

Neuerungen der Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand

Gero Marzahn, BMVI, Ref. StB 17

1. Bauwerksprüfung und Nachrechnung – Zur Zustandsbewertung von Brücken

Mit einem Alter der meisten Bauwerke zwischen 50 und 60 Jahren auf der einen Seite und steigendem Verkehrsaufkommen, insbesondere im Güterverkehr, auf der anderen Seite liegt die Frage auf der Hand, ob die Bestandsbauwerke den heutigen und soweit prognostizierbar auch den zukünftigen Anforderungen noch gerecht werden. Diese Fragestellung ist im Gegensatz zu einer Bauwerksprüfung nach DIN 1076 [1] nur durch eine rechnerische Überprüfung der bestehenden Bauwerke zu klären, die einen Blick in das „Innere“ der Tragkonstruktion gewährt und mögliche Schäden vorab anzeigt, die dann durch eine Bauwerksprüfung nach DIN 1076 detektiert werden können. Nur mit einer Nachrechnung lassen sich Defizite in der Tragfähigkeit und/oder Gebrauchstauglichkeit quantitativ aufdecken. Gleichzeitig können Möglichkeiten aufgezeigt werden, ob und wie eine Behebung dieser Schwachstellen möglich ist. Folglich ist zukünftig neben der „äußeren“ Zustandsbewertung auf Basis einer klassischen Bauwerksprüfung nach DIN 1076 ebenfalls die Bewertung des „inneren“ Zustands einer Tragkonstruktion auf Basis einer Nachrechnung oder anderer geeigneter Methoden notwendig, wenn ein realistisches Bild zum Zustand einer Brücke abgegeben werden soll.

Die Ergebnisse beider Zustandsbewertungen sind nicht identisch und müssen auch nicht zwangsläufig miteinander korrelieren. Diese neue Erkenntnis wird dazu führen, künftig zwei Zustandsbewertungen von Bauwerken gleichwertig nebeneinander stehen zu haben. Somit lässt sich sowohl zum baulichen Zustand als auch zur vorhandenen Spreizung zwischen Ziellastniveau und vorhandener Tragfähigkeit der Bestandsbrücken ein aussagekräftiges Bild zeichnen.

2. Überblick zur Nachrechnung von Bestandsbrücken

Mit der im Jahr 2011 durch das Bundesverkehrsministerium den Ländern zur probeweisen Anwendung überlassenen Richtlinie für die Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie) [2] wurde ein sehr bedeutendes Regelwerk geschaffen. Zum einen werden an den Bestand angepasste Nachweise einheitlich geregelt, zum anderen wird für alle weitergehenden Beschlüsse eine bundesweit einheitliche Entscheidungsbasis vorgegeben.

Entsprechend dem durch die Nachrechnungsrichtlinie vorgegebenen Ablauf sind für die Entscheidungsfindung grob vier Aufgabenpakete zu leisten:

- Statische Nachrechnung,
- Machbarkeit zu Verstärkungsmaßnahmen inkl. Kostenschätzung,
- Kostenschätzung für Ersatzneubau,

- Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen den Varianten Verstärkung/Instandsetzung und Ersatzneubau.

Diesem Schema folgen mehr oder weniger alle Bundesländer, wobei sich im Detail jedoch sicher Unterschiede ergeben.

Je nach Bauwerkszustand und der Spreizung zwischen dem einbemessenen Lastniveau und der tatsächlichen abzubildenden Beanspruchung lassen sich nicht alle Nachweise zufriedenstellend erbringen. Insbesondere bei Spannbetontragwerken, deren Bemessungsregeln sich in der Vergangenheit mehrfach verändert haben, treten Probleme im Nachweis der Querkrafttragfähigkeit auf. Darüber hinaus sind Fragestellungen im Zusammenhang mit Anprall an Fahrzeugrückhaltesysteme oder mit der Abbildung eines bauzeitlich bedingten 4+0-Verkehrs vorhanden, die zu klären waren.

Mit der Erarbeitung neuer Forschungsergebnisse zu den aufgeworfenen Fragen war es möglich, die Nachrechnungsrichtlinie zielgerichtet fortzuschreiben. Über die wesentlichen Inhalte der Fortschreibung wird nachfolgend berichtet.

3. Fortschreibung der Nachrechnungsrichtlinie

3.1 Lastmodell für Anprall auf Brücken

Mit der Umsetzung von DIN EN 1317 [3] in die RPS 2009 [4] sind die Anforderungen an Fahrzeugrückhaltesysteme auch auf Brückenbauwerken deutlich gestiegen. Systeme mit verbessertem Rückhaltevermögen haben allerdings Bauwerksbeanspruchungen zur Folge, welche die in der Vergangenheit üblichen Lastansätze für den Lastfall Fahrzeuganprall auf Brücken teilweise deutlich übersteigen und erhöhte Anforderungen an die konstruktive Ausbildung der Kappen, Kappenanschlüsse und Kragarme darstellen.

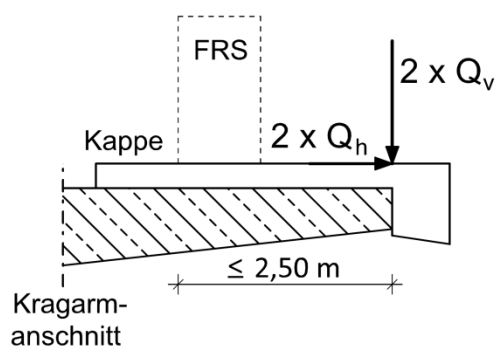
Bestandsbauwerke, die gemäß RPS 2009 im Zuge von Instandsetzungs- oder Ausbauarbeiten zumeist mit Schutzeinrichtungen höherer Aufhaltestufen gemäß den Vorgaben von DIN-Fachbericht 101 [5] auszurüsten und entsprechend nachzuweisen sind, werden den gestiegenen Anforderungen in der Regel nicht gerecht, so dass die Nachrechnung der Bauwerke für eine Montage neuer Rückhaltesysteme nicht ohne weiteres möglich ist. Häufig müssen zuvor die Kappen erneuert, der Kappenanschluss an den Kragarm ertüchtigt und ggf. auch der Kragarm selbst verstärkt werden.

Auf der Grundlage neuer Auswertungen von Anprallversuchen an Rückhaltesystemen wurde für die Nachrechnung von Bestandsbrücken ein alternativer Lastansatz für die Anprallsituation entwickelt und durch numerische Untersuchungen zur Kragarmbemessung validiert [6].

Mit der Fortschreibung der Nachrechnungsrichtlinie soll für die Bauwerksbemessung anstelle der Anpralllasten gemäß DIN-Fachbericht 101:2009, 4.7.3.3 (1)P für alle Systeme der BAST-Einsatzfreigabeliste der in Bild dargestellte alternative Lastansatz mit Horizontal- und Vertikallasten verwendet werden. Die Grundlage des Lastansatzes bilden zwei charakteristische Achslasten von jeweils 120 kN, die einen Abstand von 1,30 m zueinander haben. Diese jeweiligen Achslasten werden auf ein einzelnes Rad bzw. eine einzelne Radgruppe konzentriert und in Verbindung mit den angegebenen Horizontallastkomponenten als Linienlasten in der Schwerachse der Radaufstandsflächen auf einer Länge von jeweils

32 cm angesetzt. Horizontale und vertikale Linienlasten sind in Höhe der Kappenoberkante am Kragarmrand wirkend anzunehmen. Bei weit auskragenden Fahrbahnkonstruktionen sind die Lasten maximal 2,50 m hinter der dem Verkehr zugewandten Seite des Fahrzeugrückhaltesystems anzusetzen. Sowohl die Horizontal- als auch die Vertikalkraftkomponenten sind ggf. mit Lasterhöhungsfaktoren α_{FRS} zu beaufschlagen, die der Einsatzfreigabeliste zu entnehmen sind. Im Regelfall braucht für H2-Systeme keine Erhöhung vorgenommen zu werden.

a) Schnitt



b) Draufsicht

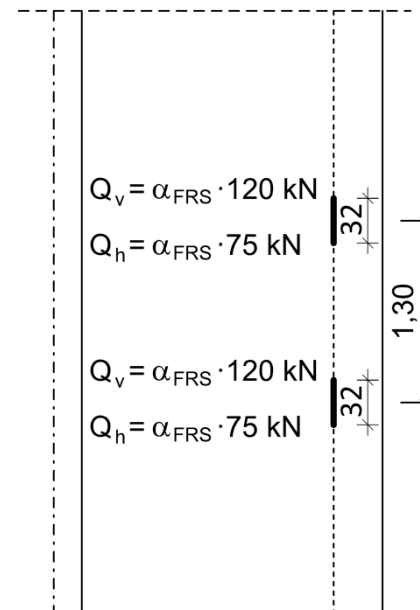


Bild 1: Alternativer Lastansatz für Anprall an Fahrzeug-Rückhaltesysteme [6]

Der Nachweis für die Kappenanschlussbewehrung nach DIN-Fachbericht 101:2009, 4.7.3.3 (2) bleibt unverändert bestehen. Für alle bisher in der Einsatzfreigabe gelisteten Fahrzeugrückhaltesysteme wurde die erforderliche Kappenanschlussbewehrung systemübergreifend ermittelt und ist in den Richtzeichnungen [7] des Bundesverkehrsministeriums angegeben.

3.2 Verkehrslastmodell für Verkehr im 4+0-System (4+0-Verkehr)

Unter Verkehr im 4+0-System wird eine baubetrieblich bedingte Umlegung des Richtungsverkehrs von zwei auf eine Richtungsfahrbahn im Bereich einer Arbeitsstelle verstanden. Im Wesentlichen wird diese Verkehrsführung im Autobahnbereich möglich, weil im Regelbetrieb jeder Richtungsverkehr seinen eigenen Brückenkörper befährt. Als Voraussetzung für einen 4+0-Verkehr gilt, dass ein genügend breiter überführter Straßenquerschnitt des nunmehr in beiden Richtungen befahrenen Bauwerks vorhanden ist. Durch die Anwendung des 4+0-Systems wird ein kompletter Brückenüberbau verkehrsfrei, so dass dort Baumaßnahmen reibungsfrei erfolgen können. Auf dem anderen Brückenkörper werden die Richtungsfahrbahnen und damit die Verkehrsströme durch Fahrstreifenmarkierung und passive Schutzeinrichtungen voneinander getrennt geführt. Dem

Richtungsverkehr stehen je nach Platzverhältnissen lediglich eingeschränkte Fahrstreifenbreiten zur Verfügung. Daher gelten bei 4+0-Verkehr generell Geschwindigkeitsbeschränkungen und ein Überholverbot für Lkw. Der linke Fahrstreifen ist in der Regel nur so breit angelegt, dass er lediglich von Pkws und Motorrädern befahren werden kann. Kritische Situationen können sich im Fall einer Fahrzeugpanne ergeben, wenn das liegengebliebene Fahrzeug nicht sofort von der Fahrbahn entfernt werden kann und der nachfolgende Verkehr behindert wird. Jedoch ist nicht davon auszugehen, dass sich in einer Fahrtrichtung zwei LKW-Fahrstreifen parallel aufstauen.

Sensibilisiert durch die mitunter beunruhigenden Ergebnisse aus üblichen Brückennachrechnungen war es ein Anliegen der Straßenbauverwaltungen, einen reibungsfreien Betrieb für die unter Verkehr verbliebenen Brücken zu gewährleisten. Die Standsicherheit der Brücken war demnach für einen 4+0-Verkehr statisch nachzuweisen. Der Wahl eines zutreffenden Verkehrslastmodells fiel dabei eine maßgebende Rolle zu, die jede Verwaltung in Ermangelung wissenschaftlicher Untersuchungen für sich ausfüllte.

Diesem Umstand Rechnung tragend wurde von der BASt ein Forschungsvorhaben initiiert mit der Zielstellung, ein Lastmodell für die Verkehrseinwirkungen in einem 4+0-System abzuleiten und der Nachrechnung zur Verfügung zu stellen. Über umfangreiche Simulationsrechnungen [8], bei der die Auswirkungen des realitätsnah simulierten tatsächlichen Verkehrs unter den genannten baubetrieblichen Randbedingungen den Wirkungen verschiedener Modellverkehre gegenübergestellt wurden, konnte ein Verkehrslastmodell nachgewiesen werden, welches die Auswirkungen eines 4+0-Verkehrs ausreichend abdeckt. Dabei wurde berücksichtigt, dass infolge der verengten mittleren Fahrspuren und ggf. eingekürzter Kappen das gesamte Verkehrsband exzentrischer als üblich wirkt.

Weil das Verkehrsgeschehen auf deutschen Autobahnen mittlerweile spürbar von genehmigungspflichtigem Schwerverkehr mit Dauergenehmigungen mit einem Gesamtgewicht von bis zu 60 t (z.B. Autokrane oder Betonpumpen) geprägt ist, wurde dieser Schwerverkehr in den Simulationsrechnungen berücksichtigt [9].

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass eine nach heutigen Maßstäben nachgewiesene Brückenklasse BK60 grundsätzlich ausreichend ist, einen Verkehr infolge veränderter baubetrieblicher Verkehrsführung im 4+0-System einschließlich genehmigungspflichtigem Schwerverkehr mit Dauererlaubnis bis maximal 60 t Fahrzeuggesamtgewicht abzudecken. Fahrzeugpannen mit liegen gebliebenen Fahrzeugen im 4+0-Verkehr mit ggf. aufstauendem Rückverkehr sind dabei eingeschlossen.

Obwohl der 4+0-Verkehr ursprünglich ungünstiger als der Regelverkehr angesehen wurde, zeigte die Simulationsrechnungen auf, dass durch die Beschränkung des LKW-Verkehrs auf die jeweiligen äußeren Fahrstreifen faktisch eine Entlastung des Bauwerks im Vergleich zu einem zweistreifigen Regelverkehr eintritt. Dieselbe Wirkung wird erreicht, wenn ein LKW-Überholverbot ausgesprochen und dieses auch befolgt wird.

3.3 Querkraftnachweis auf Basis des Hauptspannungskriterium

Allgemeines

Die bisher durchgeführten Nachrechnungen von älteren Spannbetonbrücken haben in vielen Fällen ein Defizit der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit sowie des Ermüdungswiderstands ergeben [10]. Da die Tragfähigkeitsnachweise auch häufig in Stufe 2 nicht erbracht werden konnten, wurden daher im Rahmen eines Forschungsvorhabens im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen erweiterte Verfahren zum Nachweis der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit für die 1. Ergänzung der Nachrechnungsrichtlinie formuliert [11]. Diese basieren u.a. auf Erfahrungen mit Nachweisen in Stufe 4 der Nachrechnungsrichtlinie [2] und aktuellen Forschungsarbeiten [11].

Hauptzugspannungskriterium

Für ungerissene Querschnitte kann die Spannungsverteilung in einem Betonquerschnitt grundsätzlich auf Basis der technischen Biegetheorie ermittelt werden, wobei ein linear-elastisches Materialverhalten vorausgesetzt wird. Aus der Überlagerung von Biegespannungen und Schubspannungen ergeben sich nach Gleichung (1) über die Trägerhöhe veränderliche Hauptzugspannungen (Bild 2).

$$\sigma_{I,Ed,i} = 0,5 \cdot (\sigma_x + \sigma_z) + \sqrt{0,25 \cdot (\sigma_x + \sigma_z)^2 + \tau_{xz}^2} \quad (1)$$

Da die senkrecht zur Bauteilachse auftretenden Spannungen in der Regel vernachlässigt werden, darf die allgemein bekannte Hauptspannungsformel nur in ungestörten Bereichen eines Systems angewendet werden, d.h. in Bereichen ohne konzentrierte Lasten, wie sie z.B. im Auflagerbereich vorkommen. Außerdem darf die Formel nur dort angewandt werden, wo im Grenzzustand der Tragfähigkeit keine Biegerissen auftreten. Nachfolgend wird das auf dem Hauptzugspannungskriterium beruhende Nachweiskonzept der 1. Ergänzung der NRR für Querkraft unter vorwiegend ruhender und vorwiegend nicht ruhender Belastung erläutert.

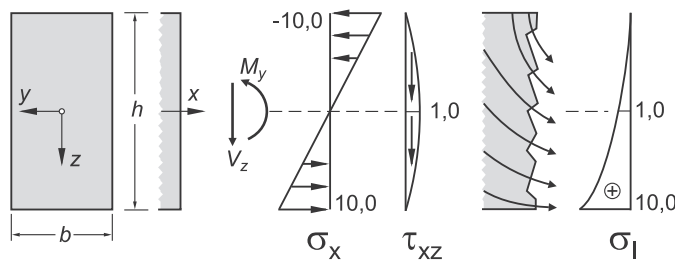


Bild 2: Darstellung der Längs-, Schub- und Hauptspannungen an einem Rechteckquerschnitt [12]

Nach DIN-Fachbericht 102 [13] darf die Querkrafttragfähigkeit des Längssystems von Spannbetonbauteilen in Bereichen des Trägers, die frei von Biegerissen sind, nach Gleichung (2) ermittelt werden. Ein Nachweisschnitt gilt als ungerissen, wenn die zugehörigen Randzugspannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit den Bemessungswert der Betonzugfestigkeit f_{ctd} nicht überschreiten.

$$V_{Rd,ct} = \frac{I \cdot b_w}{S} \sqrt{\left(\frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c}\right)^2 - \alpha_l \cdot \sigma_{cp} \cdot \left(\frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c}\right)} \quad (2)$$

mit

I das Flächenträgheitsmoment

b_w die Querschnittsbreite in der jeweiligen Steghöhe unter Berücksichtigung etwaiger Hüllrohre

S das Flächenmoment 1. Grades

σ_{cp} die Betonspannung im Bemessungspunkt infolge äußerer Lasten und Vorspannungen

Diese auf dem Hauptzugspannungskriterium beruhende Gleichung muss für Querschnitte mit veränderlicher Breite (z.B. Hohlkästen oder Plattenbalken) in verschiedenen Punkten über die Querschnittshöhe ausgewertet werden, da bei diesen die Lage der maximalen Hauptzugspannung im Vorfeld nicht bekannt ist. Allerdings ist die Längsspannung σ_{cp} außerhalb der Schwerpunktlage vom einwirkenden Moment und damit neben der Vorspannung auch von den äußeren Lasten abhängig. Daher muss der Querkraftwiderstand $V_{Rd,ct}$ in jedem dieser Punkte iterativ ermittelt werden. Die veränderlichen Anteile des im Grenzzustand der Tragfähigkeit angesetzten Lastmodells müssen dazu solange gesteigert werden, bis die einwirkende Querkraft V_{Ed} und der Querkraftwiderstand $V_{Rd,ct}$ gleich groß sind.

Zur Vereinfachung der Nachweisführung und Vermeidung von iterativen Berechnungen wurde daher für die Ergänzung der Nachrechnungsrichtlinie vorgeschlagen, den Querkraftnachweis als Hauptzugspannungsnachweis zu führen. Für eine im Vorfeld berechnete Schnittgrößenkombination im Grenzzustand der Tragfähigkeit erfolgt hier die Berechnung der Hauptzugspannungen in einem Nachweisschnitt jeweils in verschiedenen Höhen „ i “ des Querschnitts nach den Gleichungen (3) bis (7).

$$\sigma_{I,Ed,i} \leq k_1 \cdot f_{ctd} \quad (3)$$

$$\sigma_{I,Ed,i} = 0,5 \cdot \sigma_{cx,Ed,i} + \sqrt{0,25 \cdot \sigma_{cx,Ed,i}^2 + (\tau_{V,Ed,i} + \tau_{T,Ed})^2} \quad (4)$$

$$\sigma_{cx,Ed,i} = \frac{N_{Ed}}{A_c} + \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot z_i \quad (5)$$

$$\tau_{V,Ed,i} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{y,i}}{I_y \cdot b_{w,i}} \quad (6)$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{T_{Ed}}{W_T} \quad (7)$$

mit

z_i der vertikale Abstand des Nachweisschnitts von der Schwerachse des Querschnitts

I_y das Flächenträgheitsmoment 2. Grades

$S_{y,i}$ das Flächenträgheitsmoment 1. Grades in der entsprechenden Nachweishöhe

$b_{w,i}$ die Querschnittsbreite in der betrachteten Steghöhe unter Berücksichtigung etwaiger Hüllrohre gemäß DIN-Fachbericht 102, Abs. 4.3.2.2 (8)*P

W_T Torsionswiderstandsmoment unter Berücksichtigung etwaiger Hüllrohre gemäß DIN-Fachbericht 102, Abs. 4.3.2.2 (8)*P

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_c \text{ mit } \gamma_c = 1,5$$

Die Bemessung darf dabei vereinfachend unter Vernachlässigung etwaiger Querbiegeeinflüsse in der Mittelfläche der Stege erfolgen. Die zur Berechnung der Schubspannungen aus Querkraft angesetzte Stegbreite $b_{w,i}$ muss i.d.R. in der Höhe der Spannglieder abgemindert werden. Durch die Abminderung sollen die durch die Spannglieder in den Beton eingebrachten Umlenkspannungen und die Störung des Betongefüges berücksichtigt werden. Die maximalen Werte der Hauptzugspannung $\sigma_{l,Ed}$ können für verschiedene Leiteinwirkungen der Schnittgrößen (N_{Ed} , M_{Ed} , V_{Ed} , T_{Ed}) auftreten. Hierbei sind die zu den jeweiligen Leiteinwirkungen zugehörigen Schnittgrößen zu verwenden.

Bei gleichzeitigem Auftreten von Querkraft und Torsion ist der Schubfluss aus Torsion (T_{Ed}/W_T) im ungerissenen Betonquerschnitt mit dem Schubfluss aus Querkraft zu superponieren. Die Ermittlung des Schubflusses aus Torsion darf für schlanke Kastenquerschnitte mit der Bredt'schen Formel erfolgen. Für gedrungene Querschnitte, wie etwa aufgeweitete Hohlkastenstege oder Plattenbalkenquerschnitte, darf auf der sicheren Seite liegend ein schlanker Ersatzhohlkasten entsprechend den Regelungen in [13] verwendet werden. Ebenfalls kann bei gedrungenen Querschnitts der tatsächliche Schubfluss infolge Torsion mittels geeigneter Verfahren ermittelt und dem Schubfluss aus Querkraft überlagert werden, wobei zusätzlich die bei schlanken Querschnitten vernachlässigbaren Einflüsse aus Wölbkrafttorsion ggf. zu berücksichtigen sind.

Bezüglich der zulässigen Randzugspannungen haben bisherige Erfahrungen bei Brückennachrechnungen auf Grundlage von DIN 4227 (1953) [14] gezeigt, dass eine Anwendung des Hauptzugspannungskriteriums aufgrund überschrittener Randzugspannungen oft nicht für das gesamte System zulässig ist. Durch Versuche in [15] wurde jedoch gezeigt, dass das Hauptzugspannungskriterium die Querkrafttragfähigkeit eines Spannbetonträgers mit geringem Querkraftbewehrungsgrad auch dann noch zutreffend beschreibt, wenn die Randzugspannungen die Betonzugfestigkeit bereits überschritten haben. Für den Hauptzugspannungsnachweis nach Stufe 2 der Nachrechnungsrichtlinie wurde daher vorgeschlagen, Bauteile mit in der Zugzone liegendem Gurt (z.B. Plattenbalken im Stützbereich, Hohlkästen) als ungerissen zu betrachten, wenn die zugehörigen Biegezugspannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit kleiner als der Mittelwert der Betonzugfestigkeit f_{ctm} sind. Der Nachweis der Hauptzugspannungen nach Gleichung (3) ist dann im Steg bis zum Anschnitt des in der Zugzone liegenden Gurtes zu erbringen. In allen anderen Fällen muss für die Randzugspannungen der bisherige Grenzwert f_{ctd} eingehalten werden (z.B. Plattenbalken im Feldbereich).

Ferner wurde in [15] gezeigt, dass bereits eine geringe Menge an Querkraftbewehrung ausreichend ist, um ein duktilen Querkraftversagen sicherzustellen. Für Spannbetonbauteile mit einem vorhandenen Querkraftbewehrungsgrad von mindestens 50 % der nach DIN-Fachbericht 102 erforderlichen Mindestquerkraftbewehrung $\min \rho_w$, ist nach den Bauteilversuchen ein sprödes Bauteilveragen nicht zu erwarten, sodass zur Ermittlung des Bemessungswertes der Betonzugfestigkeit $f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_c$ ein Beiwert von $\alpha_{ct} = 1,0$ für bewehrten Beton verwendet werden kann (Tabelle 1), mit $\gamma_c = 1,5$. Da die Spannbetonträger mit zunehmender Vorspannung weniger duktil versagen, wird auf Basis der Untersuchungen zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens empfohlen, die ansetzbaren Einwirkungen infolge Vorspannung im Hauptzugspannungsnachweis nach Gleichung (4) mit $r_{cp} \cdot P_{m,t}$ zu

bestimmen. Der Vorfaktor r_{cp} ergibt sich in Abhängigkeit des vorhandenen Querkraftbewehrungsgrads $\rho_{w,prov}$ und des Mindestquerkraftbewehrungsgrades $\rho_{w,min}$ bzw. $\min \rho_w$ nach DIN-Fachbericht 102 nach Tabelle 1. Hintergrund dieser Regelung ist die Tatsache, dass die Differenz zwischen Erstriss- und Bruchlast unter Querkraftbelastung bei zunehmendem Längsvorspannungsgrad abnimmt 0. Es ist daher möglich, dass bei hoher Längsvorspannung nach der Schubrissbildung kein ausreichender Sicherheitsabstand zum Querkraftversagen vorhanden ist, was durch eine Begrenzung des Längsvorspannungsgrades vermieden werden soll. Dagegen darf bei der Kontrolle der zulässigen Randzugspannungen die tatsächlich anliegende Vorspannkraft berücksichtigt werden.

Tabelle 1: Beiwerte in Abhängigkeit des Querkraftbewehrungsgrades

Vorhandener Querkraftbewehrungsgrad	Abminderungsfaktor r_{cp}	α_{ct}	k_1
$\rho_{w,prov} \geq \rho_{w,min}$	$\frac{0,20 \cdot f_{ck}}{P_{mt}/A_c} \leq 1,0$	1,0	1,0
$0,5 \cdot \rho_{w,min} \leq \rho_{w,prov} < \rho_{w,min}$	$\frac{(1 + \rho_{w,prov}/\rho_{w,min}) \cdot 0,10 \cdot f_{ck}}{P_{mt}/A_c} \leq 1,0$	1,0	1,0
$\rho_{w,prov} < 0,5 \cdot \rho_{w,min}$	$\frac{0,15 \cdot f_{ck}}{P_{mt}/A_c} \leq 1,0$	0,85	0,8

Für Bauteile, die über weniger als das 0,5-fache der Mindestquerkraftbewehrung nach DIN-Fachbericht 102 verfügen, wird die Abminderung der zulässigen Hauptzugspannungen durch einen Faktor k_1 vorgeschlagen, sowie die Verwendung eines Abminderungsbeiwertes von $\alpha_{ct} = 0,85$ für unbewehrten Beton. Der Grund hierfür ist, dass die Schubrissbildung in den Stegen durch die Umlenkkräfte der Spannglieder beeinflusst wird und daher unter Umständen kein gutmütiges Ankündigungsverhalten bei derart geringer Querkraftbewehrung vorliegt [15]. Bei der Ermittlung des Mindestquerkraftbewehrungsgrades $\rho_{w,min}$ bzw. $\min \rho_w$ nach DIN-Fachbericht 102 sind vorgespannte Plattenbalken- und Hohlkastenquerschnitte als Querschnitte mit vorgespanntem Zuggurt anzusehen.

In Anlehnung an Eurocode 2 [16] darf wegen einer direkten Lastableitung in das Auflager der Querkraftnachweis außerdem für Querschnitte entfallen, die näher am Auflager liegen als der Schnittpunkt zwischen der elastisch berechneten Schwerachse und einer vom Auflagerrand im Winkel von 45° geneigten Linie. Gegenüber DIN-Fachbericht 102 0, wonach der Nachweis für Querschnitte näher als $h/2$ vom Auflagerrand entfallen durfte, vergrößert sich der Bereich für den kein Nachweis erforderlich ist geringfügig.

Die auf Grundlage des Hauptzugspannungskriteriums nachgewiesenen Bereiche sind außerdem mindestens alle drei Jahre durch eine Bauwerksprüfung aus besonderem Anlass nach Ziffer 5.4 der DIN 1076 [1] (Sonderprüfungen) auf Rissefreiheit zu überprüfen. Hierbei ist insbesondere auf das Vorhandensein von Schrägrissen sowie die Entstehung neuer Schrägrisse zu achten. Gegebenenfalls können entsprechende Maßnahmen zur Sicherstellung der Standsicherheit erforderlich werden. Die rissgefährdeten Tragwerksbereiche sind in einer schriftlich dokumentierten Prüfanweisung durch den bewertenden Ingenieur festzulegen.

Literatur

- [1] DIN 1976:1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen - Überwachung und Prüfung. Beuth Verlag, Berlin, 1999.
- [2] Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie). Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin, 2011.
- [3] DIN EN 1317-2:2011-01, Rückhaltesysteme an Straßen. Beuth Verlag, Berlin 2011.
- [4] Der Bundesminister für Verkehr: Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeurückhaltesysteme (RPS 2009), Ausgabe 2009.
- [5] DIN-Fachbericht 101:2009-03: Einwirkungen auf Brücken. Beuth Verlag, Berlin 2009.
- [6] Neumann, W.: Fahrzeug-Rückhaltesysteme auf Brücken: Untersuchungen der Funktionsweise der Lastabtragung mit Hilfe von FE-Modellen – Entwicklung von baupraktikablen Verfahren, Abschlussbericht zum BASt-Forschungsprojekt FE 15.0500/2010/FRB.
- [7] Der Bundesminister für Verkehr: Richtzeichnungen (RiZ); Bonn, 2013.
- [8] Freundt, Ur.; Böning, S.: Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Bauwerksbeanspruchungen, Abschlussbericht zum BASt-Forschungsprojekt FE 89.0267/2011.
- [9] Freundt, Ur.; Böning, S.: Der aktuelle Verkehr einschließlich des dauergenehmigten Schwerverkehrs der Autobahnen in NRW und die resultierenden Beanspruchungen der betreffenden Bestandsbrücken. Abschlussbericht zum gleichlautenden Forschungsprojekt des Landesbetriebs Straßenbau Nordrhein-Westfalen, April 2014, unveröffentlicht.
- [10] Fischer, O. et al.: Ergebnisse und Erkenntnisse zu durchgeführten Nachrechnungen von Betonbrücken in Deutschland. Beton- und Stahlbetonbau 109 (2014), Heft 2, S. 107-127.
- [11] Hegger, J.; Maurer, R.; Zilch, K. Rombach, G.: Beurteilung der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit von Brücken im Bestand - Kurzfristige Lösungsansätze. Schlussbericht für die Bundesanstalt für Straßenwesen, FE 15.0482/2009/FRB, Mai 2014.
- [12] Zilch, K.; Zehetmaier, G.: Bemessung im konstruktiven Betonbau nach DIN 1045-1 (Fassung 2008) und EN 1992-1-1 (Eurocode 2). 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, ISBN 978-3-540-70637-3, Springer-Verlag, 2010.

- [13] DIN-Fachbericht 102:2009-03: Betonbrücken. Beuth Verlag, Berlin, Ausgabe März 2009.
- [14] DIN 4227: Spannbeton: Richtlinien für Bemessung und Ausführung, Ausgabe Oktober 1953
- [15] Herbrand, M., Hegger, J.: Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss einer externen Vor-spannung auf die Querkrafttragfähigkeit vorgespannter Durchlaufträger. Bauingenieur 88 (2013), Heft 12, S. 509-517.
- [16] DIN EN 1992-2: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 2: Betonbrücken - Bemessungs- und Konstruktionsregeln; deutsche Fassung, Ausgabe April 2013.