



Eingestürzte Carolabrücke Dresden © Wilfried Pschenitzka

Problem für ältere Spannbetonbrücken

Spannungsrissskorrosion (SpRK)

Wilfried Pschenitzka

In der Nacht zum 11. September 2024 stürzte der Straßenbahn-Brückenzug der Dresdner Carolabrücke ohne jede Vorankündigung und im Bruchmoment ohne Verkehrsbelastung in die Elbe. Entschieden wurde, auch die anderen beiden Brückenzüge abzureißen. Die Demontage der drei Brückenzüge ist inzwischen weitgehend erfolgt. Somit wird der vielbefahrenen Dresdner Nord-Süd-Verbindung über Jahre das wesentliche Element der Überquerung der Elbe fehlen. Gestaltung und Finanzierung eines Neubaus sind gegenwärtig noch unklar.

Die alte Carolabrücke wurde in den Jahren 1892 bis 1895 gebaut. Im Krieg wurde sie 1945 durch Sprengung zerstört. Um

1970 wurde an gleicher Stelle über die Elbe und die Elbauen eine neue Brücke als dreizügige Spannbeton-Brücke mit Hohlkastenquerschnitten in 375 m Länge und mit einer Gesamtbreite von 32 m wieder aufgebaut und dem Verkehr 1971 übergeben.

Statik und Konstruktion entsprachen dem Prinzip der beschränkten Vorspannung und der damals gängigen Methode des nachträglichen Verbunds, bei der die tragenden Elemente der Vorspannung im Konstruktionsbeton verdeckt liegen und sich daher einer Funktionskontrolle entziehen. Die Stützweiten der fünf Felder waren mit 44 m bis 120 m sehr unterschiedlich. Um daraus resultierende

Wechselbeanspruchungen einzuschränken, wurden in die Überbaukonstruktionen je drei gusseiserne Gelenke als Biegemomenten-Nullpunkte eingefügt. Eine weitere konstruktive Besonderheit besteht in einer schlaffbewehrten Querverbindung der drei Züge. Die vorgegebene Bauhöhenbegrenzung der Überbauten zwischen den überführten Verkehrswegen und der Profilhöhe für die ungehinderte Schiffsdurchfahrt wurde eingehalten. Mit der leicht geschwungenen Unterkante und der Voute zwischen den Hauptfeldern wurde eine Schlankheit erreicht, die im Bereich der Einmaligkeit liegt. Wir Brückenbauer sehen in ihr eine ingenieurtechnische Meisterleistung. Am Rand der historischen, nun wiedererstan-

denen innerstädtischen Barockbebauung hat sich diese Brücke unaufdringlich ins Stadtbild eingefügt. Niemand hat ihr bedauerliches und plötzliches Lebensende nach nur 53 Funktionsjahren erwartet.

Wir dürfen von Glück reden, dass beim Teileinsturz der Brücke kein Menschenleben zu beklagen war. Natürlich warf das Unglück sofort Fragen auf: Was ist da passiert? Warum konnte es nicht verhindert werden? Wer trägt die Verantwortung? Zur letztgenannten Frage möchte ich mich als Autor dieses Aufsatzes nach langjähriger Kenntnis von Arbeit, Leistung und Gewissenhaftigkeit der seinerzeit planenden Ingenieure vorab positionieren: Der deutlichen Aussage des Untersuchungsberichts zum Einsturz [2] ist zuzustimmen, dass die als wesentlich erkannte Ursache des Unglücks in der Spannungsrissskorrosion (SpRK) besteht und dass hierzu zum Zeitpunkt von Planung und Bau keine Kenntnis bestand. Zur Situation der Brückenplanung in der damaligen DDR sei hinzugefügt, dass die Bauvorbereitung von Spannbetonbrücken im Straßennetz allein in Hand des staatlichen Entwurfs- und Ingenieurbüros des Straßenwesens und seiner über Ostdeutschland verteilten fünf Betriebsteile lag. Der Betriebsteil Dresden war zuständig für den Raum Sachsen und Südbrandenburg. Literaturquelle zur Carolabrücke von 1971 (damals Dr.-Rudolf-Friedrichs-Brücke): [1]!

Verursachung des Brückeneinsturzes

Die Betroffenheit über den Brückeneinsturz löste sofort lebhaftere Diskussionen über die Ursachen der Katastrophe aus.

Im Seniorenkreis erfahrener Bauingenieure herrschte dazu zunächst eine weitgehend einheitliche Meinung vor: Bei beschränkter Vorspannung könnten unter Gebrauchslast auf Dauer Risse nicht ausgeschlossen werden. In sie dringe Oberflächenwasser ein, saisonbedingt chloridbelastet durch den Winterdienst, wenn die Dichtung der Konstruktion dies nicht dauerhaft verhindere und die Entwässerung schadhaft sei. So unterliege zunächst die oberflächennahe schlaffe Bewehrung den Korrosionsangriffen, besonders in der Deckenplatte des Hohlkastens, später evtl. auch die im Beton etwas tieferliegende Spannbewehrung. Man brauche nur die Beweh-



Erste Carolabrücke im Jahr 1895 in Richtung Neustadt, temporärer Eröffnungsschmuck auf den Brückenpfeilern (später ersatzlos entsorgt) © Hermann Klette

rung in der Deckenplatte an der hochbelasteten Stelle über der Voute freilegen, um den Abrostungsgrad und damit die Tragfähigkeitsminderung vor Augen zu haben. Bei den gerade erst abgeschlossenen Instandsetzungsarbeiten für die beiden Straßenzüge der Carolabrücke hat man sich auch auf die Behebung solcher Dichtungs- und Entwässerungsschäden konzentriert. Es wurden auch weitere eventuell verursachende Aspekte genannt, denn bekanntlich kommt zu Katastrophen meist ein ganzes Bündel von Gründen schicksalhaft zusammen. So wurden in den Diskussionen unter anderem genannt: Witterungsextreme zum Zeitpunkt des Einsturzes, Ermüdungserscheinungen des Spannstahls durch Schwellbelastungen aus jahrelangem Verkehr (bei Straßenbahnbetrieb in häufiger Folge, dynamisch eingetragen), unzureichende Dauerhaftigkeit der Epoxidharz-Dichtung auf der Straßenbahnbrücke, erhöhtes Eigengewicht nach veränderter Straßenbahn-Gleiskonstruktion, unplanmäßige Stromabführung aus der elektrischen Straßenbahn-Traktion.

Es gab aus dem Ingenieurkreis aber auch zur Verursachung für das Unglück eine sehr entschiedene Gegenstimme aus langzeitiger baustoffkundlicher Erfahrung. Sie lenkte auf die Baustoffe hin und

befürchtete, dass der in Ostdeutschland eingesetzte ölschlussvergütete Spannstahl St 140/160 aus Hennigsdorf entscheidend sein könnte. Das war dem Ergebnis der nachfolgenden Untersuchungen sehr nahe.

Mit der Ursachenfindung wurden Prof. Steffen Marx von der TU Dresden und das Ingenieurbüro MKP GmbH (Marx Krontal Partner) als unabhängige Gutachter beauftragt. Sie haben sich dieser Aufgabe in anerkennender In- und Extensität gewidmet, viele Hypothesen zur Einsturzursache geprüft sowie umfangreiche Materialuntersuchungen durchgeführt und analysiert. Ihre Erkenntnisse haben sie in [2] zusammengefasst und ihre Tätigkeit in einem Zwischenbericht am 11.12.2024 vor dem Bauausschuss der Stadt dargestellt und erläutert [3]. Nachfolgend das Resümee, siehe auch [2] und [3]:

Hauptursache des Einsturzes ist die wasserstoffinduzierte Spannungsrissskorrosion (H-SpRK) infolge Feuchtigkeits-eintrag während der Bauphase, verstärkt durch Ermüdung der Spannstähle im langjährigen Betrieb. Das führte zum allmählichen teilweisen Ausfall der Spannkraft. Auslösende Faktoren waren zudem Temperatursturz und Verkehrsbelastung.

68 % der Spannglieder in der Fahrbahnplatte waren an der Bruchstelle über dem Pfeiler D des eingestürzten Straßenbahn-Brückenzugs C stark beschädigt. Bei den gesetzlich vorgeschriebenen Prüfungen war dies nicht erkennbar.

- Der Einsturz war unvorhersagbar. Keine hinreichende ausgeprägte Rissbildung.
- Der Einfluss von Tausalzen (chlorid- und sulfidinduzierte Korrosion) hat stattgefunden, war jedoch nicht ursächlich für den Einsturz.
- Der schlaff bewehrte Querträger zwischen den Zügen A, B und C der Brücke stützte den Zug C vor dessen Einsturz und seinem Abriss auf den Zügen A und B ab.
- Das Schadensbild des Brückenzugs C ist auch an den benachbarten Zügen A und B zu finden. Der Erhalt der Züge A und B ist nicht möglich. Sie sind für alle Verkehrsteilnehmer zu sperren.

Zur Schuldfrage äußerte sich der Gutachter: Das planende Ingenieurbüro trifft keine Schuld. Das Phänomen SpRK war zur Planungszeit 1965 bis 1967 nicht bekannt. Gleiches trifft für den Bauausführenden (Bauzeit 1968 bis 1971) zu. Nach Aktendurchsicht hat die Stadt ihre gesetzlichen Vorgaben zu Beobachtung und Prüfung voll eingehalten und war bemüht, durch Sondergutachten und messtechnische Überwachungen die Risiken auszuschalten. Offen bleibt eine grundsätzliche Frage zu aller Technik, wie

man sich über Jahrzehnte damit abfinden konnte, im Vertrauen auf die Langlebigkeit der Vorspannung ihre Funktion im Zustand der Unprüfbarkeit zu belassen. Solche Unprüfbarkeiten sind in anderen Bereichen des Brückenbaus, zum Beispiel bei Gründungen, allerdings auch vorhanden und kaum auszuschließen.

Somit gerät der Begriff „Spannungsrissskorrosion“ in den Vordergrund, um dessen Erklärung sich die nachfolgenden Ausführungen bemühen.

Spannungsrissskorrosion (SpRK)

Die Spannungsrissskorrosion ist ein besonderer, stark werkstoffabhängiger Korrosionsprozess, der im Werkstoffinneren abläuft ohne ausgeprägte Bildung von Korrosionsprodukten, der – mit dem Auge kaum erkennbar – unbemerkt fortschreitet und ohne Vorankündigung zum Spröbruchversagen des Bauelements führen kann. Wissenschaftlicher lautet die Definition: Die SpRK ist eine trans- oder innerkristalline Rissbildung in Werkstoffen, eine chemische und/oder elektrochemische Korrosionsform unter gleichzeitiger Einwirkung von Zugbeanspruchungen und speziellen Korrosionsmechanismen, die zu Rissbildung und mechanischem Bruch führen kann.

Man sieht aus diesen Definitionen, dass die SpRK Sache eines ganzen Spektrums technisch-wissenschaftlicher Disziplinen ist und nicht nur im ureigenen Arbeits-

feld des Bauingenieurs sowie teilweise jenseits seines üblichen Wissens- und Erfahrungshorizontes liegt. Erst mit den üblen Folgen, den Brüchen der Baustoffe, kommt sie in aller Konkretheit dringend in den Vordergrund des Ingenieurbewusstseins.

Zum aktuellen Erkenntnisstand ist [4] zu empfehlen. Danach setzt das Entstehen der SpRK drei Gemeinsamkeiten voraus:

1. Zugbeanspruchungen
2. einen SpRK-empfindlichen Werkstoff
3. ein Angriffsmedium

Fehlt eine dieser drei Komponenten, so ist SpRK ausgeschlossen. Sie zu verhindern, verlangt also den absolut sicheren Ausschluss mindestens einer Komponente.

Es gibt anodische und kathodische SpRK. Dieser Aufsatz beschränkt sich nachfolgend auf die kathodische (wasserstoffinduzierte) Korrosion, weil sie im Spannbetonbau die wesentliche Form ist.

Zu 1. Zugbeanspruchungen: Hohe Zugbeanspruchungen von Spanngliedern und Spannbetondrähten im Spannbetonbau sind selbstverständlich, denn die Zugkräfte in den Spannstattelelementen werden so bemessen, dass ihre Zugfestigkeit ausgelastet wird und im Beton unter Gebrauchslast keine (bei voller Vorspannung) oder nur minimale, nach Vorschrift begrenzte Zugspannungen (bei





Dreizügige Carolabrücke Dresden, 1971–2024 © Wilfried Pschenitzka

beschränkter Vorspannung) entstehen. Die Carolabrücke wurde nach dem Prinzip der beschränkten Vorspannung bemessen.

Eine Schwellbelastung des Stahls, wie sie bei Brücken durch die Frequenz der Verkehrsbelastung regelmäßig vorliegt, erhöht die Gefährdung durch SpRK. Die konstante Grundbeanspruchung ergibt sich aus den ständigen Lasten (vorrangig Eigengewicht).

Zu 2. SpRK-empfindlicher Werkstoff:
Die Anfälligkeit gegenüber SpRK ist ab-

hängig vom Stahlherstellungsprozess, der chemischen Zusammensetzung und der Nachbehandlung des Stahls (Vergütung). Die Herstellung hat meist einen größeren Einfluss als die Legierungszusammensetzung. Grobkörnige Stähle sind empfindlicher als feinkörnige. Vergütete Stähle (wie der ölschlussvergütete Stahl aus Hennigsdorf) begünstigen die Versprödung durch Wasserstoff und verursachen die meisten Schäden aus SpRK. In Westdeutschland haben Veränderungen des Stahls im Silizium-Mangan-Verhältnis, durch Minderung des Kohlenstoffgehalts und Erhöhung des

Chromgehalts sowie verschärfte Werkstoffkontrollen zu einem niedrigeren Gefährdungspotential bezüglich SpRK geführt. Bis 1965 wurde teils hochgefährdeter Spannstahl St 145/160 auch in Westdeutschland verbaut. In Ostdeutschland war man auf einen Hersteller angewiesen, das Stahlwerk Hennigsdorf, das für die Spannbetonbrücken den hochgefährdeten, ölschlussvergüteten Spannstahl St 140/160 lieferte. Nicht gesichert ist der Minderungseffekt der Gefährdung durch das Abgehen von der Ölschlussvergütung 1978 zur Hochtemperatur-Thermo-Behandlung.



Panorama von Dresden: Gesamtansicht der Brücke um 1910 © wikipedia.org

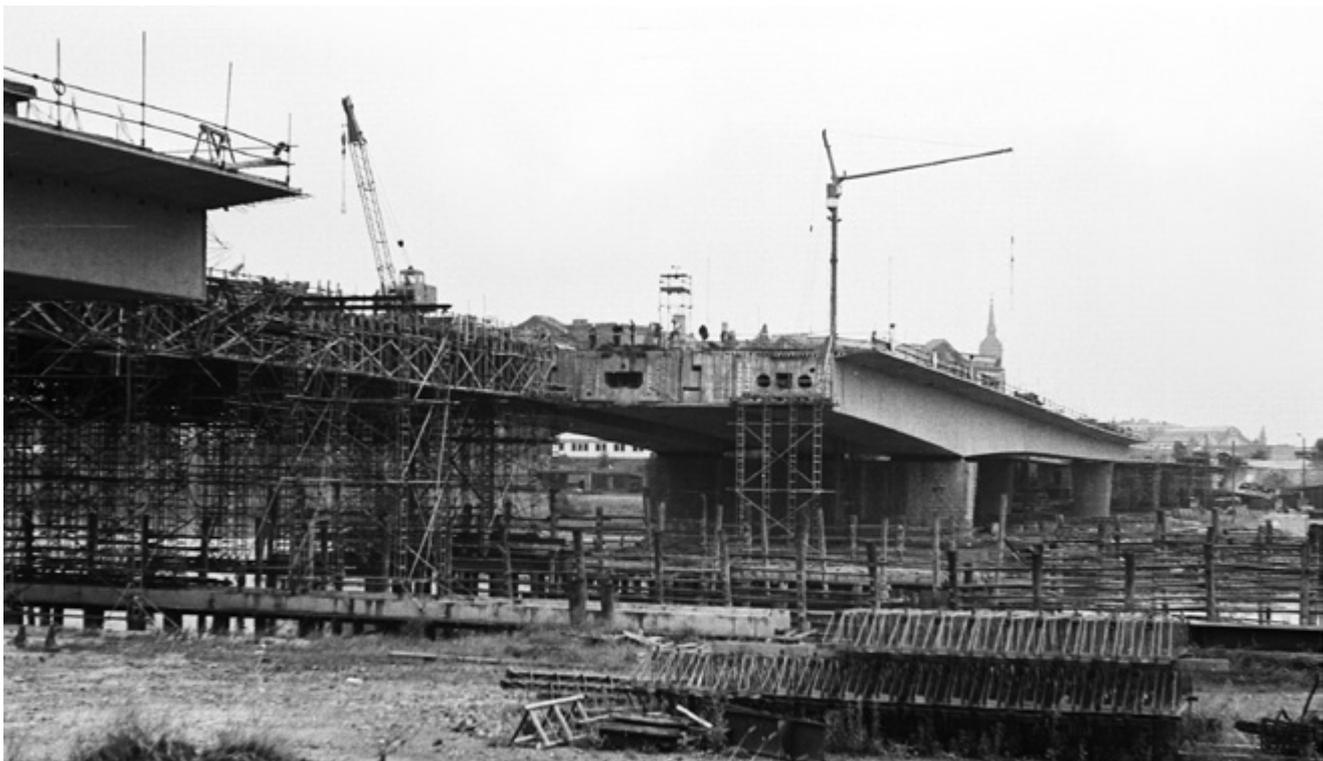
Zu 3. Angriffsmedium: Die Ausführungen hierzu beschränken sich weiter auf den Regelfall der wasserstoffinduzierten Spannungsrisskorrosion (H-SpRK) bei Spannbetonbrücken. Sie bleiben dabei gewiss auch laienhaft flach, zumal da manches auch in der Theorie noch ungeklärt ist. Einige Informationen aus Expertenwissen sind hier eingeflossen, weitere – wie aus den Bereichen von Metallografie, Kristallografie, Physik, Chemie – sollten das Wissen weiter vertiefen.

An dieser Stelle kommt der Vorspannmodus mit nachträglichem Verbund ins Zentrum der Betrachtung, der für größere Massivbrücken in Deutschland, wohl auch weltweit, die übliche Bauweise von Mitte bis Ende des 20. Jahrhunderts war, geregelt in Westdeutschland durch die DIN 4227 bzw. in Ostdeutschland in inhaltlicher Gleichheit durch die TGL 0-4227 und weitere Technische Gütevorschriften und Lieferbestimmungen. Im Ergebnis entstanden Spannbetonbrücken mit gegen den Beton gespannten Spanngliedern, bestehend aus Spanndrähten hoher Festigkeit, die in Spannkämlen aus metallischen Hüllrohren in den Konstruktionsbeton eingezogen, an ihren Enden gegen den Beton gespannt, endverankert und durch Einpressen von Mör-

tel über ihre Länge mit der Brückenkonstruktion kraftschlüssig verbunden wurden. Auf diese Weise verschwanden die Spannglieder – praktisch über ihre Funktionszeit unkontrollierbar – in der Konstruktion. Das Ergebnis des Mörtel einpressens ist trotz Prüfens nicht immer lückenlos gelungen. Der über die Länge durch das Verpressen entstehende Verbund bewirkt, dass beiderseits einer Bruchstelle eines Spanndrahts die Vorspannwirkung auf kurzer Länge wiederhergestellt ist, aber die der Bruchstelle benachbarten Drähte erhöht belastet werden und somit verstärkt gefährdet sind.

Das Angriffsmedium ist das Medium, das den Werkstoff umgibt und auf das der Werkstoff mit SpRK reagieren kann. Entscheidendes mediumseitiges Kriterium für die wasserstoffinduzierte SpRK ist die Verfügbarkeit von atomarem Wasserstoff. Dieser kann direkt am Spannstahl durch elektrochemische Reaktion von Wassermolekülen entstehen, also von Feuchtigkeit, die im Spannbetonbau praktisch meist vorhanden ist. Für die elektrochemische Reaktion reichen bereits Legierungsmetalle an der Oberfläche des hauptsächlich aus Eisen bestehenden Spannstahls aus (Stichwort: elektrochemische Spannungsreihe). Von größter Bedeutung für

das Entstehen der SpRK ist eine Korrosionsvorschädigung des Spannstahls bei Transport, Lagerung und Einziehen, also vor dem Verpressen der Hüllrohre. In dieser Hinsicht ist bereits die Anlieferung von Spannstahl in relativ engen Rollen nicht unkritisch. Korrosion führt zu Erhöhung der Oberflächenrauigkeit, einschließlich der Bildung von Mulden und Löchern, also letztlich zu einer Oberflächenvergrößerung, sodass sich der aus der elektrochemischen Reaktion entstandene atomare Wasserstoff leichter an der Spannstahl oberfläche anlagern kann, besonders gern im Grund von Mulden und Löchern. Selbst bei geschütztem Umgang mit dem Spannstahl vor dem Einbau kann es unter Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit zu Kondenswasserbildung mit niedrigem pH-Wert kommen. Besonders bei Zeitverzug zwischen Spannen und Verpressen können Kondenswasseransammlungen und erste Korrosionsvorschäden (Keime) am Spannstahl in den Hüllrohren entstehen. Dies wäre zu verhindern, indem man vor dem Verpressen trockene Kaltluft zum Trocknen durch die Spannkämlen leitet und das Verpressen unverzüglich an das Einziehen der Spannglieder anschließt, sodass durch den Einpressmörtel ein der SpRK entgegenwirkendes



Brückenbau vom Altstädter Elbufer aus gesehen (1970) © Jörg Blobelt

alkalisches Medium entsteht. Lücken beim Verpressen müssen sicher vermieden werden, was bei gekrümmten geführten Stegspanngliedern trotz Kontrolle nicht immer erreicht wurde. Die Alkalität, die durch das Einpressen des Mörtels in die Spannkanäle entsteht, verhindert nicht eine weitergehende, einmal eingeleitete SpRK aus den bereits vorhandenen Keimen. Korrosionsfördernde Beimengungen im Einpressmörtel müssen ausgeschlossen bleiben, wie solche zum Verbessern der Fließfähigkeit oder zur Erhärtungsbeschleunigung. Auch Fremdmetallkontakte, z. B. mit verzinkten Stahlrohren, sind zu vermeiden. In nicht vollständig verpressten Hüllrohbereichen können sich Restwässer aus der Betonage sammeln und somit kann Spaltkorrosion entstehen. All das war zur Planungszeit der Carolabrücke bezüglich der SpRK und ihren Auslösern nicht bekannt und der Baupraxis in der Bauzeit noch fremd.

Der freigesetzte atomare Wasserstoff wandert von der Spannstahloberfläche, bedingt durch seine Kleinheit und Beweglichkeit in das Kristallgefüge des Spannstahls (Absorption), setzt sich im oder am Kristallgitter des Stahls fest, bewirkt die Minderung von dessen Trennfestigkeit und erhöht die Sprödigkeit. Er verbindet sich im Kristallgefüge mit anderen Wasserstoffatomen zu Wasserstoffmolekülen unter Volumenvergrößerung und mit dadurch entstehender Sprengkraft, was über Anrisse senkrecht zur Zugrichtung zu Rissen führt, die das Bauteil gefährden. Die mikroskopischen Untersuchungen von Spannstahlproben der Carolabrücke haben zum Entsetzen der Experten Scharen von Anrissen in kürzesten Abständen gezeigt.

Dies und das Fortschreiten der Korrosion auch nach dem Verpressen widerlegen die Aussage, dass bei Spannbeton im nachträglichen Verbund das Reißen eines Spanndrahts ungefährlich sei, weil nach wenigen Dezimetern beiderseits der Rissstelle die Kraftschlüssigkeit des gerissenen Spannstahls mit der Konstruktion durch den Verbund wiederhergestellt wäre. Das Reißen eines Spanndrahts führt zur Mehrbelastung der benachbarten Drähte und kann deren Reißen auslösen – eine Kettenreaktion, die in kürzester Zeit zum Versagen

des Bauteils führen kann, wie wir es beim Zug C der Carolabrücke erleben mussten.

Bei älteren Spannbetonbrücken muss damit gerechnet werden, dass in Unwissenheit der Ingenieurschaft zu vorgenannter Vielfalt von Vorschädigungsursachen im Stahl das Entstehen von SpRK-Keimen durch atomaren Wasserstoff nicht verhindert wurde, somit die dritte Vorbedingung der SpRK (Medien) für die Gefährdung des Bestands gegeben ist.

Die Risiken der Spannungsrissskorrosion

Zusammenfassend ist zur Gefährlichkeit der SpRK festzuhalten:

- Sie ist von außen ohne spezielle Technik nicht erkennbar. Brüche kündigen sich oft nicht durch ausgeprägte Betonrisse an. Die herkömmliche Prüfmethodik für Brücken lässt meist keine Vorhersage zu.
- Sie ist von der Höhe der Zugbeanspruchung nicht direkt abhängig, kann auch bei geringen Zugkräften im Stahl auftreten, häufig aber bei plötzlichen Zugkraftherhöhungen.
- Sie ist nicht an bestimmte prädestinierte Stellen über die Spanngliedlänge gebunden, kann überall, auch an mehreren Stellen gleichzeitig auftreten.
- Sie ist, wenn einmal ausgelöst, nicht zu stoppen. Methoden der Sanierung stehen derzeit nicht zur Verfügung.
- Sie ist in ihrem zeitlichen Ablauf nicht vorherbestimmbar, kann auch zu spontanem Bruch führen.

Entwicklung des Problembewusstseins

Nach Literatur-Recherchen taucht der Begriff „Spannungsrissskorrosion“ in der deutschsprachigen Fachliteratur 1968 auf [5], blieb damals in der Frühzeit des Spannbetons wohl ungehört und ohne Konsequenzen, schon gar im damals isolierten Ostdeutschland (DDR). Ganz sicher ist, auch vom Gutachter so ausgesagt, dass zur Zeit von Planung und Bau der Dresdner Carolabrücke das Phänomen „Spannungsrissskorrosion“, seine Verursachung und seine Risiken noch nicht bekannt waren. Den ersten deutlichen Schaden infolge SpRK ordnet die Fachliteratur aus heutiger Sicht dem partiellen Dacheinsturz der Spannbeton-Schalenskonstruktion der Berliner Kongresshalle (1980) zu. In den 80er und 90er Jahren gab es einige Artikel zum Thema SpRK in deutschen Verkehrsbaufachzeitschriften. Erste amtliche Erwähnungen erfuhr die SpRK 1993 mit einer Empfehlung für die Straßenbauverwaltungen an Ingenieurbüros, die allerdings nur die Nichteignung bestimmter vergüteter Spannstähle betraf [8], des Weiteren mit dem Abschlussbericht eines BMV-Forschungsvorhabens von 1994 [9].

Ungenannt blieb das Phänomen SpRK noch 1998 im zentralen Vortrag des Dresdner Brückensymposiums unter dem Titel „Neue Entwicklungen im Brückenbau“. Bei der Auflistung der Vorteile der externen Spanngliedführung gegenüber den bis dahin gebräuchlichen „Spanngliedern mit Verbund“ wurde der Abschluss der SpRK nicht genannt, obwohl

70 Jahre **NB** **NORD BAU**
Nordeuropas Baufachmesse

10.–14. September 2025
Holstenhallen Neumünster

er sich dann gerade diesbezüglich als sehr bedeutungsvoll erwies (siehe nachfolgender Gliederungspunkt!). Von Hochschulabsolventen 1998 wurde ausgesagt, dass die SpRK in ihren Vorlesungen zum Spannbeton noch kein Thema war. Dissertationen zum Thema SpRK von 2002 bis 2014 liegen an den Technischen Hochschulen/Universität von Aachen, Leipzig, Dresden und München vor. Auf die von Matthias Wild 2021 (!) [4] wurde bereits hingewiesen. Unter „Baustatik-Wiki“ gibt es eine laufende Aktualisierung zum Thema, zu dem die Hochschule Wismar autorisiert ist [10].

Wichtig ist an dieser Stelle die in 06/2011 erschienene ministerielle „Handlungsanweisung zur Überprüfung und Beurteilung von älteren Brückenbauwerken, die mit vergütetem, spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl erstellt wurden“ [7]. Auf sie wird nachfolgend noch näher eingegangen.

Die zeitliche Begrenzung des Gefährdungspotentials durch SpRK

Zwischen 1960 und 2000, in der Zeit des lebhaften Ausbaus des Straßen- und Autobahnnetzes in Deutschland, wurden viele Brücken, auch etliche über große Flüsse und Täler, in Spannbetonbauweise mit nachträglichem Verbund errichtet. Sie sind in ihrem Bestand durch die wasserstoffinduzierte SpRK gefährdet, und die baldige Notwendigkeit ihres Abrisses und Neubaus vor Erreichen der erhofften Nutzungszeit muss befürchtet werden. Tatsächlich erreichen uns in kurzer Zeit zunehmend Nachrichten zu erforderlichen Sperrungen und Verkehrsumleitungen, die für Mensch und Wirtschaft schwer verkräftbar sind. Der finanzielle Bedarf für Instandsetzung, Abriss und Neubau von deutschen Autobahnbrücken bundesweit wurde kürzlich für die nächsten zehn Jahre im öffentlich-rechtlichen TV mit 60 Milliarden Euro beziffert.

1972 wurden Veränderungen in der Spannstahlproduktion Westdeutschlands realisiert, u. a. Veränderungen der Legierungsbestandteile, 1978 auch eine Veränderung der Vergütungstechnologie im ostdeutschen Stahlwerk Hennigsdorf. Daraus lässt sich die Hoffnung schöpfen, dass die Bruchgefahr infolge SpRK für Bauwerke der nachfolgenden Zeit

vermindert ist. Nach [4] wäre mit dem Einbau von gesichert nicht mehr SpRK-gefährdetem Spannstahl das SpRK-Verfahren bereits ausgeschlossen. Im Sinne der Dauerhaftigkeit ist gewiss auch die zunehmende Tendenz des Abgehens von der vollen Vorspannung hin zur beschränkten Vorspannung mit deutlich erhöhtem Anteil an schlaffer Bewehrung vorteilhaft.

Seit Baujahr etwa 2000, also für die jüngeren Spannbetonbrücken, gibt es eine noch deutlichere Hoffnung, fast eine Sicherheit, für deren langjährigen Bestand: Auf der Grundlage eines Richtlinienentwurfs vom Bundesverkehrsministerium von 1998 wurden nach Beratung innerhalb einer Expertengruppe Vor- und Nachteile einer externen Spanngliedführung gegenüber der bisherigen Bauweise mit nachträglichem Verbund gegeneinander abgewogen. Im Ergebnis dieser Abwägung wurden die entscheidenden Vorteile der externen Spanngliedführung festgestellt: Bessere Kontrollierbarkeit, Möglichkeit des Nachspannens und des Spanngliedersatzes, folglich längere Nutzungszeit, höhere Robustheit, Anpassbarkeit an höhere Belastungen. Nicht genannt, aber im Sinne dieses Aufsatzes extrem bedeutungsvoll ist die Hoffnung, dass damit auch die Gefahr der SpRK ausgeschlossen wird. Mit Schreiben des Ministeriums BMV vom 31.01.1998 wurde festgelegt, dass Spannbetonbrücken künftig mit externer Spanngliedführung in den Hohlkästen errichtet werden, geschützt in PE-Hüllrohren, die mit Fett verpresst werden. Der pH-Wert der Verpressfette liegt im alkalischen Bereich. Damit sollte auch das Problem der SpRK für alle Spannbetonbrücken, die nach 2000 gebaut wurden, erledigt sein. Selbst wenn noch ein SpRK-empfindlicher Spannstahl eingesetzt werden sollte, können die Einbaubedingungen – besonders Trockenheit und Schadensfreiheit des Spannstahls – so gestaltet werden, dass kein SpRK-bedingendes Medium entsteht. Außerdem besteht nun über die Standzeit die Möglichkeit einer bedingten Funktionskontrolle der Spanndrähte, z. B. im Erkennen des Durchgangs von Spanngliedern mit Spannkraftverlusten, und auch die Option des Ersatzes von geschädigten Spanngliedern. Die „SpRK-Krankheit“ wird also sehr wahrscheinlich auf

die Bauzeit von 1960 bis maximal 2000 beschränkt bleiben, vorausgesetzt dass die Entstehungsmechanismen der SpRK beim Verpressen der Spannglieder mit Fett ausgeschlossen werden sowie unakzeptable Pausen zwischen Einziehen und Verpressen und Kondenswasserbildung. Dies wäre weiterhin unbedingt zu beachten. Von dieser hoffnungsvollen Wahrscheinlichkeit gehen die nachfolgend genannten Vorschriften der Diagnostik zur SpRK aus, die sich ausdrücklich auf ältere Spannbetonbrücken beziehen.

Diagnostik SpRK-gefährdeter Brücken

Ankündigungsverhalten, analytisches Verfahren

Für die an „SpRK-erkrankten“ älteren Spannbetonbrücken mit ihren Risiken und Gefährdungen bleiben Diagnose und Therapie weiterhin akute Probleme, denn sie können nicht alle auf Antrieb ersetzt werden. Sie können unvorhersehbar auch ohne extreme Belastung in kürzester Zeit einstürzen, wie der Zug C der Carolabrücke Dresden, und so zu einer wirtschaftlichen und menschlichen Katastrophe führen. Häufig, aber leider nicht immer, wird die durch SpRK bedingte Minderung der Tragfähigkeit durch Betonrissbildung deutlich (Riss vor Bruch), besonders wenn sich die Rissbilder, die Risstiefen und -weiten in relativ kurzer Zeit zum Negativen verändern. Die spezielle Schwierigkeit des Erkennens der Gefahr durch Spannungsrissskorrosion besteht aber darin, dass dem Bruch keine visuelle Betonrissbildung vorangehen muss (Bruch vor Riss – siehe Carolabrücke) und dass die kritisch gefährdeten Bereiche des Spannstahls a priori nicht durch die Konstruktion bestimmbar und voraussagbar sind.

Um der Gefahr solch spontanen Bruchs durch Spannungsrissskorrosion zu begegnen, erschien – herausgegeben im Juni 2011 vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abt. Straßenbau – die Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion [7], erarbeitet von einer „Arbeitsgruppe SpRK“ mit Experten aus Universitäten, Verwaltungen und Ingenieurbüros. Sie stellt die Überarbeitung von Empfehlungen aus dem Jahr 1993 zur Überprüfung und Beurteilung bei Einsatz von speziellen vergüteten und als gefährdet erkannten Spannstählen dar. Aller spätestens zum Zeitpunkt der Anweisung

[7] wurde in der Fachwelt der Problematik der SpRK das Gewicht beigemessen, das ihrem hohen Gefährdungspotential bis hin zum Sprödbbruch älterer Spannbetonbrücken zukommt. Diese Handlungsanweisung kann jedoch zum heutigen Zeitpunkt eine einmal induzierte SpRK nicht mehr verhindern, soll aber die rechtzeitige Vorankündigung eines evtl. folgenschweren Bruchs liefern. Auch die Dissertation von Matthias Wild [4] befasst sich im Wesentlichen mit dieser Vorankündigung.

Als entscheidendes Erkennungskriterium für die Gefährdung wird der Begriff „Ankündigungverhalten“ eingeführt, für das ein rechnerischer Nachweis zur Vorankündigung des Versagens zu führen ist. Dieser Nachweis ist nach [7] wegen der Sprödbbruchgefahr für jedes Bauwerk zu führen, das gegenüber SpRK empfindlichen Spannstahl enthält und bei dem nicht die Gefährdung durch SpRK von vornherein ausgeschlossen werden kann. Die Grundfrage besteht darin, ob sich ein sukzessiver Spannstahlausfall durch Rissbildung anzeigt und sich somit ein drohender Bruch durch Risse rechtzeitig ankündigt (Riss vor Bruch) oder ob der Spannstahlausfall unmerklich so lange fortschreitet und die Tragfähigkeit abmindert, bis sich ein Bruch plötzlich und unangekündigt einstellen kann. Für die analytische Nachweisführung und die Konsequenzen aus den Ergebnissen wird ein Ablaufdiagramm angegeben.

Vereinfacht erklärt, ist nach diesem Ablaufdiagramm für jeden untersuchten Querschnitt die Restsicherheit für Vollast zum Zeitpunkt der Rissbildung nach der angegebenen Formel zu berechnen. Im ersten Schritt ist dabei die Ausfallspannstahlfläche als diejenige Fläche zu berechnen, bei deren Ausfall unter häufigen Einwirkungen die rechnerische Betonzugfestigkeit überschritten und damit eine Rissbildung einsetzen würde. Als häufige Einwirkungen sind nur 50 % der Regelverkehrslasten und ist das lineare Temperaturgefälle gemäß Vorschrift anzusetzen. Im zweiten Schritt ist die für den Nachweis anzusetzende Restspannstahlfläche als Differenz der tatsächlich vorhandenen Gesamtspannstahlfläche und der Ausfallspannstahlfläche zu ermitteln. Im dritten Schritt erfolgt der Nachweis der Tragfähigkeit mit dieser



Röntgenaufnahme von Querrissen privat

Restspannstahlfläche unter Einrechnung der vorhandenen schlaffen Bewehrung. Liegt die so berechnete Sicherheit über 1,1 ist der Nachweis der Vorankündigung erfüllt, d. h. ein Spontanversagen durch SpRK kann ausgeschlossen werden (Riss vor Bruch). Andernfalls sind weitere Systemuntersuchungen erforderlich, eventuell als Option ein aufwendigerer stochastischer Nachweis. Wird der Grenzwert der Tragfähigkeitssicherheit dennoch nicht erreicht bzw. der der Auftretenswahrscheinlichkeit überschritten, kann das Spontanversagen infolge SpRK rechnerisch nicht ausgeschlossen werden (Bruch vor Riss).

Problematisch hinsichtlich des Aufwands der rechnerischen Untersuchung gemäß [7] ist das Problem, dass im Vorhinein nicht eingeschätzt werden kann, welcher Querschnitt hinsichtlich der SpRK der kritische ist. In [7] wird empfohlen, die Nachweise für die Querschnitte in jedem Zehntelpunkt jedes Brückenfeldes zu führen.

Mit den Punktbewertungen der Tragwerksbedingungen nach Tabelle der Anlage 2.1 von [7] wird in Abhängigkeit von der erreichten Gesamtpunktzahl eine Hilfe zur Entscheidung über die Priorisierung der rechnerischen Überprüfung gegeben. Mit der Tabelle in Anlage 2.2 von [7] wird eine Empfehlung zur Priorisierung baulicher Maßnahmen gegeben, wenn kein ausreichendes Ankündigungsverhalten nachgewiesen werden konnte. Diese Bewertungen zu Priorisierungen erscheinen praktisch sinnvoll, um eine terminliche Rangordnung der Aktivitäten der Gefahrenabwehr zu ermöglichen.

Brückenprüfung

Die Anlage 3 von [7] gibt ein Ablaufschema für die Überprüfungen an spannungsrisssgefährdeten Spannbetonbrücken in Abhängigkeit vom Ergebnis der Vorankündigungsberechnung. Auch bei positivem Ergebnis, also in jedem Fall, sind optische Betonuntersuchungen auf Rissbildung durchzuführen, denen im Rahmen der Diagnostik SpRK-gefährdeter Brücken eine besondere Bedeutung zukommt. Damit wird die eminent wichtige Verbindung der SpRK-Problematik zur Brückenprüfung deutlich. Nur wenn der rechnerische Nachweis der Vorankündigung erfüllt ist, keine Betonrisse vorhanden sind bzw. bei der Rissbeurteilung die SpRK ausgeschlossen werden kann, ist eine herkömmliche visuelle Brückenprüfung nach DIN 1076 ausreichend.

Umfangreicher ist der Prüfbedarf nach Anlage 3 in [7], wenn der Vorankündigungsnachweis nicht erfüllt ist oder wenn bei erfüllttem Nachweis Betonrisse festgestellt werden, für die die SpRK ursächlich sein können. Das zu erkennen ist u. a. aus dem Vergleich von Veränderungen der dokumentierten Rissbilder, Rissmengen und Risstiefen aufeinanderfolgender Prüfungen möglich. Wenn nicht gleich zu Ersatzneubau oder Verstärkung/Instandsetzung entschieden wird (Optionen 1 und 2), sind zum Erhalt der Bauwerke ingenieurmäßige Gesamtbeurteilungen am Beton, am Einpressmörtel, vor allem aber am Spannstahl nach Anlage 4 von [7], Option 3 gefordert. Somit ist dann eine grundsätzlich neue Qualität der Brückenprüfung für SpRK-gefährdete Brücken verlangt. Zur Untersuchung des Spannstahls sind dazu repräsentative Proben zu entnehmen, was trotz erheblicher Mehrkosten für die Prüfung ihre Fixierung in den Prüfvorschriften und Prüfanweisungen finden muss. Auch wenn es sich um keine zerstörungsfreien Prüfungen handelt, sind die Störungen bei Spannbetonbrücken mit nachträglichem Verbund in der Regel für die Tragfähigkeit unproblematisch. Problematisch dagegen ist die Repräsentativität der Probennahme, da die kritischen Stellen bezüglich der SpRK im Vorhinein nicht erkannt werden können, sich der Gefährdungsgrad im Dezimeterbereich ändern und aus wenigen Stichproben nicht auf den Gesamtzustand der Spannglieder geschlossen

werden kann. Bei der Probenahme an der Carolabrücke (siehe Bild) bestand diese Schwierigkeit nicht, da die Entnahme an der Bruchstelle erfolgte. Zur Probeentnahme sind die detaillierten Ausführungen der Anlage 4 von [7] zu beachten. Die Spannstahlproben sind im dazu qualifizierten Labor auf ihre Festigkeits- und Verformungseigenschaften, den Korrosionszustand (z. B. Korrosionsnarben und -keime) und auf Anrisse mit geeigneten Verfahren zu überprüfen, wie Magnetfluoreszenzmethode, Digitalmikroskopie, Funkenspektalanalyse und metallografischer Schliiff.

Mit moderner Technik treten zunehmend Optionen von zerstörungsfreier Diagnostik zum Erkennen von Schädigungen durch SpRK in den Vordergrund: magnetische Streufeldmessungen, Schallemissionsanalysen, elektromagnetische Resonanzmessungen und Durchstrahlungsverfahren. Bei den magnetischen Streufeldmessungen wird der Zustand der SpRK durch Befahren mit mobiler Technik – ähnlich bekannter Brückenprüftechnik – in bis 25 cm starker Betondeckung über dem Spannstahl erfasst. Bei der Schallemissionsanalyse, die in [2] favorisiert wird, erfasst man das Rei-

ßen des Spanndrahts akustisch mittels in die Konstruktion eingefügter Schallsensoren. Von der Risshäufigkeit in der Zeiteinheit kann man auf das Tempo der fortschreitenden Schädigung schließen, nicht jedoch den vor dem Sensoreinbau bereits eingetretenen SpRK-Schaden erkennen. Da dies mit magnetischen Streufeldmessungen möglich wäre, empfiehlt sich die Kombination beider Prüfmethoden, um ein sicheres Bild von der Schädigung und ihrem zeitlichen Fortschreiten zu erhalten.

Therapiemöglichkeiten

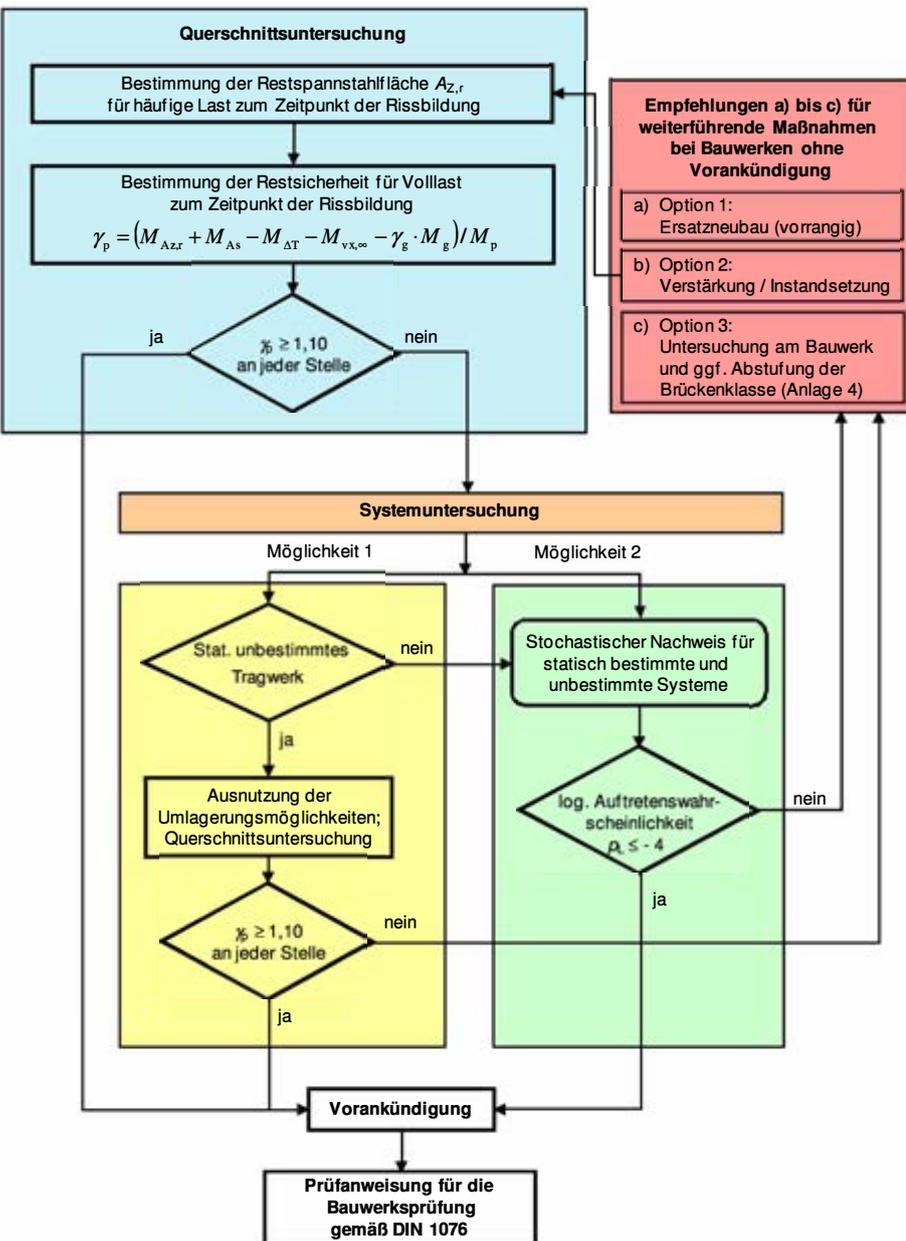
An Ende der Ablaufdiagramme zu den Anlagen 1 und 3 in [7] wird etwas zu den Therapiemöglichkeiten ausgesagt, wenn die Diagnose SpKR lautet. Es gibt dazu nicht viel auszuführen. Derzeit bleiben leider im Wesentlichen nur die schmerzhaften weiterführenden Maßnahmen übrig:

1. Ersatzneubau (vorrangig)
2. Verstärkung/Instandsetzung
3. Abstufung in niedrigere Brückenklasse (Minderung der Verkehrsbelastung)

Zur genannten 3. Option gehören die weiteren Untersuchungen am Bauwerk und die Baustoffanalysen, über die in Pkt. 7.2. Näheres ausgesagt ist.

Zu 1. Ersatzneubau. Diese Option führt zu Sperrzeiten und Verkehrsumleitungen, zu erforderlicher Planungs- und Genehmigungszeit und schließlich zum hohen Aufwand des Neubaus, damit zu empfindlichen Folgen für Wirtschaft und Bürger. Der Zusatz „vorrangig“ wird leider sehr zutreffend sein. Die Dresdner Carolabrücke markiert vermutlich nur den Anfang einer kritischen Entwicklung. Wegen SpKR sind heute nach bis zu 65-jähriger Nutzungszeit und erhöhter Verkehrsbelastung etliche Spannbetonbrücken am Ende ihrer Lebenszeit, früher als angedacht. Wie werden wir den Aufwand bewältigen?

Zu 2. Verstärkung/Instandsetzung: Dem ingenieurgemäßen Denken würde diese 2. Option weit besser gefallen. Zu diesbezüglichen Möglichkeiten schweigt sich die Handlungsanweisung [7] weitgehend aus – und das mit gutem Grund. Es fällt einem dazu kaum etwas Praktikables ein. Theoretisch könnte man die vorhandenen verpressten Spannglieder durch ex-



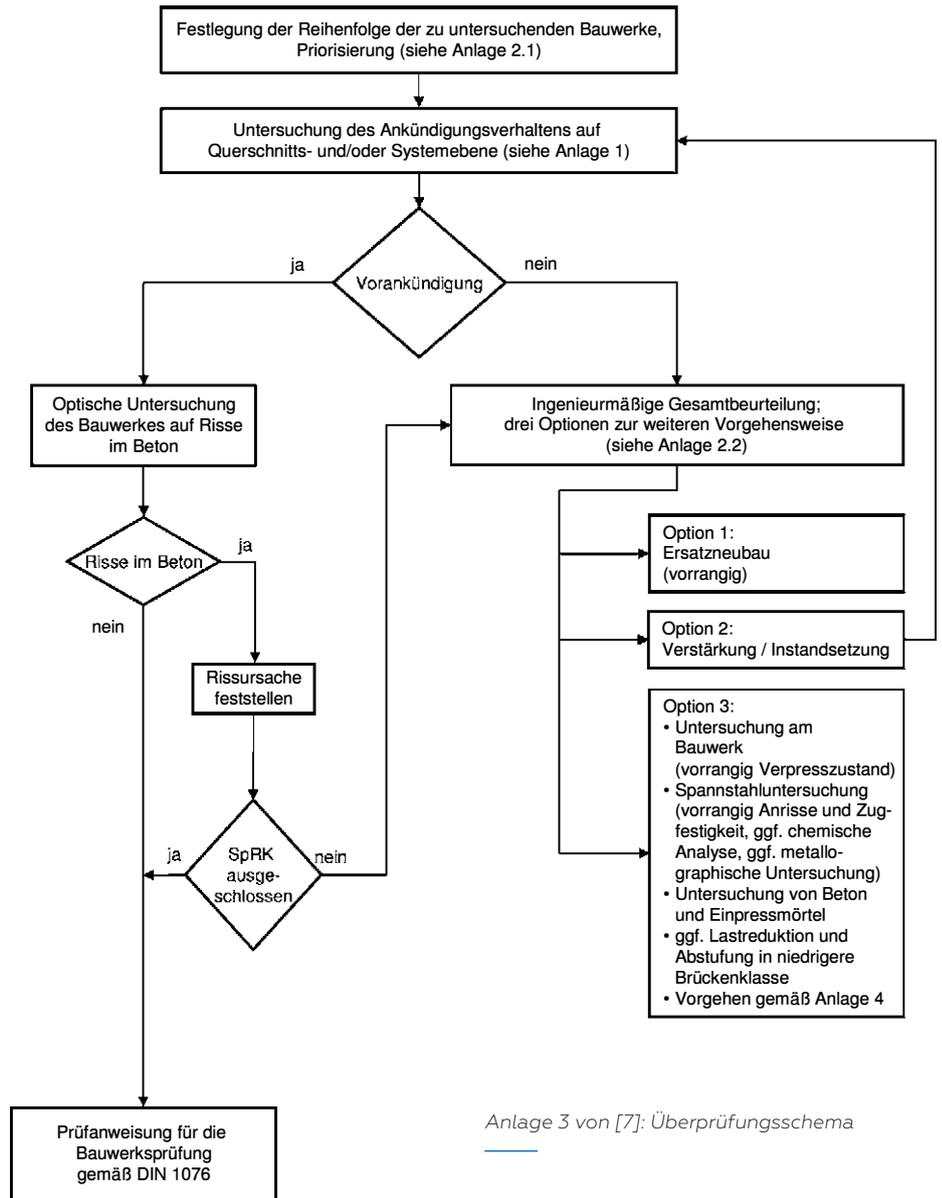
Rechnerische Untersuchung des Ankündungsverhaltens, Anlage 1 von [7].

terne Spannglieder ersetzen, wie sie seit 2000 üblich sind. Die Außerkraftsetzung der verpressten Spannglieder und die Inkraftsetzung der externen Spannglieder wären theoretisch mit einem Schlag auszuführen, was aber praktisch nicht möglich ist. Ansonsten würden in Summe beider Vorspannungen zwischenzeitlich in den Konstruktionen unerwünschte Spannungszustände mit Überschreiten von Spannungsgrenzen entstehen, denn in den Bereichen nichtgerissener, verpresster Restspannglieder wäre ihr durch Verpressen entstandener Verbund weiter statisch wirksam. Gibt es praktikable Methoden, ihn unwirksam zu machen? In [7] wird dazu gesagt: „Falls eine Verstärkung bzw. Entlastung der kritischen Bereiche (Bereiche ohne ausreichendes Ankündigungsverhalten) mit einfachen Mitteln möglich ist, sollten diese Mittel unter wirtschaftlicher Abgrenzung zu einem Ersatzneubau genutzt werden.“ Möge der Ingenieurgeist solche Möglichkeiten erschließen!

Zu 3. Abstufung in niedrigere Brückenklasse (Minderung der Verkehrsbelastung): Eine Reduzierung der Brückenklasse gemäß minderer Verkehrsbedeutung könnte evtl. vorerst zum Nachweis der Betriebssicherheit im Ankündigungsverhalten führen, die einen zeitlichen Verschiebung weiterer Maßnahmen vorerst zulassen. Man sollte aber bedenken, dass eine begonnene SpRK fortschreitet und die Carolabrücke ohne Verkehrslast zusammengebrochen ist. Selbst bei der vorherrschenden Tendenz zu einem Mehr an Rad- und Gehwegbrücken bleiben Brücken für vorschriftsgemäßen Fahrverkehr mit Kraftfahrzeugen von existenzieller Wirtschaftsbedeutung. Eine zwischenzeitliche mindere Verkehrsnutzung der Elbebrücke Bad Schandau nach Belastungsversuchen wäre unter Option 3 zu sehen.

Weiterer Umgang mit der Spannungsrissskorrosion – SpRK-Therapien

Kritisch ist, dass sich eine in der Bauzeit von 1955 bis 2000 in der seinerzeit üblichen Methodik (nachträglicher Verbund) gebaute und jetzt durch die Sonderform der Korrosion SpRK erkrankte Spannbetonbrücke nach derzeitigem Erkenntnisstand nicht kurieren lässt. Die SpRK schreitet fort, mehr oder weniger schnell.



Anlage 3 von [7]: Überprüfungsschema

Das Thema wird immer brisanter. In kurzer Frist erreichen uns neue Informationen von gefährdeten Spannbetonbrücken, bedingt durch SpRK oder aus anderen Gründen; nur aus unserer Region: Berlin (Elsenbrücke, Mühlendammbrücke, Ringbahnbrücke der BAB 100), Dresden (Brücke Budapest Str.), Großenhain, Elbebrücke Bad Schandau, Pirna, Markkleeberg... [4] gibt den Gesamtbedarf an erforderlichen Prüfungen von eventuell an SpRK erkrankten Brücken im deutschen Straßennetz mit etwa 1.000 an. Dabei handelt es sich um etwa 200 Autobahnbrücken (15 % des Bestands). Allein Berlin meldet 70 Brücken, von denen bei 12 angeblich schon die Ab-

rissplanung läuft. Es könnte eine Lawine auf uns zukommen! Mit dem Einsturz der Carolabrücke ist in Deutschland wohl ein Fanal in Sachen SpRK gesetzt worden, und unser Land scheint evtl. eine bedauerliche Vorreiterrolle im internationalen Maßstab übernehmen zu müssen. Bekannt ist die Problematik allerdings auch jenseits der Grenzen. Im englischsprachigen Raum redet man von „Stress Corrosion Cracking – SCC“. Dazu ist bereits ein Fachbuch erschienen. – Die Eisenbahn hat sich noch nicht zu Wort gemeldet. Auch sie hat sicher bedeutende Spannbetonbrücken der kritischen Zeit in ihrem Bestand, in unserer Nähe z. B. die Flöhatalbrücken Hetzdorf.

Schlusswort

Das entscheidende, den Ingenieuren zur Hand gegebene Hilfsmittel zur Beurteilung für ältere Spannbetonbrücken der Bauzeit 1960 bis 2000 hinsichtlich eines eventuellen Befalls durch SpRK ist die Handlungsanweisung [7]. Es ist zu hoffen, dass nach Berechnungen und Untersuchungen gemäß [7] der Befall durch SpRK in möglichst vielen Verdachtsfällen nicht bestätigt werden wird, sodass für viele Bauwerke kein Gefährdungspotential aus SpRK besteht und mit längeren Lebens- und Funktionszeiten entgegen heutigen Befürchtungen gerechnet werden kann. Allerdings ist die Gefahr der SpRK als eine Art „Kernfäule der Spannlieder“ nicht zu leugnen und verlangt eine dauernde Beobachtung. Das Tempo ihres Fortschreitens muss richtig eingeschätzt werden, um die Zeitpunkte zu Sperrung und Abriss so festzulegen, dass Einsturzgefahren ausgeschlossen und möglichst auch schon Vorbereitungen für akzeptable Verkehrsumleitungen ausgeführt werden können. Man kann nur hoffen, dass die zeitliche Abfolge zu diesen als notwendig erkannten Maßnahmen an der Verkehrsinfrastruktur sich so ordnen lässt, dass die Planungs-, Bau- und Verwaltungskapazitäten nicht hoffnungslos überfordert werden und die notwendigen finanziellen Mittel bedarfsgerecht bereitgestellt werden können. Bauliche Möglichkeiten für Maßnahmen an den bestehenden Brücken, dies durch temporäre Instandsetzungen oder Verstärkungen zu beeinflussen, bestehen derzeit wohl kaum.

Die Berechnung der Vorankündigung des Versagens nach [7] hat im Testfall Carolabrücke wohl versagt, weil das Bauwerk trotz angeblich positivem Ergebnis nachgereicherter Berechnungen zum Ankündigungsverhalten (2003) ohne Voraussage eingestürzt ist. Neben einer konsequenten Anwendung erscheint eine Überarbeitung der betreffenden Handlungsanweisung von 06/2011 deshalb angebracht.

Der Bedeutung der Gefahr durch SpRK für ältere Spannbetonbrücken angemessen ist der Schwerpunkt im Thema „Brückenprüfung“, da die visuellen Prüfmethoden der bisherigen DIN 1076 nicht ausreichend sind. Die laufende Überarbeitung dieser DIN muss die speziellen

Belange für die älteren SpKR-gefährdeten Brücken einbeziehen. Ansatzpunkte hierfür bieten die Anlagen 3 und 4 von [7].

Der Zeitabstand von 43 Jahren zwischen den ersten Erkenntnissen zur SpRK [5] bis zur genannten Handlungsanweisung [7] lässt ein relativ träges Reagieren von allen Verantwortlichen für die technisch-wissenschaftliche Entwicklung im Verkehrswesen erkennen: von Hochschulen/Universitäten, von Ministerien und Verwaltungen, Instituten, einschlägigen Kammern und Berufsverbänden, von Fachzeitschriften, Ingenieurbüros und Bauausführungsbetrieben. Die schon beim Bau verursachten SpRK-Schäden hätte man mit dem früheren Ausschluss SpRK-gefährdeter Spannstähle (metallurgische Erkenntnisse) und einer früheren Abkehr von der Spannbetonbauweise mit nachträglichem Verbund gewiss über etliche Jahre vermeiden können. Es wäre an der Zeit, dass die Erfahrungen aus der SpKR manches konsequente Überdenken in Richtung auf ein zeitnäheres Reagieren auf bekanntwerdende Probleme auslösen. Es mag an der Euphorie in den 50er und 60er Jahren gelegen haben, dass sich mit der Spannbetonbauweise eine neue Ära des Brückenbaus eröffnet hatte und neue Dimensionen im Bau möglich wurden. Aus heutiger Sicht ist dazu zu sagen: Ingenieure, behaltet kühlen Kopf! Jede neue Technik, jedes neue Bauverfahren, jeder Einsatz neuer Bau-

stoffe beinhaltet auch die Gefahr neuer Fehler, neuer Risiken und die Gewissheit neuer zu lösender Probleme! Zeichen des vernünftigen Bewusstseins, dass wir nicht für die Ewigkeit bauen, wäre es zum Beispiel, dass wir in unsere Bauplanungen auch schon die Rückbaumöglichkeiten der Bauwerke einbeziehen. Die anfänglichen zeitaufwendigen Schwierigkeiten beim Abbruch der Carolabrücke sprechen dafür.

Zum relativ langen Festhalten an der Spannbetonbauweise mit nachträglichem Verbund gegen den Grundsatz der technischen Philosophie, dass die Hauptfunktionselemente jeder Technik über die Funktionszeit kontrollierbar sein müssen, ernten wir Bauingenieure in anderen technischen Bereichen Unverständnis. Der Übergang zur externen Spanngliedführung gemäß ministerieller Richtlinie ist diesbezüglich ein Schritt in die richtige Richtung. ●

QUELLEN

[1] Berger, Franke, Thürmer: Projektierung der Dr.-Rudolf-Friedrichs-Brücke. Die Straße 6.1971
 [2] Carolabrücke – Schadensursache und Hergang des Einsturzes. Bericht MKP GmbH vom 11.12.2024
 [3] Wir haben eine sehr eindeutige Schadensursache. Sächsische Zeitung, 30.05.2025
 [4] Matthias Wild: Zur Beurteilung des Zustands von Brücken bei Spannstahlausfällen durch Spannungsrisskorrosion. Dissertation TU München, 2021
 [5] Stolte: Über Spannungsrisskorrosion an Spannstählen, Beton- und Stahlbetonbau, 1968
 [6] Böhni: Risskorrosionserscheinungen bei Spannstählen, Schweizerische Bauzeitung, 1975
 [7] Handlungsanweisung zur Überprüfung und Beurteilung von älteren Brückenbauwerken, die mit vergütetem, spannungsrisskorrosionsgefährdetem Spannstahl erstellt wurden (Handlungsanweisung Spannstahlkorrosion), Ausgabe 06/2011, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, basierend auf der Empfehlung von 1993 [8]
 [8] Empfehlungen zur Überprüfung und Beurteilung von Brückenbauwerken, die mit vergütetem Spannstahl St 145/160 Neptun bis 1965 erstellt wurden. Bundesministerium für Verkehr (BMV), 1993
 [9] Mietz, Nürnberger, Beul: Untersuchungen an Verkehrsbauten aus Spannbeton zur Abschätzung des Gefährdungspotentials infolge Spannungsrisskorrosion der Spannstähle, Abschlussbericht zum BMV-Forschungsthema FE 15.209 R91D, 1994
 [10] Baustatik-Wiki: Aktualisierungen zum Thema Spannungsrisskorrosion, dazu autorisiert Hochschule Wismar



Ich konnte zum Verfassen dieses Aufsatzes nicht allein aus meinem Ingenieurwissen schöpfen und danke allen, die mir mit Beratung, Beistellen von Material, Korrekturhinweisen und Kotrolllesen beigestanden haben, besonders den Herren Dr.-Ing. G. Vogel, Dr.-Ing. E. Thürmer, Dipl.-Ing. R. Kusche, Dipl.-Ing. E. Unger, Dipl.-Ing. R. Donner, Dipl.-Ing. J. Wagner, Dipl.-Ing. J. Graubner, Dipl.-Phys. F. Pschenitzka und meiner Ehefrau.
 Dr.-Ing. Wilfried Pschenitzka, im Mai 2025

© privat