weitere Reklamationen und Kosten. Für den Bauherrn ist es zwar unangenehm, aber bei unerwünschten Rissbildungen in vielen Fällen zumutbar, ein Jahr oder mehrere Jahre mit der Rissinstandsetzung zu warten.

Bild 9.4

Randausbildung einer Parkfläche auf dem Dach eines Lebensmittelmarktes mit verformter elastischer Vergussfuge durch eine Scherbeanspruchung

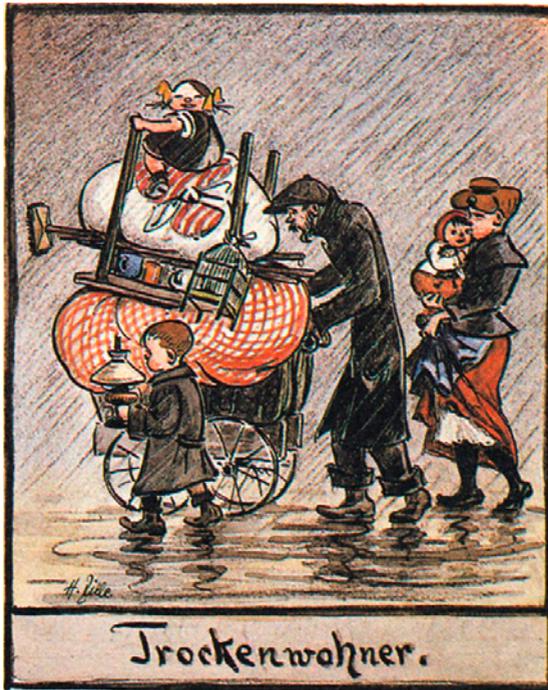


Bild 9.5
Die Trockenwohner von Heinrich Zille (1858 – 1929), genannt »Pinzelheinrich«

Alle Bauteile, die schwankenden Lufttemperaturen ausgesetzt sind, verändern ihre mittlere Bauteiltemperatur, was Längenänderungen zur Folge hat. Dadurch verändern sich auch die Rissbreiten. Das Füllmaterial der Risse wird bei Abkühlung auf Zug und bei Erwärmung auf → Druck beansprucht. Während die Druckbeanspruchung ohne Schaden ertragen wird, kann es bei Zugbeanspruchung des Füllmaterials zur Ablösung an den Rissflanken und damit zur erneuten Rissöffnung kommen. Zugbeanspruchungen im Füllgut kann man nur vermeiden, wenn der völlig offene Riss gefüllt wird, also beim Temperaturminimum im Winter.

Das wäre der ideale Zeitpunkt für die Instandsetzung. Allerdings sind für alle Füllgüter Mindestverarbeitungstemperaturen einzuhalten, so dass man sich diesem Idealzustand nur annähern kann. Herbst und zeitiges Frühjahr sind bei der Wahl der Bauzeit zu bevorzugen. Bei Tiefgaragen können Injektionsarbeiten auch im Winter sinnvoll sein, weil Arbeiten in unbeheizten Innenräumen den Idealbedingungen auch nahekommen.

Bild 9.6 zeigt, wie man eine möglichst geringe Zugbeanspruchung des Rissfüllmaterials nach der Instandsetzung erreichen kann. In dem dargestellten Beispiel beträgt die Spreizung der mittleren Bauteiltemperatur 60 Kelvin, von -20°C bis $+40^{\circ}\text{C}$. Die Skizze zeigt zum Vergleich zwei Bauteiltemperaturen für die Instandsetzung:

Vor einigen Jahrzehnten wurden Wohnungen unmittelbar nach der Fertigstellung relativ billig vermietet. Der zugehörige Begriff hieß »trockenwohnen«. In Bild 9.5 ist zutreffend dargestellt, dass es sich um arme Leute handelt, die mit wenig Eigentum sehr mobil sind.

Der Sinn des Trockenwohnens bestand darin, dass unmittelbar nach Abschluss der Bauarbeiten die Feuchtigkeit aus dem Mauerwerk entweicht und dass danach die Schwindverkürzungen weitgehend abgeklungen sind. Der nächste Mieter hatte danach eine trockene Wohnung mit keinen oder wenigen neuen Rissen in Wänden und Decken.

SICH WIEDERHOLENDE RISSBREITENÄNDERUNGEN DURCH ÄNDERUNG DER BAUTEILTEMPERATUR

- Bei der Instandsetzungstemperatur $+10^{\circ}\text{C}$, also im Herbst oder Frühjahr, ist eine anschließende Bauteilabkühlung um 30 Kelvin möglich ($-20^{\circ}\text{C}-10^{\circ}\text{C}$). Das entspricht der Hälfte der Spreizung der Bauteiltemperatur.
- Bei der Instandsetzungstemperatur $+20^{\circ}\text{C}$, also im Sommer, ist eine anschließende Bauteilabkühlung um 40 Kelvin möglich ($-20^{\circ}\text{C}-20^{\circ}\text{C}$). Das entspricht zwei Dritteln der Temperaturspreizung.

Bei einer Erwärmung des Bauteils verursacht die Behinderung der Verformung eine Druckspannung, die ohne Rissbildung aufgenommen werden kann. Deswegen ist der günstigste Instandsetzungszeitraum aus den tiefsten Bauteiltemperaturen abzuleiten.

Der Bauherr kann den Ausführungszeitraum für eine Instandsetzung an seinem Bauwerk selbst bestimmen. Er sollte sich nicht überreden lassen, die Ratgeber haben eigene Interessen, z.B. die kontinuierliche Auslastung vorhandener Kapazitäten, die man natürlich in der Auseinandersetzung nicht erfährt.

WIE ÄNDERT SICH DIE RISSBREITE DURCH LASTUNABHÄNGIGE FORMÄNDERUNGEN (TEMPERATURÄNDERUNG, SCHWINDVERKÜRZUNG)?

Im Unterschied zu vielen anderen Formänderungen von Bauteilen gibt es bei der Rissbildung keine durchgängige Proportionalität zwischen Zugkraft und Rissbreite. Das liegt an der geringen Zugfestigkeit des Betons, der schon bei relativ geringen Zugspannungen reißt. Das ist für eine Arbeitslinie für zentrische Zugbeanspruchung (Zugkraft in Abhängigkeit von der Bauteildehnung) eine Unstetigkeitsstelle. Jeder weitere Riss bedeutet wieder eine neue Unstetigkeitsstelle. Danach sind Zugkraft und Formänderung wieder bis zum nächsten Reißen proportional usw. So entsteht ein Riss nach dem anderen, ohne dass die Zugspannung nennenswert anwächst (Bild 9.7). Der Anstieg der Zugfestigkeit wird in dieser Phase von der natürlichen Streuung der Zugfestigkeit bestimmt.

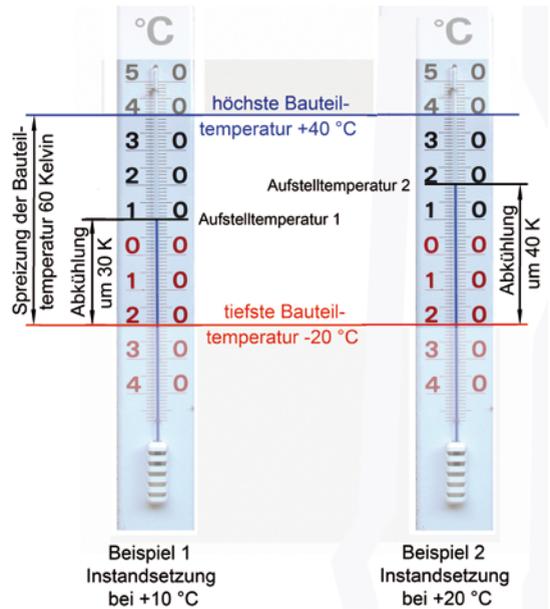


Bild 9.6

Instandsetzung bei möglichst tiefer Bauteiltemperatur bedeutet geringere Zugbeanspruchung im Riss nach der Instandsetzung

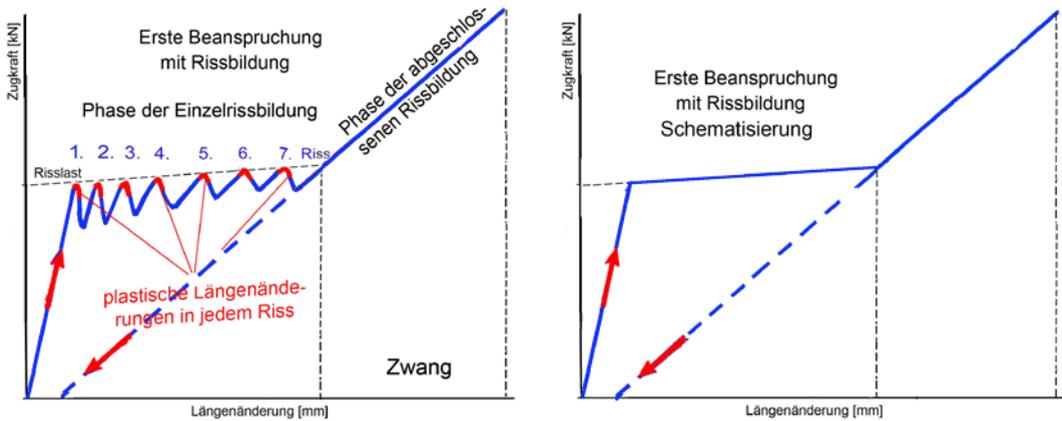


Bild 9.7

Arbeitslinie für zentrischen Zug aus Zwang bei einem Stahlbetonzugglied, links: real, rechts: schematisch

In dieser Phase der Einzelrissbildung entstehen Risse, einer nach dem anderen, solange der Rissabstand bei weiterer Dehnung das Erreichen der Risslast gestattet. Dabei wird die Zugkraft im Stahl zu einer für alle Risse wirksamen Dehnung führen und alle Risse gleichzeitig weiter öffnen. Diese Phase nennt man die Phase der abgeschlossenen Rissbildung. Bei der Entlastung folgt die Arbeitslinie nicht mehr dem bei der Erstbelastung zurückgelegten Weg, sondern verläuft geradlinig aus der abgeschlossenen Rissbildung bis zur Abszisse. Der alte Nullpunkt wird wegen der plastischen Längenänderungen in jedem Riss nicht mehr erreicht. Der neue Nullpunkt der Gruppe ist gegenüber dem ursprünglichen um die Summe der plastischen Längenänderungen aller Risse in der Abszissenrichtung verschoben (im Bild 9.7 nach rechts).

9.3 OHNE KENNTNIS DER RISSURSACHEN KEINE INSTANDSETZUNG

Bevor ein Arzt einen Patienten mit bestimmten Symptomen einer Krankheit behandelt, muss er die Ursachen kennen, die diese Symptome hervorrufen. Andernfalls wird er die Krankheit nicht heilen können. Das ist bei jeder Instandsetzung im Bauwesen nicht anders. Risse mit zu großen Rissbreiten sind der Ausdruck unplanmäßiger Beanspruchungen von Bauwerk und Bauteil. Viele Bauherren unterschätzen das Problem und überlassen dem Handwerker mit dem Auftrag auch die Ermittlung der Rissursachen. Dafür ist aber kein Handwerker ausgebildet, er weiß weder genug über die Wirkung von Lasten am Bauwerk, noch kennt er Zwangwirkungen und ihre Auswirkungen. Sein Vorteil ist seine oft jahrzehntelange Berufserfahrung, die

**Bild 9.8**

Sparsamkeit an der falschen Stelle kann das Arbeitsergebnis zunichtemachen

er nach dem Motto: »das haben wir schon immer so gemacht« benutzt. Das geht oft gut, kann aber auch zu teuren Fehlern führen.

Ein Bauherr, der das Geld für eine sachkundige Beratung sparen will, handelt ebenso fahrlässig wie der Bauer in Bild 9.8. Er füttert und pflegt zwar seine Kuh ausreichend, spart aber das Geld für dichte Kannen und Eimer. So hat er aus falsch verstandener Sparsamkeit zwar einen guten Ertrag aus seiner Arbeit, aber durch große Milchverluste nur einen geringen Nutzen. Verzichtet man auf die fachkundige Ermittlung der Rissursachen, dann kann es zu ›Sanierungen‹ kommen, die schon bald nachfolgende Gewährleistungsarbeiten erfordern. Einmal gefüllte Risse nachzuarbeiten, ist technisch schwierig. Deshalb ist anzustreben, die Instandsetzungsarbeiten nur einmal und erfolgreich durchzuführen.

Nicht jedes sich selbst als Fachbetrieb ausgebende Unternehmen arbeitet auch so, wie man es von einem Fachbetrieb erwarten muss. Einige Beispiele sollen zeigen, wie ohne Fachkompetenz am Problem vorbei gearbeitet werden kann.

Die Rissverklammerung in Bild 9.9 setzt voraus, dass man die Zwangverformungen in einer 1,30 m dicken Bodenplatte in einer Tiefgarage mit ca. 30 cm langen Bewehrungsstäben zum Stillstand bringen könnte. Das geht natürlich nicht. Nach Abschätzung der möglichen Rissbewegungen

Bild 9.9

Untauglicher Instandsetzungsversuch an einer 1,30 m dicken Bodenplatte durch Verklammerung der Rissufer an der Oberfläche



kommt man zu dem Schluss, dass hier nur eine rissüberbrückende Beschichtung helfen kann. Für eine solche Abschätzung hat ein Handwerker keine Voraussetzungen, das kann nur ein Ingenieur oder Architekt, der ausreichende Kenntnisse in der → Tragwerksplanung besitzt.

Die Rissverklammerung in Bild 9.9 hat sich ein Handwerker mit ausgedacht und realisiert. Sie hat drei Denkfehler und ist dadurch so gut wie unwirksam:

- Die Bodenplatte einer großen Tiefgarage mit 5 Ebenen ist 1,30 m dick. Eine Rissverklammerung an der Oberfläche hat nicht die erhoffte verbindende Wirkung über die gesamte Plattenhöhe. Sie ist nur an der Oberseite wirksam, unten nicht mehr. Wenn die Platte z. B. 300 mm dick wäre, würde die Verklammerung wie vorgesehen funktionieren.
- Wenn sich die Rissufer bewegen, dann geht das nur so, dass sich die beiden Plattenteile links und rechts vom Riss einander annähern oder voneinander entfernen. Die Bewehrung soll in der Bewegungsrichtung liegen. Dann hat sie die größte Wirkung (Bild 9.10).
- Die Bewehrungsstäbe zur Verklammerung benötigen eine größere Länge, um die zu übertragenden Zugkräfte sicher im Beton der beiden Rissufer zu verankern.

Das Beispiel in Bild 9.11 zeigt eine 100 mm dünne unbewehrte Bodenplatte mit einem → Trennriss, der durch Injektionen nach dem Regelwerk für be-

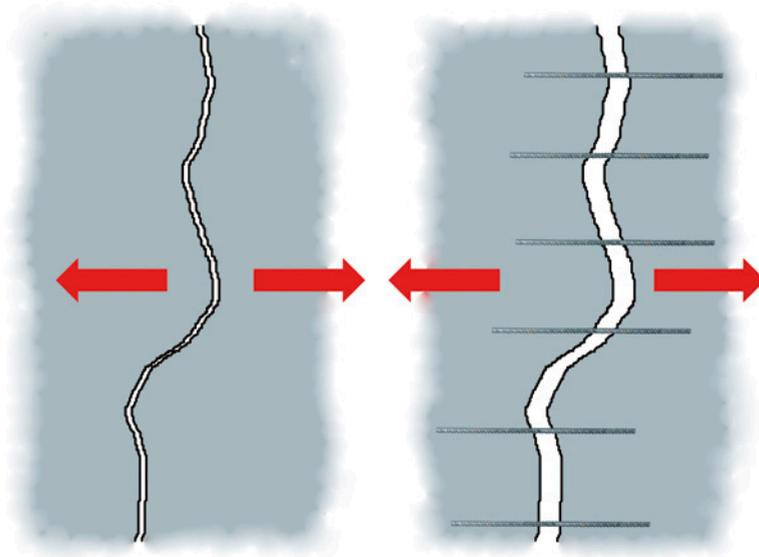


Bild 9.10
Richtige Riss-
verklammerung
für dünne Platten:
in Richtung
der Zugkraft

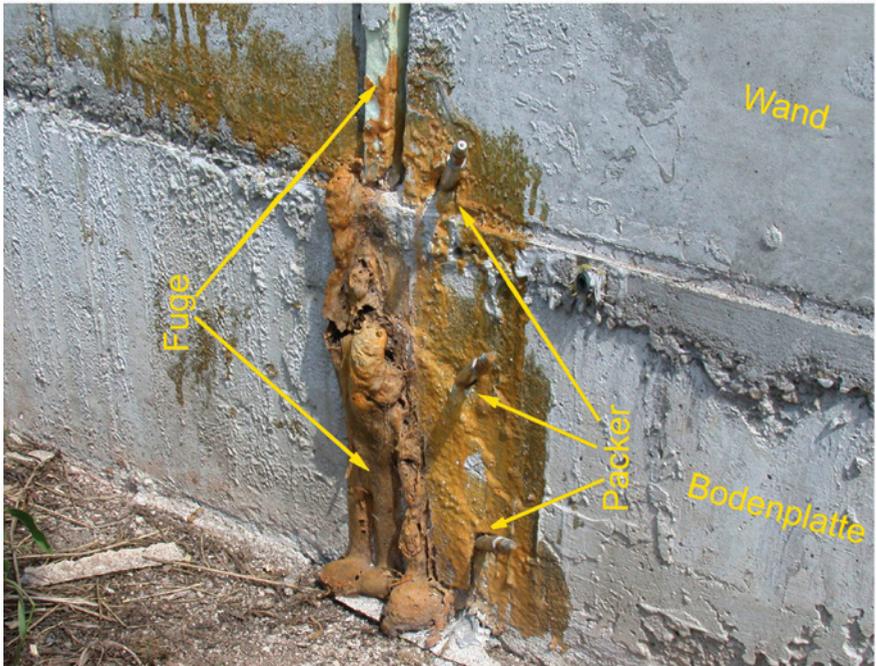
weherten Beton gefüllt werden sollte. Das Ergebnis war, dass sich der Riss unter der Wirkung des Injektionsdrucks noch etwas geöffnet hat. Beim nächsten Befahren der Platte öffnet sich der Riss erneut. Schade um die Kosten für die ›Instandsetzung‹. Hier hilft nur der Ersatz der gerissenen Platte durch einen neuen Belag. Eine Injektion kann keine Bewehrung ersetzen.

Einen weiteren groben Fehler zeigt Bild 9.12. Ein Gärfuttersilo, das aus einer Bodenplatte und mehreren Längswänden besteht, hatte undichte → Bewegungsfugen in den Wänden und in der Bodenplatte, aus denen Gärflüssigkeit austrat und verbotenerweise ins Grundwasser gelangte. Im Bild ist der Anschluss der Wand an die Bodenplatte im Fugenbereich von



Bild 9.11
Unwirksame
Rissinjektion
in einer 100 mm
dünnen Fahr-
bahnplatte aus
unbewehrtem
Beton (vgl. auch
Bild 9.4)

Bild 9.12
Gärfuttersilo,
fehlerhafte In-
jektion einer
vertikalen
Bewegungsfuge
mit Polyure-
thanschaum



außen zu sehen. Man hat hier mehrere Fehler gemacht und die Fuge nachträglich doch nicht dicht bekommen:

- Eine Bewegungsfuge kann nicht wie ein Riss verpresst werden, weil in ihr planmäßig Bewegungen möglich sein müssen. Wenn die Bewegung der Fugenflanken nicht sehr groß ist – das lässt sich rechnerisch abschätzen – nimmt man eine Fugenmasse, andernfalls muss man sehr aufwändige Konstruktionen verwenden.
- Als Injektionsmaterial wurde Polyurethanschaum verwendet (ähnlich dem Bauschaum), der im Unterschied zu Polyurethanharz für eine dauerhafte Abdichtung ungeeignet ist. Er darf zum Füllen von Rissen nicht verwendet werden.

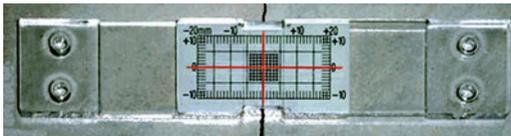
Bei der Betrachtung von Bild 9.12 lässt sich erahnen, wie schwierig die Entfernung des Schaums sein wird, wenn die durch die falschen Instandsetzungsarbeiten erfolglose Reparatur nachgebessert und in Ordnung gebracht werden muss.

Ein Bauherr ist gut beraten, wenn er vor einer Instandsetzung den Rat eines Fachmanns über die Rissursachen und die Art sowie den optimalen Zeitpunkt der Arbeiten einholt. Nicht jeder Bauingenieur oder Architekt und auch nicht jeder Handwerker hat die Voraussetzungen dazu. Es sollte ein Baufachmann sein, der Kenntnisse in der → Tragwerksplanung sowie Berufserfahrungen haben muss. Am besten, man lässt sich aus dem Bekanntenkreis einen Fachmann empfehlen, mit dem jemand gute Erfahrungen gemacht hat. Man kann sich auch bei einer Industrie- und Handelskammer im Bereich Sachverständigenwesen geeignete öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige benennen lassen bzw. sie auf den Internetseiten der IHK oder HWK suchen. Wichtig ist dabei, das Fachgebiet ausreichend zu spezifizieren.

BEWEGEN SICH DIE RISSUFER ODER NICHT?

Eine wichtige Frage ist vor Beginn der Instandsetzung, ob sich die Rissufer aktuell und auch künftig noch bewegen werden bzw. ob es sich um sog. ruhende Risse handelt. Von der Beantwortung dieser Frage hängen Art und Erfolg der Instandsetzung ab. Zur Beantwortung sind Spezialkenntnisse der → Tragwerksplanung und der Theorie des Stahlbetons notwendig. Wenn viel Zeit zwischen Planung und Ausführung zur Verfügung steht, kann man Gipsmarken oder Rissmonitore (Bild 9.13) anbringen und das Bewegungsverhalten eines Risses über Monate oder ein ganzes Jahr hinweg beobachten bzw. die Rissbreitenänderung messen. Hat man diese Zeit nicht, dann können Spezialisten auch an Hand des Rissbildes und von Daten zum Bauablauf noch mögliche Rissuferverschiebungen bei Stahlbetonbauwerken

Bild 9.13
Messmittel für Rissuferverschiebungen: Rissmonitor (links oben), darunter ungerissene Gipsmarke, rechts gerissene Gipsmarke



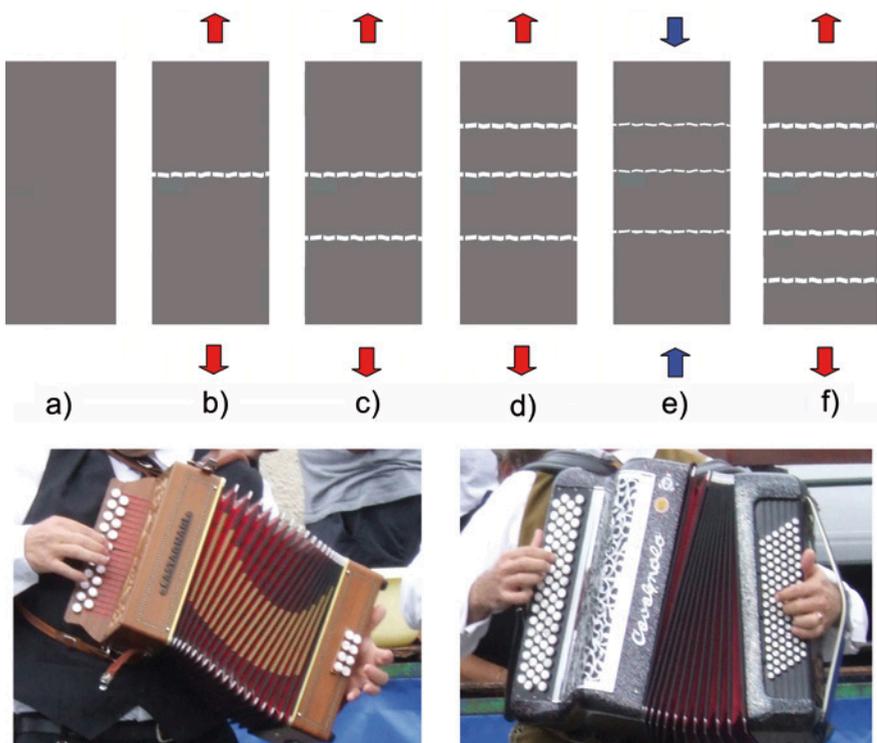
abschätzen. Bei unbewehrtem Mauerwerk gibt es dazu keine Berechnungsmethode.

Die Kenntnis über mögliche Rissbreitenänderungen ist deswegen so wichtig, weil die Dehnfähigkeit gefüllter Risse je nach Injektionsmaterial nicht sehr groß ist. Polyurethanharz wird im Regelwerk als begrenzt dehnfähiges Material eingestuft. Die Dehnbarkeit beträgt etwa 10 % der Rissbreite, also bei einer Rissbreite von 0,5 mm ca. 0,05 mm. Ist die Rissuferver-schiebung größer, dann reißt der gefüllte Riss erneut auf.

Die Schwierigkeiten, die Frage nach der Rissbreitenänderung zu be-antworten, sollen an Hand von Bild 9.14 erläutert werden. Das Bild zeigt einerseits eine Stahlbetonkellerdecke im Grundriss, die mit Stahlbetonwänden fest verbunden ist. Andererseits ist eine Ziehharmonika abgebildet, die als Vergleich für die Rissbildung dienen soll.

Die Decke hat wegen der beidseitigen Verdunstungsmöglichkeit ein größeres Schwindmaß als die einseitig erdberührten Kellerwände und unterliegt größeren Temperaturschwankungen als die erdberührten Wände. Deswegen sind Ausdehnung und Verkürzung der Decke größer als die der Wände. Sie werden durch die Wände behindert. Zur Veranschaulichung wird die Dehnungsbehinderung in Bild 9.14 nur in einer Richtung (für die

Bild 9.14
Vergleich der
Trennrissbil-
dung in einer
Decke (Drauf-
sicht) mit den
Bewegungen
einer Ziehhar-
monika



größere Seitenabmessung der Decke betrachtet. Tatsächlich ist eine ähnliche Längenänderung auch in der anderen Richtung wirksam.

Ungerissener Zustand a)

Jeder Vergleich hinkt. Deshalb müssen wir für die Ziehharmonika annehmen, dass die Lamellen im unbenutzten Zustand leicht miteinander verklebt sind. Das entspricht dem ungerissenen Zustand der Decke unter a) links oben im Bild.

Zustände b) bis d) Bildung von einzelnen Rissen.

Wird die Ziehharmonika zum ersten Mal gezogen, dann werden sich nach und nach gerade so viele Lamellen öffnen, wie zum Ausgleich der Längenänderung erforderlich sind. Die Kraft zur Überwindung der Klebung entspricht der → Risslast.

Zustand e)

Nachdem sich einige Lamellen geöffnet haben, soll der Balg wieder gedrückt und dadurch verkürzt werden. Jetzt beteiligen sich alle Lamellen (entsprechend alle Risse) an der → Stauchung durch gleichzeitige Verringerung aller Lamellenabstände (entspricht den Rissbreiten). Wird der Balg wieder gezogen, dann ist das mit umgekehrten Vorzeichen genauso, solange die bisherige größte → Dehnung nicht überschritten wird.

Zustand f)

Wird die bisher erreichte maximale → Dehnung überschritten, öffnen sich alle Lamellen (Risse) auf ihre größte Rissbreite, und es entsteht ein neuer Riss. Je älter ein Bauwerk ist, umso seltener kommt es vor, dass die größte bisher erreichte Dehnung z.B. in einem besonders strengen Winter überschritten wird. In älteren Bauwerken besteht deshalb zwischen Bauteildehnung und Rissbreite Proportionalität. Allerdings ist nur der Rissbreitenanteil aus Temperaturänderung der Temperaturdehnung proportional. Die Schwinddehnung ist bei älteren Bauwerken nach Erreichen des → Endschwindmaßes konstant und verändert sich nicht mehr. Entsprechend ändert sich auch der Anteil der Schwinddehnung an der einzelnen Rissbreite nicht mehr. Bestehende Risse werden sich deshalb nie mehr ganz schließen, weil sich die Schwindverkürzung nicht umkehrt.

Die kurze Erläuterung lässt den Vorgang kompliziert erscheinen. Das ist er auch, selbst für viele Ingenieure, die damit nicht oder nur selten zu tun haben. Von einer solchen Betrachtung hängt aber ab, ob für die Instandsetzung z.B. eine Rissverpressung ausreicht oder das Bauteil mit einer

rissüberbrückenden Beschichtung versehen werden muss. Deshalb sollte zur Art der Instandsetzung immer der Rat eines Fachmanns eingeholt werden. Er kann auch abschätzen, ob Rissbreitenschwankungen zu erwarten und wie groß sie sind.

Als Faustregel gilt:

- Neue Risse entstehen immer dann, wenn die behinderte Bauteilverkürzung über einen bis dahin erreichten Größtwert anwächst. Das kann nur in der kalten Jahreszeit sein. Deshalb soll man mit der Instandsetzung gerissener Bauteile mehrere Jahre warten. Dann entstehen höchstens noch einzelne Risse, meist aber keine mehr.
- Vorhandene Risse verändern ihre Rissbreite proportional zur Bauteildehnung, solange die → Dehnung kleiner als der einmal erreichte Größtwert bleibt. Das Bauteil verhält sich unterhalb dieser Grenze wie eine Ziehharmonika, bei der sich alle Lamellenabstände (Risse) je nach Dehnung des Balgs (Bauteils) gleichmäßig vergrößern oder verringern (Bild 9.14). Das trifft sowohl auf Verkürzungen als auch auf Verlängerungen zu.
- Risse haben ihre größte Rissbreite bei tiefen Temperaturen (Winter). Das ist die günstigste Zeit für eine Rissinjektion, weil viel Füllgut in den Riss hineingeht. Bei der mit der Erwärmung einsetzenden Rissbreitenverringern wird das im Winter eingebrachte Füllgut gedrückt, was in gewissen Grenzen schadlos ertragen wird.

Jeder Riss korrespondiert – leider nicht immer proportional zur Bauteildehnung – mit der Längenänderung eines Bauteils. Es ist normal, dass sowohl → Schwinden als auch Temperaturänderungen Beiträge zur Rissbreite liefern. Daher hat jeder Riss einen Schwind- und einen Temperaturanteil, die beide die Rissbreite bilden. Es sei angemerkt, dass sich einmal entstandene Risse nie mehr völlig schließen. Das liegt daran, dass der Anteil der Schwindverkürzung und der Setzungen an der Bauteildehnung nicht mehr zurückgeht. Er verläuft als Verkürzung nur in eine Richtung und ist nicht umkehrbar. Beträgt der Schwindanteil an der gesamten Bauteilverkürzung (100 %) z. B. 60 %, dann schließen sich die entstandenen Risse bei Erwärmung des Bauteils maximal zu 40 % der größten Rissbreite, der Schwindanteil von 60 % bleibt offen (Bild 9.15).

Bis auf Lasten sind alle anderen Rissursachen behinderte zeitabhängige Verformungen, wie bereits erläutert. Deshalb sind Rissuferbewegungen bei fast allen Rissen festzustellen. Bei einigen sind die Bewegungen zeitlich begrenzt, bei Temperaturverformungen infolge meteorologischer Einflüsse wiederholen sie sich im Tages-, Monats- und Jahresgang. Im Einzelnen gilt:

- **Schwindverformungen:** Sie sind je nach den konkreten Bedingungen mehrere Jahre spürbar (bei Mauerwerk z.B. 3 bis 4 Jahre, bei Beton bis 6 Jahre und manchmal auch mehr) und können sowohl das Entstehen neuer als auch die Öffnung vorhandener Risse bedeuten. Zwischen aktuellem Schwindmaß und den Rissbreiten gibt es keine Proportionalität. Der größte Teil des Dehnungszuwachses wird durch neu entstehende Risse kompensiert.
- **temperaturbedingte Verformungen:** Sie wirken i. d. R. während der gesamten Nutzungszeit eines Bauwerks. Es gibt wenige Ausnahmen wie z. B. unterirdische Bauwerke mit gleichbleibender Nutzung, bei denen sich die Temperaturen wenig oder fast gar nicht ändern. Sie bewirken sowohl → Stauchungen als auch Dehnungen der Bauwerksteile. Entsprechend verändern sich die Rissbreiten, nachdem sich in den ersten 2 bis 3 Jahren das Rissbild ausgeprägt hat. Im Sommer sind die Risse etwas feiner als bei der Bauteilverkürzung im Winter. In sehr strengen Wintern können bei Stahlbetonbauteilen neue Risse entstehen.
- **lastbedingte Verformungen:** Sie entstehen als → elastische Verformung unmittelbar nach dem Eintragen der Last. Danach wachsen sie i. d. R. im Laufe mehrerer Jahre ähnlich wie die Schwindverformungen durch das sog. → Kriechen, also der plastischen Verformung unter Lasteinwirkung. Wirkt die Last ständig weiter, dann wächst die bereits eingetretene elastische Verformung noch um 100 bis 200 %, erreicht aber nach einigen Jahren einen Endwert. Dieser Zuwachs ist eine plastische Verformung, die auch nach der Entlastung erhalten bleibt (vgl. Abschnitt 2.3). Plastische Verformungen führen bei Zugspannungen zu neuen Rissen bzw. zur Öffnung vorhandener Risse.
- **Verformungen aus Setzungs differenzen:** Sie sind auch zeitabhängig. Je nach den Eigenschaften der sich setzenden Bodenschichten können

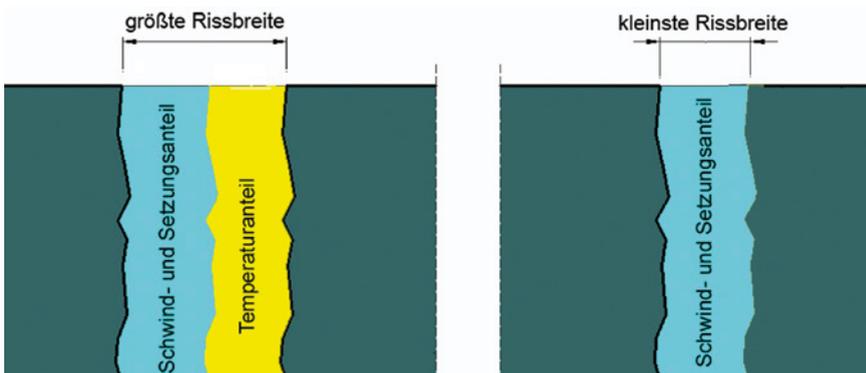


Bild 9.15
Anteile der Rissbreite aus Schwinden und aus Temperaturänderung

Setzungen innerhalb von Stunden, aber auch erst nach Monaten und Jahren abgeschlossen sein. Das muss im Einzelfall von einem Fachmann beurteilt werden.

In Bild 9.15 sind die beiden Rissbreitenanteile Schwinden und Temperaturänderung im Riss dargestellt. Das Schwinden ist ein einmaliger Vorgang, der nach einer längeren Zeit abgeschlossen ist (Endschwindmaß). Die Temperaturänderung wiederholt sich im Tages- und Jahrgang. So wie das Schwindmaß seinen Endwert nach mehreren Jahren erreicht, so erreicht auch der Rissbreitenanteil seinen Endwert. Das hat zur Folge, dass in jüngeren Rissen über längere Zeiträume mehr Bewegung ist als in älteren.

Alte Risse schließen sich nicht mehr. Die Öffnung endet bei einem Minimum, das vom Endschwindmaß bestimmt wird. Wird der Temperaturanteil zum konstanten Schwindanteil addiert, ist eine weitere Öffnung bis zum Maximum bei tiefer Temperatur zu erwarten.

9.4 ARTEN DER INSTANDSETZUNG GERISSENER BAUTEILE

Als Instandsetzungsmaßnahmen für gerissene Bauteile kommen in Frage:

- Das Füllen von Rissen durch Tränkung oder Injektion eines Füllmaterials in den Riss. Injektionen, bei denen hohe Drücke von z. B. 50 bar an der Austrittsdüse nötig sind (Vergleich: ein PKW-Reifen hat einen Innendruck von 2 bis 3 bar), üben diesen → Druck auch auf die Rissufer aus und können bei unbewehrten Bauteilen Verschiebungen der Rissufer verursachen. Nur eine den Riss kreuzende → Bewehrung kann das Auseinanderdriften verhindern (Bild 9.17).
- Die Beschichtung gerissener Flächen. Beschichtungen sind besonders für sich bewegende Rissufer geeignet, wenn die Bewegungen so groß sind, dass das Füllgut reißt.

Speziell für Mauerwerk:

- Das Spachteln und Überstreichen ruhender Risse,
- Die Rissfixierung mit Spiralankern,
- Herrichten des Risses in der Art einer Bewegungsfuge,
- Anstreichen ganzer Fassaden mit faserhaltigen Fassadenfarben auf Kunstharzbasis (rissüberbrückend bis 0,3 mm).

Die Aufzählung zeigt, dass Unterschiede für Beton und Mauerwerk bestehen, die einzeln erläutert werden.

9.5 INJEKTIONSMATERIALIEN

Zum Füllen von Rissen gibt es ein umfangreiches europäisches Regelwerk (DIN EN 1504) zusammen mit mehreren DIN V ...). Darüber hinaus gelten die »Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen« sowie im Verkehrswesen die »Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV ING)«. Der Bauherr muss darauf achten, dass genormte Materialien verwendet werden. Wir unterscheiden folgende genormte Materialien:

- Polyurethanharz, etwas dehnfähig,
- Epoxidharz für eine kraftschlüssige Verpressung,
- Zementsuspension,
- Zementleim,
- Acrylatgel, wenn ein Kontakt mit → Bewehrung sicher ausgeschlossen werden kann (Deutschland). Andere EU-Länder haben diese Einschränkung nicht.

Die Materialien haben unterschiedliche Eigenschaften. Am häufigsten wird Polyurethanharz verarbeitet. Zementleim und Zementsuspension haben den Vorteil, dass sie dem Beton verwandte Materialien sind. Die Füllstoffe unterscheiden sich durch ihre → Viskosität. Eine geringe Viskosität ist förderlich für das tiefe Eindringen des Materials bis zur Risswurzel. Stoffe mit höherer Viskosität füllen die Risspitze nicht mehr aus (Bild 9.16).

Häufig wird mit Polyurethanharz gearbeitet, wenn keine besonderen Anforderungen vorliegen. Polyurethanharz ist im Unterschied zu den anderen Materialien in geringem Maße dehnfähig. Man darf jedoch keine Wunder erwarten. Bei der Wahl der Injektionsstoffe kann man sich vom Baubetrieb beraten lassen.

Bild 9.16
Grenzrissbreiten für die Injizierbarkeit von Rissen

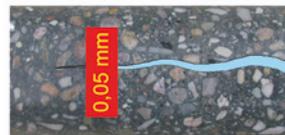
füllt den Riss aus:

vollständig



Epoxidharz
Polyurethanharz

ab 0,05 mm



Zement-
suspension

ab 0,20 mm



Zement-
leim

Die Materialien müssen der europäischen Norm DIN EN 1504-5 in Verbindung mit der nationalen Anwendungsnorm entsprechen, was durch ein Übereinstimmungszertifikat nachzuweisen ist.

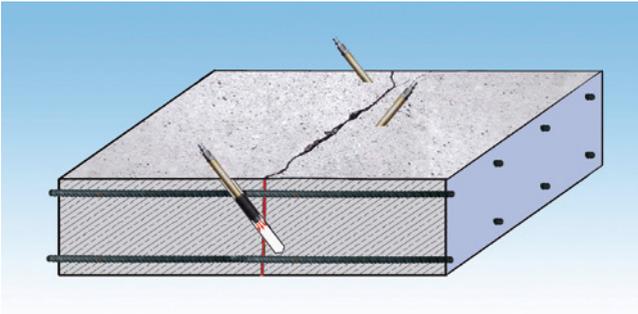
Bild 9.17

Prinzip der Rissinjektion bei Stahlbeton

9.6 INSTANDSETZUNG GERISSENER STAHLBETONBAUTEILE

Bild 9.18

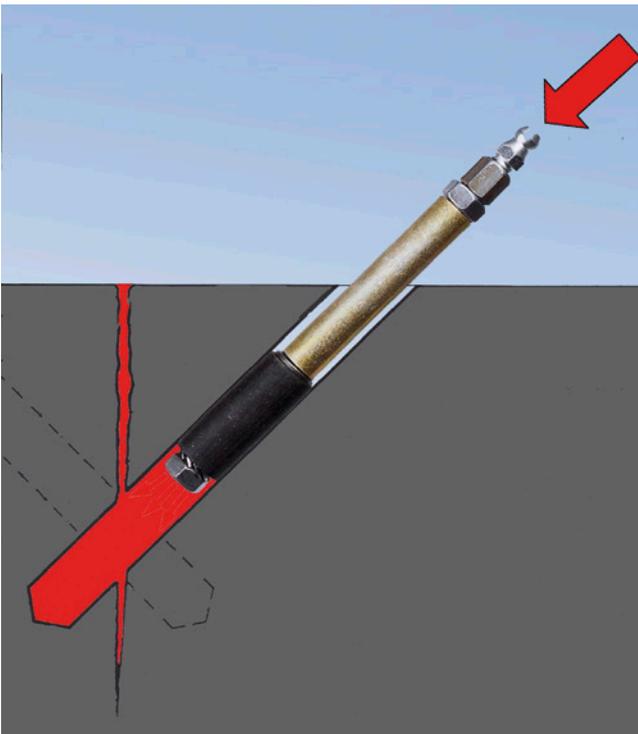
Bohrpacker



DAS FÜLLEN VON RISSEN IN STAHLBETONBAUTEILEN

Hauptmethode für das Füllen von Rissen ist die Injektion von Füllmaterial in den Riss unter hohem Druck. Risse in Stahlbetonbauteilen werden i. d. R. von der → Bewehrung gekreuzt. Dadurch können hohe Injektionsdrücke aufgebracht werden, ohne das Bauteil zu beschädigen oder zu deformieren. Die Bewehrung verhindert das Auseinanderdriften der beiden Rissufer bei hohem Injektionsdruck. Hoher Injektionsdruck ist nötig, um den Riss möglichst vollständig zu füllen. Je feiner ein Riss ist, umso schwieriger ist es, ihn zu füllen (Bild 9.16). Die unterschiedlichen Füllgüter haben unterschiedliche → Viskositäten. Bei geringen Rissbreiten kommen nur niedrigviskose Kunstharze in Frage.

Das Prinzip der Injektion eines Risses ist in Bild 9.17 dargestellt. Der Riss wird seitlich – abwechselnd von links bzw. von rechts – schräg angebohrt, so dass das Bohrloch den Riss etwa in der Mitte des Bauteils kreuzt. Die sog. Packer (Bild 9.18), durch die das In-



jektionsmaterial in den Riss gedrückt wird, haben in ihrer Achse eine durchgehende Bohrung, den Injektionskanal. Der Packer wird mit einer Gummidichtung (schwarz) im Bohrloch abgedichtet, damit im Bohrloch vor dem Packer und damit auch im Riss ein Druck aufgebaut werden kann, der das Injektionsmaterial möglichst tief in den Risspalt befördert. Die Packer werden im Abstand von 300 bis 400 mm gesetzt, damit der Riss über die gesamte Risslänge vollständig gefüllt wird.

Andere Packerformen für bestimmte Anwendungen sind im Handel. Jeder Fachbetrieb kennt die Vor- und Nachteile der Packerarten und muss die für seinen Zweck am besten geeigneten Packer auswählen.

BESCHICHTUNG GERISSENER BAUTEILE

Wenn die Rissuferverschiebungen so groß werden, dass sich injizierte Risse wieder öffnen können, dann muss man eine gerissene Fläche beschichten. Es gibt sehr leistungsfähige Beschichtungen, die die üblichen Rissbreiten ohne aufzureißen überbrücken können. Die mögliche Rissbreitenänderung bei Injektion von dehnfähigem Material (Polyurethanharz) beträgt höchstens 10 % der Rissbreite. Bei einer Rissbreite von 0,4 mm ist das eine Bewegung von 0,04 mm bzw. $\pm 0,02$ mm. Das ist etwa die Dicke von drei Blatt Kopierpapier. Die summarische Längenänderung von drei Rissen beträgt aber bereits etwas mehr als 1 mm.

Mit Beschichtungen kann man Risse mit relativ großen Rissbreitenänderungen überbrücken, wie sie z. B. in den Zwischenebenen von Parkhäusern auftreten. Rissüberbrückende Beschichtungen sind heute für die Verkehrsflächen in Parkhäusern und Tiefgaragen der Regelfall.

9.7 FÜLLEN VON RISSEN IN BAUTEILEN AUS UNBEWEHRTEM BETON UND MAUERWERK

VERFUGEN

Im einfachsten Fall kann man Risse durch Verspachteln mit einem normalen oder kunststoffvergüteten Mörtel füllen. Das ist aber nur dann sinnvoll, wenn man sicher ist, dass sich die Rissufer nicht mehr verschieben werden. Das ist immer dann der Fall, wenn die Risse durch Schwindverkürzungen oder durch Setzungsdifferenzen entstanden sind. Die Bauteildehnungen durch temperaturbedingte Verformungen sind meist nicht groß genug, um die Risse wieder zu öffnen bzw. sichtbar zu öffnen. Ein erfahrener Tragwerksplaner kann das rechnerisch abschätzen. Ein Beispiel dafür zeigt bei Mauerwerksrissen das Bild 9.19.

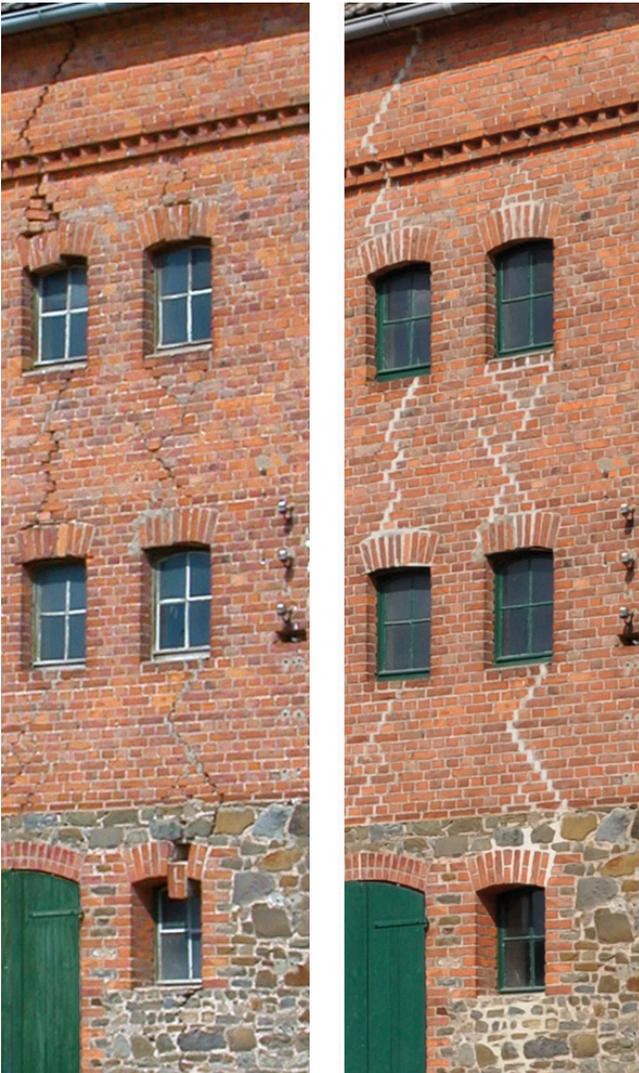


Bild 9.19

Einfaches Verfugen eines relativ breiten Risses in Sichtmauerwerk vor und nach der Instandsetzung

Um dem Mauerwerk wieder eine gewisse Zugfestigkeit im Riss zu verleihen, ist eine sorgfältige, handwerklich gute Verfugung nötig. Dann ist die Chance gegeben, dass sich Risse nicht wieder sichtbar öffnen. In Bild 9.19 ist der Vergleich des beschädigten Mauerwerks vor der Verfugung mit dem Zustand danach zu sehen. Der hellere nachträgliche Mörtel unterscheidet sich von dem alten, grauen Mörtel und wird wohl auch langfristig nicht dessen Farbe annehmen. Eine farbliche Angleichung des neuen Mörtels wäre wünschenswert und ist technisch auch möglich.

BESCHICHTUNG

Die Beschichtung von Wänden ist der einfachste Fall einer Instandsetzung. Für Fassaden sind spezielle Fassadenfarben auf dem Markt, die feine, ruhende Risse dauerhaft überbrücken können. Solche Arbeiten werden von Malerbetrieben durchgeführt. An Innenwänden kann man auf die Risse vor den Malerarbeiten textile Streifen aufkleben und einarbeiten, um gewisse Rissuferverschiebungen schadlos zu kompensieren.

In Innenräumen können relativ dicke Tapeten benutzt werden, um Risse zu verdecken. Auch für den Fall sehr alter Gebäude, in denen die Rissursachen nicht völlig bestimmt werden können, muss man nach einer Instandsetzung immer damit rechnen, dass sich einige Risse wieder geringfügig öffnen können. Als vorbeugende Maßnahme kann man die Innenräume mit einer verstärkten Tapete tapezieren.

INJEKTIONEN

Mauerwerk und unbewehrter Beton enthalten keine → Bewehrung. Das Füllen von Rissen ist daher meist nicht dauerhaft. Bereits kleinste Rissuferbewegungen lassen einen gefüllten Riss wieder aufbrechen. Deshalb kommen Injektionen in unbewehrtem Beton und Mauerwerk weniger zur Anwendung.

TRÄNKEN

Risse können drucklos gefüllt werden. Das Füllgut in flüssiger Form wird auf den Riss gegossen. Das Verfahren ist nur für horizontale oder wenig geneigte Flächen geeignet. Der erreichbare Füllgrad ist kleiner als bei einer Injektion mit einem gewissen Flüssigkeitsdruck.

ANSTRICHE

Bei sehr feinen Rissen, die als flächiges Rissbild verteilt sind, und bei denen keine oder nur geringe Rissuferbewegungen mehr zu erwarten sind, genügt ein Spachteln in Verbindung mit einem Anstrich. Ggf. ist ein faserhaltiges Anstrichmaterial zu verwenden.

Verschieben sich die Rissufer noch, dann genügt eine solche Behandlung nicht. Bild 9.20 zeigt ein solches Beispiel. Die gerissene Fassa-

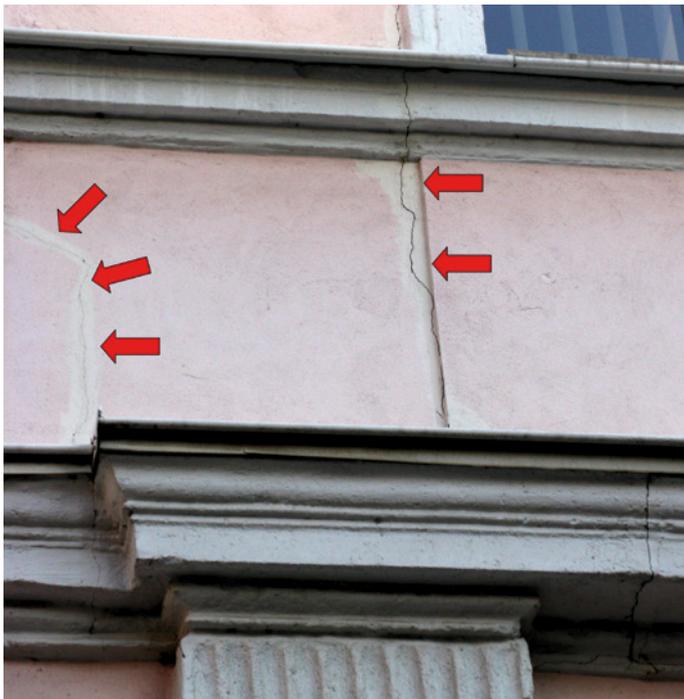


Bild 9.20
Fehlerhafte Instandsetzung einer gerissenen gemauerten Wand durch Verspachteln der Risse

de ist nach Südwest ausgerichtet und erhält im Tagesgang relativ große Temperaturverformungen. Das heißt, dass die Rissufer nie zur Ruhe kommen und sich immer entsprechend der Temperaturdehnung verschieben werden. Eine einfache Instandsetzung durch Malerarbeiten reicht in diesem Fall nicht aus. Die Fassade ist so gestaltet, dass man sie in ihrem Aussehen nicht verändern kann. Deshalb ist in diesem Fall eine Instandsetzung mit Spiralankern sinnvoll. Im Abschnitt 9.8 ist beschrieben, wie Spiralanker anzuwenden sind.

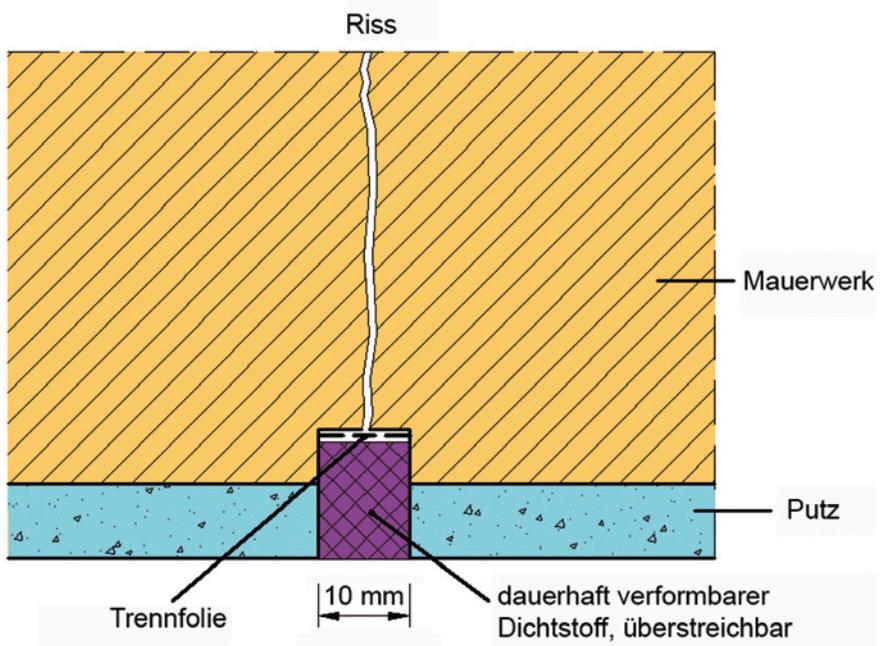
VERKLEIDUNG DER FASSADE MIT EINEM WÄRMEDÄMMVERBUNDSYSTEM

Ein wirksames aber auch teures Mittel ist, die Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem zu versehen, das die Risse dauerhaft verdeckt. Das ist immer dort sinnvoll, wo die größere Wärmedämmung notwendig und willkommen ist. Allein um Risse zu verdecken, wird sich eine solche Ausgabe nicht lohnen.

AUFWEITEN DES RISSES UND DEHNBARE AUSBILDUNG

Das Füllen von Rissen in gemauerten Wänden ist immer dann schwierig, wenn sich die Rissufer noch bewegen, z.B. infolge von Temperaturänderungen. Bild 9.20 zeigt ein Beispiel an einer Mauerwerks-Fassade. Die

Bild 9.21
Ausbildung einer Bewegungsfuge über dem Riss (Schnitt)



Risse wurden verstrichen, ohne dass die temperaturbedingten Längenänderungen berücksichtigt wurden. Die Risse haben sich bei niedrigen Temperaturen wieder geöffnet. Das Foto entstand im Februar bei Temperaturen um den Gefrierpunkt. Bei Fassadenrissen kann man davon ausgehen, dass die atmosphärischen Temperaturwirkungen immer eine Rissbreitenänderung verursachen. Dem muss man mit der Instandsetzungsmethode Rechnung tragen. Sonst öffnet sich der Riss nach einer gewissen Zeit erneut und macht die Fassade unansehnlich.

Bild 9.21 zeigt eine aufwändigere Art der Instandsetzung. Der Riss wird ca. 10 mm aufgeweitet, am Grund des Schlitzes eine Trennfolie eingelegt und der Schlitz mit einem Dichtstoff gefüllt. Eine farbliche Angleichung oder ein Neuanstrich lässt die »Bewegungsfuge« nicht erkennen. Diese Fuge ist in der Lage, kleine Rissuferverschiebungen auszugleichen, ohne dass wieder ein Riss entsteht.

Ähnlich ist die Ausbildung einer Bewegungsfuge bei vorheriger Entfernung eines breiteren Putzstreifens. In Bild 9.22 liegt die Dehnmöglichkeit unter dem Putz. Wesentlich ist, dass das dehnbare Material direkt über dem Riss eine gewisse Dehnlänge benötigt. Im ersten Fall (Bild 9.22) wird der Riss aufgeweitet, um diese Dehnlänge zu bekommen. Der breitere Schlitz wird dann mit dehnfähigem Material gefüllt. Im zweiten Fall wird die Dehnlänge von 150 mm im Putz ausgearbeitet. Eine Gewebefaser wird in einem kunststoffvergüteten Mörtel verlegt und anschließend mit einem organisch gebundenen Deckputz überputzt.

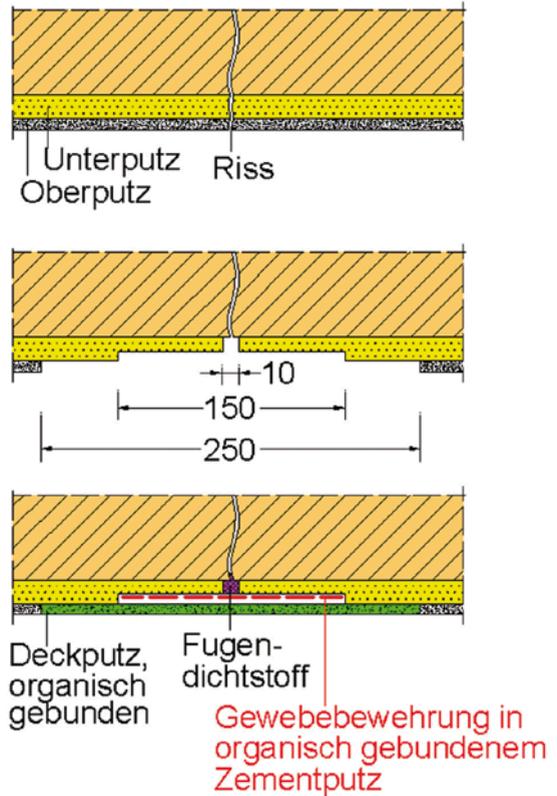


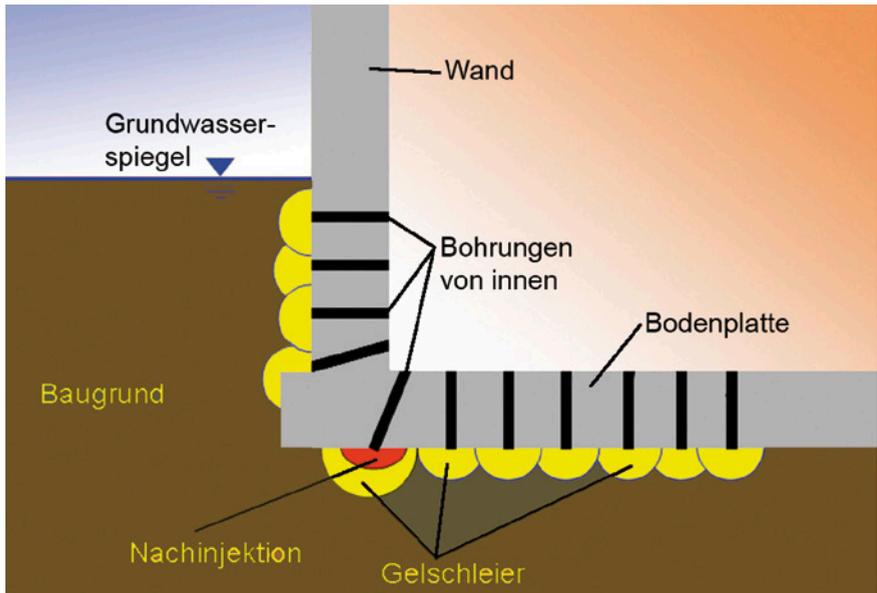
Bild 9.22
Dehnbare Überbrückung des Risses, vom Putz überdeckt (Schnitt)

GELSCHLEIER ZUR NACHTRÄGLICHEN ÄUSSEREN ABDICHTUNG GERISSENER FLÄCHEN

Bei Bauwerken mit erdberührten Bauteilen (z. B. Keller, Tiefgaragen) gibt es den Fall, dass Undichtigkeiten (z. B. durch Risse und Betonierfugen) nicht genau lokalisierbar sind. Die Freischachtung ist oft nicht möglich oder nicht zumutbar. Undichtigkeiten in Bodenplatten sind ohnehin von außen nicht

Bild 9.23

Gelschleier zur nachträglichen Abdichtung von unzugänglichen Trennrissen und Arbeitsfugen (Schema)



durch Freischachten erreichbar. In solchen Fällen ist eine Gelschleierabdichtung sinnvoll. Das Prinzip ist in Bild 9.23 schematisch dargestellt.

Von der Innenseite des Gebäudes aus werden die undichten Flächen in Wand und/oder Bodenplatte im Raster von z. B. 300 mm durchbohrt. Über diese Bohrungen werden zwei flüssige Komponenten des Gelmaterials so in

Bild 9.24

Foto eines Gelschleiers nach der Freilegung (Feldversuch)



den Baugrund injiziert, dass sie erst in der Düse zu einem reaktionsfähigen Gemisch werden. Es dringt in den Baugrund ein und erhärtet in kurzer Zeit zu halbkugelförmigen Gel-Sand-Körpern, die sich an der Außenseite der Wand als dichter, unregelmäßig geformter Gelschleier anlegen (Bild 9.23). Bei Bedarf sind Nachinjektionen möglich, um nicht erkannte Leckstellen abzudichten. Im Bild 9.24 ist der Gelschleier aus einem Feldversuch unter realitätsnahen Bedingungen zu sehen, nachdem das Bodenmaterial entfernt worden ist.

Da das Gel in den Baugrund gelangt, sind vorher die entsprechenden wasserrechtlichen Genehmigungen einzuholen.

9.8 SPIRALANKER ZUR ELASTISCHEN RISSFIXIERUNG IN GEMAUERTEN WÄNDEN

Den Gedanken, Rissufer einfach miteinander zu verbinden (verklammern) und sie damit zu fixieren, gibt es schon solange wie es Risse gibt. Die Ausführung war aber wenig erfolgreich. Das liegt vor allem an der Größe der Zwangkräfte, die wegen einer starren Verbindung von Rissufern nicht aufhören zu existieren. Die Zwangdehnung wird sich dann an anderer Stelle vollziehen, sodass das Problem nur örtlich verlagert wird.

Trotzdem hat sich in den letzten Jahren die Verklammerung von Mauerwerksrissen mit Hilfe von Spiralankern ein gewisses Anwendungsgebiet erobert. Dabei handelt es sich nicht um eine starre, sondern eine elastische Fixierung oder Verklammerung.

Spiralanker sind verdrehte dünne Edelstahlstäbe, die in drei Nenndurchmessern angeboten werden (Bild 9.25). Sie bestehen aus nichtrostendem Stahl und sind damit für die Verwendung in Mauerwerk geeignet.

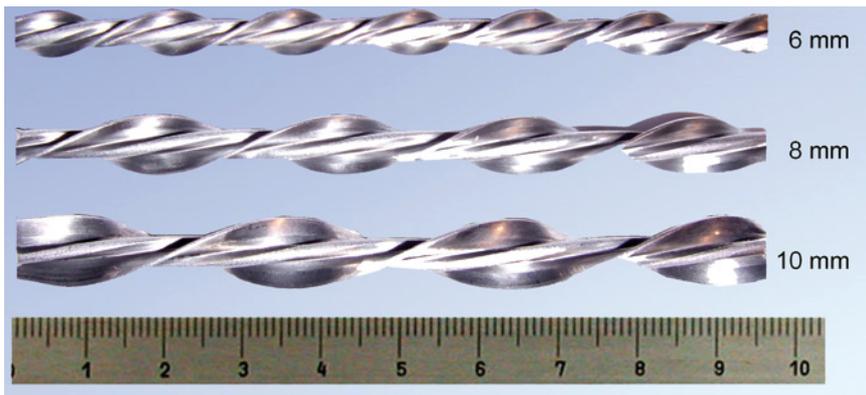


Bild 9.25
Spiralanker für die Ver-
nadelung oder
Verklammerung
von Mauerwerk
mit Angabe der
Nenndurch-
messer

Spiralanker sind keine Mauerwerksbewehrung, die zur → Standsicherheit beiträgt. Es lohnt sich auch nicht, sie als → Bewehrung einzusetzen. Ihre Querschnittsfläche ist kleiner als die eines 4 mm dicken Rundstabs.

Bei der Instandsetzung gerissener Mauerwerksflächen werden sie benutzt, um die Rissufer elastisch miteinander zu verbinden und damit eine sehr geringe erneute Rissbildung vorzugsweise durch Temperaturänderung kontrolliert zuzulassen. Durch die Fixierung von Rissen ändert sich an der → Standsicherheit eines Bauwerks nichts. Spiralanker können für jeden Riss einzeln oder über mehrere Risse hinweg für eine Rissgruppe angeordnet werden (Bild 9.26).

Die Spiralanker sind keine starre Verbindung der Rissufer. Sie funktionieren so, dass sich die behandelten Risse erneut geringfügig öffnen können. Dabei wird die im Spiralanker entstehende Zugkraft ins benachbarte Mauerwerk geleitet, das sich ebenfalls geringfügig dehnen muss. Praktisch wird die erneute Rissöffnung dadurch klein gehalten, dass das benachbarte

Bild 9.26
Spiralankerverlegung; Einzelrisse (oben) und Gruppenrisse (unten). Die Risse sind nachgezeichnet



Mauerwerk an der Bauteildehnung z. B. infolge einer Abkühlung wieder beteiligt wird.

Spiralanker werden gemeinsam mit einem Spezialmörtel vertrieben. Sie sind einfach zu verlegen und haben sich bereits vielfach bewährt, insbesondere bei älteren, oft auch denkmalgeschützten Gebäuden. Die Spiralanker werden in vorher hergestellte Mauerschlitze verlegt, die mit dem zugehörigen Spezialmörtel wieder verschlossen werden. Danach ist eine farbliche Angleichung erforderlich. Die Mauerschlitze dürfen nur so tief sein, dass die Standsicherheit z. B. einer Wand durch die Querschnittschwächung nicht gefährdet wird.

9.9 TIPPS FÜR BAUHERREN ZUR INSTANDSETZUNG GERISSENER BAUTEILE

Tipp 1

Wägen Sie ab, ob die Instandsetzung zum aktuellen Zeitpunkt unbedingt notwendig ist. Viele rissverursachende Zugkräfte haben ihren Ursprung in zeitabhängigen Bauteilverkürzungen. Diese klingen nach mehreren Jahren bis auf eine nicht mehr spürbare Größe ab. Wenn die Risse erst zu diesem Zeitpunkt behandelt werden, besteht Aussicht auf eine dauerhafte Instandsetzung mit einfachen Mitteln. Meist lohnt sich das Warten, denn eine Instandsetzung gerissener Flächen erfordert eine farbliche Angleichung. Man spart Kosten, wenn man die Instandsetzung mit ohnehin notwendigen Instandhaltungsarbeiten (z. B. neuer Anstrich) verbinden kann. Eine zu frühe Instandsetzung birgt das Risiko in sich, dass sich die Risse unter der Wirkung der noch nicht abgeklungenen → Verformungen (→ Schwinden, Temperaturänderung, Setzungsunterschieden) erneut öffnen und nach wenigen Wochen oder Monaten wieder sichtbar werden.

Offene Risse schließen sich nie wieder ganz, sondern bleiben bis zu einem gewissen Grad offen. Der offenbleibende Teil der Rissbreite wird umso größer, je weiter das → Schwinden fortgeschritten ist. Deshalb ist eine Instandsetzung z. B. erst nach 4 oder 5 Jahren dauerhafter als im ersten oder zweiten Jahr nach der Fertigstellung, weil die Rissuferverschiebungen und damit die Gefahr für neue Risse kleiner sind.

Tipp 2

Beauftragen Sie keine Instandsetzung gerissener Bauteile, ohne die Rissursachen zu kennen. Lassen Sie sich von einem Fachmann beraten, der die Tragwirkung und das Verformungsverhalten der gerissenen Bauteile richtig

beurteilen kann. Das Honorar für den Fachmann (Ingenieur) beträgt nur einen Bruchteil der Mehrkosten, die bei fehlerhafter Instandsetzung entstehen. Er kann Ihnen auch die beste Methode für die Instandsetzung empfehlen. Auf Befragen sollte er Ihnen auch qualifizierte Firmen nennen können. Unter Sachverständigen ist es verpönt, unaufgefordert Firmen anzupreisen.

Tipp 3

Bauftragen Sie einen erfahrenen Betrieb mit den Instandsetzungsarbeiten. Lassen Sie sich Referenzobjekte nennen und überzeugen Sie sich von der Qualität der dort geleisteten Arbeit. Sprechen Sie mit den Bauherren von Referenzobjekten, der Aufwand lohnt sich.

Tipp 4

Fordern Sie ein förmliches Angebot an, aus dem ersichtlich ist, wie und womit die Instandsetzung erfolgen soll. Überprüfen Sie die angebotenen Injektionsmaterialien. Beziehen Sie ggf. einen unabhängigen Fachmann ein.

Tipp 5

Bei größeren Schäden ist unbedingt ein sachkundiger Planer mit der Planung und Vorbereitung der Maßnahme zu beauftragen. Er besitzt das notwendige Fachwissen zur Bewältigung komplizierter Planungsaufgaben für Instandsetzungsmaßnahmen und kennt auch die besten Lösungsmöglichkeiten.

ANHANG

ERLÄUTERUNG VON FACHBEGRIFFEN
(VEREINFACHTE AUSSAGE)

LITERATURVERZEICHNIS

STICHWORTVERZEICHNIS



ERLÄUTERUNG VON FACHBEGRIFFEN (VEREINFACHTE AUSSAGE)

ABBINDEN, AUCH HYDRATATION

Der chemische Prozess, in dem aus dem Zement durch Reaktion mit Wasser der Zementstein entsteht und erhärtet. Im Abbindeprozess wird Wärme freigesetzt. Ein Temperaturanstieg des Betons um 20 bis 30 Kelvin ist normal.

ABDICHTUNGSEBENE

Eine Bauwerksabdichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass sie eine geschlossene, dichte Fläche zum Schutz des Bauwerks vor Wasser bildet. Diese Fläche ist die Abdichtungsebene, obwohl sie meist aus mehreren Ebenen besteht. Die Abdichtungsebene kann z.B. zur Durchführung von Rohren durchbrochen werden. Diese Unterbrechungen sind besonders sorgfältig abzudichten, damit die Abdichtungsebene dicht bleibt.

AUFLOCKERUNGSZONE

Bei einem Riss besteht die Übergangszone vom ungestörten Beton zum Risspalt aus aufgelockertem, irreversibel verlängerten Beton. Er hat sich bei der Gefügetrennung während des Zugbruchs mit der Ausbildung des Risses gebildet und bleibt nach der völligen Trennung der Rissufer während der gesamten Lebensdauer des Risses erhalten. Die Rissuferverschiebung (Weg der Rissufer bei der Rissöffnung) ist um den Betrag der mittleren Dicke der Auflockerungszone größer als die Spaltbreite des Risses.

ARBEITSFUGE

Zeitweilige Betonierfuge, die bei Arbeitsunterbrechungen notwendig ist, z.B. bei Schichtende. Bei Fortsetzung der Betonierarbeiten verschwindet sie. Durch Arbeitsfugen verläuft bei Stahlbetonbauwerken immer eine Bewehrung.

BAUFEUCHTE

Überschüssige Feuchte in Beton und Mauerwerk, die in den ersten Nutzungsjahren langsam aus den Bauteilen entweicht. Um Beton und Mörtel überhaupt verarbeiten zu können, muss er eine bestimmte Konsistenz besitzen, die mehr Wasser erfordert als chemisch zum Abbinden erforderlich ist. Nach dem Abbinden befindet sich diese überschüssige Feuchte in kleinsten Poren des Baustoffs und entweicht von dort in die Umgebung, bis die sog. Ausgleichsfeuchte (Feuchtegleichgewicht) erreicht ist.

BEMESSUNGSWASSERSTAND

Der Bemessungswasserstand ist der höchste aus langjähriger Beobachtung ermittelte Grund- oder Hochwasserstand, der der Konstruktion einer Bauwerksabdichtung zugrunde zu legen ist.

BETONDECKUNG

Kürzester Abstand zwischen der Beton- und der Bewehrungsoberfläche

BEWEGUNGSFUGE

Entsteht durch Trennung eines Bauwerks in zwei oder mehrere Teile, um unvermeidbare Bauwerksbewegungen z. B. aus Temperaturänderungen zu ermöglichen. Die getrennten Bauteile können sich gegeneinander bewegen, um die Zwangkräfte zu verringern oder gar nicht erst entstehen zu lassen.

BEWEHRUNG

Runde, gerippte Stahlstäbe, die vor dem Betonieren in die Schalung eingebracht werden. Es gibt sie auch in Form von Bewehrungsmatten, die für flächige Bauteile, wie z. B. Decken und Wände, geeignet sind. Sie dienen zur Übernahme von Zugkräften, wenn der Beton reißt.

BIEGERISS

Einseitiger Riss, der durch Biegebeanspruchung entstanden ist. Er ist nur an einer Bauteilseite zu sehen, die gegenüber liegende Bauteilseite ist ungerissen (vgl. auch Trennriss).

DAUERLAST

Langzeitig wirkende Belastung auf ein Bauteil, z. B. die Eigenlast der Bauteile

DAUERHAFTIGKEIT

›Dauerhaftigkeit‹ bedeutet bei Stahlbeton, dass das Bauteil einen ausreichenden Widerstand gegenüber den während der Nutzungszeit einwirkenden Expositionen hat. Die Dauerhaftigkeit wird gekennzeichnet durch den Schutz der Bewehrung und des Betons vor Korrosion.

DEHNUNG

Dehnung ist die Verlängerung eines Bauteils. Sie kann durch Last und Zwang entstehen. Als häufigste Form wird die bezogene Dehnung benutzt. Das ist das Verhältnis der Längenänderung zur Ausgangslänge (Dimension mm/m). Das Gegenteil ist die Stauchung.

DRUCK, DRUCKSPANNUNG

Druckspannungen entstehen in einem Bauteil, wenn es gedrückt wird.

DRUCK, INJEKTIONSDRUCK

Der Flüssigkeitsdruck, mit dem ein Injektionsgut die Injektionsdüse verlässt.

DRÜCKENDES WASSER, NICHT DRÜCKENDES WASSER

Drückendes (Grund-)Wasser übt einen Druck auf das Bauwerk aus, seitlich und von unten als Auftrieb. Das ist der Fall, wenn das Bauwerk in das Grundwasser eintaucht. In diesem Fall liegt die Gründungssohle tiefer als der Grundwasserspiegel. Im Unterschied dazu wirkt nicht drückendes Wasser nicht als Last. Es läuft z. B. an einer Kellerwand nach unten in eine Dränage. Häufig entsteht nach ergiebigen Niederschlägen zeitweilig drückendes Wasser. Es kann nach wenigen Stunden oder Tagen versickern und wirkt dann nicht mehr. Schon wenn es nur kurzzeitig wirkt hat es die Eigenschaften des drückenden Wassers.

DRUCKZONE

Die Druckzone ist der Bereich in einem beanspruchten Querschnitt, in dem Druckspannungen herrschen (vgl. Zugzone). Bei biegebeanspruchten Bauteilen ist die Druckzone an einer Querschnittsseite. An der anderen Seite befindet sich die Zugzone.

EIGENLASTEN

Sie gehören zu den ständigen Lasten. Es sind alle Lasten eines Bauwerks, die ständig wirken, wie z. B. bei einer Stahlbetondecke die Deckenlast sowie der Fußbodenaufbau mit Wärmedämmung, Estrich und Fußbodenbelag.

EINWIRKUNGEN (EXPOSITIONEN)

Alle Erscheinungen, unter denen das Bauwerk oder seine Teile beansprucht werden. Das sind z. B. Lasten, Temperaturänderungen, Schwind- und Kriechverformungen, mechanische und chemische Beanspruchungen.

ELASTISCHES VERHALTEN EINES BAUTEILS

Lastbedingte Verformungen gehen bei Entlastung auf Null zurück, bei erneuter Belastung erreichen sie wieder die Größe wie vorher. Elastisches Verhalten ist ein Zeichen für ein einwandfreies Tragverhalten eines Bauwerks.

ELASTISCHE VERFORMUNG

Bei Beanspruchung sofort eintretende Verformung eines Bauteils. Bei Entlastung geht die Verformung zurück.

ELEMENTWAND, -DECKE

Elementkonstruktionen bestehen aus vorgefertigten Betonelementen, die auf der Baustelle montiert und dann mit Beton vor Ort ergänzt werden. Die Fertigteilelemente sind sowohl Schalung als auch Bestandteil des Bauteils.

ENDSCHWINDMASS

Die durch den Schwindprozess bedingte Bauteilverkürzung nähert sich in Abhängigkeit von der Zeit allmählich einem Grenzwert, dem Endschwindmaß. Es ist eine bezogene Dehnung (Maßeinheit mm/m).

ENTARTUNG

Entartungen sind bei Rissen Unregelmäßigkeiten im Rissverlauf, die mit den eigentlichen Rissursachen nichts oder nur wenig zu tun haben. Bei der Rissbreitenmessung bleiben sie unberücksichtigt.

GEBRAUCHSLAST → NUTZLAST

Alle Lasten, die je nach der Nutzung des Bauwerks veränderlich sind. Bei einem Gebäude sind das die Personen, die das Gebäude nutzen, die Möbel (bei Schränken mit Inhalt) und alles, was sich nutzungsbedingt in den Räumen befindet.

HYDRATATIONSWÄRME

Das ist die Wärme, die beim Abbinden (Hydratation) des Betons entsteht. Bauteile mit üblichen Abmessungen von z. B. 400 mm Dicke können sich an der Oberfläche auf eine Temperatur von mehr als 40 °C erwärmen. Die Wärmeentwicklung hängt von der Zementart und -menge ab sowie von der Frischbetontemperatur, der Art der Schalung und der Nachbehandlung – alles Einflüsse, die fast nur auf der Baustelle verändert werden können.

KELVIN, GRAD

Gesetzliche Temperatureinheit [K] im SI-Einheitensystem. Sie wird zur Angabe von Temperaturdifferenzen verwendet. Für die Angabe absoluter Temperaturen wird der Grad Celsius [°C] benutzt.

KORROSION

Die karbonatisierungsinduzierte Korrosion entsteht, wenn das alkalische Milieu um die Bewehrungsstäbe herum durch chemische Einwirkungen neutralisiert wird und Sauerstoff sowie Wasser an die Bewehrung gelangen kann. Sie wird durch Risse begünstigt. Mindestens ebenso gefährlich ist eine zu dünne und porenreiche Betondeckungsschicht.

Eine gefährlichere Korrosionsform ist die chloridinduzierte Korrosion, z. B. bei Stahlbetonbauwerken im Straßenbau. Dort können chloridhaltige Tausalze an die Bewehrung gelangen und durch Lochfraßkorrosion große Schäden an der Bewehrung in relativ kurzer Zeit anrichten.

KRAFT

Die Wirkung einer Masse unter dem Einfluss einer Beschleunigung, z. B. der Gravitation

KRIECHEN

Zeitabhängige lastbedingte Verformung. Neben der elastischen Verformung, die sofort nach der Belastung wirksam wird, entsteht ganz allmählich mit fortschreitender Zeit die Kriechverformung. Die Endkriechzahl ist proportional zur elastischen Verformung. Je größer eine Spannung ist, umso größer ist die Kriechverformung im Endzustand. Sie beträgt etwa das Ein- bis Dreifache der elastischen Verformung. Das Kriechen tritt sowohl bei Mauerwerk als auch bei Beton auf.

LASTUNABHÄNGIGE VERFORMUNG

Alle Verformungen, die sich ohne Last vollziehen. Bei Bauwerken sind das Verformungen bei Temperaturänderungen und durch Schwinden. Die Verformungen aus Setzungsdifferenzen nehmen eine Sonderstellung ein. Sie entstehen wie die Temperatur- und die Schwindverformungen ohne äußere Lasten durch das Nachgeben von Teilen der Auflagerung, benötigen aber die Bauwerkslasten einschließlich Nutzlasten zu ihrem Vollzug.

MASSIVBAU; MASSIVBAUWERK

Zum Massivbau gehören Bauwerke aus Beton, Stahlbeton und/oder Mauerwerk. Insbesondere bestehen die tragenden Bauteile aus diesen Baumaterialien.

MINDESTBEWEHRUNG

Im Zusammenhang mit der Rissbildung im Stahlbeton ist die Mindestbewehrung die Bewehrung im Stahlbetonbauteil, bei der ein vorgegebener oder gewählter Rechenwert der Rissbreite rechnerisch begrenzt wird.

MONOLITHISCH

Monolithisch hergestellte Betonkonstruktionen werden auf der Baustelle hergestellt. Im Unterschied dazu gibt es vorgefertigte Konstruktionen, die im Betonwerk hergestellt und auf der Baustelle montiert werden. Bei der Mischform zwischen Fertigteil- und Monolithbeton werden Fertigteile montiert und mit Baustellenbeton (Ortbeton) komplettiert. Elementdecken und -wände sind solche Konstruktionen.

NACHBEHANDLUNG DES BETONS

Maßnahmen zum Schutz des noch frischen Betons gegen Austrocknen und schnelle Abkühlung. Sie bestehen aus Feuchthalten und Abdeckung mit Planen zum Schutz gegen Sonneneinstrahlung. Mit der Nachbehandlung in den ersten Tagen nach dem Betonieren wird maßgeblich über die Qualität und die Dauerhaftigkeit von Stahlbeton entschieden.

NULLLINIE

Bei Biegung gibt es in einem Bauteil sowohl eine Druck- als auch eine Zugzone. Beide Bereiche liegen in einem Bauteilquerschnitt einander gegenüber. Die Grenze zwischen den beiden Zonen ist die Nulllinie.

NUTZLASTEN

Nutzlasten sind alle die Lasten, die zur Nutzung des Gebäudes notwendig sind. Dazu gehören z. B. Menschen, Ausrüstungen, Einrichtungsgegenstände, Lagergüter usw.

ORTBETON

Beton, der auf der Baustelle verarbeitet wird.

PLANUM

Ebene Fläche, hier: vorbereitete Fläche im Baugrund, auf der die zu betonierende Bodenplatte liegen soll.

RECHENWERT DER RISSBREITE

Ein theoretisch berechneter Rissbreitenwert. Die Rissformel ist Bestandteil der Stahlbetonnorm DIN 1992-1-1. Er ist ein oberer Grenzwert für eine Gruppe von Rissen, die unter gleichen Umständen entstanden sind. Man kann ihn keinem einzelnen Messwert gegenüberstellen.

RINGBALKEN, RINGANKER

Ein Element der Gebäudeaussteifung. Er liegt meist auf den Außenwänden und verbindet gegenüberliegende Wände miteinander. Ringanker werden hauptsächlich auf Zug beansprucht.

RISALIT

Ein aus der Fassade hervorspringender Teil eines Gebäudes.

RISSLAST

Die Zugkraft, die für die Entstehung eines Risses notwendig ist. Sie hängt vom Querschnitt des Bauteils und von der Zugfestigkeit des Materials ab. Bei Beton ist der Einfluss der Bewehrung auf die Risslast gering. Erst nach Entstehen des ersten Risses beginnt die Aufgabe der Bewehrung als tragendes Element.

RISSBREITE

Die Rissbreite (nicht Rissweite) ist die Spaltbreite eines Rissspalts. Zu unterscheiden sind Einzelmesswerte und der Messwert der Rissbreite als Gesamtaussage für den Riss. Weder die Messmethode noch zulässige Werte für Rissbreiten sind genormt.

RISSBREITENMESSUNG, MESSUNG DER RISSBREITE

Es gibt zwei Gruppen von Messverfahren zur Rissbreitenmessung

- die optische Messung,
- die Wegmessung über den Riss hinweg (Rissuferverschiebung). Sie liefert etwas größere Werte.

Keins der Verfahren ist genormt, sodass Messwerte für den gleichen Riss subjektiv bedingte Streuungen besitzen und nicht objektiv bestimmbar sind.

SCHEINFUGE

Scheinfugen sind Sollrissstellen. Sie werden z. B. durch einen Sägeschnitt in eine unbewehrte Bodenplatte hergestellt, der etwa $\frac{1}{3}$ der Plattendicke tief ist. Treten Zugspannungen auf, dann reißt der geschwächte Querschnitt und ermöglicht die Bewegung. In den Scheinfugen entstehen Risse, die das Erscheinungsbild der Platte aber nicht beeinträchtigen, weil sie an der Oberfläche exakt gerade verlaufen.

SCHLAFBE BEWEHRUNG

Übliche Bewehrung im Stahlbetonbau. Sie wird im Unterschied zur vorgespannten Bewehrung des Spannbetons als schlaffe Bewehrung bezeichnet. Meist entfällt der Zusatz ›schlaff‹.

SCHWINDEN

Unter Schwinden versteht man eine Volumenverringerung von Beton und Mauerwerk, die überwiegend durch Austrocknung des Baustoffs entsteht. Sie dauert je nach den Bauteilabmessungen und Verdunstungsbedingungen mehrere Jahre.

SELBSTDICHTUNG, SELBSTHEILUNG

Werden feine Trennrisse von Wasser durchflossen (z. B. in Stahlbetonbehältern), dann dichten sie sich unter bestimmten Umständen selbst ab. Haupteinflüsse sind die Wasserdruckdifferenz, die Rissbreite und die Rauigkeit der Rissflächen.

SETZUNG

Jeder Baugrund drückt sich unter Belastung zusammen und sinkt etwas ein. Solange es keine Differenzen zwischen den Einsenkungen unter dem Bauwerk gibt, entstehen keine Beanspruchungen aus den Setzungen. Erst wenn Setzungsdifferenzen auftreten, verändert sich die Stützung des Bauwerks, wodurch sich der Spannungszustand innerhalb des Bauwerks ändert. Dadurch kann es zu Rissen an Stellen kommen, wo bei planmäßiger Lagerung keine Zugspannungen entstehen können.

SPANNBETON

Spannbeton ist Stahlbeton, der künstlich unter Druck gesetzt wird (Vorspannung). Dadurch werden die unerwünschten Betonzugspannungen überdrückt. Die Vorspannkraft wird über Spannglieder aufgebracht. Das sind hochfeste Stahldrähte. Die Vorspannkraft wird nach dem Erhärten des Betons in den Beton eingeleitet. Dazu bestehen verschiedene technische Möglichkeiten.

SPANNUNG

Spannungen sind Berechnungsgrößen, die sich aus einer Last dividiert durch ihre Wirkungsfläche errechnen. Sie besitzen die Dimension Kraft/Fläche (z. B. N/mm²).

STANDSICHERHEIT

Die Standsicherheit eines Bauwerks oder Bauteils ist die Voraussetzung für seine Nutzbarkeit. Sie ist dann gegeben, wenn von dem Bauwerk keine Gefahren für die Nutzung ausgehen. Sie wird in einem Standsicherheitsnachweis (statische Berechnung) nachgewiesen.

STAUCHUNG

Sie ist das Gegenstück zur Dehnung, also eine Bauteilverkürzung unter einer Druckkraft.

STURZ

Fenstersturz und Türsturz sind der obere Abschluss der entsprechenden Öffnungen. Sie können gemauert oder aus Stahlbeton hergestellt werden, meist als vorgefertigtes Bauteil.

TRENNRISS

Ein Riss, der durch ein Bauteil verläuft und das Bauteil in zwei oder mehr Teile trennt. Bei unbewehrtem Mauerwerk ist der Trennriß mit dem Verlust der Zugtragfähigkeit verbunden, was i. d. R. unbedeutend für die Standsicherheit ist.

TRAGWERKSPLANUNG

Statische Berechnung der Bauteile eines Bauwerks. In der Tragwerksplanung wird die Standsicherheit aller tragenden Bauteile sowie des Bauwerks als Ganzes als Bestandteil der Planungsphase nachgewiesen. Die statische Berechnung enthält zwei Kategorien von Nachweisen für die Grenzzustände der Tragfähigkeit (GZT) und der Gebrauchstauglichkeit (GZG).

TRAJEKTORIEN

Linien gleicher Spannungen (Druck oder Zug) im Bauteil. Sie zeigen den Verlauf der Hauptspannungen. Sie verlaufen gekrümmt und sind in den gebräuchlichen Koordinaten durch Normal- und Schubspannungen abbildbar.

VERBUND

Als Verbund wird im Stahlbeton das Zusammenwirken der beiden Baustoffkomponenten des Verbundwerkstoffs bezeichnet. Er entsteht durch ›Verkleben‹ der Zementmatrix mit der Betonstahloberfläche.

VERFORMUNG

Volumenänderung von Bauteilen. Sie kann als Folge einer Last oder von lastunabhängigen Wirkungen (Schwinden, Temperaturänderung) entstehen.

VISKOSITÄT

Zähigkeit einer Flüssigkeit. Sie spielt bei den Injektionsmaterialien für die Rissinjektion eine Rolle. Je niedriger die Viskosität ist, umso dünnflüssiger ist das Injektionsmaterial.

VORSPANNUNG

Vorspannung ist das planmäßige Eintragen einer künstlich erzeugten Kraft in ein Betonbauteil. Das geschieht mit Spanngliedern, die aus Drahtbündeln oder Einzeldrähten aus hochfestem Stahl (etwa doppelte Zugfestigkeit gegenüber üblichem Bewehrungsstahl) bestehen. Die Spannglieder werden im Bauzustand bis an die Grenze ihrer Tragfähigkeit gezogen und dann diese Kraft als Druckkraft in den Beton eingeleitet.

WASSERUNDURCHLÄSSIGE BAUWERKE AUS BETON (WU-BAUWERKE)

WU-Bauwerke sind Bauwerke, die zusätzlich zu ihren Funktionen als Tragwerk auch die Abdichtungsfunktion übernehmen müssen.

WASSERZEMENTWERT, AUCH W/Z-WERT

Das Masseverhältnis von Wasser und Zement in der Betonmischung. Ein niedriger w/z-Wert bedeutet einen geringen Porengehalt im Beton und damit eine hohe Undurchlässigkeit. Bei $w/z \leq 0,60$ werden die Anforderungen an die Undurchlässigkeit des Betons in weißen Wannen erfüllt. Beispiel: Zementgehalt 300 kg/m^3 erfordert für den Frischbeton bei $w/z = 0,6$ einen Wassergehalt von $0,6 \cdot 300 = 180 \text{ kg/m}^3$. In dieser Wassermenge ist die Eigenfeuchte der Gesteinskörnung enthalten.

WU

Abkürzung für ›wasserundurchlässig‹

ZUG, ZUGSPANNUNG

Als Zug wird eine Zugkraft bezeichnet. Zugspannungen entstehen in einem Bauteil, wenn es gezogen wird. Die Zugspannung ist eine bezogene Größe. Im einfachen Fall der zentrischen Zugbeanspruchung ist die Zugspannung gleich der Zugkraft dividiert durch die gezogene Fläche.

ZUGBRUCHDEHNUNG

Die Betondehnung, bei der der Zugbruch eintritt

ZUGFESTIGKEIT

Spannungsgrenze, bei der der Beton auf Zug versagt. Für die Prüfung der Betonzugfestigkeit sind drei Methoden gebräuchlich: Die Biegezugprüfung, die Spaltzugprüfung und die Prüfung der zentrischen Zugfestigkeit. Für den gleichen Beton ist die Biegezugfestigkeit größer als die Spaltzugfestigkeit, und diese ist größer als die zentrische Zugfestigkeit.

ZUGZONE

Die Zugzone ist der Querschnittsbereich in einem tragenden Bauteil, in dem Zugspannungen entstehen.

ZULÄSSIGE RISSBREITE

Zulässige Rissbreiten gibt es im Vorschriftenwerk für Beton und Mauerwerk nicht. In der Norm für Stahlbetonbauwerke gibt es empfohlene Werte w_{\max} für die maximalen Rechenwerte der Rissbreite. Sie gelten für die Rissbreitenberechnung nach dieser Norm und sind für einen Vergleich am Bauwerk nicht geeignet. Im Unterschied zu anderen Kennwerten gibt es für reale Rissbreiten kein genormtes Messverfahren, weshalb man auf die Unzulässigkeit eines Vergleichs zwischen Mess- und Rechenwerten schließen kann.

ZWANG, ZWÄNGUNG

Unter Zwang versteht man im Unterschied zur Last eine Kraftwirkung, die durch eine behinderte, lastunabhängige Verformung entsteht. Lastunabhängige Verformungen sind die Schwind- und die Temperaturverformungen.

Verformungen infolge von ungleichmäßigen Setzungen gehören mittelbar zu den Zwangverformungen, weil sie nicht lastunabhängig sind. Bei ihnen werden durch Veränderung der Auflagerbedingungen die Eigenlasten eines Bauwerks aktiviert.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Al Bosta, S.: Risse im Mauerwerk. Verformungen infolge von Temperatur und Schwinden – Baupraktische Anwendungsbeispiele. 2. neubearbeitete und erweiterte Auflage, Düsseldorf: Werner Verlag 1999
- [2] Clear, C. A.: The effects of autogenous healing upon the leakage of water through cracks in concrete. Cerment and Concrete Association Wexham Springs, Technical Report 559, 1985.
- [3] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton -DAfStb-, Berlin (Hrsg.): DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie), Berlin: Beuth-Verlag 2017
- [4] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton -DAfStb-, Berlin (Hrsg.): Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2). Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 600, Beuth-Verlag Berlin 2012
- [5] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton -DAfStb-, Berlin (Hrsg.): Erläuterungen zu DIN 1045-1. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 525, Beuth-Verlag Berlin 2010
- [6] DBV-Merkblatt Rissbildung (Begrenzung der Rissbildung im Stahlbeton- und Spannbetonbau). Fassung Mai 2016. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. Berlin 2016
- [7] Delau, R.: Die Dresdener Frauenkirche. Ein Tagebuch des Wiederaufbaus. 6. Auflage. Dresden Edition Sächsische Zeitung 2014
- [8] Eckfeldt, L.: Der Fraktilwert von Rissbreitenberechnungsmodellen (und anderen Mysterien). Tagungsband zum 1. Dresdner Probabilistik-Symposium 2003, aktualisierte Fassung 2004; Techn. Universität Dresden.
- [9] Edvardsen, C. K.: Wasserdurchlässigkeit und Selbstheilung von Trennrissen in Beton. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 455, Beuth-Verlag Berlin 1996
- [10] Fingerloos, F.: Welche Risskonzepte sind in Planung und Ausführung für dünne oder massige Betonbauteile zweckmäßig? Die Frage nach frühem oder spätem Zwang muss der Tragwerksplaner mit exakten Informationen beantworten. In: Der Prüfenieur. Das Magazin der Bundesvereinigung der Prüfenieure für Bautechnik e.V. 55 November 2019

- [11] Hosang, W.: Nachträgliche Abdichtung von Europas größter fugenloser Weißen Wanne, im Jakob-Kaiser-Haus in Berlin. Rissverpressung als Planungskonzept. TAW-Symposium Nürnberg, 18.–19. September 2012 Abdichtung von wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton im Ingenieur-, Wasser- und Tiefbau
- [12] Meichsner, H.; Rohr-Suchalla, K.: Risse in Beton und Mauerwerk – Ursachen, Sanierung, Rechtsfragen. 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage.
- [13] Meichsner, H.: Rissbilder und Rissbreiten im Stahlbetonbau erfassen und dokumentieren, messen und bewerten. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, erscheint 2022
- [14] Meichsner, H.: Sind Rissbreitenmessungen eindeutig? Vergleichende Rissbreitenmessungen mit Lupe und Setzdehnungsmesser. In: Beton- und Stahlbetonbau 87 (1992), Heft 12. Verlag Ernst & Sohn
- [15] Meichsner, H.; Röhling, S.: Die Rissgeometrie im Stahlbetonbau. Eine differenzierte Sicht auf die Messung und Definition der Rissbreite im Stahlbeton. In: Beton- und Stahlbetonbau 113 (2018), H. 3, S. 698–700, Berlin
- [16] Meichsner, H., Jahn, Th.: Spiralanker für die Mauerwerksinstandsetzung - Berechnung und Konstruktion. Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart 2009
- [17] Meichsner, H.: Über die Selbstdichtung von Trennrissen in Beton. Beton- und Stahlbetonbau 87 (1992) 4, S. 95–99
- [18] Morgen, K.: Die fugenlose Weiße Wanne für das Jakob-Kaiser-Haus in Berlin. Beton- und Stahlbetonbau 98 (2003), H. 11, S. 698–700
- [19] Pfefferkorn, W.: Risschäden an Mauerwerk. 3. Aufl. Schadenfreies Bauen Bd. 7, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2002
- [20] Röhling, S.; Meichsner, H.: Rissbildungen im Stahlbetonbau. Ursachen – Auswirkungen – Maßnahmen. Fraunhofer IRB Verlag 2018
- [21] Schießl, P.: Zur Frage der zulässigen Rissbreite und der erforderlichen Betondeckung im Stahlbetonbau unter besonderer Berücksichtigung der Karbonatisierung des Betons. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 255, Verlag W. Ernst & Sohn Berlin, München, Düsseldorf 1976

STICHWORTVERZEICHNIS

A

Anstrich 110, 201, 207
 Arbeitsfuge 94, 98, 140, 211
 Auflockerungszone 22, 36, 46–53, 139, 211
 Aufstelltemperatur 78
 Außenwand 32, 69, 110, 112, 115, 127, 147, 155, 159, 161, 216
 Aussteifung 58, 101, 122, 124, 125, 127
 Austrocknungsbedingung 30, 75

B

Baufeuchte 75, 149, 211
 Bauteiltemperatur 77–79, 164, 182, 184–185
 Bauteilverkürzung 62, 67, 68, 75, 85, 143, 183, 194, 195, 207, 214, 218
 Beanspruchung 12, 13, 29, 37, 48, 67, 69, 77, 90, 103, 119, 122, 123, 186, 217
 Behinderung 68, 77, 85, 105, 116, 128, 143, 158, 185
 Behinderungsgrad 68
 Beschichtung 94, 95, 147, 155, 188, 194, 196, 199, 200
 Betondeckung 18, 39, 40, 83, 212
 Betrachtungsabstand 42, 43, 59
 Bewegungsfuge 28, 33, 35, 58, 97, 109, 144, 158–164, 189, 190, 203, 212
 bewehrtes Mauerwerk 167
 Bewehrung (schlaff) 34, 135, 217
 Biegeriss 13, 28, 30, 90, 91, 101, 101, 150, 212

D

Deckenschlankheit 168
 Dehnung 12, 17, 18, 26, 46, 49, 54, 75, 77, 106, 121, 168, 193, 194, 195, 212
 Dichtigkeit 27, 144, 148, 151
 Druckzone 213

E

Eigenlast 13, 61, 62, 74, 107, 122, 170, 212, 213, 220

Einwirkung 74, 170, 213
 Einzellast 63, 117, 161
 Elementwand 100, 155, 173, 213
 Endschwindmaß 75, 92, 105, 106, 129, 163, 193, 196, 214

F

Frischbeton 21, 35, 219

G

Gebrauchslast 13, 214
 Gelschleier 203, 205
 Gipsmarke 191

H

Holzbalkendecke 122, 124, 127
 Hydratation 146, 211
 Hydratationswärme 214

I

Injektion 147, 171, 181, 188, 189, 196, 198, 199, 201
 Injektionsdruck 180, 189, 198
 Injektionsmaterial 190, 192, 197–199, 219
 Innenwand (nicht tragend) 133, 138
 Innenwand (tragend) 129, 133
 Instandsetzungszeitraum 182

K

Korrosion 39, 40, 83, 176, 212, 214
 Kriechen 65–71, 87, 131, 166–167, 195, 215

L

Lastumlenkung 80

M

Maueranker 38, 124–129
 Mindestbewehrung 18, 37, 170, 215

N

Nachbehandlung 152, 171, 175, 176, 181, 214, 215
 Nulllinie 13, 216

Nutzlast 61, 67, 80, 89, 90, 133, 170, 214, 216

O

Oberflächentemperatur 77, 78

R

Rechenwert der Rissbreite 12, 45–50, 56, 57, 59, 101, 139–143, 152, 170, 171, 178, 216, 220

Ringanker 64, 122–124, 133, 161, 165, 216

Ringbalken 124, 161, 216

Rissbreitenänderung 182, 184, 191, 192, 199, 203

Rissbreitenbegrenzung 50, 152, 155, 170, 178

Rissbreite (zulässig) 57, 58, 152, 178–179, 220

Risseigenschaft 24, 28

Rissinjektion 122, 194, 219

Risslast 24–26, 75, 76, 186, 193, 216

Rissmonitor 191

Rissufer 50, 51, 54, 149, 180, 188, 191, 196, 198, 199, 201, 202, 205, 206, 211

Rissuferverschiebung 23–25, 36, 50–54, 139–140, 192, 199, 200, 203, 207, 211, 217

Riss (wärmebedingt) 115

Rost 39, 83

S

Scheinfuge 93, 94, 217

Schrägriss 32, 114, 119, 130, 166

Schubriss 32, 112, 166

Schwinden 20, 28, 67, 75, 85–87, 101, 107, 112, 126, 129, 133, 140, 143–145, 164, 167, 174, 194–196, 207, 215, 217, 219

Selbstdichtung 59, 93, 139, 141, 142, 147–152, 171, 180, 217

Selbsteilung 59, 93, 140, 141, 147, 149, 152, 217

Setzung 38, 42, 67–74, 85, 90, 117–120, 158, 196, 217

Setzungsdifferenz 69, 71, 72, 157, 158, 183, 195, 199, 207, 215, 217

Setzungsriß 69, 74, 119

Spiralanker 196, 202, 205–207

Sprengwirkung 30, 82, 83

Stahlbetongurt 132, 133

Stahlfaser 93

Standicherheit 29, 37, 39, 129, 133, 163, 206, 207, 218

Stauchung 77, 166, 193, 195, 212, 218

Steinart 11, 78, 105

Stützbogen 126

T

Temperaturdehnung 77, 115, 163, 193, 202

Trajektorie 219

Trennriss 13, 26, 28, 29, 30, 41, 53, 59, 77, 92, 93, 98, 102, 112, 140–155, 171, 188, 218

V

Veränderung (chemisch) 82

Verbund 170, 219

Verbundwerkstoff 11, 17, 24, 219

Verformung (elastisch) 65–67, 87, 195

Verformung (lastunabhängig) 67, 143, 215, 220

Verformung (plastisch) 22, 23, 51, 66, 71, 131, 162, 195

Vermeidung (von Rissen) 58, 157

Viskosität 198, 219

W

Wärmedämmverbundsystem 165, 202

WU-Bauwerk 49, 59, 98, 139, 140, 144, 147, 148, 150, 152, 155, 219

Z

Zugfestigkeit 11, 16, 29, 37, 82, 116, 117, 120, 162, 174, 185, 200, 219, 220

Zugzone 30, 216, 220

Zwangbeanspruchung 85

Zwangeinwirkung 85

Zwangverformung 28, 87, 173, 187, 220

Heinz Meichsner

BAUWERKSRISSE kurz und bündig

Rissentstehung, -ursachen und -vermeidung,
Instandsetzung gerissener Bauteile

3., überarbeitete und erweiterte Auflage

Es gehört zu den Eigenheiten von Bauwerken aus Beton, Stahlbeton und Mauerwerk, dass in ihnen Risse entstehen. Der Laie neigt dazu, sie als Schaden einzustufen. Der Fachmann weiß, dass sie sich in Mauerwerk kaum ganz vermeiden lassen oder in Stahlbetonbauteilen sogar zum statischen Konzept gehören. Anschaulich und verständlich erläutert das Buch, wie Risse entstehen, welche typischen Rissformen es gibt und welche Ursachen sie haben. Es will sowohl dem Baupraktiker als auch dem interessierten Laien auf einfache Weise die wichtigsten Zusammenhänge über Risse in Massivbauwerken vermitteln. Dazu gibt es Hinweise zu ihrer Vermeidung und zur fachgerechten Sanierung. Die maßgeblichen Regelwerke werden vorgestellt und die wichtigsten Fachbegriffe in einem Glossar erläutert.

Ihr Vorteil:

- Praxisnah und anschaulich
- Basiswissen zu Bauwerksrissen
- Ratschläge zur Rissvermeidung und -instandsetzung
- Umfangreiches Glossar zum besseren Verständnis



Der Autor

Dr.-Ing. Heinz Meichsner Ehem. Abteilungsleiter für Massivbau in Forschung und Materialprüfung der Materialforschungs- und Prüfungsanstalt für Bauwesen Leipzig; seit 2001 als Sachverständiger für Beton, Stahlbeton und Spannbetonbau tätig

ISBN 978-3-7388-0703-5



9 783738 807035

Fraunhofer IRB | Verlag