



digitalstock

BIS ES REISST - Belastungsversuche sind der Kardinalpunkt einer jeden Tragsicherheitsbewertung. Sie helfen dem Ingenieur, Entscheidungen darüber vorzubereiten, ob ein Gebäude oder eine Brücke oder eine technische Anlage abgerissen werden muss oder noch saniert werden kann.

Rettung vor dem Garaus

Chance für Altbauten: Belastungsversuche in situ zum Nachweis der Tragsicherheit

Jeder Ingenieur kennt beim Bauen im Bestand das komplexe Spannungsfeld, das sich zwischen der bestehenden Architektur und der Technik des zu sanierenden Gebäudes sowie jenen Anforderungen aufbaut, die aus (Um-)Nutzung, nicht genormten Bauweisen und Baustoffen, ungeklärten Erhaltungszuständen, Ausführungsdetails und -fehlern sowie den Belangen der Denkmalpflege auf das Ganze einwirken – vor allem und unvermeidbar natürlich auch auf die Tragsicherheit. Wenn aber die Frage „Wird's denn auch halten?“ rechnerisch nicht bündig beantwortet werden kann, weil entscheidende Parameter dafür fehlen, kommt die Tragsicherheitsbewertung in situ zur Geltung, die schon so manchen Altbau vor dem endgültigen Garaus bewahrt hat, wie einige Beispiele im folgenden Beitrag zeigen.

Lutz-Detlef Fiedler | Gerd Kapphahn
| Klaus Steffens

Bauten werden in Planung und Ausführung regelmäßig für spezielle Anforderungen und eine begrenzte Nutzungsdauer ausgelegt. Im Zeitalter knapper Ressourcen, häufiger Nutzungsänderung, umweltbedingter Schäden und der Folgen unzureichender Bauwerkunterhaltung ergeben sich bei vorhandenen Bauwerken Fragen der Restnutzungsdauer als Basis für Investitionsentscheidungen. Zwingende Voraussetzung für die Bausubstanzerhaltung ist dabei der Nachweis der Tragsicherheit und Gebrauchsfähigkeit. Ihr üblicher rechnerischer Nachweis setzt voraus, dass neben Geometrie, Lagerung und

Belastung alle wesentlichen Werkstoffeigenschaften und Zustandsmerkmale bekannt sind und dass es gelingt, das Tragverhalten wirklichkeitsnah mathematisch zu beschreiben.

Die Bauwirklichkeit zeigt aber, dass in vielen Fällen eine oder mehrere Voraussetzungen für den rechnerischen Tragsicherheitsnachweis nicht bekannt oder nur unsicher zu bestimmen sind.

In derartigen Fällen lohnt es, einen Belastungsversuch in situ am vorhandenen Bauwerk vorzunehmen. Voraussetzung dafür ist jedoch eine schädigungsfreie Durchführung, die weder die Tragsicherheit noch die Dauerhaftigkeit des Objektes beeinträchtigt. Sie bedingt den Einsatz einer zuverlässigen, ko-

stengünstigen und rasch einsetzbaren mobilen Baustellenmesstechnik [1].

Wirkungsprinzip

Der konventionelle statische Nachweis ergibt eine rechnerische Tragfähigkeit auf der Basis eines (meist vereinfachten) statischen Systems, der Lastannahmen, Wertstoffkennwerte und genormter Sicherheitsbeiwerte.

Das Wirkungsprinzip von Belastungsversuchen in situ setzt keine statische Modellbildung voraus und ist prinzipiell an *Abb. 1* zu erklären [2]:

Wird ein vorhandenes Bauteil mit einer (unbekannten) Bruchlast nach vorausgehender Analyse, Vorberechnung und Versuchsplanung durch eine steigende Einwirkung belastet, so zeigt es vielfältige Reaktionen, die (fast) alle messbar sind.

Bei Erreichen der (bis dahin unbekannt!) Versuchsgrenzlaster beginnt die Schädigung des Bauteils, sodass diese Schranke allgemein nicht überschritten werden darf, um das Bauwerk weiter nutzen zu können. Die nutzungstechnisch erforderliche Versuchszielaster erreicht die effektive Grenzlaster selten, liegt aber regelmäßig bedeutend über der rechnerischen Tragfähigkeit. Der verbleibende Nutzlastzuwachs ΔQ_d kann somit bei legal reduzierten Teilsicherheiten [1] wahlweise für höhere Verkehrslasten oder zur Kompensation von Baumängeln genutzt werden (*Abb. 2*).

Erfahrungen

Die meisten tätigen Bauingenieure haben keine eigene Experimentiererfahrung und sehen diesem – konkurrierend statt hilfreich empfundenen – Verfahren noch mit Reserve gegenüber. Hauptursachen sind:

- fehlende Informationen, fehlende einschlägige Hochschulausbildung,
- fehlender Anreiz: die HOAI „bestraft“ jene Planer, welche kostengünstigere Alternativen einbeziehen,
- das Etatdenken öffentlicher Auftraggeber: Einsparungen im laufenden Haushaltsjahr gehen zu Lasten der nächsten Jahresansätze,
- „Mitnahmeeffekt“ bei extern bezuschussten Vorhaben,
- öffentliche Fördermittel werden oft nur für „investive“ Neubauzwecke gewährt, während Reparatur und Substanzerhaltung aus „konsumtiven“ Mitteln ohne Förderung bezahlt werden müssen.

Nicht weniger problematisch ist eine völlig unkritische, aber überhöhte Erwartung an die Leistungsfähigkeit und den Einsatz von Belastungsversuchen in situ:

- Zitate: Totgerechnet! Falls Ihr das nicht hinrechnet, wird ein Versuch gemacht! Hat 50 Jahre gehalten! ...



Lutz-Detlef Fiedler
Dr.-Ing.; Studium des Bauingenieurwesens 1971 bis 1975 und Promotion 1985 an der TH Leipzig; Geschäftsführer der Leipziger Ingenieurgesellschaft für experimentelle Mechanik mbH (ifem)



Gerd Kappahn
Dr. rer. nat.; Studium der Physik 1977 bis 1982 und Promotion 1990 an der Technischen Hochschule Leipzig; Geschäftsführer der Leipziger Ingenieurgesellschaft für experimentelle Mechanik mbH (ifem)



Klaus Steffens
Prof. Dr.-Ing.; Studium des Bauingenieurwesens 1963 bis 1968 und Promotion 1974 an der Technischen Hochschule Hannover; Geschäftsführer der Prof. Dr.-Ing. Steffens Ing.-Ges. (PSI) in Bremen

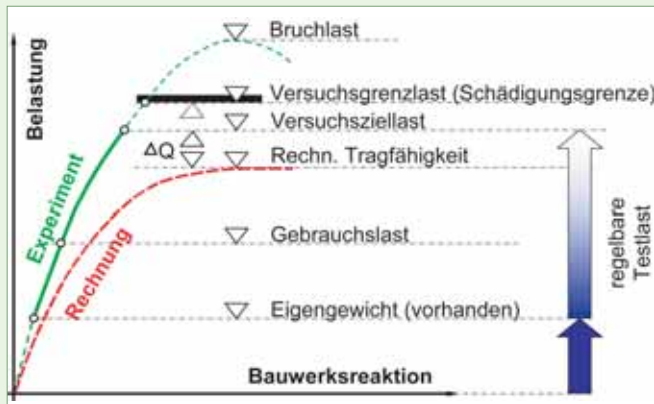


Abb. 1: Ohne statische Modellbildung: Sicherheitskonzept der Belastungsversuche

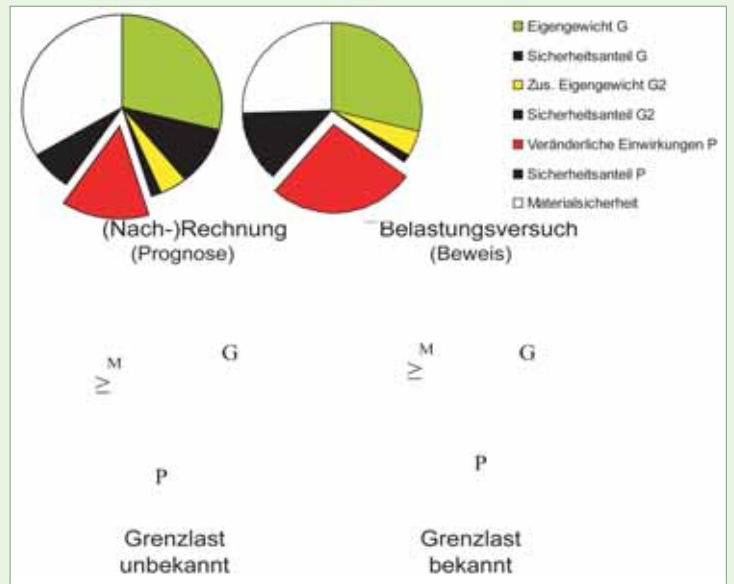


Abb. 2: Gegenüberstellung der Verfahren

Positive Einzelergebnisse aus einer Untersuchung (Unikat) werden gelegentlich ohne Bewertung durch den Experimentator und/oder Tragwerksplaner auf andere Bauteile, ja ganze Gebäude übertragen (Spareffekt!).

Vor dem Erfahrungshintergrund von ca. 470 durchgeführten Projekten der Firmen PSI und ifem (Abb. 3) lassen sich folgende qualitative Feststellungen treffen, wobei die angetragenen Problemfälle sich differenzieren lassen:

- zwanzig Prozent sind hoffnungslos (Abriss und Neubau oder konventionelle Ertüchtigung),
- vierzig Prozent lassen sich nach genaueren Voruntersuchungen mit einem angemessenen Rechenverfahren konventionell nachweisen, oftmals auch durch Messungen gestützt (hybrides Verfahren),
- zwanzig Prozent lohnen ökonomisch nicht, weil die Untersuchungskosten in keinem attraktiven Verhältnis zu der erhofften Kostensenkung stehen (Ausnahme: Baudenkmale),
- 19 Prozent zeigen ein positives technisches und ökonomisches Ergebnis,
- ein Prozent ist negativ verlaufen (wegen nicht erkannter, gravierender Baufehler). Dieses geringe Fehlergebnis beruht auf sorgfältiger Voruntersuchung/Vorauswahl der Auf-

gaben und ist keineswegs der systematischen Überlegenheit von Belastungsverfahren gegenüber der statischen Berechnung zuzuordnen.

Technik

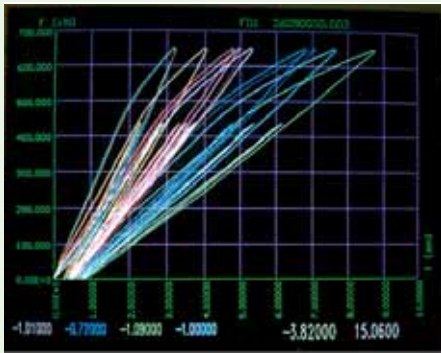
Die Versuchstechnik ist den vielseitigen Anforderungen aus der Einsatzpraxis angepasst:

- Geometrische Flexibilität, geringes Ge-

- wicht, hohe Testlasten,
- Versuchslast stufenlos regelbar,
- hydraulische Erzeugung der Testlasten, um über einen internen Kräftekreislauf absturzgefährdete Massenkräfte (zum Beispiel Ballast) grundsätzlich zu vermeiden,
- Einsatz einer Online-Messtechnik zur rechnergesteuerten elektrischen Aufnahme der Testlast und der Bauwerksreaktionen (Mess-

Experimentelle Bewertung der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken in situ (473 Bauwerke 1980 - 03 2008)			
	Hochbau Industriebau	Ingenieurbau Tiefbau	Brückenbau
Nutzlasterhöhung	62	16	33
Umbau, Aufstockung	32	7	5
Bauschäden	37	12	22
Baufehler	28	10	2
Gewährleistung	16	11	6
Überwachung	23	13	8
Entwicklung	17	17	2
Hybride Statik	4	7	9
Denkmalpflege	52	11	11
Summe	271	104	98

Abb. 3: Matrix der Probleme, die mit Belastungsversuchen gelöst worden sind



▲ Abb. 4: Originales Monitorbild der Messkurven

► Abb. 5: Belastungsprinzip Hochbau: Belastungsrahmen für Testlasten $F \leq 700$ kN und Spannweiten 3 bis 12 m

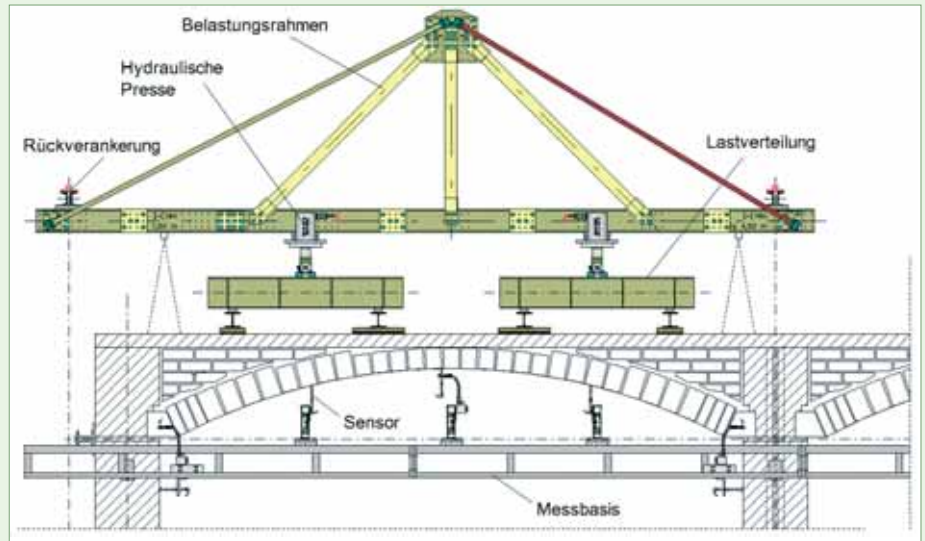


Abb. 6: Ansicht der Grundschule in Saarbrücken



Abb. 7: Baufehler fehlender Betondeckung

kurven, Abb. 4), um die zunächst unbekannte Versuchsgrenzlaster/Schädigungsgrenze auf dem Monitor sicher zu erkennen.

Für die Standardaufgaben im Hochbau/Industriebau haben sich stählerne Belastungsrahmen bestens bewährt (Abb. 5). In vielen Fällen sind problemorientierte Belastungsvorrichtungen zu konstruieren, die den vorgenannten allgemeinen Anforderungen jedoch grundsätzlich genügen müssen.

Anwendungsbeispiele

Für das Arbeitsfeld Belastungsversuche in situ werden beispielhaft Projekte aufgeführt, welche sich weitgehend durch die jeweiligen Abbildungen erklären.

Schule Saarbrücken: Die Stahlbeton-Rippdecken der Grundschule (Abb. 6) wurden auf Sparschalung mit Ziegelformsteinen hergestellt. Ein gravierender Baufehler – das Verlegen der Rippenbewehrung ohne Abstandhalter direkt auf dem Ziegelfuß – wurde jüngst bei Umbauarbeiten entdeckt (Abb. 7). Die mangelnde Verbundwirkung Beton/Stahl war bei den geputzten Decken-

unterflächen praktisch nicht zu sanieren. Unter Ausnutzung einer intakten Endverankerung der Biegeverwahrung in den auflagernahen Massivstreifen (Gewölbewirkung!) konnte dennoch mit stichprobenartigen Belastungsversuchen in situ eine ausreichende Tragsicherheit der fehlerhaften Rippendeck

nachgewiesen werden (Abb. 8). Die Untersuchungen erforderten zehn Arbeitstage bei einem Kostenaufwand von circa fünf Prozent der alternativen konventionellen Ertüchtigung.

Elbphilharmonie Hamburg: Eine zwei-schalige Außenwand als Stahlbetonskelett soll im Erdgeschoss der Elbphilharmonie Hamburg (Abb. 9) großflächig aufgeschlitzt und im 1. Obergeschoss durch einen horizontalen Biegeträger abgefangen werden. Die Querkraft-Ankopplung dieser Bauteile geschieht durch Klebedübel in der Kontakt-



Abb. 8: Belastungsversuch in der Schule



Abb. 9: Ansicht Elbphilharmonie Hamburg



Abb. 10: Belastungsvorrichtung für die Klebedübel



Abb. 11: Der Bürgeraal in Schneverdingen in der Lüneburger Heide



Abb. 12: Wassersackbildung auf dem Flachdach des Schneverdinger Bürgersaals

fläche zwischen Altbaustützen und wandartigem Neubau-Abfangträger. Um die Tragsicherheit der bauaufsichtlich zugelassenen Klebedübel auch in den Altbaustützen nachzuweisen, wurden an Probedübeln M24 im später auszubauenden Erdgeschoss erfolgreich Serien-Belastungsversuche auf Zug- und Querkraft mit einer umsetzbaren Belastungsvorrichtung $FT \leq 350 \text{ kN}$ durchgeführt

(Abb. 10). Diese bildeten die Basis der bauaufsichtlichen Zustimmung im Einzelfall.

Bürgeraal Schneverdingen, Lüneburger Heide: Nach dem Eishalleneinsturz in Bad Reichenhall wurde der Durchhang der Holzfachwerkbinder im Bürgeraal Schneverdingen (Abb. 11) problematisiert. Die Durchbiegung des Flachdachs mit umlaufender Lisene durch Schneelast und mangelndes Dachge-

fälle betrug circa zehn Zentimeter mit der Folge, dass die hoch liegenden Eckenläufe zu einer bedrohlichen Wassersackbildung führten und die Fachwerkknoten überlasteten (Abb. 12 und Abb. 13).

Nach einer Reparatur der Fachwerkknoten durch Pressklebung (Abb. 14) und teilweisem Einbau neuer Bolzen wurde der Er-tüchtigungserfolg der Binder durch Bela-



Abb. 13: Durchbiegung der Kanthölzer



Abb. 14: Reparatur der Fachwerkknoten



Abb. 15: Belastungsversuch der Kantholzbinder

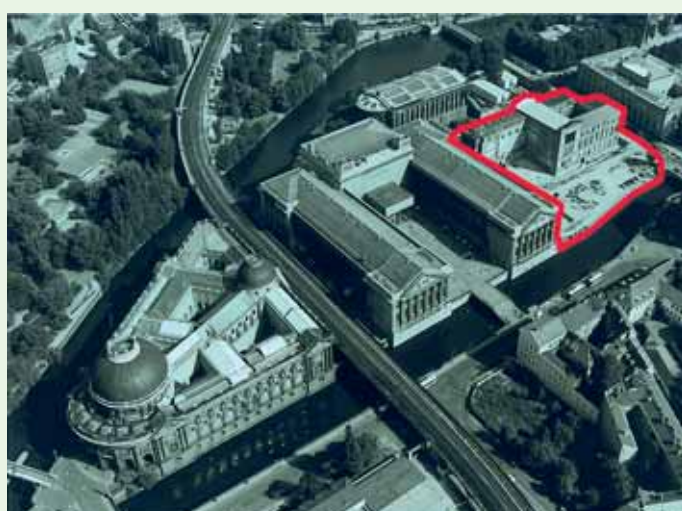


Abb. 16: Luftbild vom neuen Berliner Museum

stungsversuche nachgewiesen (Abb. 15). Parallel wurden die Dachlisenen entfernt und das Flachdach mit ausreichendem Gefälle versehen (Zwangsüberlauf).

Neues Museum Berlin: Das Neue Museum in Berlin (Abb. 16) wird nach schweren Kriegsschäden und anschließendem Verfall derzeit wieder aufgebaut.

Alte Baustoffe und Bauweisen zwangen zu experimentell gestützten statischen Nachweisen (hybride Statik). Insbesondere die leichtgewichtigen Tontopf-Gewölbedecken (Abb. 17) bedurften der Klärung durch Belastungsversuche in situ mit anschließender Verallgemeinerung der statischen Kennwerte für die Nachrechnung anderer Gewölbereiche und -formen [3], [4], [5].

Ein weiteres Problem bestand beim Trag sicherheitsnachweis einer vorgeschädigten Kalksteinsäule. Durch speziell entwickelte Klemmvorrichtungen und Absturz sicherungen konnte die erforderliche Versuchsziel last schädigungsfrei hydraulisch aufgebracht und die Säulenreaktion online verfolgt werden (Abb. 18).

Michaeliskirche Hildesheim: Die 1000-jährige romanische Kirche, die zum Weltkulturerbe der UNESCO gehört (Abb. 19), war

in den zurückliegenden Jahrhunderten mehrfach teilweise eingestürzt. Stark beschädigte Sandsteinsäulen geboten eine

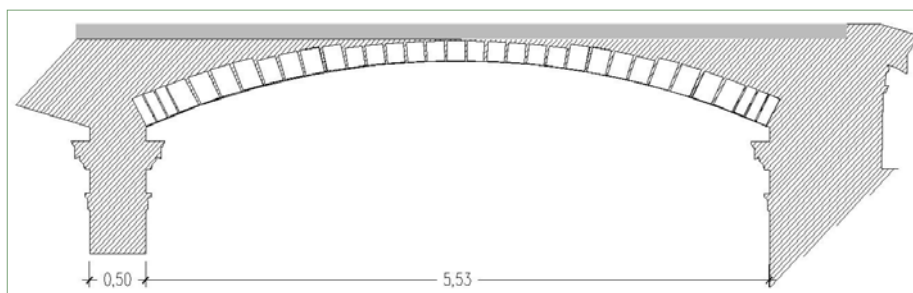
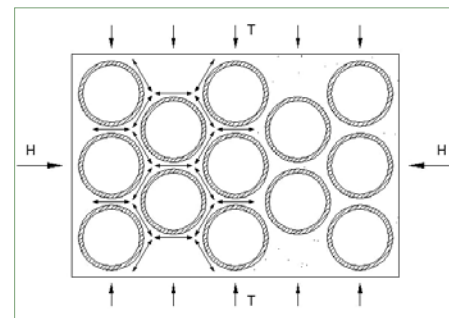


Abb. 17: Tontopf-Gewölbedecken im Berliner Museum



Abb. 18: Belastungsversuche an einer Mehrfeld-Tonnenecke des Berliner Museums



Abb. 19: 1000 Jahre alt: Die Michaeliskirche in Hildesheim



Abb. 20: Belastungsversuche in situ in der Michaeliskirche

nachhaltige Klärung der Schadensursache und der zukünftigen Tragsicherheit.

Voruntersuchungen an den geschädigten Säulen ergaben gravierende Minderungen des tragenden Querschnitts, sodass ein experimenteller Nachweis der Tragsicherheit im Ist-Zustand angezeigt war. Die gefährdeten Säulen waren bereits durch hölzerne Notsteifen gesichert. Dieses ermöglichte ein gefahrloses Aufbringen externer hydraulischer Versuchslasten durch Gestänge, die oberhalb der Kapitelle sowie im Fundament verankert waren und einen regelbaren Kräftekreislauf bewirkten (Abb. 20). Ein einfaches Monitoring für Setzungs- und Rissweitenmessungen an den auflastenden Gewölbescheiben soll zukünftig vor baugrundbedingten Katastrophen schützen [6].

Literatur

- [1] DAfStb (Hrsg.): Richtlinie für Belastungsversuche an Betonbauwerken. Berlin: Beuth Verlag 2000.
- [2] Steffens, K. (Hrsg.): Experimentelle Tragsicherheitsbewertung von Bauwerken: Grundlagen und Anwendungsbeispiele, Bauingenieurpraxis, Ernst & Sohn Verlag, Berlin Januar 2002, ISBN 3-433-0174-4.
- [3] Eisele, G., Gutermann, M., Seiler, J., Steffens, K. Wiederaufbau des Neuen Museums in Berlin – Tragwerksplanung pro Denkmalpflege. Bautechnik 81 (2004), H. 6.
- [4] G. Kapphahn, L-D. Fiedler, Schallemissionsprüfung bei der experimentellen Tragsicherheitsbewertung von historischer Bausubstanz am Beispiel des Wiederaufbaus des Neuen Museums Berlin, 16. Kolloquium Schallemission Statusberichte zur Entwicklung und Anwendung der Schallemissionsanalyse, 12.-13.09.2007 Puchberg (A).
- [5] G. Kapphahn, Vergleich verschiedener ZIP-Verfahren zur Bewehrungsart, 3. Symposium „Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen, TU-Dresden 27.09.2007
- [6] Eilhardt-Braune, E.-M., Götz, J., Steffens, K. Die Michaeliskirche in Hildesheim – Erhaltung eines Weltkulturerbes. Bautechnik 84 (2007), H. 5.