



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN Institut für Massivbau www.massivbau.tu-dresden.de



29. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM

PLANUNG, BAUAUSFÜHRUNG, INSTANDSETZUNG
UND ERTÜCHTIGUNG VON BRÜCKEN

11./12. MÄRZ 2019

© 2019 Technische Universität Dresden

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Redaktion: Silke Scheerer, Angela Heller

Layout: Ulrich van Stipriaan

Anzeigen: Harald Michler

Titelbild: Beyer, Kurt: Südthailand. Zweibogige Betonbrücke im Bau, 1912/1913
Foto: SLUB Dresden / Deutsche Fotothek / Kurt Beyer

Druck: addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-585-8



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Institut für Massivbau <http://massivbau.tu-dresden.de>

Tagungsband

29. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau

Freunde des Bauingenieurwesens e.V.

TUDIAS GmbH

11. und 12. März 2019

Inhalt

Herzlich willkommen zum 29. Dresdner Brückenbausymposium	9
<i>Prof. Dr.-Ing. habil. DEng/Auckland Hans Müller-Steinhagen, Rektor der TU Dresden</i>	
Verleihung der Wackerbarth-Medaille	13
Laudatio für Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stritzke aus Anlass der Verleihung der Wackerbarth-Medaille der Ingenieurkammer Sachsen	14
<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	
Christian Menn – Brückenbauer, Lehrer, Ästhet	17
<i>Dr.-Ing. Silke Scheerer, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	
Aktuelles zum Regelwerk des Bundes für den Ingenieurbau	25
<i>TRDir Prof. Dr.-Ing. Gero Marzahn</i>	
Die Maputo-Katembe-Brücke, das neue Wahrzeichen Mosambiks – Drei Bauverfahren bei der längsten Hängebrücke Afrikas	29
<i>Dipl.-Ing. Joern Seitz, Dipl.-Ing. (FH) Martin Pohl</i>	
Monitoring und Visualisierung im Infrastrukturbau.....	47
<i>Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark, Dr.-Ing. David Sanio, Dr.-Ing. Steffen Schindler</i>	
Verkehrsinfrastruktur für Hamburg – Neubau der Waltershofer Brücken im Hamburger Hafen.....	59
<i>Dr.-Ing. Christoph Vater</i>	
Erfahrungsbericht aus Österreich über die Anwendung von neuen Verfahren im Brückenbau	73
<i>o.Univ.Prof. Dr.-Ing. Johann Kollegger, Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Benjamin Kromoser, Dipl.-Ing. Dr.techn. Bernhard Eichwalder</i>	
Stahlverbund-Großbrücken mit oberliegender Fahrbahn als Querschnitte mit Teilfertigteilen und Schrägstreben bzw. Konsolen	85
<i>Prof. Dr.-Ing. Karsten Geißler, Dipl.-Ing. Gregor Gebert</i>	
Kurt Beyers Beitrag zur Baustatik	101
<i>Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Karl-Eugen Kurrer</i>	
Nachrechnungsdefizite bei Massivbrücken – Ein Problem der Tragfähigkeit oder [doch nur] der Modellvorstellung?	129
<i>Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer; Sebastian Gehrlein, M.Sc.; Nicholas Schramm, M.Sc.; Marcel Nowak, M.Sc.</i>	
Was tun, wenn Annahmen und Realität nicht zusammenpassen?	149
<i>Dr.-Ing. Hans-Gerd Lindlar, Dr.-Ing. Stefan Franz, Dipl.-Ing. Lars Dietz, Dr.-Ing. Bastian Jung, M. Eng. Tarik Tiyma</i>	
Lebenszykluskostenbetrachtungen für chloridexponierte Bauteile von Brücken- und Tunnelbauwerken	161
<i>Dr.-Ing. Angelika Schießl-Pecka, Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Anne Rausch, Dr.-Ing., MBA und Eng. Marc Zintel, Dipl.-Ing., MBA Luzern Christian Linden</i>	
Dauerhafte und wirtschaftliche Straßenbrücken mit Halbfertigteilen aus vorgespanntem Carbonbeton	173
<i>Dr.-Ing. Frank Jesse, Dipl.-Ing. Andreas Apitz, Prof. Dr. sc. techn. Mike Schlaich</i>	
Der 30-Jahre-Zyklus der Brückeneinstürze und seine Konsequenzen	185
<i>Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Proske</i>	
Chronik des Brückenbaus	197
<i>Zusammengestellt von Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner</i>	
Inserentenverzeichnis	207

Der 30-Jahre-Zyklus der Brückeneinstürze und seine Konsequenzen

Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Proske
 Berner Fachhochschule, Burgdorf (Schweiz)

1 Einleitung und Fragestellung

Der Brückeneinsturz Mitte August 2018 in Genua, der nur das letzte Glied einer Reihe von Brückeneinstürzen in Italien in den vergangenen Jahren ist, aber auch die Brückeneinstürze Anfang Dezember 2017 in Tschechien, Mitte Januar 2018 in Kolumbien und Mitte März 2018 in Florida könnten ein Indiz für eine geringere Sicherheit von Brücken sein. Im Tagungsband des 28. Dresdner Brückenbausymposiums ging der Autor auf diese Frage ein und diskutierte die beobachteten Trends bei der Versagens- bzw. Einsturzhäufigkeit von Brücken [1]. Bereits 2002 verglich der Autor die Risiken von Brücken mit anderen technischen Erzeugnissen [2].

Gemäß [1] war kein steigender Trend der Brückeneinstürze bis 2012 erkennbar, allerdings wurden im Jahre 1998 durch den Unfall von Eschede die Zielwerte für Mortalitäten durch Brücken in Deutschland nicht erfüllt. Dies führte teilweise zu Verstärkungsmaßnahmen an Brücken. Im Allgemeinen aber sind Brücken sehr sicher und sie führen zu einer signifikanten Erhöhung der Lebensqualität. Bild 1 zeigt die vereinfachte Risikofunktion einer Flussquerung für den Zeitraum vor Errichtung der

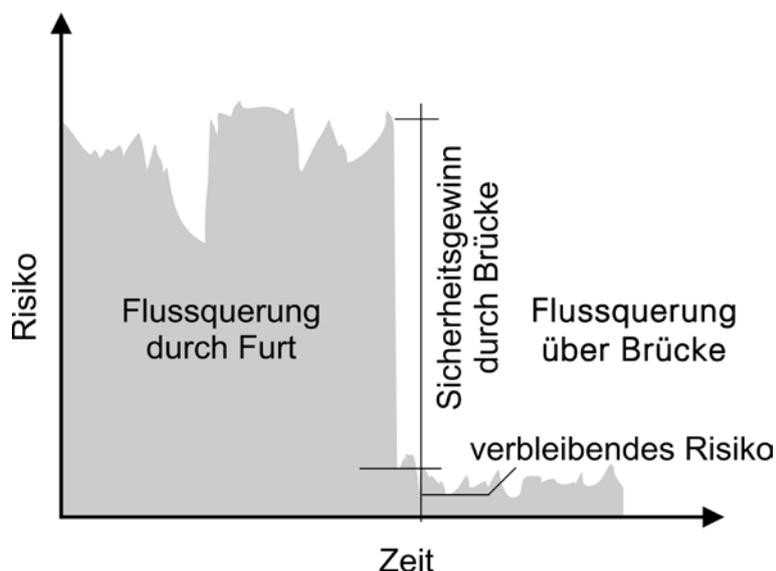


Bild 1 Illustration des Risikoprofils einer Flussquerung über eine Furt und später mit einer Brücke Grafik: Dirk Proske



Bild 2 Barbarossa-Denkmal im Kyffhäuser-Gebirge Foto: Dirk Proske

Brücke, also z. B. Querung durch eine Furt, und nach der Errichtung der Brücke. Das Bild zeigt deutlich den Sicherheitsgewinn durch die Nutzung der Brücke.

Tatsächlich war die Querung von Flüssen und Tälern früher oft mit großen Risiken und erheblichen körperlichen Anstrengungen verbunden. Unzählige Menschen starben bei der Querung von Flüssen in Furten. Dazu einige Beispiele aus der Literatur:

□ Über die Eroberung Englands durch Wilhelm den Eroberer vor knapp 1000 Jahren wird in [3] berichtet: „An der Furt im Fluss war solch ein Gedränge unter den Flüchtenden, dass viele Männer vom Pferd stürzten und, herabgezogen vom Gewicht ihrer Rüstung, ertranken.“

□ Eine These über den Tod Kaiser Barbarossas (Bild 2) vor ca. 800 Jahren besagt, dass der Kaiser die Wartezeit bei der Querung der schmalen Saleph-Brücke vermeiden und deshalb auf seinem Pferd den Fluss neben der Brücke queren wollte. Allerdings sei die Strömung so stark gewesen, dass er weggerissen wurde [4].

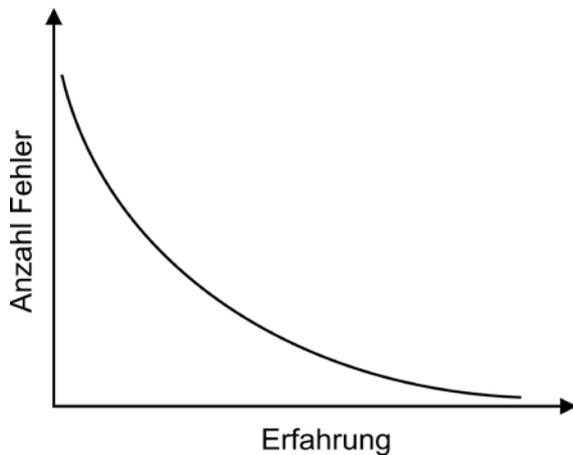


Bild 3 Qualitativer Funktionsverlauf einer Lernkurve
Grafik: Dirk Proske

- Neben dem Risiko waren diese Querungen mit erheblichen Mühen und Verzögerungen verbunden. So wartete Wilhelm der Eroberer im Herbst 1069 drei Wochen am hochwasserführenden Fluss Aire, um ihn zu queren und nach York zu kommen [5].

Dem Abbau dieser genannten Risiken stehen aber neue Risiken von Brücken gegenüber (Bild 1), wie z. B. ein möglicher Einsturz der Brücke. Dieser Beitrag setzt sich mit dem sogenannten 30-Jahre-Zyklus der Brückeneinstürze und dem Konzept der Lern- und Vergessenskurven auseinander. Das Ziel der Zusammenführung beider Konzepte ist die Darstellung von Brückeneinstürzen in einer anderen Art und Weise und die sich daraus ergebende Möglichkeit weiterer Rückschlüsse. Für diese Zusammenführung werden die beiden Konzepte im Folgenden erläutert.

2 Lern- und Vergessenskurven

2.1 Einführung

Die Lernkurve beschreibt die sinkende Anzahl von Fehlern menschlicher und organisatorischer Handlungen mit zunehmender Erfahrung [6], [7]. Die übliche Funktionsform für die Häufigkeit der Fehler y lautet $y = a \cdot x^b$, wobei a und b Kurvenparameter sind. Bild 3 vermittelt einen qualitativen Eindruck des Kurvenverlaufs. Den Erfahrungswert x kann man entweder als kalendarische Zeit oder über einen anderen Wert, z. B. Brückenjahre, angeben.

Lernkurven kann man für die Herstellung praktisch aller technischen Erzeugnisse beobachten, seien es Brücken, Kraftfahrzeuge, Flugzeuge, Wasserversorgungseinrichtungen oder medizinische Behandlungen. In [6] finden sich zahlreiche Beispiele. Lernkurven gelten prinzipiell auch für die Anwendung neuer Baustoffe wie z. B. Stahl, Stahlbeton, Spannbeton, aber auch Carbonbeton und für neue Bautechnologien.

2.2 Beispiel einer Lernkurve für Brückeneinstürze

In diesem Abschnitt wird beispielhaft die Erstellung der Lernkurve für Brückeneinstürze gezeigt.

Zunächst müssen Daten zur Erfahrung, z. B. dem Brückenbestand (für Deutschland z. B. gemäß [8], für die USA unter anderem gemäß [9]), und über die Anzahl der Fehler, in diesem Fall die Anzahl der Brückeneinstürze (für die USA siehe [10]–[13]), vorliegen. Bild 4 links zeigt die zeitliche Entwicklung des Brückenbestandes in den USA und China in den vergangenen 10 bis

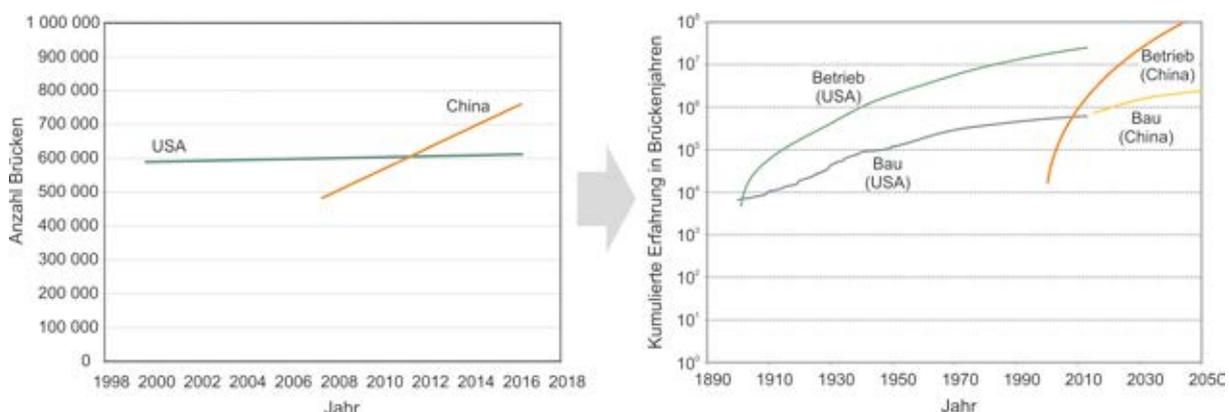


Bild 4 Übliche Darstellung des Brückenbestandes (links) und Darstellung als kumulierte Brückenjahre (rechts)
Grafik: Dirk Proske

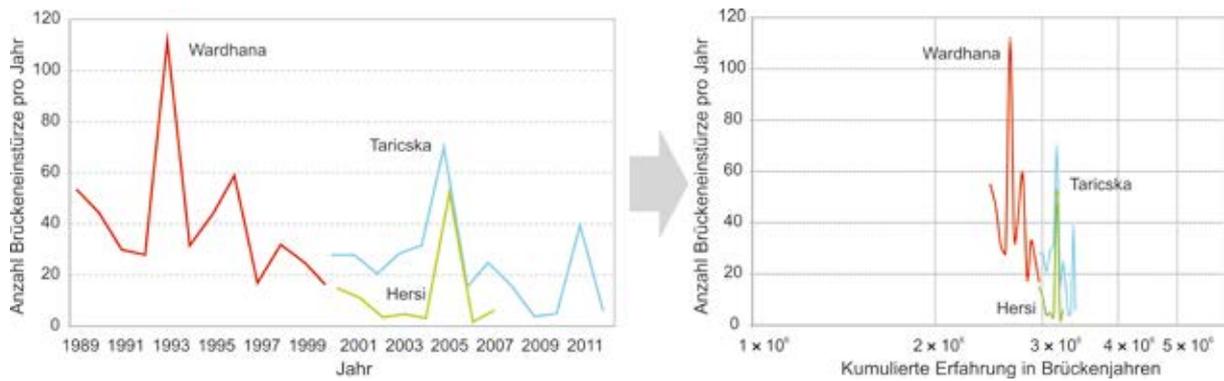


Bild 5 Übliche Darstellung von Brückeneinstürzen pro Jahr (links) und Darstellung der Brückeneinstürze bezogen auf kumulierte Brückenjahre (rechts) Grafik: Dirk Proske, basierend auf [11]–[13]

20 Jahren. Bild 4 rechts zeigt die zeitliche Entwicklung der kumulierten Erfahrung im Bau und Betrieb von Brücken für die USA und China für die vergangenen 100 bis 120 Jahre. Bild 4 rechts entsteht sinngemäß aus Bild 4 links durch die Berechnung von kumulierten Brückenjahren.

in Bild 5 rechts viel stärker heraustreten als in Bild 5 links.

Ein Beispiel für die Anwendung von Lernkurven für den Brückenbau findet sich in [14].

In Bild 4 rechts erkennt man, dass die Erfahrungskurve in China formgleich zur Kurve in den USA ist, nur um ca. 90 bis 100 Jahre zeitlich versetzt und mit einem Faktor 2 bis 3 hochskaliert. Sollte die Bedeutung der bodengebundenen Verkehrsmittel in den nächsten Jahrzehnten bestehen bleiben, so wird China die Erfahrung der USA in Betrieb und Bau von Brücken spätestens ab dem Jahre 2030 übersteigen.

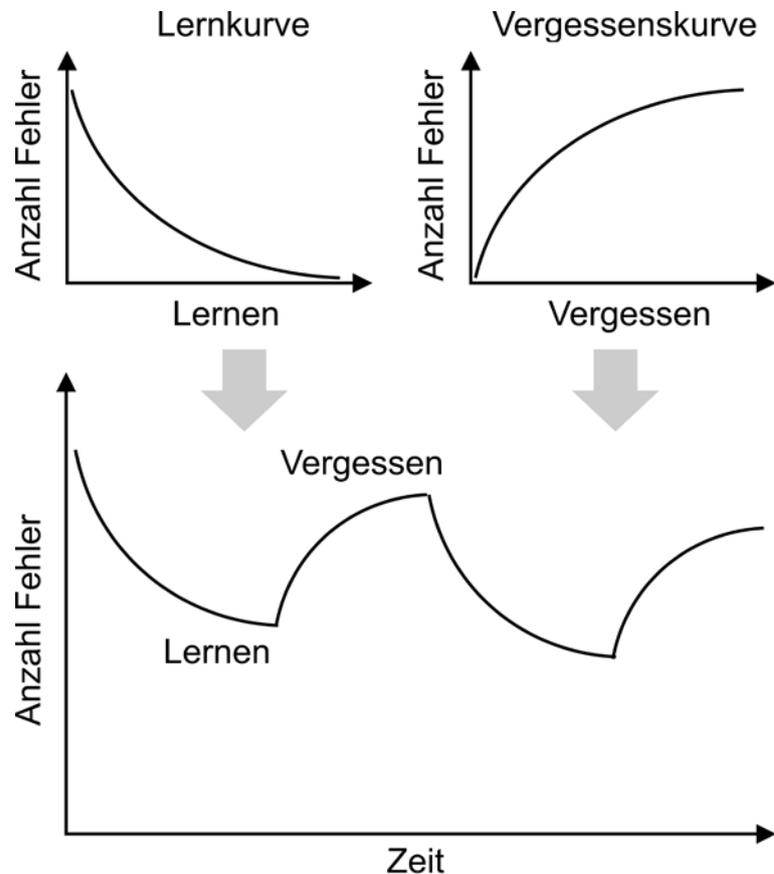


Bild 5 links zeigt die zeitliche Entwicklung der Brückeneinstürze in den USA über einen Zeitraum von ca. 20 Jahren. Die Namen an den Linien geben den/die Erstautor*in der Veröffentlichungen an [11]–[13], aus denen die Daten entnommen wurden. Bei Ansatz der in Bild 4 rechts ermittelten kumulativen Brückenjahre wird in Bild 5 rechts die Entwicklung der Brückeneinstürze basierend auf diesen Brückenjahren angegeben.

Bild 5 zeigt sowohl links als auch rechts eine Lernkurve im Sinne des Bildes 3 für Brückeneinstürze in den USA. Man sieht deutlich, dass die einzelnen Jahre mit einer großen Anzahl Brückeneinstürze

Bild 6 Kombination aus Lernkurve (oben links) und Vergessenskurve (oben rechts) zu einer zyklischen Kurve Grafik: Dirk Proske

2.3 Vergessenskurve und Kombinationen

Neben der Lernkurve gibt es auch eine sogenannte Vergessenskurve menschlicher und organisatorischer Handlungen. Sehr schöne Beispiele für das organisatorische Vergessen sind der Verlust der Kenntnisse über den *opus caementicium* oder über den Steinbogenbrückenbau am Ende des römischen Reiches.

In Verbindung mit kurzfristigen und längerfristigen Wirtschaftszyklen [15] können Lern- und Vergessenskurven zu einer zyklischen Gesamtkurve mit einer Zykluslänge von Jahren oder Jahrzehnten verschmelzen. Dies ist in Bild 6 gezeigt. Der sogenannte 30-Jahre-Zyklus der Brückeneinstürze (Abschnitt 3) könnte ein beobachtbares Ergebnis solcher kombinierten Lern- und Vergessenskurven im Brückenbau sein.

3 Der 30-Jahre-Zyklus

3.1 Einführung

Die These des 30-Jahre-Zyklus der Brückeneinstürze stammt aus den 1970er Jahren [16] und wurde später weiterentwickelt [17], [18]. Die These sagt aus, dass ca. alle 30 Jahre ein bedeutender Brückeneinsturz, d. h. ein Brückeneinsturz, der den Brückenbau nachhaltig beeinflusst, stattfindet. Tabelle 1 listet die üblicherweise ausgewählten Brückeneinstürze auf. Die These des 30-Jahre-Zyklus für Brückeneinstürze ist heute weit verbreitet und wird in verschiedenen wissenschaftlichen Arbeiten referenziert, z. B. [19]–[22].

3.2 Der generalisierte Zyklus

Der generalisierte 30-Jahre-Zyklus sagt aus, dass der 30-Jahre-Zyklus nicht nur für den Brückenbau gilt, sondern auch für andere technische Erzeugnisse. Viele Ingenieure erinnern sich noch an den *Blowout*, also den unkontrollierten Austritt von Erdöl und Erdgas im April 2010 im Golf von Mexiko. Der Verschluss der Erdölquelle gelang im August 2010. Das letzte vergleichbare Ereignis fand 1979 statt, als eine Ölquelle über einen Zeitraum von 10 Monaten nicht verschlossen werden konnte. Der Abstand dieser beiden Ereignisse beträgt 31 Jahre [21]. Das Unglück im Kernkraftwerk Fukushima erfolgte 2011, also ca. 25 Jahre nach dem Unglück von Tschernobyl im Jahre 1986.

3.3 Ursachen in der Literatur

Die Ursachen für den 30-Jahre-Zyklus werden allgemein im Lern- und Vergessensprozess von Organisationen gesehen, also dem in Bild 6 dargestellten Vorgang. In [18] heißt es dazu sinngemäß: „Obwohl es jedes Jahr eine neue Kohorte von Hochschulabsolventen gibt, folgt daraus nicht, dass diese Gruppe von jungen Ingenieuren in gleicher Geschwindigkeit in eine bestimmte Industrie eintritt. Wenn eine Industrie sehr schnell wächst, tendiert sie dazu, neue junge Ingenieure im Tempo des schnellen Wachstums einzustellen – bis sich das Geschäft stabilisiert. Wenn dagegen wirtschaftlich schwierige Zeiten auftreten, kann eine ganze Industrie aufhören, für diesen, unter Umständen längeren Zeitraum, junge Ingenieure einzustellen, indem sie sich mit alternden Ingenieuren begnügt und die Rentner nicht durch junge Ingenieure ersetzt. Erst wenn das Geschäft wieder

Tabelle 1 Die in [16]–[18] genannten bedeutenden Brückeneinstürze

Brücke	Einsturz-jahr	Ursache
Dee Bridge (nahe Chester, GB)	1847	Ungeeignetes Material (Gusseisen)
Firth of Tay Bridge (Schottland, GB)	1876	Ermüdungsbruch, Konstruktionsfehler
Quebec Bridge (Kanada)	1907	Knicken, Instabilität
The Tacoma Narrows Bridge (Washington, USA)	1940	Windinstabilität
Milford Haven (Wales, GB), West Gate (Melbourne, Australien)	1970	Beulen
Millennium Bridge (London, GB) ^{1,2}	2000	Instabilität
???	2030	???

¹ Die Millennium-Brücke stürzte nicht ein, sondern musste auf Grund erheblicher Schwingungen durch Fußgängerverkehr wieder gesperrt werden. Die Brücke wurde mit einem Dämpfersystem nachgerüstet.

² H. Petroski nannte später auch den Einsturz der Interstate-35W-Mississippi-River-Brücke in Minneapolis 2007 als einen möglichen Einsturz des 30-Jahre-Zyklus [23].

anzieht, werden wieder junge Ingenieure eingestellt. Dadurch kann eine ganze Generation zwischen den erfahrenen und den unerfahrenen Ingenieuren liegen.“

Tatsächlich hat man in verschiedenen Industrien, z. B. der Ölindustrie, Anfang der 1980er Jahre beobachtet, dass die Mitarbeiter entweder unter 30 oder über 50 Jahre alt waren [18]. Aber wieso kann eine Lücke in den aufeinanderfolgenden Alterskohorten, die im folgenden *Generationenlücke* genannt wird, Auswirkungen auf die Sicherheit der Brücken haben?

Bei jedem der in Tabelle 1 genannten Beispiele von Brückeneinstürzen kann man Faktoren identifizieren, die in früheren Anwendungen der Konstruktionen von untergeordneter Bedeutung waren. Mit der zunehmenden Ausweitung der Spannweiten der Brücken und der Extrapolation der Verfahren wuchs die Bedeutung dieser bisher vernachlässigten Faktoren, bis sie ausschlaggebend für den Brückeneinsturz wurden. Die Einstürze erfolgten nicht, weil die Ingenieure falsche Nachweise im Sinne der Normen durchgeführt hatten oder die anerkannten Regeln der Technik nicht anwendeten, sondern weil bisher vernachlässigte Faktoren eine führende Bedeutung erlangten.

Bei der Entwicklung neuer Bautechnologien und Verfahren waren sich die Ingenieure häufig dieser vernachlässigten Faktoren bewusst; sie kannten die Grenzen ihrer Modelle sehr genau. Ältere Ingenieure waren oft in die Entwicklung der neuen Verfahren involviert, sie besaßen undokumentierte Informationen und begleiteten die zunehmende Anwendung der Verfahren über die Jahrzehnte. Wenn jedoch eine Generationslücke in den Organisationseinheiten entsteht, ist die Chance groß, dass diese undokumentierten Erfahrungen nicht mehr weitergegeben werden. Mit jeder erfolgreichen Anwendung geriet das Wissen über die Annahmen weiter in den Hintergrund und unterlag schließlich der Vergessenheit. Dieses Vergessen der Grenzen kann dann zum Brückeneinsturz führen [24], [20].

Den jungen Ingenieuren bleibt gar nichts anderes übrig, als die Methoden gemäß Normen und anerkannten Regeln der Technik anzuwenden. In [25] wird diese Situation für die Entwicklung

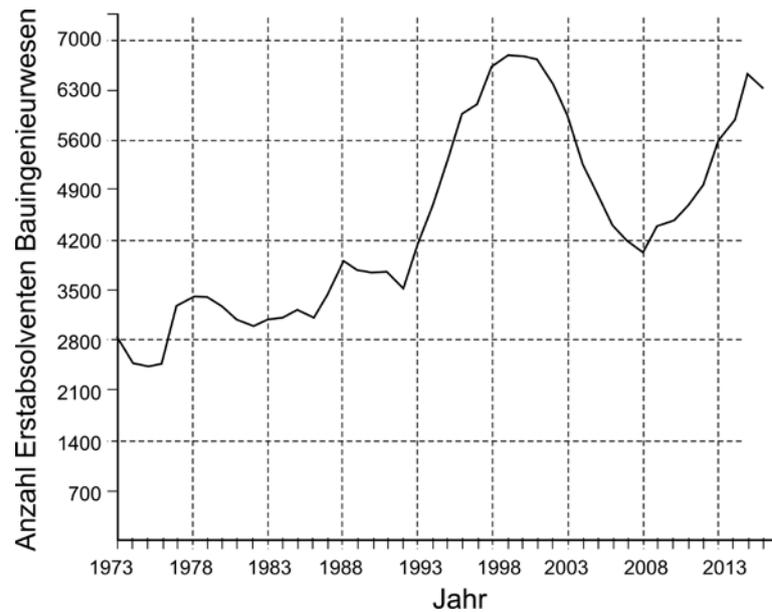


Bild 7 Anzahl der Erstabsolventen im Bauingenieurwesen

Grafik: Dirk Proske, gemäß [31]

der Forschung beschrieben: „Solange die von einem Paradigma gelieferten Hilfsmittel sich als fähig erweisen, die von ihm definierten Probleme zu lösen, schreitet die Wissenschaft (und Industrie, d. V.) dann am schnellsten voran und dringt am tiefsten ein, wenn diese Hilfsmittel voll Überzeugung gebraucht werden. Der Grund ist klar. Wie bei der Fabrikation, so auch in der Wissenschaft – ein Wechsel der Ausrüstung ist eine Extravaganz, die auf die unbedingt notwendigen Fälle beschränkt bleiben soll. Die Bedeutung von Krisen (Katastrophen, Brückeneinstürzen, d. V.) liegt in dem von ihnen gegebenen Hinweis darauf, dass der Zeitpunkt für einen solchen Wechsel gekommen ist.“ An eine solche Katastrophe bzw. einen solchen Brückeneinsturz schließt sich dann wieder eine Lernkurve an: die Aufmerksamkeit verschiebt sich zu bisher vernachlässigten Faktoren und die Verfahren werden weiterentwickelt. Die Überlegungen legen nahe, dass der 30-Jahre-Zyklus das Ergebnis einer kombinierten Lern- und Vergessenskurve in Baufirmen ist. Im Folgenden sollen die Begründungen für den 30-Jahre-Zyklus geprüft werden.

3.3 Prüfung der Ursachen

3.3.1 Dienstalster, Absolventenzahlen und Altersverteilungen

In der Fachliteratur wird häufig ein Dienstalster von ca. 30 bis 35 Jahren genannt, z. B. in [26]–[28]. Der Anteil der Arbeits- an der Lebenszeit wird außerdem in [29] und in [30] behandelt, wobei auch dort ein Dienstalster von ca. 30 bis 35 Jahren für die letzten Jahrzehnte belegt

Tabelle 2 Altersverteilung in der Bauwirtschaft, bei Bauingenieuren und Architekten sowie zum Vergleich zur Gesamtwirtschaft, nach [33]

Altersgruppe	Bauwirtschaft ¹	Bauingenieure, Architekten	Gesamtwirtschaft
> 50-jährige	28,9	32,6	31,3
40- bis 50-jährige	26,0	29,1	26,2
30- bis 40-jährige	21,4	27,1	21,3
< 30-jährige	23,7	11,2	21,2

¹ nicht nur Ingenieure

wird. Dies würde zur Theorie des 30-Jahre-Zyklus passen.

Die Absolventenzahlen im Bauingenieurwesen in Deutschland zeigten vor der Wiedervereinigung einen ca. 10-jährigen Zyklus. Dieser Zyklus wurde durch den Wiedervereinigungsboom verändert (siehe Bild 7). Gleichzeitig haben vermutlich die geldpolitischen Maßnahmen der Europäischen Zentralbank seit Ende 2010 Auswirkungen auf den Bauproduktmarkt und damit auf die Absolventenzahlen genau wie die Umsetzung der Bologna-Regelungen. Ein 30-jähriger Zyklus ist bei den Absolventenzahlen in Deutschland nicht erkennbar. Es handelt sich eher um einen 15-jährigen Zyklus.

Die wirtschaftliche Entwicklung der Baubranche ist ein starker Indikator für die Neueinstellung von Personal in Ingenieurbüros und Baufirmen. Die Absolventenzahlen im Bauingenieurwesen folgen über mehrere Jahre verzögert der wirtschaftlichen Entwicklung der Baubranche. Bei einer Hochkonjunktur des Bauwesens kann der Personalbedarf also nur begrenzt über Absolventen abgedeckt werden, andere Ressourcen müssen aktiviert werden, wie der Einsatz von Ingenieuren aus dem Ausland, der Einsatz fachfremder Ingenieure oder der Einsatz von Ingenieuren im Ruhestand. Die Absolventenzahlen sind also nur *eine* Quelle für Personaleinstellungen.

Gesamtwirtschaftlich ist der Anteil der Ingenieure mit einem Alter über 50 Jahre in den vergangenen 20 Jahren in Deutschland deutlich gestiegen: von < 30 % im Jahre 2005 auf 35 % im Jahre 2011. Neben dem Wachstum der Anzahl der Ingenieure mit einem Alter über 50 Jahre stieg auch der Anteil weiblicher und ausländischer Ingenieure signifikant. Der Anteil der 35- bis 49-jährigen Ingenieure ist im selben Zeitraum jedoch um über 7 % gesunken. Diese Ungleichgewichte spiegeln die Tiefstände der Absolventen zu Beginn des 3. Jahrtausends in Deutschland wider [32].

Interessant sind konkrete Zahlen für das Bauingenieurwesen, die sich in [33] finden und in Tabelle 2 zusammengefasst sind. Diese Zahlen zeigen für die Bauingenieure und Architekten nur geringe Unterschiede zwischen den verschiedenen Alterskohorten [33]. Der Tiefstand für alle Ingenieure in der Altersgruppe der 35- bis 49-jährigen lässt sich bei den Bauingenieuren in Deutschland kaum bestätigen.

In den USA ist tatsächlich ein schwacher Zyklus in der Altersverteilung der Bauingenieure mit einer Spannweite von 25 bis 30 Jahren erkennbar [34], Bild 8. Die Fluktuation beträgt maximal 40 %. Dieser Zyklus lässt sich auch bei der Anzahl der errichteten Brücken pro Jahr wiederfinden (Bild 9). Allerdings spiegelt sich in den vergangenen Jahren auch hier eine insgesamt abnehmende Brückenbautätigkeit wider.

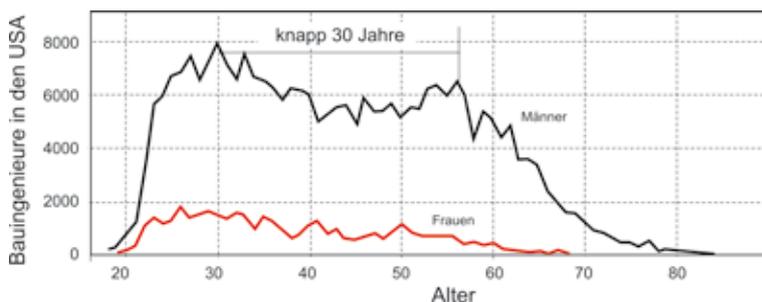


Bild 8 Altersverteilung der Bauingenieure in den USA
Grafik: Dirk Proske, nach [34]

Insofern lässt sich tatsächlich eine Verbindung zwischen der Länge einer Generation (das ist die zeitliche Länge einer Alterskohorte mit ähnlicher gesellschaftlicher Prägung), der Altersverteilung der Bauingenieure für die USA und der Brückenbautätigkeit in den USA erkennen. Es kann sich allerdings auch nur um eine Scheinkorrelation handeln, siehe z. B.

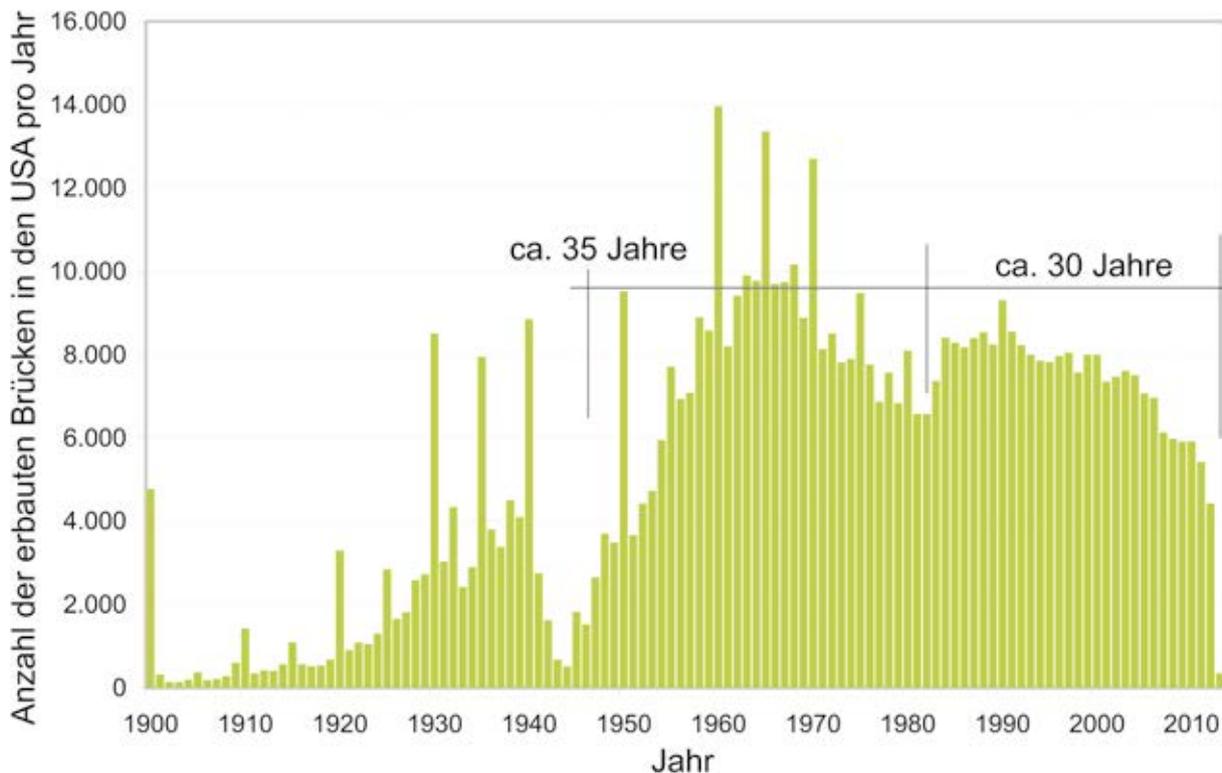


Bild 9 Anzahl der erbauten Brücken pro Jahr in den USA

Grafik: Dirk Prose, nach [9]

[35]. Auf der anderen Seite sind Korrelationen zwischen Wirtschaftszyklen und einer Fluktuation der Verkehrstoten durchaus bekannt [30].

Neben den Altersverteilungen kann der 30-Jahre-Zyklus noch auf Plausibilität geprüft werden. Für die unbeteiligte Öffentlichkeit kennt man im Bereich der Risikowahrnehmung eine Vergessens-Wiederkehrperiode von sieben Jahren, das heißt, sieben Jahre nach einer Katastrophe ist das Bewusstsein über eine Gefahr wieder so gering wie zum Zeitpunkt kurz vor der Katastrophe [30]. Auf Grund von wissenschaftlichen Untersuchungen weiß man, dass man diese Zeit z. B. durch Weiterbildungen verlängern kann. Der 30-Jahre-Zyklus würde dann einer Verlängerung gemäß des Verhältnisses von 30 Jahren zu 7 Jahren, also ca. dem Faktor 4, entsprechen.

Die Vergessensrate in der technischen Fachgemeinschaft wäre also deutlich langsamer als in der unbeteiligten Gesellschaft. Dies ist zum einen der täglichen Auseinandersetzung mit technischen Fragestellungen, die das Bewusstsein an Gefährdungen wach hält, und zum anderen Weiterbildungen zu verdanken, die immer wieder neue Akzente setzen. Der Faktor 4 erscheint also durchaus realistisch.

Es lässt sich zusammenfassen, dass

- Zyklen in den Absolventenzahlen der Bauingenieure in Deutschland,
- Zyklen in den Alterskohorten aller Ingenieursbranchen in Deutschland,
- Zyklen bei der Altersverteilung der Bauingenieure (in den USA) in Firmen und
- Zyklen in der Anzahl der errichteten Brücken pro Jahr (in den USA)

vorhanden sind.

Viel deutlicher als in der Brückenbaubranche lassen sich solche Zyklen aber in anderen Bereichen finden wie z. B. der Kerntechnik in Europa und den USA mit den Boomzeiten in den 1970er Jahren. Vergleichbare Entwicklungen sehen wir beim Bau von Windkraft- und Solaranlagen.

3.3.2 Einsturzursachen

Der 30-Jahre-Zyklus basiert auf einer Auswahl von wenigen Brückeneinstürzen aus der Grundgesamtheit aller Brückeneinstürze. Zahlreiche Beispiele von Brückeneinstürzen finden sich in [36], eine Zusammenfassung von Brückeneinsturzursachen findet sich in [37]. Unzureichendes Wissen bzw. vernach-

lässigte Faktoren spielen als Ursache von Brücken- bzw. Bauwerkseinstürzen in den meisten Veröffentlichungen nur eine untergeordnete Rolle [37], [38]. Die Auswahl der Brückeneinstürze für den 30-Jahre-Zyklus muss also auf anderen Kriterien beruhen, z. B. auf der Anzahl der Veröffentlichungen zur wissenschaftlichen Fragestellung des Einsturzes oder auf der Änderung der Baunormen. Dazu sind dem Verfasser aber keine wissenschaftlichen Untersuchungen bekannt, so dass die Auswahl der relevanten Brückeneinstürze gemäß Tabelle 1 so verbleibt.

3.3.3 Mathematische Modelle und ihre Grenzen

Beim 28. Dresdner Brückenbausymposium wurde zum wiederholten Male ausdrücklich auf die Unterschiede zwischen dem gemessenen und dem berechneten Bauwerksverhalten hingewiesen [39]. In diesem Abschnitt werden im Gegensatz zu [39] allgemeine Hinweise zu den Grundlagen mathematischer Modelle und ihrer Grenzen gegeben.

Die Entwicklung der Technik ist überhaupt nur durch die Anwendung von Modellen möglich. Ein (mathematisches) Modell ist die Abbildung eines Ausschnittes aus der beobachteten Welt. Ein Modell zeichnet sich aus durch:

- die Einführung von Systemgrenzen,
- die Auswahl repräsentativer Parameter,
- die Beschreibung in Form einer festgelegten Notation (z. B. der Mathematik),
- die Vereinfachungen und
- die Anwendbarkeit des Modells für spezifische Fragestellungen.

Grundlagen der Nutzung und des Missbrauchs mathematischer Modelle werden seit ihren ersten Anwendungen diskutiert. In [40] werden verschiedene Kriterien für die Nutzung zusammengestellt:

- Glaube nicht an Konsequenzen höherer Ordnung bei einem Modell erster Ordnung.
- Extrapoliere nicht außerhalb der Region der Anpassung.
- Verwende kein Modell, dessen Vereinfachungen du nicht verstanden hast und dessen Anwendung du nicht getestet hast.

- Setze Modell und Realität nicht gleich.
- Versuche nicht, die Realität an das Modell anzupassen.
- Begrenze dich nicht auf ein Modell; verschiedene Modelle können nützlich sein, um verschiedene Phänomene zu beschreiben (in der Physik z. B. Wellen- und Teilchentheorie für Licht).
- Verwende kein Modell, welches nachgewiesenermaßen nicht funktioniert (z. B. Astrologie).
- Verliebe dich nicht in dein Modell.
- Weise Daten nicht zurück, die in Konflikt zu deinem Modell stehen; entwickle stattdessen dein Modell weiter.
- Führe keine neuen Bezeichnungen für bestehende Phänomene ein; die pure Benennung eines Problems ist keine Lösung des Problems.
- Verwende keine neuen Begriffe, um Eindruck zu hinterlassen, sondern nur, um Probleme zu lösen.
- Kein Modell beschreibt die Realität perfekt; Ergebnisse des Modells müssen immer mit geeigneter Skepsis betrachtet werden.

Allerdings werden heute viele Modellgrenzen durch die Bausoftware abgefangen. Außerdem ist die normative Dichte heute deutlich höher als noch vor wenigen Jahrzehnten, so dass eine fehlerhafte Anwendung der Modelle erschwert wird.

4 Wertung und Konsequenzen

Es gibt Indizien für die Existenz des 30-Jahre-Zyklus, aber keinen klaren Beweis. Unabhängig von der Existenz dieses Zyklus ergeben sich aber Konsequenzen für das Vorgehen von Ingenieurbüros und Baufirmen bei der Personalplanung und für die Anwendung von Berechnungsmodellen im Brückenbau. Prinzipiell sollte man beachten:

- erhöhte Vorsicht bei der Extrapolation von Spannweiten, z. B. bei Schrägkabelbrücken,
- erhöhte Vorsicht bei der Vermischung neuer Baustoffe mit bestehenden Berechnungs- und Bauverfahren,

- ❑ erhöhte Vorsicht bei neuen Technologien, wie z. B. beim digitalen Bauen,
- ❑ Weiterbildung von jungen Ingenieuren durch erfahrene Ingenieure (Schilderung von persönlichen Erfahrungen bei der Entstehung von Normen; aus dem „Nähkästchen“ plaudern etc.),
- ❑ regelmäßiger Besuch von Weiterbildungsveranstaltungen (wie z. B. des Dresdner Brückenbausymposiums); in anderen Fachbereichen (Medizin, Kerntechnik) sind Mindestzeiten für die Weiterbildung pro Jahr in Richtlinien und Gesetzen festgeschrieben,
- ❑ Organisation der Kompetenzerhaltung innerhalb von Firmen, z. B. durch ausreichende Übergabezeiten und Einarbeitung bei Personalwechsel (z. B. Pension),
- ❑ Einführung einer Sicherheitskultur (kritisches Hinterfragen von Annahmen und Prozessen, Bedeutung technischer Fragestellungen gegenüber Managementfragestellungen).

Eine antizyklische Personalpolitik ist im Brückenbau sicherlich aus wirtschaftlichen Gründen nicht realisierbar. Die Sensibilisierung der Unternehmensführung beim Thema „Wissensmanagement“ ist aber auf jeden Fall wünschenswert. Tatsächlich sind sich die Ingenieure oft eines erhöhten Risikos im Vergleich zur Unternehmensführung bewusst. Beim *Space Shuttle* unterschied sich die Risikobewertung zwischen Ingenieuren und Managern um den Faktor 100 [18]. Auf Grund der geringen Risikowahrnehmung durch die Unternehmensführung hatte für diese die Termintreue eine größere Bedeutung als die Sicherheit [18].

Literatur

- [1] Proske, D.: Versagenshäufigkeit und Versagenswahrscheinlichkeit von Brücken. In: Curbach, M.: (Hrsg.): Tagungsband zum 28. Dresdner Brückenbausymposium – Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken am 12./13.3.2018 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2018, S. 189–199
- [2] Curbach, M.; Nitzsche, W.-M.; Proske, D.: Die Sicherheit von Brücken im Vergleich zu anderen Risiken. In: Lehrstuhl für Massivbau der TU Dresden (Hrsg.): Tagungsband

- zum 12. Dresdner Brückenbausymposium– Planung, Bauausführung und Ertüchtigung von Brücken am 14.3.2002 in Dresden, Dresden: Lehrstuhl für Massivbau der TU Dresden, 2002, S. 197–218
- [3] Der Bastard. Die Zeit, Nr. 52/1990, 21.12.1990, online unter: <http://www.zeit.de/1990/52/der-bastard/komplettansicht>
- [4] Görich, K.: Friedrich Barbarossa: Eine Biographie. München: C. H. Beck, 2011
- [5] Harrison, D.: The Bridges in Medieval England – Transport and Society 400–800. Oxford: Clarendon Press, 2004
- [6] Duffey, R. B.: Know the Risk: Learning from errors and accidents: safety and risk in today's technology. Butterworth-Heinemann, 2012
- [7] Argote, L.: Organizational Learning. Norwell: Klever, 1999
- [8] Nagel, L.-M.; Pauly, M.; Mucha, V.; Setzer, J.; Wilhelm, F.: Wettlauf gegen den Verfall, Die Welt, 2016 – online unter: <http://www.welt.de/politik/interaktiv/bruecken/deutschlandsbruecken-wettlauf-gegen-den-verfall.html> | https://docs.google.com/spreadsheets/d/1h_NKP3lvTno-QBFjCRa9gJLLOi2rxtlMeNucvAUsPwtl/edit?pref=2&pli=1#gid=0
- [9] Federal Highway Administration (Hrsg.): National Bridge Inventory (NBI). Online unter: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbi.cfm>
- [10] Cook, W.: Bridge Failure Rates, Consequences, and Predictive Trends. Diss., Utah State University Logan, 2014
- [11] Wardhana, K.; Hadipriono, F. C.: Analysis of Recent Bridge Failures in the United States. Journal of Performance of Constructed Facilities (ASCE) (2003) August, S. 144–150
- [12] Taricska, M. R.: An Analysis of Recent Bridge failures in the United States (2000–2012). M.Sc. Thesis, The Ohio State University, 2014
- [13] Hersi, M.: Analysis of Bridge Failure in United States (2000–2008). M.Sc. Thesis, The Ohio State University, 2009
- [14] Brockmann C.; Brezinski, H.: Experience curve effects in bridge construction. Procedia Economics and Finance 21 (2015), S. 563–570 – Proc. of 8th Nordic Conference on Construction Economics and Organization, 28./29.3.2015 in Tampere (Finnland)
- [15] Kondratjew, N. D.: Die langen Wellen der Konjunktur. Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik (1926) 56, S. 573–609
- [16] Sibly, P. G.; Walker, A. C.: Structural accidents and their causes. Proc. of the Institution of Civil Engineers 62 (1977) Part 1, S. 191–208

- [17] Petroski, H.: Engineering: Predicting Failure. *American Scientist* 81 (1993) 2, S. 110–113
- [18] Petroski, H.: *Success through Failure: The Paradox of Design*. Princeton: Princeton University Press, 2006
- [19] Brady, S.: The 30 year failure cycle. *The Structural Engineer* (2013) May, S. 14–15
- [20] Boutellie, R.; Heinzen, M.: *Growth Through Innovation: Managing the Technology-Driven Enterprise*. Cham: Springer, 2014
- [21] Steedman, S.: The Long Learningcurve. *Ingenia* 44 (2010) September, S. 3
- [22] Akesson, B.: *Understanding Bridge Collapses*. London: CRC Press, Taylor and Francis, 2008
- [23] Grayson, B.: The Man Who Predicted the Bridge Collapse. *Kind of. Discover*, 2.8.2007, online unter: <http://discovermagazine.com/2007/aug/man-who-predicted-the-bridge-collapse>
- [24] Petroski, H.: Past and Future Bridge Failures. In: Insker, I. (Hrsg.): *History of Technology*, Vol. 2005, publ. 2006, New York, S. 185–200
- [25] Kuhn, T. S.: *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press, 1962 – 50th Anniversary Ed., 2012
- [26] Lundgreen, P.: *Datenhandbuch zur deutschen Bildungsgeschichte, Band XI: Die Lehrer an den Schulen in der Bundesrepublik Deutschland 1949–2009*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 2013
- [27] Devine, D.: How long is a generation? Science provides an answer. 2018, online unter: https://isogg.org/wiki/How_long_is_a_generation%3F_Science_provides_an_answer
- [28] *ReviseSociology*: What Percentage of Your Life Will You Spend at Work? Online unter: <https://revisesociology.com/2016/08/16/percentage-life-work/>
- [29] eurostat: Duration of working life – statistics. Online unter: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Duration_of_working_life_-_statistics
- [30] Proske, D.: *Catalogue of Risks*. Heidelberg: Springer, 2008
- [31] monitorING-Datenbank des VDI – Daten zu Arbeitsmarkt, Hochschule und Schule. Online unter: <https://www.vdi.de/wirtschaft-politik/arbeitsmarkt/monitoring-datenbank/#hochschule>
- [32] VDI (Hrsg.): 2014: Ingenieur auf einen Blick – Erwerbstätigkeit, Migration, Regionale Zentren. Online unter: https://www.vdi.de/uploads/media/VDI_Broschuere_Ingenieure_auf_einen_Blick_2014.pdf
- [33] IAB; BfA (Hrsg.): *Der Arbeitsmarkt im Bausektor. Branchenbericht, Auftraggeber: Die deutsche Bauindustrie, Nürnberg, 2015*
- [34] DATAUSA: Civil engineers: Age by Gender. Online unter: <https://datausa.io/profile/soc/172051/#demographics>
- [35] Spurious correlations. Online unter: <http://tylervigen.com/spurious-correlations>
- [36] Scheer, J.: *Versagen von Bauwerken: Band 1: Brücken*. Berlin: Ernst und Sohn, 2000
- [37] Proske, D.: *Bridge Collapse Frequencies versus Failure Probabilities*. Cham: Springer, 2018
- [38] Matousek, M.; Schneider, J.: *Untersuchungen zur Struktur des Sicherheitsproblems bei Bauwerken*. IBK-Bericht Nr. 59, ETH Zürich, 1976
- [39] Marx, S.; Wenner, M.; Käding, M.; Wedel, F.: Vom Rechnen und Wissen – Monitoring an den Talbrücken der Neubaustrecke Erfurt-Leipzig/Halle. In: Curbach, M.: (Hrsg.): *Tagungsband zum 28. Dresdner Brückenbausymposium – Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken am 12./13.3.2018 in Dresden*, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2018, S. 41–56
- [40] Golomb, S. W.: Mathematical models – uses and limitations. *Simulation* 14 (1970), S. 197–198

-
- 9 Herzlich willkommen zum 29. Dresdner Brückenbausymposium
 - 13 Verleihung der Wackerbarth-Medaille
 - 14 Laudatio für Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stritzke aus Anlass
der Verleihung der Wackerbarth-Medaille der Ingenieurkammer Sachsen
 - 17 Christian Menn – Brückenbauer, Lehrer, Ästhet
 - 25 Aktuelles zum Regelwerk des Bundes für den Ingenieurbau
 - 29 Die Maputo-Katembe-Brücke, das neue Wahrzeichen Mosambiks –
Drei Bauverfahren bei der längsten Hängebrücke Afrikas
 - 47 Monitoring und Visualisierung im Infrastrukturbau
 - 59 Verkehrsinfrastruktur für Hamburg –
Neubau der Waltershofer Brücken im Hamburger Hafen
 - 73 Erfahrungsbericht aus Österreich über die Anwendung
von neuen Verfahren im Brückenbau
 - 85 Stahlverbund-Großbrücken mit oberliegender Fahrbahn
als Querschnitte mit Teilfertigteilen und Schrägstreben bzw. Konsolen
 - 101 Kurt Beyers Beitrag zur Baustatik
 - 129 Nachrechnungsdefizite bei Massivbrücken –
Ein Problem der Tragfähigkeit oder [doch nur] der Modellvorstellung?
 - 149 Was tun, wenn Annahmen und Wirklichkeit nicht übereinstimmen?
 - 161 Lebenszykluskostenbetrachtungen für chloridexponierte Bauteile
von Brücken- und Tunnelbauwerken
 - 173 Dauerhafte und wirtschaftliche Straßenbrücken
mit Halffertigteilen aus vorgespanntem Carbonbeton
 - 185 Der 30-Jahre-Zyklus der Brückeneinstürze und seine Konsequenzen
 - 197 Chronik des Brückenbaus
 - 209 Inserentenverzeichnis