

# BMFT – Risiko- und Sicherheitsforschung



G. König, R. Maurer, T. Zichner

# Spannbeton: Bewährung im Brückenbau

Analyse von Bauwerksdaten,  
Schäden und Erhaltungskosten

Mit 180 Abbildungen und 59 Tabellen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York  
London Paris Tokyo 1986

Bundesministerium für Forschung  
und Technologie, Bonn

Professor Dr.-Ing. Gert König  
Dipl.-Ing. Reinhard Maurer  
Dr.-Ing. Tilman Zichner

König und Heunisch  
Beratende Ingenieure  
Oskar-Sommer-Straße 15–17  
6000 Frankfurt/M. 70

ISBN-13: 978-3-642-82888-1  
DOI: 10.1007/978-3-642-82887-4

e-ISBN-13: 978-3-642-82887-4

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

König, Gert: Spannbeton: Bewährung im Brückenbau : Analyse von Bauwerksdaten, Schäden u. Erhaltungskosten / G. König ; R. Maurer ; T. Zichner. – Berlin ; Heidelberg ; New York ; London ; Paris : Tokyo : Springer, 1986.  
(BMFT–Risiko- und Sicherheitsforschung)

NE: Maurer, Reinhard. ; Zichner, Tilman:  
[Bundesministerium für Forschung u. Technologie, Bonn].

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Weg und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Die Vergütungsansprüche des § 54, Abs. 2 UrhG, werden durch die „Verwertungsgesellschaft Wort“, München, wahrgenommen.

© by Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 1986.

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1986

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Texterfassung: PERCCEO, Springer-Verlag Heidelberg  
Datenkonvertierung:  
2160 / 3020-543210

## Vorwort

*Veritas filia temporis*  
*Gellius*

Es war eine Anregung des Bundesministers für Forschung und Technologie, im Förderschwerpunkt „Risiken und Sicherheitsforschung“ die Risiken im Bauwesen untersuchen zu lassen. Das Gebiet des Bauwesens ist jedoch sehr heterogen. Die Randbedingungen, unter denen ein Bauwerk entsteht und unter denen es seine Funktion erfüllt, sind sehr unterschiedlich. Es lassen sich daher nur schwer Bauwerkstypen zu Grundgesamtheiten zusammenfassen, mit denen anschließend Statistik getrieben werden kann. Die große Katastrophe vergleichbar dem Kernschmelzunfall bei Kernkraftwerken ist im Bauwesen nur bei wenigen Bauwerken – wie etwa Talsperren oder Küstenschutzbauten – denkbar. Aus volkswirtschaftlicher Sicht treten die kleinen und mittleren Schäden mit ihren begrenzten Folgen in den Mittelpunkt des Interesses. Damit ist die Vorabauswahl dominierender Äste im Fehlerbaum problematisch; sie muß empirisch untermauert werden.

Dies bewog den erstgenannten Verfasser, dem Bundesminister für Forschung und Technologie vorzuschlagen, die Untersuchung nicht allgemein für das Bauwesen, sondern speziell für größere Tal- und Flußbrücken aus Spannbeton durchzuführen. Hier schien ein Schluß von der Stichprobe zur Grundgesamtheit gerade noch vertretbar. Es gibt nur wenige Bauverfahren, die sich am Markt durchgesetzt haben. Die Randbedingungen der Herstellung sind – wenn auch mit Einschränkung – vergleichbar. Brücken haben weiter den Vorteil, daß der Bauherr sachkundig ist und seine Bauwerke systematisch überwacht. Die Dokumentation entdeckter Schäden sowie der Kosten für Erhaltungsarbeiten schien hier am leichtesten abrufbar. Es war von Anfang an daran gedacht, gerade diesen reichen Erfahrungsschatz zu heben und damit bewußt rein theoretische Betrachtungen in den Hintergrund zu drängen. Zudem war es dringend geboten, einen Beitrag zur Versachlichung der Diskussion über die Bewährung der Spannbetonbrücken zu leisten. Es sollten Fakten über ihr bisheriges Verhalten statistisch gesammelt werden.

Dankenswerterweise ist der Bundesminister für Forschung und Technologie nach einvernehmlicher Abstimmung mit dem Bundesminister für Verkehr auf den Vorschlag eingegangen. Es kann damit eine Zwischenbilanz über die Bewährung von Spannbetonbrücken vorgelegt werden, die dieser noch relativ jungen, aber äußerst erfolgreichen Bauweise gewiß weiteren Auftrieb geben wird. Aufklärung über Falschmeldungen zu spektakulären Schadensfällen wird getrieben. Der Brückenbestand wird beleuchtet. Bauwerks- und Schadensdaten von 43 großen Tal- bzw. Flußbrücken werden ausgewertet. Dem Einfluß von Rissen im Beton auf Korrosion und Ermüdung der Stahleinlagen wird nachgegangen. Schwachstellen werden aufgezeigt und Vorschläge zu ihrer Überwindung unterbreitet. Auf bestehende Wissenslücken wird hingewiesen. Es ist zu hoffen, daß das Buch den Bauherren, den Bauunternehmern und den entwerfenden und prüfenden Ingenieuren gleichermaßen bei ihrer zukünftigen

Arbeit helfen möge. Durchaus im Sinne der Verfasser wäre es, wenn auch interessierte Laien (z. B. Politiker) oder mit Schadensfällen befaßte Juristen Nutzen aus dem Buch ziehen würden.

Das Buch stützt sich auf eine Vorarbeit, die Herr Dr.-Ing. Wittke in mühevollster und akribischer Weise geleistet hat. Ihm oblag die Datensammlung und eine erste Auswertung aller Daten, ohne die das Buch nicht möglich gewesen wäre. Viele Diskussionen mit ihm haben deutlich zur Klärung der Sachlage beigetragen.

Uneingeschränkte Unterstützung haben die Verfasser durch Herrn Dipl.-Ing. v. Drachenfels als Vertreter der Straßenverwaltung Rheinland-Pfalz sowie durch Herrn Prof. Dr.-Ing Deinhard als dem zuständigen Leiter der Abteilung Brücken- und Ingenieurbau des Hessischen Landesamtes für Straßenbau erfahren. Die Datenbeschaffung gelang nur mit ihrer Hilfe. Darüber hinaus haben beide Herren wertvolle Hinweise in Gesprächen und wesentliche Anregungen zur Verbesserung des Manuskriptes gegeben.

Die Herren Dipl.-Ing. Kretz (Hessisches Landesamt für Straßenbau), Dipl.-Ing. Dretzke (Autobahnamt Frankfurt) sowie Herr Dipl.-Ing. Rohe (Fa. Adam Hörnig) haben uns wertvolle Hinweise gegeben bzw. Daten von Instandsetzungskosten zur Verfügung gestellt, die das Buch sicher für den interessierten Leser zur Fundgrube machen. All diesen Herren sei an dieser Stelle besonders gedankt.

Unser Dank gilt Herrn Dr.-Ing. Krips (Wayss & Freytag AG) für die Beschaffung von Bildern sowie die Durchsicht des Kapitels 11 und die gegebenen Verbesserungshinweise. Schließlich möchten wir unseren Dank aussprechen an die vielen Fachkollegen, mit denen wir immer wieder diskutieren konnten, besonders aber Herrn Prof. Dr.-Ing. Schießl, ohne dessen Arbeit zur Bedeutung der Risse für die Korrosion der Stahleinlagen unserem Buch wesentliche Aussagen und Erkenntnisse fehlen würden. Herr Schießl hat in kollegialer Weise das gesamte Manuskript durchgesehen. Dieser Dank gilt ebenso Herrn Dr.-Ing. Cordes, der uns mit seinem Beitrag über die Dauerhaftigkeit von Spanngliedern unter zyklischen Beanspruchungen eine wesentliche Abstützung gegeben hat, und Herrn Dr.-Ing. Nürnberger, der uns seine neuesten, noch unveröffentlichten Forschungsergebnisse über die Chlorideindringung zur Verfügung gestellt hat.

In endgültige und lesbare Form hat unser Manuskript Frau Möller gebracht. Ihrer aufopfernden Mithilfe verdanken wir viel; herzlichen Dank!

Möge das Buch die Basis für eine sachliche Diskussion um die konsequente Weiterentwicklung einer genialen Erfindung bilden; dann hat sich die Mühe aller Beteiligten gelohnt.

Frankfurt/Main, 20. Mai 1986

*Gert König,  
Reinhard Maurer,  
Tilman Zichner*

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Schäden an Spannbetonbrücken

<b>1 Einleitung</b>	3
<b>2 Schäden an Spannbetonbrücken und ihre Ursachen</b>	6
2.1 Begriffserläuterungen	6
2.2 Schäden infolge verzögert gewonnener Erfahrung	6
2.3 Schäden infolge von Fehlern im Konstruktionsbereich	8
2.4 Schäden während der Bauzustände (Bauunfälle)	9
2.5 Ausführungsmängel	13
2.6 Schäden in der Nutzungsphase, insbesondere Verschleißschäden	14
2.7 Einflüsse aus Ausschreibung und Vergabe	15
<b>3 Einige dem Spannbetonbrückenbau angelastete spektakuläre Schadensfälle</b>	16
3.1 Vorbemerkungen	16
3.2 Der Teileinsturz der Berliner Kongreßhalle	16
3.3 Das Bauwerk SP 685, Umgehung Wilgartswiesen	22
3.4 Das Kreuzungsbauwerk in Berlin-Schmargendorf	27
3.5 Die Hochstraße Prinzenallee im Heerdt Dreieck Düsseldorf	31
<b>4 Eine Untersuchung zum tatsächlichen Ausmaß der Schäden an Spannbetonbrücken</b>	35

## Teil II Computerunterstützte Erfassung und Überwachung des Brückenbestands

<b>5 Bauwerksüberwachung gemäß DIN 1076 und Verwertung dabei anfallender Daten</b>	39
<b>6 Erfassung der Bauwerksdaten</b>	44
6.1 Allgemeines	44
6.2 Inhalt des Bauwerksbuchs	45
6.3 Erstellen eines Bauwerksbuchs	46
6.4 Beispiel zur Erstellung eines Bauwerksbuchs	47
<b>7 Arbeiten mit den Bauwerksdaten</b>	52

<b>8 Erfassung der Schadensdaten</b> . . . . .	54
8.1 Zweck der Erfassung von Schadensdaten . . . . .	54
8.2 Beispiele von Schadensfällen . . . . .	54
8.3 Subjektive Einflüsse bei der Erfassung der Schadensdaten . . . . .	63
8.4 Erstellen eines EDV-mäßigen Schadensprotokolls . . . . .	64
8.4.1 Verfahren zur Erfassung einzelner Schadensfälle . . . . .	64
8.4.1.1 Aufbau des Erfassungssystems . . . . .	64
8.4.1.2 Inhalt des Schadensprotokolls . . . . .	67
8.4.1.3 Beispiel . . . . .	69
8.4.2 Verfahren zur globalen Erfassung von Schäden an einzelnen Bauwerkskomponenten . . . . .	71
8.5 Klassifizierung von Schadensfällen . . . . .	73
8.5.1 Bestehende Klassifizierungsverfahren . . . . .	73
8.5.2 Entwickeltes Klassifizierungsverfahren . . . . .	82
8.5.2.1 Zum Aufbau des Verfahrens . . . . .	82
8.5.2.2 Ermittlung der Schadensklasse . . . . .	82
8.5.2.3 Beispiele . . . . .	84
<b>9 Untersuchung von Beziehungen zwischen Bauwerks- und Schadensdaten</b> . . . . .	86
 <b>Teil III Auswertung der Bauwerks- und Schadensdaten von 43 großen Talbrücken bzw. Flußbrücken in Spannbetonbauweise</b>	
<b>10 Brückenbestand und untersuchte Bauwerke</b> . . . . .	89
10.1 Entwicklung des Massivbrückenbaus . . . . .	89
10.2 Die untersuchten Fluß- und Talbrücken . . . . .	97
10.3 Aussagekraft der Auswertungen . . . . .	99
<b>11 Auswertung der Bauwerksdaten</b> . . . . .	101
11.1 Bauverfahren . . . . .	101
11.2 Baustoffe . . . . .	106
11.2.1 Vorbemerkungen . . . . .	106
11.2.2 Beton . . . . .	106
11.2.3 Betonstahl . . . . .	109
11.2.4 Spannstahl . . . . .	112
11.3 Herstellungskosten . . . . .	118
11.4 Auftragnehmer . . . . .	120
11.5 Schlankheiten der Überbauten . . . . .	121
11.6 Querschnittsform . . . . .	121
11.7 Lager . . . . .	121
11.8 Abdichtungen . . . . .	124
<b>12 Auswertung der Riß- und Schadensdaten</b> . . . . .	125
12.1 Vorbemerkungen . . . . .	125
12.2 Risse im Beton . . . . .	125
12.2.1 Bedeutung der Risse . . . . .	125

12.2.1.1	Anlaß der Diskussion . . . . .	125
12.2.1.2	Ursachen der Rißbildung . . . . .	130
12.2.1.3	Einfluß von Rissen im Beton auf die Korrosion der Stahleinlagen . . . . .	133
12.2.1.4	Spannstahlermüdung im Rißbereich . . . . .	156
12.2.1.5	Wertung, Zusammenfassung . . . . .	164
12.2.2	Auswertung der Risse der 76 Spannbetonüberbauten . . . . .	166
12.2.2.1	Vorbemerkungen . . . . .	166
12.2.2.2	Gerissene Koppelfugenbereiche . . . . .	168
12.2.2.3	Risse außerhalb der Koppelfugenbereiche . . . . .	183
12.3	Nester und Fehlstellen im Beton . . . . .	192
12.4	Freiliegende Bewehrung . . . . .	196
12.5	Unzureichend verpreßte Spannglieder . . . . .	201
12.6	Durchfeuchtungen . . . . .	203
12.7	Kappen . . . . .	205
12.8	Lager . . . . .	206
12.9	Übergangskonstruktionen . . . . .	211
12.10	Schäden an Pfeilern und Widerlagern . . . . .	213

**Teil IV Risikoorientierte Aussagen**

<b>13</b>	<b>Risiko und Fortschritt . . . . .</b>	<b>217</b>
13.1	Risiken beim menschlichen Handeln . . . . .	217
13.2	Risiken im Brückenbau . . . . .	223
<b>14</b>	<b>Zur Tragwerkssicherheit der Spannbetonbrücken . . . . .</b>	<b>225</b>
14.1	Das Sicherheitskonzept als Maßnahme zur Vermeidung technischer Risiken . . . . .	225
14.1.1	Allgemeine Maßnahmen . . . . .	225
14.1.2	Besondere zusätzliche Maßnahmen bei Brücken . . . . .	229
14.2	Einfluß des Tragwerkskonzepts und der konstruktiven Einzelheiten auf die Bauwerkssicherheit . . . . .	231
14.2.1	Einfluß des Tragwerkskonzepts – zwei Schadensfälle . . . . .	231
14.2.2	Einfluß der Komponenten . . . . .	232
14.2.3	Ausfallszenarien: Vergleich Einfeldtragwerke – Durchlaufträger . . . . .	235
14.3	Schlußfolgerungen, Wertung . . . . .	241
<b>15</b>	<b>Der Finanzbedarf zur Erhaltung der Brückenbauwerke . . . . .</b>	<b>242</b>
15.1	Vorbemerkungen . . . . .	242
15.2	Kosten für die Prüfung der Straßenbrücken . . . . .	244
15.3	Angaben zum Finanzbedarf in Veröffentlichungen . . . . .	246
15.4	Erhebung der tatsächlich aufgewendeten finanziellen Mittel für die Erhaltung der Brücken im Zuge von Bundesfernstraßen durch das Bundesverkehrsministerium . . . . .	247



15.5	Instandsetzungskosten einzelner Spannbetonbrücken . . . . .	250
15.5.1	Talbrücken im Zuge der Sauerlandlinie (Hessen) . . . . .	250
15.5.2	Brücken des Landes Rheinland-Pfalz . . . . .	253
15.5.3	Bewertung . . . . .	259
15.6	Kostenmodelle zur Ermittlung des zukünftigen Finanzbedarfs für die Erhaltung von Spannbetonbrücken . . . . .	261
15.6.1	Vorbemerkungen . . . . .	261
15.6.2	Kostenmodell nach Wittke . . . . .	262
15.6.3	Verfahren zur Abschätzung der Instandsetzungskosten einzelner Spannbetonbrücken nach v. Drachenfels . . . . .	267
15.6.4	Ermittlung des Finanzbedarfs durch eine Bund/Länder- Arbeitsgruppe der Straßenbauverwaltung . . . . .	268
15.6.5	Ermittlung des Finanzbedarfs für die Erhaltung des Brückenbestandes auf der Grundlage von Strategie- modellverfahren . . . . .	268
15.6.5.1	Prinzipielle Vorgehensweise . . . . .	268
15.6.5.2	Modell des Bund/Länder-Fachausschusses Brücken- und Ingenieurbau . . . . .	269
15.6.5.3	Modell nach Schmuck/Löffler . . . . .	273
15.6.5.4	Modellansatz aufgrund eigener Untersuchungen . . . . .	274
15.6.5.5	Vergleich der verschiedenen Modellansätze anhand des Brückenbestandes des Landes Hessen im Zuge von Bundesfernstraßen . . . . .	285
15.6.5.6	Bewertung . . . . .	286
15.7	Modell zur Abschätzung des individuellen Finanzbedarfs einzelner Bauwerke . . . . .	287
15.8	Ausblick . . . . .	292
15.8.1	Erfassung der Kosten für die Bauwerkserhaltung . . . . .	292
15.8.2	Verfahren zur Berechnung des Finanzbedarfs . . . . .	292
<b>16</b>	<b>Zusammenfassung und abschließende Beurteilung . . . . .</b>	<b>293</b>
<b>Anhang</b>		
Credibility-Formeln, risikothoretische Ansätze zur Schadensprognose (Prof. Dr. rer. nat. J. Lehn, Dip.-Math. S. Rettig) . . . . .		
		307
A.1	Einleitung . . . . .	307
A.2	Credibility-Formeln vom Typ gewichteter Mittel . . . . .	307
A.3	Modellannahmen zur Auswahl der Gewichte . . . . .	308
A.4	Berechnung der Gewichte bei Normalverteilungsannahmen . . . . .	311
A.5	Ein Zahlenbeispiel . . . . .	315
A.6	Anwendbarkeit der Methode zur Prognose der Erhaltungskosten bei Bauwerken . . . . .	317
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>319</b>
	<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>325</b>