

Wasser- und Schifffahrtsdirektionen; BfG; RMD

nachrichtlich:

BSH, BOS, BRH,
Behörde für Wirtschaft der Freien Hansestadt Hamburg
- Amt für Strom- und Hafenanbau

Experimentelle Tragsicherheitsbewertung von Brücken

Anlage: Stellungnahme der Bundesanstalt für Straßenwesen vom April 1994

Beigefügte Stellungnahme der Bundesanstalt für Straßenwesen zu der "experimentellen Tragsicherheitsbewertung von Bauwerken" übersende ich zu Ihrer Unterrichtung.

Die experimentelle Tragsicherheitsbewertung kann nur ein Bestandteil der gesamtheitlichen Analyse des Tragverhaltens eines Bauwerks sein und darf deshalb aus Gründen der Bauwerkssicherheit nicht allein zur Beurteilung der Tragfähigkeit herangezogen werden. Das Experiment darf nur unter Beteiligung der BAW durchgeführt werden und bedarf in jedem Einzelfall meiner vorherigen Zustimmung.

Dieser Erlaß wird in die Erlaßsammlung 2104 unter Abschnitt 3.4 aufgenommen.

Im Auftrag
Tzschucke

Anlage zum Erlaß BW 21/14.61.31-7.08/59 Vm 94
vom 16.8.1994

Ergänzte und erweiterte Stellungnahme zur

"Experimentellen Tragsicherheitsbewertung von Bauwerken"

- BMFT-Forschungsvorhaben EXTRA (Projekt-Nr. 13 RG 9116)

April 1994

Aufgestellt:

Bundesanstalt für Straßenwesen

Dr.-Ing. Fritz Großmann

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Veranlassung	2
2. Beschreibung des Forschungsvorhabens EXTRA	2
2.1 Allgemeines	2
2.2 Arbeitsprogramm	3
2.3 Grundlagen des Verfahrens	4
2.3.1 Belastungstechnik	4
2.3.2 Meßtechnik	5
2.3.3 Theoretische Grundlagen	5
3. Stellungnahme zum Verfahren	10
3.1 Allgemeines	10
3.2 Problematik der Ermittlung des Gesamttragverhaltens	10
3.3 Problematik von Probelastungen	11
3.4 Mitwirkung rechnerisch als nichttragend anzusetzender Teile	13
3.5 Schub- und Verankerungsbrüche	14
3.6 Versagen durch Betondruckbruch	15
4. Informationen des BMFT	17
5. Schlußfolgerungen	18
6. Literatur	20

1. Veranlassung

Mit Schreiben StB 25/38.55.40-01/94 Va 93 vom 7. Juli 1993 bat das Bundesministerium für Verkehr (BMV) die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) um die Erstellung einer mit Hintergrund- und Faktenmaterial versehenen Stellungnahme zum BMFT-Forschungsvorhaben "EXTRA".

Diese Stellungnahme vom 27. September 1993 wurde dem BMV am 01. Oktober 1993 von der BASt mit Schreiben B - 6300 - 790/93 übersandt und auf der 70. Sitzung des Bund/Länder-Fachausschusses Brücken- und Ingenieurbau am 3./4. November 1993 inhaltlich vorgestellt und diskutiert.

Als Ergebnis der Diskussion wurde festgehalten, daß eine gesicherte Beurteilung der Beanspruchbarkeit eines Brückenbauwerkes nur über eine Gesamtanalyse des Tragverhaltens möglich ist, bei der das Verfahren "EXTRA" in bestimmten Fällen ein Bestandteil sein kann.

Nach der 70. Sitzung des Bund/Länder-Fachausschusses wurden der BASt weitere Unterlagen von den Forschungsnehmern - insbesondere der 2. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben - zur Verfügung gestellt. Außerdem wurden die in der Stellungnahme vom 27. September 1993 aufgeführten Kritikpunkte mehrfach telefonisch und am 15. Dezember 1993 bei einem Besuch in der BASt mit Prof. Steffens erörtert.

Die Sichtung der neuen Unterlagen und die geführten Gespräche ergaben, daß eine Überarbeitung der Stellungnahme vom 27. September 1993 zur Klarstellung einiger Sachverhalte sinnvoll wäre. Nachfolgend wird daher diese ergänzte und erweiterte Stellungnahme abgegeben. Sie ist nicht als Ergänzung der ursprünglichen Stellungnahme, anzusehen, sondern sie ersetzt diese.

2. Beschreibung des Forschungsvorhabens EXTRA

2.1 Allgemeines

Bei dem Forschungsvorhaben "EXTRA" handelt es sich um ein vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) mit 3,63 Mio DM gefördertes Forschungsvorhaben mit der Zielsetzung einer experimentellen Tragsicherheitsbewertung in-situ zum Nachweis der Standsicherheit von Bauteilen [1].

Projekträger ist das VDI-Technologiezentrum Düsseldorf, Physikalische Technologien.

Die kooperierenden Forschungsnehmer sind:

- Hochschule Bremen (federführend - Prof. Steffens)
- Technische Universität Dresden (Prof. Opitz)
- Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (Prof. Quade)
- Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar (Prof. Schwesinger).

Das Projekt wurde im September 1991 begonnen und soll im Februar 1995 abgeschlossen werden.

2.2 Arbeitsprogramm

Das Arbeitsprogramm umfaßt folgende Arbeitsschritte bzw. Aufgabengebiete:

1. Aufgabenklärung, Literaturrecherche
Detailplanung und Projektsteuerung für die Arbeitsgebiete
 - statische/quasistatische Diagnostik,
 - dynamische Diagnostik,
 - Schallemissionsanalyse
3. Geräteplanung und -investition
4. Ringversuch
5. Methodische Grundlagen sowie Laborerprobung
6. Pilotobjekte (Baustellenmessungen)
7. Theoriebildung
8. Umsetzung in Verfahrensregeln
9. Regionale Anwenderinformation
10. Veröffentlichung der Forschungsergebnisse/Fachtagungen

Nach schriftlicher Mitteilung der Forschungsnehmer befand sich das Projekt Ende 1993 in folgendem Bearbeitungsstand:

- Die Bearbeitung der Aufgabengebiete 1., 2., 3. und 6. ist abgeschlossen.
- Die Aufgabengebiete 4. und 5. befinden sich in einem fortgeschrittenen Bearbeitungszustand.
- Das Aufgabengebiet 7. "Theoriebildung" ist im wesentlichen abgeschlossen, wird aber im Laufe der weiteren Bearbeitung zu präzisieren sein.

- Die Umsetzung in Verfahrensregeln (Aufgabengebiet 8.) ist derzeit noch nicht relevant, wird jedoch eine weitere Aufgabe des Forschungsvorhabens bleiben.
- Zu den Aufgabengebieten 9. und 10. sind eine Reihe von Zeitungsartikeln [2], [3] und Pressemitteilungen des BMFT [4] zur Information der Öffentlichkeit erschienen.

2.3 Grundlagen des Verfahrens

2.3.1 Belastungstechnik

Ein Hauptbestandteil des Verfahrens ist das Aufbringen einer definierten Belastung auf einen bestimmten Bauwerksteil nach einer festgelegten Be- und Entlastungsfolge bis zu einer Größe, bei der noch keine Schädigungen auftreten sollen die die Brauchbarkeit des Bauwerkes für den weiteren Nutzungszeitraum beeinträchtigen.

Für viele Fälle kann diese Belastung über einen speziell entwickelten Belastungsrahmen aufgebracht werden, dessen technische Grundkonzeption in Abb. 1 dargestellt ist.

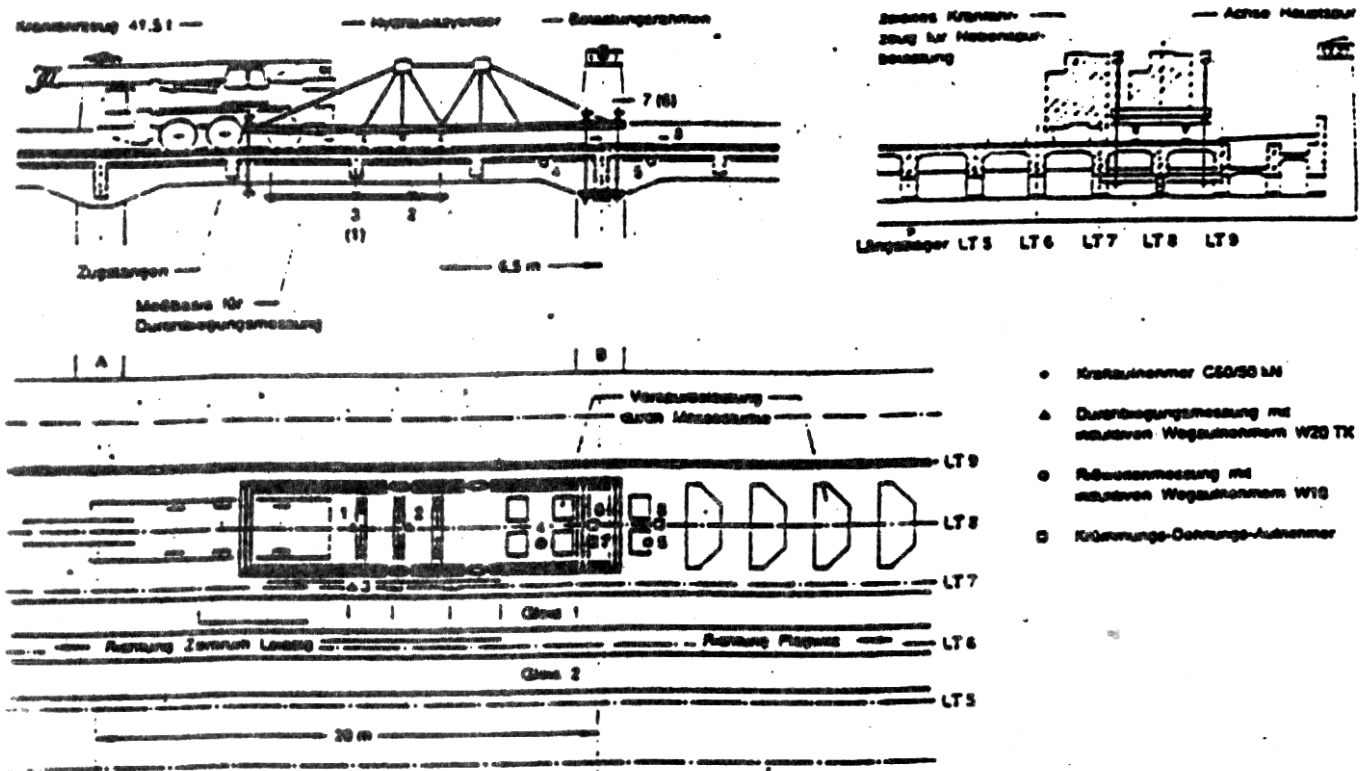


Abb. 1: Belastungsrahmen im Einsatz (aus [5])

Die Belastungen werden mit Hilfe von Hydraulikzylinder über den Belastungsrahmen in das Bauwerk eingeleitet. Der Belastungsrahmen ist an den Enden über Zugstangen, die an Querträgern an der Unterseite der zu untersuchenden Konstruktion befestigt sind, verankert. Es entsteht so ein geschlossenes Kraftsystem aus Belastung (Hydraulikzylinder) und Auflagerkräften (Zugstangen) im Bereich des aufstehenden Belastungsrahmens. Aus diesem System heraus gelangen bei alleiniger Belastung mittels Belastungsrahmen keine Kräfte und Momente an die übrigen Teile der Konstruktion.

Es besteht - je nach Aufgabenstellung - aber auch die Möglichkeit, weitere Belastungen außerhalb des Belastungsrahmens, z.B. durch Befahren mit definierten Fahrzeuglasten, aufzubringen. In diesen Fällen kann auch ein "offenes Kraftsystem" erzeugt werden mit entsprechenden Reaktionen in den Bauwerksbereichen außerhalb des Belastungsrahmens.

2.3.2 Meßtechnik

Nach [5] werden die über die Belastungseinrichtung eingeleiteten Kräfte mittels elektrischer Kraftaufnehmer gemessen und gleichzeitig die Durchbiegungen der Brücke an den Unterseiten der Längsträger (hier LT 7 und LT 8) sowie die Rißbreitenänderungen an vorhandenen Rissen mit Hilfe von induktiven Wegaufnehmern aufgenommen. Ergänzend werden in der Regel auch Stahldehnungen, Betonstauchungen und Schallimpulse meßtechnisch erfaßt.

Die Ermittlung der Betondehnungen im Stützenbereich erfolgt mittels Krümmungs-Dehnungs-Aufnehmer.

Sämtliche Meßwerte werden von einer Vielstellenmeßanlage erfaßt, die on-line an einen PC angeschlossen ist und von diesem über spezielle Software gesteuert wird [5]. Der Vorteil der on-line Erfassung besteht u.a. darin, daß die aufgenommenen Meßwerte direkt zur Steuerung der aufzubringenden Belastung verwendet werden, wodurch eine sehr genaue Steuerung der aufgebrachten Belastung ermöglicht wird.

2.3.3 Theoretische Grundlagen

Alternativ und/oder ergänzend zum rechnerischen Nachweis soll beim Verfahren EXTRA die Tragfähigkeit durch experimentelle Erprobung im Sinne einer Probelastung nachgewiesen werden.

Dabei soll die Probelastung nur bis zu einer Höhe aufgebracht werden, bei der nach einer Be- und Entlastungsfolge noch keine Schädigungen auftreten, die die Gebrauchsfähigkeit des Bauwerkes oder Bauwerkteiles während der verbleibenden Nutzungsdauer beeinträchtigen.

Die Forschungsnehmer haben durch mündliche und schriftliche Ergänzungen zu der unter 6. zitierten Literatur darauf hingewiesen, daß es nicht darum geht, von der aufgebrachten Belastung auf die Beanspruchbarkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu schließen.

Die anhand der aufgebrachten Belastung angestellten Sicherheitsbetrachtungen werden entsprechend dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept der EUROCODES durchgeführt. Der Nachweis einer ausreichenden Sicherheit ist nach diesem Sicherheitskonzept erbracht, wenn Gleichung (1) eingehalten wird.

$$S_d < R_d \quad (1)$$

S_d = Bemessungswert der Beanspruchung aus der Kombination aller Einzeleinwirkungen (Fd)

R_d = Bemessungswert der Widerstände

Dabei gilt für die Grundkombination die Definition

$$S_d = \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2)$$

mit

$\gamma_{G,j}$ = Teilsicherheitsbeiwerte der ständigen Einwirkungen

$\gamma_{Q,i}$ = Teilsicherheitsbeiwerte der veränderlichen Einwirkungen

$G_{k,j}$ = Charakteristische Werte der ständigen Einwirkungen

$Q_{k,i}$ = Charakteristische Werte der veränderlichen Einwirkungen

$\psi_{0,i}$ = Kombinationsbeiwerte

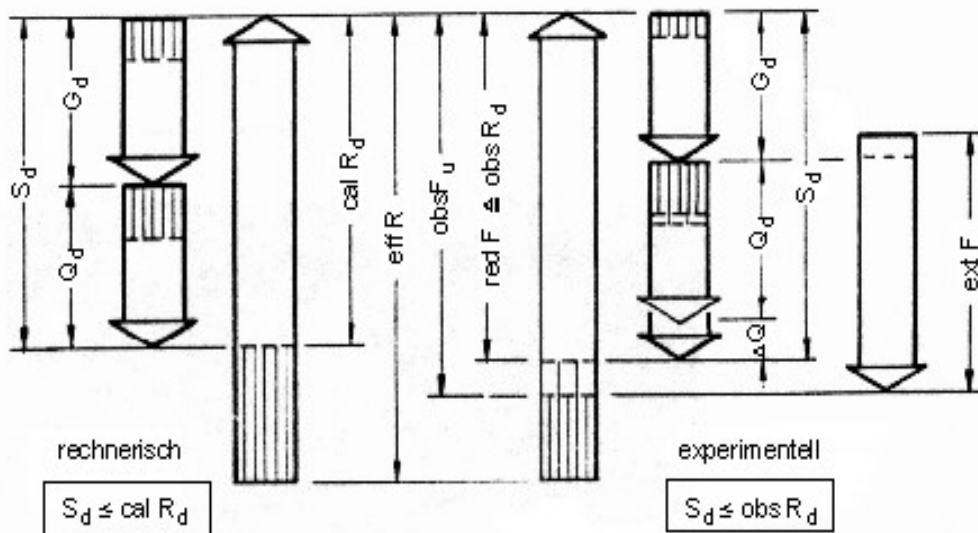
und (3)

$$R_d = \left(R \frac{X_k}{\gamma_{MX}}, \frac{a_k}{\gamma_{Ma}}, \dots \right) \quad (3)$$

mit

- X_k = Charakteristischer Wert einer Materialeigenschaft
- a_k = Charakteristischer Wert einer geometrischen Größe
- γ_{MX}, γ_{Ma} = Teilsicherheitsbeiwerte für Materialeigenschaften

Die dem Forschungsvorhaben zugrunde liegende Betrachtungsweise bezüglich des Sicherheitskonzeptes im Vergleich von rechnerischem und experimentellem Nachweis ist in Abb. 2 (aus [10]) dargestellt.



- | | |
|---|---|
| G_d = Bemessungswert der strändigen Einwirkungen (Eigengewicht) | $cal R_d$ = Bemessungswert des rechnerischen Widerstandes |
| Q_d = Bemessungswert der veränderlichen Einwirkungen (Verkehrslast) | $obs F_u$ = experimentell ermittelte Grenzlast |
| ΔQ = nutzbarer Verkehrslastzuwachs | $red F$ = reduzierte Grenzlast entspricht experimentell ermittelten Bemessungswert des Widerstandes $obs R_d$ |
| S_d = Bemessungswert der Einwirkungen | $ext F$ = Prüflast |
| $eff R$ = effektiver Widerstand | = enthaltener Sicherheitsanteil |

Abb. 2: Gegenüberstellung der rechnerischen und experimentellen Nachweise der Tragfähigkeit

In Abb. 2 sind die jeweiligen Sicherheitsanteile durch Schraffur gekennzeichnet. Man sieht, daß der nutzbare Verkehrslastzuwachs ΔQ beim experimentellen Nachweis durch eine Verminderung des rechnerisch zugrunde gelegten Sicherheitsanteiles des Widerstandes, nämlich $eff R - cal R_d$, erreicht wird. Es wird angenommen, daß diese Verminderung des rechnerischen Sicherheitsanteiles gerechtfertigt sei, da das Bauwerk über

rechnerisch nicht erfaßbare Tragfähigkeitsreserven verfüge und die Eigenschaften der Widerstandsseite genauer feststellbar seien.

Als Kernbeziehung für den experimentellen Tragsicherheitsbeiwert wird Gleichung (4) verwendet. Inhaltlich, aber in anderer Schreibweise, entspricht (4) der Gleichung (2) aus

$$\gamma_{Q,i} \cdot \psi_i \cdot Q_{k,i} \cdot \gamma_n \leq \text{obs } F_u \cdot \Pi_{jm} \quad (4)$$

obs F_u = Experimentell ermittelte Grenzbelastung, ohne während der Prüfung wirkende ständige Lasten

γ_n = Wertigkeitsfaktor für das Bauwerk

Π_{jm} = Produkt der Anpassungsfaktoren, die im Nutzungszeitraum auftretenden Einflüsse, die bei der Prüfung nicht erfaßt werden

Für Brücken wird man in der Regel $\gamma_n = 1$ wählen und auch den Faktor Π_{jm} in erster Näherung zu 1 setzen.

Die Gleichung (4) reduziert sich dann auf

$$\gamma_{Q,i} \cdot \psi_i \cdot Q_{k,i} \leq \text{obs } F_u \quad (5)$$

Gleichung (5) sagt aus, daß die ungünstigste Kombination der veränderlichen Lasten geringer sein muß als die experimentell ermittelte Grenzlast abzüglich der bei der Prüfung wirkenden ständigen Lasten.

Teilsicherheitsbeiwerte für Materialien werden bei diesen Betrachtungen nicht berücksichtigt, da angenommen wird, daß bei den Probelastungen die vorhandenen Materialeigenschaften insgesamt und originaltreu wirken.

In [8] wird für das Verfahren ausgeführt, daß die Belastungen bei der experimentellen Erprobung eines Bauwerkes oder Teilen eines Bauwerkes weit über den Gebrauchslasten liegen. Damit dann keine bleibenden Gefügezerstörungen des Betons auftreten, wird bei der Festlegung der Grenzwerte der Betonrandspannungen, die im Versuch maximal erreicht werden dürfen, angenommen; daß der Beton sich noch in der Phase der stabilen Rißbildung befinden muß. D.h. die bezogene Druckspannung soll unterhalb $0,77 \sigma_0 / R_D$ liegen.

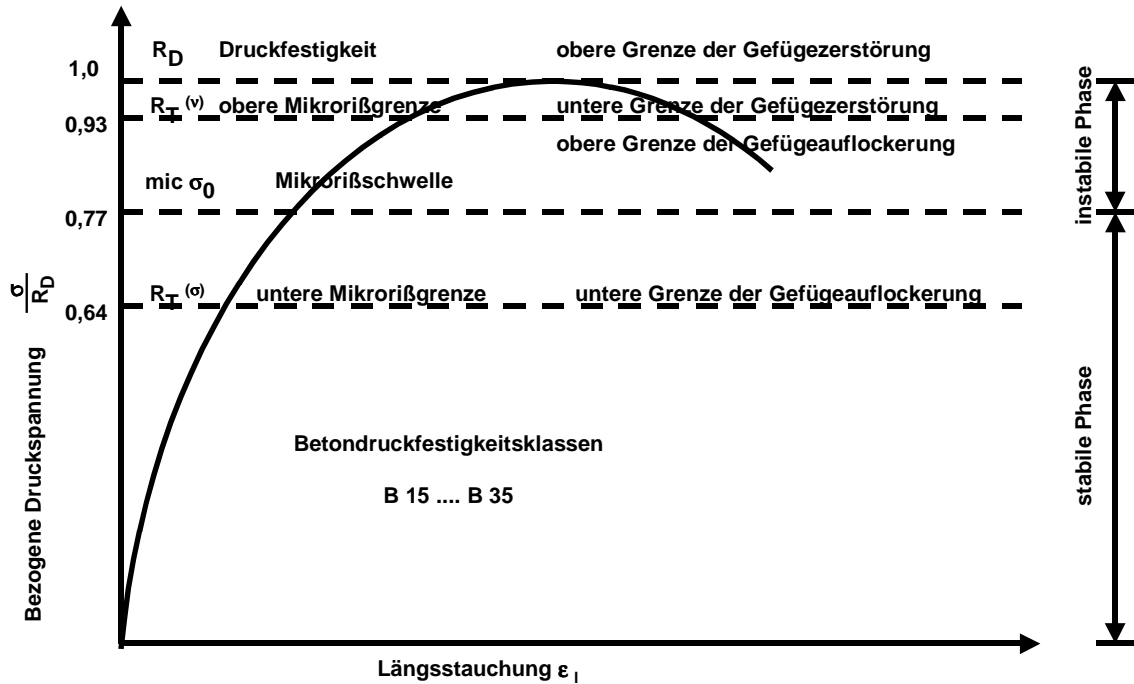


Abb. 3: Zerstörungsvorgänge im Beton bei Mikrorißbildung

Hinsichtlich der Stahldehnungen wird davon ausgegangen, daß die Stahldehnungen die Streckgrenzen nicht überschreiten. Die verwendete Meßtechnik soll nach [8] so genau sein, daß diese Voraussetzung eingehalten werden kann. Als Forderung für die Stahldehnung gilt nach [8] also:

$$\varepsilon_s \leq \gamma_M \cdot \frac{f_{yk}}{E_s} - \varepsilon_{s,0} \quad (6)$$

ε_s = Stahlgrenzdehnung

f_{yk} = charakteristische Festigkeit des Betonstahls an der Streckgrenze

E_s = Elastizitätsmodul des Betonstahls

$\varepsilon_{s,0}$ = rechnerisch ermittelte Dehnung des Betons infolge Vorlast sowie während der Prüfung wirkender ständiger Lasten der Bauwerksteile und Versuchsaufbauten

Nach Gleichung (6) wird also rechnerisch eine Differenzstahldehnung ε_s bestimmt, die beim Versuch nicht überschritten werden darf. Es soll schon an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß es sich dabei um ein $\Delta \varepsilon$ handelt und nicht um eine absolute Grenzdehnung des Stahls.

3. Stellungnahme zum Verfahren

3.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die wesentlichen Kritikpunkte des im Abschnitt 2 beschriebenen Verfahrens zusammengestellt und im Detail diskutiert.

3.2 Problematik der Ermittlung des Gesamttragverhaltens

Bei alleinigem Einsatz eines Belastungsrahmens wird experimentell die Tragfähigkeit von Bauwerks- bzw. Bauteilbereichen ermittelt; damit gelten die ermittelten Belastbarkeiten und Verformungen grundsätzlich nur für den jeweils untersuchten Ausschnitt aus dem Bauwerk.

Wird dabei bereichsweise eine erhöhte Tragfähigkeit nachgewiesen, so darf daraus nicht geschlossen werden, daß auch das Gesamtsystem des Bauwerks diese erhöhte Tragfähigkeit besitzt.

Zur Beurteilung der Tragfähigkeit des Gesamtsystems muß hingegen zunächst ein möglichst wirklichkeitsgetreues Modell der Tragwirkung des Gesamttragwerkes aufgestellt werden. Dies erfordert umfangreiche Verformungsmessungen an den Über- und Unterbauten unter definierten Lasten; dazu kann in bestimmten Anwendungsfällen auch ein bereichsweises Aufbringen mit einem Belastungsrahmen angezeigt sein. Anhand des ermittelten wirklichkeitsnahen Modells sind dann evtl. ergänzende Berechnungen auf der Basis des geltenden Regelwerkes, insbesondere unter Berücksichtigung der DIN 1072 - Lastannahmen für Straßenbrücken - durchzuführen, die zu einer Bestimmung der Tragfähigkeit der Brücke und damit zu einer Einstufung in Lastenklassen führen. Die alleinige bereichsweise Belastung mittels eines Belastungsrahmens kann diese Vorgehensweise und die Gesamtheit der durchzuführenden Untersuchungen nicht ersetzen.

Bei der punktuellen bzw. bereichsweisen Untersuchung durch Probelastung mit dem Belastungsrahmen ist es nicht möglich, alle im Bauwerk vorhandenen Bereiche mit minderer Tragfähigkeit zu erkennen. Solche, mit Defiziten versehene Bereiche oder Konstruktionsteile bestimmen aber letztlich die Beanspruchbarkeit der Konstruktion. Wenn allerdings Schwachstellen bekannt und eindeutig lokalisierbar sind, ist mittels

einer Lastaufbringung durch den Belastungsrahmen in diesen Bereichen eine Aussage über das bereichsweise Tragverhalten möglich. Diese Nachweise können und müssen dann natürlich in die gesamtheitliche Analyse des Gesamttragverhaltens des Bauwerks einfließen.

Die bereichsweise Probelastung mittels Belastungsrahmen kann somit Bestandteil der Analyse sein; sie darf aber aus Gründen der Bauwerkssicherheit und daraus folgend auch aus rechtlichen Gründen nicht alleine zur Beurteilung der Beanspruchbarkeit herangezogen werden.

In rechtlicher Hinsicht sei hier insbesondere auf das Bundesfernstraßengesetz, § 4 hinzuweisen, in dem festgelegt ist, daß die Straßenbauverwaltung alleine für Sicherheit und Ordnung der Bauwerke in ihrem Geschäftsbereich verantwortlich ist. Wie weit, dabei die gerichtliche Auffassung von der Unterhaltungs- und Überwachungspflicht geht, belegt das Urteil des BGH vom 21.1.1988 (III ZR 66/86, Hamm) zum Einsturz einer kleinen Hängebrücke über den Dortmund-Ems-Kanal (sog. "Hessenweg-Urteil") infolge des Versagens einer Verankerung bei Befahrung mit einem Tanklastzug [11]. Dort war nur eine von vier Verankerungen freigelegt worden und von dem guten vorgefundenen Zustand auf den Zustand aller Verankerungen geschlossen worden. Der BGH hat ausgeführt: "Aus dem Zustand nur einer freigelegten Brückenverankerung durfte nicht der Schluß gezogen werden, daß die übrigen Verankerungsstellen von dem vorgefundenen Zustand nur unwesentlich abwichen."

Das Urteil hat eine grundsätzliche Bedeutung, denn es weist eindeutig auf eine umfassende Prüfung aller sicherheitsrelevanten Bauteile hin. Insofern wäre auch die Bewertung der Tragfähigkeit einer Brücke nur auf der Basis bereichsweiser Prüfungen rechtlich nicht vertretbar.

3.3 Problematik von Probelastungen

Bei dem Verfahren EXTRA wird eine Probelastung aufgebracht. Als grundlegendes Problem stellt sich dabei die Festlegung der Grenzbelastung heraus.

Wie in [8] ausdrücklich ausgeführt wird, gibt es hierbei einen Zielkonflikt:

Einerseits ist es erstrebenswert, so weit wie möglich an den maßgebenden Grenzzustand der Tragfähigkeit heranzukommen, damit alle Tragreserven ausgenutzt werden, andererseits ist es schwierig, dabei gleichzeitig die Bedingung einzuhalten, daß bei der Prüfung keine, die künftige Nutzung beeinträchtigenden Schädigungen eintreten dürfen. Insofern birgt eine Probelastung immer ein gewisses Risiko der Schädigung des Bauwerks in sich, wie nachfolgend weiter erläutert wird.

Das Last-Verformungsverhalten von Stahlbetonkonstruktionen ist grundsätzlich nichtlinear, wobei der Kurvenverlauf davon abhängt, ob der Grenzzustand der Tragfähigkeit zuerst durch Stahlfließen oder durch Betondruckbruch eintritt. In Abb. 4 ist als Beispiel das Last-Verformungsverhalten eines Stahlbetonbauteiles bei maßgebendem Betondruckbruch qualitativ dargestellt.

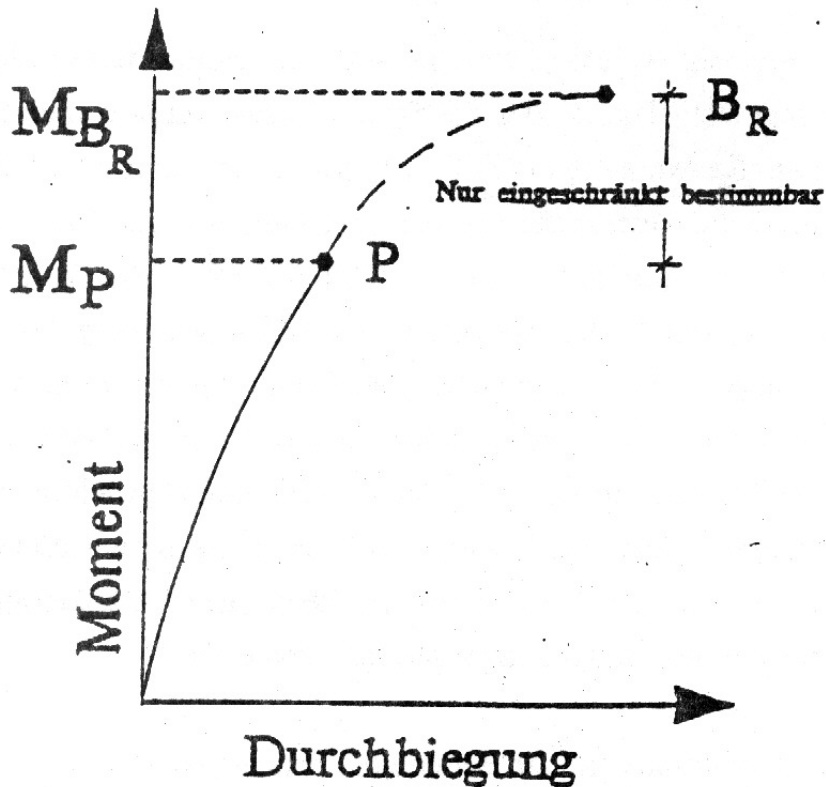


Abb. 4 : Last-Verformungsdiagramm bei Betondruckbruch

Für ein zu untersuchendes Stahlbetonbauteil ist zunächst der Verlauf der Last-Verformungslinie unbekannt. Durch eine Probelastung mit kontinuierlicher Steigerung der Belastung kann der Verlauf bis zur Beanspruchung M_P eindeutig bestimmt werden. Der Grenzzustand der Tragfähigkeit (Beanspruchung M_{B_R}) könnte aber nur unter Annahme eines weiteren Kurvenverlaufes zwischen den Punkten P und B_R bestimmt werden. Um diese Ungenauigkeiten möglichst zu reduzieren, wird man versuchen, die Probelastung so weit wie möglich zu steigern.

Beim Verfahren EXTRA wurde durch die Forschungsnehmer schriftlich und mündlich darauf hingewiesen, daß es nicht beabsichtigt ist., auf diese Weise den Grenzzustand

der Tragfähigkeit zu bestimmen. Es soll vielmehr nur die Grenzlast (Punkt P) bestimmt werden, die noch keine die künftige Nutzung beeinträchtigende Schädigung einleitet. Wenn es gelingt, hinreichende Kriterien des Bauwerks-, Bauteil- und Baustoffverhaltens für den Punkt P festzulegen, könnte man diesen Weg gehen. Man muß aber immer im Auge behalten, daß der rechnerische Sicherheitsanteil $\text{eff } R - \text{cal } R_D$ durch Steigerung von $\text{obs } F_u$ über $\text{cal } R_D$ hinaus verringert wird.

In vielen Fällen wird man die rechnerische Verringerung des Sicherheitsabstandes zulassen können, da das Bauteil- und Baustoffverhalten durch die Probelastung genauer einschätzbar ist und man daher die rechnerischen Sicherheiten auf der Materialseite absenken kann. Nur sollte man das nicht generell tun, sondern die Entscheidung in jedem Einzelfall neu treffen.

Die Forschungsnehmer führen aus, daß vor einer Probelastung mit Fachkenntnis theoretisch untersucht werden muß, welche Schäden durch die experimentelle Erprobung in der Konstruktion auftreten können, wie sie meßtechnisch zu erfassen sind und dadurch rechtzeitig zu verhindern sind.

3.4 Mitwirkung rechnerisch als nichttragend anzusetzender Teile

Nach den Ausführungen in [8] wird durch das Vorgehen im Rahmen von EXTRA das "Bauwerksteil in seinem wirklichen, objektiv existierenden System" geprüft. Diese Aussage ist insoweit richtig, als für das untersuchte Teilsystem ein "wirkliches" Tragverhalten untersucht wurde; allerdings unter Ansatz aller rechnerisch als nichttragend anzusetzender Teile (bei Brücken Fahrbahnbelag und Kappen). Es ist allgemein bekannt, daß die Mitwirkung des Fahrbahnbelages und der Kappen zu einer deutlichen Erhöhung der Belastbarkeit führt. Nach den gültigen Regelwerken darf eine mittragende Wirkung solcher rechnerisch nicht tragender Teile jedoch nicht angesetzt werden.

Diese Forderung ist begründet, da

- Belag und Kappen wegen Erneuerung in gewissen Abständen entfernt werden,
- die mittragende Wirkung von Belag und Kappen sicherheitstheoretisch nicht quantifizierbar ist,
- der Grad der mittragenden Wirkung in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur stark schwanken und auch gegen Null gehen kann.

So ist z.B. die tragfähigkeitssteigernde Wirkung des Belages temperaturabhängig. Bei tiefen Temperaturen (hoher E-Modul des Asphalts) kann sie beträchtlich sein, während sie bei hohen Temperaturen (E-Modul sehr gering) praktisch nicht vorhanden ist.

Wegen der objektiv gegebenen, sicherheitstheoretisch jedoch nicht ansetzbaren Mitwirkung von Belag und Kappen wird bei der experimentellen Bestimmung die Traglast immer um einen Anteil ΔF zu hoch bestimmt.

Um die sicherheitstheoretisch vertretbare Belastung zu ermitteln, müßte von der experimentell bestimmten Last $obs F$ immer dieses ΔF subtrahiert werden. Es gilt dann:

$$obs F_{\text{ansetzbar}} = F - \Delta F \quad (7)$$

Beim Verfahren EXTRA wird ΔF im Hochbau in der Regel nicht abgezogen, sondern als dauernd wirkender Anteil der Belastbarkeit angesehen.

Im Brückenbau kann diesem Vorgehen nicht zugestimmt werden. Es muß vielmehr sichergestellt sein, daß die mittragende Wirkung der Kappen und des Belages nicht in die Ermittlung der Grenzlast eingeht.

Die Forschungsnehmer haben dazu mitgeteilt, daß diese nicht ständig gesicherten Mitwirkungen rechnerisch abgeschätzt und ihre Wirkung durch erhöhte Testlast kompensiert werden. Es stellt sich dann jedoch die Frage, wie sich sicherheitstheoretisch eine "exaktere" experimentelle Bestimmung der Grenzlast mit einer rechnerischen Abschätzung eines Teiles der im Experiment aufgebrachten Last verträgt. Über diesen Punkt sollte nochmals intensiv nachgedacht werden. Zum jetzigen Zeitpunkt muß aus Gründen der Sicherheit eine deutlich auf der sicheren Seite liegende rechnerische Abschätzung von ΔF vorgenommen werden. Ob es möglich ist, ΔF experimentell zu ermitteln, ist bisher ungeklärt.

3.5 Schub- und Verankerungsbrüche

In die Betrachtung der Grenzzustände der Tragfähigkeit wird beim Verfahren EXTRA auch die Möglichkeit des Versagens durch Schubbruch oder Verankerungsbruch einbezogen.

Nach [9] ist man sich im Rahmen von EXTRA der dabei auftretenden Probleme bewußt und sieht es als spezielle Aufgabe an, Meßverfahren und -methoden zu entwickeln, die einen möglichen plötzlichen Schub- oder Verankerungsbruch rechtzeitig signalisieren, so daß der Versuch abgebrochen werden kann.

Zum jetzigen Zeitpunkt scheinen diese Untersuchungen aber noch nicht soweit gediehen zu sein, daß in allen Fällen mit Sicherheit ein Schub- oder Verankerungsbruch rechtzeitig erkannt werden kann.

Wie in [12] angegeben, laufen zu diesem Thema weitere Untersuchungen.

3.6 Versagen durch Betondruckbruch

Bei der Festlegung der Grenzwerte der Betonstauchung wird entsprechend [8] beim Verfahren EXTRA davon ausgegangen, daß sich bei maximaler Probelastung obs F_u der Beton noch in der Phase der stabilen Mikrorißbildung (siehe Abb. 5) befindet

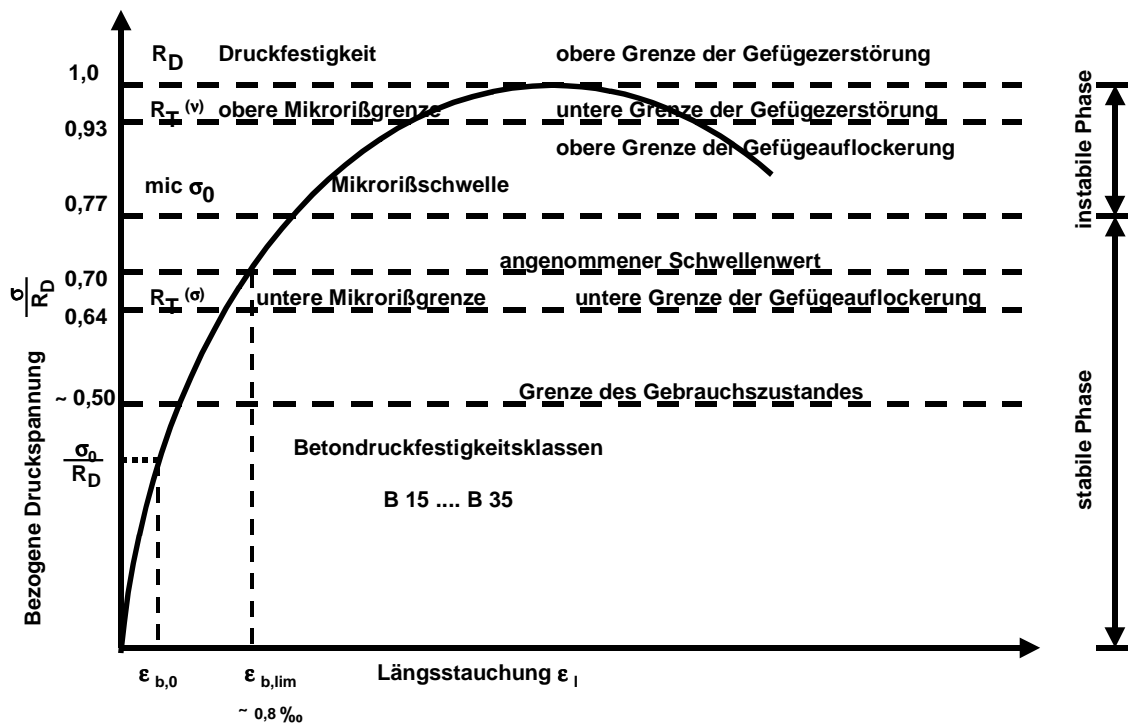


Abb. 5: Zerstörungsvorgänge im Beton bei Druckbeanspruchung

Unter Berücksichtigung eines 10 %igen Sicherheitsabstandes zur instabilen Rißöffnungsphase ($0,77 \sigma_0 / R_D$) wird zur Bestimmung der einzuhaltenden bezogenen Betondruckspannung $0,7 \sigma_0 / R_D$ als Schwellenwert gewählt; dies entspricht für die Grenzbetonstauchung etwa einem Wert von $\epsilon_{b,lim} = 0,8 \text{‰}$.

Bei der Prüfung ist die Bedingung

$$\epsilon_b < \epsilon_{b,lim} - \epsilon_{b,0} \quad (8)$$

einzuhalten.

Während des Versuchs kann nur die Differenzdehnung $\Delta \varepsilon$ gemessen werden, da sich der Beton bei Belastungsbeginn durch Vorlast (ständige Lasten) schon in einem Dehnungszustand $\varepsilon_{b,0}$ befindet. Um die Grenze $\varepsilon_{b,lim}$ sicher einhalten zu können, müßte $\varepsilon_{b,0}$ hinreichend genau experimentell bestimmbar sein, was bisher aber nicht der Fall ist.

Die Möglichkeiten der experimentellen Bestimmung von $\varepsilon_{b,0}$ werden im Rahmen von EXTRA derzeit untersucht. Es bleibt offen, ob ein hinreichend genaues Verfahren entwickelt werden kann. Solange $\varepsilon_{b,0}$ nicht hinreichend genau bestimmbar ist, besteht ein gewisses Risiko, daß der angenommene Grenzwert $\varepsilon_{b,lim}$ überschritten wird und der Zustand der Mikrorißbildung in die instabile Phase gerät.

Entsprechend dem derzeit geltenden nationalen Sicherheitskonzept wird für den Grenzzustand der Tragfähigkeit des Betons nach DIN 1045 ein globaler Sicherheitsbeiwert von $\gamma = 2,10$ angesetzt. Schnittgrößen im Gebrauchszustand ergeben sich dann durch Division mit $\gamma = 2,1$.

Bezieht man diesen Sachverhalt auf die bezogene Druckspannung in Abb. 5, so ergibt sich angenähert als Grenzbeanspruchung im Gebrauchszustand:

$$\sigma_0 / R_D = 1/2,1 = 0,48 \sim 0,5 \quad (9)$$

Wie Abb. 5 zeigt, wird durch die experimentelle Bestimmung mit dem Verfahren EXTRA diese Grenze des Gebrauchszustandes überschritten.

Alle Belastungen oberhalb der unteren Mikrorißgrenze erzeugen Mikrorisse. Selbst wenn diese Risse sich in der stabilen Rißöffnungsphase befinden, sind sie doch als Schädigung des Betons zu werten, da sich auch die Rißlänge zunächst stabiler Risse infolge von Lastwechseln bis zur kritischen Rißlänge verlängern kann. Der Riß erreicht dann die instabile Phase und öffnet sich spontan.

Zur Aufrechterhaltung der Gebrauchstauglichkeit auf längere Zeit darf die Probelastung nicht über die untere Grenze der Mikrorißbildung hinaus gesteigert werden.

Soll eine Brücke nur noch für eine Restnutzungsdauer von wenigen Jahren in Betrieb gehalten werden, so könnte eine maßvolle Überschreitung der Probelastung über die Grenze der Mikrorißbildung hinaus toleriert werden, da dann während der kurzen

Restnutzungsdauer die instabile Phase der Rißöffnung mit großer Wahrscheinlichkeit nicht erreicht wird. Die Entscheidung darüber sollte aber in jedem Einzelfall erneut getroffen werden.

4. Informationen des BMFT

In den Pressemitteilungen des BMFT zum Forschungsvorhaben EXTRA [4] wird behauptet: "Bei derartigen Untersuchungen hat sich im Gegensatz zur Standsicherheitsberechnung bisher gezeigt, daß in ca. 95 Prozent aller Fälle das Bauwerk ohne weitere Baumaßnahme für die vom Bauherrn gewünschte Nutzung ausreichend tragfähig ist."

Diese Behauptung trifft nicht zu und behindert unnötig die Bestrebungen, durch angepaßte Instandsetzungsmaßnahmen die Substanz der Brücken in dem für die Sicherheit und Ordnung erforderlichen Zustand zu bringen.

Schriftliche Mitteilungen der Forschungsnehmer betonen, daß sich der Wert von 95 nicht auf Brücken, sondern auf die Ergebnisse der aussichtsreich ausgewählten Beispiele aller untersuchten Bauwerke beziehen. Die weitaus überwiegende Zahl der untersuchten Objekte stammte aber aus dem Hochbau, für den die dort getroffenen Entscheidungen nicht auf den Brückenbau übertragbar sind.

Die Ausführungen zur Klinger-Brücke in [5] zeigen zudem eindeutig, daß aufgrund der starken Schäden am Bauwerk (Durchfeuchtung der Fahrbahnplatte, unzureichende Betondeckung, große Ribreiten, Lagerschäden) ganz erhebliche Instandsetzungsmaßnahmen mit entsprechend hohen Kosten unumgänglich sind, um die "nachgewiesene Tragfähigkeit dauerhaft zu sichern". Hierzu zählen nach [5] unter anderem die Instandsetzung von Abdichtung und Fahrbahnbelag, das Einbringen einer zusätzlichen Abreibbewehrung für die Fahrbahnplatte im Stützenbereich, das Fällen der Risse sowie der Korrosionsschutz der Bewehrung.

Das Beispiel der Klinger-Brücke läßt sich wegen des desolaten Zustandes vieler Bauwerke in den Neuen Bundesländern verallgemeinern. Selbst wenn es in Einzelfällen möglich sein sollte, Tragfähigkeitsreserven zu mobilisieren, so bedarf es dazu nachfolgend immer einer Sicherung der Dauerhaftigkeit durch Instandsetzungsmaßnahmen. Es ist nicht erkennbar, wo bei dieser Situation wesentliche Einsparmöglichkeiten liegen.

5. **Schlußfolgerungen**

Im Abschnitt 3 wurde dargestellt, daß es einige Punkte gibt, die einer Anwendung des Verfahrens EXTRA im Brückenbau derzeit Grenzen setzen. Grundsätzlich ist aber festzustellen, daß die Entwicklung der Online-Meßtechnik im Rahmen des Forschungsvorhabens die Möglichkeit bietet, Probelastungen sehr genau gesteuert aufzubringen. Dieser Vorteil kann bei Untersuchungen der Tragfähigkeit von Brücken genutzt werden.

Bei Einsatz des Verfahrens sind folgende Punkte zu beachten:

- Zur Bewertung der Tragfähigkeit ist eine Analyse des Gesamttragverhaltens des Brückenbauwerkes erforderlich. Das Verfahren EXTRA kann dabei Bestandteil dieser Analyse sein.
- Von der alleinigen Untersuchung der Tragfähigkeit einzelner Bereiche darf nicht auf die Tragfähigkeit des Gesamtsystems geschlossen werden.
- Vor Anwendung des Verfahrens ist dessen Einsatzmöglichkeit für den jeweiligen Einzelfall genau zu untersuchen. Dabei ist insbesondere zu ermitteln, welche Schäden durch die experimentelle Untersuchung in der Konstruktion entstehen könnten und wie diese zu verhindern sind.
- Das Verfahren darf nur bei Bauwerken angewendet werden, bei denen rechnerisch nachgewiesen wurde, daß dem Versagen eine Vorankündigung vorausgeht. Bei Bauwerken mit Sprödbruchgefahr sollte es nicht angewendet werden.
- Die Mitwirkung rechnerisch als nichttragend anzusetzender Bauteile (z.B. Kappen und Belag) darf bei der Ermittlung der Grenzlaster nicht berücksichtigt werden. Um dies zu gewährleisten, ist die mittragende Wirkung solcher Bauteile auf der sicheren Seite liegend rechnerisch zu bestimmen und von der ermittelten Grenzlaster als ΔF zu subtrahieren.
- Die rechtzeitige Ankündigung möglicher Schub- und Verankerungsbrüche muß durch Festlegung hinreichender Kriterien des Bauteil- und Bauwerksverhaltens sowie durch Anwendung von zuverlässigen Meßverfahren und -anordnungen gewährleistet sein.

- Die Probelastung darf in der Regel nicht über die untere Grenze der Mikrorißbildung hinaus gesteigert werden. Soll eine Brücke nur noch für eine Restnutzungsdauer von wenigen Jahren in Betrieb gehalten werden, so kann eine maßvolle Überschreitung der unteren Grenze der Mikrorißbildung nach Absprache mit dem Bauherrn toleriert werden.

Aufgestellt:

(Dr. - Ing. F. Großmann)

Bergisch Gladbach, 22.04.1994

6. Literatur

- [1] Steffens, K.:
Vorstellung und Begründung des Forschungsvorhabens
in
1. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben "Experimentelle Tragsicherheitsbewertung von
Bauwerken in situ zum Zwecke der Substanzerhaltung oder Umnutzung",
S.5-14
- [2] N.N.: Brücken unter Druck
in
"Die Zeit" vom 03.09.1993
- [3] Wallerang, E.:
Experimenteller Standsicherheitsnachweis für alte Bauten -
Viele ostdeutsche Brücken können erhalten bleiben -
Hydraulische Pressen testen die Konstruktion
in
VDI Nachrichten, 03. September 1993
- [4] Der Bundesminister für Forschung und Technologie, Pressereferat
Forschungsergebnisse
- Experimentelle Untersuchung der Tragfähigkeit von Brücken auf dem Prüfstand -
Bonn, 27. Mai 1993
- [5] Quade, J. Fiedler, L. Reuschel, L. und Tschötschel, M.:
Experimentelle Ermittlung des Trag- und Verformungsverhaltens der Klingerbrücke in
Leipzig
Meßtechnische Briefe 29 (1993), Heft 1, S. 5-9

- [6] Trötschel, M.:
Statische Messung an einer Massivdecke im ehemaligen Verwaltungsgebäude der AG
Weser
in
1. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben "Experimentelle Tragsicherheitsbewertung
von Bauwerken in situ zum Zwecke der Substanzerhaltung oder Umnutzung", S.
51-58
- [7] N.N.:
Kooperatives Forschungsprojekt 13 RG 9116
"Experimentelle Tragsicherheitsbewertung von Bauwerken (Kurzwort: EXTRA)
Pilotprojekt: Brücke über die Stepenitz in Dassow im Zuge der B 105
- [8] Opitz, H.:
Wissenschaftliche Grundlagen der experimentellen Tragsicherheitsbewertung
bestehender Bauwerke und Bauwerksteile aus Stahl- und Spannbeton
in
1. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben "Experimentelle Tragsicherheitsbewertung
von Bauwerken in situ zum Zwecke der Substanzerhaltung oder Umnutzung, S.
15-28
- [9] Schmidt, H.:
Laborversuche zur Qualifizierung der experimentellen Ermittlung der Tragfähigkeit in
situ
in
1. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben "Experimentelle Tragsicherheitsbewertung
von Bauwerken in situ zum Zwecke der Substanzerhaltung oder Umnutzung", S.
72-76

[10] Opitz, H.:

Zur Anwendung des Sicherheitskonzeptes der Grenzzustände bei in-situ-Versuchen
in

2. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben "Experimentelle Tragsicherheitsbewertung von Bauwerken in situ zum Zwecke der Substanzerhaltung oder Umnutzung, Bremen, 30.04.1993

[11] N.N.:

Zu den Anforderungen an die Überwachung der Sicherheit einer 1949 errichteten Hängebrücke, die über eine Bundeswasserstraße führt

in

Versicherungsrecht, Heft 24/1988

Verlag Versicherungswirtschaft e.V. Karlsruhe

[12] Jüppner, K.;

Zwischenergebnisse der Laboruntersuchungen zur Möglichkeit der meßtechnischen Früherkennung eines Schub- oder Verankerungsbruches

in

2. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben "Experimentelle Tragsicherheitsbewertung von Bauwerken in situ zum Zweck der Substanzerhaltung oder Umnutzung"

S.43-49