

## Muss altes Eisen immer nur Schrottwert haben?

Warum in Deutschland der Denkmalschutz bei erhaltenswürdigen historischen Ingenieurbauwerken wie Eisenbahnbrücken zu wenig greift.

In kaum einem Industrieland Europas scheint dem Erhalt historischer Eisenbahnbrücken so wenig Bedeutung beigemessen zu werden wie in Deutschland. Und dies, obwohl durch Kriegseinwirkung viele prominente Beispiele verloren gegangen sind. Die Ursachen hierfür sind vielfältig:

Eisenbahnbrücken – sofern sie noch in Betrieb sind – werden seitens der Betreiber wie »Gebrauchsgegenstände« betrachtet, die primär der Bereitstellung der Verkehrsinfrastruktur dienen und dem Verschleiß unterworfen sind. Im Falle (eiserner) Eisenbahnbrücken tragen zur Abnutzung die dynamischen Belastungen bei, die beim Überfahren durch Lokomotiven und Wagen entstehen und materialermüdend wirken, und die Rostbildung, durch die der Anteil des »blanken« und tragfähigen Eisens der Querschnitte vermindert wird.

Im Vergleich zu Denkmälern der Architektur sind die historischen Hintergründe und die historische Bedeutung von Ingenieurbauten weit weniger umfassend erforscht, obwohl sie oft wichtige Marksteine sowohl der Industrials als auch der Wissenschaftsgeschichte sind. Der bautech-

nikgeschichtliche Wert vieler historischer Eisen- und Eisenbahnbrücken lässt sich deshalb oft nicht einschätzen und kann nicht als Argument für die Erhaltung und gegen einen Abriss beigezogen werden. Dazu kommen im Hinblick auf den Denkmalschutz konkurrierende organisatorische Strukturen auf Landes- und Bundesebene (s.u.) und fehlende, für den Zweck der Denkmalpflege bautechnikhistorisch relevanter Verkehrsbauten zu allozierende Mittel.

Dementgegen verstärkt sich das Bewusstsein der Gesellschaft für die Relevanz und Erhaltungswürdigkeit historischer Ingenieurbauten, ablesbar an den zahlreichen und teils auch prominenten Objekten von unter Denkmalschutz gestellten Ingenieurbauwerken und Anlagenkomplexen wie etwa der Zeche Zollverein in Essen, die zusehends als Nuklei und Manifestationen der Ursprünge unserer modernen Industriegesellschaft verstanden werden. Neben ihrer bloßen Erscheinung als technische Gebilde verkörpern gerade die eisernen Brücken den Stand der Technik ihrer Zeit, in der Material- bzw. Eisenherstel-



1 Müngstener Brücke über die Wupper, Zustand vor 2012.

lung und -verarbeitung, in der Art und Weise des Konstruierens, in der Bautechnik und in den Methoden der theoretischen Modellbildung und der statischen Berechnung, und das in einer Zeit, im 19. Jahrhundert und im beginnenden 20. Jahrhundert, als die Disziplin des Bauingenieurwesens technologisch und wissenschaftlich-theoretisch gesehen die am weitesten entwickelte war.

### Drei Beispiele

#### *Die Müngstener Brücke über die Wupper*

Die Müngstener Brücke über die Wupper ist mit einer 170 m weiten Hauptbogenöffnung bis heute die am weitesten gespannte Stahlfachwerkbogenbrücke im deutschsprachigen Raum. Sie entstand zwischen 1894 und 1897, etwa zur gleichen Zeit wie die Wuppertaler Schwebebahn, und wurde von der Brückenbauanstalt der Bayerischen MAN (Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg) in Gustavsburg bei Mainz errichtet. An ihrer Konzeption, Berechnung und konstruktiven Durchbildung waren Protagonisten verschiedenster deutscher Brückenbauschulen beteiligt. Der Entwurf soll auf den damaligen Leiter der MAN, Anton von Rieppel (1852–1926), zurückgehen. Bei der Berechnung wurde die damals neue »Theorie des elastischen Bogens« von Emil Winkler (1835–1888), Professor an der Berliner Bauakademie, neben anderen, auch graphostatischen Verfahren herangezogen. Ihre hochgradige statische Unbestimmtheit, erkennbar an dem ohne Gelenke durchgebildeten Fachwerkbogen, weist auf den für die Ausführung verantwortlichen Ingenieur Bernhard Rudolf Bilfinger (1829–1897) hin. Diese Konstruktion erlaubte es, den Bogen in Teilen und ohne Lehrgerüste im sogenannten Freivorbau zu errichten. Bilfinger war zuvor leitender Ingenieur in der bis 1889 bestehenden Brückenbau-firma Benckiser, die im süddeutschen, österreichischen und Schweizer Raum im Eisenbrückenbau in Verbindung mit effizienten Bauverfahren sehr erfolgreich tätig war.

Als Sehenswürdigkeit der Region bemühten sich die Städte Wuppertal, Remscheid und Solingen 2011, die Müngstener Brücke auf die Tentativliste der UNESCO-Welterbestätten des Landes Nordrhein-Westfalen zu lancieren. Obwohl diese Initiative nicht erfolgreich war, wurden doch seitens des Bundes und des Landes für die Sanierung des Brückenbauwerkes umfangreiche Mittel zur Verfügung gestellt. Hierdurch erübrigte sich endlich der mehrmals gefasste Plan der Deutschen Bahn, das durch viele Jahre unzureichender Wartung stark in Mitleiden-schaft gezogene Bauwerk durch einen Neubau zu ersetzen. Die Renovierung wurde zusammen mit Instand-setzungsmaßnahmen im Zuge der Neuerteilung einer Betriebserlaubnis durch das Eisenbahnbundesamt im Jahr 2015 vorgenommen.

Obwohl der Gesamteindruck der Brücke weitgehend erhalten blieb, verzichtete man auf eine im Hinblick auf



2 Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Waldshut, Zustand 2012

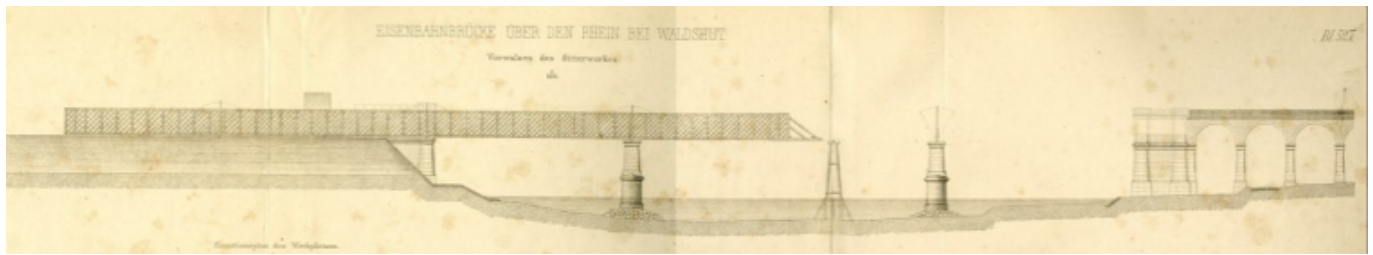
(Foto: M. Trautz)

die konstruktive Detaillierung möglichst originalgetreue Sanierung. Die ursprünglich genieteten Bauteile des Fahrbahnträgers wurden durch geschweißte Teile ersetzt und statt des Erhalts einer konstruktiven Besonderheit der Brücke, den auf drei und vier Walzen ruhenden Brücken-lagern, setzte man neu konstruierte Doppelwalzenlager ein. Immerhin konnte im Zuge der denkmalpflegerischen Betreuung der Sanierung der aus denkmalpflegerischer Sicht unakzeptable Ersatz durch moderne Lager aus Teflon verhindert werden.

#### *Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Waldshut*

Als älteste noch in Betrieb befindliche Eisenbahnbrücke Deutschlands und der Schweiz tut die Rheinbrücke zwischen Waldshut dem Schweizer Ort Koblenz seit 1859 ihren Dienst. Sie wurde von Robert Gerwig (1820–1885), dem namhaften Eisenbahningenieur und Politiker, und der bereits erwähnten Firma Benckiser unter der Leitung des Ingenieurs Bernhard Rudolf Bilfinger gebaut. Als Gitterträgerkonstruktion in Form eines Hohlkastens repräsentiert sie eine typische Bauweise der frühesten Brücken aus Puddeleisen und war eine der ersten Brücken überhaupt, die im (Takt-)Schiebeverfahren errichtet wurden. Hierzu wurde der gesamte Träger an einer Uferseite vormontiert und über Rollen, zunächst auf eine Hilfsstütze, dann, nach sukzessivem Weiterbau und Verlängerung des Trägers auf die Zwischenpfeiler bis hin zum gegenüberliegenden Ufer geschoben. Die Rheinbrücke bei Waldshut ist somit das letzte verbliebene Exemplar einer Bauweise, wie sie die Firma Benckiser sehr erfolgreich bei mehreren Projekten in der Schweiz und auch bei der großen doppelgleisigen Rheinbrücke zwischen Straßburg und Kehl 1862 wieder-





3 Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Waldshut, Bauverfahren durch (Takt-)Schieben (Foto: Allgemeine Bauzeitung, Wien, Jg. 1859)



4 Eisenbahnbrücke über die Nagold bei Unterreichenbach, Zustand 2011 (Foto: K. Trautz)

holt angewandt hatte, und die noch heute im Betonbrückenbau eingesetzt wird. Sie stellt insofern eine absolute bautechnikhistorische Besonderheit dar.

Ihre langjährige Existenz verdankt sie im Wesentlichen der Tatsache, dass sie sich im Besitz zweier Nutzer, der Schweizerischen Bundesbahn (SBB) und der Deutschen Bahn (DB), befindet. Während die Deutsche Bahn auch hier schon mehrfach einen Brückenneubau anzubahnen versucht hatte, setzte sich die SBB für den Erhalt und die laufende Wartung ein. Hierzu werden modernste computergestützte Monitoring-Verfahren verwendet, mit denen die SBB ihren gesamten historischen Eisenbrückenbestand gezielt überprüft und wartet. Es werden Verformungsmessungen an den einzelnen Baugliedern wie Gurten und Ausfachungen der historischen Eisenbahnbrücken bei laufendem Betrieb vorgenommen und Abweichungen zur entsprechenden statischen Berechnung und andere Auffälligkeiten bezüglich des mechanischen Verhaltens detektiert. Daraufhin erfolgt die Instandsetzung der betroffenen Bauteile oder Knotenverbindungen. Die Deutsche Bahn hingegen ermittelt die Materialermüdung ihrer historischen Eisenbrücken auf Basis der sogenannten »Wöhlerlinie«, einer statistisch ermittelten Festigkeits-

kurve, auf deren Basis nach einer bestimmten Anzahl von ertragenen sogenannten »Lastspielen« (= Zugüberfahrten) Materialermüdung und Versagen prognostiziert wird. Die tatsächliche Ermüdung oder tatsächliche Beanspruchung eines betrachteten Brückenbauwerkes und dessen Teilen wird bei dieser Methode unberücksichtigt.

So befindet sich die Rheinbrücke bei Waldshut dank der besonderen Situation als Grenzbrücke in einem sehr guten Erhaltungszustand. Sie wird täglich von grenzüberschreitenden Nahverkehrszügen befahren und ist in der Bevölkerung als erhaltenswürdiges Baudenkmal längst anerkannt.

#### *Eisenbahnbrücke über die Nagold bei Unterreichenbach*

Der Preußische Baudirektor Friedrich Wilhelm Schwedler (1823–1894) ist wohl einer der bekanntesten Brückenbauingenieure und Erfinder einer nach ihm benannten Eisenfachwerkbrückenkonstruktion, dem sogenannten Schwedler-Träger. Im 19. Jahrhundert war diese Bauart wegen ihrer Material- und Gewichtersparnis auch außerhalb des preußischen Einflussbereiches sehr verbreitet,

wurde aber bald im 20. Jahrhundert von anderen Eisenbrückensystemen wieder verdrängt.

Auch die Eisenbahnbrücke über die Nagold bei Unterreichenbach im von Preußen weit entfernten Schwarzwald ist ein Schwedler-Träger. Sie wurde von der Maschinenfabrik Esslingen 1875 gebaut und war für den zweigleisigen Betrieb mit schweren Dampflokomotiven vorgesehen, wurde aber zeitlebens nur eingleisig genutzt. Sie ist eine der ganz wenigen erhaltenen und sogar noch genutzten Brücken dieses Systems und wird – trotz ihrer vernachlässigten Erscheinung von vielen Technikbegeisterten und Eisenbahnfreunden aufgesucht. Obwohl die Brücke schon vor einiger Zeit vom Landesamt für Denkmalpflege in Karlsruhe unter Denkmalschutz gestellt wurde und zusammen mit dem direkt angrenzenden Bahnhof ein charakteristisches Ensemble im Ortsbild von Unterreichenbach bildet, plant auch hier die Deutsche Bahn einen Ersatzneubau in Form eines Brückenbalkens als Stahlvollwandträger. Inwieweit die beaufsichtigenden Denkmalpfleger und Interessengruppen sich gegen den Abriss durchsetzen können, ist derzeit unklar. Aber auch an diesem Beispiel zeigt sich, dass die Deutsche Bahn im Umgang mit den ihr anheimgestellten Baudenkmalern die Minimierung des finanziellen Einsatzes über Tradition und auch über Nachhaltigkeit stellt.

#### Wie geht man in anderen Ländern mit historischen Eisenbrücken um?

Ein Blick in andere Länder zeigt einen sehr viel mehr wertschätzenden Umgang mit historischen Ingenieurbauten und eisernen Brücken: Das Stadtbild von Porto wird von zwei großen eisernen Bogenfachwerkbrücken mit 160 m und über 170 m Spannweite geprägt: von der Maria-Pia-Brücke über den Douro, errichtet von Eiffel & Cie. aus Paris zwischen 1875 und 1877 und von der Ponte Dom Luís I, er-

baut zwischen 1884 und 1886 durch die Société de Willebroeck. Beide Brücken wurden entworfen von Théophile Seyrig (1843–1923), dem ehemaligen Chefsingenieur und Firmenpartner von Gustave Eiffel (1832–1923). Die Dom-Luís-I-Brücke ist als Teil der Altstadt von Porto UNESCO-Weltkulturerbe. Beide Brücken werden auch heute noch voll genutzt und sind in einem entsprechend gut erhaltenen und originalen Zustand.

Auch in Frankreich, einem Pionierland des Eisenbrückenbaus, sind noch viele Brücken aus dem 19. Jahrhundert erhalten und in Betrieb: Das französische Pendant und Nachfolgeprojekt der Firma Eiffel & Cie. zur portugiesischen Maria-Pia-Brücke, der Garabit-Viadukt aus dem Jahr 1884, war ein nationales Vorzeigeprojekt und steht auch heute noch symbolhaft für die technische Leistungsfähigkeit im Frankreich des 19. Jahrhunderts. Die Brücke ist in einem gepflegten Zustand. Sie wird vom TGV befahren und kann von einem Parkplatz der benachbarten Autobahn A75 in ihrer ganzen Länge bewundert werden.

Auch andere historische und für die Infrastruktur bedeutende Brücken wie der Viaduc du Busseau im bergigen Limousin werden gewartet und weiter in Betrieb gehalten. Der Hauptträger ist ein dreigliedriges Fachwerk, das auf gusseisernen Pfeilern ruht, und von der Firma Cail aus Paris 1864 unter Leitung des aus Deutschland stammenden Ingenieurs Nördling (1821–1908) gebaut wurde.

#### Was kann man tun? Was muss sich ändern?

Muss altes Eisen nur Schrott wert haben? Diese Frage wird – sofern es sich wirklich um »altes Eisen« und Schrott handelt – weiterhin mit »Ja« zu beantworten sein. Die häufige Zurechnung von historischen Eisenbrücken und (eisernen) Eisenbahnbrücken zur Kategorie »Schrott« scheint aber eine vor allem in Deutschland vertretene Haltung zu sein. Schaut man in andere Länder in und außer-



5 Straßenbahn- und Straßenbrücke über den Douro in Porto/Portugal (Foto: M. Trautz)



6 Garabit-Viadukt über die Truyère, Zustand Mai 2012 (Foto: M. Trautz)



7 Viaduc du Busseau, Revision durch die SNCF, Mai 2012  
(Foto: M. Trautz)

halb Europas, dann trifft man dort auf einen sehr viel respektvolleren Umgang mit dieser Gattung von Ingenieurbauten und es erhebt sich die Frage, warum das in Deutschland anders gehandhabt wird? Natürlich implizieren die hier beispielhaft gezeigten Eisenbahnbrücken, die mehr oder weniger dem Abriss anheimgestellt waren oder es noch sind, eine Kritik an der Eigentümerin und Betreiberin, der Deutschen Bahn AG bzw. deren Tochtergesellschaft, der DB Netz. Es ist aber nicht die Intention dieser Ausführungen, Schuldige zu suchen und zu identifizieren, sondern nach dem Hintergrund und den Ursachen für diesen unangemessenen Umgang mit historischer Bausubstanz zu suchen, um Vorschläge zur Abhilfe machen zu können.

Festzustellen ist, dass das öffentliche Interesse auch an historischer Ingenieurbausubstanz steigt und damit auch der Bedarf, die verbleibenden Exemplare zu erhalten.

An der neuerlichen Restaurierung der Müngstener Brücke ist zu erkennen, dass sich die Deutsche Bahn bei Bereitstellung ausreichender Mittel bereithält, auch historische Brückenbauwerke zu erhalten. Die vergleichsweise umfangreichen und von ihrer Notwendigkeit nicht immer nachvollziehbaren Änderungen an der historischen Bausubstanz hingegen legen einen offensichtlichen Bedarf an denkmalpflegerischen Methoden offen, besonders für den Umgang mit historischen eisernen Brücken. Ferner zeigen sie aber auch eine im Vergleich zu den Untersuchungs- und Sanierungsmethoden, wie sie in der Schweiz an historischen Eisenbahnbrücken praktiziert werden [Brühwiler u. a. 2013], besonders konservative Herangehensweise.

Das Beispiel der Rheinbrücke bei Waldshut belegt, dass die Deutsche Bahn auch bereit ist, einen nachhaltigeren denkmalpflegerischen Umgang mitzutragen, wenn die dazu erforderlichen Untersuchungsmaßnahmen auf Basis von computergestütztem Monitoring von anderer Seite, hier der Schweizer Bahngesellschaft (s. o.), beige-steuert werden.

Aus dem Umgang mit der Nagoldbrücke bei Unterreichenbach wird deutlich, dass die Mittel, welche die Deutsche Bahn für die Wartung ihrer Brücken zur Verfügung hat, für die angemessene Erhaltung einer historisch bedeutsamen eisernen Fachwerkbrücke bei Weitem nicht ausreichend sind. Es wird demzufolge auf finanziell besonders aufwendige Maßnahmen der Erhaltung wie die Neubeschichtung der gesamten Eisenkonstruktion verzichtet und so das Bauwerk dem Verfall preisgegeben. Daran ändert auch die Einstufung dieser Brücke als Denkmal durch das Landesamt für Denkmalpflege wenig, denn nur zum Abriss und zum Neubau einer Brücke im Interesse des Erhalts der Infrastruktur steuert derzeit der Bund Mittel bei oder übernimmt die Kosten ganz und nicht zu deren Sanierung und Erhalt. Es ist insofern nachvollziehbar, wenn die Deutsche Bahn auf den Abriss alter, auch historisch bedeutsamer Brückenbauten setzt.

Um solchen Absichten Nachdruck zu verleihen, bedienen sich die zuständigen Stellen der Bahn in der Öffentlichkeit offensichtlich gerne einer absolut klingenden und Befürchtungen erweckenden Rhetorik. So wurde ein Entscheidungsträger der Gemeinde Unterreichenbach betreffs des Abrisses der Nagoldbrücke dahingehend informiert, dass eine – so wörtlich – »reine Sanierung der Brücke wegen der Gefahr des Sprödbrechens nicht in Frage kommt«. Ingenieurwissenschaftler und Fachleute hingegen wissen, dass die Gefahr des Sprödbrechens ein Phänomen moderner Stähle ist und in diesem Fall nicht relevant sein kann. Tatsächlich ist sogar das Eisen, aus dem Baukonstruktionen bis in die Neunzigerjahre des 19. Jahrhunderts gebaut wurden, hergestellt im sogenannten Puddelverfahren oder Herdfrischverfahren, ausgesprochen zäh (duktile) und bezüglich Sprödbrechens vergleichsweise wenig empfindlich. Gerade auch aus diesem Grund ist es technisch gesehen durchaus sinnvoll, betagte Eisenbrücken – wie es in der Schweiz praktisch geschieht – weiter zu pflegen, zu warten und zu erhalten. Darüber hinaus erweist sich das »alte Eisen« als sehr viel robuster bezüglich Rostbildung im Vergleich zu modernen Stählen. Dies belegt die Nagoldbrücke selbst, zumal ihre farbliche Erscheinung inzwischen von Flugrost geprägt ist, nachdem der Anstrich wohl seit fast vierzig Jahren nicht mehr erneuert wurde.

Die drei Brückenbeispiele machen deutlich, dass für eine systematische Erhaltung denkmalwürdiger Ingenieurbauten und eiserner Brücken ein eigenes hierfür zu allozierendes Budget fehlt, aus dem Mittel für aufwendige Sanierungen beantragt werden können. Weil es sich hier-



bei um Objekte von bundesweitem Interesse handelt, sollten solche Mittel von einer Bundesinstitution, dem Bau- oder Verkehrsministerium vorgehalten werden.

Die Tatsache, dass Bundesmittel für den vollständigen Ersatz auch von historischen, durch die Denkmalämter unter Schutz gestellten Brücken verfügbar gemacht werden können, ist ein Hinweis darauf, dass hierbei der hoheitliche Wille eines Bundeslandes, repräsentiert durch den Denkmalschutz, durch die Verpflichtung zur Sicherung der Infrastruktur auf Bundesebene ausgehebelt werden kann. Die Lösung für derartige Konflikte könnte ein bundeseigenes Amt für Denkmalschutz sein, das auf Ministerialebene agiert. Einfacher wäre es, wenn das für ein Bauobjekt zuständige Ministerium, in diesem Fall das Verkehrsministerium, die Unterschutzstellung einer historischen Brücke oder eines anderen Ingenieurbauobjektes als Denkmal durch ein Bundesland respektieren und übernehmen würde. Es könnten dann die für den Ersatz eines Bauwerkes bereitzustellenden Mittel zugunsten einer erhaltenden Sanierung umgewidmet und gegebenenfalls aufgestockt werden. Dies wäre vom wirtschaftlichen Standpunkt aus gesehen eine sinnvolle Lösung und im Hinblick auf das gesellschaftliche Selbstverständnis, aber auch die Einsparung von Ressourcen zweifellos die nachhaltigste Lösung.

## Literatur

- [Brühwiler u. a. 2013]: Brühwiler, E.; Bosshard, M.; Steck, P.; Meyer, C.; Tschumi, M.; Haldimann, S.: »Fatigue safety examination of a riveted railway bridge using data from long term monitoring«, in: IABSE Symposium Report, Vol. 99, Nr. 25, S. 477–484, Zürich 2013.
- [Stiglat 2001]: Stiglat, Klaus: Brücken am Weg – Frühe Brücken aus Eisen und Beton in Deutschland und Frankreich, Verlag Ernst und Sohn, Berlin 2001.
- [Trautz 1991]: Trautz, Martin: Eiserne Brücken im 19. Jahrhundert in Deutschland, Werner-Verlag, Düsseldorf 1991.
- [Trautz 2002]: Trautz, Martin: »Maurice Koechlin – Der eigentliche Erfinder des Eiffelturms«, in: Deutsche Bauzeitung, Heft 4/2002, S. 105–110, Stuttgart 2002.
- [Trautz 2003]: Trautz, Martin: »Gustave Eiffel«, in: Lexikon der berühmten Wissenschaftler, Hg.: D. Hoffmann, H. Laitko, S. Müller-Wille, Bd. 1, S. 459–460, Spektrum-Verlag, Heidelberg 2003.
- [Trautz/Voormann 2012 a]: Trautz, Martin; Voormann, Friedmar: »Der Bau eiserner Brücken im Südwesten Deutschlands 1844 bis 1889«, in: Stahlbau, Hefte 1/2012 bis 3/2012, S. 57–62, S. 133–141 und S. 233–242, Verlag Ernst und Sohn, Berlin 2012.
- [Trautz/Voormann 2012 b]: Trautz Martin; Voormann, Friedmar: »Early Iron Bridge Construction for the Grand Duchy of Baden and for Central Europe«, in: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Congress on Construction History, Paris 2012.
- [Wetzk 2010]: Wetzk, Volker: Brückenlager 1850–1950, Cottbus 2010.
- [Wetzk 2012]: Wetzk, Volker: Talbrücke Müngsten, Strecke 2675 (km 10,782) – Gutachterliche Stellungnahme zum Zustand der Brückenlager, erarbeitet durch Dr.-Ing. V. Wetzk, BTU Cottbus, Cottbus April 2012.

1. Jahrestagung der Gesellschaft für Bautechnikgeschichte in Aachen 2013

# Bestandsaufnahme

Herausgeber

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Trautz  
Lehrstuhl für Tragkonstruktionen  
RWTH Aachen, Fakultät für Architektur



## **Impressum**

### **Aachen 2016**

© Lehrstuhl für Tragkonstruktionen  
RWTH Aachen, Fakultät für Architektur  
© Texte: Autoren

### **Herausgeber**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Trautz  
Lehrstuhl für Tragkonstruktionen  
RWTH Aachen, Fakultät für Architektur

### **Redaktion**

Rolf Gerhardt, Martin Trautz

### **Gestaltung**

Lehrstuhl für Tragkonstruktionen  
RWTH Aachen, Fakultät für Architektur

### **Lektorat und Satz**

Tanja Bokelmann

Gefördert durch Mittel der  
Gesellschaft für Bautechnikgeschichte e.V.

ISBN 978-3-00-052737-1