

Zuverlässigkeitsanalyse bestehender Brückenbauwerke

Reliability Analysis of Existing Bridge Structures

Empelmann, Martin; Unger, Christian

Abstract

Germany counts around 120 000 road bridges, but only 5.5 % of them are designed according to the current standards. The bulk of the bridge structures dates from the 60's and 70's and are calculated and executed in line with the standards in force at that point of time. In consequence, the bridge authorities are confronted with the fact that many bridges have more or less severe deficiencies in regard to the design level of DIN-Fachbericht or Eurocode. This is tightened by the fact that a huge amount of bridges suffers from degradation and omitted maintenance. As a general result of this, the resistance is reduced and the effect is raised, which leads to a more and more decreasing reliability of the bridge stock. The probabilistic design approach may close this gap between actual and target reliability index, as it is shown in the following examples.

1 Einführung

Nur ca. 5,5 % der im Betrieb befindlichen Brückenbauwerke sind nach den heute gültigen DIN-Fachberichten bemessen und errichtet worden [1]. Im Gegensatz dazu sind ca. 85 % der Brücken von Bundesfernstraßen nach den seinerzeit gültigen Normen nach Brückenklassen 60 und 60/30 ausgeführt worden. Eine Gegenüberstellung der früheren, heutigen und zukünftigen Lastmodelle zeigt, dass sowohl die Anzahl der Fahrstreifen mit Einzellasten als auch die Flächenlasten gestiegen sind. Diese Lasterhöhung kommt im Grunde einer Nutzungsänderung gleich. Verstärkend kommt hinzu, dass sich der Zustand des Brückenbestandes in den letzten Jahren auf Grund stark zurückgefahrener bzw. unterlassener Sanierung und Instandsetzung verschlechtert hat. Diese Kombination aus Einwirkungserhöhung und Widerstandsreduzierung stellt die Zuverlässigkeit der bestehenden Brücken in Frage.

2 Zuverlässigkeitsanalyse

Da es sich bei den Einwirkungen und Widerständen nicht um konstante Werte, sondern um streuende Größen handelt, werden diese in der aktuellen Normengeneration durch den Ansatz charakteristischer Werte in Kombination mit den zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten

berücksichtigt. Bei der probabilistischen Bemessung werden diese Unsicherheiten direkt über Verteilungsfunktionen berücksichtigt. Als Ergebnis der Bemessungsgleichung erhält man die operative Versagenswahrscheinlichkeit p_f des Bauwerks bzw. den zugehörigen Zuverlässigkeitsindex β . Der voll-probabilistische Nachweis ist erbracht, wenn der berechnete Zuverlässigkeitsindex β größer als der normativ vorgegebene Zielzuverlässigkeitsindex β_{Ziel} ist.

Im folgenden Beispiel erfolgt die Biege- und Querkraftbemessung mit dem Tandemsystem (LM 1) des DIN-Fachberichts 101. Die dort angegebenen charakteristischen Werte stellen das 98 % - Quantil für den Bezugszeitraum 1 Jahr dar, d. h. dieses Lastniveau wird im Mittel einmal in 50 Jahren (Wiederkehrperiode 50 Jahre) erreicht. Setzt man, auf Grundlage begrenzter Restnutzungsdauern, kürzere Bezugszeiträume an, können die Lasten reduziert werden ohne die Versagenswahrscheinlichkeit des Bauwerks zu erhöhen. Für die probabilistischen Eingangswerte von Material, Geometrie und Lasten wird auf [2] und [3] verwiesen. Die Beispielberechnungen wurden am Überbau einer zweifeldrigen Spannbetonbrücke mit 26,50 m Spannweite über dem Mittelaufleger geführt.

3 Biegebemessung

Die semi-probabilistische Biegebemessung nach DIN-Fachbericht 101 ergab einen Spannstahlbedarf von 10 Spanngliedern des Typs SUSPA DSI 6-15. Aus einer voll-probabilistischen Berechnung mit 10 Spanngliedern errechnet sich für den Brückenüberbau eine Versagenswahrscheinlichkeit von $1 \cdot 10^{-9}$ in einem 50-jährigem Bezugszeitraum. Diese Versagenswahrscheinlichkeit ist äquivalent zu einem Zuverlässigkeitsindex $\beta = 6,0$, der deutlich über den normativ geforderten $\beta = 3,8$ liegt. Reduziert man, wie in Kapitel 2 beschrieben, die Restnutzungsdauer t des Bauwerks, ($5 \leq t \leq 50$) steigt auf Grund der abgeminderten Verkehrslasten die Zuverlässigkeit des Bauwerks an (Bild 1). Desweiteren wurde eine Parameterstudie für das Schädigungsszenario „Spanngliedausfall“ durchgeführt. Für die jeweiligen Restnutzungsdauern t wurde die Spanngliedanzahl n reduziert ($7 \leq n \leq 10$). Dabei zeigte sich, dass bei sehr geringer Restnutzungsdauer

($t = 5$ Jahre) der Ausfall von drei Spanngliedern tolerierbar ist. Bei längeren Restnutzungsdauern ($t \geq 10$ Jahre) führt dies zu nicht normkonformen Zuverlässigkeitsindizes ($\beta < 3,8$).

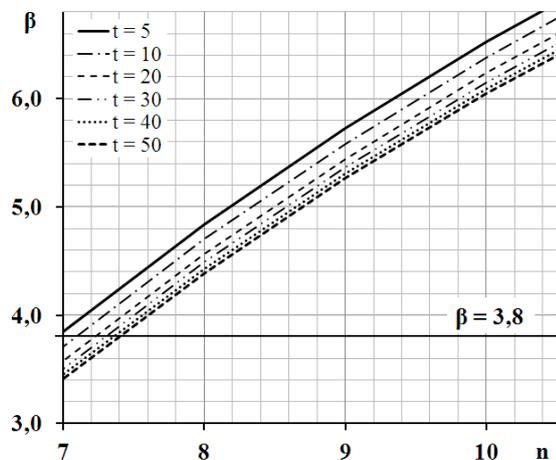


BILD 1 Zuverlässigkeitsindex β in Abhängigkeit der Spanngliedanzahl n und reduzierter Restnutzungsdauer t

4 Schubbemessung

Die semi-probabilistische Bemessung ergab als erforderliche Schubbewehrung $a_{sw} = 51 \text{ cm}^2/\text{m}$. Der vollprobabilistische Nachweis mit diesem zuvor ermittelten Bewehrungsgehalt sowie den in /3/ beschriebenen Eingangswerten erzielt eine Bauteilzuverlässigkeit $\beta = 4,58$ (Bild 2).

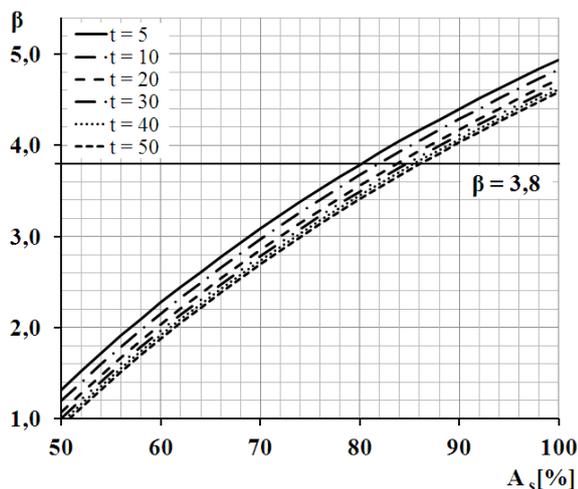


BILD 2 Zuverlässigkeitsindex β in Abhängigkeit der normierten Schubbewehrung a_{sw} und reduzierter Restnutzungsdauer t

Dieser liegt zwar immer noch deutlich über dem geforderten Zuverlässigkeitsindex nach Norm, jedoch ist die Abweichung zwischen semi- und vollprobabilistischer

Bemessung nicht so beträchtlich wie bei der Biegebemessung. Analog zum Spanngliedausfall bei der Biegebemessung wurden die zuverlässigkeitsrelevanten Auswirkungen der Degradation der Schubbewehrung in Form einer Parameterstudie untersucht. In dem gewählten Beispiel wird deutlich, dass bei einer 14 %-igen Reduktion der Bewehrungsmenge infolge Korrosion das geforderte Zuverlässigkeitsniveau bei einer „Neubemessung“ (Restnutzungsdauer $t = 50$ Jahre = t_{Norm}) nicht mehr erreicht wird. Bei reduzierten Nutzungsdauern kann eine Abrostung von bis zu 20 % (bei $t = 5$ Jahre) zugelassen werden.

5 Fazit / Ausblick

Die bisherigen Untersuchungen am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Fachgebiet Massivbau, der TU Braunschweig zeigen, dass die probabilistische Nachrechnung teilweise deutliche Zuverlässigkeitsgewinne im Gegensatz zur normativ vorgesehenen semi-probabilistischen Bemessung mittels Teilsicherheitsbeiwerten liefert. Gerade bei der Nachrechnung von bestehenden, nach aktueller Normenlage nicht mehr nachweisbaren Brücken, kann die probabilistische Berechnung die Lücke zur tolerierbaren Versagenswahrscheinlichkeit schließen. Zudem steht dem Ingenieur ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem die Restnutzungsdauer von Brückenbauwerken nicht nur wie bisher qualitativ abgeschätzt, sondern nachvollziehbar berechnet werden kann. Allerdings steht noch weiterer Forschungsbedarf, insbesondere auf den Feldern der streuenden Eingangswerte sowie von probabilistischen Betrachtungen auf Systemebene, aus.

6 Literatur

- /1/ NAUMANN, J.: BRÜCKENERTÜCHTIGUNG JETZT – EIN WICHTIGER BEITRAG ZUR SICHERUNG DER MOBILITÄT AUF BUNDESFERNSTRASSEN. DEUTSCHER BETON- UND BAUTECHNIK-VEREIN E.V., BERLIN, 2011.
- /2/ EMPERMANN, M.; UNGER, C.: ANALYSIS AND VERIFICATION OF EXISTING BRIDGE STRUCTURES. IABMAS 2012 – 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON BRIDGE MAINTENANCE, SAFETY AND MANAGEMENT, LAKE COMO, ITALY. 2012.
- /3/ EMPERMANN, M.; UNGER, C.: DETERMINISTIC VERSUS PROBABILISTIC RELIABILITY ANALYSIS OF EXISTING BRIDGE STRUCTURES. IALCCE 2012 – 3RD INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIFE-CYCLE CIVIL ENGINEERING, VIENNA, AUSTRIA. 2012.