

geschlossenen und klaffenden Segmentfugen. Teil 1: Eine Nachweisführung gemäß Elastizitätstheorie in: Beton- und Stahlbetonbau 115, H. 11, S. 838–847. <https://doi.org/10.1002/best.202000051>

[6] Loh, L.; Garg, A. (2021) *Torsionstragverhalten von Betonhohlquerschnitten in geschlossenen und klaffenden Segmentfugen: Teil 2: Die Umlagerung der Torsionsschubspannungen* in: Beton- und Stahlbetonbau

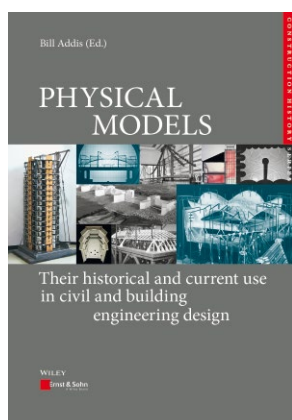
116, H. 11, S 871–880. <https://doi.org/10.1002/best.202100034>

[7] Francke, W.; Friemann, H. (2005) *Schub und Torsion in geraden Stäben*. Bd. 3. Konstanz: Vieweg, 2005, S. 19–24.

BUCHBESPRECHUNG

Addis, Bill (Ed.): **Physical Models: Their historical and current use in civil and building engineering design.**

Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn 2021. XXXII, 1114 Seiten, 896 Abb., 14 Tab., 22 × 28,5 cm, Hardcover, Geb. ISBN: 978-3-433-03257-2: Print, 139,00 € ISBN: 978-3-433-03305-0 eBundle (Print + ePDF), 229,00 €



Schaut man zum ersten Mal in das Buch, wird man schwindlig von der Fülle der Informationen. Beim zweiten Blick erkennt man die kluge Einteilung des Stoffes in erträgliche Happen, die hier Teile genannt sind, chronologisch aufeinander folgend. Dem geht eine Vorrede des Herausgebers Bill Addis voraus, in der mit englischem Understatement gesagt wird, dass im Buch nur an der Oberfläche der heutigen Kenntnis gekratzt werden konnte und dass jeder Teil den Stoff für mehrere Dissertationen abgäbe. Der Leser wird bald bemerken, dass in diesem Buch tiefer gegraben wird.

Zum Inhalt: Das Buch beginnt im ersten Kapitel des Teiles A mit den physikalischen Modellen bis in die 1880er Jahre. Darin kommen illustre Namen vor, zum Beispiel Vitruv mit seinen zehn Büchern über die Architektur, Heron von Alexandria mit seinen technischen Apparaten, Brunelleschi mit seinem Modell der Kuppel des Doms von Florenz, da Vinci mit seinen Vorschlägen zur Statik, Palladio mit seiner Abhandlung zur Architektur, Galilei mit seinem Hinweis auf die Schwäche des Riesen, Fontana über das Aufrichten des Obelisken im Vatikan, Elias Holl mit seiner Sammlung wissenschaftlicher

Geräte in Augsburg, Grubenmann mit seinen Modellen der Holzbrücken über den Rhein, Smeaton mit der Konstruktion des Leuchtturms bei Plymouth.

Das folgende Kapitel betrifft das Studium von Bögen und Gewölben mit Hilfe von Klotzmodellen von Hooke und Wren, von Rondelet, von Young und Pippard u.a., die zum Verständnis von auf Druck belastetem Mauerwerk beitragen. Demgegenüber behandelt das Kapitel über die Kettenlinie auf Zug belastete Bauteile. Hängemodelle von Poleni für die Kuppel des Petersdoms, Kulibins Modell der Brücke über die Nera, Gaudis Modell der Sagrada Familia, und schließlich das Modell der Kuppel des Reichstags von Gössling. Die meisten Modelle wurden als Spiegelbild der Kettenlinie für auf Druck belastete Kuppeln verwendet. Das nächste Kapitel ist den Arbeiten von Leonhard Euler zur Berechnung neuartiger Brücken gewidmet, wobei auch die Knickversuche von Musschenbroek zur Sprache kommen. Die zwei folgenden Kapitel gehen ausführlich auf die Modelle von britischen Hänge- und Röhrenbrücken von Telford, Buchanan und Dredge ein, wobei auch konstruktive Details behandelt werden. Gedanken zum Modellmaßstab und zur Ähnlichkeit finden hier Beachtung.

Teil B ist dem Einsatz von Modellen beim konstruktiven Entwurf in den 1890er bis zu den 1930er Jahren gewidmet. Das erste Kapitel behandelt die umfangreiche britische Debatte über die Stabilität von gemauerten Staubauwerken. Man kommt zum Schluss, dass die bisherige empirische Herangehensweise zu einer sicheren Abschätzung geführt hätte. Im nächsten Kapitel wird der wissenschaftlich begründete Entwurf der Boulder-Staumauer in den USA behandelt, zu dem auch breit angelegte Modellversuche gehörten. Dünne Schalen aus Beton, ausgehend von den Jenaer Zeiss-Dywidag-Schalen, kommen an die Reihe. Ausführlich werden die Arbeiten von Dingscher und Finsterwalder gewürdigt, die als Pioniere dieser Bauweise angesehen werden. Danach folgen zwei Kapitel über Modellversuche in Italien in der Zwischenkriegszeit und die Arbeiten von

Torroja. Diese betreffen Staumauern und weit gespannte Tragwerke, wobei jetzt an den Modellen Verformungen, Durchbiegungen und Kräfte gemessen wurden. Die Spannungsoptik wird in einem eigenen Kapitel beleuchtet. Die auf der Spannungsdoppelbrechung beruhende Methode erlaubt auch, den Spannungszustand im Inneren von Bauteilen zu bestimmen.

Im Teil C wird der konstruktive Entwurf anhand von Modellen in den Jahren 1940 bis 1980 behandelt. Er beginnt mit einem Kapitel über Modellherstellung und Messtechniken. Darin werden die Anfänge der elektrischen Dehnungsmessung besprochen, auch der akustischen und anderer Verfahren. Die praktische Anwendung dimensionsloser Größen und Buckingham's  $\pi$ -Theorem werden erläutert. Eigene Kapitel bekommen die MPA in Stuttgart, das ISMES in Bergamo und das ICMC in Madrid. In Stuttgart wurden die Arbeiten an Modellen vom Trio Graf-Leonhardt-Schaechterle initiiert im Zusammenhang mit dem Bau der Reichsautobahnen und den notwendigen Brücken, vor allem über den Rhein. Viel später, im Jahr 1953, wurde dort das Institut für Spannungsoptik und Modellmessungen gegründet, das einzige Universitätsinstitut dieser Art in Deutschland. Ein Abschnitt dieses Kapitels beschreibt anschaulich die Aktivitäten von Frei Otto, der die Form von zugbeanspruchten Seilnetzkonstruktionen mit Hilfe von mit Seifenlauge erzeugten Minimalflächen bestimmte. Das 1951 gegründete ISMES befasste sich ausführlich mit Modelluntersuchungen von Staumauern. Ein anderer Schwerpunkt betraf das Verhalten von Hochhäusern unter statischer und Windlast und von außergewöhnlichen Hochbauten wie Kirchen und Sporthallen. Das Zentralinstitut ICMC begann mit spannungsoptischen Modellen, später mit Modellen aus bewehrtem Mikrobeton, mit denen Hochbauten, aber auch Staumauern untersucht wurden. Damit verbunden ist der Name Torroja, ein findiger und äußerst aktiver Ingenieur, der mehrere Institutionen gründete und leitete.

Die Cement & Concrete Association be- saß in Wexham Springs, UK, ein kloster-

ähnliches Anwesen, in dem neben Materialentwicklung auch bedeutende Untersuchungen an Modellen stattfanden, vor allem unter der Leitung von Rowe. Diese betrafen Brücken, Kühltürme, Kirchen und weit gespannte Schalen. In den folgenden fünf Kapiteln werden herausragende Persönlichkeiten oder Einzelprojekte abgehandelt. Hosdorf verwendete für seine Modelle Acryl- und Epoxidharz, Holz, Aluminium, Stahl und Mikrobeton, je nach Aufgabenstellung. Für das Studium der Rissbildung kam Mikrobeton in Frage, für elastisches Verhalten die anderen Werkstoffe, für plastisches Verhalten eher Aluminium und Stahl. Experimente mit Seifenblasen waren ein Schwerpunkt von Frei Otto, die wie oben schon erwähnt zu Minimalflächen führen. Diese Arbeiten sind einmalig und waren immer inspirierend. Musmeci studierte auch mit Hilfe von Seifenblasen und Gummimodellen das Verhalten ausgefallener Brückenformen und erzielte ähnliche Ergebnisse wie Otto, zunächst ohne von einander zu wissen. Isler entwickelte die Formen seiner randlosen Schalen mittels zu Eis gefrorener Tücher. Isler war ein vehementer Verfechter der Modelle im Gegensatz zu Torroja oder Dischinger, die von der analytischen Seite die Aufgaben angingen. Der Multihalle in Mannheim wird ein eigenes Kapitel gewidmet. Als Holzgitterschale mit 60 m Spannweite ist sie noch stets ein Unikat, das in vielfacher Weise mittels Modellen untersucht wurde.

Der Teil D behandelt Modelltechniken für nichtstatische Probleme, dazu gehören Windtunnel, Rütteltische zur Erbe-

bensimulation, Akustik, geotechnische Zentrifugen. Neben den räumlichen Koordinaten kommt jetzt die Zeit hinzu und damit die Trägheitskraft. Es beginnt mit der Geschichte der hydraulischen Modelluntersuchungen in Frankreich, England, den USA, der Schweiz und anderer Länder. Danach wird das Aufkommen von Windkanälen behandelt, die für die Sichtbarmachung von Windströmungen und Wirbeln, aber auch zur Messung von Windkräften, Resonanz- und Flattererscheinungen bei Brücken eingesetzt werden. Es folgt ein Kapitel über Rütteltische, die mit einem Freiheitsgrad begannen und heute mit bis zu sechs Freiheitsgraden ausgestattet sind. Die akustische Behandlung von Konzertsälen, Kirchen und Tonstudios begann in den letzten Jahren des 19. Jahrhunderts und wurde laufend verbessert. Trägheitskräfte entstehen durch die Beschleunigung von Masse, was in Zentrifugen für geotechnische Untersuchungen zum Ansatz kommt. Begonnen hat die Entwicklung in den USA und der UdSSR im 20. Jahrhundert nach britischen Vorschlägen aus dem 19. Jahrhundert.

Im Teil E kommen Projekte des 21. Jahrhunderts an die Reihe, die ebenso lehrreich und vielfältig sind wie die früheren, im Einzelnen sind dies einige, die direkt an frühere Aufgaben anschließen, zum Beispiel der konstruktive Entwurf von Ingenieurbauten und von komplexen Backsteingebäuden, hydraulische Fragestellungen, Grenzschnittuntersuchungen im Windkanal, Rütteltische und Zentrifugen. Neu ist die Biomimetik, das heißt, die Nachahmung von Pflanzenbewegun-

gen in technischen Anlagen. Das Arbeiten mit Modellen wurde im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts durch das Aufkommen der Computer und der Anwendung von Finiten Elementen fast vollständig verdrängt, bleibt aber weiterhin ein wichtiger Baustein für Architekten und Ingenieure.

Die 39 Einzelkapitel des Buches sind von 31 Fachleuten verfasst, darunter sieben vom äußerst fachkundigen Herausgeber. Das Buch besticht durch seine Vielzahl an behandelten Themen. Man kann es als Fundquelle benutzen genauso wie als Lektüre. Am Ende jedes Kapitels findet sich ein Literaturverzeichnis, am Ende des Buches ein sorgfältig bearbeitetes Stichwortverzeichnis, dem ein Kurzlebenslauf der beteiligten Personen vorangestellt ist. Abbildungen bereichern den Text. Es ist das erste Mal, dass das Arbeiten mit Modellen in ganzer Breite in einem Buch behandelt wird, wie auch Werner Sobek in seinem Vorwort bemerkt. Die Herausgeber der Edition Bautechnikgeschichte Karl-Eugen Kurrer und Werner Lorenz können sich glücklich schätzen, einen so versierten Herausgeber in der Person von Bill Addis verpflichtet zu haben. Es ist zu wünschen, dass das Buch reiche Verbreitung findet, denn es gehört in jede Fachbibliothek, aber auch in die Privatbibliothek architektonisch, bautechnisch und wissenschaftlich interessierter Personen.

Hans-Wolf Reinhardt, Stuttgart

## NACHRICHTEN

### Kreislaufwirtschaft und CO<sub>2</sub>-Einsparung: Projekt der BAM zur Verwertung von Stahlwerksschlacken verspricht doppelten Nutzen

Berlin, 12.10.2021. Große Mengen an Schlacke aus der Stahlproduktion bleiben heute für die Kreislaufwirtschaft ungenutzt. Dabei ließe sich aus dem Reststoff nicht nur Roheisen gewinnen, sondern auch ein CO<sub>2</sub>-sparendes Bindemittel für die Zementindustrie. Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung optimiert jetzt das Verfahren, um es schnell in die Anwendung zu bringen.

In der Stahlproduktion werden in Deutschland jedes Jahr über 5 Millionen Tonnen an Schlacke erzeugt – eine wertvolle Ressource, die zu rund 30 Prozent aus Eisenoxid besteht. Die Schlacke aus den Stahlwerken geht zum größten Teil

beim Straßenbau in Asphalt und Beton ein, in Wasserbausteine für Kanäle oder Schotter für Gleisbette. Das bedeutet auch: Das gebundene Eisen wird nicht entsprechend seiner stofflichen Potenziale genutzt und ist für das Recycling verloren. An der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) startet jetzt ein Projekt, das auf ein Zero-Waste-Konzept zielt, also auf die möglichst vollständige Verwertung der Schlacke. „Wir wollen das Eisenoxid aus der Schlacke zu Roheisen reduzieren und so wieder der Stahlproduktion zuführen“, erklärt Christian Adam, Leiter des Projekts und Experte für Kreislaufwirtschaft an der BAM. „So ließen sich allein in Deutsch-

land jedes Jahr 600.000 Tonnen an Roheisen zurückgewinnen und damit 900.000 Tonnen Eisenerz ersetzen, die sonst importiert werden müssten.“

Die BAM konnte bereits demonstrieren, dass das Verfahren technisch funktioniert. Mehr noch: Es besitzt sogar einen zweiten großen Nutzen: Bei dem Prozess der Eisenreduktion wird als Nebenprodukt ein hochwertiges mineralisches Bindemittel erzeugt. Es könnte in der Zementindustrie anstatt des üblichen Portlandzementklinkers eingesetzt werden. Portlandzementklinker wird aus Primärrohstoffen hergestellt, die aufwendig im Bergbau gewonnen und unter hohem