

Die Beurteilung von Rissen im Stahlbetonbau

Von Frank Roos, Neuried

Abschließend wird an vier Beispielen aus der Praxis gezeigt, wie Risse für die Instandsetzung beurteilt werden können. Aufgrund der Vielfalt der Rissproblematik kann der Beitrag keine allumfassende Darstellung sein.

1 Einleitung

Stahlbeton ist ein Verbundbaustoff aus Stahl und Beton. Es ist eine „gerissene“ Bauart. Erst durch die Rissbildung werden nennenswerte Kräfte auf den Stahl übertragen. Die Kunst der Bauweise liegt unter anderem darin, die Rissbreiten so klein zu halten, dass die Risse aus dem Abstand des „üblichen Betrachters“ mit bloßem Auge nicht wahrgenommen werden, die Verformungen der Bauteile nicht zu groß werden und die Umwelteinwirkungen den im Beton enthaltenen Stahl nicht schädigen können.

Die anerkannten Regeln der Technik lassen, je nach Umgebungsbedingungen, eine maximale rechnerische Rissbreite zwischen 0,1 mm und 0,4 mm zu. Ab 0,1 mm bis 0,2 mm können die Risse für das menschliche Auge sichtbar werden, sind aber in aller Regel für das Bauteil völlig unschädlich.

Die von Rissen ausgehenden Risiken zu erkennen und zu bewerten und daraus gegebenenfalls ein funktionierendes Instandsetzungskonzept abzuleiten, kann mitunter eine sehr komplexe Anforderung sein. Sie setzt sehr gute Kenntnisse sowohl über die Baustoffeigenschaften von Stahl und Beton als auch über die mechanischen Grundlagen der Bemessung von Stahlbeton voraus.

Im Nachfolgenden wird zuerst ein Überblick über Rissarten und Rissursachen gegeben. Danach werden

die von Rissen ausgehenden Risiken im Beton- und Stahlbetonbau aufgezeigt und die Grundlagen zur Beurteilung von Rissen vorgestellt.

2 Rissarten

Je nach Erscheinungsbild und Rissursache unterscheidet man unter-

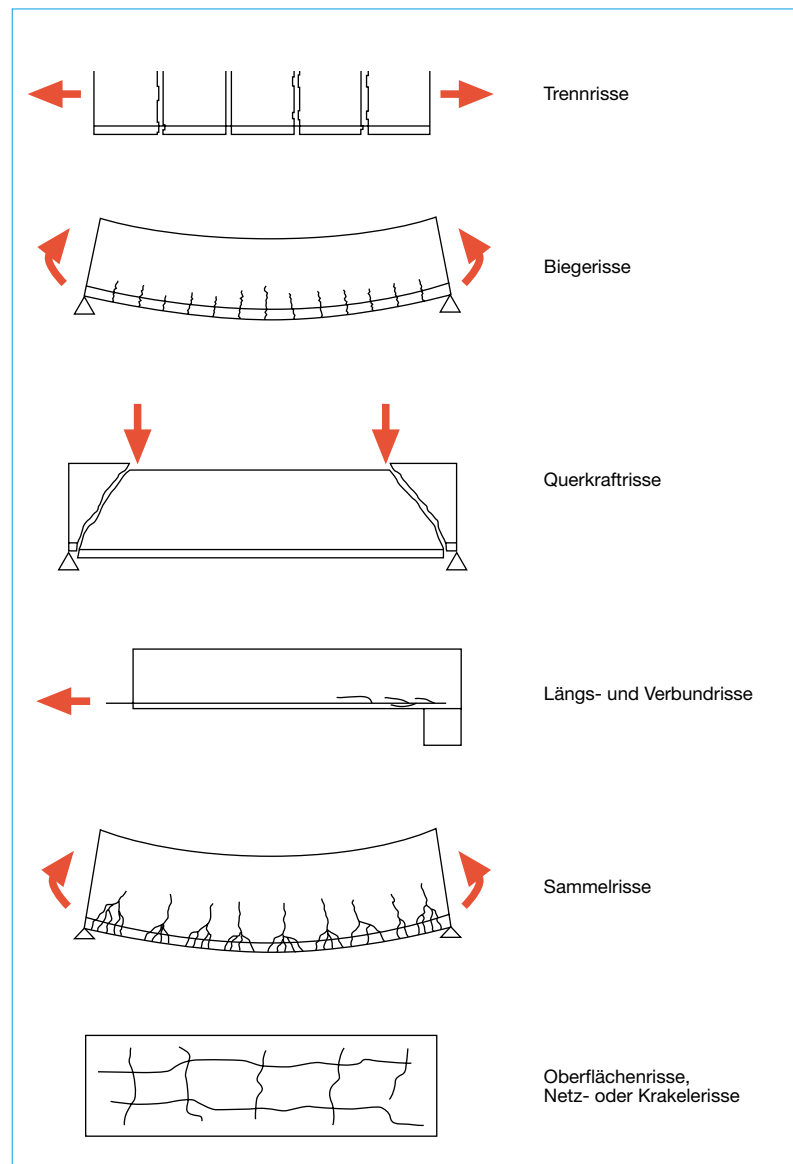


Bild 1: Erscheinungsformen von Rissen

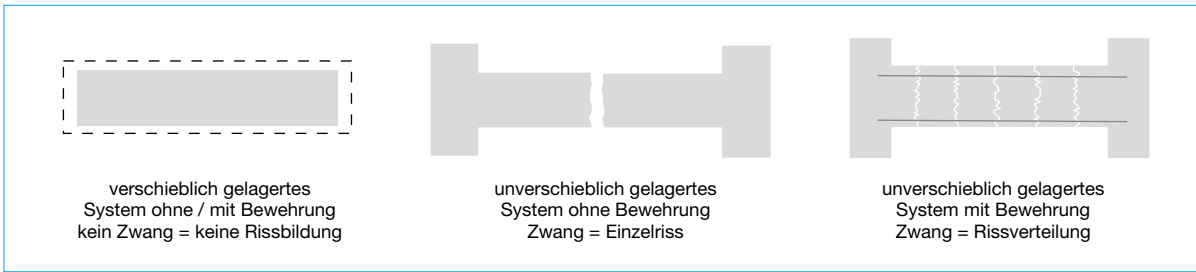


Bild 2: Auswirkung einer Bauteilverkürzung aufgrund eines Temperaturabfalls bei unterschiedlichen Konstruktionen

schiedliche Rissarten. Einen schnellen Überblick gibt Bild 1. Dabei ist zu beachten, dass die ZTV-ING [1] eine von der Literatur abweichende Definition von Trennrissen gibt.

Trennrisse entstehen durch eine zentrische oder leicht exzentrische Zugkraft, meist verursacht durch Zwang. Trennrisse gehen durch das gesamte Bauteil und trennen dieses in mehrere Teile.

Biegerisse entstehen bei biegebelasteten Bauteilen in der Zugzone und reichen bis knapp unterhalb der Druckzone. (Gemäß ZTV-ING werden Biegerisse als Trennrisse bezeichnet.)

Querkraftrisse entstehen durch zu hohe Querkraftbeanspruchung. Sie verlaufen bei Balken von der Lasteinleitung zum Auflager hin.

Längsrisse können z.B. aufgrund eines Verbundversagens oder durch Korrosion entstehen und verlaufen entlang der Längsachse eines Bewehrungsstabs.

Sammelrisse entstehen aus Biegerissen bei sehr hohen Bauteilen, wenn keine rissverteilende Bewehrung eingelegt wird.

Netzrisse werden durch Schwind- oder Austrocknungsvorgänge verursacht. Das Rissbild ist mehr oder weniger ungerichtet oder auch netzartig.

3 Rissursachen

Es gibt eine Vielzahl von Ursachen, die zu einer Rissbildung im Beton bzw. Stahl- und Spannbeton führen können. Grob können sie in die folgenden drei Gruppen eingeteilt werden:

1. Statische und konstruktive Ursachen
2. Verarbeitungsbedingte Ursachen
3. Stoffliche und physikalische Ursachen

3.1 Statische und konstruktive Ursachen

3.1.1 Zwang

Sollen bei einem Bauteil lastunabhängige Einwirkungen nicht zu Schnittgrößen führen, ist die Bauteillagerung so vorzusehen, dass sich die resultierenden Verformungen (z.B. aus der Verkürzung aufgrund einer Abkühlung) zwängungsfrei einstellen können. Die durch die Einwirkungen entstehenden Bauteileigenspannungen heben sich über den Bauteilquerschnitt auf und erzeugen keine zusätzlichen Schnittgrößen. Ein Beispiel hierfür ist das im Bild 2 links abgebildete System. Es kann sich, wie dargestellt, bei einer gleichmäßigen Abkühlung in alle Richtungen verkürzen.

Wird ein System mit reduzierten Freiheitsgraden (man spricht dabei von statisch unbestimmten Systemen, vgl. Bild 2 Mitte) einem gleichmäßigen

Temperaturabfall ausgesetzt, so will sich auch dieses Bauteil in alle Richtungen verkürzen. Die angrenzenden Bauteile halten es jedoch fest und verhindern so eine Verformung. Dadurch entstehen Zugspannungen, die so genannten Zwangsspannungen. Ist keine Bewehrung im Bauteil vorhanden, können diese Spannungen zu einem Riss führen. Sobald der erste Riss auftritt, werden dadurch die Spannungen vollständig abgebaut. Dabei öffnet sich der Riss im Wesentlichen um den Weg, um den sich das Bauteil bei freier Verformbarkeit verkürzen würde.

Anders ist dies bei Bauteilen mit Bewehrung. Hat das Bauteil einen zu geringen Bewehrungsgehalt, so gerät die Bewehrung nach der Bildung des ersten Risses ins Fließen und der Riss öffnet sich weiter. Wurde das Bauteil dagegen korrekt auf Zwang bemessen und eine für diesen Lastfall ausreichende Bewehrung eingelegt, so führt diese zu einer fein verteilten Rissbildung (vgl. Bild 2 rechts). Die Summe der Verformungen aller Risse entspricht dabei in etwa dem Weg, um den sich das Bauteil bei freier Verformbarkeit verkürzen würde. Da dieser Weg aber auf eine große Anzahl von Rissen verteilt wird, treten hinsichtlich der Korrosion nur unbedenkliche und meist nicht sichtbare Risse mit geringer Breite auf.

Zwangsspannungen können nicht nur durch eine gleichmäßige Tempe-

raturänderung des Bauteilquerschnitts verursacht werden. Auch das Schwinden des Betons, eine Stützensenkung oder eine ungleichmäßige Temperaturverteilung über den Querschnitt, die z.B. durch einseitige Sonneneinstrahlung verursacht wird, können Zwangsspannungen erzeugen.

3.1.2 Bewehrung

Bei der Wahl der Bewehrung sowie bei deren Führung bzw. Verlegung gibt es zahlreiche Fehlerquellen, die zu einer Rissbildung führen können. Auch das Fehlen einer statisch bzw. konstruktiv erforderlichen Bewehrung kann zu Rissen führen. Ein Beispiel hierfür wären z.B. vergessene Steckbügel an einem freien Plattenrand.

Auch die Wahl des Querschnitts der einzelnen Bewehrungsstäbe kann ungünstig getroffen werden. Wenige Bewehrungsstäbe großen Durchmessers haben bei gleicher Querschnittsfläche eine kleinere Verbundfläche zum Beton als mehrere Bewehrungsstäbe kleineren Durchmessers und führen somit zu größeren Rissbreiten.

Auch die Missachtung der Mindestbiegerollendurchmesser des Bewehrungsstahls bei der Planung und beim Einbau kann Risse zur Folge haben. Der Stahl wird durch die zu große Biegung in seiner Tragfähigkeit herabgesetzt und so können auf den Beton bei einem zu kleinen Biegerollendurchmesser große Umlenkkräfte einwirken. Dabei kann punktuell die Betondruckfestigkeit erreicht werden, was dann gegebenenfalls zu einem plötzlichen Betonversagen führt. Auch Risse oder eine Absprengung der Betondeckung sind durch zu kleine Biegerollendurchmesser möglich.

Zu geringe Verankerungslängen der Bewehrung führen entweder zu

einem Ausreißen des Bewehrungsstabs oder zu großen Rissen. Fast in allen Fällen wird dadurch die Standicherheit des Bauwerks gefährdet.

Neben der Einhaltung des Kräftegleichgewichts ist bei der Planung auch besonderes Augenmerk auf eine die Verformungsverträglichkeit erfüllende Bewehrungsführung zu legen (vgl. Abschnitt 6.3 Stützenkopf).

Werden bei der Planung oder auf der Baustelle die Achs- und Randabstände für Dübel oder andere Befestigungsmittel und Einbauteile nicht beachtet, können unkontrollierte Risse entstehen, die evtl. bis zu Absprengungen der Betondeckung oder zum Ausreißen der Verankerungselemente führen können.

3.1.3 Querschnittswahl

Öffnungen in scheiben- oder plattenartigen Bauteilen führen im Bereich von spitzen Ecken oder rechten Winkeln zu sehr hohen Kerbspannungen, die durch eine entsprechende Bewehrung aufgenommen werden müssen. Andernfalls kommt es mit hoher Wahrscheinlichkeit zur Rissbildung mit großen Rissbreiten. In wasserundurchlässigen Baukörpern kann dies zu Undichtigkeiten führen.

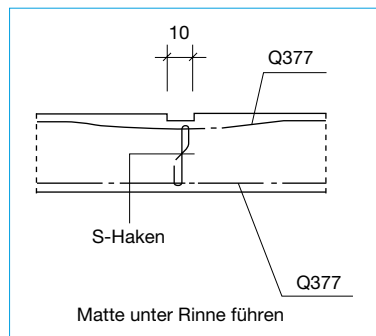


Bild 3: Beispiel einer Querschnittschwächung durch eine Rinne, die zur Rissbildung auf der Deckenunterseite führte.

Durch die Anordnung von Rinnen in Deckenplatten entsteht ein Querschnittsprung (Bild 3). Dieser bewirkt eine Verkleinerung des inneren Hebelarms und damit eine Zunahme der Druckkräfte im Beton und der Zugkräfte im Stahl. Hierdurch kann sich in diesem Bereich ein höherer Bewehrungsquerschnitt ergeben. Wird dieser nicht berücksichtigt, so ist eine Rissbildung sehr wahrscheinlich. Häufig wird dabei die Fließgrenze des Stahls überschritten und der Riss kann sich auf eine unzulässig große Rissbreite öffnen. Durch die Rissbildung kann es zu größeren Durchbiegungen, einem erhöhten Korrosionsrisiko und evtl. sogar zu einer Gefährdung der Tragfähigkeit kommen. Ähnlich problematisch kann sich das Herunterdrücken einer oberen Bewehrungslage über einer Stütze auswirken, wenn diese nicht ausreichend durch Abstandhalter in der Lage gesichert wurde.

3.1.4 Baugrund und Setzungen

Durch unterschiedliche Setzungen einzelner Baukörper und andere nicht berücksichtigte Formänderungen kann es ebenfalls zur Rissbildung kommen. Bauteile, die an bereits bestehende Baukörper angebaut werden, sollten entweder vollständig abgefugt oder so bemessen werden, dass auftretende Setzungen aufgenommen werden können. Dies dürfte bei schlanken oder verformungsempfindlichen Bauteilen, wie z.B. Torbögen, praktisch nicht möglich sein. Fugen sollten daher konsequent so ausgelegt werden, dass sie die auftretenden Verformungen ohne Schaden aufnehmen können.

3.1.5 Falsche Lastannahmen

Zu geringe Lastannahmen bei der Planung führen zur Überlastung der betroffenen Bauteile. Dadurch kann es bei diesen Bauteilen zu einer Rissbildung mit großen Rissbreiten kom-



Bild 4: Frostsprengung einer Wand



Bild 5: Rissbildung durch zu späte und falsche Nachbehandlung

men. Auch während der Nutzung oder bei Renovierungen können Änderungen oder die Missachtung vorgegebener Belastungsgrenzen zu einer Überlastung einzelner Bauteile mit dramatischen Folgen für die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit oder sogar für die Tragfähigkeit führen. Beispielhaft sei hier die Umnutzung einer Bürofläche als Archiv mit eng stehenden, hohen Regalen voller Bücher genannt.

3.2 Verarbeitungsbedingte Ursachen

Unsachgemäßer Betoneinbau hat in der Praxis des Öfteren eine Rissbildung zur Folge. Eine freie Fallhöhe des Frischbetons von über 1 m kann wegen der unterschiedlichen Dichten der Betonausgangsstoffe zu einer Entmischung des Betons führen. Dadurch wird der Verbund zwischen Beton und Bewehrung verschlechtert und es kann zur Rissbildung bis hin zum Verbundversagen kommen. Auch die Übertragung der Rüttelenergie beim Verdichten durch den Flaschenrüttler auf die Bewehrung beim Betoneinbau stört oder verhindert gar den Verbund und kann die oben beschriebenen Folgen haben.

Abstandhalter, die eigentlich eine ausreichende Betondeckung der Bewehrung zur Betonoberfläche sicherstellen sollen, können zu Rissen führen, wenn zu wenige, zu schwache oder zu kleine Abstandhalter eingebaut werden. Dadurch kann der statische Hebelarm negativ verändert werden oder aber die Abstandhalter wirken als Sollbruchstellen.

Eine große Gefahr stellen im Winter und in den Übergangszeiten Temperaturen unter 5 °C dar – besonders, wenn es während der Betonage durch eine Kaltfront zu einem Temperatursturz kommt. Die Hoffnung, dass es in der Nacht schon keine Temperaturen unter 0 °C geben werde oder der Beton dann bereits eine ausreichende (Gefrier-)Festigkeit entwickelt habe, führt jedes Jahr im November und Dezember wieder zu einer Häufung von Schadensfällen und Rissen. Auch bereits erhärtete Bauteile mit Öffnungen, in denen Wasser stehen bleiben kann, sind den ganzen Winter über gefährdet. Beispiele hierfür sind Köcherfundamente oder Aussparungen für Geländer in Wänden. Das in den Löchern stehende Wasser dehnt sich beim Gefrieren um bis zu 9 % aus und erzeugt so einen Sprengdruck auf die Umrandung. Wird dabei die

Festigkeit des Betons erreicht, kann es zu einer Absprengung des Betonbauteils (Bild 4) kommen. Auch das Einlegen von elastischen Materialien kann die Frostschädigung nicht mit Sicherheit verhindern. Nur die vollkommene Trockenlegung der Öffnungen kann die Schädigung der Bauteile zuverlässig vermeiden.

Den größten Einfluss auf die Rissbildung beim Einbau von Beton hat aber die Nachbehandlung. Dies gilt vor allem für flächige und massige Bauteile wie Bodenplatten und Decken. Der Schutz des Betons vor zu schnellem Austrocknen durch Planen, das Vermeiden zu großer Temperaturunterschiede durch Auflegen von Dämmmatten und der Schutz vor zu früher Belastung bzw. mechanischer Beanspruchung trägt entscheidend zur Vermeidung einer Rissbildung bei. Wichtig ist bei der Nachbehandlung nicht nur die Dauer und die geeignete Art der Nachbehandlung sondern vor allem auch der richtige Zeitpunkt des Nachbehandlungsbeginns. Die Nachbehandlung muss sofort nach dem Einbau erfolgen, bereits ein paar Stunden danach kann es zu spät sein. Gerade an der Nachbehandlung wird aber in der Praxis aus Zeit- und Kostengründen oft gespart (z.B. Umset-

zen der Stützenschalung nach acht Stunden oder Verzicht auf eine Abdeckung frisch betonierter Decken mit Folien, Bild 5).

3.3 Stoffliche und physikalische Ursachen

Eine nicht optimale Betonzusammensetzung bzw. Kriechen und Schwinden des Betons sind die häufigsten stofflichen Ursachen für Risse und wohl auch allgemein als Rissursache bekannt.

Auch die Verwendung von Gesteinskörnungen, durch die im Beton unter bestimmten Umständen eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion ausgelöst wird, kann zu Treiberscheinungen und damit zu Rissen führen. Aber auch andere Stoffe wie Sulfat, Magnesium oder Aluminium können Treiben erzeugen und dadurch Risse im Beton verursachen.

Infolge der Verwendung ungeeigneter Zemente können ebenfalls Risse entstehen. Genannt sei an dieser Stelle die Verwendung von Tonerdenschmelzzement. Betone, die in den 50er-Jahren mit diesem Zement hergestellt wurden, verloren bei Temperaturen über 22 °C verbunden mit einer feuchten Umgebung ihre

Festigkeit. Die Folge war eine enorme Rissbildung verbunden mit einer akuten Gefährdung der Standsicherheit bis hin zu Einstürzen, also dem endgültigen Versagen. Aus diesem Grund ist Tonerdenschmelzzement seit 1962 in Beton und Stahlbeton für tragende Bauteile nicht mehr erlaubt.

Neben dem Schwinden kann auch das Schrumpfen bzw. Setzen des Frischbetons eine Ursache für Risse sein. Bei der in Bild 6 dargestellten Baumaßnahme handelte es sich um ein Bauteil mit einer Höhe von rd. 100 cm. Die Schalung hatte ein Gefälle von je 2 % in Längs- und Querrichtung. Da beim Einbau des Betons in weicher Konsistenz auf ein Nachverdichten verzichtet wurde, kam es zu einem Abrutschen bzw. Absetzen des eingebauten Frischbetons. Dadurch entstanden diagonal gerichtet Risse mit einer Breite von bis zu 5 mm, die teilweise bis zur Bewehrung in den Querschnitt hineinreichten. Unter den Stäben der oberen Bewehrungslage bildeten sich dabei Fehlstellen aus (Bild 7).

Die der Hydratationswärmeentwicklung beim Erhärten des Zements folgende Abkühlung führt, bei fehlenden Gegenmaßnahmen, immer

wieder zur Rissbildung im Beton. Der junge Beton dehnt sich durch die Erwärmung infolge Hydratation des Zements aus. Zum Zeitpunkt dieses Temperaturanstiegs ist der Beton aber aufgrund seiner geringen Festigkeit noch plastisch und verformt sich, ohne dass dabei nennenswerte Spannungen erzeugt werden. Durch den Wärmeübergang an den Bauteilrändern werden im Kern des Bauteils die höchsten Temperaturen erreicht. Nach einiger Zeit klingt die chemische Reaktion des Zements ab und es wird weniger Hydratationswärme freigesetzt. Dadurch kommt es von außen nach innen zu einer Abkühlung des Betons. Da dieser zu diesem Zeitpunkt aber nicht mehr plastisch ist, entstehen an der Außenseite Zug- und im Kern Druckspannungen. Erreichen die Zugspannungen am Bauteilrand die Zugfestigkeit des Betons und wird dessen Bruchdehnung überschritten, kommt es zur Rissbildung. Mit dieser Rissbildung muss bei Normalbetonen ab einem Temperaturunterschied ΔT zwischen Kern- und Randbereich von 15 K gerechnet werden. Verhindert werden kann diese Rissbildung nur durch die Verringerung des Temperaturunterschieds im Bauteil. Dies kann hauptsächlich durch die Verwendung von Zementen erreicht werden, die eine



Bild 6: Diagonal gerichtete Risse mit einer Breite bis zu 5 mm



Bild 7: Risse bis zur Bewehrung, Fehlstelle unter der Bewehrung

niedrige Hydratationswärmeentwicklung aufweisen. Besonders geeignet hierfür sind hüttensandhaltige Zemente wie Hochofenzemente CEM III/A oder CEM III/B nach DIN EN 197-1 [2], abhängig von den Bauteilabmessungen. CEM III/B-Zemente sind i.d.R. stets LH-Zemente (LH = low heat), d.h. Zemente mit niedriger Hydratationswärme. In der europäischen Norm EN 14216 [3] sind zwischenzeitlich Hochofenzemente VLH III/B und VLH III/C (VLH = very low heat) genormt, deren Hydratationswärmeentwicklung noch weiter abgesenkt wurde.

Durch den zusätzlichen Einsatz von Steinkohlenflugasche kann die Wärmeentwicklung im Beton ebenfalls bis zu einem gewissen Grad verringert werden.

In jedem Fall ist aber ein rechtzeitiger Schutz der Betonoberflächen vor einer zu raschen Abkühlung durch eine sorgfältige Nachbehandlung erforderlich. Dies kann z.B. durch den Einsatz wärmedämmender Folien oder Matten erfolgen, die jedoch erst dann aufgelegt werden sollten, wenn das Maximum der Wärmeentwicklung im Beton erreicht ist.

Auch durch die Korrosion des Bewehrungsstahls kann es zu einer Rissbildung kommen. Normalerweise ist der Stahl im Beton durch seinen pH-Wert von 12 bis 13 gut vor Korrosion geschützt. Geht der Korrosionsschutz durch die Absenkung des pH-Werts infolge Karbonatisierung des Betons jedoch verloren und sind die weiteren Voraussetzungen für Korrosionsprozesse gegeben, kann es aufgrund des Sprengdrucks der Korrosionsprodukte zu einer Rissbildung und schließlich zu einem Abplatzen der Betondeckung kommen.

4 Auswirkungen von Rissbildungen in Betonbauteilen

Je nach Art und Umgebung können Risse folgende Funktionen eines Beton-, Stahlbeton- oder Spannbetonbauteils gefährden:

- Gebrauchstauglichkeit
- Dauerhaftigkeit
- Tragfähigkeit

Die Beantwortung der Frage, ob Risse die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit oder die Tragfähigkeit be-

einträchtigen, hängt sehr stark von den Umgebungsbedingungen und damit vom Einzelfall ab. Allgemeine Aussagen sind nur sehr eingeschränkt möglich. Trotzdem soll hier versucht werden, grobe Anhaltspunkte zur Beurteilung zu nennen. Im Zweifelsfall oder wenn eine Gefährdung der Standsicherheit nicht ausgeschlossen werden kann, sollte auf jeden Fall ein Fachmann zur Beurteilung des Risikos eingeschaltet werden.

4.1 Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit ist mit hoher Wahrscheinlichkeit eingeschränkt, wenn die

- Rissbreiten > 0,5 mm sind,
- Risse wasserführend sind oder
- Rissufer vertikal gegeneinander verschoben sind.

Risse mit Breiten > 0,5 mm sind vom Betrachter auch aus einem größeren Abstand zum Bauteil gut sichtbar. Sie werden von Nutzern meist als störend, wenn nicht sogar als bedrohlich wahrgenommen. Bereits durch diese subjektive Wahrnehmung kann je nach Nutzungsart die Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigt sein.



Bild 8: Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit durch Wasserpfützenbildung



Bild 9: Verlust der Gebrauchstauglichkeit durch chloridhaltiges Wasser, das von der Decke tropft



Bild 10: Wurzeln durch Bewuchs und zeitweise eindringendes Wasser führten zum Verlust der Dauerhaftigkeit.



Bild 11: Gefährdung der Standsicherheit durch Längsrisse im Bereich der Trägerlängsbewehrung

Dringt Wasser in flüssiger Form durch Risse in das Innere von Bauwerken ein, ist die Gebrauchstauglichkeit auf jeden Fall nicht mehr gegeben (Bilder 8 und 9). Jedoch können auch feuchte Stellen bei entsprechend hochwertiger Nutzung der Räume bereits die Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigen.

Bei Betonfußböden kann es durch eine vertikale Verschiebung der Rissufer zu Höhenunterschieden kommen. Je nach Nutzung (Flurförderfahrzeuge usw.) kann die Gebrauchstauglichkeit nachteilig beeinflusst sein, im schlimmsten Fall sogar verloren gehen.

4.2 Dauerhaftigkeit

Die Dauerhaftigkeit ist mit hoher Wahrscheinlichkeit gefährdet, wenn Risse

- Rissbreiten $> 0,4$ mm haben (trockene Querrisse),
- wasserführend sind und/oder
- mit Chloriden oder anderen korrosionsauslösenden Schadstoffen belastet werden.

Die Karbonatisierung von Beton wird durch trockene Querrisse mit Rissbreiten $< 0,4$ mm auch im Rissbereich nicht nennenswert be-

schleunigt. Bei entsprechenden Umgebungsbedingungen (trocken und ohne Schadstoffe) beeinflussen solche Risse den Schutz der Bewehrung vor Korrosion praktisch nicht. Somit haben sie auch keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbauteilen. Nehmen die Rissbreiten weiter zu, kann es im Riss auch unter normalen Innenraumbedingungen zu Korrosionserscheinungen kommen.

Sind Risse zeitweise wasserführend (Bild 10) oder können durch Risse korrosionsauslösende Stoffe (z.B. Chloride) an die Bewehrung gelangen, muss davon ausgegangen werden, dass es relativ schnell zur Korrosion und damit über kurz oder lang zum Ausfall der Bewehrung kommt. Chloride sind dabei aufgrund der Lochfraßkorrosion mit extrem hohen Abtragsraten für die Dauerhaftigkeit besonders gefährlich. Aus diesem Grund dürfen chloridbelastete Bauteile keine Risse haben, oder der Beton muss durch zusätzliche Schutzmaßnahmen (z.B. Beschichtung) vor einem Chlorideintrag geschützt werden.

4.3 Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit ist mit hoher Wahrscheinlichkeit gefährdet, wenn Risse

- gerichtet sind und große Rissbreiten ($> 0,4$ mm) aufweisen oder
- entlang der Bewehrung verlaufen.

Zeigen Risse ein gerichtetes Rissbild (Bild 11), wurden sie in der Regel durch Spannungen erzeugt, die entweder durch Lasten oder durch Zwangsbeanspruchungen verursacht wurden. Ist die Rissbreite darüber hinaus groß, ist davon auszugehen, dass die Bewehrung im Rissbereich die Streckgrenze überschritten hat und damit ins Fließen gekommen ist. Der Stahl ist im Riss somit fast bis zu seiner Belastungsgrenze ausgenutzt. Wird die Last bzw. der Zwang weiter gesteigert, kommt es zunächst zu deutlichen Verformungen und bei weiterer Laststeigerung zu einem Zugversagen des Stahls. Dies hat den Verlust der Tragfähigkeit zur Folge.

Risse, die entlang der Bewehrung verlaufen, können zu einem Versagen des Verbunds zwischen Stahl und Beton führen. Damit wird eine Kraftübertragung vom Stahl auf den Beton und umgekehrt deutlich eingeschränkt. Diese Kraftübertragung ist aber unbedingt erforderlich, damit der Verbundbaustoff Stahlbeton in der vorgesehenen Weise wirken kann. Das Verbundversagen von Stahlbetonbauteilen

erfolgt schlagartig und meist ohne Vorankündigung.

Natürlich können auch Risse, die die vorgenannten Kriterien nicht erfüllen, die Tragfähigkeit gefährden.

5 Beurteilung von Rissen

Um beurteilen zu können, ob sich ein Riss nachteilig auf die Dauerhaftigkeit eines Bauteils auswirkt oder sogar die Tragfähigkeit gefährdet, müssen folgende Fakten bekannt sein:

- Rissart
- Rissursache
- Zyklische Bewegung der Rissflanken
- Rissbreite/Risstiefe
- Rissverlauf bzw. Rissbild
- Zeitpunkt der Rissentstehung
- Trockene oder nasse Umweltbedingungen
- Schadstoffe (Anwesenheit von Chloriden oder anderen die Korrosion fördernden Stoffen)

In der Praxis werden diese Fragen in der Regel nicht ohne genauere Untersuchungen beantwortet werden können.

5.1 Rissart

Die Rissart spielt eine große Rolle, wenn es um die Beurteilung geht. So sind z.B. Trennrisse in der Regel für ein Bauteil gefährlicher als Biege- risse, da bei Trennrissen Gase (z.B. CO₂), Schadstoffe (z.B. Chloride) und Wasser leichter in das Bauteil eindringen bzw. dieses durchdringen können. Zudem bewirken Trennrisse oft eine Änderung des statischen Systems, was wiederum zu umfangreichen Lastumlagerungen mit einer weiteren Rissbildung führen kann.

Risse, die entlang der Bewehrung verlaufen, sind besonders kritisch zu be-

trachten, da es zu einem plötzlichen Verbundversagen kommen kann.

5.2 Rissursache

Ja nach Ursache der Risse kann das Gefahrenpotenzial sehr unterschiedlich sein. So sind feine, netzartige Oberflächenrisse, die durch eine mangelhafte Nachbehandlung entstanden sind, nicht so schwerwiegend wie z.B. große Risse, die aufgrund einer fehlenden Bewehrung entstanden sind.

5.3 Zyklische Bewegungen der Rissflanken

Ob sich die Rissufer nach der Begutachtung weiter bewegen oder nicht, ist vor allem für die Instandsetzung von großer Bedeutung.

Wenn z.B. Risse, die aufgrund von Zwangsspannungen entstanden sind und deren Breiten sich durch wechselnde Bauteiltemperaturen ändern, kraftschlüssig verpresst werden, kommt es meist unmittelbar neben dem verpressten Riss zu einer erneuten Rissbildung.

5.4 Rissbreite/Risstiefe

Breite, tiefe Risse sind deutlich kritischer zu sehen als schmale, weniger tiefe Risse. Der Grund liegt wiederum darin, dass in breite, tiefe Risse Gase, Schadstoffe und Wasser deutlich leichter eindringen können als in schmale, weniger tiefe Risse. Das Wasser bzw. die Schadstoffe können im Bauteil dann zur Korrosion an der Bewehrung oder am Beton führen.

5.5 Rissverlauf bzw. Rissbild

Ein gerichtetes Rissbild deutet auf Ursachen hin, die in der Konstruktion bzw. der statischen Berechnung zu suchen sind. Ein ungerichtetes

Rissbild weist in der Regel auf stoffliche, physikalische Ursachen der Rissbildung hin (z.B. Krakeleerisse).

Bei der Bewertung der am Bauwerk gemessenen Rissbreite ist zu beachten, dass auch ein einzelner Riss mit einer Breite über dem geplanten Grenzwert (Rechenwert) noch kein Grund zur Beanstandung des ganzen Bauteils sein muss. Dies hat zwei Gründe:

- Zum einen folgt auch die Rissbreite, ähnlich wie andere Messwerte, einer statistischen Verteilung. Man kann also durch eine Rissbreitenbeschränkung nach den geltenden Regeln der Technik nicht alle Rissbreiten unter dem vorgegebenen Grenzwert halten.
- Zum anderen ist die Messung der Rissbreite in hohem Maße von den Fertigkeiten und der Übung des Messenden abhängig. Mit sinkender Rissbreite nimmt aus diesem Grund auch die Aussage-wahrscheinlichkeit ab, d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass eine Messung den realen Wert auch wirklich wiedergibt (**Bild 12**).

Ganz allgemein ist die Rissbreite an der Oberfläche größer als an der Bewehrung. Die Messung an der Oberfläche liegt also auf der sicheren Seite.

Bei befahrenen Flächen brechen die Risskanten durch die Belastung aus, so dass bereits Risse mit einer sehr geringen Breite im inneren des Bauteils an der Oberfläche eine scheinbar große, bedrohliche Rissbreite aufweisen können.

5.6 Zeitpunkt der Rissentstehung

Anhand des Zeitpunkts der Rissentstehung kann oft schon deren Ursache eingegrenzt werden. Entstehen die Risse sehr früh, ist der Einfluss

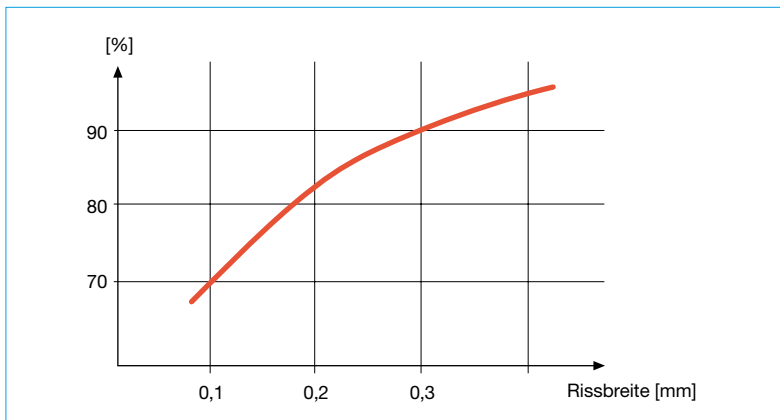


Bild 12: Abnehmende Aussagewahrscheinlichkeit mit sinkender Rissbreite

der Hydratationswärme bzw. des Schrumpfens des Betons wahrscheinlich. Bei einer späteren Rissbildung kann das Schwinden des Betons eine Ursache sein. Entstehen die Risse dagegen bei der Belastung des Bauteils, sind statische Gründe wahrscheinlich.

5.7 Trockene oder nasse Umweltbedingungen

Trockene bzw. ständig nasse Risse sind in der Regel für die Dauerhaftigkeit unkritisch, da die Bedingungen für eine Korrosion des Stahls nicht gegeben sind. Risse, die einem häufigen Wechsel von nass und trocken ausgesetzt sind, sind für die Dauerhaftigkeit kritischer zu sehen, da dann ideale Voraussetzungen für eine Korrosion der Bewehrung vorliegen.

5.8 Schadstoffe

Dringen durch einen Riss Schadstoffe in den Beton ein, so kann es zu schnell verlaufenden Schädigungsprozessen sowohl an der Bewehrung als auch am Beton selbst kommen. Beispielhaft seien hier für die Betonkorrosion der treibende und zugleich lösende Angriff von biogener Schwefelsäure in Biogasanlagen genannt und für die Korrosion der Bewehrung die Einwirkung von Chloriden auf Parkdecks und in Tiefgaragen.

6 Beispiele aus der Praxis

6.1 Parkdeck

Ein etwa 60 m langes und 20 m breites Parkdeck wurde aus Stahlbeton errichtet. Die Decke spannte

über die kurze Seite und wurde auf drei Unterzügen und einer Wand als Durchlaufträger gelagert (Bild 13).

Nach zwei Jahren Benutzung kam es zu einem Ablösen des Oberflächenschutzsystems auf der befahrenen Oberseite der Stahlbetondecke. Es waren wasserführende Risse auf der Unterseite der Decke vorhanden (Bild 14).

Der Bauherr zeigte den Mangel an. Die bauausführende Firma lastete den Mangel dem Tragwerksplaner an, der die Decke falsch bemessen habe. Der Tragwerksplaner vertrat dagegen die Auffassung, dass die Risse durch das Schwinden des nicht sachgerecht zusammengesetzten Betons entstanden seien.

Bei der genauen Untersuchung der Rissursache stellte sich heraus, dass sich die vom Tragwerksplaner vorgesehene bewegliche Lagerung in Längsrichtung (vgl. Bild 13) aus folgenden Gründen nicht einstellten konnte:

- Planmäßige Durchführung der vertikalen Bewehrung (8 Ø 20 mm) durch das Elastomerlager unter dem Unterzug (in Bild 13 rechts unten). Dadurch wurde die Längenänderung des Unterzugs und der monolithisch mit dem Unterzug verbundenen Deckenplatte stark behindert.
- Falsche Ausführung der Fugen als Scheinfugen und nicht als Bewegungsfugen. Dadurch konnten sich die Wände nicht wie geplant über die schwache Seite verbiegen und so die Bewegung der Decke nicht ermöglichen.
- Mangelhafte Ausführung der beweglichen Lagerung auf der Wand.
- Nichtbeachtung der aussteifenden Wirkung des Lichtschachtes auf die Wand (in Bild 13 rechte Seite).

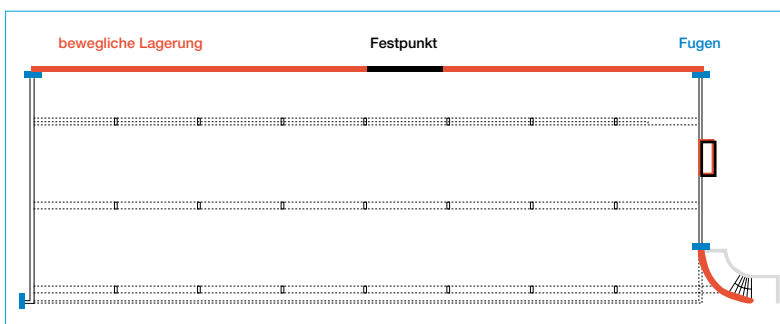


Bild 13: Grundriss des Parkdecks mit geplanter beweglicher Lagerung



Bild 14: Wasserführende Trennrisse in der Decke des Parkdecks

Durch eine fehlerhafte Planung und eine mangelhafte Bauausführung wurde die Verkürzung der Stahlbetondecke stark behindert. Dadurch führten das Schwinden des Betons sowie der späte Zwang durch die mit der Jahreszeit wechselnden Temperaturen der Stahlbetondecke zu einer Zwangsbeanspruchung der Decke. Diese wurde bei der Bemessung aber nicht auf zentrischen Zwang ausgelegt und ist folglich gerissen.

Unter Beachtung der Untersuchungsergebnisse und der Vergleichsberechnungen ergaben sich folgende Fakten zur Beurteilung der Risse:

Rissart

Trennrisse

Rissursache

gleichmäßige Temperaturänderung, Schwinden des Betons

Zyklische Bewegung

ja

Rissbreite

bis 0,5 mm

Rissverlauf

längs zur Hauptbewehrung

Risstiefe

durch das gesamte Bauteil

Zeitpunkt der Entstehung

nach etwa einem Jahr während des Winters

Trocken oder nass
nass

Einwirkung von Schadstoffen

Chlorideinwirkung durch
Tauwasser von Fahrzeugen

Bewertung des Bauwerkszustands

- a) Die Gebrauchstauglichkeit ist nicht gegeben (auf abgestellte Fahrzeuge im darunter liegenden Parkdeck tropfendes chloridhaltiges Wasser).
- b) Die Dauerhaftigkeit ist nicht gegeben (bereits begonnene Lochfraßkorrosion an der Bewehrung).
- c) Die Tragfähigkeit ist mittelfristig gefährdet (punktueller Verlust der



Bild 15: Öffnung der Bauwerksfuge durch temperaturbedingte Bauteilverkürzung

Hauptbewehrung durch Lochfraßkorrosion).

Instandsetzung

Die Instandsetzung wurde durch ein Abtragen des chloridbelasteten Betons mit anschließender Reprofilierung und den Einbau einer Abdichtung nach ZTV-ING durchgeführt.

6.2 Rahmeneck

An einem Rahmeneck kam es nach dem Ausschalen zu dem in Bild 16 dargestellten Versagen des Bauteils. Die vom Tragwerksplaner vorgegebene Bewehrungsführung ist in Bild 17 dargestellt.

Die Zugkraft aus dem oben liegenden Bewehrungsstab des Riegels muss über den Beton in die in der Mitte des Riegels liegende Bewehrung übertragen werden. Diese Übertragung kann nur über schräge Druckstreben erfolgen. Betrachtet man das Gleichgewicht im Bereich der schrägen Druckstreben, wird schnell klar, dass sich aus der Neigung der Druckstrebe eine vertikal gerichtete Zugkraft ergibt. Da aber keine Bügelbewehrung vorgesehen war und auch sonst in dieser Richtung keine Bewehrung eingebaut wurde, musste die Zugkraft vom Beton aufgenommen werden. Da der Beton nur eine relativ geringe Zugfestigkeit besitzt, kam es zum Versagen des Bauteils.

Auch wenn das Versagen offensichtlich ist, ergeben sich folgende Fakten zur Beurteilung der Risse:

Rissart

Trennriss/Längsriss

Rissursache

nicht erfülltes Gleichgewicht durch falsche Bewehrungsführung

Zyklische Bewegung

nein



Bild 16: Gerissenes Rahmeneck

Rissbreite
mehrere cm

Rissverlauf
längs der Hauptbewehrung

Risstiefe
durch das gesamte Bauteil

Zeitpunkt der Entstehung
wenige Tage nach dem Betonieren, abhängig vom Baufortschritt

Trocken oder nass
trocken

Einwirkung von Schadstoffen
nein

Bewertung des Bauwerkszustands (liegt auf der Hand!)

- Die Gebrauchstauglichkeit ist nicht gegeben.
- Die Dauerhaftigkeit ist nicht gegeben.
- Die Tragfähigkeit ist nicht gegeben.

Instandsetzung

Eine Instandsetzung machte wirtschaftlich keinen Sinn. Das Bauteil wurde abgebrochen und mit einer geänderten Bewehrungsführung neu betoniert.

6.3 Stützenkopf

An einem Stützenkopf kam es zu einer von der Decke schräg nach unten auf die Kanten der Stütze zulaufenden Rissbildung. Von den Bauausführenden wurde vermutet, dass der Beton keine ausreichende Druckfestigkeit besäße und es dadurch zu den beobachteten Rissen kam. Ein Blick in

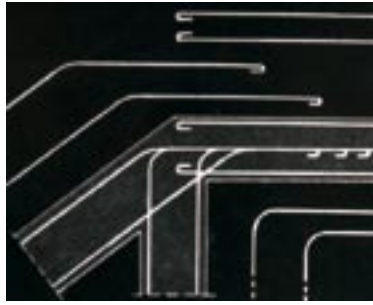


Bild 17: Falsche Bewehrungsführung

den Bewehrungsplan (Bild 18) zeigte, dass die Bewehrungsführung des Durchstoßpunktes durch die Decke zwar die Gleichgewichtsbedingungen erfüllte, nicht aber die Verträglichkeitsbedingungen. Die entstehenden Umlenkkräfte müssen bei der dargestellten Bewehrungsführung kurz unterhalb der Decke als Zugkräfte aufgenommen werden. An dieser Stelle liegen zwar Stahlbügel, diese können aber erst nach einer Rissbildung Kräfte in nennenswerter Größe übertragen. Die durch die Rissbildung verursachten Verformungen sind für die Stütze aber nicht mehr tolerierbar. Weiterhin wirkte sich nachteilig aus, dass der oberste Bügel schräg eingebaut worden war. Die geeignete Bewehrungsführung für diesen Fall zeigt Bild 19. Sämtliche Umlenkpunkte werden durch eine derartige Konstruktion in die Decke verlagert. Dadurch sind zum Erreichen des Kräftegleichgewichts keine Zugkräfte mehr nötig. Alle Umlenkkräfte werden durch Druckkräfte im Gleichgewicht gehalten, die der Beton sehr gut aufnehmen kann.

Unter Beachtung der Bewehrungspläne und der Umgebungsbedingungen vor Ort ergaben sich somit folgende Fakten zur Beurteilung der Risse:

Rissart
Querzugrisse

Rissursache
falsche Bewehrungsführung

Zyklische Bewegung

nein

Rissbreite
bis 1 mm

Rissverlauf
längs der Hauptbewehrung

Risstiefe
bis hinter die Bewehrung

Zeitpunkt der Entstehung:
wenige Tage nach dem Betonieren, abhängig vom Baufortschritt

Trocken oder nass
trocken

Einwirkung von Schadstoffen
nein

Bewertung des Bauwerkszustands

- Die Gebrauchstauglichkeit ist nicht direkt betroffen (geplant war, die Stützen zu verkleiden).
- Die Dauerhaftigkeit ist aufgrund der großen Rissbreite gefährdet.
- Die Tragfähigkeit ist gefährdet (fehlender Verbund der Bügel, Querschnittsminderung, Querschnittsminderung, Querschnittsminderung, Querschnittsminderung, Querschnittsminderung).

Instandsetzung

Die Instandsetzung erfolgte durch eine Verstärkung mit CFK-Gelegen und zusätzlichen Brandschutzplatten.

6.4 Fertigteilbinder

Bei einer großen Halle wurden bei der Planung zu wenige Öffnungen für die technische Gebäudeausrüstung in den Dachbindern vorgesehen. Auf der Baustelle wurden je nach Bedarf, ohne Rücksprache mit dem Tragwerksplaner und ohne zerstörungsfreie Ermittlung des Bewehrungsverlaufs, nachträglich Löcher in die Spannbetonbinder gebohrt. Nach den Arbeiten traten Risse in den Bindern auf.

Durch das ungeplante Bohren wurden 50 % der Querkraftbügel durchtrennt. Es ergaben sich folgende Fakten:

Rissart

Querkraftrisse

Rissursache

durchtrennte Bewehrung

Zyklische Bewegung

nein

Rissbreite

bis 6 mm

Rissverlauf

schräg vom Auflager

Risstiefe

durch das gesamte Bauteil

Zeitpunkt der Entstehung

sofort nach dem Bohren der Löcher

Trocken oder nass

trocken

Einwirkung von Schadstoffen

nein

7 Literatur

[1] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING), Hrsg.: Bundesanstalt für Straßenwesen. Verkehrsblattverlag: 2003

[2] DIN EN 197-1 Zement Hrsg.: Deutsches Institut für Normung, Berlin, August 2004

[3] EN 14216 Zement – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme. Hrsg.: Deutsches Institut für Normung, Berlin, August 2004

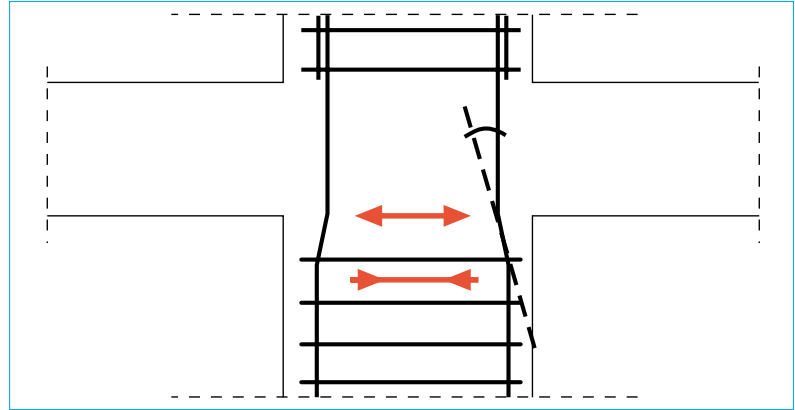


Bild 18: Falsche Bewehrungsführung mit Kröpfung außerhalb der Deckenplatte

Bewertung des Bauwerkszustands

- Die Gebrauchstauglichkeit ist nicht mehr gegeben (Risse sichtbar und bedrohlich).
- Die Dauerhaftigkeit ist nicht mehr gegeben.
- Die Tragfähigkeit ist akut gefährdet (plötzliches Querkraftversagen möglich).

Instandsetzung

Die Instandsetzung erfolgte durch das Anbringen von Stahlflaschen, die den gesamten Träger umschließen.

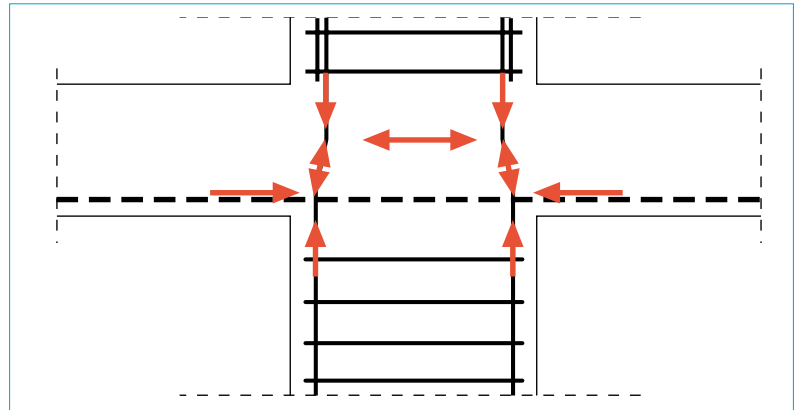


Bild 19: Richtige Bewehrungsführung mit Kröpfung innerhalb der Deckenplatte

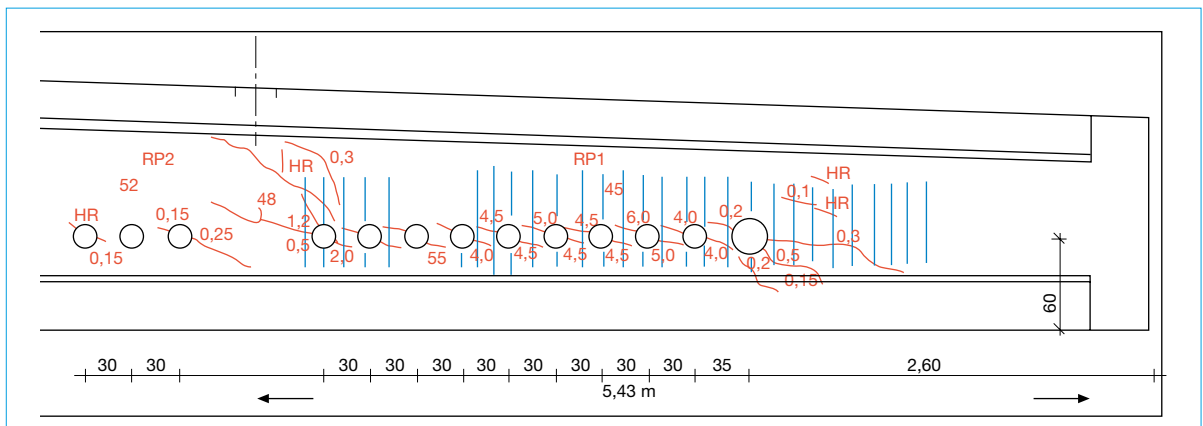


Bild 20: Die durch nachträgliche Bohrarbeiten abgeschnittene Querkraftbewehrung führte zum Verlust der Standsicherheit.