

Gefährdete Strassenbrücken

Autor(en): **Kun, Stefan**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **137 (2011)**

Heft 15: **Normiert und präzisiert**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-144689>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

GEFÄHRDETE STRASSENBRÜCKEN

Mit den steigenden Verkehrslasten auf Schweizer Strassen erhöht sich die Querkraftgefährdung einer ganzen Brückengeneration. Für Bauingenieure stellt sich die Aufgabe, für diese Brücken technisch und wirtschaftlich interessante Instandsetzungslösungen zu entwerfen.

Der private Verkehr auf den Schweizer Nationalstrassen hat sich zwischen 1960 und 2004 verfünffacht, und bis 2030 ist mit einer Zunahme von weiteren 15 bis 30 % zu rechnen.¹ Dieses Wachstum führt vermehrt zu Staus auf den am stärksten befahrenen Streckenabschnitten, vor allem in Agglomerationen. Das Astra plant deshalb punktuell konkrete Massnahmen, um ausgewählte Engpässe zu beseitigen. In diesem Zusammenhang bedürfen betroffene Brücken – bis heute gibt es auf dem Schweizer Nationalstrassennetz über 3390 Brücken² mit einer Gesamtlänge von 273 km – zusätzlicher Verkehrsflächen und einer erhöhten Tragkapazität. Die Zunahme des Verkehrsvolumens zusammen mit der Erhöhung des rechtlichen Betriebsgewichts der Lastfahrzeuge in der Schweiz auf 34 t im Jahr 2001 und auf 40 t im Jahr 2005 führte aber zu einer schrittweisen Abnahme der Tragreserven.

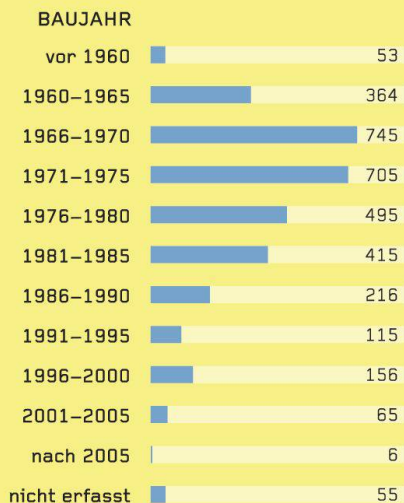
VIELE ANFORDERUNGEN ERSCHWEREN DIE PROJEKTIERUNG

Bei der Erhaltungsplanung von Strassenabschnitten prüft das Astra bei bestehenden Brücken in Abhängigkeit von der Fahrbahnplattenbreite, ob auch der Standstreifen bewirtschaftet und so die Kapazität erhöht werden kann. Reichen die Platzverhältnisse nicht aus, wird die Fahrbahnplatte verbreitert: Am bestehenden Tragwerk wird beispielsweise ein zusätzliches Tragelement angehängt. Bei nach Kosten-Nutzwert-Analysen unverhältnismässig hohen Umgestaltungskosten wird die Brücke ersetzt oder mit einer zusätzlichen ergänzt. Die Sicherheit und der Komfort der Verkehrsteilnehmenden – auch beispielsweise die provisorische Verkehrsführung 4/0 oder 3/1 während des Unterhalts – sind wichtige Kriterien, um Instandsetzungsstrategien zu optimieren. Für die Variantenwahl spielen ausserdem der Zustand der Brücke, die vorgesehene Nutzung und die geschätzte Restlebensdauer eine wichtige Rolle, denn sie bestimmen zusammen die Kosten des Projektes. Das Astra strebt auf alle Fälle kurze Interventionszeiten für die Bauausführung an. Der Bund gibt zudem vor, dass die Baustelle von Erhaltungsprojekten höchstens 5 km lang sein darf, die Distanz zwischen den Baustellen mindestens 30 km betragen muss und der Zeitraum zwischen den Erhaltungsmassnahmen eines Unterhaltsabschnittes 15 Jahre nicht unterschreiten darf.

BEDEUTUNG DER NORMEN BEI DER ÜBERPRÜFUNG

Das Managementsystem «Kuba» (Kunstabauten) und dessen Datenbank verwalten und gliedern die Kunstabauten der Nationalstrassen. Sie zeigen auf, dass rund 54 % des gesamten Brückenbestandes auf dem Nationalstrassennetz der Schweiz aus der Zeit von 1960 bis 1975 stammen und dass 34 bis 38 % nach den SIA-Normen 160 und 162 aus dem Jahr 1956 projektiert wurden (Abb. 1).³ Damit Bauingenieure das Tragsicherheitsniveau bestehender Bauwerke beurteilen können, ist ein Rückblick auf die Projektierungsgrundsätze der früheren Normengenerationen unerlässlich.

Nach heutigen Kriterien sind stark vorgespannte Brücken, die nach den SIA-Normen vor der Generation 162(1968) und 160(1970) bemessen wurden, besonders kritisch bezüglich Tragsicherheit auf Schub. Einerseits waren die der Bemessung zugrunde liegenden vertikalen





02



03



04



05

01 Altersstruktur der Brücken im Schweizer Nationalstrassennetz

(Tabelle: Managementsystem «Kuba»³)

02 Limmatbrücke bei Unterengstringen:

Infolge der Verkehrsentwicklung und um neue Erkenntnisse über das Bauwerk zu erlangen, projektierten Flückiger + Bosshard die Verstärkungs- und Instandsetzungsmaßnahmen; die Ausführungsarbeiten werden zurzeit ausgeschrieben (Foto: Flückiger + Bosshard)

03 Aarbachweiherbrücke bei Horgen: Um während des betrieblichen und baulichen Unterhalts eine provisorische Verkehrsführung 4/0 zu ermöglichen, projektierten Ernst Basler + Partner die Verbreiterung der Brücke und die Instandsetzung (Foto: Ernst Basler + Partner)

04 Lützelmurgviadukt bei Aawangen: Die 250 m lange Zwillingsbrücke in Stahl-Beton-Verbundbauweise wurde 2008–2010 verbreitert und gleichzeitig instand gesetzt. Dadurch ist nun eine provisorische Verkehrsführung 4/0 während des betrieblichen und baulichen Unterhalts möglich (Projektierung: Gruner Wepf Ingenieure) (Foto: Gruner Wepf Ingenieure)

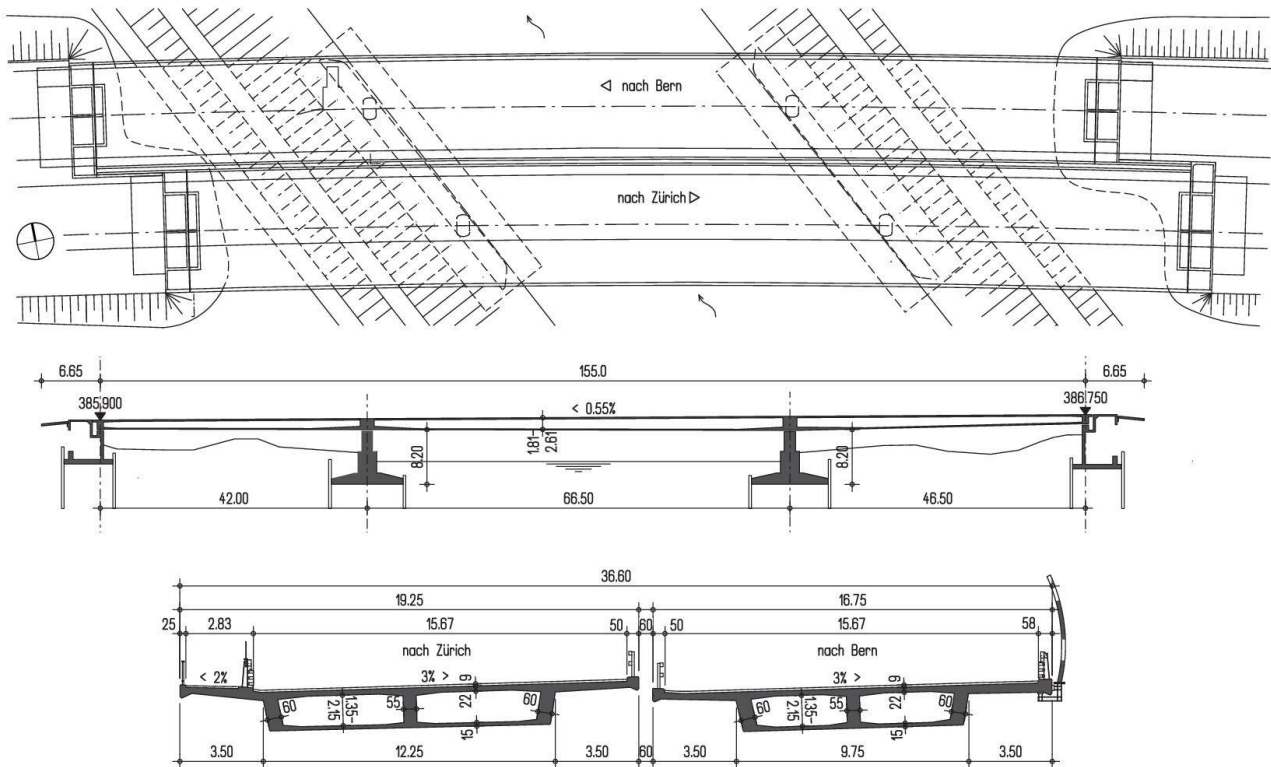
05 Limmatbrücke bei Dietikon (vgl. Fallbeispiel S. 29): Um den Standstreifen bewirtschaften zu können, projektierten IG Dixis West mit Bänziger Partner die Verstärkungs- und Instandsetzungsmaßnahmen (Foto: Bänziger Partner)

Strassenverkehrslasten 1956 tiefer angesetzt – auf Kennwertniveau sind sie zwischen 10 und 30 % tiefer als diejenigen aus den Lastmodellen der seit 2003 gültigen SIA-Norm 261.³ Andererseits war zu dieser Zeit die Bemessung über zulässige Spannungen im Gebrauchszustand üblich. Der Beton übertrug den massgebenden Teil der Querkraft, und die Schubbewehrung war nur für jene Fälle bemessen, bei denen der untere Grenzwert der zugelassenen Hauptzugspannung überschritten war. Nach den aktuell gültigen Bemessungskriterien der SIA-Norm 262(2003) hingegen überträgt die Schubbewehrung die gesamten aus der Schubkraft resultierenden Zugspannungen. Ingenieure überprüfen deshalb die Trag- und Erdbbensicherheit solcher Brücken. Sind die Tragsicherheiten nach aktuellen SIA-Normen nicht erfüllt, ordnet das Astra ergänzende Sicherheitsmassnahmen gemäss der SIA-Norm 269(2010) oder umgehend Sofortmassnahmen zur Verstärkung des Tragwerkes an.

KRITISCHE BAUTEILE ERKENNEN UND ÜBERPRÜFEN

Die Aufgabe der Bauingenieure ist es, die effektive Tragsicherheit des Bauteils mit geeigneten Widerstandsmodellen und aktualisierten Strassenlastenmodellen zu erfassen. Das Ziel einer statischen Überprüfung ist es, aufgrund der Zustandserfassung und des Studiums der Bauwerksakten kritische Bauteile zu erkennen und deren Tragsicherheit gemäss den Anforderungen der aktuellen SIA-Normen zu überprüfen; die normgemässe Tragsicherheit wird kontrolliert, und die vorhandenen Tragreserven werden ermittelt. Die Tragwerksanalyse erfolgt dabei mit effektiven, am bestehenden Bauwerk nachgemessenen Lasten und mit aktualisierten Prüfwerten der Baustoffe, die am bestehenden Objekt eruiert werden. Die Planenden treffen zudem Annahmen für die Verkehrsentwicklung und für die Verkehrszusammensetzung, insbesondere des Schwerverkehrs, und dessen Querverteilung auf der Fahrbahnplatte für die gewünschte Nutzungsdauer. Nach Bedarf führen sie neue Untersuchungen durch und entwickeln neue Verkehrslastenmodelle.

Bestehende Brückenbauwerke an neuralgischen Punkten, die in Bezug auf die normativen Grundlagen eine schwache Tragreserve besitzen, müssen schrittweise und nach Bedarf mit verschiedenen Widerstandsmodellen überprüft werden – um den kritischen Fall zu eruiieren. Bei stark vorgespannten Brücken werden für den Nachweis der Querkrafttragsicherheit die Widerstandsmodelle der Plastizitätstheorie bevorzugt (vgl. Kasten S. 29).



06

06 Grundriss, Längs- und Querschnitt der Limmatbrücke in Dietikon: Die 155 m langen, dreifeldrigen Zwillingbrücken wurden 1965/67 gebaut und 1999/2000 instand gesetzt. Sie sind je mit einem zweizelligen Hohlkastenquerschnitt mit unterschiedlichen Trägerhöhen ausgebildet. Infolge des Längsgefälles in Fahrtrichtung Bern nimmt die Trägerhöhe entlang des 66.5 m langen Mittelfeldes von 2.15 m auf 1.66 m stetig ab.

– Brücke 1: Fahrtrichtung Bern, $b = 16.75$ m, mit drei Fahrstreifen und einem Standstreifen
 – Brücke 2: Fahrtrichtung Zürich, $b = 19.25$ m, mit drei Fahrstreifen, einem Standstreifen und einem Gehweg (Plan: Ingenieurgesellschaft Dixis West, Bänziger Partner)

07 Querkrafttragsicherheit des Aussensteges des Hohlkastens: Zusammenfassung statischer Überprüfungen an der Limmatbrücke (Tabelle: Ingenieurgesellschaft Dixis West, Bänziger Partner und Studio d'Ingegneria Lurati Muttoni Partner)

08 Aktualisierte α_{st} -Beiwerte für verschiedene Zeithorizonte mit Querverteilung des Schwerverkehrs⁷ auf der Fahrbahnplatte (zwei linke Fahrstreifen 60 und 20%, zwei rechte je 10%)
 1 Minimal zulässige Marge für einen Zeithorizont von 15 Jahren: 15%
 2 Minimal zulässige Marge für einen Zeithorizont von 30 Jahren: 25% (unter Bedingungen)
 3 Minimal zulässige Marge für einen Zeithorizont von mehr als 30 Jahren: 40% (unter Bedingungen)

Die Marge berücksichtigt die jährliche Zunahme des Gesamtgewichtes des Schwerverkehrs in der Schweiz (etwa 1% pro Jahr) und die Zunahme des Anteils der Motorfahrzeuge mit fünf Achsen bis 40 bzw. 44 t im kombinierten Verkehr (Tabelle: DIC Ingénieurs SA)

Bauteil	Fachwerkmodell	Schubbruchmechanismen		Diskontinuierliche Spannungsfelder		Kontinuierliche elastoplastische Spannungsfelder			
		Kinematischer Grenzwert *		Statischer Grenzwert *		Statischer Grenzwert **			
		Druckfeldneigung α [°]	Erfüllungsgrad $f_{cd} = 24 \text{ Mpa}$ $k_c = 0.6$	Druckfeldneigung α [°]	Erfüllungsgrad $f_{ce} = 14.6 - 18.7 \text{ Mpa}$	Druckfeldneigung α [°]	Erfüllungsgrad $f_{cd} = 24 \text{ Mpa}$		
Widerlager WL-Feld 3	Stegbreite 0.60 m	25 (15)	1.10 (1.92)	9.5–13	1.19	17	1.36–1.75	15–30	1.32
	Stegbreite 1.20 m	25 (15)	0.49 (0.85)	8.5–10	1.37–1.48	10.4	1.21–1.56		
Pfeiler B Mittelteil	Stegbreite 0.60 m	25 (15)	0.57 (1.00)	12–14.8	1.63–1.74	18	1.20–1.53	12–27	1.13
	Stegbreite 1.20 m	25 (15)	0.86 (1.50)	9.8–11.6	1.52–1.66	15.1	1.13–1.45		

07

Spezifische Beanspruchungen Faktoren α_{st}	Szenarien			ASTRA	Grafische Darstellung der α_{st} Faktoren															
	1 15%	2 25%	3 40%		0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90						
11 Biegemoment M_y Feld-2 Mitte	0.53	0.57	0.64	0.55																
21 Biegemoment bei Pfeiler A	0.53	0.57	0.64	0.53																
22 Biegemoment bei Pfeiler B	0.53	0.57	0.64	0.53																
31 Querkraft bei Pfeiler A	0.58	0.63	0.70	0.54																
32 Querkraft bei Pfeiler B	0.58	0.63	0.70	0.54																
33 Querkraft bei WL BE	0.55	0.60	0.67	0.56																
34 Querkraft bei WL ZH	0.55	0.60	0.68	0.56																
43 Torsion bei WL BE	0.44	0.48	0.53	0.59																
44 Torsion bei WL ZH	0.45	0.49	0.55	0.58																
51 Querkraft Aussensteg Pfeiler A	0.50	0.54	0.61	0.56																
52 Querkraft Aussensteg Pfeiler B	0.51	0.56	0.62	0.55																
53 Querkraft Aussensteg WL BE	0.46	0.50	0.56	0.58																
54 Querkraft Aussensteg WL ZH	0.46	0.50	0.57	0.57																

08

BEOBACHTET UND ÜBERWACHT

Die Brücken der Nationalstrassen werden regelmässig gemäss der Astra-Richtlinie beobachtet und überwacht. Die Beobachtung besteht aus einfachen visuellen Kontrollen und erfolgt in der Regel im Rahmen des Betriebs; damit werden Schäden frühzeitig erkannt. Die Überwachung enthält regelmässige Inspektionen (Haupt-, Zwischen- und Sonderinspektionen). Im Rahmen der Erhaltungsprojekte wird die Überprüfung der Schubstabilität prioritär behandelt, da ein Schubversagen zu einem gefährlichen Sprödbruch führen kann.

VON DER NORM SIA 262 ABWEICHENDE WIDERSTANDSMODELLE

Das schrittweise Vorgehen der Überprüfung ist im technischen Merkblatt Nr. 22 001-23110 des Astra-Fachhandbuches Kunstbauten dargestellt. Es kann von der Website heruntergeladen werden (www.astra.admin.ch unter Downloads). Die Besonderheiten der Überprüfung bestehender Bauwerke sind in verschiedenen Normen, Richtlinien und Astra-Dokumentationen beschrieben.⁴ Wenn die üblichen Nachweise mit aktualisierten Lasten und Materialkennwerten nicht reichen, um die nach Norm geforderten Sicherheiten zu erfüllen, kann die Tragsicherheit in Sonderfällen mit anderen wissenschaftlich anerkannten Methoden nachgewiesen oder qualitativ beurteilt werden.⁵

Oberer Grenzwertsatz der Plastizitätstheorie

Die kinematische Methode ermöglicht den Nachweis des oberen Grenzwertes der Tragsicherheit unter Annahme von Stegbruchmechanismen. Die Bruchmechanismen können angewendet werden, wenn eine ungenügende Tragsicherheit aufgezeigt, eine massgebende Laststellung festgelegt oder ein anderer Grenzwert (statische Methode) bestätigt werden soll.⁶ Falls der Erfüllungsgrad der Tragsicherheit mit dieser Methode knapp ist, sollten die Nachweise nicht nur auf einem oberen Grenzwert des Tragwiderstandes basieren, sondern auch auf der Grundlage von diskontinuierlichen Spannungsfeldern, also auf einem unteren Grenzwert des Tragwiderstandes.

Unterer Grenzwertsatz der Plastizitätstheorie

Die statische Methode der Plastizitätstheorie mit kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Spannungsfeldern ergibt den unteren Grenzwert der Tragsicherheit. Der Gleichgewichtszustand der äusseren und der inneren Kräfte erfüllt die statischen Randbedingungen und verletzt nirgends die Materialflussgrenzen.

Falls die mit dem oberen und dem unteren Grenzwert der Plastizitätstheorie ermittelten Sicherheiten für bestehende Brücken ausreichen, kann auf Verstärkungsmassnahmen verzichtet werden.

FALLBEISPIEL: LIMMATBRÜCKE IN DIETIKON

Im Zusammenhang mit der Verkehrsengpassbeseitigung auf der Nordumfahrung Zürich überprüften die IG Dixis West (Bänziger Partner) sowie Lurati Muttoni und Partner mit unterschiedlichen Widerstandsmodellen eine mögliche Umnutzung des Standstreifens der Limmatbrücke in Dietikon in Fahrtrichtung Bern/Basel (Abb. 5 und 6). 2010 schlossen die Ingenieure die Analyse ab, es folgte die Projektierung der Verstärkungsmassnahmen. Ziel der Analyse war es, allfällige Tragreserven zu eruieren, um die zusätzliche Bewirtschaftung des Standstreifens zu ermöglichen – auf Grundlage der aktuellen SIA-Tragwerksnormen, der aktualisierten Strassenlasten und unter Anwendung verfeinerter Berechnungsmethoden, denn für eine normgerechte rechnerische Tragsicherheit mussten sämtliche Tragreserven der Brücke für die angenommene Nutzungsdauer mobilisiert werden. Die Ingenieure simulierten die Situation in einem 3-D-Stubprogramm, womit sie unterschiedliche Berechnungsmodelle rechnen konnten – denn Berechnungsmodelle haben einen entscheidenden Einfluss auf die Erfüllungsgrade der kritischen Tragwerksbereiche (Abb. 7). Für die Überprüfung der Tragsicherheit war es notwendig, das aktualisierte Strassenlastenmodell für einen Zeithorizont von 30 Jahren und ein Verkehrsregime mit vier Fahrstreifen – d.h. inkl. Standstreifenbewirtschaftung – zu erfassen. Dafür brauchten die Ingenieure aktualisierte Verkehrslasten, abgestimmt auf das verwendete Verkehrsregime und den fokussierten Zeithorizont von 30 Jahren. Das Fallbeispiel liegt ausserhalb des Anwendungsbereichs der Astra-Dokumentation⁴. Deshalb führte man eine rechnerische Untersuchung mit Verkehrssimulationen⁷ durch, um ein aktualisiertes Strassenlastenmodell zu entwickeln. Für einen Zeithorizont von 15 Jahren ist das aktualisierte Lastmodell der Astra für die Überprüfung der Tragsicherheit des Brückenüberbaus zulässig – mit Ausnahme der Querkräfte im Pfeilerbereich. Für Zeithorizonte bis 30 Jahre oder mehr sind die neuen α -Beiwerte zu verwenden, die in den meisten Fällen die gültigen der Astra-Dokumentation⁴ überschreiten (Abb. 8). Eine Verstärkung der Brücke entsprechend der SIA-Norm 261 ist kostenmässig nicht vertretbar. Für bestehende Bauwerke ist eine genügende Tragsicherheit ohne aktualisierte Einwirkungen (Reduktion) nicht immer nachweisbar. Würde man die vollen Lasten nach SIA 261 (Verkehr- und Auflasten) berücksichtigen, wären Verstärkungsmassnahmen so umfangreich, dass die Kosten sich denjenigen eines Neubaus annäherten, ohne den Vorteil eines Neubaus wie z.B. die erhöhte Restlebensdauer zu bieten.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen ausserdem, dass die Tragsicherheit des Überbaus bezüglich Biegung in Längs- und Querrichtung nach SIA 269(2010) mit aktualisierten Einwirkungen und Materialkennwerten überall erfüllt ist. Das Bauwerk besitzt somit die nötige Biegetragsicherheit. Die kritischen Widerstände befinden sich massgeblich im Bereich der Querkraftbeanspruchung.⁸ Für einen Zeitraum von 10 bis 15 Jahren und aufgrund der gültigen normativen Grundlagen besitzt die Brücke grundsätzlich eine genügende Querkrafttragsicherheit – mit Ausnahme der Querträger auf den Pfeilern. Unter Berücksichtigung der Verkehrsprognose für die geplante Restlebensdauer von 40 Jahren ist bezüglich Querkrafttragsicherheit eine Stegverstärkung vorzunehmen.

Stefan Kun, dipl. Bauing. REG A, Fachspezialist Kunstbauten, Bundesamt für Strassen (Astra), stefan.kun@astra.admin.ch

Anmerkungen

1 Strassen und Verkehr, Zahlen und Fakten 2009. Bundesamt für Strassen (Astra), 2010

2 Astra – Technisches Handbuch KUBA. Ingenieurbüro Dr. J. Grob & Partner, R. Hajdin, Bern, 2000

3 AGB Brückenforschung, Bericht Nr. 623, Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten, Th. Vogel, D. Zwicky, D. Joray, M. Diggelmann, N. P. Hoj, 2009

4 Astra-Dokumentation – Überprüfung best. Strassenbrücken mit aktualisierten Strassenlasten, 2006

5 Astra-Fachhandbuch Kunstbauten, technisches Merkblatt 22 001-23110 – Überprüfung Tragsicherheit bestehender Bauwerke, 2008

6 Norm SIA 269/2, Erhaltung von Tragwerken – Betonbau. SIA Zürich, 2011

7 Astra – Erhaltungsprojekt N01 Dietikon – Schlieren, Limmatbrücke, Objekt Nr. 243-009, Aktualisiertes Lastmodell für die Überprüfung der Tragsicherheit. DIC Ingénieurs SA, 2010

8 Astra – Erhaltungsprojekt N01 Dietikon – Schlieren, Limmatbrücke, Objekt Nr. 243-009, Statische Überprüfung der Tragsicherheit. Ingenieurgesellschaft Dixis West, Bänziger Partner AG, 2010