

# **Assessment and Maintenance of Bridges – Requirements, Objectives, and Strategies**

Vom Promotionsausschuss der  
Technischen Universität Hamburg-Harburg  
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von  
Grischa Dette

aus  
Berlin

2015

1. Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. Viktor Sigrist
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Frank Schmidt-Döhl

Zusätzliche Stellungnahme: Prof. Dr. B. Nageswara Rao

Tag der mündlichen Prüfung: 25. November 2015

Schriftenreihe des Instituts für Massivbau der TUHH

Heft 13

**Grischa Dette**

**Assessment and Maintenance of Bridges –  
Requirements, Objectives, and Strategies**

Shaker Verlag  
Aachen 2016

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Hamburg-Harburg, Techn. Univ., Diss., 2015

Copyright Shaker Verlag 2016

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4309-9

ISSN 1865-8407

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • e-mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Foreword

Bridges are important elements of our traffic infrastructure—a system, which was built during the past one hundred years with a major increase between the 1960s and 1980s. Hence, an important number of bridges has now reached an age of forty or more years and thorough inspections and assessments are required. In the years of intense construction activities, the expected quality was not always reached and durability aspects were not in the focus of planners and builders. These facts led to a disproportionate number of defects and damages, quite often to a serious extent. This is relevant beyond a pure technical meaning since the costs for maintenance and repair often exceed the respective budget.

Grischa Dette treats the topic of bridge maintenance in a comprehensive approach. He presents a method for a specific and stepwise maintenance planning and by this offers a promising instrument for the support of strategy selections and decision making processes. By taking up ideas from international literature, Mr. Dette develops an independent evaluation framework, which profoundly extends the common economic perspective. In the main part of the thesis, a newly developed Matlab based computer program SAMS (Simulation-based Assessment of Maintenance Strategies) is introduced. For the evaluation of maintenance strategies, Mr. Dette defines so called performance indicators, which comprise the categories structural safety, condition, economy, society & culture, and environment. This procedure is experimentally applied on two case study bridges.

The holistic approach of this thesis is remarkable since it captures bridges not only as technical structures, but also accounts for the many other roles they play in everyday life. With the broad applicability of the approach and its comprehensible presentation the publication at hand will be of interest for a wide readership.

Lucerne (Switzerland), 2016

Prof. Dr. Viktor Sigrist



## **Abstract**

From an ideal point of view, bridges should be designed, constructed and operated in such a way that they fulfil requirements from the fields of function, economy, environment, society, and culture. The present thesis wants to contribute to this matter by illuminating the manifold requirements and by developing a practicable approach to multi-objective maintenance planning for bridges.

Starting with a literature review and a survey on practical maintenance planning by bridge owning agencies in Hamburg (Germany) and Chennai (India), the investigation reveals that until today practical approaches for the identification of bridge specific requirements as well as for strategy assessment and evaluation are not at hand. Instead of accounting for the whole range of performance aspects, the current investigations of maintenance strategies are commonly confined to functional and economic aspects. In exceptional cases where societal, cultural and also environmental issues are considered, these aspects are usually treated in monetary terms. A common monetary evaluation of the different aspects, however, inevitably causes a distorted perception of reality.

As a solution to this problem, the present thesis develops a practical approach to multi-objective maintenance planning. The aim of this approach is to develop customized strategies in order to fulfil the bridge specific requirements. At its core is the newly invented SAMS program, which allows for simulation based assessment of maintenance strategies. The program uses Monte Carlo simulation technique and thoroughly takes into account the interdependencies between structure, deterioration, and maintenance effects, which occur in the bridge specific context. As a result, it provides value distributions of indicators, which give a description of the strategy-depended bridge performance relating to condition, structural safety, economy, society, and culture. The SAMS program is effectively combined with a specifically developed method for true and undistortive multi-objective strategy evaluation. In addition to this, a questionnaire for identifying bridge specific requirements is applied—a tool newly developed for the survey in Hamburg and Chennai. The experimental application of the approach on two case study bridges shows that suitable strategies for fulfilling the bridge specific requirements can be identified. It is also found that the bridge specific context decisively influences the extent, to which strategies can play out their specific strengths.

## **Kurzfassung**

Idealerweise sollten Brückenbauwerke so geplant, errichtet und betrieben werden, dass sie ein breites Anforderungsspektrum erfüllen – insbesondere hinsichtlich der Dimensionen Funktionalität, Wirtschaftlichkeit, Umwelt, Gesellschaft und Kultur. Die vorliegende Untersuchung will hierzu einen Beitrag leisten, indem sie die vielfältigen Anforderungen genauer beleuchtet und einen praktikablen Ansatz für eine mehrzielige Instandhaltungsplanung für Brücken entwickelt.

Ausgehend von einer Literaturrecherche und einer Datenerhebung zur Instandhaltungspraxis, die in Kooperation mit Brückenverwaltungen in Hamburg (Deutschland) und Chennai (Indien) durchgeführt wurde, zeigt die Studie, dass bis heute weder für die Identifizierung von brückenspezifischen Anforderungen noch für die Auswirkungsprognose und Bewertung von Instandhaltungsstrategien praktikable Ansätze zur Verfügung stehen. Anstatt das gesamte Leistungsspektrum der Bauwerke zu betrachten, beschränken sich aktuelle Untersuchungen üblicherweise auf funktionale und wirtschaftliche Aspekte. Dort, wo ausnahmsweise auch gesellschaftlich-kulturelle oder auch umweltbezogene Aspekte berücksichtigt werden, erfolgt üblicherweise eine monetäre Transformation und Bewertung. Eine gemeinsame monetäre Bewertung der unterschiedlichen Dimensionen jedoch führt zwangsläufig zu einem verzerrten Abbild der Wirklichkeit.

Als Lösung entwickelt die vorliegende Untersuchung einen praktikablen Ansatz für eine brückenspezifische und mehrzielige Instandhaltungsplanung. Dieser ermöglicht die Erarbeitung maßgeschneiderter Strategien zur optimalen Erfüllung bauwerksspezifischer Anforderungsprofile. Den Kern dieses Ansatzes stellt das neuentwickelte SAMS Programm dar, mit dem eine simulationsbasierte Prognose der Auswirkungen von Instandhaltungsstrategien durchgeführt werden kann. Dieses Programm beruht auf der Monte-Carlo-Simulationstechnik und berücksichtigt umfassend die wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen Bauwerk, Schädigungsentwicklung und Instandhaltungsmaßnahmen, wie sie sich im brückenspezifischen Kontext ergeben. Als Ergebnis liefert es Häufigkeitsverteilungen für Kennzahlen, die das strategieabhängige Leistungsvermögen von Brücken bezüglich der Aspekte Zustand, Tragsicherheit, Wirtschaftlichkeit, Gesellschaft und Kultur beschreiben. Wirkungsvoll kombiniert wird das SAMS Programm mit einer eigens hierfür entwickelten Methode für eine unverzerrte mehrzielige Strategiebewertung. Ergänzend kommt ein Fragebogen zur brückenspezifischen Identifizierung von Anforderungen zum Einsatz, der für die Datenerhebung in Hamburg und Chennai erstellt wurde. Eine experimentelle Anwendung dieses Ansatzes im Rahmen zweier Fallstudien zeigt, dass bei den betrachteten Brückenbauwerken geeignete Instandhaltungsstrategien identifiziert werden können, um das brückenspezifische Anforderungsspektrum zu erfüllen. Ebenfalls zeigt eine vergleichende Betrachtung, dass der brückenspezifische Kontext entscheidenden Einfluss darauf hat, in welchem Umfang Strategien ihre spezifischen Stärken ausspielen können.



# Contents

1	Introduction.....	1
1.1	Problem Definition .....	1
1.2	Research Objective and Thesis Overview .....	1
1.3	Scope and Limitations .....	2
2	Foundations of Bridge Management.....	3
2.1	Introduction .....	3
2.2	Bridge Management and Bridge Management Systems (BMS) .....	3
2.3	Bridge Performance and Performance Indicators.....	5
2.4	Inspection, Assessment, and Evaluation of Bridges.....	7
2.5	Preferences – Demands, Requirements, Objectives .....	16
2.6	Bridge Maintenance.....	29
2.7	Assessment of Maintenance Strategies.....	38
2.8	Evaluation of Maintenance Strategies .....	52
2.9	Conclusion .....	61
3	Survey of Bridge Management Practice .....	63
3.1	Introduction .....	63
3.2	Scope and Instruments of the Bridge Survey .....	63
3.3	Bridge Specific Demands, Requirements, and Maintenance Objectives .....	80
3.4	Bridge Specific Maintenance Practice.....	87
3.5	Practical Approaches to Systematic Maintenance Planning.....	91
3.6	Current State of Bridge Management Practice in Hamburg and Chennai.....	92
3.7	Conclusion .....	94
4	A New Approach to Multi-Objective Maintenance Planning.....	95
4.1	Introduction .....	95
4.2	General Description of the Approach .....	95
4.3	Structural Representation .....	97
4.4	Deterioration Mechanisms.....	114
4.5	Maintenance Activities .....	137
4.6	SAMS-Model Adjustment to Bridge Inspection and Assessment Results.....	154
4.7	Performance Indicators.....	156

4.8	Maintenance Strategies.....	167
4.9	Strategy Assessment and Evaluation.....	168
4.10	SAMS Program Structure.....	171
4.11	Conclusion.....	174
5	Experimental Strategy Assessment and Evaluation.....	177
5.1	Introduction.....	177
5.2	Case Study Bridges.....	177
5.3	Identification of Bridge Specific Preference Profiles.....	181
5.4	Structural Representation.....	182
5.5	Deterioration Mechanisms and Maintenance Activities.....	188
5.6	Maintenance Strategies.....	220
5.7	Simulation-based Strategy Assessment.....	233
5.8	Multi-Objective Strategy Evaluation.....	287
5.9	Strategy Improvement.....	298
5.10	Contribution of the Approach.....	305
5.11	Conclusion.....	306
6	Multi-Objective Bridge Maintenance – A New Perspective.....	307
6.1	Introduction.....	307
6.2	Research Needs and Starting Point of the Investigation.....	307
6.3	Evidence for Bridge Specific Requirements and Maintenance Application.....	309
6.4	New Tools for the Requirements/Objectives Development Phase.....	309
6.5	Approach to Multi-Objective Maintenance Planning.....	310
6.6	Experimental Application of the Approach.....	311
6.7	Practical Implications and Outlook for Future Research.....	312
	References.....	307
	Symbols and Notation.....	335
	Appendix.....	339
	Appendix I.....	341
	Appendix II.....	351
	Appendix III.....	357
	Curriculum Vitae.....	379