

Experimentell gestützte Tragsicherheitsbewertung von Straßenbrücken

Dennis KAHL *, Marc GUTERMANN **

* Ingenieurgesellschaft Experimentelle Statik mbH, Bremen

** Hochschule Bremen, Bremen

Kurzfassung. Die Nachrechnungsrichtlinie für Straßenbrücken bietet seit dem Jahr 2011 die formale Grundlage, um den aktuellen Bauwerkszustand besser in den rechnerischen Nachweisen zu berücksichtigen und die Reserven des Tragwerks und der Baustoffe auszunutzen. Sie schließt die Lücke, damit bestehende Bauwerke nicht mehr mit Normen bewertet werden müssen, die eigentlich für den Neubau konzipiert worden sind. Das abgestufte Nachweiskonzept führt mit der Stufe 3 auch die experimentell gestützte Nachweisführung ein, bleibt im Detail aber recht vage und erschwert die Anwendung durch eine Sperrklausel: wegen des besonderen Aufwands sind sie nur im Sonderfall und in Abstimmung mit den Obersten Straßenbaubehörden der Länder anzuwenden. Dieser Beitrag soll von unseren Erfahrungen der experimentell gestützten Tragsicherheitsbewertung berichten und für einen offeneren Umgang werben.

Einführung

Wenn die Tragsicherheit von Bestandsbauwerken auf der Grundlage rein rechnerischer Methoden nicht nachgewiesen werden kann, sind experimentelle Untersuchungen ein Weg, um vorhandene Tragreserven aufzudecken.

Unsere Erfahrungen haben gezeigt, dass durch den Einsatz moderner Belastungs- und Messtechnik Tragreserven an Brückenbauwerken erschlossen werden können, die durch eine Rechnung allein nicht nachweisbar gewesen wären. Mögliche Zuwächse der zulässigen Verkehrslasten liegen dabei erfahrungsgemäß zwischen 30 % und 50 %, können aber auch in Einzelfällen über 100 % betragen (Abb. 3). Die experimentelle Tragsicherheitsanalyse erschließt demnach ein großes Einsparpotenzial und kann auch bei historischen Konstruktionen sinnvoll eingesetzt werden.

Diese Erfahrungen stehen im Kontrast zu den aktuellen Entwicklungen im Umgang mit dem allgemein schlechten Bauzustand der Brücken. Seit dem Jahre 2011 existiert die Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie), herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau. Dort werden experimentelle Verfahren zwar erwähnt, durch eine Notwendigkeit der Zustimmung durch die Obersten Straßenbaubehörden der Länder aber erschwert, wenn nicht praktisch sogar ausgeschlossen.

Unser Posterbeitrag soll unsere Erfahrungen der letzten Dekade aufzeigen und zur Diskussion des Themas „Sonderfall experimentelle Verfahren“ anlässlich der Fachtagung zur Diskussion stellen.



1. Lösungsstrategien

Die übliche Vorgehensweise ist in Abb.1 dargestellt. Durch die regelmäßige Bauwerksüberprüfung werden Strukturveränderungen festgestellt, die die Tragsicherheit der Brücke anzweifeln lassen. Oft bringt die Nachrechnung bereits ein zufriedenstellendes Ergebnis. Falls nicht, ist das weitere Vorgehen stark von den beteiligten Entscheidungsträgern abhängig, deren Motivation zur Problemlösung ganz unterschiedlicher Natur sein kann:

- Der Eigentümer möchte die Brücke nutzen, ggf. mit reduzierten Verkehrslasten aber immer mit möglichst geringen Kosten
- Bauunternehmen sind an einem großen Umsatz interessiert, um Arbeitsplätze zu sichern und Gewinne zu erzielen
- Das Honorar des Tragwerksplaners ist abhängig vom Umsatz der Planungsleistung; alternative Lösungswege müssen verhandelt werden.
- Der Nutzer möchte die uneingeschränkte Verkehrsanbindung und ist empfindlich gegenüber Emission (Nau- und Verkehrslärm aber auch Staub etc.)
- Beteiligte Politiker fördern strategische Weichenstellungen (Entwicklung der Region, Arbeitsplatzsicherung), sind aber nicht zuletzt an einer positiven Außendarstellung interessiert

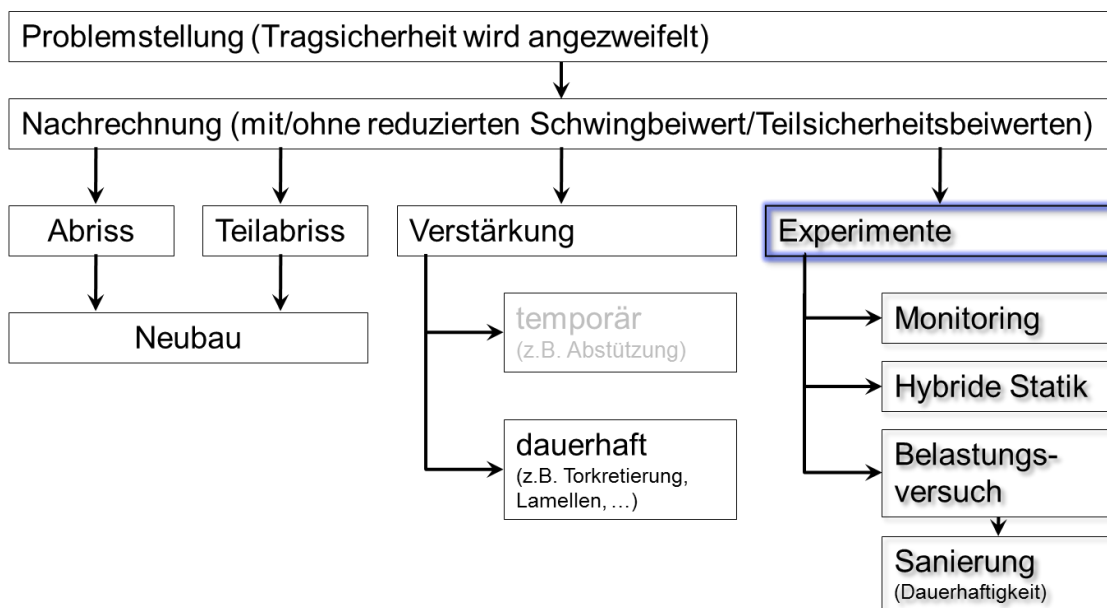


Abb. 1. Lösungsstrategien

Wir als Experimentalstatiker haben die Erfahrung gemacht, dass die Bausubstanz meist besser ist als angenommen, d.h. Tragreserven vorhanden und nachweisbar sind. Dies gilt auch für die Fälle, bei denen bereits Schäden festgestellt worden sind. Aus unserer Sicht sind experimentell gestützte Verfahren daher ein alternativer Weg, der bei der aktuellen finanziellen Lage und des hohen Investitionsbedarfs häufiger eingesetzt werden sollte, sei es, um ggf. einfach nur Investitionsentscheidungen mehrere Jahre zu verschieben.

2. Nachrechnung

“Ein mathematisches oder mechanisches Modell mag nahezu perfekt sein – es bleibt ein Modell”. Dieses Zitat von Prof. Opitz (TU Dresden) zeigt den heutigen Umgang mit FE-Ergebnissen: Viele Studenten und einige Ingenieure vertrauen den computergestützten Rechenergebnissen, ohne diese zu reflektieren. Dabei ist das Ergebnis nur so zutreffend wie die Annahmen (Eingaben), die vorher gemacht worden sind.

Dies betrifft nicht nur die Eingaben von Geometrie und Materialparametern, Werte, die in Stufe 2 der Nachrechnungsrichtlinie ermittelt und in die Rechnung eingeführt werden dürfen. Hier sind bereits Steigerungen der zulässigen Verkehrslast von bis zu 19% möglich (abhängig vom Anteil der Beanspruchung aus Eigengewicht an der Gesamttragfähigkeit).

Viel größeren Einfluss haben die Randbedingungen (Lagersteifigkeiten) und die Bemessungsmodelle, die im Rechenalgorithmus der Programme abgelegt sind und meist nicht weiter verifiziert werden – sie liegen immer auf der sicheren Seite. Diese können aber immer nur individuell für jedes Bauwerk einzeln gemessen werden – im Rahmen der Stufe 3 der Nachrechnungsrichtlinie („am Bauwerk ermittelte Messergebnisse“ s. Abschnitt 4 (2)). Diese Stufe darf jedoch wegen des besonderen Aufwands nur im Sonderfall und in Abstimmung mit den Obersten Straßenbaubehörden der Länder angewendet werden. Eine Machbarkeitsstudie, ob am Bauwerk ermittelte Messergebnisse ggf. zielführend sind, ist leider nicht vorgesehen – für Bauwerksertüchtigen wird das Vorgehen in Abschnitt 8.2 der Richtlinie beschrieben. Es könnte analog für die experimentellen Verfahren übernommen werden.

3. Experimente

3.1 Zerstörungsfreie Prüfungen (NDT)

Die zerstörungsfreien Prüfungen bilden die Grundlage jeder objektbezogenen Nachrechnung der Stufe 2. Die einzelnen Verfahren, ihre Anwendungsgebiete und – Begrenzungen sollen hier nicht weiter aufgeführt werden, da sie hinlänglich publiziert sind.

3.2 Monitoring und Langzeitmessungen

Es ist heutzutage problemlos möglich, die Bauwerksreaktionen im Betrieb permanent aufzuzeichnen, anzuschauen (z.B. via Internet) und ggf. automatisch auswerten zu lassen. Die Herausforderung jeder Messung ist aber, die richtigen Sensoren an der richtigen Stelle zu installieren, um zuverlässige Messwerte zu erhalten. Um damit eine Zustandsampel zu betreiben (grün = o.K.; gelb= überwachen; rot= sofortiges einschreiten) müssen schon sehr präzise Grenzwerte definiert werden und eine Überlagerung der Messwerte durch andere Einflüsse (Temperatur, Zwängungen, ...) ausgeschlossen oder eliminiert werden können.

In der Mehrzahl der Fälle bleibt der Fachingenieur als letzte Instanz unerlässlich, der die Daten auswertet und interpretiert, um auf der Basis seiner Erfahrung die weiteren Schritte zu planen. Beispiele solcher Messaufgaben waren z.B.:

- Schwingungsmessungen an den Schrägseilen einer Brücke zur Identifikation Regen-Wind-induzierter Schwingungen (12 Monate)
- Durchbiegungsmessungen einer Straßenbrücke, um eine Schwankung von $\Delta f = \pm 35$ mm zu erklären, die bei geodätischen Messungen identifiziert worden ist
- Durchbiegungsmessungen an einem Hallendach, um ggf. Strukturveränderungen aus externen Belastungen (z.B. Schnee, Temperatur, ...) zu identifizieren.

Grundsätzlich sind Bauwerksüberwachungen im Betrieb geeignet, wesentliche Informationen über das Bauwerksverhalten, inkl. aller Randbedingungen zu erhalten. Sie haben lediglich einen Nachteil: die Reaktionen basieren aus Belastungen, die unterhalb des Gebrauchslastniveaus liegen (müssen). Es wird lediglich ein kleiner Teil der gesamten Last-Verformungskurve analysiert (Abb. 2). Bei nichtlinearem Werkstoffverhalten bedeutet dies, dass die Ergebnisse nicht ohne weiteres extrapoliert werden können. Es verbleibt ein Unsicherheitsbereich, auch wenn ein nichtlineares Werkstoffgesetz angenommen wird.

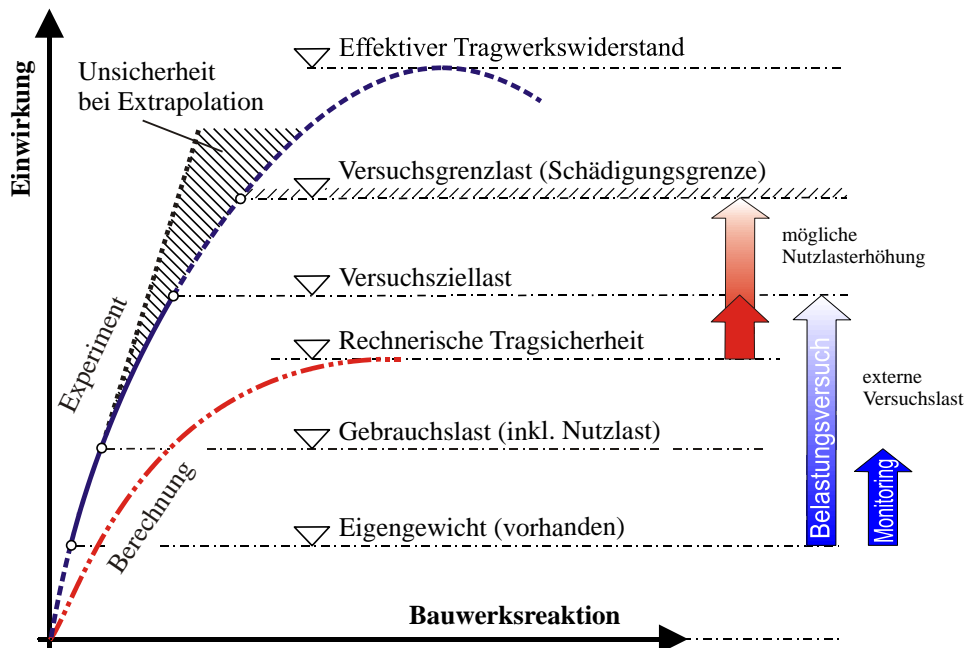


Abb. 2. Last-Reaktionskurve einer Struktur und ihre Analyse durch verschiedene Strategien

3.3 Belastungsversuche

Wenn trotz aller vorangegangenen Untersuchungen kein zufriedenstellendes Nachrechnungsergebnis erreicht werden kann, bleibt als letzte Möglichkeit der direkte experimentelle Nachweis ausreichender Tragsicherheit durch Belastungsversuche (s.a. Abschnitt 4.3.3 der Nachrechnungsrichtlinie). Nur durch eine selbstsichernde und fein regelbare Versuchslasterzeugung können Bauwerksreaktionen oberhalb des Gebrauchslastniveaus risikoarm identifiziert werden. Auch wenn die Durchführung an deutschen Brücken wiederum einer Zustimmung der Obersten Straßenbaubehörde der Länder bedarf, Belastungsversuche sind legalisiert: „Die Bemessung von Tragwerken darf durch Versuche unterstützt werden“ (Eurocode 2, Abschnitt 2.5 (01.2011)).

Das Forschungsteam EXTRA bestehend aus der Hochschule Bremen, TU Dresden, HTWK Leipzig und BU Weimar erforschte ab 1989 in zwei vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekten die wissenschaftlichen Grundlagen für Belastungsversuche im Bereich des Hoch- und Brückenbaus ([3]). Die Ergebnisse mündeten in der Herausgabe der DAfStb-Richtlinie für Belastungsversuche an Betonbauwerken im Jahr 2000 [4].

Um die Effizienz von Belastungsversuchen an Brücken zu erhöhen, wurde im Forschungsprojekt BELFA ein straßengebundenes Belastungsfahrzeug entwickelt, gebaut und erprobt, um Belastungsversuche an Brücken und Abwasserleitungen schnell und wirtschaftlich durchführen zu können [5]. Das Projekt wurde vom BMBF mit rund 1,85 Mio. Euro gefördert. Nach Beendigung des Forschungsprojektes überließ das BMBF das Belastungsfahrzeug der Hochschule Bremen, die es seitdem betreibt und mit oder ohne Bedienpersonal vermietet (www.belfa.eu).

Bis heute kam das Gerät bei Belastungsversuchen an 2 Sonderbauwerken und 43 Brücken mit insgesamt 78 Feldern im In- und Ausland zum Einsatz. Die Einsatzhäufigkeit blieb jedoch insgesamt deutlich unter den Erwartungen von mindestens 10 Einsätzen pro Jahr zurück, obgleich die durchgeführten Projekte äußerst erfolgreich waren. Entweder konnte das Bauwerk seiner ursprünglichen Nutzung trotz fehlender Unterlagen und Bauschäden wieder zugeführt werden, oder sogar eine höhere Brückenklasse empfohlen werden (Abb. 3, [6]).

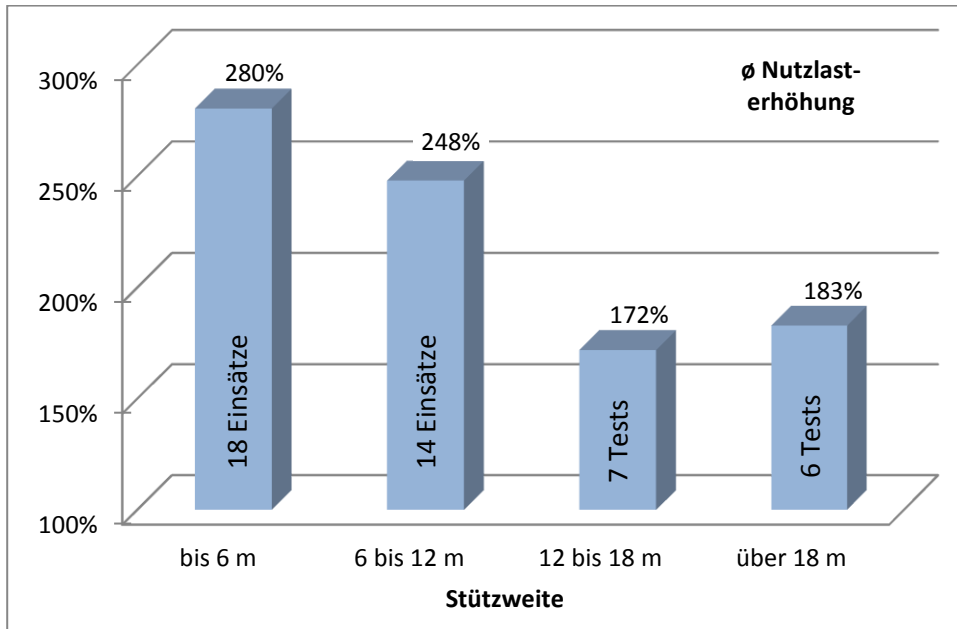


Abb. 3. Auswertung der erreichten Nutzlast-erhöhungen (100% = Ergebnis aus Nachrechnung)

Interessanter Weise konnten bei Brücken mit kurzen Stützweiten ($P \leq 12$ m) die größten Tragreserven erschlossen werden. Dabei war unerheblich, ob die Nachweise alle Brückenteile (Überbau, Auf- und Widerlager sowie Gründung) umfassten, welches Tragsystem vorhanden war (Platte, Trägerrost, Gewölbe) und aus welchem Material das Bauwerk erstellt worden war (Abb. 4). Mehr als die Hälfte aller getesteten Bauwerke stammen aus der Bauzeit zwischen 1945 und 1960.

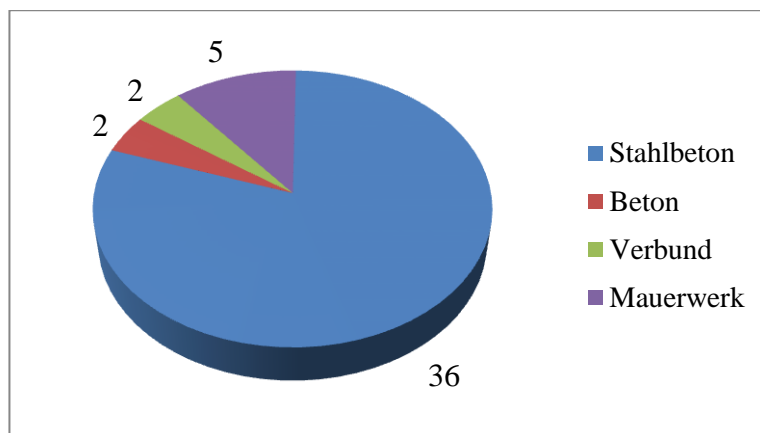


Abb. 4. Statistische Auswertung der getesteten Brücken (Baumaterial)

4. Zusammenfassung

Wenn die Tragsicherheit von Bestandsbauwerken auf der Grundlage rein rechnerischer Methoden nicht nachgewiesen werden kann, sind experimentelle Untersuchungen ein Weg, um vorhandene Tragreserven aufzudecken. Auch wenn die Nachrechnungsrichtlinie die Ermittlung von Messergebnissen am Bauwerk durch Probelastungen als genehmigungspflichtigen Sonderweg deklariert, belegen unsere Erfahrungen, dass durch Belastungsversuche Tragreserven an Brückenbauwerken erschlossen werden können, die durch eine Rechnung allein nicht nachweisbar gewesen wären.

Die experimentelle Tragsicherheitsanalyse erschließt demnach ein großes Einsparpotenzial und kann auch bei historischen Konstruktionen sinnvoll eingesetzt werden. Angesichts des erheblichen Ersatzinvestitionsbedarfs für Verkehrsinfrastruktur in unserem Land die Einsatzhäufigkeit erscheint es eine geeignete Alternative, Ersatzneubauten zu vermeiden oder zumindest die Investitionsentscheidungen auf spätere Zeiten zu verschieben.

Referenzen

- [1] BMBV (Hrsg.): Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie). Ausgabe: 05/2011
- [2] Opitz, Heinz: Tragfähigkeitsbewertung bestehender Massivbrücken durch Belastungsversuche. In: Wiss. Zeitschrift der TU Dresden 47 (1998), Heft 5/6, S. 119-124
- [3] Steffens, K. (Hrsg.): Experimentelle Tragsicherheitsbewertung von Brücken in situ zur Substanzerhaltung und zur Verminderung der Umweltbelastung; Kooperatives Forschungsprojekt 01-RA 9601/6 EXTRA II, Abschlussbericht, Hochschule Bremen, Eigenverlag 1999
- [4] DAfStb (Hrsg.) Richtlinie für Belastungsversuche an Betonbauwerken. DAfStb-Richtlinie. Berlin, Beuth Verlag, September 2000
- [5] Steffens, K. (Hrsg.): Entwicklung, Bau und Erprobung eines Belastungsfahrzeugs für Eisenbahnbrücken. Teil 1: Vorlauftforschung und -entwicklung. Kooperatives Forschungsprojekt 01 RA 0101 BELFA-DB, Abschlußbericht, Hochschule Bremen, Eigenverlag 2003
- [6] Gutermann, M. ; Schröder, C.: 10 Jahre Belastungsfahrzeug BELFA. Entstehung, Erfahrungen und Ausblick. In: Bautechnik, 88. Jahrgang, Heft 3, Ernst & Sohn, März 2011, S. 199-204