



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

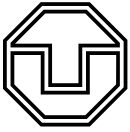
FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

Schriftenreihe
Konstruktiver Ingenieurbau Dresden
Heft 43



Manfred Curbach, Heinz Opitz,
Silke Scheerer, Torsten Hampel (Hrsg.)

**9. SYMPOSIUM
EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN
VON BAUKONSTRUKTIONEN**



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

Manfred Curbach, Heinz Opitz,
Silke Scheerer, Torsten Hampel (Hrsg.)

**9. SYMPOSIUM
EXPERIMENTELLE
UNTERSUCHUNGEN
VON BAUKONSTRUKTIONEN**

Schriftenreihe
Konstruktiver Ingenieurbau Dresden
Heft 43

Herausgeber der Reihe

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
apl. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Graf
Prof. Dr.-Ing. Peer Haller
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe
Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kaliske
Prof. Dr.-Ing. Viktor Mechtcherine
Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller
Prof. Dr.-Ing. Bernd W. Zastra

Institut für Massivbau
Technische Universität Dresden

D - 01062 Dresden

Tel.: 49 351 / 4 63-3 65 68

Fax: 49 351 / 4 63-3 72 89

Redaktion: Silke Scheerer
Korrekturen: Angela Heller
Gestaltung: Ulrich van Stipriaan
Titelfoto: Sabine Wellner, bearbeitet von Sven Hofmann

Diese Publikation gibt es auch Open Access auf www.qucosa.de.

Redaktionsschluss: 31. August 2017

Druck: addprint AG · Am Spitzberg 8a · 01728 Bannewitz
Veröffentlicht: Dresden, 21. September 2017

ISSN 1613-6934

Inhalt

Vorwort <i>Silke Scheerer, Torsten Hampel</i>	5
Willy Gehler als Protagonist der experimentellen Bauwerksuntersuchung <i>Oliver Steinbock</i>	7
Das Potenzial thermo-mechanischer Messungen für die Werkstoffcharakterisierung <i>Volker Wetzki, Franziska Pannasch</i>	23
Detektierung von Betonschäden an schwer zugänglichen Bauwerken mittels Thermografie <i>Helena Eisenkrein-Kreusch, Florian Bavendiek</i>	39
Messtechnische Bewertung des Zustandes des spannungsrissskorrosionsgefährdeten Spannstahles des U-Bahnhofs Poccistraße in München <i>Hermann Weiher, Katrin Runtemund, Christian Glomp</i>	49
Baubegleitende Zustandsüberwachung von Brücken <i>Max Käding, Marc Wenner, Steffen Marx</i>	63
Messtechnische und teilweise fotooptische Erfassung von Formänderungen an ertüchtigtem und nicht ertüchtigtem Bruchsteinmauerwerk unter Labor- und Praxisbedingungen <i>Sabine Koch, Axel Dominik, Jessica Klinkner, Clara-Maria Nocker, Domenika Baroness von Kruedener, Pascale Dominik</i>	75
Untersuchungen im Rahmen der geplanten Ertüchtigung zweier Pfeiler des St.-Marien-Doms Zwickau <i>Michael Kühn, Peter Schöps</i>	93
Bewertung der Restlebensdauer von Spannbetonbrücken durch Koppelfugenmonitoring an Praxisbeispielen <i>Dirk Sperling, Hauke Schmidt</i>	113
Ludwig-Erhard-Anlage Frankfurt a. M. – Belastungsversuche zum Nachweis der Tragfähigkeit historischer Rippendecken <i>Peter Braun, Gunter Hahn, Gerd Kappahn, Edyta Wünsch</i>	123
Durchführung von Belastungsversuchen an einbetonierten Ankerschienen in Spannbetonbindern <i>Marco Tschötschel, Bente Ebsen</i>	135
Der Löwenhof in Dortmund – Experimentelle Statik zum Erhalt historischer Eisenbetondecken <i>Martin Gersiek, Marc Gutermann, Friedhelm Löschmann, Marcus Patrias</i>	143

Sportstätten mit weitgespannten Hallendächern – Sicherstellung der Tragfähigkeit unter Schneelast durch bauwerksdiagnostische Untersuchungen, Nachrechnung, Belastungsuntersuchung und Monitoring <i>Robert Herold, Elke Reuschel, Peter Bauer</i>	157
Belastungsversuche an einer historischen Eisenbahn-Gewölbebrücke <i>Gregor Schacht, Jens Piehler, Erik Meichsner, Steffen Marx</i>	169
Erweiterte Strukturabbildung von Brücken mit adaptiven mathematischen Modellen zur Lösung aktueller noch ungelöster Probleme <i>Klaus Brandes, Petra Kubowitz, Werner Daum, Detlef Hofmann, Frank Basedau</i>	183
Messtechnische Bewertung der dynamischen Tragfähigkeitsreserven eines Probenbühnenbodens der Semperoper Dresden <i>Tino Kühn, Marcus Hering, Heiko Wachtel, Sabine Wellner</i>	189
Untersuchungen des Otto-Mohr-Laboratoriums an historischer Bausubstanz in und um Dresden <i>Sabine Wellner, Silke Scheerer, Torsten Hampel</i>	207
Übersicht KID-Hefte	215

Willy Gehler als Protagonist der experimentellen Bauwerksuntersuchung

Oliver Steinbock¹

Zusammenfassung: Zunächst diente der Versuch im Bauwesen der Veranschaulichung der Tragfähigkeit. Sogenannte Demonstratoren sollten publikumswirksam die Leistungsfähigkeit eines neuen Materials oder einer Konstruktion darstellen. Die Probelastung geht über den Demonstrationsversuch hinaus und liefert den experimentellen Tragfähigkeitsnachweis am ausgeführten Bauwerk. Gerade bei der Einführung neuer Bauweisen, wie z. B. dem Stahlbetonbau, wurden für die Abnahme von Bauwerken häufig Probelastungen gefordert. Mit der zunehmend wissenschaftlichen Untersuchung und Auswertung dieser Versuche münden diese im heutigen Belastungsversuch, der als Ergänzung bzw. Überprüfung von rechnerischen Annahmen durchgeführt wird. Der Schwerpunkt des Beitrags liegt auf der Entwicklung der experimentellen Bauwerksuntersuchung von Stahlbetontragwerken in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Die Auswahl der Beispiele wurde in Zusammenhang mit der Bearbeitung eines Forschungsprojekts zu Leben und Wirken des Stahlbetonpioniers Willy Gehler (1876–1953), einem ehemaligen Professor der TH Dresden und Protagonisten der experimentellen Bauwerksuntersuchung, getroffen.

Summary: Willy Gehler as a protagonist in the history of experimental tests on structures. *Initially, the main purpose of experiments in the field of civil engineering was to visualize the capacity of structures. The so-called demonstrators were implemented to illustrate the potential of new materials or constructions. In contrast, the proof load provides the evidence of built structures. Especially, connected with the rollout of new materials, proof loads were claimed regularly. Later, the purpose of tests switches from a simple proof load test to a scientific test respectively a load rating test with the aim to control or to improve the assumptions of the design. The focus of this paper will be on the development of load tests in the first half of the 20th century. The selected examples were chosen in connection with a research project about life and work of the reinforced concrete pioneer Willy Gehler (1876–1953), a former professor of TH Dresden and protagonist of the investigation of built structures.*

1 Versuchsarten und Vorschriften

Der Versuch an sich ist so alt wie das Bauen selbst. Auch die Vielfalt von Versuchen ist überraschend groß. So kann für Bauwerke im Bestand in einem ersten Schritt zwischen Versuchen am Bauwerk selbst und Versuchen zur Bestimmung von Materialeigenschaften unterschieden werden. Die Anforderungen an die Versuche und die Durchführung sind dabei sehr unterschiedlich.

¹ Dipl.-Ing., Institut für Massivbau, TU Dresden

Die wichtigste Anforderung an Versuche zur Bestimmung von Materialfestigkeiten ist, neben der Reproduzierbarkeit, eine möglichst einfache und kostengünstige Handhabung. Weiterhin soll die Materialfestigkeit möglichst gering durch die Rahmenbedingungen des Versuches an sich beeinflusst werden. Diese Versuche sind daher stark reglementiert, s. z. B. [1]. Dennoch fällt die Auswertung derartiger Versuche bzw. die Festlegung von Materialkennwerten auch heute noch schwer [2]. Über die Problematik bei Betonfestigkeiten an Bestandsbauwerken berichten u. a. Loch et al. bzw. Loch in [3] und [4].

Die Anforderungen an Versuche an Bauwerken bzw. Bauteilen sind dagegen weniger reglementiert und bedürfen Anpassungen im Einzelfall. Während Versuche an gleichartigen Bauteilen noch einen Anspruch auf Reproduzierbarkeit bzw. an die Vergleichbarkeit haben, geht diese Anforderung bei Untersuchungen an Bauwerken gänzlich verloren, da es sich in der Regel um Einzelausführungen handelt.

Der Versuch am Bauwerk selbst dient heute i. d. R. der Validierung von Rechenmodellen, da eine reine Nachweisführung beim Neubau über den Versuch nicht angestrebt wird, sondern die Trag- und Gebrauchstauglichkeit von neu gebauten Strukturen mit Hilfe eines umfangreichen Normenwerkes sichergestellt werden soll, z. B. [5]. Allerdings hat der Stellenwert des Bauens im Bestand in den vergangenen Jahren stark zugenommen. Häufig fällt hierbei die statische Neubewertung aufgrund unzureichender Unterlagen schwer. In diesem Zusammenhang ist der Belastungsversuch wieder vermehrt in den Fokus der Forschung und Anwendung gerückt. Mit Einführung der DAfStb-Richtlinie „Belastungsversuche an Betonbauwerken“ wurde ein jahrelanger Missstand hinsichtlich des Fehlens einer Regelung für Messungen an Betontragwerken beseitigt [6]. Die Entwicklungsschritte zur Regelung von Bauwerksuntersuchungen sind ausführlich in Bolle et al. [7] beschrieben und werden deshalb hier nur in Kürze dargestellt.

Hinweise zu Probebelastungen an Betonbauwerken sind letztmals in DIN 1045 in der Ausgabe von 1959 enthalten [8]. Darin wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass Probebelastungen auf das unbedingt Notwendige zu beschränken sind. Neben Empfehlungen für aufzubringende Lasten wird der Erfolg der Probebelastung über die bleibenden Verformungen bestimmt. Demzufolge durften die bleibenden Durchbiegungen höchstens $\frac{1}{4}$ der gemessenen Gesamtdurchbiegung betragen. Die Durchbiegung als einziges Maß für die Gebrauchsbzw. Tragfähigkeit heranzuziehen, ist historisch gewachsen und bereits in den Eisenbeton-Bestimmungen von 1916 [9] bzw. den Leitsätzen von 1904 [10] enthalten. Die Durchbiegung als Referenz ist von Anfang an umstritten [11]. Mörsch empfiehlt in [12] bereits, die auftretenden Spannungen in Eisen und Beton über Dehnungsmesser aufzunehmen. Dieser Grundgedanke wird zunächst wieder von Schmidt und Opitz [13] in den 1980er Jahren aufgegriffen und mündet 1986 in der auf dem Gebiet der ehemaligen DDR eingeführten Vorschrift TLG 334007/04 „Nachweis der Trag- und Nutzungsfähigkeit aufgrund experimenteller Erprobung“ [14]. Trotz des Entfalls der Hinweise zu Probebelastungen in DIN 1045 in der Ausgabe 1972 [15] konnten damit Belastungsversuche wieder auf geregelter Grundlage durchgeführt werden. Auf gesamtdeutschem Gebiet erfolgt eine Regelung erst im Jahr 2000 durch die angesprochene Richtlinie des DAfStb. Die Richtlinie befindet sich derzeit in Überarbeitung (siehe [16] und [17]). Der Anwendungsbereich dieser Richtlinie ist einerseits auf Bauwerke des Hochbaus und andererseits auf Belastungsversuche auf Gebrauchslastniveau beschränkt. Die experimentelle Tragfähigkeitsermittlung zur Validierung von Rechenmodellen ist auch in der aktuellen Nachrechnungsrichtlinie von bestehenden Brücken in Stufe 3 verankert, enthält jedoch keine

genaueren Angaben zu Durchführung oder Umfang [18]. Einen historischen Überblick über das Messwesen bei der Eisenbahn gibt [19]. Im aktuellen Regelwerk der Bahn finden sich zu Messungen an Bauwerken entsprechende Hinweise [20]. Hier wird zwischen kurzzeitigen Versuchen, Traglastversuchen und Langzeitmessungen unterschieden [21]. Weitere Ansätze zu Klassifikationsmöglichkeiten von experimentellen Untersuchungen gibt [22].

2 Vom Demonstrator über die Probelastung hin zum Belastungsversuch

2.1 Die Ausstellung als Vermittler der Leistungsfähigkeit neuer Baustoffe

Erfahrungswerte waren beim Nachweis der Tragfähigkeit einer Konstruktion lange Zeit die Grundlage, denn erst im 19. Jahrhundert wurden erste Theorien der Baustatik erarbeitet [23]. Historische Baustoffe wie Stein und Holz zeigen daher über Jahrhunderte ähnliche Konstruktionsprinzipien.

Die Entwicklung neuer Baustoffe ermöglichte dagegen neue Konstruktionsformen. Da diesen in Verbindung mit den neuen Baustoffen zunächst das Vertrauen der jeweiligen Bauherren fehlte, wurde zur Überzeugung häufig das anschauliche Beispiel des Experiments oder eines Demonstrators gewählt, wie z. B. bei der Etablierung des Stahls. Nach ersten Ausführungen in Gusseisen gegen Ende des 18. Jahrhunderts (z. B. Brücke über den Severn in England 1779 in [24]) sind es im 19. Jahrhundert vor allem die Weltausstellungen, die die Leistungsfähigkeit des neuen Materials der Öffentlichkeit darstellten. Exemplarisch hierfür stehen der für die 1. Weltausstellung 1851 errichtete Kristallpalast in London oder der zur 10. Weltausstellung in Paris erbaute Eiffelturm (1889). Auch das 1848 von Lambot in Eisenbetonbauweise hergestellte Boot wird erstmals auf einer Ausstellung – der 3. Weltausstellung 1855 in Paris – der Öffentlichkeit präsentiert [25]. In Deutschland sehr bekannt ist bspw. die Ausstellungsbrücke von Dyckerhoff & Widmann auf der Gewerbeausstellung in Düsseldorf 1880, z. B. [26].

2.2 Verwissenschaftlichung des Versuches – Probelastungen an Demonstratoren, Modellen und großmaßstäblichen Bauteilen

Die Etablierung des Eisenbetons in Deutschland ist auch stark mit der Experimentierfreudigkeit der Actien-Gesellschaft für Monier-Bauten (vorm. G. A. Wayss bzw. später Wayss und Freytag) verbunden [27]. Bekannt sind hierzu die Versuche von Bauschinger aus dem Jahr 1887 an den sog. Monierbögen² (Bild 1). Neben der reinen Demonstration der Tragfähigkeit wird auch das Verformungsverhalten der Bögen aufgenommen, sodass diese Versuche erste Ansätze einer Bewertung des Tragverhaltens im Betonbau zeigen. Zuvor hatte Koenen 1886 erste Berechnungsansätze zu den Moniergewölben auf Grundlage von Ver-



Bild 1: Belastungsprobe eines Monierbogens durch Bauschinger, München, 1887

Foto: aus [27]

2 Monierbögen sind Eisenbetonbögen, die sehr schlank ausgeführt wurden und nur durch die eingelegte Bewehrung (anfangs zumeist mittig im Querschnitt) bspw. Zugspannungen infolge halbseitiger Belastung widerstehen konnten, z. B. [25].

suchen veröffentlicht [28]. Anschließend sind es erneut Demonstratoren auf Ausstellungen, die für Tragfähigkeitsuntersuchungen herangezogen werden. Eine 1899 in Bremen ausgeführte Bogenbrücke wird zwar bis zum Bruch belastet, die Versuche wurden jedoch nicht wissenschaftlich fundiert dokumentiert und ausgewertet [27].

Besser ist die Aktenlage zu zwei anderen Brücken in Betonbauweise, die in Verbindung mit dem Forschungsvorhaben zu Willy Gehler [29] recherchiert wurden. Ausführliche Darstellungen zu Leben und Wirken Willy Gehlers finden sich z. B. in [30] und [31]. In Zusammenhang mit experimentellen Bauwerksuntersuchungen ist zur Person Gehler von Interesse, dass er in der Zeit von 1918 bis 1945 Leiter des Versuchs- und Materialprüfungsamts Dresden war, einem der einflussreichsten Prüfvämter neben Stuttgart und Berlin-Dahlem in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Die Gründe für die Ernennung Gehlers in eine solch einflussreiche Position waren zunächst unklar. Nachfolgende Ausführungen zeigen aber, dass Gehler schon zuvor über eine besondere Expertise in der experimentellen Bauwerksuntersuchung verfügte, die ihn zu einem geeigneten Kandidaten für eine solche Position machten. Die Versuche Gehlers gehen in der Tiefe über die Untersuchungen von Bauschinger hinaus. Neben den Verformungen werden gezielt das Tragverhalten bzw. die Spannungen und Dehnungen an den Tragwerken aufgenommen. Weitere Beispiele für die Darstellung der Geschichte der Probelastung allgemein enthält [32]; mit Bezug zu Brücken sei zudem auf [33] verwiesen.

2.2.1 Bruchprobe an einer Hennebique-Konstruktion

Im Rahmen der Dresdner Städteausstellung 1903 wird von der Firma Joh. Odorico eine Rahmenbrücke nach der Konstruktionsweise Hennebique, mit ihren charakteristischen Flacheisenbügeln, errichtet. Nach Ende der Ausstellung wurde das Bauwerk für Untersuchungen herangezogen. In [34] wird die Besonderheit der Messungen hervorgehoben:

„Wenn die Brücke auch nur 10 m weit gespannt war, verdiente die Probe doch besondere Beachtung, weil sie streng wissenschaftlich, mit Benutzung der empfindlichsten Beobachtungs-Instrumente, durchgeführt wurde und zur Beantwortung folgender Fragen führen sollte:

1. *Gibt es ein Gesetz für die Durchbiegungen und Eisenspannungen und wie lautet es?*
2. *Sind die Messungen der Widerlager-Veränderungen notwendig?*

Zu 1 wurde das Bestehen eines einfachen Gesetzes zwar zugegeben, seine Formulierung muß aber weiteren Versuchen vorbehalten bleiben; zu 2 wurde konstatiert, daß diese Veränderungen das reine Gesetz beeinflussen, den Bruch beschleunigen und wertvoll für die Theorie sind.“

Die Versuchsdurchführung wurde von Willy Gehler im Rahmen eines Vortrages im Sächsischen Ingenieur- und Architekten-Verein vorgestellt. Eine ausführlichere Darstellung findet sich in [35] und [36]. Konstruktion und Versuchsaufbau zeigt Bild 2. Ausgehend von einer kontinuierlichen Laststeigerung bei mittiger Einzellast wurde das Verformungsverhalten des Tragwerks analysiert. Die Messung der Stahlspannungen wurde über sog. Fränkel-Leunersche Dehnungszeichner aufgenommen. Einen Eindruck von der Apparatur vermittelt Bild 3. Die Bewegungen eines zwischen zwei Rahmen und Schlitten gespannten Stabes werden über ein Übersetzungsgetriebe auf ein Diagrammpapier übertragen. Bei den Messungen kamen zwei unmittelbar an den Rundeisen befestigte Apparaturen zum Einsatz.

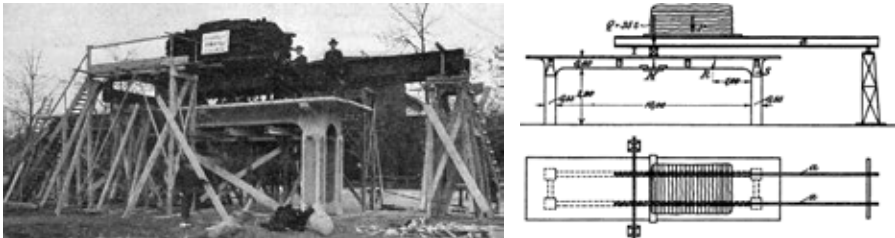


Bild 2: Bruchbelastung einer Hennebique-Brücke mit zugehöriger Versuchsskizze
Foto und Zeichnung: aus [35]

Das Beispiel zeigt, dass es sich hierbei um sehr aufwendige Apparaturen bzw. Versuchsdurchführungen handelte. Für das Tragwerk selbst wurde für die Durchbiegungen eine Steifigkeitsziffer des Bauwerks aus dem Produkt des Elastizitätsmoduls und der Biegesteifigkeit $E_b \cdot I_b$ abgeleitet. Da sich infolge der Rissbildung das Trägheitsmoment I_b des Querschnittes ändert, kann nach Ansicht von Gehler [35] das Produkt nur durch einen angepassten E-Modul erreicht werden. Weiter konnte auch der Einfluss von Lagerverschiebungen bei Rahmenbauwerken beobachtet werden. Die Schnittgrößenermittlung an Rahmentragwerken, insbesondere bei statisch unbestimmten Systemen, war zum damaligen Zeitpunkt Gegenstand der Forschung [23].

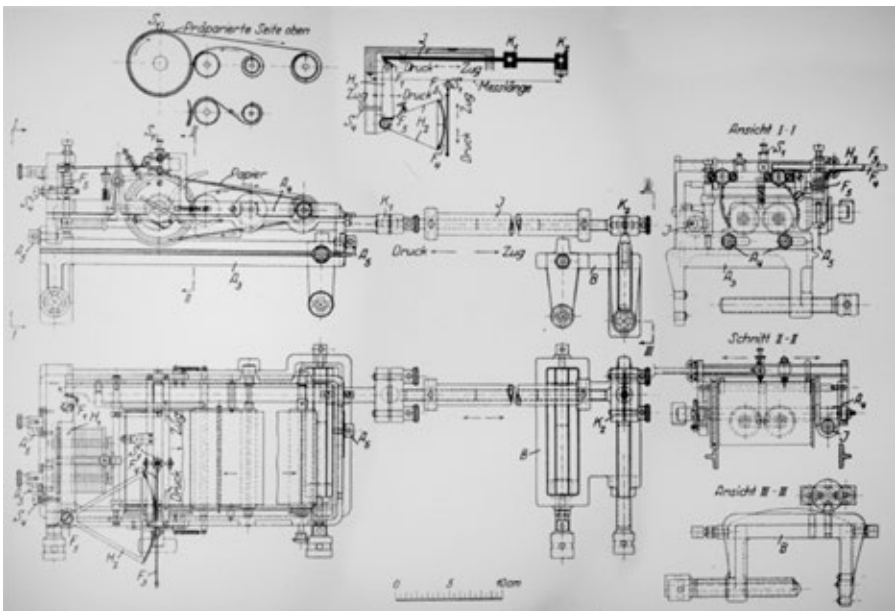


Bild 3: Konstruktionszeichnung Dehnungszeichner Fränkel-Leuner
Zeichnung: aus [37]

2.2.2 Versuche an der Düsseldorfer Ausstellungsbrücke

Die Firma Dyckerhoff und Widmann errichtete auch nach 1880 [26] Brückenbauwerke für Demonstrationszwecke auf Gewerbeausstellungen, wie z. B. die Ausstellung 1902 in Düsseldorf [38]. Nachfolgend sollen die Untersuchungen aus dem Jahre 1909 an der Ausstellungsbrücke näher erläutert werden [39].

Auf der Ausstellungsfläche des Deutschen Beton-Vereins wurde eine Betonbrücke mit ≈ 28 m Stützweite errichtet (Bild 4), die eigentlich im Anschluss an die Ausstellung weiter genutzt werden sollte. Die Brücke wurde als Stampfbetongewölbe mit lagenweiser Verdichtung hergestellt [39]. Mit einer Breite von 9,0 m stellte sie für damalige Verhältnisse einen üblichen Straßenquerschnitt dar. Das statische Grundsystem bildet einen Dreigelenkbogen, wobei die Gelenke als Granit-Wälzgelenke ausgebildet wurden. Bei einer Stichhöhe von $\approx 2,0$ m variiert die Querschnittshöhe von 75 cm am Kämpfer über 85 cm im Viertelpunkt und schließlich 65 cm im Scheitel.

Nach Beendigung der Ausstellung war entgegen der ursprünglichen Planung die Brücke überflüssig und sollte abgerissen werden. Der Abbruch des Bauwerks sollte nicht ungenutzt bleiben und so sollte auf Initiative des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton (DAfEb) das Tragverhalten beim Versagen analysiert werden. In einem Bericht von Gehler und Weese auf der 12. Hauptversammlung des Deutschen Betonvereins aus dem Jahr 1909 sind erste Ergebnisse der Probelastung zusammengestellt [39].

Bei der Belastung wurden die Lasten im Viertelpunkt der Bogenbrücke angeordnet (Bild 4). Diese Laststellung wurde gewählt, um möglichst große Verformungen bzw. Lastausmiten im Querschnitt zu erzeugen. Neben der Tragfähigkeit sollte auch die Rotationsfähigkeit der Gelenkausbildungen nachgewiesen werden. Bei einer Last von 225 t kam es zu einem vertikalen Riss, der zu einem Klaffen der Fuge über die Hälfte bzw. bis zu 75 % der Querschnittshöhe führte. Im belasteten Viertelpunkt kam es folglich zur Ausbildung eines Gelenkes. Beim statischen Grundsystem eines Dreigelenkbogens erscheint es aus heutiger Sicht sehr verwunderlich, dass die Last noch auf 423 t gesteigert werden konnte. Gehler und Weese sahen darin die Wirkung der „Gelenke“ bestätigt, da sie im „kritischen Moment die Herstellung eines neuen Gleichgewichtszustandes des Gewölbes gestatten“. Auffällig erschien den damaligen Berichterstattern die Tatsache, dass überwiegend in den Stampf



Bild 4: Ansicht und Probelastung an der Düsseldorfer Ausstellungsbrücke Foto: aus [39]



*Bild 5: Innenansicht der Konstruktion der Querbahnsteighalle des Hauptbahnhofes Leipzig
Foto: aus [41]*

betonfugen Längsrisse auftraten. Folgerichtig führten sie dies auf einen mangelhaften Verbund der Stampfbetonschichten zurück, werteten diese aufgrund der hohen Tragfähigkeit aber als unbedenklich.

2.2.3 Die Probelastung an einem Probeträger als Voruntersuchung zur Leipziger Querbahnsteighalle

Einen frühen Belastungsversuch nach heutigem Verständnis stellen die Untersuchungen an einem Probekörper bei der Errichtung der Querbahnsteighalle in Leipzig aus dem Jahr 1913 dar. Die Querbahnsteighalle in Leipzig stellte einen der ersten großen Hallenbauten in Eisenbeton in Deutschland dar und wird in diesem Zusammenhang häufig in zeitgenössischer Literatur erwähnt (Bild 5 und z. B. [40] und [41]). Willy Gehler ist hierbei für die Durchbildung und Ausführung im Rahmen seiner zwischenzeitlichen Tätigkeit bei Dyckerhoff und Widmann verantwortlich.

Die Grundfläche der Querbahnsteighalle beträgt ca. 270 m × 35 m bei einer mittleren Höhe von ≈ 25 m. Sie verbindet die als Stahlkonstruktion ausgeführte Bahnsteighalle mit dem Hauptgebäude in Massivbauweise. Die Halle wird mit Bogenträgern in Eisenbetonbauweise mit Stützweiten von 35,0 m überspannt. Auf der Seite des

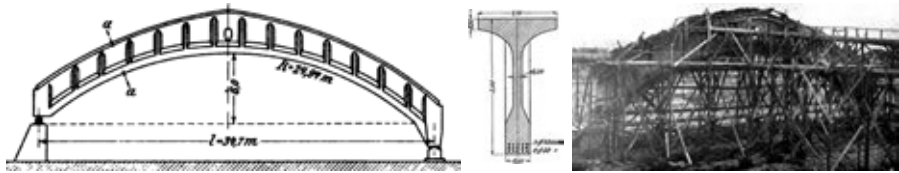


Bild 6: Ansicht, Querschnitt und Prüfung des Probekinders der Leipziger Querbahnsteighalle
Zeichnungen und Foto: aus [35] und [40]

Hauptgebäudes liegen die Träger auf den Außenwänden desgleichen auf, auf der Seite der Bahnhofshalle auf massiven Dreigelenkbögen. Nachfolgend sollen die Voruntersuchungen zu den Querträgern dargestellt werden, da die Erkenntnisse der Versuche direkt bei der Ausführung bzw. Planung umgesetzt wurden. Die Kenntnis über die resultierenden horizontalen Kräfte infolge der Bogenträger war für die angrenzenden Bauwerkteile von Relevanz.

Der T-förmige Querschnitt ist mit einem breiten Betonobergurt und einem schmalen Untergurt ausgeführt. Die Gesamthöhe des Trägers beträgt 3,0 m bei einer Stegdicke von 20 cm im Feld und 30 cm im Auflagerbereich. Im Bereich von Stegbügeln erfolgte eine Aufweitung auf 55 cm (Bild 6).

Ein Träger dieser Geometrie und vor allem in diesen Dimensionen war im Eisenbetonbau neu. Mangels Erfahrungswerten und um die rechnerischen Annahmen durch empirische Untersuchungen zu bestätigen, beschlossen die ausführenden Baufirmen, einen Probekörper im Maßstab 1:1 herzustellen. Am Probekörper sollten folgende Schwerpunkte untersucht werden [35]:

- Horizontaler Reibwiderstand der eisernen Auflagerrollen,
- Nachweis der Tragfähigkeit des Binders,
- Bestätigung der Bewehrungswahl.

Die Kenntnis der horizontalen Lagerreibung war für die Standsicherheit des Gesamtsystems unerlässlich, lagen die Binder doch auf einem horizontal weichen System auf. Die Herstellung eines Trägers im Originalmaßstab und dessen Langzeitbeobachtung ließen einen direkten Rückschluss auf die Kräfte infolge von Temperaturverformungen bei hohen vertikalen Auflagerkräften zu. Über ein ganzes Jahr hinweg wurden die Lagerbewegungen infolge der Temperatureinflüsse aufgenommen. Weiter wurden auch die resultierende Lagerreibung bei Verschmutzung und Vollast ermittelt, die infolge Reibung schließlich mit 1,5 % der vertikalen Auflast angesetzt wurde [42].

Während der Betonierarbeiten am Probekörper bemerkte man große horizontale Verformungen an den Trägerfußpunkten. Man führte diese auf die mangelnde Horizontalsteifigkeit des Gerüsts zurück. Bei der späteren Bauausführung wurde das Gerüst deshalb zusätzlich ausgesteift. Der Probekörper wurde in einem zweiten Schritt einer Probekörperbelastung unterzogen. Zum einen sollten Vertrauen beim Auftraggeber geschaffen und zum anderen die rechnerischen Annahmen zur Bewehrungsführung überprüft werden.

Bei der konstruktiven Durchbildung des Trägers (Bild 7) wurde auf die Fachwerkanalogie zurückgegriffen (oben in Bild 7), die häufig alleine Mörsch [43] zugeschrieben wird. Doch bereits Ritter beschreibt 1899 in [44] einfache Fachwerkmodelle, worauf z. B. in [45] oder [46] hingewiesen wird. Bei den Versuchen am Probekörper galt es, die Frage zu klären, ob auch mit relativ kleinen Stahlquerschnitten, zu denen Stäbe mit einem Durchmesser von 50 mm nach damaliger Auffassung gehörten, eine Fachwerktragwirkung erreicht werden kann, oder ob es sinnvoll ist, Formstahl zu verwenden. Gehler wählte für die Zugstreben kleinteilige Durchmesser, wobei er nicht auf Flusstahl, sondern auf Stahl zurückgriff. Er entwickelte für den Träger ein Dreiecksfachwerk (Bild 7, oben links). Die Zugstreben werden dabei durch die diagonal verlegten Stahleinlagen gebildet. Die vertikalen Pfosten bilden die Druckstreben. Die großen Biegeradien sind dem damals noch spröden Stahl geschuldet. Im Scheitel wurden die Eisen kreuzweise verlegt, um ein Abreißen des Untergurtes infolge des Bestrebens der Zugeisen, sich geradezurichten, zu minimieren.

Bei der Probelastung konnte die Tragfähigkeit des Binders nachgewiesen werden. Lediglich im Bereich der Stege im Übergang zu den Gurten wurden erhöhte Haarrissbildungen festgestellt. Daher wurden die Übergänge am endgültigen Tragwerk zusätzlich ausgerundet.

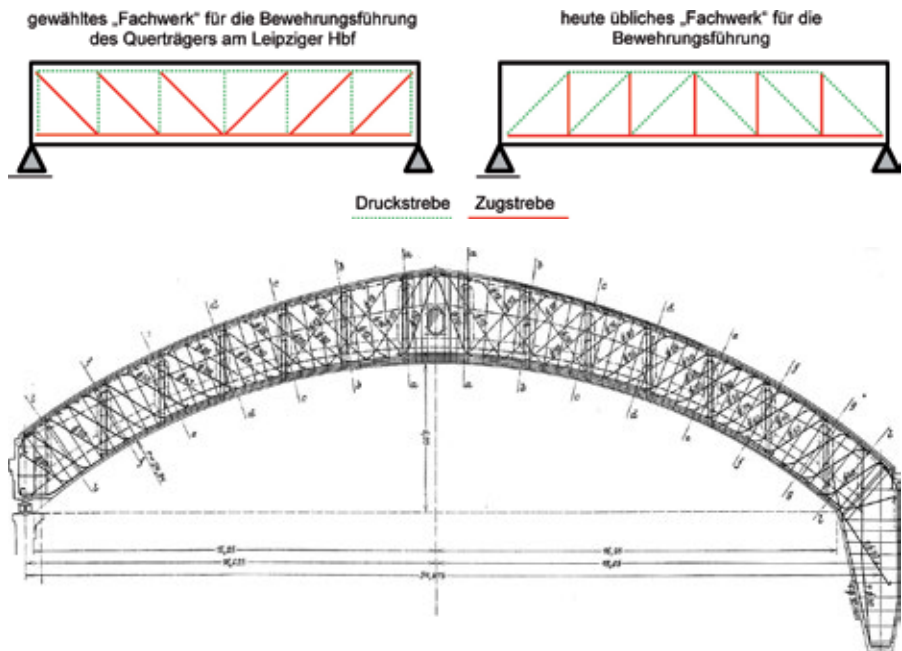


Bild 7: Bogenträger für die Querbahnsteighalle; oben: Modellvorstellungen nach Fachwerkanalogie, unten: Bewehrungsführung des Bogenträgers in Abhängigkeit der Fachwerkanalogie
Grafik: Oliver Steinbock, Zeichnung: aus [40]

2.2.4 Experimente für die Jahrhunderthalle Breslau

Bei der Querbahnsteighalle in Leipzig wurde bewusst ein statisch bestimmtes System der Einzeltragteile gewählt, um möglichst klare statische Verhältnisse zu erhalten. Zwar wurden statisch unbestimmte Varianten in Erwägung gezogen, jedoch bei der Ausführung des Bauwerks nicht weiterverfolgt. Die vorgestellten Untersuchungen an einem Probeständer mit diesen Dimensionen im Maßstab 1:1 sind selbst für die damalige Zeit ungewöhnlich. Der Stahlbeton ist grundsätzlich für die monolithische Bauweise prädestiniert. Diese bedingt den Übergang vom statisch bestimmten zum statisch unbestimmten System. Während die Berechnung von statisch unbestimmten Rahmentragwerken in der Ebene noch gelang [35], stießen die Rechenverfahren im Raum an ihre Grenzen. Um den Lastabtrag nachvollziehen zu können, griff man daher häufig auf modellstatische Untersuchungen zurück.

Ein frühes Beispiel hierfür ist die Jahrhunderthalle in Breslau [47], für deren konstruktive Durchbildung wiederum Willy Gehler zusammen mit Günter Trauer verantwortlich war. Die Konstruktion der Rippenkuppel ist durch Rollenlager vom Unterbau statisch entkoppelt und damit mit den damaligen Mitteln der Statik berechenbar. Schwieriger gestaltete sich der Kraftverlauf im Unterbau mit sowohl im Grundriss als auch im Aufmaß gekrümmten Trägern, Strebepfeilern und Stützungen. Im Vorfeld wurden daher Belastungsversuche an einem Eichenholzmodell im Maßstab 1:25 (Bild 8) durchgeführt, die letztlich eine notwendige Stabilisierung der Strebepfeiler durch zusätzliche Versteifungsbänder offenbarten. Weiter konnte gezeigt werden, dass die monolithische Ausbildung der Hauptbögen deutliche Vorteile gegenüber einem gelenkigen Anschluss bot.

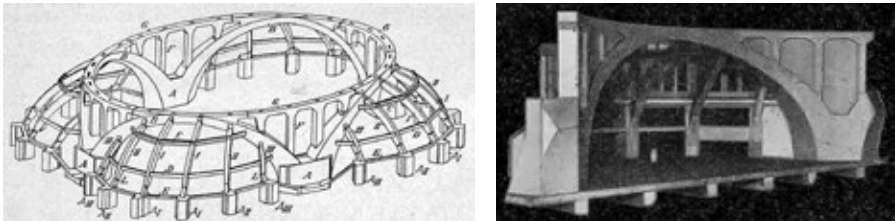


Bild 8: Unterbau der Rippenkuppel der Jahrhunderthalle Breslau und Holzmodell für Voruntersuchungen
Zeichnung und Foto: aus [47]

3 Frühe Langzeitmessungen und Anfänge dynamischer Messungen

Seit der Jahrtausendwende erlebt auch die integrale Bauweise wieder eine Renaissance im Brückenbau. In jüngster Vergangenheit wurde eine Reihe integraler Brückenbauwerke ausgeführt (siehe z. B. [48]). Gegenüber konventionellen Brücken benötigen die integralen aufgrund ihrer statischen Unbestimmtheit eine genauere Betrachtung der Zwangsschnittgrößen. Neben den werkstoffbedingten Zwangsschnittgrößen bei Betontragwerken infolge Kriechens und Schwindens treten zusätzliche Zwänge aus wechselnden Temperaturen und Bauwerkssetzungen auf. Bei den integralen Bauwerken ist zudem die Boden-Bauwerks-Interaktion zu berücksichtigen, die nachfolgend jedoch nicht diskutiert werden soll. Parametrisierte Berech-

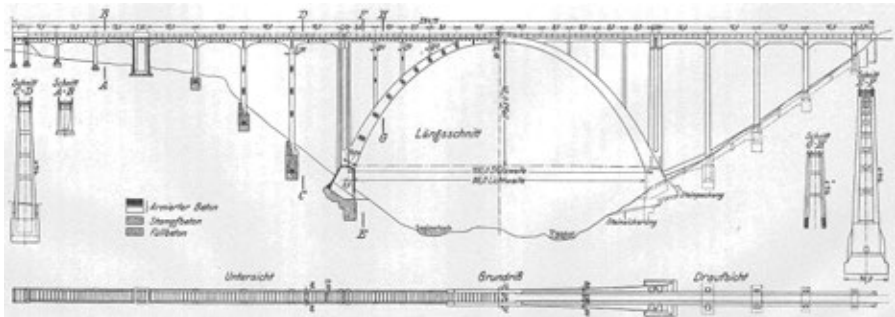


Bild 9: Konstruktionszeichnungen Langwieser Viadukt

Zeichnung: aus [52]

nungsverfahren von integralen Brücken sind Gegenstand aktueller Forschung (siehe hierzu [49] und [50]).

Der Ansatz von Spannungen infolge variierender Temperatur wird erstmals in den Stahlbetonvorschriften aus dem Jahr 1916 berücksichtigt [9]. Hierbei ist ein Ansatz von $\pm 15\text{ °C}$ gegenüber einer Aufstelltemperatur von $T_0 = 10\text{ °C}$ für Ingenieurbauwerke empfohlen. Der Ansatz dieser Werte geht nach [51] auf Versuche an den Probefeldern der Leipziger Querbahnsteighalle sowie die Untersuchungen von Schürch in [52] zum Langwieser Viadukt zurück (Bild 9).

Das Langwieser Viadukt stellt bis heute eine Ikone des Massivbrückenbaus dar [53], markiert es doch zusammen mit der von Mörsch entworfenen Gmüdetobelbrücke eine Pionierleistung im integralen Brückenbau. Die vor ca. 100 Jahren durchgeführten Versuche zum Langwieser Viadukt wurden von Herrmann Schürch, dem Schwiegersohn von Eduard Züblin, in einer Dissertation ausgewertet [52]. Als ein Referent der Arbeit tritt Gehler auf, der zuvor Versuche zum Temperaturverhalten an den Bindern der Querbahnsteighalle Leipzig durchgeführt hatte [41], s. a. Abschn. 2.2.4. Neben den jahreszeitlichen Schwankungen wurden auch die Temperaturschwankungen innerhalb eines Tages aufgenommen. Die Langzeitmessungen wurden baubegleitend begonnen.

Während Gehler in [35] bei den Versuchen an dem filigranen Balkenträger der Querbahnsteighalle eine deutliche Erwärmung des gesamten Bauteils infolge einer sich verändernden Umgebungstemperatur festgestellt hatte, bemerkte Schürch insbesondere bei dickeren Bauteilen einen deutlichen Temperaturgradienten über den Bauteilquerschnitt bzw. Temperaturdifferenzen bei einseitiger Verschattung oder Sonneneinstrahlung. Der Effekt des linearen Spannungunterschiedes war erkannt. Demzufolge empfahl man, die Bewehrung umlaufend im Querschnitt anzuordnen. Obwohl in der Realität größere Temperaturschwankungen gemessen wurden, hielt man an einer Temperaturamplitude von $\pm 15\text{ °C}$ als Ansatz bei Ingenieurbauwerken fest. Man begründete dies damit, dass infolge der Überschüttung das Bauteil geschützt wird. In [51] wurde jedoch auch darauf hingewiesen, dass es zu deutlich höheren Beanspruchungen kommen kann und demzufolge größere Differenzen von bis zu $\pm 25\text{ °C}$ anzunehmen wären. Schürch [52] verweist ebenfalls darauf, dass für schlanke und nicht verschattete Bauteile die Vorgaben in den zum damaligen Zeitpunkt gültigen Bestimmungen [9] zu günstig sind.

Würde man die heutigen Lastannahmen nach DIN EN 1991 [54] ansetzen, wäre ein konstanter Temperaturanteil von -26 °C bzw. $+29\text{ °C}$ gegenüber einer Aufstelltemperatur von 10 °C zu berücksichtigen. Weiter sind der lineare Temperaturanteil als auch Temperaturunterschiede zwischen Bauwerksteilen zu berücksichtigen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass bei statisch unbestimmten Systemen die Zwangsschnittgrößen infolge Rissbildung deutlich abgemindert werden können – sowohl beim Neubau als auch bei der Bewertung von Bestandsbrücken durch Reduktion der Steifigkeiten im System pauschal um bis zu 40 % [55].

Wie bereits zuvor erwähnt, wurden in jüngerer Vergangenheit integrale Bauwerke auch für Eisenbahnbrücken ausgeführt. Während es bei der konventionellen Bauweise genügt, die Setzungs- und Verformungsprozesse beim Bau zu beobachten, ist es bei der integralen Bauweise auch notwendig, die horizontalen Verformungsprozesse zu beobachten, da diese bemessungsrelevante Schnittgrößen durch die monolithische Bauweise bewirken. Exemplarisch kann hierbei das baubegleitende Messprogramm beim Bau der Scherkondetalbrücke genannt werden [56]. Dieses Messprogramm wurde über die Bauphase hinaus erweitert, um auch Erkenntnisse zum Langzeitverhalten der Konstruktion sowie zum Verhalten unter dynamischer Belastung zu gewinnen [57].

Dynamische Untersuchungen blieben zuvor lange Zeit aufgrund fehlender oder unzureichender Messtechnik erfolglos bzw. wenig aussagekräftig. Einen Einblick über Messversuche und mögliche Messgeräte in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts liefert Bühler 1929 in [58]. Etwas resigniert fasst er letztlich zusammen, dass das Schwingungsverhalten bis dato unzureichend erfasst wurde und somit verlässliche Untersuchungen zum Schwingungsverhalten kaum möglich sind.

Bereits vier Jahre später nennt Gehler in [59] Schwingungsuntersuchungen an Stahlbrücken für noch am weitesten fortgeschritten. Dynamische Untersuchungen an Stahlbetonbrücken bezeichnet aber auch er als vollkommen unzureichend und unerforscht. In [59] verweist er zudem auf die Schwierigkeit im Hochbau, da hier die zunehmende Dreidimensionalität erschwerend bei der Beurteilung hinzukommt. Im Rahmen des Beitrages soll die weitere Entwicklung dynamischer Messmethoden jedoch nicht dargestellt werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Über Umfang, Sinn und Durchführung von experimentellen Bauwerksversuchen wurde lange gestritten [11]. Am Beispiel des früheren Leiters der Versuchs- und Materialprüfungsanstalt, dem Stahlbetonpionier Willy Gehler, wurden exemplarische Bauwerksuntersuchungen aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts dargestellt. Die Wichtigkeit von Messungen an Bauwerken, insbesondere im Bestand, ist heute unumstritten. Es ist zu begrüßen, dass die Richtlinie für Hochbauten [6] derzeit überarbeitet und an das aktuelle Regelwerk angepasst wird. Eine Erweiterung des Anwendungsgebietes einer solchen Richtlinie, bspw. auf Ingenieurbauwerke, steht aus. Die Prüfung am Bauwerk selbst bietet auch weiterhin ausreichend Freiheiten und Möglichkeiten, um zu einer sinnvollen ingenieurmäßigen Bewertung zu gelangen.

Literatur

- [1] DIN EN 13791:2008-05: Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen; Deutsche Fassung EN 13791:2007.
- [2] Schnell, J.; Zilch, K.; Dunkelberg, D.; Weber, M.: Sachstandbericht Bauen im Bestand – Teil I: Mechanische Kennwerte historischer Betone, Betonstähle und Spannstähle für die Nachrechnung von bestehenden Bauwerken. In: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb, Hrsg.): Schriftenreihe des DAfStb, Heft 616, Berlin: Beuth, 2016.
- [3] Loch, M.; Stauder, F.; Schnell, J.: Bestimmung der charakteristischen Betonfestigkeiten in Bestandstragwerken – Anwendungsgrenzen von DIN EN 13791. Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011) 12, S. 804–814.
- [4] Loch, M.: Beitrag zur Bestimmung von charakteristischen Werkstofffestigkeiten in Bestandstragwerken aus Stahlbeton. Diss., TU Kaiserslautern, 2014.
- [5] DIN EN 1992-1-1:2011-01: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010.
- [6] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb, Hrsg.): Belastungsversuche an Betontragwerken. Richtlinie, Berlin: Beuth, Ausgabe 9/2000.
- [7] Bolle, G.; Schacht, G.; Marx, S.: Geschichtliche Entwicklung und aktuelle Praxis der Probelastung – Teil 2: Entwicklung von Normen und heutige Anwendung. Bautechnik 87 (2010) 12, S. 784–789.
- [8] DIN 1045:1959-11: Bauwerke aus Stahlbeton. In: Fingerloos, F. (Hrsg): Historische technische Regelwerke für den Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau. Berlin: Ernst & Sohn / Wiley, 2009, S. 253–307.
- [9] Bestimmungen für die Ausführung von Bauwerken aus Eisenbeton: 1916-01. In: Fingerloos, F. (Hrsg): Historische technische Regelwerke für den Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau. Berlin: Ernst & Sohn / Wiley, 2009, S. 63–91.
- [10] Vorläufige Leitsätze für die Vorbereitung, Ausführung und Prüfung von Eisenbetonbauten: 1904-03. In: Fingerloos, F. (Hrsg): Historische technische Regelwerke für den Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau. Berlin: Ernst & Sohn / Wiley, 2009, S. 21–37.
- [11] Gehler, W.: Balkenbrücken. In: Emperger, F. (Hrsg.): Handbuch für Eisenbeton, VI. Band, Berlin: Ernst & Sohn, 1931.
- [12] Mörsch, E.: Der Eisenbetonbau – seine Theorie und Anwendung. 3. Aufl., Stuttgart: Konrad Wittwer, 1908.
- [13] Schmidt, H.; Opitz, H.: Experimentelle Erprobung von Stahlbetonbauwerken in situ. In: IABSE-AIPC-IVBH (Ed.): IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht, 6.–10.6.1988 in Helsinki (Finland), IABSE congress reports vol. 13, 1988, pp. 403–408.
- [14] TGL 33407/04:1986: Nachweis der Trag- und Nutzungsfähigkeit aufgrund experimenteller Erprobung.
- [15] DIN 1045:1972-01: Beton- und Stahlbetonbau, Bemessung und Ausführung – DIN 1045. In: Fingerloos, F. (Hrsg): Historische technische Regelwerke für den Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau. Berlin: Ernst & Sohn / Wiley, 2009, S. 459–615.

- [16] Homepage Fraunhofer IRB: <https://www.irb.fraunhofer.de/bauforschung/baufolit/projekt/Neufassung-der-Richtlinie-Belastungsversuche-an-Betonbauwerken/20148036315>.
- [17] Schacht, G.; Bolle, G.; Marx, S.: Belastungsversuche – Internationaler Stand des Wissens. Bautechnik 93 (2016) 2, S. 85–97.
- [18] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): Richtlinie für die Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie). Ausgabe 5/2011.
- [19] Friebe, U.; Gommola, G.: 90 Jahre Brückenmesswesen bei der Eisenbahn in Deutschland. In: Messtechnik im Bauwesen – Special April 2013. Berlin: Ernst & Sohn, 2013, S. 36–40.
- [20] DB Netz AG (Hrsg.): Richtlinie 805 – Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken; Modul 805.0104: Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken – Grundlagen für die Nachrechnung – Meßtechnische Bauwerksuntersuchungen. 1/1997.
- [21] Geißler, K.; Knaack, H.-U.; Bolle, G.; Marx, S.: Messtechnische Konzepte in den Regelwerken von Infrastrukturbetreibern – neuer Modul 805.0104 der Richtlinie 805. In: Marx, S.; Opitz, H.; Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband 5. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen, 9.11.2009 in Dresden, erschienen in: Curbach et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 18, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2009, S. 57–68.
- [22] Fingerloos, F.; Marx, S.; Schnell, J.; unter Mitarbeit von Anges, W.; Bolle, G.; Schacht, G.; Stauder, F.; Weber, M.: Tragwerksplanung im Bestand – Bewertung bestehender Tragwerke. In: Bergmeister, K.; Fingerloos, F.; Wörner, J.-D. (Hrsg.): Betonkalender 2015 – Teil 1: Bauen im Bestand. Berlin: Ernst & Sohn, 2015, S. 25–114.
- [23] Kurrer, K.-E.: Geschichte der Baustatik. Berlin: Ernst & Sohn, 2002.
- [24] Werner, F.; Seidel, J.: Der Eisenbau – Vom Werdegang einer Bauweise. Berlin: Verlag für Bauwesen, 1992.
- [25] Huberti, G.: Teil B – Die erneuerte Bauweise. In: Huberti, G. (Hrsg.): Vom Caementum zum Spannbeton – Band I: Beiträge zur Geschichte des Betons. Wiesbaden/Berlin: Bauverlag, 1964, 1*–198*.
- [26] Stegmann, K.: Zu den deutschen Anfängen des Bauens mit Beton – Der Stampfbetonpionier Eugen Dyckerhoff (1844–1924). Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011) 6, S. 415–424.
- [27] Actien-Gesellschaft für Monier-Bauten (Hrsg.): Die Monier-Bauweise, D. R.-Pat. (Eisengerippe mit Cement-Umhüllung). Firmenbroschüre, Berlin, 1891.
- [28] Koenen, M.: Für die Berechnung der Stärke der Monierschen Cementplatten. Centralblatt der Bauverwaltung 6 (1886) 47, S. 462.
- [29] Homepage des Forschungsprojektes über Willy Gehler: <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/forschung/Forschungsfelder/Weiteres/Gehler>
- [30] Curbach, M.; Hänseroth, T.; Hensel, F.; Scheerer, S.; Steinbock, O.: Genius and Nazi? Willy Gehler (1876-1953) – A German Civil Engineer and Professor between Technical Excellence and Political Entanglements in the 20th century. In: Bowen, B.; Friedmann, D.; Leslie, T.; Ochsendorf, J. (Hrsg.): Proceedings of ICCH5 – 5th International Congress on Construction History. Chicago/USA, 2015, Bd. 1, S. 549–556.
- [31] Hänseroth, T.: Ein Fachmann für alle politischen Fälle: Die Karrieren des Dresdner Ingenieurwissenschaftlers Willy Gehler. In: Hänseroth, T. (Hrsg.): Technik und Wissenschaft als

- produktive Kräfte in der Geschichte. Rolf Sonnemann zum 70. Geburtstag. Dresden: TU Dresden, 1998, S. 207–219.
- [32] Bolle, G.; Schacht, G.; Marx, S.: Geschichtliche Entwicklung und aktuelle Praxis der Probelastung – Teil 1: Geschichtliche Entwicklung im 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts. Bautechnik 87 (2010) 11, S. 700–707.
- [33] Bolle, G.; Schacht, G.; Marx, S.: Loading Tests of Existing Concrete Structures - Historical Development and Present Practise. In: Sruma, V. (Hrsg.): Proceedings of the fib Symposium Prague 2011: Concrete Engineering for Excellence and Efficiency, 8.–10.6.2011 in Prague (Czech Republic), published on DVD, 12 pages.
- [34] Mitteilungen aus Vereinen – Sächsischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Deutsche Bauzeitung 38 (1904) 45, S. 279.
- [35] Gehler, W.: Der Rahmen – Einfaches Verfahren zur Berechnung von Rahmen aus Eisen und Eisenbeton mit ausgeführten Beispielen. Berlin: Ernst & Sohn. 1913.
- [36] Gehler, W.: Bruchprobe einer Hennebique-Brücke. Deutsche Bauzeitung – Mitteilungen 1 (1904) 9, S. 33–34.
- [37] Geiger, J.: Mechanische Schwingungen und ihre Messung. Berlin: Springer, 1927.
- [38] Stegmann, K.: Die Brücken der Firma Dyckerhoff & Widmann (Dywidag) auf den Industrieausstellungen der Jahrhundertwende. Beitrag zur Tagung „10 Jahre Brückenbau im Deutschen Museum“, 18.11.2008 in München, 3. S., online unter: <http://architexts.net/stegmann/archiv/08-tagung-brueckenbau/Stegmann-Tagung-Brueckenbau.pdf>.
- [39] Weese, E.; Gehler, W.: Belastungsprobe der Beton-Gelenkbrücke der Düsseldorfer Ausstellung 1902. Deutsche Bauzeitung – Mitteilungen über Zement, Beton- und Eisenbetonbau 6 (1904) 9, S. 40 und 10, S. 41–42.
- [40] Kögler, F.: Die Hallen des Hauptbahnhofes in Leipzig. Armierter Beton 5 (1912) 4, S. 133–142 und 5, S. 175–182.
- [41] Gehler, W.: Querbahnsteighalle in Eisenbeton für den Hauptbahnhof in Leipzig. Deutsche Bauzeitung 9 (1912) 9, S. 65–71; 10, S. 73–78 und 11, S. 84–88.
- [42] Wetzck, V.: Brückenlager. 1850–1950. Diss., BTU Cottbus, 2010.
- [43] Mörsch, E.: Der Eisenbetonbau – seine Theorie und Anwendung. 3. Aufl., Stuttgart: Konrad Wittwer, 1908.
- [44] Ritter, W.: Die Bauweise Hennebique. Schweizerische Bauzeitung 33/34 (1899) 5, S. 41–43; 6, S. 49–52; 7, S. 59–61.
- [45] Ramm, W.: Über die faszinierende Geschichte des Betonbaus. In: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): Gebaute Visionen – 100 Jahre Deutscher Ausschuss für Stahlbeton 1907-2007. Berlin: Beuth, 2007, S. 27–130.
- [46] Zilch, K.; Zehetmaier, G.: Bemessung im konstruktiven Betonbau; Nach DIN 1045-1 (Fassung 2008) und EN 1992-1-1 (Eurocode 2). 2., neu bearb. u. erw. Aufl., Berlin Heidelberg: Springer, 2010.
- [47] Trauer, G.; Gehler, W.: Die Jahrhunderthalle in Breslau – Berechnung, Konstruktion und Bauausführung. Sonderdruck, Berlin: Springer, 1914.
- [48] Schlaich, M.; Fackler, T.: Die neuen Brücken der Deutschen Bahn. In: Curbach, M. (Hrsg.):

- Tagungsband zum 22. Dresdner Brückenbausymposium – Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken, 12./13.3.2012 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2012, S. 161–173.
- [49] Methner, R.: Beitrag zum Bemessungskonzept integraler Betonbrücken – Berichte aus dem konstruktiven Ingenieurbau. Diss., TU München, 2009.
- [50] Graubner, C.-A.; Kohoutek, J.: Integrale Brücken im Wandel der Zeit. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 25. Dresdner Brückenbausymposium. Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken, 9./10.3.2015 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2015, S. 131–148.
- [51] Gehler, W.: Erläuterungen zu den Eisenbeton-Bestimmungen 1932 mit Beispielen. 5. Aufl., Berlin: Ernst & Sohn, 1933.
- [52] Schürch, H.: Versuche beim Bau des Langwieser Talüberganges und deren Ergebnisse. Diss., Kgl. TH Dresden. Berlin: Springer, 1916.
- [53] Mehlhorn, G.; Hoshino, M.; Morgenthal, G.: Brückenbau auf dem Weg vom Altertum zum modernen Brückenbau. Aktuelle Entwicklungen. In: Mehlhorn, G.; Curbach, M. (Hrsg.): Handbuch Brücken – Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten. 3. Aufl., Berlin: Springer Vieweg, 2014.
- [54] DIN EN 1991-1-5:2010-12: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen; Deutsche Fassung EN 1991-1-5:2003 + AC:2009.
- [55] DIN EN 1992-2:2010-12: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Brücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln; Deutsche Fassung EN 1992-2:2005 + AC:2008.
- [56] Marx, S.; Bösche, T.; Sonnabend, S.: Baubegleitendes Messprogramm zur Überprüfung der rechnerischen Last- und Systemannahmen beim Bau der Scherkondetalbrücke. In: Marx, S.; Opitz, H.; Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband 5. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen, 9.11.2009 in Dresden, erschienen in: Curbach et al. (Hrsg.): Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden kid, Heft 18, 2009, S. 45–56.
- [57] Marx, S.; Herrmann, R.; Wenner, M.; Schenkel, M.: Monitoring an Talbrücken im Eisenbahnhochgeschwindigkeitsverkehr. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 23. Dresdner Brückenbausymposium. Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken, 11./12.3.2013 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2013, S. 131–152.
- [58] Bühler, A.: Die Entwicklung der Messung dynamischer Wirkungen bei Brücken. Bautechnik 7 (1929) 27, S. 421–425 und 29, S. 448–451.
- [59] Gehler, W.; Hort, W.: Schwingungsuntersuchungen an einer Eisenbeton-Pilzdecke des Ford-Neubaus in Köln. In: Deutscher Ausschuss für Eisenbeton (DAfEb, Hrsg.): Schriftenreihe des DAfEb, Heft 76, Berlin: Ernst & Sohn, 1934.
- Ann.: Alle Internetadressen wurden am 31.7.2017 geprüft.