



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

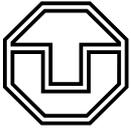
**FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN**

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](http://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

## Untersuchungen des Otto-Mohr-Laboratoriums an historischer Bausubstanz in und um Dresden

Sabine Wellner<sup>1</sup>, Silke Scheerer<sup>2</sup>, Torsten Hampel<sup>3</sup>

**Zusammenfassung:** Die experimentelle Untersuchung von Bauwerken oder Bauteilen im Bestand sind ein Hauptarbeitsgebiet des Otto-Mohr-Laboratoriums der Technischen Universität Dresden. Einige Projekte, die in den vergangenen zwei Jahren durchgeführt wurden, sollen kurz vorgestellt werden.

**Summary: Projects of the Otto Mohr Laboratory on historic sites in and around Dresden.** *Experimental investigations of whole structures or of single elements in existing buildings are a main area of expertise of the Otto Mohr Laboratory of the Technische Universität Dresden. A few projects, which have been carried out over the last two years, will be presented shortly.*

### 1 Überprüfung der Unterspannung der Decke im Ratssaal Pirna

Im Großen Ratssaal im Rathaus der Stadt Pirna, welches erstmals Ende des 14. Jahrhunderts urkundlich erwähnt wurde [1], wurde 1994 im Zuge der Sanierung der bestehenden historischen Holzbalkendecke eine Unterspannung angebracht, um eine stützenfreie Sicherung der Decke zu ermöglichen. Das Otto-Mohr-Laboratorium (OML) war damals damit beauftragt, die Einleitung der Vorspannkkräfte in die Unterspannungskonstruktion und die resultierenden Durchbiegungen der Deckenbalken messtechnisch zu erfassen. Mit der Zeit fielen die Zugkräfte in der Unterspannung offensichtlich deutlich ab. Fast 20 Jahre später hatte eine statische Nachrechnung zum Teil nur noch ca. 12 % Restvorspannung in der Konstruktion ergeben. Daraufhin wurde das OML

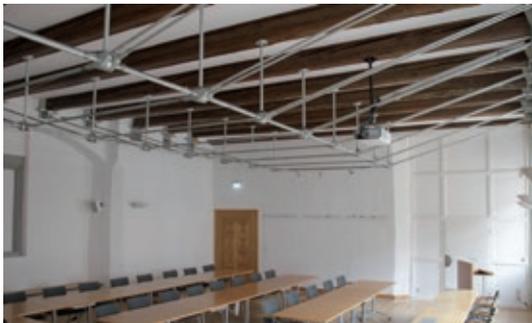


Bild 1: Unterspannung der Decke im Ratssaal Pirna, aufgenommen im Sommer 2014

Foto: Sabine Wellner

2014 beauftragt, eine Hilfskonstruktion zu errichten, um die einzelnen Zugstäbe der Unterspannung durch Entlastung der vertikalen Druckstäbe nacheinander planmäßig ablassen zu können. Über die Dehnungsdifferenz, die mithilfe von an der Oberfläche applizierten Dehnmessstreifen aufgenommen wurde, konnte die jeweilige Ausgangskraft in den entsprechenden Stäben ermittelt werden. Anschließend wurden die vom Statiker vorgegebenen Ziel-Vorspannkkräfte angebracht.

---

1 Dipl.-Ing. (FH), Otto-Mohr-Laboratorium, TU Dresden

2 Dr.-Ing., Institut für Massivbau, TU Dresden

3 Dr.-Ing., Otto-Mohr-Laboratorium, TU Dresden



*Bild 2: Beschleunigungssensoren an einem Horizontalstab bei der Frequenzbestimmung im Sommer 2015 Foto: Sabine Wellner*

Ein Jahr später waren die Vorspannkraften in der Unterkonstruktion zu kontrollieren. Dazu sollten die Horizontalstäbe angeregt werden, um die Eigenfrequenz je Achse mit Hilfe von Beschleunigungsaufnehmern bestimmen zu können. Aus der jeweils ermittelten Frequenz lässt sich die vorhandene Vorspannkraft bestimmen. Als erstes wurde in drei der insgesamt zehn Achsen der Unterspannungskonstruktion – Achsen 3, 6 und 9 – durch das Entlasten von Druckstäben die aktuell vorhandene Vorspannkraft ermittelt. Diese hatte in allen Fällen gegenüber dem Sollwert abge-

nommen. Anschließend wurde die Vorspannung in den drei Achsen wieder auf den Sollwert gebracht. Danach wurden nacheinander an jedem der drei Horizontalstäbe zwei Beschleunigungssensoren – einer in horizontaler und einer in vertikaler Richtung – angebracht. Durch einen definierten Impuls auf den Horizontalstab wurde die jeweilige Achse angeregt und die Frequenz mit einem Transientenrecorder erfasst. Anschließend erfolgte der Abgleich mit den zuvor rechnerisch ermittelten Sollfrequenzen nach [2].

Anhand dieser Eichversuche konnte nun in allen verbleibenden Achsen durch die gezielte Anregung die vorhandene Vorspannkraft ermittelt werden. Als Ergebnis zeigte sich ein uneinheitliches Bild. In den Achsen 3, 6, und 9, die auf den Sollwert angespannt worden waren, war die Übereinstimmung erwartungsgemäß gut. In den übrigen Achsen waren in der Regel Vorspannkraftverluste zu verzeichnen. Folglich wurde empfohlen, die gesamte Konstruktion zeitnah nachzuspannen. Der Vorspannungszustand sollte zudem jährlich messtechnisch kontrolliert werden, um die gewünschte dauerhafte Unterspannung der Decke im Ratssaal sicherzustellen. Dies kann mit der Methode der Spannkraftermittlung mittels Schwingungsmessung am nun kalibrierten System erfolgen.

## **2 Belastungsprüfung im Barockgarten Großsedlitz**

Mit dem Bau des Barockgartens in Heidenau-Großsedlitz in der Nähe von Dresden wurde 1719 im Auftrag des Reichsgrafen August Christoph von Wackerbarth begonnen [3]. Bald ging die Anlage in den Besitz Augusts des Starken über. Bis 1727 wurde der Teil des Parks, der bis heute fast unverändert erhalten ist, angelegt. Der Park selbst gilt Vielen als beeindruckendste Anlage im Stil der französischen Gartenbaukunst in Sachsen. Die für Barockgärten typische strenge geometrische Aufteilung, zahlreiche Sichtachsen, Brunnenanlagen und Freitreppen, eine Vielzahl an Skulpturen sowie in geometrische Formen gebrachte Bäume und Sträucher bestimmen das Bild der gesamten Gartenanlage.

Die „Stille Musik“ ist eine weitläufige geschwungene Treppenanlage, entworfen von Pöppelmann, die ihren Namen von den sie zierenden, musizierenden Putten erhielt. Sie sollte

nach der erfolgreichen Sanierung wieder für die öffentliche Nutzung freigegeben werden. Da ein rechnerischer Nachweis der normativ anzusetzenden Belastung nicht erbracht werden konnte, sollte die Standsicherheit der Balustrade gegenüber einer horizontalen Belastung an der westlichen Treppe experimentell nachgewiesen werden.

Bei Belastungsversuchen dieser Art werden in der Regel äquivalente Einzellasten eingetragen, s. z. B. [4], da eine horizontale Linienlast versuchstechnisch nur schwierig zu realisieren ist. In diesem Fall wurden vier sehr massive Belastungsrahmen benötigt, die zusätzlich noch mit massiven Stahlplatten beschwert wurden. Zum einen sollte durch ein hohes Eigengewicht quasi ein Widerlager für die einzuleitende Belastung geschaffen werden. Zum anderen sollte verhindert werden, dass sich die Rahmen während des Versuchs von den Stufen auf der Belastungsseite abheben, kippen oder verkanten. Da das Eigengewicht hierfür noch nicht ausreichte, wurde der untere Sandsteinsockel der Balustrade mit als Widerlager herangezogen. Durch diese Maßnahmen konnte auf eine zusätzliche Rückverankerung in den Stufen beispielsweise mit Dübeln verzichtet werden.



Bild 3: Anordnung der Belastungsrahmen auf der westlichen Treppe Zeichnung: Sabine Wellner



Bild 4: Aufbau der Belastungsrahmen auf der westlichen Treppe Foto: Sabine Wellner

Der Handlauf der Balustrade setzt sich aus insgesamt fünf Sandsteinelementen zusammen, die jeweils mit Stoßfugen mit Bleiverguss verbunden sind. Die vier äquivalenten horizontalen Einzellasten sollten an den kritischsten Punkten, nämlich an den Stößen der Handlaufelemente, mit synchronisierten hydraulischen Pressen eingeleitet werden. Dazu wurden dazwischengelegte Profile verwendet, die in ihrer Form an den Handlauf angepasst waren, um eine lediglich punktförmige Belastung zu vermeiden. Mit zwei induktiven Wegaufnehmern (IWA) je Lasteinleitungspunkt wurden die Verformungen der Balustrade aufgezeichnet. Ein IWA befand sich gegenüber des Pressenansatzpunktes in Höhe des Handlaufs, ein zweiter am Fußpunkt des am meisten beanspruchten Balusters. Mit Kraftmessdosen wurden die eingetragenen Lasten kontrolliert.



Bild 5: Belastungsversuch an einer Balustrade der „Stillen Musik“ Foto: Sabine Wellner

Als Abbruchkriterien waren zu große irreversible Verformungen sowie Risse, Abplatzungen oder andere Schäden während des Versuchs festgelegt worden. Es wurden mehrere Be- und Entlastungszyklen durchlaufen. Dabei wurden bis auf eine Ausnahme keinerlei bleibende plastische Verformungen oder Beschädigungen der Balustrade festgestellt. Lediglich an einer bleiverfüllten Fuge hatte sich ein Riss gebildet, der aber auch bei der höchsten Laststufe als unkritisch eingestuft werden konnte und sich bei Entlastung wieder vollständig schloss. Ein solcher Riss ist nicht untypisch für derartige Konstruktionen und ist nun zwar



Bild 6: Belastungseinrichtung mit Hydraulikzylinder und Passstück am Handlauf der Balustrade Foto: Sabine Wellner



Bild 7: Wegaufnehmer zur Erfassung von Verformungen des Handlaufs Foto: Sabine Wellner

vorhanden, beeinträchtigt jedoch in dieser Form weder die Gebrauchstauglichkeit noch die Tragfähigkeit.

Zusammenfassend konnte der Balustrade eine Tragfähigkeit bescheinigt werden, die über das vom Prüfstatiker geforderte Maß hinausgeht. Das Ergebnis kann auf die geometrisch vergleichbare Balustrade der östlichen Treppe übertragen werden, wenn diese baugleich saniert wird.

### 3 Gewichtsbestimmung einer historischen Wäschemangel

Ein etwas ungewöhnlicher Auftrag wurde uns Ende 2016 erteilt. In den Katakomben der Festung Königstein ist u. a. eine historische Wäschemangel eingelagert, die der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden sollte. Deren Gewicht war vor Ort zu bestimmen, damit ein geeigneter Ausstellungsort mit ausreichender Tragfähigkeit gewählt werden konnte. Dazu wurde die Wäschemangel angehoben und auf insgesamt vier Kraftmessdosen aufgesetzt. Aus der Summe der aufgezeichneten Kräfte konnte das Gesamtgewicht bestimmt werden. Stattliche 750 kg brachte das Schmuckstück auf die Waage, was aber kein Problem für die meisten Museumsdecken ist.



Bild 8: Historische Königsteiner Wäschemangel beim Gewichtstest Fotos: Sabine Wellner

### 4 Untersuchungen im Rahmen der Sanierung des Beyer-Baus der TU Dresden

In der Zeit um 1900 waren die Studierendenzahlen in Dresden so angestiegen, dass der Campus der damaligen Technischen Hochschule ein neues Domizil brauchte. Stadt und Staat stellten daraufhin das Areal, auf dem sich heute der Hauptcampus der TU Dresden befindet, als Baugelände zur Verfügung [5], s. a. [6]. Damals wurde auch das heute Beyer-Bau genannte Gebäude am Fritz-Förster-Platz als eines der ersten in Dresden in Eisenbetonbauweise geplant und gebaut. Bis heute gestaltbestimmend ist vor allem der 40 Meter hohe Turm des Observatoriums des Geodätischen Instituts. Mittlerweile ist der Beyer-Bau in die Jahre gekommen. Im vergangenen Jahr mussten alle Nutzer ausziehen, damit eine umfassende Sanierung stattfinden kann.

Dass der Beyer-Bau unter Denkmalschutz steht, macht eine Sanierung und einen teilweise erforderlichen Umbau, z. B. im Hinblick auf barrierefreie Zugänge und den Brandschutz, nicht

einfacher. Zudem sind grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten, wie mit dem Bauwerk verfahren werden soll, sachkundig gegeneinander abzuwägen. Zu beachten sind z. B. Aspekte des Denkmalschutzes und hierbei das Bestreben, möglichst viel der historischen Bausubstanz zu erhalten, die Anforderungen der künftigen Nutzer, die Vorgaben der Bauordnungen und Normen und die Vorteile, die mit der Errichtung neuer Bauteile im Innern der historischen Gebäudehülle einhergehen. Deshalb sind im Vorfeld umfangreiche Untersuchungen des Ist-Zustands erforderlich.

Im Dezember 2016 fand eine erste orientierende Stahlentnahme in einem Unterzug über dem Erdgeschoss statt. Der Unterzug selbst hat eine lichte Weite von fast 6 m, der Steg ist 35 cm breit und ca. 60 cm hoch. Entnommen wurde einer von vier Stäben der Biegezugbewehrung. Es handelte sich um einen glatten Rundstahl mit einem Durchmesser von ca. 30 mm. Die Oberflächenqualität des Stabes war sehr gut. Nach der Stahlentnahme und der Dokumentation der Entnahmestelle wurde ein Ersatzstab aus B500 mit 28 mm Durchmesser und 2 × 52,5 cm Übergreifungslänge eingebaut, um die ursprüngliche Tragfähigkeit wiederherzustellen. Anschließend wurde die Entnahmestelle mit einer zementhaltigen Matrix verschlossen. Im Otto-Mohr-Laboratorium wurden zwei zentrische Zugversuche an dem in zwei Hälften geteilten Bewehrungsstab durchgeführt. Die Verformungsmessung erfolgte mit einem digitalen optischen Messsystem. Die nahezu identischen Arbeitslinien zeigten einen typischen Verlauf für Bewehrungsstähle. Bei 356 N/mm<sup>2</sup> wurde die Streckgrenze erreicht. Dieser Wert liegt deutlich über der charakteristischen Streckgrenze, die nach [7] für Rundstähle aus jener Zeit angesetzt werden darf. Ab 1,5 % Dehnung begann der Stahl, sich deutlich zu verfestigen. Die Maximalspannung betrug 565 N/mm<sup>2</sup>, die zugehörige Dehnung 16,6 %. Bei



Bild 9: Der Beyer-Bau der TU Dresden

Foto: Ulrich van Stipriaan



*Bild 10: Entnahme eines Bewehrungsseisens eines Unterzugs über dem Erdgeschoss im Beyer-Bau*

*Foto: Silke Scheerer*



*Bild 11: Bestimmung der Zugfestigkeit des entnommenen historischen Bewehrungsstahls; in der Mitte ist deutlich die Einschnürung im Bruchbereich zu erkennen*

*Foto: Sabine Wellner*

30,5 % Dehnung versagte das Material bei einer Spannung von 453 N/mm<sup>2</sup>. Damit wurde in Punkto Festigkeit und Duktilität ein für die damalige Zeit sehr leistungsfähiger Stahl verwendet, der nicht weit von den heutigen Anforderungen entfernt ist.

Des Weiteren wurden 2017 zwei Belastungstests gemäß [8] an jeweils einem Unterzug über dem ersten und dem zweiten Obergeschoss durchgeführt. Bei beiden Unterzügen wurden die Prüfziellasten bei allen Lastfällen ohne Probleme und ohne Beeinträchtigung des Tragwerkes erreicht. Es waren geringe visuell wahrnehmbare Rissbildungen feststellbar. Die nach Entlastung verbleibenden Rissbreiten liegen im Zehntelmillimeterbereich. Beschädigungen oder optische Veränderungen der Unterzüge selbst oder der angrenzenden Bauteile wurden nicht beobachtet.

Aktuell finden von Seiten des OML Arbeiten zur Bewehrungsart an mehreren Unterzügen im Gebäude statt. Wir hoffen, dass wir damit einen Beitrag für eine erfolgreiche Planung und Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen leisten können.

### **Schlusswort**

Wir danken allen Auftraggebern und Projektbeteiligten für die allseits gute Zusammenarbeit. Weitere Informationen zu Projekten des Otto-Mohr-Laboratoriums sind auf der Homepage des Labors zu finden [9].

## Literatur

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Pirna> (geprüft am 1.9.2017).
- [2] Wang, T.-H.; Huang, R.; Wang, T.-W.: The Variation of flexural rigidity for post-tensioned prestressed concrete beams. *Journal of Marine Science and Technology* 21 (2013), S. 300–308.
- [3] Hartmann, H. G: *Barockgarten Großsedlitz*. Edition Leipzig, 2002.
- [4] Hampel, T.; Scheerer, S.: Experimentelle Untersuchung einer historischen Sandsteinbalustrade im Dresdner Zwinger. In: Curbach, M.; Opitz, H.; Scheerer, S.; Hampel, T. (Hrsg.): *Tagungsband zum 6. Symposium Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen*, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2011, S. 129–138.
- [5] Pommerin, R.: *Geschichte der TU Dresden 1828 – 2003*. In: Pommerin, R. (Hrsg.): *175 Jahre TU Dresden*, Bd. 1, Köln · Weimar · Wien: Böhlau, 2003.
- [6] Scheerer, S.; van Stipriaan, U. (Fotos): *Massivbau an der TU Dresden gestern und heute*. In: Scheerer, S.; van Stipriaan, U. (Hrsg.): *Festschrift zu Ehren von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach*, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, S. 292–319.
- [7] 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.
- [8] *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb, Hrsg.): Belastungsversuche an Betonbauwerken. DAfStb-Richtlinie, Ausgabe 09/2000*.
- [9] *Homepage OML: [https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/labor/OML\\_Referenzen](https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/labor/OML_Referenzen)* (geprüft am 1.9.2017).