

# Entwicklung eines Bauwerks-Management- Systems für das deutsche Fernstraßennetz – Stufen 1 und 2

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 43



**bast**

# **Entwicklung eines Bauwerks-Management- Systems für das deutsche Fernstraßennetz – Stufen 1 und 2**

Peter Haardt

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 43

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines  
B - Brücken- und Ingenieurbau  
F - Fahrzeugtechnik  
M- Mensch und Sicherheit  
S - Straßenbau  
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

## **Impressum**

**Bericht zum Forschungsprojekt 99245:**  
Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz – Stufen 1 und 2

### **Herausgeber**

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0  
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

### **Redaktion**

Referat Öffentlichkeitsarbeit

### **Druck und Verlag**

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

ISSN 0943-9293

ISBN 3-86509-019-2

Bergisch Gladbach, September 2003

## Kurzfassung – Abstract

### **Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz – Stufen 1 und 2**

Das Bundesfernstraßennetz beinhaltet eine große Anzahl von Brücken und anderen Ingenieurbauwerken, wie Tunnel, Lärmschutzeinrichtungen und Stützwände. Die für diese Bauwerke aufzustellenden Erhaltungsprogramme erfordern nicht nur erhebliche Geldmittel, sondern beeinflussen auch Wirtschaft und Gesellschaft insgesamt. Neben den ständig wachsenden Verkehrsbeanspruchungen, insbesondere im Schwerverkehr durch zunehmende Anzahl, Auslastung und zulässige Gewichte der Fahrzeuge, zwingen die ungünstiger werdende Altersstruktur und der wirtschaftliche Einsatz der zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel alle Beteiligten dazu, die Erhaltung der Bundesfernstraßen zu systematisieren, um auch zukünftig den Verkehrsteilnehmern eine ausreichende Qualität der Verkehrswege zu sichern. Diese Aufgabe wird in Zukunft durch die Anwendung von individuellen Computer-Programmen im Rahmen eines umfassenden Management-Systems (Bauwerks-Management-System, BMS) unterstützt und erleichtert.

Das BMVBW realisiert ein umfassendes Bauwerks-Management-System (BMS) mit Teilmodulen für Bundes- und Länderverwaltungen, welches als Hilfsmittel für die Erstellung von Erhaltungsplanungen dient und als Controlling-Instrument die Realisierung von Zielen und Strategien ermöglicht. Angestrebt wird damit eine bundesweite Vereinheitlichung von Planungsverfahren sowie die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Rahmen der Erhaltung der Bauwerke des Bundesfernstraßennetzes.

Im Rahmen des AP-Projektes 99245/B4 "Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems (BMS) für das deutsche Fernstraßennetz, Stufe 1 und 2" werden die Entwicklung der Stufe 1 „Grundlagenuntersuchungen“ und der Stufe 2 „Bewertungsverfahren auf Objektebene“ des Bauwerks-Management-Systems für die Straßenbauverwaltungen der Länder und die Umsetzung in die Verwaltungspraxis angestrebt.

Der Schlussbericht beschreibt die bereits existierenden Regelungen und Verfahren der Stufen 1 und 2 des BMS zum Einsatz in Straßenbauverwaltun-

gen sowie diejenigen Entwicklungen, die derzeit für Computeranwendungen bereitgestellt werden.

Wesentliche Einzelthemen sind Wissenskataloge, Verhaltensmodelle, Erhaltungsstrategien und Kosten/Nutzen-Analyse.

### **Development of a Structure Management System for the German Interstate Road Network – Stages 1 and 2**

The federal road network of Germany contains a large number of highway structures like bridges, tunnels, retaining walls and others. The maintenance programs to be prepared for this purpose not only require a high budget, but also influence the economy and society as a whole. Due to growing volumes of traffic and higher weights of trucks, bridges are subjected to increasing loads which implies that maintenance costs will be rising in the future. Considering the fact that financial resources become continuously tighter, the maintenance costs have to be spent in a way to obtain the greatest possible benefit. This task will in the future be supported by the application of individual computer programs in the frame of a comprehensive Management System (Bridge Management System, BMS).

Firstly, the BMS is to provide the Federal Ministry with an overview of the current situation at the overall network level, and allow it to come to financial requirements as well as strategies for realising long-term objectives. Secondly, the states and authorities are to be supplied with recommendations for performing improvements on object level and on state network level in compliance with given strategies and budgetary restrictions.

Some of the above mentioned topics have already been realised. Computer programs are currently being prepared. However, some essential issues are still in the development phase.

The final report of AP 99 245/B4 „Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz, Stufe 1 und 2“ describes the existing regulations and procedures as well as those which are going to be developed

in phase 1 and 2 in the frame of the development of the BMS for state application.

Important topics are knowledge catalogs, deterioration models, maintenance strategies and cost/benefit analysis.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	7	3.3.2.4	Korrosion .....	29
1.1	Problemstellung und Zielsetzung .....	7	3.3.2.5	Frost-Tau-Schädigung .....	30
1.2	Vorgehen .....	8	3.3.2.6	Alkali-Kieselsäure-Reaktion .....	30
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	8	3.3.2.7	Ermüdung .....	30
2.1	Begriffliche Grundlagen .....	8	3.3.2.8	Überführung der phänomeno- logischen Modelle in Schädigungs- modelle des BMS .....	30
2.2	Ingenieurbauwerke – Bestand, Erhaltung und Prognose .....	9	3.3.3	Nutzungsdauermodelle .....	31
2.3	Bauwerksdaten und Bauwerks- prüfung .....	11	3.3.4	Verhalten nach erfolgter Erhaltungs- maßnahme .....	32
2.4	Verfahren der Erhaltungsplanung auf Länderebene und zukünftige Unterstützung durch das BMS .....	12	3.4	Erhaltungsstrategien .....	33
2.5	Verbesserung des Erhaltungs- managements .....	14	3.4.1	Allgemeines .....	33
2.6	Bauwerks-Management-System (BMS), Konzeption der Bundesan- stalt für Straßenwesen .....	15	3.4.2	Eingreifzeitpunkt und Eingreifintervall .....	34
2.7	Entwicklung des BMS für Straßen- bauverwaltungen .....	17	3.4.3	Einflussparameter .....	36
2.7.1	Allgemeines .....	17	3.4.3.1	Restnutzungsdauer .....	36
2.7.2	Grundlagen für Bewertungen und Analysen .....	18	3.4.3.2	Technische Daten des Bauwerks ....	36
2.7.3	Bewertung auf Objektebene .....	18	3.4.3.3	Nutzungseinschränkungen .....	36
2.7.4	Bewertung auf Netzebene .....	19	3.4.3.4	Vorgaben und Einflussnahme des Baulastträgers .....	36
2.7.5	Strategiebewertung .....	19	3.4.3.5	Erfahrungen der Länderverwal- tungen .....	36
<b>3</b>	<b>Bereitstellung von Informationen für objekt- und netzbezogene Auswertungen</b> .....	20	3.4.4	Formulierung der Strategien .....	36
3.1	Maßnahmenkatalog .....	20	3.4.4.1	Allgemeines .....	36
3.1.1	Allgemeines .....	20	3.4.4.2	Restnutzungsdauer und Mindest- anforderungen .....	37
3.1.2	Katalogisierung der Maßnahmen ....	20	3.4.4.3	Identifizierung von Schadensbil- dern und Maßnahmenpaketen .....	37
3.1.3	Kombinationsmöglichkeiten von Maßnahmen .....	21	3.4.4.4	Kombination von Maßnahmen am selben Bauteil .....	37
3.1.4	Verkehrslenkungsmaßnahmen .....	22	3.4.4.5	Minimierung der Verkehrslenkung ...	37
3.1.5	Zuordnung der Maßnahmen zu Schäden nach RI-EBW-PRÜF .....	23	3.4.4.6	Bündelung von gleichen Maßnah- men an verschiedenen Bauteilen ....	37
3.2	Kostenkatalog .....	23	3.5	Bereitzustellende Informationen .....	37
3.3	Verhaltensmodelle .....	26	<b>4</b>	<b>Verfahren zur Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen auf Objektebene</b> .....	38
3.3.1	Allgemeines .....	26	4.1	Allgemeines .....	38
3.3.2	Schädigungsmodelle .....	27	4.2	Ökonomische Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen .....	39
3.3.2.1	Allgemeines .....	27	4.2.1	Kostenkomponenten .....	39
3.3.2.2	Karbonatisierung .....	27	4.2.1.1	Allgemeines .....	39
3.3.2.3	Chlorideindringung .....	28	4.2.1.2	Kosten für bauliche Unterhaltung ....	39
			4.2.1.3	Kosten für Erneuerung/Ersatz- neubau .....	40

4.2.1.4	Kosten der Bauwerksprüfung . . . . .	40
4.2.1.5	Restwert des Bauwerkes . . . . .	40
4.2.1.6	Kapitalisierung von Kosten und Nutzen . . . . .	41
4.2.2	Nutzenelemente . . . . .	42
4.2.2.1	Allgemeines . . . . .	42
4.2.2.2	Mengengerüst . . . . .	42
4.2.2.3	Alternativrouten . . . . .	43
4.2.2.4	Wertgerüst . . . . .	44
4.2.2.5	Nutzungseinschränkungen . . . . .	45
4.3	Verfahren zur Bewertung von Maßnahmevarianten auf Objektebene . . . . .	45
4.3.1	Allgemeines . . . . .	45
4.3.2	Planungsfall und „Nichts-tun“-Fall . . .	46
4.3.3	Maßnahmezeitraum und Bewer- tungszeitraum . . . . .	47
4.3.4	Reihung der Maßnahmen nach gesamtwirtschaftlichen Kriterien . . . . .	48
<b>5</b>	<b>Weitere Entwicklungsschritte . . . . .</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung . . . . .</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>52</b>

# 1 Einführung

## 1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Das Bundesfernstraßennetz mit seiner zentralen Lage in Europa trägt die Hauptlast des Transitverkehrs und wird durch den erweiterten europäischen Binnenmarkt ständig zunehmende Verkehrsbelastungen aufnehmen müssen. Das Anlagevermögen des Bundesfernstraßennetzes beträgt 170 Mrd. Euro; davon entfallen rund 50 Mrd. Euro auf Bauwerke (Brücken, Tunnel, Stützbauwerke u. a.). Bereits geringe Störungen im Netz durch Verkehrsbeschränkungen oder durch den Ausfall einzelner Anlagenteile führen zu starken Verkehrsbehinderungen mit erheblichen Folgekosten für den Straßennutzer und die Volkswirtschaft sowie zu negativen Auswirkungen auf die Umwelt.

Die Erhaltung der Bundesfernstraßen ist eine Aufgabe zur langfristigen Sicherung der Mobilität von Wirtschaft und Gesellschaft. Anzustreben ist eine nachhaltige Entwicklung, d. h., die Bedürfnisse der Gegenwart sind zu befriedigen, ohne zu riskieren, dass zukünftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht mehr befriedigen können. Dies beinhaltet wirtschaftliche Effizienz unter Berücksichtigung von sozialer und ökonomischer Verantwortung. Im Fall der Bauwerkserhaltung bedeutet dies die Sicherstellung des Substanz- und Gebrauchswertes sowie des derzeitigen Sicherheitsstandards unter Berücksichtigung von Umweltgesichtspunkten.

Neben den ständig wachsenden Verkehrsbeanspruchungen, insbesondere im Schwerverkehr durch zunehmende Anzahl, Auslastung und zulässige Gewichte der Fahrzeuge, zwingen die ungünstiger werdende Altersstruktur und der wirtschaftliche Einsatz der zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel alle Beteiligten dazu, die Erhaltung der Bundesfernstraßen zu systematisieren, um auch zukünftig den Verkehrsteilnehmern eine ausreichende Qualität der Verkehrswege zu sichern.

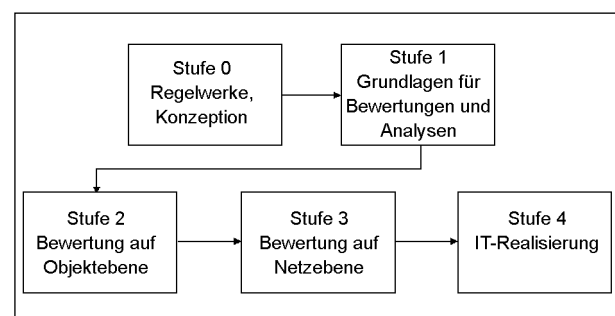
Wesentlicher Baustein eines künftigen Gesamtsystems Straßenerhaltung ist ein umfassendes Bauwerks-Management-System (BMS), mit dem der Bauwerksbestand auf Objekt- und Netzebene umfassend erfasst und bewertet werden kann und das zur Unterstützung von Bund und Ländern bei der Planung und Durchführung von Erhaltungsmaß-

nahmen eingesetzt werden soll. Die besonderen Randbedingungen hinsichtlich des Bauwerksbestands und der gesetzlich vorgegebenen Verwaltungsstruktur sind als wesentliche Voraussetzungen zu berücksichtigen.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen hat im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVBW) die Konzeption des zukünftigen BMS sowie einen Stufenplan zur Realisierung erarbeitet [1]. Die Konzeption sieht eine Aufteilung in Planungs- und Realisierungsprozesse der Länderverwaltungen sowie Controllingprozesse der Bundesverwaltung vor, die jeweils in eine Anzahl unterschiedlicher Themenfelder untergliedert sind.

Der Stufenplan stellt die einzelnen Realisierungsschritte des BMS zum Einsatz auf Länderebene dar (siehe Bild 1).

Die Ausgangsstufe 0 wurde bereits im Jahr 1998 mit der Bereitstellung von Regelwerken und Konzeptionen realisiert. Stufe 1 umfasst die benötigte Informationsbereitstellung für Bewertungen und Analysen. Mit Stufe 2 werden die Verfahren zur Bewertung von Maßnahmen auf Objektebene bereitgestellt. Stufe 3 beinhaltet die Entwicklung von Verfahren zur Bewertung auf Netzebene sowie zur Erstellung von Erhaltungsprogrammen und Stufe 4 die Realisierung dieser Verfahren in Form von Computerprogrammen zum Einsatz in den Länderverwaltungen. Ziel des Projektes, dessen Inhalt im vorliegenden Bericht dargestellt wird, ist die Entwicklung und Bereitstellung der in Bild 1 dargestellten Stufen 1 und 2 des Bauwerks-Management-Systems (BMS) als Grundlage für die Realisierung von Computerprogrammen zum Einsatz in den Straßenbauverwaltungen.



**Bild 1:** Stufenplan zur Entwicklung des BMS zum Einsatz auf Länderebene



## 1.2 Vorgehen

Zur Entwicklung der Stufen 1 und 2 des BMS war es erforderlich, Teilaufgaben abzugrenzen und mit dem BMVBW sowie Bund/Länder-Gremien abzustimmen. Die Bearbeitung der Teilaufgaben erfolgte im Rahmen von Forschungsvorhaben, die aus Ressortmitteln des BMVBW sowie aus Haushaltsmitteln der BAST finanziert wurden. Die fachliche Betreuung und Koordinierung dieser Forschungsvorhaben erfolgten unter Leitung der Bundesanstalt für Straßenwesen in der Arbeitsgruppe „Entwicklung des Bauwerks-Management-Systems“ des Bund/Länder-Hauptausschusses Brücken- und Ingenieurbau. Im Einzelnen wurden die folgenden Vorhaben durchgeführt:

### Stufe 1:

FE 15.297/1998/HRB, Erarbeitung von Modellen zur Schadens- und Zustandsentwicklung, König und Heunisch, Leipzig

FE 15.318/1999/HRB, Entwicklung eines Kataloges von Erhaltungsmaßnahmen, König und Heunisch, Leipzig

FE 15.319/1999/HRB, Ermittlung des Eingreifzeitpunktes für Erhaltungsmaßnahmen an Brücken und Ingenieurbauwerken, König und Heunisch, Leipzig

FE 89.104/2001/AP, Grundlagen der Optimierung von Erhaltungsstrategien auf Objektebene, Universität Stuttgart

### Stufe 2:

FE 15.320/1999/HRB, Verfahren zur Ermittlung der ökonomischen Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen, RS-Consult, Berlin

FE 15.323/2000/HRB, Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Maßnahmenvarianten, RS-Consult, Berlin

In Kapitel 2 werden zunächst die Grundlagen für die Entwicklung des BMS vorgestellt. Dazu gehören neben einer Darstellung der Konzeption des BMS Aspekte der Ingenieurbauwerke, Informationen zu Bauwerksdaten und zur Bauwerksprüfung sowie die aktuellen Verfahren der Erhaltungsplanung in den Ländern und eine Darstellung der vom BMVBW beabsichtigten Verbesserung des Erhaltungsmanagements.

In Kapitel 3 wird auf die in den o. g. Vorhaben bearbeiteten Teilthemen zur Realisierung der Stufen 1 und 2 des BMS näher eingegangen. Dabei werden für Stufe 1 Maßnahmenkataloge, die wesentlichen Schädigungsmechanismen und ihre Berücksichtigung in Form von Verhaltensmodellen sowie Erhaltungsstrategien in Form von Eingreifzeitpunkt, Eingreifintervall, Bündelung und Zusammenfassung von Maßnahmen zur Bereitstellung von Maßnahmevarianten beschrieben.

Für Stufe 2 erfolgt eine Darstellung des ökonomischen Bewertungsverfahrens, mit dem die einzelnen Maßnahmevarianten auf Objektebene bewertet werden. Dies beinhaltet neben der Verfahrensbeschreibung und der Beschreibung der Einbettung im BMS eine Beschreibung des zu berücksichtigenden Mengen- und Wertgerüsts.

In Kapitel 4 erfolgt eine Darstellung der weiteren Entwicklungsstufen des BMS. Mit einer Zusammenfassung und einem ausführlichen Literaturverzeichnis schließt der Bericht.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Begriffliche Grundlagen

Die Beschreibung und Abgrenzung der Aufgabenstellung erfordert einige begriffliche Definitionen aus dem Gebiet der Erhaltung von Ingenieurbauwerken.

Die Erhaltung von Bauwerken beinhaltet alle Maßnahmen, welche die Sicherheit und Funktionalität gewährleisten sollen, und damit alle baulichen und verwaltungsmäßigen Aufwendungen für:

- die bauliche Unterhaltung (bauliche Maßnahmen kleineren Umfangs, die den Gebrauchswert nicht anheben),
- die Instandsetzung (bauliche Maßnahmen größeren Umfangs, die eine deutliche Anhebung des Gebrauchswertes bewirken),
- die Erneuerung (Ersatz von Bauwerksteilen, durch die der volle Gebrauchswert wieder hergestellt wird) und
- Umbau-/Ausbaumaßnahmen ohne kapazitive Wirkung.

In Abgrenzung dazu bestehen auf der einen Seite die Maßnahmen der „betrieblichen Unterhaltung“

(u. a. Pflege, Winterdienst, Vorhaltung von Immobilien und Gerät) und auf der anderen Seite die „Erweiterungsmaßnahmen“ (Umbau-/Ausbaumaßnahmen mit kapazitiver Wirkung auf das Straßennetz und Neubau-/Ersatzanlagen).

Damit auch kommende Generationen in den Genuss des aktuellen Infrastrukturstandards gelangen, wird eine nachhaltige Bewirtschaftung angestrebt.

Dem Leitziel Nachhaltigkeit als Tenor einer systematischen Straßenerhaltung werden die folgenden Teilziele zugeordnet:

- höchstmöglicher Gebrauchswert,
- minimale gesamtwirtschaftliche Kosten,
- höchstmögliche Umweltverträglichkeit.

Das Zielkriterium Gebrauchswert stellt einen nutzerrelevanten Ausdruck für „Komfort“, „Sicherheit“ und „Dispositionsfreiheit“ dar. Dagegen umfasst das Kostenkriterium sowohl nutzer- als auch baulastträgerrelevante Anteile. Die nutzerrelevanten Anteile werden von den „Zeitkosten“, den „Fahrzeug- und Betriebskosten“ sowie den „Unfall- und Unfallfolgekosten“ gebildet. Baulastträgerrelevante Kostenkriterien können in „Baukosten“, „Erhaltungskosten“, „Betriebskosten“ und „Verwaltungskosten“ aufgeteilt werden. Als Umweltkriterium sind die Belastung des Menschen und seiner Umwelt, der Ressourcenverbrauch und die Identifikationsmöglichkeit zwischen Mensch und Umwelt aufzuführen. Die einzelnen Ziele können durch konkurrierende oder komplementäre Relationen miteinander verbunden sein [1].

Vom BMVBW wurden in Zusammenarbeit mit der BAST folgende Unterziele zum Leitziel der Erhaltungsstrategie für Brücken und Straßen formuliert [1]:

- Festlegen, Erreichen und Einhalten eines akzeptablen Zustandsniveaus der Bundesfernstraßen bei minimalen gesamtwirtschaftlichen Kosten.
- Festlegen, Erreichen und Einhalten eines akzeptablen Leistungsniveaus des Verkehrs auf Gesamtnetz-, Teilnetz- und Korridorebene bei minimalen gesamtwirtschaftlichen Kosten.
- Festlegen, Erreichen und Einhalten eines akzeptablen Sicherheitsniveaus für das Bundesfernstraßennetz bei minimalen gesamtwirtschaftlichen Kosten.

- Festlegen, Erreichen und Einhalten eines akzeptablen Umweltschutzniveaus für das Bundesfernstraßennetz bei minimalen gesamtwirtschaftlichen Kosten.

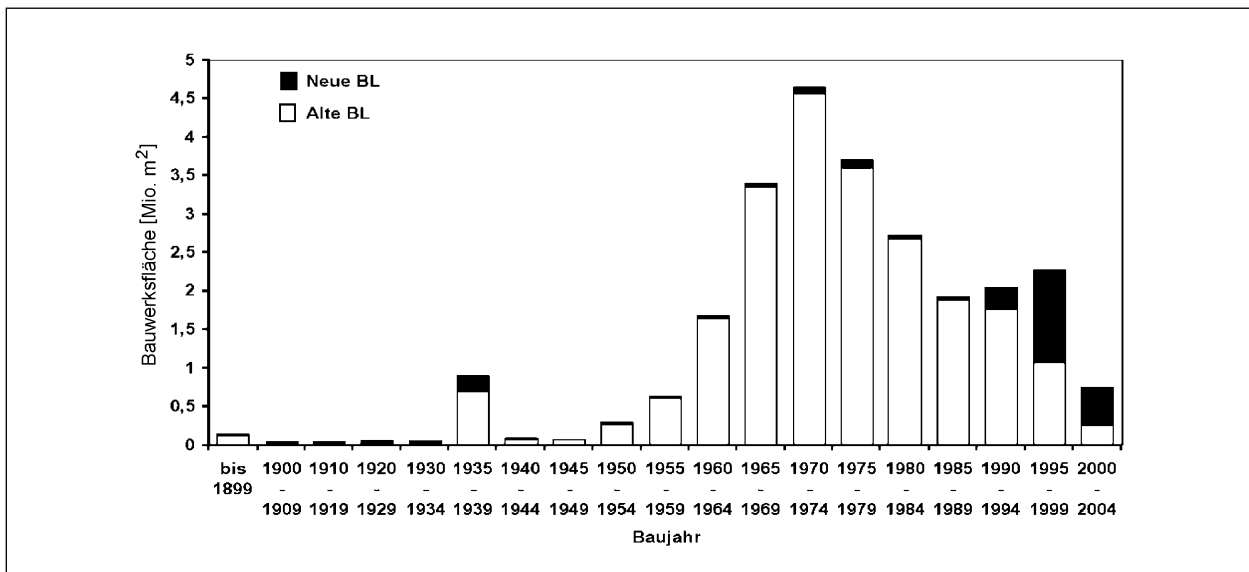
Ein Managementsystem ist ein Instrument, das die technischen und operativen Funktionen umfasst, die für den effizienten Betrieb und die Auswahl der optimalen Erhaltungsmaßnahmen für die Erreichung dieser Ziele erforderlich sind. Es liefert Empfehlungen zur Durchführung von Verbesserungen, die mit den oben aufgeführten Zielsetzungen und Haushaltszwängen vereinbar sind, jedoch keine Entscheidungen. Diese sind von den jeweiligen Entscheidungsträgern zu treffen.

Für das Bauwerks-Management-System ist festzulegen, welche Anlagenanteile der Straßeninfrastruktur in weitergehende Überlegungen einzubeziehen sind. Die Anlagenanteile der Straßeninfrastruktur bestehen aus Straßenverkehrs- und Nebenanlagen. Die Straßenverkehrsanlagen umfassen dabei den Straßenoberbau, sonstige Anlagenanteile von Straßen wie Unterbau, Bepflanzung, Zubehör und Ingenieurbauwerke. Die Nebenanlagen werden durch Betriebsflächen, Nebenbetriebe und sonstige Hochbauten wie z. B. Gebäude von Meistereien gebildet. Zu den Ingenieurbauwerken gehören Brücken, Verkehrszeichenbrücken, Tunnel- und Trogbauwerke, Lärmschutzbauwerke, Stützbauwerke und sonstige Bauwerke. In der aktuellen Ausbaustufe des BMS werden die Ingenieurbauwerke berücksichtigt, wobei ein Schwergewicht auf Brückenbauwerke gelegt wird.

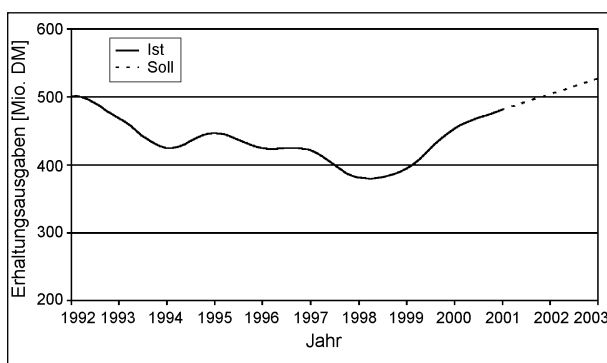
Parallel zum BMS wird von der BAST, dem BMVBW und den Straßenbauverwaltungen ein Pavement-Management-System (PMS) entwickelt, welches die Erhaltungsplanung für die Straßenbefestigungen unterstützen soll.

## 2.2 Ingenieurbauwerke – Bestand, Erhaltung und Prognose

Im Netz der Bundesfernstraßen befanden sich Ende des Jahres 2001 35.963 Brücken mit einer Fläche von 25,55 Mio. m<sup>2</sup> sowie eine große Anzahl weiterer Ingenieurbauwerke wie Tunnel, Stützwände und Lärmschutzeinrichtungen [2]. Brückenbauwerke machen mit einem Anlagevermögen von ca. 40 Mrd. Euro den wesentlichen Teil der Ingenieurbauwerke aus. Rund 90 % der Brücken wurden in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise errichtet. Ca. 10 % sind Stahl- und Stahlverbundbauwerke.



**Bild 2:** Altersstruktur der Brückenbauwerke im Bundesfernstraßennetz [2]



**Bild 3:** Ausgaben für die Bauwerkserhaltung in den Alten Bundesländern [3]

In Bild 2 ist die Altersstruktur der Brückenbauwerke im Bundesfernstraßennetz getrennt nach Alten Bundesländern und Neuen Bundesländern dargestellt. In den 60er und 70er Jahren erfolgte ein verstärkter Ausbau des Fernstraßennetzes. Bei einem Großteil der bestehenden Bauwerke, die mittlerweile ein Alter von 30 bis 40 Jahren erreicht haben, stehen heute besondere Anstrengungen im Bereich der Erhaltung an.

Die für eine nachhaltige und systematische Bauwerkserhaltung aufzustellenden Programme binden hohe Haushaltsbeträge. Aufgrund der vorrangigen Aufgaben zum Aufbau und Ausbau der Infrastruktur in den Neuen Bundesländern musste für die Bauwerke in den Alten Bundesländern ab 1992 ein Rückgang der Erhaltungsausgaben in Kauf genommen werden. Umschichtungen innerhalb des Haushaltsvollzuges konnten kurzfristig nicht bei der Bauwerkserhaltung eingesetzt werden aufgrund von größeren Planungsvorläufen bei Bau-

werken gegenüber Maßnahmen an den Straßenbefestigungen. Seit 1998 wurden die Aufwendungen in den Alten Bundesländern wieder erhöht, da die Defizite am vorhandenen Bauwerksbestand inzwischen deutlich wurden (siehe Bild 3). Im Jahr 2001 wurden bundesweit ca. 0,8 Mrd. DM für die Erhaltung der Ingenieurbauwerke aufgewendet. Eine zusätzliche Verstärkung der Aufwendungen für Erhaltung wird ab 2001 durch das Zukunfts-Investitionsprogramm (ZIP) ermöglicht [3]. Prognosen des zukünftigen Bedarfs gehen von einer Steigerung der Aufwendungen in einen Bereich von ca. 1,2 Mrd. DM pro Jahr aus, wenn der Zustand der Bauwerke auf dem heutigen Level gehalten werden soll [4].

Ein Vergleich von Prognosewerten mit den Ist-Ausgaben für Erhaltung lässt vermuten, dass die Erhaltung der Bauwerke in den letzten Jahren nicht im eigentlich erforderlichen Umfang betrieben wurde. Aufgrund des daraus resultierenden Nachholbedarfs muss gegenüber den Prognosewerten von noch höheren Erhaltungsaufwendungen in den nächsten Jahren ausgegangen werden [4].

Der hohe Erhaltungsbedarf liegt neben dem Bestand an alten Bauwerken auch an der eingeschränkten Dauerhaftigkeit eines Teils derjenigen Bauwerke, die in den 60er und 70er Jahren errichtet wurden. Ursachen hierfür sind einerseits die seinerzeit fehlenden Langzeiterfahrungen mit neuen Bautechniken (Spannbeton) und andererseits die damals nicht erkennbaren künftigen Beanspruchungen (Schwerverkehr, Tausalz). In einem gewissen Umfang ist dies auch auf Bauaus-

führungsmängel zurückzuführen. Seitdem die Zusammenhänge zwischen diesen Defiziten und den Folgen für die Dauerhaftigkeit erkannt wurden, führte eine diesbezügliche Weiterentwicklung der Regelwerke in den 80er Jahren zu einer deutlichen Verbesserung neuerer Bauwerke.

### 2.3 Bauwerksdaten und Bauwerksprüfung

Das Fernstraßengesetz definiert die Aufgaben der Straßenbaulast als die Gesamtheit der notwendigen Maßnahmen, die erforderlich sind, um die Straße für die Öffentlichkeit in einem tauglichen Zustand zur Verfügung zu stellen. Weiterhin ist der Straßenbaulastträger dafür verantwortlich, dass seine Bauten allen Anforderungen der Sicherheit (Standicherheit, Verkehrssicherheit) und Ordnung (Dauerhaftigkeit, Nutzbarkeit) genügen. Eine wichtige Aufgabe der Straßenbauverwaltung ist damit die Überwachung und Prüfung des Bauwerksbestandes.

Informationen über Bauwerke werden von den Straßenbauverwaltungen der Länder IT-gestützt aufgenommen, gespeichert und ausgewertet. Der Umfang und die Struktur der Bauwerksdaten sind in der „ASB Anweisung Straßeninformationsbank, Teilsystem Bauwerksdaten“, Ausgabe 1998 [5] festgelegt. Angaben zu Schäden und zum Zustand werden durch die „Richtlinie zur einheitlichen Erfassung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076“ (RI-EBW-PRÜF), Ausgabe 1998 [6] geregelt.

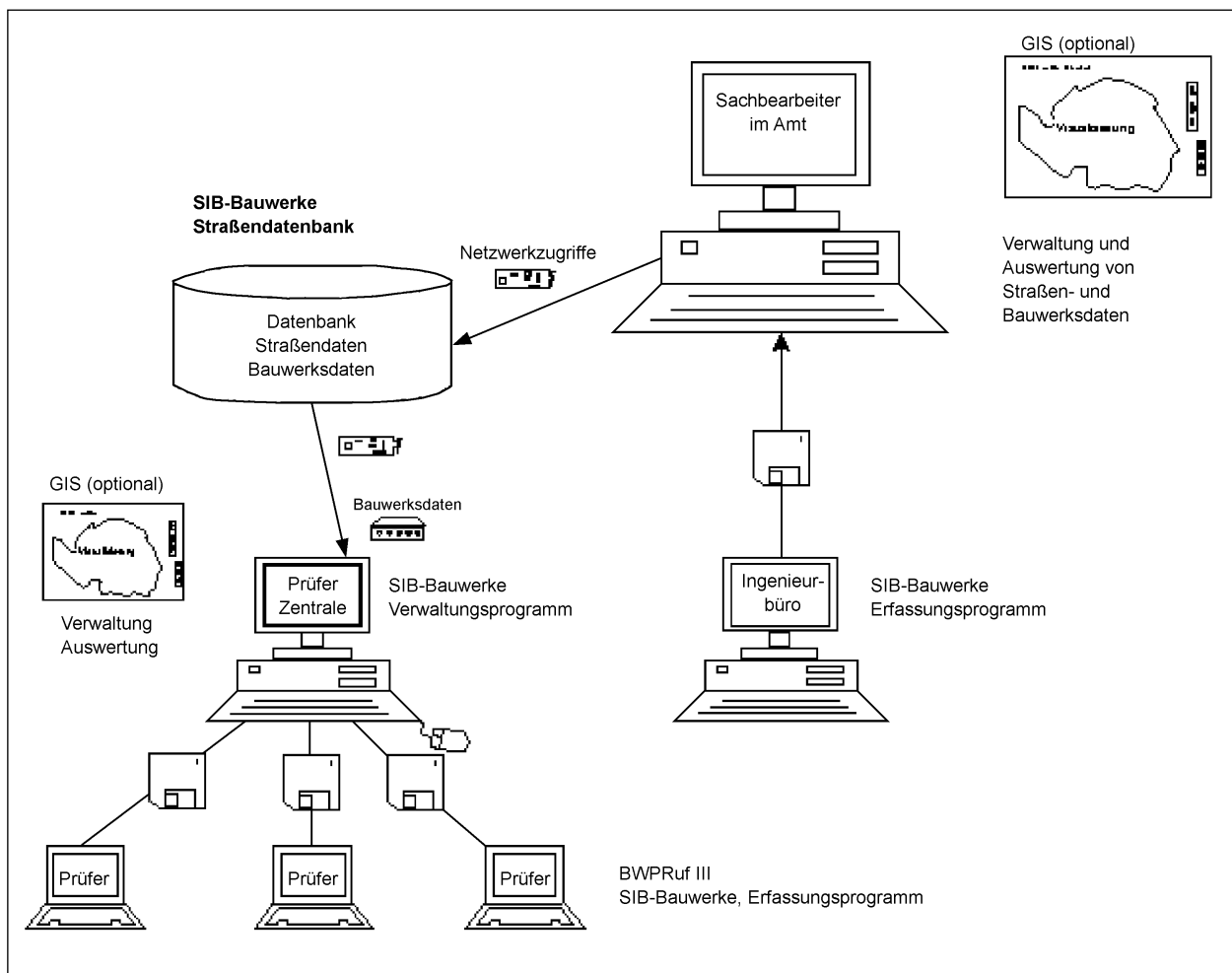
Die Ermittlung einer Zustandsnote für das Gesamtbauwerk erfolgt automatisch durch das Prüfprogramm, wobei die Bewertung der Einzelschäden hinsichtlich der Aspekte Standicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit nach einem festgelegten Verfahren einfließt. Der Algorithmus hierfür ist in [9] erläutert. Die RI-EBW-PRÜF enthält umfassende Definitionen für Stufen der Schadensbewertungen und für Zustandsnotenbereiche. Darüber hinaus ist ein umfangreicher Katalog typischer Schäden und deren Schadensbewertungen angegeben. Damit ist gewährleistet, dass Schadens- und Zustandsbewertungen auf einheitlicher Grundlage ermittelt werden und als weitgehend objektive Daten in das BMS einfließen können. Parallel zur ASB wurde das Programmsystem SIB-Bauwerke [8] entwickelt, welches in den Verwaltungen der Länder zur Erfassung, Speicherung und

Auswertung von Bauwerksdaten eingesetzt wird. Die Ausbaustufe „Erfassungsprogramm“ ermöglicht die Eingabe der Bauwerks- und Prüfdaten sowie den Ausdruck des Prüfberichtes und des Bauwerksbuches nach DIN 1076 [7]. Das „Verwaltungsprogramm“ ermöglicht daneben auch Auswertungen (siehe Bild 4).

Wesentliche Grundlagen der Erhaltungsplanung sind die Ergebnisse der regelmäßigen Bauwerksprüfungen nach DIN 1076. Dabei sollen Schäden und Mängel rechtzeitig erkannt werden, um den Baulastträger in die Lage zu versetzen, Erhaltungsmaßnahmen einzuleiten, bevor ein größerer Schaden eintritt oder die Verkehrssicherheit beeinträchtigt ist. Die Bauwerksprüfung erfolgt durch den Prüfingenieur, der die vorhandenen Schäden direkt am Bauwerk aufnimmt und mit Hilfe des Programmsystems SIB-Bauwerke erfasst. Eine umfassende Beschreibung des geschädigten Bauteils, des Schadens und seiner Bewertung ist erforderlich.

Der Datenaustausch mit anderen Systemen erfolgt über den Objektkatalog für das Straßen und Verkehrswesen (OKSTRA). Damit wird das System mit anderen Systemen des geplanten BMS kompatibel sein. Weiterhin gewährleistet SIB-Bauwerke die Einbindung in ein geografisches Informationssystem (GIS). SIB-Bauwerke stellt die Datengrundlage der Länder für die Durchführung der Prozesse des Managements der Erhaltungsplanung dar. Zur Verbesserung der Informationssituation auf Bundesebene wird zur Zeit für das BMVBW und die BAST ein umfassendes Informationssystem (BISStra) entwickelt. In diesem Zusammenhang wird derzeit in der BAST ein mit BISStra verknüpftes Fachinformationssystem für Bauwerksdaten (ISBW) realisiert, mit dem Länderdaten nach ASB übernommen, gespeichert und für die Belange des Bundes im Rahmen des umfassenden BMS ausgewertet werden können.

Im geplanten BMS wird aus den Ergebnissen der Bauwerksprüfung und der Bauwerksdaten mit Hilfe von Auswerteverfahren objektbezogen auf mögliche Erhaltungsmaßnahmen geschlossen. Die Ergebnisse münden in die Maßnahmebewertung und -auswahl. Dieses Vorgehen wird jedoch nicht in allen Fällen zu zielführenden Ergebnissen führen. Bei schwer wiegenden, komplexen oder unklaren Schadensbildern sind über die Bauwerksprüfung hinausgehend detaillierte objektbezogene Schadensanalysen erforder-



**Bild 4:** Übersicht Programmsystem SIB-Bauwerke

lich, um zu einer genaueren Beurteilung des Schadens und zur Festlegung der Erhaltungsmaßnahmen zu gelangen.

Objektbezogene Schadensanalysen werden von den Länderverwaltungen durchgeführt. Notwendigkeit und Umfang dieser Untersuchungen werden aus den Ergebnissen der Bauwerksprüfung abgeleitet. Einheitliche Kriterien zur Klärung der Notwendigkeit detaillierter Untersuchungen, deren Ziele und Vorgehensweisen sind derzeit noch nicht vollständig und einheitlich festgelegt. Im Rahmen von Aktivitäten der Bundesanstalt für Straßenwesen und des Bund/Länder-Hauptausschusses Brücken- und Ingenieurbau wird die Entwicklung einer einheitlichen Verfahrenskonzeption für objektbezogene Schadensanalysen in Form eines Leitfadens zur Unterstützung der Anwendung in den Straßenbauverwaltungen der Länder angestrebt.

## 2.4 Verfahren der Erhaltungsplanung auf Länderebene und zukünftige Unterstützung durch das BMS

Aufgrund der seit Jahrzehnten vorhandenen Kenntnisse und Erfahrungen sind die Straßenbauverwaltungen der Länder in der Lage, Handlungsanweisungen im Hinblick auf eine wirtschaftliche Erhaltung der Bauwerke des Bundesfernstraßennetzes zu geben. In [1] wurde das aktuelle Vorgehen von Bund und Ländern bei der Erhaltungsplanung identifiziert. Im Folgenden sind die wesentlichen Erkenntnisse zusammenfassend dargestellt.

Grundlage aller Erhaltungstätigkeiten sind die Prüfbefunde nach DIN 1076. Die Durchführung der Bauwerksprüfungen ist dabei den Mittelbehörden oder den Straßenbauämtern zugeordnet. Insbesondere in den Neuen Bundesländern, aber auch vereinzelt in den Alten Bundesländern werden externe Sachverständige zur Bauwerksprüfung eingesetzt. Die Erkenntnisse aus den Brückenprüfungen

gen, aus weiteren objektbezogenen Schadensanalysen und vergleichenden Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Feststellung der Notwendigkeit und des Umfangs von Erhaltungsmaßnahmen führen zur Erarbeitung der Erhaltungskonzepte in den Ämtern. Hier erfolgt ebenfalls die Erstellung der Leistungsbeschreibungen, die Ausschreibung und Vergabe sowie die Abwicklung und die Dokumentation von Projekten.

Maßnahmen geringen Umfangs werden von den Meistereien in der Regel im Regiebetrieb in eigener Zuständigkeit durchgeführt. Für alle anderen Maßnahmen werden in den Ämtern jährliche Bauprogramme erstellt und diese mit der zuständigen übergeordneten Verwaltung abgestimmt. Dringlichkeitsreihungen erfolgen auf Grundlage der vorhandenen Schadensschwere, der baubetrieblichen und verkehrlichen Gegebenheiten sowie der zur Verfügung stehenden Finanzmittel.

Ebenso erfolgen in den Ämtern Kostenschätzungen (in der Regel auf Grundlage der Instandsetzungsentwürfe aber auch pauschaler Schätzungen). Hieraus resultieren in der Regel die Meldungen der Länder an das BMVBW. Die Aufstellung erfolgt jedoch nicht nach einheitlichen Kriterien.

Die Mittelzuweisung an die Ämter erfolgt in der Regel auf der Grundlage von Haushaltsbesprechungen, in denen die Umsetzung der gereihten Maßnahmen erörtert wird. Vor der endgültigen Festlegung der Programme erfolgen Abstimmungen im Hinblick auf Maßnahmebündelungen, auf den Baustellenbetrieb usw. Bei allen Entscheidungen werden darüber hinaus grundsätzlich Zielvorstellungen im Sinne einer Strategie berücksichtigt, z. B.:

- Wiederherstellung des Zustandes hinsichtlich Stand- und Verkehrssicherheit,
- größtmögliche Leichtigkeit des Verkehrs,
- geringstmöglicher Kostenaufwand für eine dauerhafte Erhaltung,
- Minimierung des Verwaltungsaufwandes,
- möglichst lange Nutzungsdauer,
- umweltverträgliche und gesundheitlich unbedenkliche Baustoffe und -verfahren.

Zu Controllingzwecken erhalten die übergeordneten Dienststellen in der Regel Informationen über durchgeführte Maßnahmen, laufende Übersichten oder Jahresabschlussmeldungen. Vereinzelt wird

angestrebt, die Maßnahmen mittels eines Erfassungsprogramms zu begleiten. Eine Vernetzung zwischen den Dienststellen unterstützt dabei die Controllingmechanismen (Soll/Ist-Vergleich, Steuerungsmöglichkeiten).

Schwerpunkte für die Entwicklung eines zukünftigen BMS zum Einsatz in Straßenbauverwaltungen der Länder wurden in [1] auf folgenden Gebieten erkannt:

- Unterstützung der Erhaltungsplanung durch Maßnahmevorschläge auf der Grundlage der Prüfberichte in Verbindung mit Kostenschätzungen auf Objektebene. Auch Abwägung der Kosten bei unterschiedlichen Strategien z. B. Erhaltung – Ersatz.
- Automatisierte Erstellung von Leistungsverzeichnissen, Termin- und Ablaufplänen.
- Erstellung von für die Anwender nachvollziehbaren Dringlichkeitsreihungen sowohl auf Bauamtsebene als auch auf der Ebene der übergeordneten Dienststelle.
- Unterstützung bei der Ermittlung des Erhaltungsbedarfs nach einheitlichen Kriterien.
- Simulation von Szenarien unter Berücksichtigung der Schadensentwicklung zur Begründung des Mitteleinsatzes nach außen.
- Ermöglichung von Auswertungen u. a. der Bauwerks-, Bestands-, Zustands- und Kostendaten bzw. deren Entwicklungen in grafischer Form.
- Aufbau von Maßnahmeverwaltungsprogrammen. Zu erfassende Daten müssen jedoch direkt in den Ämtern Verwendung finden können. Diese Programme sollten jedoch auch zu Controllingzwecken von übergeordneten Stellen eingesetzt werden können, z. B. zur Ablauf- und Terminkontrolle oder zur Kontrolle der Abarbeitung von Schäden.

Als allgemeine Randbedingungen wurden formuliert:

- Sicherstellung von Schnittstellen zwischen einzelnen Programmen (Haushalt, Projektsteuerung usw.),
- Standardleistungskataloge und ZtV'en in Übereinstimmung bringen,
- Sicherstellung der Kompatibilität zwischen PMS und BMS,

- Anwendbarkeit für Landesstraßen ermöglichen,
- Erfahrungen der Ingenieure in den Ämtern bei der Instandsetzungsplanung sollten weiterhin einbezogen werden.
- Angestrebt werden sollte ein praktikables System, welches mit derzeit vorhandenen Daten kurzfristig realisiert werden kann.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Bundesländer als Träger der operativen Aufgaben Informationen und Empfehlungen zur Durchführung von Maßnahmen benötigen:

- Einheitliche und objektive Kriterien und Verfahren zur Schadenserfassung und Zustandsbewertung, zur Dringlichkeitsreihung von Maßnahmen und zur Kostenprognose.
- Empfehlungen zur Durchführung von Maßnahmen, die mit den Zielen, Strategien und Randbedingungen des Bundes, aber auch der finanziellen Restriktionen vereinbar sind.
- Informationen über die Maßnahmedurchführung und Ergebnisdarstellung (auch als Unterstützung für Meldungen an das BMVBW).

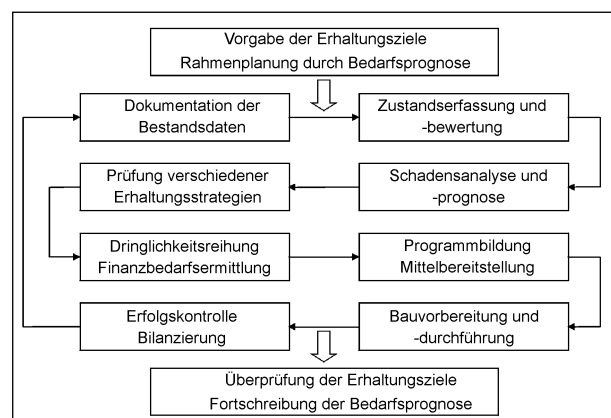
## 2.5 Verbesserung des Erhaltungsmanagements

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, kennzeichnen bundesweit anwachsender Verkehr und höhere Verkehrslasten bei begrenztem Budget die äußeren Bedingungen, unter denen die Straßenbauverwaltungen das Straßennetz verkehrsgerecht und verkehrssicher zu erhalten haben. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, die Straßenbauverwaltungen der Länder und die Bundesanstalt für Straßenwesen entwickeln ein Erhaltungsmanagement mit dem Ziel einer systematischen Straßenerhaltung nach bundesweit einheitlichen Kriterien. Das Ziel der systematischen Straßenerhaltung besteht darin, mit geringstmöglichem Aufwand ein vorgegebenes Erhaltungsniveau zu erreichen bzw. – soweit vertretbar – mit den zur Verfügung stehenden Finanzmitteln ein höchstmögliches Erhaltungsniveau sicherzustellen [10]. Zur Erreichung dieser Ziele werden Instrumentarien und Verfahren entwickelt, welche die Beteiligten in die Lage versetzen, die komplexen Abläufe rechtzeitig und zielgerichtet zu planen, zu steuern und zu kontrollieren. In vereinfachter Form können die Aufgaben im Rahmen einer systematischen Straßenerhaltung wie in Bild 5 dargestellt werden.

Die systematische Straßenerhaltung ist dabei als permanenter Prozess zu verstehen, der in periodisch gestaffelten zeitlichen Zyklen abläuft. Wesentliche Bausteine sind hierfür eine differenzierte Erhaltungsbedarfsprognose, regelmäßige Zustandserfassungen und nach Anlagenteilen spezifizierte Managementsysteme für Fahrbahnbefestigungen (Pavement-Management), Bauwerke (Bauwerks-Management) und sonstige Anlagenteile.

Die operativen Aufgaben im Rahmen der systematischen Straßenerhaltung obliegen den Straßenbauverwaltungen der Länder als Auftragsverwaltungen für den Bund in eigener Verantwortung. Für das BMVBW ergibt sich die wichtige Aufgabe, entsprechende Vorgaben zu formulieren und durch ein geeignetes Controllingssystem die Erreichung der Erhaltungsziele sicherzustellen und ggf. zu steuern. Wesentliche Schwerpunkte sind:

- Erstellung einer differenzierten Erhaltungsbedarfsprognose unter Berücksichtigung des aktuellen Nachholbedarfs im Rahmen der Fortschreibung des Bundesverkehrswegeplanes. Die Prognose wird derzeit erstellt.
- Weiterentwicklung und schrittweise Einführung der Managementsysteme für Fahrbahnbefestigungen, Brückenbauwerke und – ggf. später – sonstige Anlagenteile an Straßen.
- Verbesserung der Zustandserfassung und -bewertung von Straßenoberflächen und Bauwerken durch Einführung weitgehend objektivierter und automatisierter Algorithmen. Verknüpfung der Zustandsdaten und Bestandsdaten.
- Genauere Voraussage von Schadensentwicklungen und Erarbeitung von Lebensdauermodellen.



**Bild 5:** Ablaufdiagramm der systematischen Straßenerhaltung

- Entwicklung gesamtwirtschaftlicher Bewertungsverfahren für einen optimierten Mitteleinsatz.
- Verbesserung der Kommunikationsstrukturen zwischen Bund und Ländern, Darstellung der Aufgabenverteilung und Festlegung der Schnittstellen.

Mit der systematischen Straßenerhaltung soll die Erfüllung bundespolitischer Ziele überprüft und gegebenenfalls steuernd eingegriffen werden können. Dafür werden folgende Informationen bereitgestellt:

- Aktueller Zustand des bestehenden Straßennetzes nach einheitlichen und objektivierten Kriterien sowie periodische Bilanzierungen.
- Erhaltungsprogramme, die nach weitgehend einheitlichen Bewertungsverfahren und Dringlichkeitsreihungen erstellt werden.
- Operative Maßnahmen der Auftragsverwaltungen.

Bundesweite Zielvorstellungen werden derzeit entwickelt. Eine erste Festlegung in diesem Sinne ist die Aufstellung koordinierter Erhaltungsprogramme für Straßenbefestigungen, Bauwerke und sonstige Anlagenteile, dargestellt in Form eines Streckenbandes. Hierfür werden in Zukunft die Ergebnisse von Auswertungen mit dem PMS und dem BMS herangezogen.

In Zukunft soll die Bundesanstalt für Straßenwesen die Aufgabe übernehmen, diese Erhaltungsprogramme hinsichtlich der Zielvorstellungen des Bundes zu analysieren. Für die Belange der Bauwerke stehen der BAST dabei die Bauwerksdaten

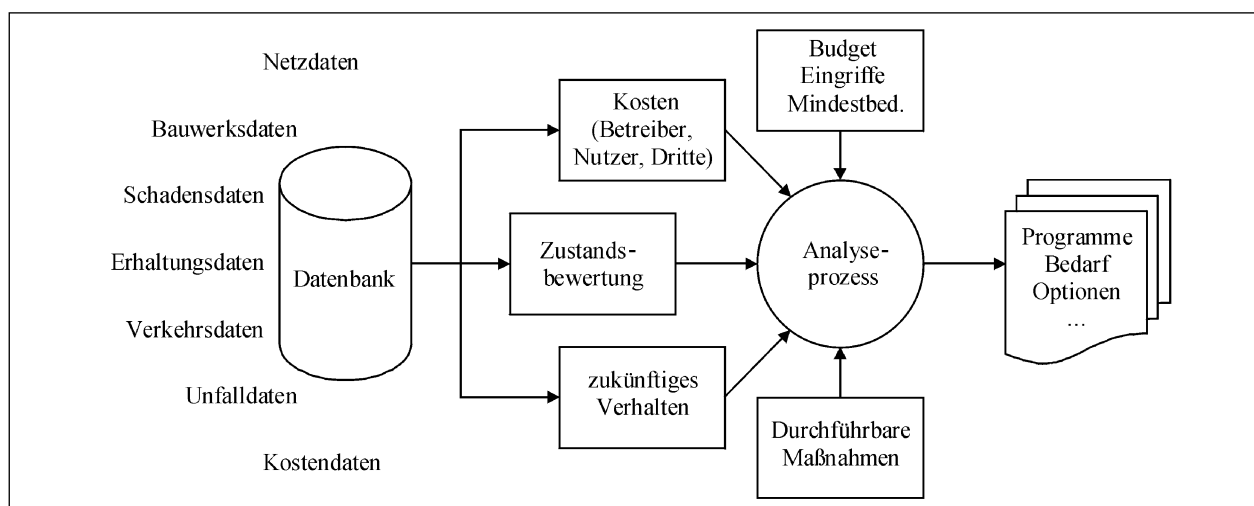
zur Auswertung mit dem System ISBW/BISStra zur Verfügung (siehe Kapitel 2.2).

## 2.6 Bauwerks-Management-System (BMS), Konzeption der Bundesanstalt für Straßenwesen

Aufbauend auf Erkenntnissen des In- und Auslandes wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen die Konzeption für ein Managementsystem der Bauwerkserhaltung (BMS) für Bund und Länder vorgelegt [1]. Das BMS für die Belange der Straßenbauverwaltungen ist daher in erster Linie so orientiert, dass ausgehend von den Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 objektbezogene Analysen und Bewertungen erfolgen, deren Ergebnisse nachfolgend auf der Netzebene optimiert und zu Erhaltungsprogrammen zusammengefasst werden (bottom up). Folgende grundsätzliche Anforderungen wurden in Abstimmung zwischen Bund und Ländern definiert:

- Der Bund sollte einen Überblick über den aktuellen Zustand der Bauwerke auf Netzebene erlangen sowie steuernd im Rahmen eines Controllings in die Erhaltungspraxis eingreifen können.
- Länder und Verwaltungen sollten bei der Planung und Durchführung der Maßnahmen auf Teilnetz- und Objektebene unterstützt werden, damit vorgegebene Ziele erreicht, Strategien umgesetzt und Rahmenbedingungen sowie Haushaltszwänge berücksichtigt werden können.

Bild 6 verdeutlicht den grundsätzlichen Aufbau eines BMS [11]. Ausgehend von umfassenden Da-



**Bild 6:** Grobstruktur eines Bauwerks-Management-Systems [11]



tensammlungen werden Informationen über auftretende Kosten, den Zustand der Bauwerke und ihr zukünftiges Verhalten abgeleitet. Weitere Eingangsgrößen des BMS sind Informationen über das zur Verfügung stehende Budget, Mindestbedingungen und direkte Eingriffe in den Planungsprozess sowie über die durchführbaren Maßnahmen. Der Kern des Systems besteht aus dem Analyseprozess, in dem Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, Optimierungen, Programmbildungen usw. durchgeführt werden. Ergebnisse sind Erhaltungsprogramme, Aussagen zum Bedarf, Optionen über durchzuführende Maßnahmen und weitere zu definierende Angaben.

Es handelt sich bei dem konzipierten System gegenüber anderen Realisierungen nicht um ein einzelnes Computerprogramm, welches in Form einer Black Box Erhaltungsplanungen bereitstellt. Vielmehr ist das beabsichtigte BMS ein umfassendes System, welches aus einer Reihe von Verfahren zur Unterstützung der Planung, der Abstimmung und des Controllings der Bauwerkserhaltung, umgesetzt in einzelnen Computerprogrammen, sowie Empfehlungen und Richtlinien besteht. Weiterhin gehören zu dem Gesamtkonzept die Vorhaltung von Bauwerksdaten in Datenbanken und die Durchführung der Bauwerksprüfung in Verbindung mit der Vorhaltung und Bewertung der Ergebnisse.

Das vorliegende Grobkonzept des BMS beinhaltet sieben Themengruppen, die bereits zum Teil verwirklicht sind. In Bild 7 sind die Teilmodule des BMS zusammen gestellt; dabei ist der derzeitige Entwicklungsstand gekennzeichnet. Im Einzelnen sind folgende Teilmodule vorgesehen:

- Modul 1 „Grunddaten“ beinhaltet zum einen die Sammlung und Vorhaltung von Grund- und Zustandsdaten, die zum Teil bereits in Datenbanken gespeichert sind. Weiterhin ist die Verknüpfung mit anderen Daten wie zum Beispiel Verkehrs- und Unfalldaten vorgesehen. Eine Verknüpfung mit Daten anderer Managementsysteme (z. B. Pavement-Management, Baustellen-Management) wird sichergestellt.
- Modul 2 „Zustandsdaten und Bewertung“ beinhaltet die Bereitstellung von Zustandsdaten, die sich aus den Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 ergeben. Als Ergebnis werden netzweite Zustandsreihungen und Finanzbedarfsermittlungen zur Verfügung gestellt. Die Sammlung und Bereitstellung von Zustandsdaten erfolgt mit Hilfe des Systems SIB-Bauwerke. Damit ist die Verknüpfung zwischen Bauwerksdaten und Zustandsdaten gewährleistet. Überarbeitete Bauteil- und Schadenskataloge sind Bestandteil der ASB, Teilsystem Bauwerksdaten, und Basis des in SIB-Bauwerke beheimateten Prüf-

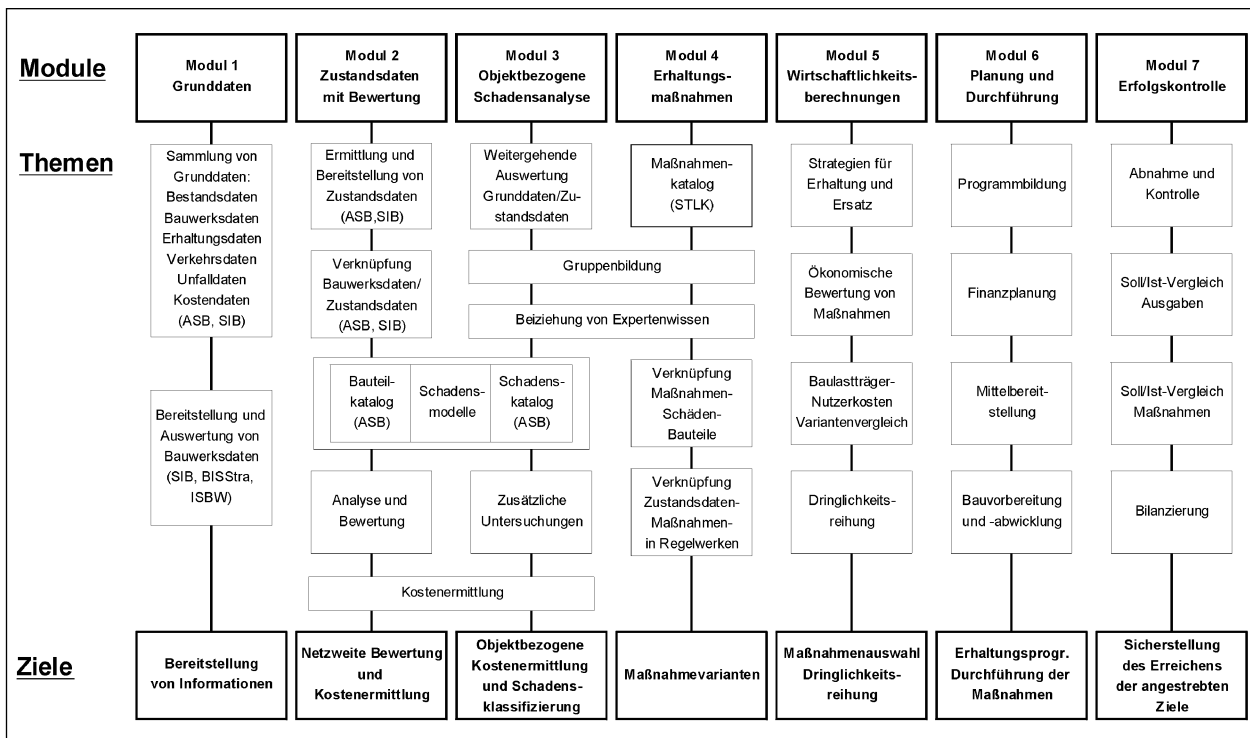


Bild 7: Module des Bauwerks-Management-Systems (BMS)

programms. Das Verfahren der Zustandsbewertung wird ergänzt werden durch ein System der Kostenermittlung. Darüber hinaus werden Modelle zur Schadens- und Zustandsentwicklung bereitgestellt. Die im Modul 2 zur Verfügung gestellten Informationen bilden eine wesentliche Grundlage für die Durchführung der ökonomischen Analysen im Modul 5.

- Modul 3 „Objektbezogene Schadensanalysen“ beinhaltet die weitergehende Auswertung von Grund- bzw. Zustandsdaten (z. B. im Hinblick auf die Schwachstellenanalysen), die Ergänzung von Bauteil- und Schadenskatalogen und von Modellen, die das zeitliche Verhalten widerspiegeln, sowie Verfahren zur detaillierten Kostenermittlung (siehe Kapitel 2.2).
- Im Modul 4 „Erhaltungsmaßnahmen“ wird ein detaillierter Katalog von Maßnahmen vorgehalten, die zum Teil bereits in bestehenden Regelwerken kommentiert sind. Die Verknüpfung zwischen Maßnahmen und Schäden sowie geschädigten Bauteilen ermöglicht eine Auswahl von Maßnahmevarianten in jedem Einzelfall.
- Modul 5 „Wirtschaftlichkeitsberechnungen“ stellt den eigentlichen Kern des BMS dar, in dem die ermittelten Daten auf Netz- und Objektebene zusammengeführt und analysiert werden. Im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen werden Erhaltungsmaßnahmen nach ökonomischen Kriterien bewertet. Lebensdauer-Kostenmodelle und Variantenvergleiche sowie Berücksichtigung von Baulastträger- und Nutzerkosten sind beinhaltet. Darüber hinaus sollen mittels Simulationsrechnungen die Auswirkungen von unterschiedlichen Erhaltungsstrategien analysiert werden können.
- Der künftig vorgesehene Modul 6 „Planung und Durchführung“ umfasst die Aufstellung und Umsetzung der eigentlichen Maßnahmeplanung, die auf der Grundlage der Finanzplanung und Mittelbereitstellung erfolgt. Beinhaltet ist die Aufstellung der Erhaltungsprogramme, aber auch die Bauvorbereitung, d. h. die Aufstellung des Bauvertrages, die Veröffentlichung und Submission sowie die Wertung der Angebote und Vergabe. Eingeschlossen ist schließlich auch die Abwicklung der Baumaßnahme. Die Erhaltungsprogramme werden einem übergeordneten System zur Verfügung gestellt, in dem Analysen auf Bundesebene stattfinden werden.

- Der geplante Modul 7 „Erfolgskontrolle“ enthält die erforderlichen Controllinginstrumentarien. Unter anderem kommt hierbei einem Maßnahmenverfolgungsprogramm, das bereits in einigen Bundesländern installiert ist, besondere Bedeutung zu. Der Soll-Ist-Vergleich von Maßnahmen kann hiermit zeitnah von übergeordneten Stellen nachvollzogen werden. Ebenso gehören zu diesem Modul Verfahren, mit denen netzweit die Umsetzung der Programme überwacht werden kann. Auf dieser Grundlage können dann ggf. Steuerungsmaßnahmen ergriffen werden.

In diesem Grobkonzept ist noch nicht zwischen den Aufgaben der Länder- und Bundesverwaltungen unterschieden. Im Folgenden wird auf den Teil des BMS näher eingegangen, der in den Straßenbauverwaltungen der Länder installiert werden soll.

## 2.7 Entwicklung des BMS für Straßenbauverwaltungen

### 2.7.1 Allgemeines

Wie im Kapitel 2.6 dargestellt, handelt es sich beim BMS für die Belange der Straßenbauverwaltungen der Länder um ein „Bottom-up“-BMS, d. h., ausgehend von den Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 erfolgen objektbezogene Analysen und Bewertungen, deren Ergebnisse nachfolgend auf der Netzebene optimiert und zu Erhaltungsprogrammen zusammengefasst werden (siehe Bild 8).

Die Realisierung erfolgt in einzelnen DV-Programmen, die jeweils Teilergebnisse für die nachfolgenden Verfahren bereitstellen. Diese Vorgehensweise

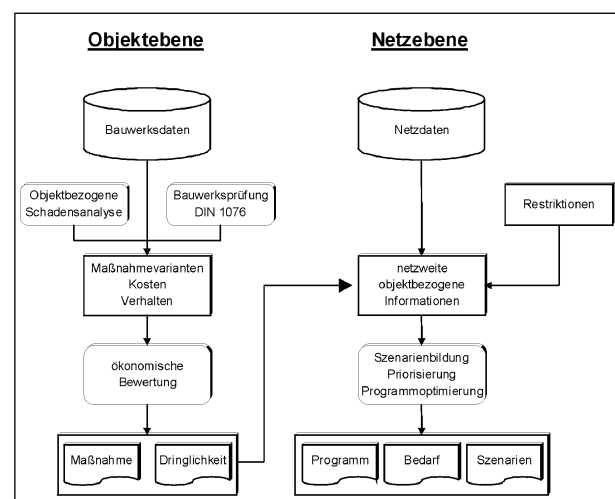
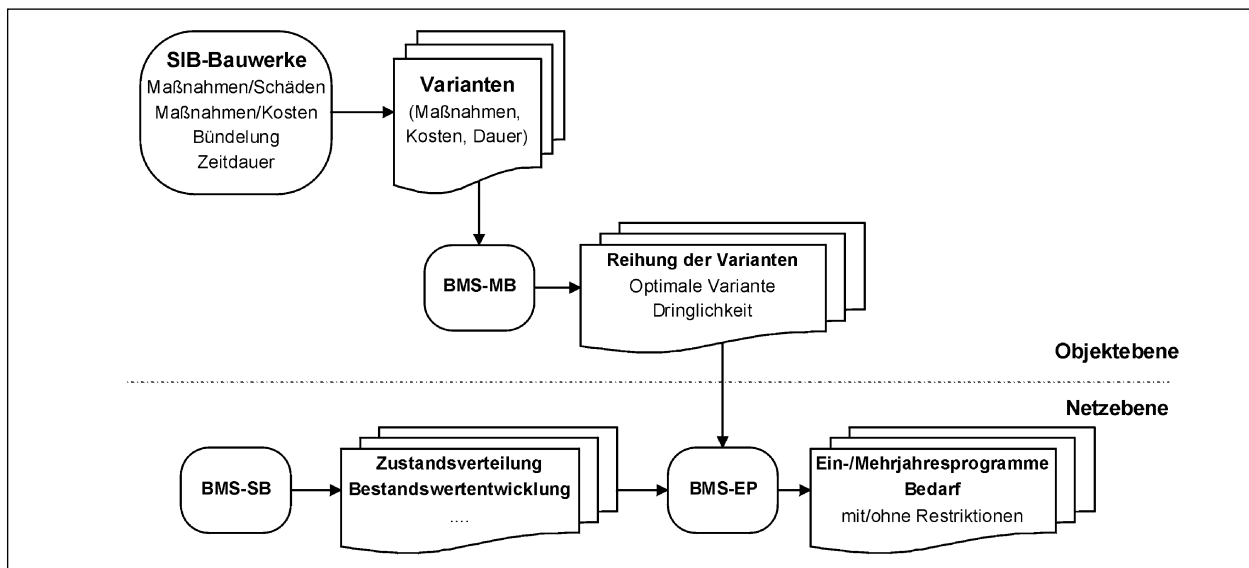


Bild 8: BMS – Straßenbauverwaltungen



**Bild 9:** DV-Programme für die Erhaltungsplanung

gewährleistet eine weitgehende Transparenz und die Möglichkeit von Eingriffen in den Gesamtablauf. Das Programmsystem SIB-Bauwerke wird zur Bereitstellung von Informationen für die nachfolgenden Bewertungsverfahren integriert. Daneben werden drei neue Computerprogramme entwickelt: BMS-MB zur Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen auf Objektebene, BMS-EP zur Optimierung der Erhaltungsplanung auf Netzebene und BMS-SB zur Visualisierung der Auswirkungen von Erhaltungsszenarien und -strategien (siehe Bild 9).

Die fachliche Konzeption der DV-Programme erfolgt in Ressortprojekten des BMVBW wie in Kapitel 1.2 beschrieben.

### 2.7.2 Grundlagen für Bewertungen und Analysen

Die Anwendung der o. g. geplanten Programmsysteme erfordert objektbezogene Informationen, die aus Bauwerks- und Schadensdaten abzuleiten sind. Zur Erlangung dieser Informationen sind Wissenskataloge und Auswerteverfahren erforderlich, mit denen die Einbeziehung von Bauwerksdaten ermöglicht wird. Ein bereits in diesem Sinne in SIB-Bauwerke realisiertes Verfahren ist die Ermittlung der Zustandsnote gemäß RI-EBW-PRÜF. Derzeit wird der Maßnahmenkatalog gemäß ASB, Teilsystem Bauwerksdaten in SIB-Bauwerke umgesetzt. Daneben sind weitere Verfahren geplant, mit denen die benötigten Informationen ermittelt werden können:

- Schadensbezogene Auswertung des Maßnahmenkataloges (Verknüpfung zwischen Schäden und Maßnahmen).

- Zusammenfassung von Maßnahmen für gleichartige Schäden und Bündelung von unterschiedlichen Maßnahmen zu Maßnahmenvarianten.
- Bereitstellung eines Kostenkataloges und variantenbezogene Auswertung (Verknüpfung zwischen Maßnahmen und Kosten).
- Bereitstellung eines Kataloges von Verhaltensmodellen und variantenbezogene Auswertung (Verknüpfung zwischen Maßnahmen und Verhaltensmodellen).

Als Ergebnis wird eine Liste möglicher Maßnahmenvarianten (zusammengefasste und gebündelte Maßnahmen) in Verbindung mit Informationen über den Zeitpunkt der Ausführung, voraussichtliche Kosten und die Auswirkungen auf das Verhalten des Bauwerks bereitgestellt.

Zur Verknüpfung von Maßnahmen und Schäden sowie zur Bündelung von Maßnahmen sind in [17] und [20] Erkenntnisse zusammengestellt worden. Der Kostenkatalog wurde in [21] entwickelt. Eine Zusammenstellung der Verhaltensmodelle sowie das Vorgehen zur Berücksichtigung der Auswirkungen von Maßnahmen ist in den Schlussberichten zu [23] und [24] dokumentiert.

### 2.7.3 Bewertung auf Objektebene

Mit dem geplanten Programmsystem BMS-MB kann ermittelt werden, welche Maßnahmenvariante unter ökonomischen Gesichtspunkten zielführend ist und wann diese durchgeführt werden sollte. Der

Bewertungsansatz beinhaltet eine Kosten-Nutzen-Analyse. Als Baulastträgerkosten werden dabei die Kosten der Maßnahmenvarianten berücksichtigt.

Nutzerkosten mit Bezug zu Erhaltungsmaßnahmen an Bauwerken entstehen in erster Linie durch die Beeinflussung des Verkehrsablaufs aufgrund von Arbeitsstellen an Straßen. Auswirkungen sind dabei die Verringerung der Kapazität und der Rückstau von Fahrzeugen. Darüber hinaus entstehen Wirkungen vor der Durchführung der Erhaltungsmaßnahme z. B. durch Begrenzung des zulässigen Gesamtgewichts sowie nach der Maßnahme durch Wegfall dieser Begrenzung. Es entstehen zusätzliche Betriebs- und Fahrzeitkosten. Zusätzliche Unfallkosten werden über geänderte Unfallraten berücksichtigt [21]. Die Ermittlung der Kostenkomponenten erfolgt nach den Verfahren der Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS) [12].

Zusätzlich zu den Baulastträger- und den Nutzerkosten werden Kosten für Dritte berücksichtigt, die aufgrund der Verkehrsbeeinflussung entstehen. Hierzu zählen in erster Linie Lärm- und Schadstoffkosten sowie Kosten aufgrund der Klimabelastung. Ausgelöst werden diese Kosten infolge veränderter Geschwindigkeit der Fahrzeuge sowie infolge der Wahl einer Alternativroute. Auch diese Kostenkomponenten werden mit Hilfe der Verfahren der EWS ermittelt.

Das Ergebnis der Analyse ist eine Reihung von Maßnahmenvarianten unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Kosten/Nutzen-Verhältnisse als Eingangsgröße für weitere Analysen.

#### 2.7.4 Bewertung auf Netzebene

Die Summe der an erster Stelle liegenden Maßnahmen der o. g. Reihung liefert einen ersten Ansatz für ein Erhaltungsprogramm ohne Berücksichtigung von Randbedingungen und Restriktionen. Wegen zusätzlicher Bedingungen ist der objektbezogene Ansatz auf Netzebene zu optimieren. Auf der Grundlage der Ergebnisse der o. g. Analysen werden mit BMS-EP optimierte netzweite Reihungen von Erhaltungsmaßnahmen zur Verfügung gestellt.

Als Zielfunktionen des Verfahrens kommen aufgrund der Ausrichtung des Verwaltungshandelns nach dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit die beiden möglichen Ausprägungen des so genannten

ökonomischen Prinzips für die netzweite Bauwerkserhaltung in Frage:

- Erreiche einen optimalen Bauwerkszustand im Netz bei gegebenem Budget (Finanzszenario).
- Erreiche einen vorgegebenen Bauwerkszustand im Netz bei minimalem eingesetzten Budget (Qualitätsszenario).

Dabei werden die folgenden Nebenbedingungen berücksichtigt [13]:

- jährliche Budgetbeschränkungen,
- Mindesterhaltungsstandards für die Bauwerke,
- Begünstigung von Bauwerken mit hoher verkehrlicher Funktion,
- Begünstigung der Umsetzung von mehreren Maßnahmen innerhalb eines Streckenzuges,
- Vermeidung der parallelen Durchführung von Maßnahmen an Streckenzügen, die Alternativrouten zueinander darstellen.

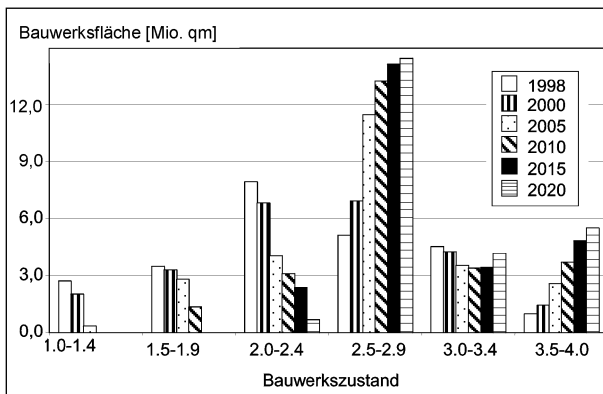
#### 2.7.5 Strategiebewertung

Bedeutsam für die in die Erhaltungsplanung eingebundenen Verwaltungen ist die Beantwortung von Fragen hinsichtlich der Auswirkung von Budgetbegrenzungen und anderen Restriktionen und Strategien auf den prognostizierten Zustand der Bauwerke oder deren prognostizierten Bestandswert. Mit diesen Erkenntnissen lässt sich der Bedeutung einer ausreichenden Erhaltung für eine nachhaltige Mobilität besonderer Ausdruck verleihen.

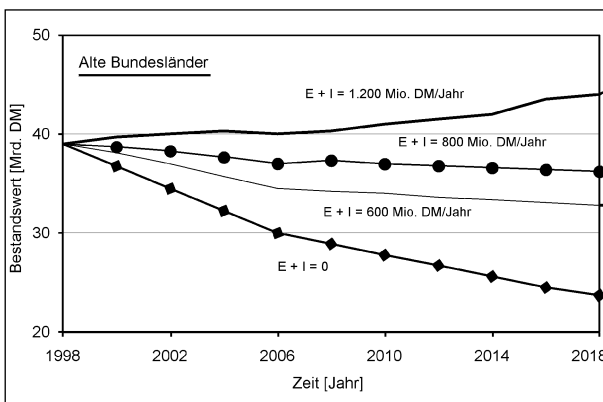
Im Rahmen von Voruntersuchungen der BAST wurde bereits ein Verfahren für die Berechnung der Auswirkungen von Szenarien bereitgestellt [4]. Hierbei werden netzweite Zustandsverteilungen mit Verhaltensfunktionen, Erhaltungsstrategien und Kosten verknüpft. Als Ergebnis kann die zeitliche Entwicklung des Bauwerkszustandes bei vorgegebenem Mitteleinsatz angegeben werden (Bild 10).

Mit Hilfe dieses Verfahrens in BMS-SB wird es auch möglich sein, auf kurzem Wege Strategieuntersuchungen durchzuführen, deren Ergebnisse als Eingangsparameter für detailliertere netzbezogene Untersuchungen mit BMS-EP dienen können.

Definiert man den Bestandswert der Bauwerke als den Wiederbeschaffungswert minus der Kosten für durchzuführende Erhaltungsmaßnahmen zur Beseitigung der Schäden und Mängel und beschreibt man die Kosten für Erhaltung näherungsweise als Funktion der Zustandnoten nach RI-EBW-PRÜF,



**Bild 10:** Entwicklung der Zustandsnoten ohne Erhaltung



**Bild 11:** Bestandwert in Abhängigkeit von Aufwendungen für Erhaltung

lässt sich die zeitliche Entwicklung des Bestandwertes in Abhängigkeit der aufgewendeten Mittel für Ersatz und Instandsetzung ( $E + I$ ) angeben (Bild 11).

Im Rahmen des vorliegenden Berichtes werden ausschließlich die objektbezogene Bewertung sowie die dafür benötigte Informationsbereitstellung betrachtet. Die Realisierung der netzbezogenen Bewertung ist hierbei nicht beinhaltet, Anforderungen von diesbezüglichen Bewertungsverfahren werden jedoch berücksichtigt.

Im Folgenden werden die einzelnen Themen im Detail vorgestellt.

### 3 Bereitstellung von Informationen für objekt- und netzbezogene Auswertungen

#### 3.1 Maßnahmenkatalog

##### 3.1.1 Allgemeines

Aufgabe des Maßnahmenkataloges ist es, die bestehenden Möglichkeiten der Erhaltungsmaßnah-

men Schadensbildern eindeutig zuzuordnen. Die Bedeutung des Katalogs liegt darin, dass die möglichen Maßnahmen in Verbindung mit ihrer Wirksamkeit definiert werden, die anschließend einer ökonomischen Bewertung zugeführt werden.

Der in [17] vorgeschlagene Maßnahmenkatalog beschreibt Maßnahmen von kleineren Instandsetzungsarbeiten bis hin zum Ersatz des Bauteils. Bei Schäden, die eine untergeordnete Bedeutung haben (definiert als Zustandszahl  $< 1,8$  gemäß RI-EBW-PRÜF), erfolgt kein Vorschlag einer Maßnahme, die Behebung des Schadens wird der laufenden Bauwerksunterhaltung zugeordnet.

Im Rahmen des Maßnahmenkatalogs erfolgt zusätzlich eine qualitative Angabe zum Eingreifzeitpunkt der Maßnahmen. Diese Angabe ergibt sich hauptsächlich aus der Bewertung und dem daraus definierten Handlungszeitraum nach RI-EBW-PRÜF. Eine detailliertere Betrachtung dieses Problemfeldes erfolgt in Kapitel 3.4.2. Die Anbindung an die RI-EBW-PRÜF wird durch die Zuordnung der Maßnahmen zu den Schäden, verbunden mit der Angabe der Rücksetzwerte, gewährleistet. Der Maßnahmenkatalog wurde in Anlehnung an die ASB verschlüsselt, um die Angaben in die Bauwerksdaten einfließen lassen zu können.

Der Maßnahmenkatalog beinhaltet vier Teile. Im ersten Teil erfolgen die Beschreibung der Maßnahmen und ihres Anwendungsbereiches sowie die Verschlüsselung nach ASB; im zweiten Teil werden Angaben zur möglichen Kombination von Maßnahmen getroffen. Im dritten Teil werden standardisierte Verkehrssicherungsmaßnahmen und ihre Anwendung erläutert. Im vierten Teil schließlich erfolgen die Zuordnung der Maßnahmen zu den Schäden, die Angabe der Rücksetzwerte und des Eingreifzeitpunkts.

##### 3.1.2 Katalogisierung der Maßnahmen

Bild 12 zeigt zur Verdeutlichung des Aufbaus einen Ausschnitt des Katalogs. Der vollständige Katalog ist [17] zu entnehmen. Der Katalog enthält neben der Kurzbeschreibung der Maßnahme, untergliedert nach Bauteilen, und des Anwendungsbereiches die interne Nummerierung sowie Angaben der zu beachtenden Normen und Regelwerke; ferner Angaben zum sinnvollen Umfang der Maßnahme, zur Verschlüsselungsnummer nach ASB und zur Einheit. Detailliertere Angaben zur Beschreibung der Maßnahmen sind nur unter Einbeziehung der ob-

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Id. Nr.	Kurzbeschreibung	Beschreibung der Maßnahme	Anwendungsbereich	Material	Einheit	ASB		
1	Überbau							
1.1	Stahlbeton-Spannbetonüberbau							
1.1.1	Betoninstandsetzung							
1.1.1.1	Reaktionsharzörtel-beton PC waagrecht und schwach geneigte Oberflächen	PC-O	ZTV-SB TL BE-PC	Anstreichen von Betonflächen, statisch und dynamisch	x	m <sup>2</sup>	47120	
1.1.1.2	Reaktionsharzörtel-beton PC Unterselten sowie senkrechte und stark geneigte Flächen	PC-U	ZTV-SB TL BE-PC	Anstreichen von Betonflächen, statisch und dynamisch	x	m <sup>2</sup>	47130	
1.1.1.3	Zementpulverbeton PCC	PCC-I	ZTV-SB TL BE-PCC	Instandsetzung von Betonflächen, behälter, dynamisch beansprucht (z.B. unter Brückenbölgern)	x	x	m <sup>2</sup>	47140
1.1.1.4	Zementpulverbeton PCC	PCC-II	ZTV-SB TL BE-PCC	Instandsetzung von Betonflächen, nicht behälter, dynamisch beansprucht (z.B. Brückenabstriben)	x	x	m <sup>2</sup>	47150
1.1.1.5	Spitzortel-beton mit Kunststoffzusatz SPOC	SPOC-I	ZTV-SB TL BE-SPOC	dynamisch beanspruchte Bauteile, nicht mit freilegender, zu				
1.1.1.6	Spitzortel-beton mit Kunststoffzusatz SPOC	SPOC-II nB	ZTV-SB TL BE-SPOC	unhöflicher Bewehrung	x	m <sup>2</sup>	47430	
1.1.1.7	Beton	DN 104	ZTV-SB	schlößtarm Beton,				47110
1.1.1.8	Spitzbeton	DN 104	ZTV-K		x	m <sup>2</sup>	47410	
1.1.1.9	Freibewitterter Feuchtschutz bei freibewitterten Betonflächen	OS-A	ZTV-SB TL OS		x	x	m <sup>2</sup>	47310
1.1.1.10	Beschichtung mit erhöhter Dichtigkeit für nicht begehbare und befahrbare Flächen	OS-B	ZTV-SB TL OS	Freibewitterte Betonflächen mit ausreichendem Wasserabfluß in Sprühdarm				47320
1.1.1.11	Beschichtung mit mindestens geringer Flußüberbrückungsfähigkeit für nicht begehbare und befahrbare Flächen	OS-C	ZTV-SB TL OS	Freibewitterte Betonflächen mit Aufbausätzen				47330
1.1.1.12	Beschichtung mit mindestens geringer Flußüberbrückungsfähigkeit für nicht begehbare und befahrbare Flächen	OS-D / OS-DE	ZTV-SB TL OS	Freibewitterte Betonflächen mit Aufbausätzen. Geeignet für Risse	x	x	m <sup>2</sup>	47340

Bild 12: Aufbau des Maßnahmenkatalogs

jektbezogenen Daten bei der Vorbereitung von konkreten Maßnahmen möglich bzw. sinnvoll und erfolgen im Rahmen von separat durchzuführenden Ausschreibungsplanungen.

### 3.1.3 Kombinationsmöglichkeiten von Maßnahmen

Im Maßnahmenkatalog werden alle an einem Bauteil durchführbaren Maßnahmen aufgelistet und beschrieben. Es ist für die Auswahl im BMS jedoch erforderlich festzulegen, welche dieser Maßnahmen gleichzeitig durchgeführt werden können, bzw. es ist festzulegen, wo dies weder zielführend noch technisch möglich ist. Aus diesem Grund erfolgt eine Identifikation der sich gegenseitig ausschließenden Maßnahmen. Diese Auflistung ist in einzelnen Fällen trivial, für die zu realisierende Computeranwendung jedoch unabdingbar.

Zum einen handelt es sich um Maßnahmen, die nicht gemeinsam am selben Bauteil durchgeführt werden sollen. Hierzu gehören z. B. ähnliche Maßnahmen, die denselben Anwendungsbereich haben und prinzipiell zum selben Ergebnis führen, sich aber in Material oder Ausführungsdetails unterscheiden.

Darüber hinaus können sich Maßnahmen auch ausschließen, wenn sie sich örtlich übergreifen

würden. Dies betrifft vor allem großflächige Maßnahmen, im Extremfall den Bauteilersatz, welche die Durchführung kleinerer Maßnahmen hinfällig machen.

Die Angabe der sich ausschließenden Maßnahmen erfolgt in [17] nach Bauteilen getrennt in Form von Matrizen. Bild 13 zeigt ein Beispiel. Angegeben sind Kombinationsmöglichkeiten von Erhaltungsmaßnahmen, verschlüsselt nach ASB.

Die mit „XX“ markierten Kombinationen sind nicht zulässig. Es handelt sich in diesem Beispiel um verschiedene Arten des Korrosionsschutzes von Stahlüberbauten, die sich gegenseitig ausschließen, sowie um den Ersatz des gesamten Überbaus, der selbstverständlich nicht in Kombination mit anderen Maßnahmen durchgeführt werden kann.

Die in der Matrix nicht markierten Kombinationen sind zulässig. Falls zur Behebung eines Schadens eine Kombination mehrerer Maßnahmen erforderlich ist, wird dies bei der Zuordnung der Maßnahmen zu den Schäden nach dem Beispielschadens-katalog nach RI-EBW-PRÜF entsprechend angegeben.

Die Kombination bzw. Bündelung von Maßnahmen aufgrund wirtschaftlicher und strategischer Gesichtspunkte wird in Kapitel 3.4.4 behandelt.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
33											
34	1.2	Stahlüberbau									
35											
36		47800	47710	47720	47600	33210	33220	33230	31210	31220	
37	47800		XX	XX						XX	
38	47710			XX						XX	
39	47720									XX	
40	47600									XX	
41	33210									XX	
42	33220									XX	
43	33230									XX	
44	31210									XX	
45	31220									XX	
46											
47											

**Bild 13:** Matrixdarstellung sich gegenseitig ausschließender Maßnahmen

### 3.1.4 Verkehrslenkungsmaßnahmen

Mit dem Maßnahmenkatalog werden wesentliche Informationen für ein ökonomisches Bewertungsverfahren bereitgestellt. Ein wesentlicher Baustein dieses Bewertungsverfahrens ist die Ermittlung von Nutzerkosten. Nutzerkosten entstehen bei Erhaltungsmaßnahmen an Brücken- und Ingenieurbauwerken in erster Linie infolge von Verkehrsbehinderungen durch Baustellen (vgl. Kapitel 4), für die definierte Verkehrslenkungsmaßnahmen eingerichtet werden müssen, um ausreichend Arbeitsraum bereitstellen zu können.

Im Rahmen des Moduls „Verkehrslenkungsmaßnahmen“ werden Informationen in Matrizenform bereitgestellt, die eine vereinfachte, für netzweite Bewertungen gültige Angabe maßnahmebezogener Verkehrslenkungen ermöglichen. Diese werden unterteilt in Verkehrslenkungsmaßnahmen längerer Dauer an Autobahnen und Bundesstraßen sowie im weiteren in Gruppen unterschiedlicher Stärke der Verkehrsbeeinflussung.

Die vollständigen Matrizen sind in [17] zusammengestellt. Dabei werden jeder Erhaltungsmaßnahme – wenn vorhanden – mehrere mögliche Verkehrslenkungsmaßnahmen zugeordnet

Die Beschreibung der Verkehrslenkungsmaßnahmen ergibt sich aus der Richtlinie für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA) [18].

Existieren für eine Erhaltungsmaßnahme mehrere mögliche Verkehrslenkungsmaßnahmen, so wird diejenige auszuwählen sein, die unter Berücksichtigung der Randbedingungen (Art der kreuzenden Verkehrswege) am höherrangigen Straßentyp die

kleineren Behinderungen, d. h. geringere Fahrzeitverluste, hervorruft. Angaben hierzu sind [17] zu entnehmen.

Grundlagen in der Entwicklung einer erforderlichen Verkehrslenkungsmaßnahme sind zunächst die Erhaltungsmaßnahmen des Maßnahmenkataloges. Die dort erfolgte Untergliederung nach Bauteilen und Maßnahmetypen wird beibehalten. Grundsätzlich unterscheidet die RSA drei Straßenarten, für die jeweils unterschiedliche Verkehrslenkungsmaßnahmen angegeben werden: innerörtliche Straßen, Landstraßen und Autobahnen. Der Fall der innerörtlichen Straßen ist im Rahmen des BMS nicht relevant.

Für Arbeitsstellen an Landstraßen und Bundesautobahnen werden in der RSA hinsichtlich des Sicherungsaufwandes unterschiedliche Sicherungsmaßnahmen vorgeschlagen. Aus diesem Grund muss auch für die Angabe der Verkehrslenkungsmaßnahmen innerhalb des BMS eine sinnvolle Unterscheidung der Maßnahmen getroffen werden. Die Matrizen zu Verkehrslenkungsmaßnahmen werden daher wie folgt untergliedert:

- Verkehrsweg oben und unten: Autobahn,
- Verkehrsweg oben: Bundesautobahn; Verkehrsweg unten: Landstraße (und umgekehrt),
- Verkehrsweg oben: Bundesautobahn bzw. Landstraße; Verkehrsweg unten: Eisenbahn.

Bei dieser Untergliederung wird unterstellt, dass Brückenbauwerke im Zuge von Straßenkreuzungen den Hauptanteil am gesamten Bauwerksbestand bilden und für standardisierte Verkehrslenkungsmaßnahmen zur Verfügung stehen. Für Ver-

**Bild 14:** Matrix zur Zuordnung der Verkehrslenkungsmaßnahmen

kehrslenkungsmaßnahmen, die sich im Zuge von Talbrücken bzw. Gewässerüberquerungen ergeben, gelten wegen den gegenüber dem Standardfall stark abweichenden Bauwerksabmessungen andere Kriterien, die eine detaillierte Abfrage erfordern. Bild 14 verdeutlicht den Aufbau der Matrizen. Im Kopf der Matrix werden die zur Verfügung stehenden Verkehrslenkungsmaßnahmen angegeben und den einzelnen Erhaltungsmaßnahmen zugeordnet. Die Matrizen sind so gestaltet, dass bei mehreren zur Verfügung stehenden Maßnahmen diejenige gewählt wird, die am höherrangigen Straßentyp (z. B. BAB gegenüber Landstraße) die kleineren Behinderungen hervorruft.

### 3.1.5 Zuordnung der Maßnahmen zu Schäden nach RI-EBW-PRÜF

In diesem Teil des Maßnahmenkatalogs werden für die Schäden aus dem Schadenskatalog nach RI-EBW-PRÜF die verschiedenen in Teil 1 definierten Maßnahmen sowie die Bewertung ihrer Wirksamkeit durch Angabe des Rücksetzwertes und der qualitative Eingreifzeitpunkt angegeben. Bild 15 zeigt einen Ausschnitt der entsprechenden Tabelle. Die vollständigen Kataloge sind in [17] zusammengestellt.

Die Zuordnung gibt für die einzelnen Schäden nur die technisch sinnvollen und zielführenden Maßnahmen an. Offensichtlich für den betrachteten Schaden unwirtschaftliche Maßnahmen, z. B. Maßnahmen größeren Umfangs bei kleinen Schäden, werden nicht angegeben.

In den meisten Fällen sind mehrere Maßnahmen mit derselben oder mit unterschiedlicher Wirksamkeit denkbar. Ist zur Behebung eines Schadens die Durchführung mehrerer Maßnahmen in Kombination erforderlich, werden die entsprechenden Kombinationen angegeben.

Die Angabe des Eingreifzeitpunktes erfolgt an dieser Stelle nur qualitativ aufgrund der Definition nach RI-EBW-PRÜF und der technischen Einschätzung. Es wird auf die Erläuterungen im Kapitel 3.4.2 verwiesen.

## 3.2 Kostenkatalog

Ein Vergleich alternativer Erhaltungsmaßnahmen auf Objektebene sowie eine Dringlichkeitsreihung von Erhaltungsmaßnahmen an Ingenieurbauten im Verkehrsnetz auf der Grundlage von Kosten und Nutzen der Maßnahme sind nur möglich, wenn ein Kostenkatalog bereitgestellt wird, der für alle Maßnahmen des Maßnahmenkataloges sowie für Verkehrslenkungsmaßnahmen die Aufwendungen angibt, die den Baulastträger betreffen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Maßnahmenvarianten für die Erhaltungsplanung auf Objektebene“ [21] wurde die Grundlage für einen Kostenkatalog erarbeitet, der die Angaben des Maßnahmenkataloges berücksichtigt. Der Kostenkatalog baut auf Einzelleistungen der jeweiligen Unterhaltungsmaßnahme auf. Er soll eine Grundlage für die Kostenberechnung bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen liefern.



Beispielschäden nach RI-EBW-PRÜF 98		Erhaltungsmaßnahme, Details siehe Maßnahmenkatalog																					
Beschreibung des Schadens/Mangels		S	V	D	Maßnahme 1		Rücksetzung		Maßnahme 2		Rücksetzung		Maßnahme 3		Rücksetzung		Maßnahme 4		Rücksetzung				
Bridges, Beton- / Stahlbeton-		S	V	D	S	V	D	S	V	D	S	V	D	S	V	D	S	V	D				
Abhängigkeiten: Bauwerksart = Brücke, Hauptbauteil = Überbau, Baustoff Überbau = Beton																							
6	Gratfriss an Sichtflächen	0	0	0	Ergibt Bewertung = 1,0; in Rahmen der Unterhaltung beheben																		
7	Optische Betonverfärbung durch Bewitterung	0	0	0	Ergibt Bewertung = 1,0; in Rahmen der Unterhaltung beheben																		
8	geringfügige Abblätterungen an Beschichtungen	0	0	1	Ergibt Bewertung = 1,0; in Rahmen der Unterhaltung beheben																		
9	Rußansatz an Bauwerksunterseiten	0	0	1	Ergibt Bewertung = 1,0; in Rahmen der Unterhaltung beheben																		
10	verschmutzte begehbare Bauwerksinnenkante (Schalungstrete o.ä.)	0	0	1	Ergibt Bewertung = 1,0; in Rahmen der Unterhaltung beheben																		
11	verschmutzte begehbare Bauwerksinnenkante (Vogelkot o.ä.)	0	0	1	Ergibt Bewertung = 1,0; in Rahmen der Unterhaltung beheben																		
12	Orbitalmatten im Überbau (Bewehrung)	0	0	1	Ergibt Bewertung = 1,0; in Rahmen der Unterhaltung beheben																		
13	Befestigung über Hilfsstützen	0	0	1	Ergibt Bewertung = 1,0; in Rahmen der Unterhaltung beheben																		
14	Befestigung der Tragbewehrung in der Überbauunterseite zu gering (3,0 cm bis 3,9 cm), gute Betonqualität	0	0	1	Ergibt Bewertung = 1,0; in Rahmen der Unterhaltung beheben																		
15	Befestigung der Tragbewehrung in der Überbauunterseite zu gering (3,0 cm bis 3,9 cm), schlechte Betonqualität	0	0	2	ef	47310	0	0	1	47320	0	0	0										
16	Befestigung der Tragbewehrung in der Überbauunterseite zu gering (1,0 cm bis 2,9 cm), gute Betonqualität	0	0	2	ef	47310	0	0	1	47320	0	0	0										
17	Befestigung der Tragbewehrung in der Überbauunterseite zu gering (1,0 cm bis 2,9 cm), schlechte Betonqualität	0	0	3	ef	47310	0	0	2														
18	Befestigung der Tragbewehrung in der Überbauunterseite zu gering (unter 1,0 cm), schlechte Betonqualität	0	0	3	ef	47310	0	0	2	47320	0	0	1	47410	0	0	0	47420	0	0	0		

Bild 15: Zuordnung der Maßnahmen zu Schäden nach RI-EBW-PRÜF

Für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei Ingenieurbauwerken im Zuge von Straßen sind folgende Kostenbestandteile zu unterscheiden:

- Baukosten einer Maßnahme,
- Kosten der baulichen Unterhaltung,
- Restwert am Ende des Bewertungszeitraumes.

Unter den Baukosten einer Maßnahme werden entweder die Herstellungskosten des originären Bauwerks oder die Kosten einer Erhaltungsmaßnahme (Instandsetzungs- bzw. Erneuerungskosten) verstanden.

Zu den Baukosten gehören:

- die reinen Baukosten einschließlich der Kosten für die Erstellung der Ausführungsunterlagen,
- die Kosten für Abbruch, Behelfe, Betriebserschwernisse und für Verkehrsführungsmaßnahmen,
- die Verwaltungskosten.

Zu den Verwaltungskosten zählen Kosten für:

- Vorarbeiten, Vorentwürfe, Bearbeitung des vergabereifen Bauentwurfs,
- Prüfung der statischen Berechnungen und der Ausführungspläne,

- Vergabe der Bauarbeiten,
- örtliche Bauaufsicht,
- Bauleitung,
- Stellung von Prüf- und Messgeräten, Messfahrzeugen, Hilfsfahrzeugen für Bauaufsicht und Bauleitung und von Fahrzeugen für Probelastungen,
- sonstige Verwaltungstätigkeiten einschließlich Rechnungs- und Kassendienst.

Die Verwaltungskosten werden in [19] mit 10 % der reinen Baukosten und der Kosten für Abbruch, Behelfe, Betriebserschwernisse und Verkehrsführung angesetzt. Als bauliche Unterhaltungskosten wird ein vom Bauteil abhängiger Prozentsatz der reinen Baukosten zuzüglich 10 % für Verwaltung angesetzt [19]. Der Restwert wird aus den reinen Baukosten berechnet. Er wird in [19] als die um den Abschreibungsbetrag verminderten reinen Baukosten beschrieben. Zur Festlegung, in welcher Form der Restwert eines Bauteils/Bauwerks in die Betrachtungen des BMS einfließen soll, siehe Kapitel 4.1. Im BMS werden in Anlehnung an das PMS nur Maßnahmen kleineren Umfangs zur Sicherung der Substanz, Funktion und Verkehrssicherheit ohne nennenswerte Wiederanhebung des Gebrauchswertes zur baulichen Unterhaltung gezählt. Gegen-

wärtig ist die bauliche Unterhaltung nicht im PMS integriert, jedoch gibt es Bestrebungen, sie in das PMS einzubeziehen. Dann stellt sich auch für das BMS die Fragen nach Integration der baulichen Unterhaltung. Eine Kostenkalkulation auf der Grundlage von Bauunterlagen des Baulastträgers bzw. der Auftragsverwaltungen wurde als nicht gangbarer Weg bewertet. Die Erfahrungen der Erhaltungspraxis zeigen, dass diese Preisangebote externen Einflüssen unterliegen. Beispielsweise werden von den Baufirmen im Frühjahr häufig niedrige Preisangebote abgegeben, wenn die Auftragslage deutlich unter den vorhandenen Baukapazitäten liegt. Eine detaillierte Kostenkalkulation für die einzelnen Maßnahmen des Maßnahmekataloges unter Verwendung des Standardleistungskatalogs für den Straßen- und Brückenbau erwies sich wegen der dort vorliegenden Feinuntergliederung der Teilleistungen ebenfalls als nicht gangbarer Weg. Vielmehr sind Maßnahmeanarten zu definieren, die sich nach Wirkung und/oder Kosten unterscheiden und die kalkulierbar sind. Deshalb wurden die Kosten zunächst für repräsentative Erhaltungsmaßnahmen an normierten Bauwerken ermittelt und dabei nur so weit mit der Leistungsuntergliederung in die Tiefe gegangen, wie sich dahinter deutlich unterschiedliche Kosten verbergen. Durch Differenzierung der Maßnahmeanarten nach ihrem Umfang (klein, mittel, groß u. Ä.), der Art des Gerüsts (ortsfest, mobil, Hängegerüst), dem Material der Deckschicht, der Art des Injektionsgutes, ihrer Intensität (Konservierung, Instandsetzung, Ersatz) entstand eine Variation von Erhaltungsmaßnahmen, die zur Kalkulation herangezogen wurde. Die im Rahmen des Projektes für ausgewählte Erhaltungsmaßnahmen vorgenommenen Kostenkalkulationen umfassen die reinen Baukosten ohne Erstellung der Ausführungsunterlagen. Letzteres obliegt in der Regel den Bauverwaltungen. Bislang ist nicht vorgesehen, Verwaltungskosten mit in das BMS zu integrieren. Die Kosten für Verkehrsführungsmaßnahmen werden gesondert kalkuliert.

Die Kostenkalkulation (Einheitspreise für Teilleistungen) wurde von Kooperationspartnern aus der Bauindustrie durchgeführt. Dabei wurden mittlere Preise, die auskömmlich sind, mit einem üblichen Ansatz für Wagnis und Gewinn vorausgesetzt. Die so kalkulierten Preise werden als Kosten definiert, die auf die Bauverwaltung im Zuge der Erhaltungsmaßnahmen zukommen, wohl wissend, dass die Preise in der Erhaltungspraxis regionalen und saisonalen Schwankungen unterliegen.

Die Kalkulationsergebnisse sind dem Abschlussbericht in [21] zu entnehmen. Bei einer volkswirtschaftlichen Bewertung bleiben Umsatzsteuer und Verbrauchssteuern unberücksichtigt. Daher enthalten die im Bericht angegebenen Kosten und Kostensätze keine Mehrwertsteuer.

Die Kosten der Maßnahmen sind nicht zwingend lineare Funktionen des durch die genannte Einheit beschriebenen Maßnahmeumfangs. Infolge vom Maßnahmeumfang unabhängiger oder nur partiell abhängiger Kostenbestandteile (z. B. Einrüstung des Bauwerks, Veränderung der Verkehrsführung) ist fast immer mit einer nicht linearen Abhängigkeit der Maßnahmekosten vom Maßnahmeumfang zu rechnen.

Die Maßnahmen des Kataloges beziehen sich in der Regel auf Bauteile bzw. Bauteilgruppen, so dass Mehrfachnennungen vorkommen, jedoch mit unterschiedlicher ASB-Verschlüsselung je nach zutreffendem Bauteil. Weitere neue Schlüsselnummern betreffen bauunabhängige Maßnahmen, die u. a. im Zusammenhang mit der Strategie „Nichts tun“ von Bedeutung sind. Dazu zählen beispielsweise Nutzungsbeschränkungen als Folge eines sich verschlechternden Bauwerkszustandes und die in diesem Falle für den Baulastträger anfallenden Kosten (Kosten für Voll-/Teilspernung, Fahrbahneinengung, Beschilderung u. a.).

Die Kosten für Einrichtung, Vorhalten und Abbau von Verkehrssicherungen an Arbeitsstellen gemäß den RSA wurden im Jahre 2001 für das PMS durch die Universität der Bundeswehr kalkuliert [22]. Da die RSA auch für Bauarbeiten an Bauwerken im Zuge von Straßen gelten, werden diese Kosten für Erhaltungsmaßnahmen des BMS verwendet. Deshalb wurden sie von der Kalkulation der Maßnahmekosten in [22] ausgeklammert.

Bei der Bauwerkserhaltung ist davon auszugehen, dass die Kosten länderspezifische Merkmale aufweisen. Im Bereich der Straßenerhaltung gibt es für die alten Bundesländer Regionalfaktoren, die zwischen 0,7 und 1,3 schwanken, wobei der Faktor 1 dem Mittelwert der Kosten zugeordnet wird. Die Verfügbarkeit der Mineralstoffe, aber auch die Standorte von Mischwerken sind kostenbeeinflussende Faktoren.

Der Ansatz regional unterschiedlicher Kosten entspricht der realen Preissituation in den einzelnen Bundesländern bzw. in unterschiedlichen Regionen des Landes. Er erschwert allerdings die Vergleich-

barkeit von Erhaltungsmaßnahmen an Bauwerken in unterschiedlichen Regionen in Bezug auf das Verhältnis von Nutzen zu Kosten. Gleiche Erhaltungsmaßnahmen an vergleichbaren Bauwerken mit vergleichbaren Schäden und gleich gelagerten anderen Faktoren (z. B. DTV und Güterverkehrsanteil) weisen dann unterschiedliche Nutzen-Kostenverhältnisse auf. Daraus folgt auch, dass unter sonst gleichen Bedingungen unterschiedliche Erhaltungsmaßnahmen je nach Region ausgewählt werden könnten.

Bei der Straßenerhaltung liegt das gleiche Problem vor, wenn es beispielsweise um den Einsatz von Baustoffen geht, deren Aufkommen regional begrenzt ist. Trotzdem wurde beim PMS auf den Einsatz regionaler Kostenkennziffern verzichtet und eine Entscheidung zugunsten von Durchschnittskosten getroffen. Um die Kompatibilität zum PMS abzusichern, ist zu empfehlen, auch beim BMS von Durchschnittskosten auszugehen.

Mit der in [21] vorgelegten Kostenkalkulation sind die Grundlagen für den Kostenkatalog gelegt. In einem Folgevorhaben [30] werden Kostensätze definiert sowie weitere Hinweise zur Auswertung gegeben.

### 3.3 Verhaltensmodelle

#### 3.3.1 Allgemeines

Verhaltensmodelle sind ein unverzichtbarer Baustein des BMS, da die vorgesehenen Bewertungsverfahren Informationen über das zukünftige Verhalten der Bauteile und Bauwerke fordern.

Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen werden durch unterschiedliche Einwirkungen beansprucht. Hierzu zählen statische und dynamische Lasten sowie Einwirkungen, die aus Umgebungsbedingungen resultieren. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer der Bauwerke und der einzelnen Bauteile wird im Wesentlichen durch Verkehrslasten und Umgebungsbedingungen beeinflusst. Obwohl diesbezügliche Mechanismen grundsätzlich bekannt sind, ist es nach wie vor nicht vollständig gelöst, ihre Auswirkungen zu bewerten, das zukünftige Verhalten der Bauteile/Bauwerke abzuschätzen und die Konsequenzen anzugeben.

Bei der Festlegung von Verhaltensmodellen als Grundlage für netzweit einzusetzende Bewertungsverfahren des BMS geht es weniger um das wirklichkeitsnahe Beschreiben von Schädigungsme-

chanismen unterschiedlicher Materialien – dieses ist hingegen zweckdienlich für detaillierte objektbezogene Analysen –, sondern vielmehr um zielführende Ansätze zum Beschreiben der Zustandsentwicklung von Bauteilen.

Grundsätzlich stellt sich bei der Konzeption eines BMS die Frage, ob deterministische oder stochastische Modelle für den Einsatz unter den gegebenen Verhältnissen geeignet sind. Eine Literaturlauswertung und Analyse bereits entwickelter BMS zeigte in [25], dass sowohl deterministische als auch stochastische Ansätze für die Erhaltungsplanung von Brücken und Ingenieurbauwerken realisiert wurden.

Stochastische Aspekte werden dann in Modelle integriert, wenn das Auftreten von Schäden bzw. Schadensentwicklungen in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen gehandhabt bzw. wenn der Wechsel von Systemzuständen durch Wahrscheinlichkeiten beschrieben werden kann.

Diese stochastischen Ansätze basieren auf Übergangswahrscheinlichkeiten für den Übergang von einem Systemzustand in den anderen entweder als Zeichen der Schadensentwicklung oder als Ergebnis einer Erhaltungsmaßnahme mit Übergang eines Bauteiles oder einer Bauteilgruppe in einen „besseren“ Systemzustand. Die Schadensentwicklung sowie die Maßnahmewirkung werden als stochastische Prozesse, speziell als Markowscher Prozess, betrachtet. Dabei hängt die bedingte Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses zum Zeitpunkt  $t$  nur vom Zustand des Systems im Zeitpunkt  $t-1$  ab, jedoch nicht von früheren Zuständen. Die zusätzliche Annahme, dass der Prozess unempfindlich gegenüber Zeitverschiebungen ist, sowie das Vorhandensein nur endlich vieler Systemzustände ermöglichen es, den stochastischen Prozess durch eine vereinfachte Darstellung in Form einer Markowschen Kette zu beschreiben.

Um die entsprechenden Übergangswahrscheinlichkeiten zu ermitteln, ist es erforderlich, dass eine hinreichende Anzahl von Objekten (Bauteilen, Bauteilgruppen, Bauwerke) in ihrem Verhalten beobachtet werden kann und die Gesamtheit der Objekte hinreichend homogen ist, damit die Übergangswahrscheinlichkeiten für alle Objekte zutreffen. Übergangswahrscheinlichkeiten können auf stochastischem Wege oder empirisch ermittelt werden.

Der Vergleich vorliegender stochastischer Ansätze zur Ermittlung optimaler Erhaltungsstrategien mit

den Zielen und Randbedingungen des konzipierten BMS führte zu dem Schluss, dass deterministischen Modellen für die Ermittlung der ökonomischen Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen gegenüber stochastischen der Vorzug gegeben wird:

- Bauwerke im Bundesfernstraßennetz sind stark individualistisch geprägt, so dass die für die Ermittlung der Übergangswahrscheinlichkeit erforderliche Mindesthomogenität der Objekte nicht gegeben ist.
- Der stochastische Modellansatz mit Hilfe Markowscher Ketten negiert unterschiedliche Schadensentwicklungen in Abhängigkeit vom technischen Fortschritt bestimmter Konstruktionstypen.
- Im Modellansatz mit Markowschen Ketten wird die Bauwerkserhaltung als unendlicher Prozess betrachtet. Demgegenüber kann bauteil- oder baugruppenbezogen beispielsweise die Anzahl von Instandsetzungen begrenzt sein.
- Stochastisch orientierte Managementsysteme gehen bei der Optimierung der Erhaltungsplanung vom Prinzip „Top-Down“ aus, indem von der Gesamtheit der Bauwerke auf das Verhalten des einzelnen Bauwerks geschlossen wird. Demgegenüber ist das hier angestrebte BMS stärker in umgekehrter Richtung angelegt („Bottom-Up“).
- Der stochastische Modellansatz mit Markowschen Ketten ist „geschichtslos“; demgegenüber kann beispielsweise der Schadensfortschritt bei Nichtstun von bisher ergriffenen Erhaltungsmaßnahmen abhängig sein. Deterministische Modelle ermöglichen eine stärkere Berücksichtigung der bauwerksspezifischen Historie.
- Die Ermittlung der ökonomischen Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen soll zu einem Bewertungsverfahren führen, das weitgehend kompatibel zu den Verfahren der BVWP sowie zu den EWS-97 sein soll, letztere sind beide deterministische Verfahren.
- Weiterhin wird angestrebt, dass das Bewertungsverfahren des BMS kompatibel zu demjenigen des PMS ist. Auch das PMS basiert auf deterministischer Modellierung.

Für das hier beschriebenen BMS wurden somit deterministische Verhaltensmodelle entwickelt.

Dabei sind zwei Gruppen von Modellen zu unterscheiden:

- Schädigungsmodelle geben ausgehend vom aktuellen Zustand der Bauteile/Bauwerke das zeitliche Fortschreiten von Schädigungen auf der Grundlage von speziellen Mechanismen an. Diese Modelle wurden auf phänomenologischem Wege auf der Grundlage von bekannten Schädigungsmechanismen entwickelt.
- Mit Hilfe von Nutzungsdauermodellen wird die Zustandsentwicklung von Bauteilen aufgrund von Erfahrungswerten ohne Berücksichtigung spezieller Schädigungsmechanismen prognostiziert. Diese Modelle wurden auf empirischem Wege entwickelt.

### 3.3.2 Schädigungsmodelle

#### 3.3.2.1 Allgemeines

Ziel des Forschungsvorhabens FE 15.297/1998/HRB „Erarbeitung von Modellen zur Schadens- und Zustandsentwicklung“ [23] war die Bereitstellung von Modellen für die relevanten Schädigungsmechanismen an Betonbauteilen zum Einsatz im Rahmen des BMS. Dazu wurden in der Literatur vorhandene Modelle analysiert und die für eine weitere Bearbeitung im Rahmen des BMS geeigneten ausgewählt.

Die Modelle wurden anschließend anhand von vorliegenden Messergebnissen kalibriert. Dabei zeigte sich jedoch, dass in Bauwerksunterlagen verfügbare Messergebnisse nur eingeschränkt übertragbar sind. Für die Weiterentwicklung der Modelle wird empfohlen, Untersuchungen an Bauwerken mit möglichst genau definierten Randbedingungen und ausreichendem Umfang nachzuschalten. Ein Verfahren zur Kalibrierung der Modelle wird in [24] vorgeschlagen.

Im Vorhaben FE 15.319/1999/HRB „Ermittlung des Eingreifzeitpunktes für Erhaltungsmaßnahmen an Brücken und Ingenieurbauwerken“ [24] wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem die phänomenologischen und empirischen Modelle in Verhaltensmodelle für Prognosen der Zustandsentwicklung der Bauteile überführt werden können.

#### 3.3.2.2 Karbonatisierung

Einer der wesentlichen Schädigungsmechanismen bei Betonbauteilen ist die Karbonatisierung des Betons mit anschließender Korrosion der Beweh-

rung. Karbonatisierung ist ein chemischer Vorgang, bei dem das mit der Luft in den Zementstein eindiffundierende CO<sub>2</sub> das Calciumhydroxid des Zementsteins zu Calciumkarbonat umwandelt. Dabei sinkt der pH-Wert ab, wenn kein Calciumhydroxid mehr nachgelöst werden kann. Sinkt der pH-Wert auf unter 9, so wird die Passivierung des Bewehrungsstahles aufgelöst und es besteht kein ausreichender Korrosionsschutz mehr. Zur Korrosion des Bewehrungsstahles kommt es, wenn dann ausreichend Feuchte und Sauerstoff an der Stahloberfläche vorliegen. Die Karbonatisierungstiefe wird im Wesentlichen von den Umweltbedingungen, der Betonfestigkeitsklasse, dem w/z-Wert, der Zementart sowie der Nachbehandlung beeinflusst. Das Voranschreiten der Karbonatisierungsfront kann in erster Näherung mit dem so genannten Wurzel-t-Gesetz beschrieben werden.

Für die Bereitstellung eines auf Betonbauwerke im Rahmen des BMS anwendbaren Schädigungsmodells erfolgte eine Begrenzung der Einflussparameter. Mit dem in [23, 24] vorgeschlagenen Karbonatisierungsmodell liegt für die netzweite Auswertung ein praktikables Modell zur Abschätzung des Schädigungsverlaufes an Betonbauwerken vor. Dabei wird berücksichtigt, dass sich die Diffusionskonstante in Abhängigkeit von der Karbonatisierungstiefe und dem Betonalter ändert und dass eine Diffusion von Ca(OH)<sub>2</sub> aus dem Betoninneren nach außen erfolgt, die der Karbonatisierung entgegenwirkt.

Der Karbonatisierungsfortschritt in ungerissenen Bereichen wird in Abhängigkeit von der Zeit nach folgender Gleichung berechnet:

$$x_c(t) = \sqrt{\frac{2 \cdot D_B \cdot c}{a} \cdot t} \tag{1}$$

mit:

$x_c(t)$  : Karbonatisierungstiefe [cm]

$D_B$ : Diffusionskonstante [cm<sup>2</sup>/s]

$c$  : CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft [g/cm<sup>3</sup>]

$a$ : karbonatisierbare Substanz [g/cm<sup>3</sup>]

$t$  : Zeit [s]

$a$  = ca. 30 – 40 % vom Zementgewicht

Wenn keine zusätzlichen Angaben vorliegen, werden die in Tabelle 1 genannten Mittelwerte in die Berechnungsgleichung eingesetzt.

Für gerissene Bereiche an geschützten Bauteilen im Freien (Widerlager, Stützen Überbauunterseiten und Seitenflächen, Hohlkasteninnenseiten) werden folgende Beziehungen vorgeschlagen.

$$x_c(t) = \sqrt{D_R \cdot w \cdot \frac{4 \cdot c \cdot t}{D_B \cdot a}} \tag{2}$$

Für ungeschützte Bauteile im Freien (Überbauoberseiten, Kappen) gilt:

$$x_c(t) = \sqrt{\frac{4 \cdot D_R \cdot w \cdot c \cdot t}{a \cdot \max x_y + 4b \cdot t}} \tag{3}$$

mit:

$D_R$ : Diffusionskonstante von CO<sub>2</sub> im Riss [cm<sup>2</sup>/s]

$w$ : Rissbreite [cm]

$c$ : CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Risstiefe  $y$  [g/cm<sup>3</sup>]

$a$ : karbonatisierbare Substanz [g/cm<sup>3</sup>]

$b$ : Rückkarbonatisierungskonstante

Wenn keine detaillierten Angaben vorliegen, werden die in Tabelle 2 genannten Mittelwerte in die Berechnungsgleichung eingesetzt.

### 3.3.2.3 Chlorideindringung

Der Fall Karbonatisierung mit anschließender Korrosion des Bewehrungsstahles ist relevant für Außenbauteile aus Stahlbeton, die keiner Chloridbelastung unterliegen. Chloride können, sofern sie ungebunden im Beton vorliegen, ebenfalls die passivierende Deckschicht auf der Stahloberfläche zerstören und so die Korrosion des Stahls einleiten, sofern ausreichend Sauerstoff und Feuchtigkeit vorliegen. Zur Korrosion kommt es, wenn ein kritischer Chloridgehalt im Beton in Höhe der Bewehrungslage überschritten wird. Eine Angabe eines

	Parameter	Wert
1	Betonfestigkeit	B 25 (B300)
2	Diffusionskonstante $D_B$	
	alternativ:	2,5 · 10 <sup>-4</sup> cm <sup>2</sup> /s
	B 35	1,0 · 10 <sup>-4</sup> cm <sup>2</sup> /s
	B 45	0,9 · 10 <sup>-4</sup> cm <sup>2</sup> /s
	B 55	0,6 · 10 <sup>-4</sup> cm <sup>2</sup> /s
3	Karbonatisierbare Substanz $a$	0,126 g/cm <sup>3</sup>
4	CO <sub>2</sub> -Gehalt der Luft $c$	0,8 · 10 <sup>-6</sup> g/cm <sup>3</sup>

**Tab. 1:** Mittelwerte zur Berechnung des Karbonatisierungsfortschritts in ungerissem Beton

allgemein als kritisch anzusehenden Chloridgehalt ist nicht ohne weiteres möglich.

Die Chloride gelangen durch Diffusion über das Porensystem oder durch Risse in den Beton. Die Eindringtiefe – und damit die Schädlichkeit für die Bewehrung – hängt maßgeblich von den Umweltbedingungen, dem w/z-Wert und der Nachbehandlung ab. Der grundlegende Mechanismus der Chlorideindringung wird in erster Näherung ebenfalls über das Wurzel-t-Gesetz beschrieben, das in anderer Form auch als Schädigungsmodell für die Einbindung im BMS vorgeschlagen wird. Es variiert lediglich der Chloridwanderungskoeffizient, mit dem die Geschwindigkeit des Eindringens einer bestimmten Chloridkonzentration in den Beton beschrieben wird.

Die Chlorideindringung wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$x_{Cl}(t) = \sqrt{D_w \cdot t} \quad (4)$$

	Parameter	Mittelwert
1	Betonfestigkeit	B 25 (B300)
2	Diffusionskonstante $D_B$	siehe oben
3	Diffusionskonstante von $CO_2$ im Riss $D_R$	0,14 $cm^2/m$
4	Karbonatisierbare Substanz a	0,126 $g/cm^3$
5	Rissbreite w	nach Messung
6	$CO_2$ -Konzentration in der Risstiefe y ( $\approx CO_2$ -Gehalt der Luft) c	$0,8 \cdot 10^{-6} g/cm^3$
7	Rückkarbonatisierungskonstante b	$1,2 \cdot 10^{-10} g/cm^2/s$

**Tab. 2:** Mittelwerte zur Berechnung des Karbonatisierungfortschritts in gerissenem Beton

	Parameter	Mittelwert
1	w/z-Wert	0,5
2	Chloridwanderungskoeffizient $D_w$	siehe Tabelle 4

**Tab. 3:** Mittelwerte zur Berechnung der Chlorideindringung

Betongüte	Bauteilgruppe	Chloridwanderungskoeffizient $D_w$
B 35	Bauteilgruppe I, 1 M % - Z, Mittelwert	$1,82 \cdot 10^{-8} cm^2/s$
	Bauteilgruppe I, 1 M % - Z, 70 % - Fraktile	$2,57 \cdot 10^{-8} cm^2/s$
	Bauteilgruppe II, 0,4 M % - Z, 70 % - Fraktile	$7,4 \cdot 10^{-9} cm^2/s$

**Tab. 4:** Chloridwanderungskoeffizient  $D_w$

mit:

$x_{Cl}(t)$ : Eindringtiefe für eine konstante Chloridkonzentration [cm]

$D_w$ : Wanderungskoeffizient, abhängig von Betongüte (w/z-Wert) und Art der Beaufschlagung [ $cm^2/s$ ]

t: Dauer der Beaufschlagung [s]

Wenn keine detaillierten Angaben vorliegen, werden Mittelwerte nach Tabellen 3 und 4 in Gleichung (4) eingesetzt.

Dabei wird Folgendes festgelegt:

- Chloridgehalt in % bezogen auf das Zementgewicht [M %],
- WTZ-Wechseltauchzone, Beanspruchung von horizontal liegenden Flächen und spritzwasserbeaufschlagten Stützen und Widerlagern (Bauteilgruppe I),
- Bauteilgruppe I (stark chloridbeanspruchte Bauteile), Stützen und Widerlagerwände mit unmittlbarer Beaufschlagung mit taumittelhaltigem Spritzwasser (parallel zur Fahrbahn, bis ca. 0,5 - 1 m über FOK), direkt befahrene, horizontal liegende Brückenbereiche bzw. angrenzende Bauteile (z. B. Kappen, Fahrbahnplatten unter nicht funktionsfähiger Abdichtung),
- Bauteilgruppe II (wenig/keine direkte Chloridbeanspruchung), Stützen und Widerlagerwände parallel zur Fahrbahn, oberhalb 1,5 m über FOK, Überbauuntersichten und Seitenflächen, Hohlkasteninnenseiten.

### 3.3.2.4 Korrosion

Fortschreitende Karbonatisierung und ein kritischer Chloridgehalt bewirken in der Regel einen Verlust des alkalischen Milieus und somit eine Depassivierung der Oberfläche des Bewehrungsstahles. Als Folge kommt es bei ausreichendem Sauerstoff- und Feuchtegehalt vorwiegend zu einem gleichförmigen Korrosionsabtrag mit relativ geringen Abtragsraten. Erfolgt eine lokale Aufhebung der Schutzschicht durch Eindringen von Chloridionen, so ist häufig eine örtliche starke Korrosion die Folge. Beide Mechanismen ziehen aufgrund von Volumenvergrößerungen infolge der entstehenden Korrosionsprodukte Betonabplatzungen nach sich.

Die Angabe einer Reduzierung des Bewehrungsdurchmessers aufgrund von Korrosionsvor-

im Beton bei Vorhandensein von Chloriden	karbonatisierter Beton	karbonatisierter Beton + Chloride
Cl = 0,5 M %-Z: 0,01 mm/Jahr	c ≤ 2cm: 60 µm/Jahr	Cl = 0,5 M %-Z: - 0,10 mm/Jahr
Cl = 2,0 M %-Z: 0,05 mm/Jahr	2 cm < c ≤ 4cm: 20 mm/Jahr	Cl = 2,0 M %-Z: - 0,15 mm/Jahr
	c > 4 cm: 3 mm/Jahr	

**Tab. 5:** Abtragsrate A für den Korrosionsabtrag des Stahls im Beton

gängen ist schwierig. Korrosionsraten variieren in Abhängigkeit von den Feuchte- und Temperaturverhältnissen. Bei gerissenen Stahlbetonbauteilen, zu denen chloridhaltige Wässer keinen Zutritt haben, wird in der Regel ein gleichartiges Korrosionsverhalten vorausgesetzt.

In [24] wird ein Modell zur Beschreibung des Stahlabtrags durch fortschreitende Korrosion eingeführt. Dieses nutzt Korrosionsgeschwindigkeiten und simuliert so den Oberflächenabtrag des Stahls. Unter Ansatz eines linearen Korrosionsabtrags kann folgende Gleichung verwendet werden:

$$a(t) = A \cdot t \quad (5)$$

mit:

a(t): Stahlabtrag [µm]

A: Abtragsrate [µm/Jahr] gemäß Tabelle 5

t: Zeit [Jahre]

### 3.3.2.5 Frost-Tau-Schädigung

Die Zerstörung des Betons durch Frost-Tau-Abtrag ist in erster Linie auf die Volumenvergrößerung beim Gefrieren des Wassers und den dadurch entstehenden Sprengdruck zurückzuführen. Die daraus entstehenden Schäden sind von zahlreichen Faktoren, wie zum Beispiel der Dichtheit des Betongefüges, dem Abstand der Luftporen, dem Wassergehalt des Betons und der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel abhängig. In [23] wird ein Modell zur Berechnung des Frost-Tau-Abtrags angegeben, wobei verschiedene Randbedingungen berücksichtigt werden können. Eine Anwendung im Rahmen des BMS wird jedoch nicht empfohlen, da erhöhter Kalibrierungsbedarf gesehen wird, um eine Übertragbarkeit sicherzustellen.

### 3.3.2.6 Alkali-Kieselsäure-Reaktion

Für die Alkali-Kieselsäure-Reaktion wird ebenfalls kein zeitabhängiges Schädigungsmodell angege-

ben, da nur umfangreiche Untersuchungen des am jeweiligen Bauwerk verwendeten Betons Aufschluss über die Wahrscheinlichkeit einer mit dieser Reaktion in Zusammenhang stehenden Schädigung geben können. Es wird daher vorgeschlagen, die Bewertung des Schädigungspotenzials im Rahmen einer objektbezogenen Schadensanalyse vorzunehmen und gegebenenfalls erforderliche Maßnahmen im BMS zu setzen.

### 3.3.2.7 Ermüdung

Eine wiederholt aufgebrachte Belastung kann auch zum Versagen führen, wenn die Beanspruchung unter der statischen Beanspruchbarkeit liegt. Solche Fälle werden als Ermüdungsversagen bezeichnet. Die Reduktion der aufnehmbaren Belastung hängt von unterschiedlichen Faktoren ab, z. B. Anzahl der Lastwechsel, Höhe der Spannungsänderungen, Niveau der Mittelspannungen, der konstruktiven Durchbildung und den Eigenschaften des Werkstoffes.

Die Berechnung des Grenzzustandes der Ermüdung wird üblicherweise über die Berechnung eines Schadens geführt, den der betrachtete Werkstoff unter wiederholter Belastung erleidet. Dabei wird von der Annahme ausgegangen, dass jede Spannungsänderung eine Schädigung des Werkstoffes hervorruft. Die Spannungsänderungen werden im Wesentlichen durch die wechselnden Verkehrslasten hervorgerufen. Verfahren zur Ermittlung der Schädigungen sind in [13] zusammengestellt.

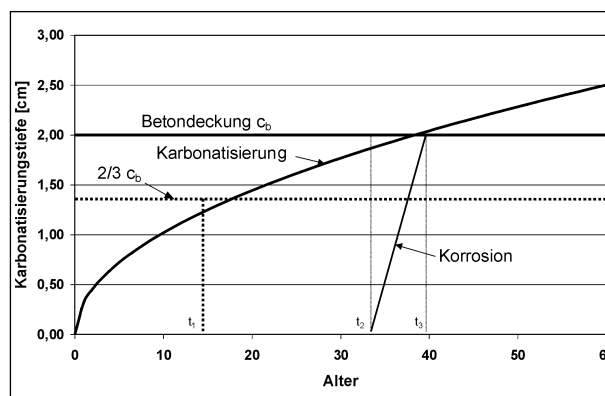
Eine netzbezogene Prognose der Ermüdungsproblematik bei Brückenbauwerken des Bundesfernstraßennetzes erscheint aufgrund der Vielzahl der Einflussfaktoren und Komplexität des Berechnungsverfahrens im Rahmen des BMS als derzeit noch nicht realisierbar. Weitere Überlegungen werden in einem Folgevorhaben durchgeführt [29].

### 3.3.2.8 Überführung der phänomenologischen Modelle in Schädigungsmodelle des BMS

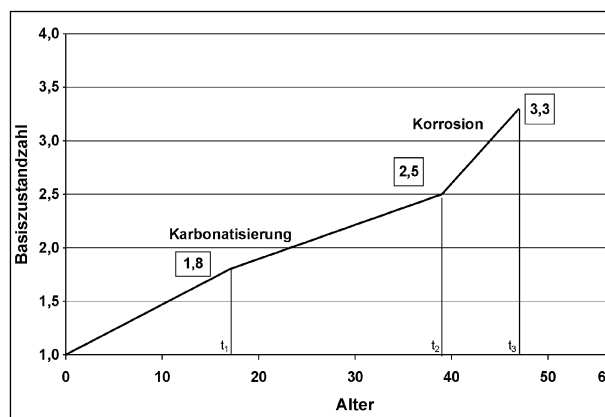
Die mit Hilfe der oben aufgeführten Modelle ermittelten Werte der Karbonatisierung, Chlorideindringung und des Korrosionsfortschrittes sind in einer Form darzustellen, dass nachgeschaltete Bewertungsverfahren eine einheitliche Vergleichsbasis haben. Dies erfolgt im BMS mit Hilfe der Zustandszahl, die sich aus der Bewertung der Einzelschäden im Rahmen der Bauwerksprüfung ergibt. Der Algorithmus zur Berechnung der Zustandszahl ist

Schadensbeschreibung	Schadensbewertung S/V/D	Zustandszahl für Einzelschaden
Karbonatisierungsfront beträgt 2/3 der Betondeckung	0/0/2	1,8
Karbonatisierungsfront an Tragbewehrung	0/0/3	2,5
Abplatzungen im Bereich korrodierter Tragbewehrung an der Oberbauunterseite; fortgeschrittene Querschnittsminderung (entspricht 20 % Verlust)	3/0/3	3,3
Chloridfront (> 0,4 M %-Z) reicht zu 2/3 der Betondeckung an Bewehrungsfront heran	0/0/2	1,8
Chloridfront (> 0,4 M %-Z) reicht an Tragbewehrung heran	0/0/3	2,5

**Tab. 6:** Übersicht über die neu eingeführten Schadensbewertungen



**Bild 16:** Karbonatisierung und Stahlkorrosion in Abhängigkeit von der Zeit



**Bild 17:** Zustand des Bauteils in Abhängigkeit von der Zeit (Alter in Jahren)

in [9] beschrieben. Darin ist jeder mögliche Bewertungskombination der Einzelschäden nach Standsicherheit (S), Verkehrssicherheit (V) und Dauerhaftigkeit (D) eine definierte Zustandszahl zugeordnet.

Eine Grundlage für die Zuordnung der Schädigungsmodelle zu Zustandszahlen bietet der Schadenskatalog, der in der RI-EBW-PRÜF für eine einheitliche Bewertung gleichartiger Schäden aufgestellt wurde. Hierin sind für häufig vorkommende Schadensbilder Musterbewertungen nach S, V und D vorgenommen worden. Weitere Eckwerte wurden in [24] ergänzt (siehe Tabelle 6).

Mit Hilfe dieser Angaben und der Festlegungen der RI-EBW-PRÜF lassen sich aus den oben beschriebenen Modellen die Verhaltensmodelle bezüglich der Zustandsänderung ableiten. Ein Beispiel ist in den Bildern 16 und 17 dargestellt. Dabei wird für einen B 25 unter Berücksichtigung von Gl. (1) der Karbonatisierungsfortschritt ermittelt. Unter der Voraussetzung einer vorgegebenen Betondeckung ergibt sich der frühestmögliche Ausgangszeitpunkt für die Stahlkorrosion, deren Fortschritt nach Gl. (5) berechnet wird (siehe Bild 16). Durch Überführung der auftretenden Schadensbilder in Zustandszahlen ergibt sich die Entwicklung des Zustands dieses Bauteils (Basiszustandszahl entspricht der Zustandszahl für den Einzelschaden nach [9]) in Abhängigkeit von der Zeit (siehe Bild 17).

### 3.3.3 Nutzungsdauermodelle

Anders als bei den oben beschriebenen Schädigungsmodellen lassen sich für die so genannten Verschleißbauteile keine eindeutigen Schadensmechanismen, die zur Bewertung der Bauteile herangezogen werden könnten, fassen. Als Verschleißbauteile werden die Bauteilgruppen nach ASB mit Ausnahme des Überbaus und des Unterbaus, also Übergangskonstruktionen, Lager, Korrosionsschutzsysteme, Beläge, Kappen und Geländer usw., zusammengefasst.

Für diese Bauteile werden empirisch ermittelte durchschnittliche Nutzungsdauern angegeben, mit deren Hilfe netzweite Prognosen vorgenommen werden können. Aus diesen Nutzungsdauern lassen sich deterministische lineare Nutzungsdauermodelle ableiten, um, entsprechend der Vorgehensweise bei den Schädigungsmodellen, den Zustand der Bauteile in Abhängigkeit von der Zeit bewerten zu können.

In [23] wurden Nutzungsdauern aus der Literatur, aus Interviews und schriftlichen Umfragen ermittelt, die anschließend in [24] zu Modellen fortgeschrieben wurden (siehe Tabelle 7). Die Nutzungsdauern werden derzeit in einem Folgevorhaben verifiziert [29]. Fehlende Angaben werden ergänzt.



Hauptbauteil	Bauteilart	Nutzungsdauer Minimum	Nutzungsdauer durchschnittlich	Nutzungsdauer Maximum
Korrosionsschutzbeschichtungen	Vollerneuerung	(wird ergänzt)	20-35	(wird ergänzt)
	Teilerneuerung	(wird ergänzt)	20-25	(wird ergänzt)
Fahrbahnübergangskonstruktion	Lamellen-FÜK	10	25	40
	Schleppblech-FÜK	(wird ergänzt)	30	40
	Fingerkonstruktion	(wird ergänzt)	25	40
	Asphaltfugen	5	20	30
	Rollverschlusskonstruktion	(wird ergänzt)	25	30
Fahrbahnbelag und Abdichtung	Gussasphalt	2	15	30
	Dichtungsschicht	15	20	30
Entwässerung	Stahlguss	10	35	50
	Edelstahl	(wird ergänzt)	(wird ergänzt)	50
	(Kunststoff)	(wird ergänzt)	25	40
Kappen	Beton	5	25	40
	Stahl	(wird ergänzt)	25	100
Lager	Rollenlager (Baustahl)	15	40	80
	Elastomerlager	25	40	80
	Topflager	15	25	40
	Kalottenlager	15	25	40
Geländer	Stahl feuerverzinkt	(wird ergänzt)	(wird ergänzt)	50
	Stahl unverzinkt	(wird ergänzt)	(wird ergänzt)	25

Tab. 7: Auswertung der Umfrage zu Nutzungsdauern in Jahren für Verschleißteile

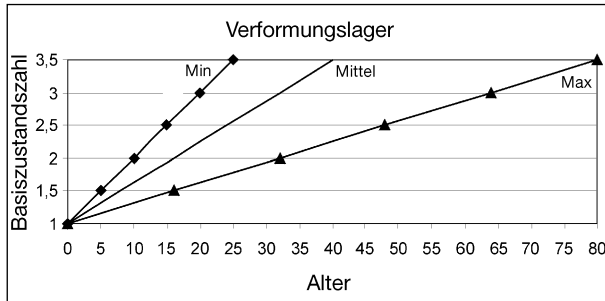


Bild 18: Idealisierte Entwicklung der Basiszustandszahl am Beispiel Verformungslager

Unter der stark vereinfachenden Annahme einer linearen Zustandsentwicklung der Verschleißbauteile lassen sich aus den Angaben der obigen Tabelle Diagramme einer „idealisierten Zustandsentwicklung“ ableiten. In Bild 18 ist hierfür ein Beispiel dargestellt. Der Bericht zu [24] enthält die vollständigen Beziehungen.

Wird im Rahmen der Bauwerksprüfung bei einem Bauteilalter  $t$  ein Schaden mit einer Zustandbewertung ungleich der idealisierten Verhältnisse erfasst (was wohl die Regel ist), so ist das lineare Nutzungsdauermodell dieses Bauteils entsprechend der Bewertung durch Drehung um den Ursprung des Koordinatensystems anzupassen. Solange kein Schaden vorliegt, gilt das Modell „mittlere Verhältnisse“, sofern keine anderen Angaben vom Be-

arbeiter aufgrund von zusätzlichen Erkenntnissen gemacht werden. Der Bearbeiter hat die Möglichkeit, „zwischen mittleren Verhältnissen“, „guten Verhältnissen (Max)“ und „schlechten Verhältnissen (Min)“ zu variieren.

### 3.3.4 Verhalten nach erfolgter Erhaltungsmaßnahme

Grundsätzlich kann bei der Wahl der Erhaltungsmaßnahmen zwischen drei Varianten unterschieden werden:

- Erneuerung des kompletten Bauteils,
- Austausch einzelner Teile der Bauteile oder Instandsetzung oder
- Nichtstun, d. h. Durchführen einer Maßnahme erst dann, wenn sich der Zustand so weit verschlechtert hat, dass die Standsicherheit und/oder die Verkehrssicherheit nicht mehr gegeben ist.

Die aus den unterschiedlichen Maßnahmevarianten resultierenden Folgen für die Bestimmung der Restnutzungsdauer können wie folgt angegeben werden:

- Für den Fall der Erneuerung des kompletten Bauteils steht ab der Erneuerungsmaßnahme

wieder eine komplette mittlere Nutzungsdauer des jeweiligen Bauteils zur Verfügung.

- Werden lediglich einzelne Bestandteile der jeweiligen Verschleißbauteile erneuert oder erfolgt eine Instandsetzung, so sind folgende Fälle denkbar:

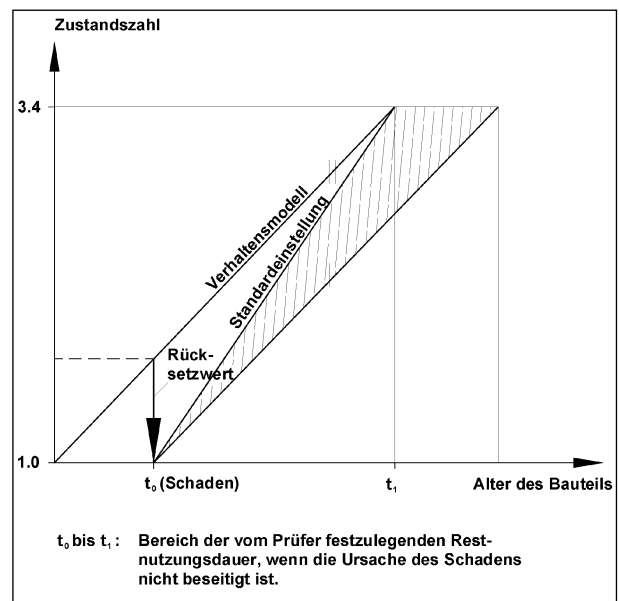
- Der Zeitpunkt des ersten Auftretens eines Teilschadens mit der Folge der Bewertung des Bauteils mit einer bestimmten Zustandszahl kann bei Verschleißbauteilen als Indiz dafür gewertet werden, dass es sich um ein Bauteil minderer, mittlerer oder guter Qualität handelt, mit der Folge der Anpassung an die minimale, mittlere oder maximale Nutzungsdauer. Die Restnutzungsdauer ergibt sich dann jeweils als Differenz zwischen der so bestimmten Gesamtnutzungsdauer  $x$  gemäß Tabelle 7 unter Berücksichtigung der Einstufung des Bauteils und dem Alter  $t$  bei Schadensfeststellung (siehe Bild 19).

- Das Auftreten eines Schadens steht nicht in Zusammenhang mit der Qualität des Bauteiles und hat somit keine Auswirkung auf die Gesamtnutzungsdauer.

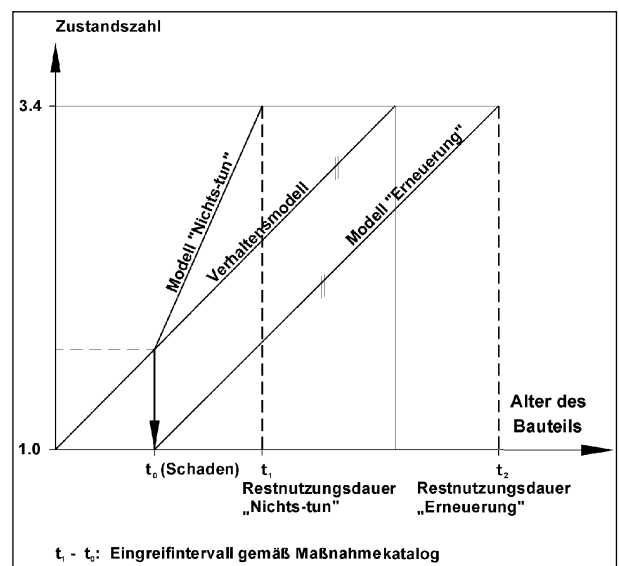
- Die Prognose der Restnutzungsdauer wird wesentlich davon beeinflusst, ob die Ursache des Schadens beseitigt wurde. Diese Angabe wird vom Bearbeiter nach durchgeführter Instandsetzung in das BMS eingegeben. Danach ist von einer Fortsetzung der mittleren Nutzungsdauer auszugehen oder von einer entsprechend der Feststellung des Bearbeiters angepassten Restnutzungsdauer. In jedem Falle sollte der Bearbeiter die Möglichkeit erhalten, in die Prognose der Restnutzungsdauer direkt einzugreifen. Somit kann eine für die objektbezogene Betrachtungsweise wichtige Ergänzung der Eingangsparameter der Modelle erreicht werden.

- Im Fall „Nichts-tun“ entspricht die Restnutzungsdauer des Bauteils dem Eingreifintervall für die Beseitigung des Schadens gemäß Maßnahmenkatalog (siehe Bild 20 und Kapitel 3.4.2).

Ein wesentlicher Baustein dieser Modelle ist der Rücksetzwert im Verhaltensmodell nach Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme. Rücksetzwerte sind im Maßnahmenkatalog definiert (siehe Kapitel 3.1 und [17])



**Bild 19:** Auswirkung der Maßnahmevariante „Teilerneuerung“ auf die Restnutzungsdauer von Verschleißbauteilen



**Bild 20:** Auswirkung der Maßnahmevarianten „Nichtstun“ bzw. „Vollerneuerung“ auf die Restnutzungsdauer von Verschleißbauteilen ( $t_1 - t_0$ )

## 3.4 Erhaltungsstrategien

### 3.4.1 Allgemeines

Das Grundprinzip der Bauwerkserhaltung ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Bauwerk innerhalb eines vorgegebenen Nutzungszeitraumes die Anforderungen an Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit zu erfüllen hat. Mit welcher Strategie die bauliche Erhaltung durchgeführt wird, hängt von den jeweiligen Randbedingungen ab.

Maßnahmen der baulichen Unterhaltung unterliegen im geplanten BMS nicht dem betrachteten Bereich der Optimierung der Maßnahmenwahl zu unterschiedlichen Zeitpunkten innerhalb des Eingreifintervalles (Zustandszahl zwischen dem Warn- und Schwellenwert). Die Durchführung der baulichen Unterhaltung wird vorausgesetzt. Daneben sind unterschiedliche Erhaltungsstrategien denkbar (siehe Bild 21):

- regelmäßige Durchführung kleinerer Instandsetzungsmaßnahmen, die das jeweilige Bauwerk auf einem annähernd konstanten Zustandsniveau halten,
- seltene Durchführung großer Instandsetzungsmaßnahmen, bei denen der Bauwerkszustand um einen großen Betrag angehoben wird,
- Kombination der o. g. Strategien,
- Verzicht auf Maßnahmen bis zur Erneuerung des Bauteils/Bauwerks (nur theoretisch möglich, aufgrund der Ziele der Bauwerkserhaltung (siehe Kapitel 2) nicht sinnvoll).

Zur Frage der Strategie zählt vor allem der Themenbereich der Maßnahmenbündelung. Bereits heute in der Praxis angewandt wird die Bündelung von mehreren Maßnahmen an einem Objekt. Diese bringt vor allem an Bauwerken Vorteile, die Verkehrswege höherer Ordnung berühren. Die Verkehrslenkung stellt hier einen erheblichen Kostenfaktor dar, der bei Vermeidung mehrfacher Verkehrslenkungsmaßnahmen erhebliches Ersparnispotenzial birgt. Da die Gesamtdauer der gebündelten Maßnahmen in der Regel geringer ist als die Summe der Dauer der Einzelmaßnahmen, ergibt sich bei der Bündelung von Maßnahmen zudem im Regelfall eine Zeitersparnis, die sich vor allem in den Nutzerkosten widerspiegelt.

Voraussetzung für die Bündelung von Maßnahmen ist die Möglichkeit, eine Maßnahme nicht zu einem bestimmten Zeitpunkt durchführen zu müssen, sondern ein gewisses Zeitintervall zur Verfügung zu haben. Die Grundlage hierzu liefert [24], worin dieses Zeitintervall auf Basis von Schädigungsmodellen und Erfahrungswerten ermittelt wird.

Die detaillierte Beschreibung von Strategien, die ihren Schwerpunkt in der technischen Auseinandersetzung mit den Bauwerken haben, liefert die Vorgaben für die „Ökonomischen Module“, die eine objektbezogene bzw. netzweite Reihung ermöglichen; Näheres hierzu siehe Kapitel 4.

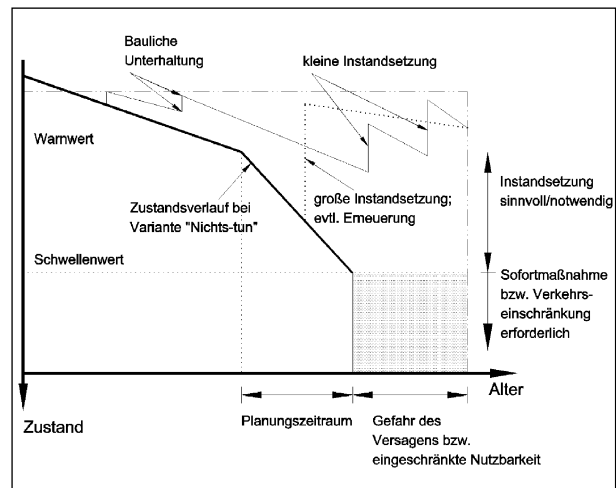


Bild 21: Zustandsentwicklung und Erhaltungsstrategien

### 3.4.2 Eingreifzeitpunkt und Eingreifintervall

Zur Ermittlung der Eingreifzeitpunkte bzw. Eingreifintervalle wurden in [24] Warn- und Schwellenwerte für die Einleitung von Erhaltungsmaßnahmen definiert. Mit der Betrachtung dieser zustandsbezogenen Werte ergibt sich jeweils für die Beseitigung eines Einzelschadens bzw. die Verbesserung eines Bauteil- oder Bauwerkszustandes ein Eingreifintervall, das von den speziellen Gegebenheiten des jeweiligen Bauwerkes abhängt. Das Eingreifintervall kennzeichnet den Zeitraum, in dem Maßnahmen zur Beseitigung eines Schadens technisch sinnvoll durchgeführt werden können. Es lassen sich hinsichtlich des Eingreifintervalles zwei Fälle unterscheiden:

- Eingreifintervall für die Beseitigung eines Schadens und
- Eingreifintervall für die Durchführung einer bestimmten Maßnahme.

Das Eingreifintervall für die Beseitigung eines bestimmten Schadens ergibt sich unmittelbar aus der Schadensbewertung im Rahmen der Bauwerksprüfung und der daraus abgeleiteten Dringlichkeit der Einleitung einer Maßnahme; diese leitet sich aus Angaben der RI-EBW-PRÜF ab. Für diese Eingreifintervalle wurden zeitliche Annahmen getroffen, die u. a. im Modell für die Variante „Nichts-tun“ (siehe Bild 20) berücksichtigt werden müssen.

- s sofort – bei einer Basiszustandszahl  $>3,4$ ;
- u umgehend – bei einer Basiszustandszahl von  $3,0-3,4$ ;

- kf (< 2 Jahre) kurzfristig – bei einer Basiszustandszahl von 2,5-2,9;
- mf (= 6 Jahre) mittelfristig – bei einer Basiszustandszahl von 1,8-2,4;
- lf (> 6 Jahre) langfristig – bei einer Basiszustandszahl < 1,8.

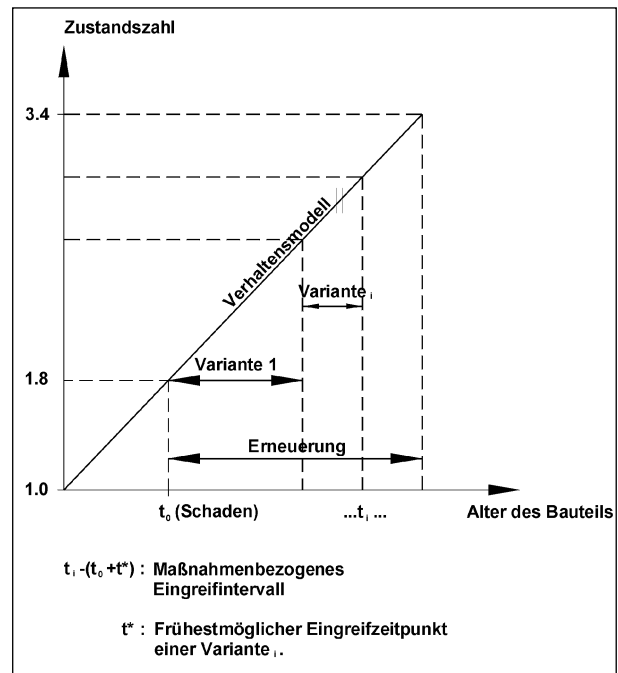
Der Warnwert kennzeichnet den Zustand des Bauteils/Bauwerkes, ab dem ein Eingreifen in Form einer Instandsetzungsmaßnahme technisch sinnvoll ist. Als Warnwert wird eine Basiszustandszahl von 1,8 festgelegt. Bis zu einer Basiszustandszahl von 1,8 wird somit durch das BMS keine eigentliche Maßnahme vorgeschlagen. Notwendige kleinere Maßnahmen werden im Rahmen der laufenden Unterhaltung durchgeführt. Schäden mit einer Basiszustandszahl unterhalb des Warnwertes werden demzufolge innerhalb des Maßnahmenkataloges keine Maßnahmevarianten zugeordnet (siehe Kapitel 3.1.5).

Der Schwellenwert kennzeichnet den Zustand, bei dessen Überschreiten der Zustand des Bauteils/Bauwerkes gemäß RI-EBW-PRÜF umgehend angehoben werden muss. Bei dieser Definition des Schwellenwertes handelt es sich um einen zustandsbezogenen Schwellenwert. Dieser Schwellenwert kennzeichnet einen Zustand des Bauteils/Bauwerkes, der eine kurzfristige bzw. sofortige Maßnahme zur Wiederherstellung der Standsicherheit, Verkehrssicherheit und/oder Dauerhaftigkeit erfordert. Der Umfang einer Maßnahme ist aus der Basiszustandszahl allein jedoch nicht erkennbar. Der Schwellenwert wird auf eine Basiszustandszahl von 3,4 festgelegt.

Innerhalb des im BMS integrierten Maßnahmenkataloges werden für alle Schäden, deren Basiszustandszahl im Bereich zwischen 1,8 und 3,4 liegt, Maßnahmevarianten mit Angabe ihrer Wirksamkeit in Form von Rücksetzwerten angegeben.

Diese Maßnahmevarianten unterscheiden sich auch hinsichtlich der Zeit, in der sie zur Beseitigung eines bestimmten Schadens eingesetzt werden können. Der späteste Zeitpunkt für die Durchführung einer bestimmten Maßnahme kann in diesem Zusammenhang auch als maßnahmenbezogener Schwellenwert bezeichnet werden.

Sollte z. B. eine Betonbeschichtung bei erfolgter Karbonatisierung bis zur Bewehrung nicht mehr zielführend anwendbar sein, ein Aufbringen von Betonersatz aber noch möglich und technisch



**Bild 22:** Maßnahmenbezogene Eingreifintervalle, dargestellt über den Zustandsverlauf (schematisch)

sinnvoll sein, ist das BMS in der Lage, dies zu erkennen. Die Unterschiede in der Betrachtung der Eingreifintervalle werden in Bild 22 verdeutlicht.

Zum Zeitpunkt  $t_0$  der Schadensfeststellung werden mit Hilfe des Maßnahmenkataloges alle technisch sinnvollen Maßnahmevarianten für den vorliegenden Schaden identifiziert. Dies ist in dem obigen Bild die Variante 1. Ebenfalls kann ab diesem Zeitpunkt die Maßnahmevariante „Erneuerung“ durchgeführt werden, deren Eingreifintervall bis zum Erreichen des zustandsbezogenen Schwellenwertes reicht.

Wird innerhalb des durch die Schadensbewertung vorgegebenen Zeitraumes keine Erhaltungsmaßnahme durchgeführt, so verschlechtert sich der Zustand des betroffenen Bauteils. Dies kann mit Hilfe der o. g. Verhaltensmodelle prognostiziert werden. Dadurch erfolgt der Anstoß weiterer Schäden, die wiederum mit Maßnahmevarianten  $i$  behoben werden können. Die in Bild 22 dargestellten Zeiträume für die Möglichkeit der Anwendung der Maßnahmevarianten bilden die maßnahmenbezogenen Eingreifintervalle. Detaillierte Angaben sind [19] zu entnehmen.

Für Maßnahmen, die aufgrund strategischer Überlegungen mit anderen zusammengefasst werden sollen, ist die Betrachtung des oben aufgeführten und nach RI-EBW-PRÜF definierten schadensbe-

zogenen Eingreifintervalls erforderlich, um die Möglichkeit des Vorziehens und Schiebens der Maßnahmen zu überprüfen.

### 3.4.3 Einflussparameter

#### 3.4.3.1 Restnutzungsdauer

Die Betrachtung der geplanten Restnutzungsdauer eines Bauwerks geht jeder strategischen Betrachtung und Maßnahmenwahl voraus. Wird die Restnutzungsdauer durch äußere Einflüsse eindeutig festgelegt, können alle Schäden, deren durch die Schadensbewertung festgelegter Eingreifzeitraum über die Restnutzungsdauer hinausgeht, bei der weiteren Betrachtung vernachlässigt werden.

Wird die Restnutzungsdauer nicht von äußeren Einflüssen eindeutig festgelegt, ergibt sie sich als dynamische Größe aus der ökonomischen Bewertung. Ergibt sich die Errichtung eines Ersatzbauwerks als volkswirtschaftlich günstigste Alternative, ist die wirtschaftliche Nutzungsdauer des Bauwerkes erreicht.

#### 3.4.3.2 Technische Daten des Bauwerks

Die im Hinblick auf die Strategiewahl relevanten technischen Parameter eines Bauwerks betreffen hauptsächlich Mindestanforderungen bezüglich Brückenklasse und Querschnitt. Sind diese nicht erfüllt, ist auf umfangreichere Erhaltungsmaßnahmen zu verzichten; es sollten nur Schäden, die unmittelbaren Einfluss auf die Verkehrs- und Standsicherheit haben, berücksichtigt werden. Damit wird das Ziel verfolgt, innerhalb der Strecke mit einheitlichen Brückenklassen bzw. Querschnittsgeometrien zu arbeiten und somit Engpässe zu vermeiden. Die Festlegung dieser Mindestanforderungen erfolgt durch eine Vorgabe des Baulastträgers.

#### 3.4.3.3 Nutzungseinschränkungen

Hierbei ist zu unterscheiden zwischen dauerhaften und temporären Nutzungseinschränkungen. Unter dauerhaft ist die Einschränkung der Nutzung durch Beschränkungen der Geschwindigkeit oder Belastung zu verstehen. Temporäre Nutzungseinschränkungen sind Behinderungen des Verkehrs vor und/oder während der Durchführung von Maßnahmen. Beide Arten der Nutzungseinschränkung haben durch Umwege, Stauzeiten etc. Auswirkung auf die volkswirtschaftliche Bewertung. Darüber hinaus können die Nutzungseinschränkungen und ihre Auswirkungen jedoch auch im Hinblick auf die Strategieausrichtung berücksichtigt werden.

#### 3.4.3.4 Vorgaben und Einflussnahme des Baulastträgers

Grundsätzlich ist vom Baulastträger die Vorgabe der Grundausrichtung der Instandsetzungsstrategien erforderlich. Hierzu gehört die Vorgabe von Zielen für die Optimierungsaufgaben im BMS. Darüber hinaus sind Vorgaben des Baulastträgers denkbar hinsichtlich der Wichtung und Berücksichtigung der oben genannten Einflussparameter sowohl im Hinblick auf monetäre Auswirkungen als auch hinsichtlich ihrer nicht wirtschaftlichen Auswirkungen bei der strategischen Betrachtung.

Bei einigen Einflussparametern sind detaillierte Angaben des Baulastträgers erforderlich. So sind bei den technischen Daten des Bauwerks Mindestanforderungen zu definieren und es ist festzulegen, wie mit Bauwerken verfahren werden soll, die diese nicht erfüllen. Das Gleiche gilt für maximal mögliche Zustandswerte (Schwellenwert des Zustands = 3,4) bzw. angestrebte Zustandsverteilungen im Netz.

#### 3.4.3.5 Erfahrungen der Länderverwaltungen

In vielen Länderverwaltungen werden definierte Instandsetzungsstrategien angewandt. Um diese bewährten Vorgehensweisen zu identifizieren und die Erfahrungen zu nutzen, wurden in [20] Befragungen von Länderverwaltungen durchgeführt. Die bisher beschriebenen Einflussparameter spiegeln sich hierin teilweise wider.

Die Kombination bzw. Bündelung von Maßnahmen ist bereits heute eine weit verbreitete Strategie bei der Durchführung von Instandsetzungsmaßnahmen. Ein Hauptaspekt, der dabei berücksichtigt wird, ist die Minimierung der Verkehrsbehinderung. Ein weiterer Einflussparameter, der bereits in der Praxis Berücksichtigung findet, ist die Restnutzungsdauer.

### 3.4.4 Formulierung der Strategien

#### 3.4.4.1 Allgemeines

Basierend auf den Einflussparametern, den Erfahrungen der Länderverwaltungen und Sichtung der relevanten Literatur wurden verschiedene denkbare Ansätze zur Verfolgung unterschiedlicher Strategien entwickelt. Einige der Strategien können dabei untereinander kombiniert werden, indem die entsprechenden Abläufe nacheinander durchgeführt werden.

#### 3.4.4.2 Restnutzungsdauer und Mindestanforderungen

Für die Nutzung im BMS wird indirekt eine definierte Restnutzungsdauer in Form der für die jeweiligen Bauteile definierten Verhaltensmodelle festgeschrieben.

Darüber hinaus sollte die Überprüfung von Mindestanforderungen erfolgen. Sind diese nicht erfüllt, sollten nur noch die zur Aufrechterhaltung der Verkehrs- und Standsicherheit erforderlichen Maßnahmen eingeplant werden, soweit nicht objektbezogene Vorgaben (z. B. Denkmalschutz, akzeptable Nutzereinschränkungen) eine weitere Nutzung vorsehen.

#### 3.4.4.3 Identifizierung von Schadensbildern und Maßnahmenpaketen

Grundsätzliches Ziel einer Instandsetzungsmaßnahme sollte die Behebung der eigentlichen Schadensursache sein. Nach DIN 1076 werden jedoch nur einzelne Schadenssymptome festgestellt. Werden diesen nun einzeln entsprechende Maßnahmen aus dem Maßnahmenkatalog zugeordnet, ist denkbar, dass im Rahmen der Optimierungsaufgabe ein Paket von Maßnahmen, das zur Instandsetzung eines ursächlichen Schadens und seiner Folgeschäden geeignet ist, geteilt wird und dabei nur die Folgeschäden, nicht aber der ursächliche Schaden behoben wird.

Es ist also sicherzustellen, dass für jeden ermittelten Schaden die Schadensursache identifiziert wird und kein Folgeschaden ohne Behebung des verursachenden Schadens instand gesetzt wird. Die eindeutige Identifizierung der Schädigungsbilder ist jedoch a priori nicht möglich, da die Vielfalt der beschriebenen Schäden und der dabei denkbaren Zusammenhänge zu groß ist. Die Bildung der Maßnahmenpakete ist durch die Bearbeiter in den Ämtern unter Kenntnis der jeweiligen individuellen Situation zu überprüfen.

Einige Schadensbilder und die zugehörigen Maßnahmenpakete konnten vorab durch die Sichtung von Schadensdokumentationen und Analyse des Beispielschadenskatalogs nach RI-EBW-PRÜF eindeutig definiert werden; diese werden in [20] näher erläutert.

#### 3.4.4.4 Kombination von Maßnahmen am selben Bauteil

Der Kombination und der Bündelung von Maßnahmen kommt im Rahmen der Erhaltungsplanung

eine große Rolle zu. Zunächst sollen bauteilbezogen mögliche sinnvolle Kombinationen von Maßnahmen erarbeitet werden. Hierfür wurde in [20] ein entsprechender Ablauf entwickelt, der ausgehend vom maßgebenden Schaden erforderliche Maßnahmen ermittelt und evtl. erforderliche Kombinationen am selben Bauteil definiert.

#### 3.4.4.5 Minimierung der Verkehrslenkung

In [17] wurde auf das zu erwartende Einsparungspotenzial durch Durchführung gebündelter Maßnahmen unter derselben Verkehrslenkung hingewiesen. Dem Aspekt einer möglichst geringen Verkehrsbeeinträchtigung kommt bei der Wahl von Instandsetzungsmaßnahmen große Bedeutung zu. Um dies zu berücksichtigen, wurde in [20] ein Ablauf entwickelt, um mit derselben Verkehrslenkungsmaßnahme unter evtl. Restriktionen im Umfang der Verkehrslenkung bauteilübergreifend möglichst viele Schäden instand zusetzen.

#### 3.4.4.6 Bündelung von gleichen Maßnahmen an verschiedenen Bauteilen

Eine weitere Strategie bei der Wahl von Maßnahmen ist die Bündelung gleicher Maßnahmen an verschiedenen Bauteilen, dies ergibt den Vorteil einer nur einmal erforderlichen Baustelleneinrichtung für das entsprechende Gewerk. Hierfür erfolgt ein entsprechender Abgleich der Bauteile unter Berücksichtigung des Eingreifzeitpunkts und der Verkehrslenkung (siehe [20]).

### 3.5 Bereitzustellende Informationen

Das Programmsystem SIB-Bauwerke wird dahingehend erweitert, die von den nachfolgenden Bewertungsverfahren benötigten Informationen zusammenzustellen. Dabei handelt es sich zum einen über Bauwerksdaten (Art, geometrische Größen, Lage, Alter, Tragfähigkeit, DTV), Daten aus den Ergebnissen der Bauwerksprüfung (Schadensbeschreibung und -bewertung) sowie Angaben, die aus Straßendatenbanken ermittelt werden (Alternativrouten).

Zum anderen sind mit Hilfe der in Kapitel 3 dargestellten Verfahren abgeleitete Informationen zu ermitteln: mögliche Maßnahmevarianten mit Angabe der Zeitdauer, der Kosten der Maßnahmen und der Verkehrsführungen sowie der Auswirkungen der Maßnahmen mit Bezug auf Rücksetzwert und zukünftiges Verhalten.

Die Gruppe der Maßnahmevarianten umfasst alle möglichen Bündelungen und Zusammenfassungen von Einzelmaßnahmen sowie die möglichen Zeitpunkte zur Durchführung der Maßnahmen im Rahmen der festgelegten Eingreifintervalle.

Grundsätzlich sind zunächst auch die Varianten „Nichts-tun“ und „Ersatz des geschädigten Bauteils“ sowie „Ersatz des Gesamtbauwerks“ zu berücksichtigen, auch wenn diese Varianten aus übergeordneter Sicht als nicht zielführend bewertet werden. Die Informationen zur Variante „Nichts-tun“ werden in jedem Fall von den anschließenden Bewertungsverfahren als Vergleichsgröße benötigt. Alle anderen Varianten können vom Bearbeiter in begründeten Fällen gestrichen werden. Darüber hinaus erhält der Bearbeiter die Möglichkeit, in begründeten Fällen die abgeleiteten Informationen anzupassen sowie gegebenenfalls Maßnahmevarianten zu setzen.

Diese Vorgehensweise steht mit den Forderungen von Bund und Ländern im Einklang, nach denen ein BMS nur Empfehlungen liefern soll und in keinem Fall Entscheidungen selber trifft. Bedeutsam ist aber, dass Änderungen nur in begründeten Fällen durchgeführt werden sollen, da andernfalls die Forderung nach einheitlichen Planungsverfahren durchbrochen wird.

## 4 Verfahren zur Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen auf Objektebene

### 4.1 Allgemeines

Die Ausrichtung des Verwaltungshandelns nach dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit erfordert die bestmögliche Nutzung der vorhandenen Personal-, Sach- und Finanzmittel. In der Sprache der Ökonomie bedeutet dies, entweder ein bestimmtes Ergebnis mit möglichst geringem Einsatz von Mitteln oder bei einem bestimmten Einsatz von Mitteln das jeweils bestmögliche Ergebnis zu erreichen (ökonomisches Prinzip).

Im Rahmen von Neubaumaßnahmen im Straßenbau sind nach der Bundeshaushaltsordnung für Maßnahmen mit erheblicher finanzieller Bedeutung gesamtwirtschaftliche Verfahren in Form von Kosten/Nutzen-Untersuchungen durchzuführen. Erhaltungsausgaben sind Investitionen in das Anlagevermögen des Bundes und stellen eine langfristige

Anlage von Kapital in Sachgüter dar. Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen sind daher auch für Erhaltungsinvestitionen erforderlich und dabei insbesondere für die Planung von Erhaltungsprogrammen.

Wirtschaftlich ist eine Maßnahme nicht schon dann, wenn die Baukosten möglichst gering sind. Vielmehr sind für einen definierten Betrachtungszeitraum alle relevanten Folgen einer Entscheidung aufzuzeigen. Das Ziel der systematischen Straßenerhaltung ist Nachhaltigkeit. Dieses Ziel ist verbunden mit höchstmöglichem Gebrauchswert, minimalen gesamtwirtschaftlichen Kosten und höchstmöglicher Umweltverträglichkeit. Für Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen sind diese Teilziele gleichzusetzen mit dem Erreichen eines akzeptablen Zustands-, Leistungs-, Sicherheits- und Umweltschutzniveaus bei minimalen gesamtwirtschaftlichen Kosten (vgl. Kapitel 2.1).

Um diese Ziele zu erreichen, müssen geeignete Instrumentarien entwickelt werden, die den Nutzen geplanter Maßnahmen messbar und vergleichbar machen. Für die Beurteilung von Investitionen in den Neubau und Ausbau von Verkehrswegen liegen derartige Instrumentarien seit geraumer Zeit vor. Zwei Verfahren sind dabei von herausragender Bedeutung:

- Der Bundesverkehrswegeplan (BVWP) als gesetzliche Grundlage für den Neubau und Ausbau der Verkehrswege im Bereich des Bundesfernstraßennetzes. Beinhaltet ist ein monetäres Bewertungsverfahren, bei dem die Kosten des Baus dem damit erzielbaren gesamtwirtschaftlichen Nutzen gegenübergestellt werden [26]. Das Verfahren gilt für die Verkehrszweige Eisenbahn, Straße und Binnenschifffahrt.
- Die Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen – EWS [12]. Darin werden einheitliche Grundsätze für die volkswirtschaftliche Beurteilung von Straßenbauinvestitionen festgelegt, nach denen diese Investitionen untereinander verglichen werden können. Die Empfehlungen sind eine Spezialisierung der BVWP und stellen eine Aktualisierung der „Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen“ (RAS-W) [27] dar.

Die genannten Bewertungsverfahren dienen dazu, Investitionsvorhaben zu beurteilen und Handlungsalternativen aus volkswirtschaftlicher Sicht zu ver-

gleichen. Angewendet werden Kosten-Nutzen-Analysen, bei denen sowohl der Aufwand als auch der Nutzen einer Maßnahme monetär ausgewiesen wird. Für die Beurteilung werden der Kosten-Nutzen-Quotient und die Kosten-Nutzen-Differenz herangezogen. „Kosten“ sind dabei stets die Aufwendungen des Baulastträgers, „Nutzen“ die Kosteneinsparungen beim Nutzer und bei Dritten gegenüber dem Unterlassen von Maßnahmen.

Für Erhaltungsmaßnahmen existiert bislang kein monetäres Bewertungsverfahren, das in gleicher Weise gestattet, Aufwendungen und Wirkungen der Straßen- und Bauwerkserhaltung gegenüberzustellen. Das Erfordernis, auch hierfür ein standardisiertes Verfahren zur Verfügung zu stellen, steht in engem Zusammenhang mit dem Aufbau des BMS und des PMS. Diese Managementsysteme sollen die Baulastträger in die Lage versetzen, Erhaltungsziele und -strategien systematisch und nach einheitlichen Kriterien umzusetzen. Für die Auswahl von Maßnahmevarianten bei der Erhaltungsplanung und für die Dringlichkeitsreihung von objektbezogenen Maßnahmen innerhalb einer netzbezogenen Erhaltungsplanung sind Verfahren einer vergleichenden Bewertung unabdingbar.

Der Nachweis des Nutzens von Erhaltungsmaßnahmen mit einem zu den Bewertungsverfahren des BVWP bzw. der EWS kompatiblen Verfahren kann eine Abwägung unterstützen, wie die gesamten verfügbaren Finanzressourcen aufgeteilt werden sollen. Damit ist eine Aufteilung der für die Verkehrswege vorgesehenen Finanzmittel zwischen Neu- und Ausbaumaßnahmen einerseits und Erhaltungsmaßnahmen andererseits möglich.

Das Ziel der Untersuchungen in [21] und [25] bestand darin, für das BMS einen ökonomischen Bewertungsbaustein für Erhaltungsmaßnahmen an Ingenieurbauwerken im Zuge von Straßen zu entwickeln. Das Bewertungsverfahren soll die Abschätzung der monetären Konsequenzen ermöglichen, die sich bei der Anwendung unterschiedlicher Maßnahmen zur Bauwerkserhaltung und bei verzögerter oder unterlassener Durchführung von Maßnahmen ergeben.

Der Bewertungsbaustein wurde so gestaltet, dass er in seiner Grundstruktur zum Bewertungsverfahren der BVWP und zu den EWS kompatibel ist. Das Bewertungsverfahren ist so weit wie möglich mit Bewertungsverfahren für den Neu- und Ausbau harmonisiert. Gleichzeitig wurde angestrebt, wegen der Kontinuität des Verkehrsweges eine Kom-

patibilität mit dem Bewertungsverfahren für die Straßenerhaltung zu erreichen.

Das langfristige Leitziel dieses Ansatzes besteht darin, Entscheidungen über die Mittelverwendung für alle Bereiche des Straßen- und Brückenbaus sowie der zugehörigen Erhaltung auf eine vergleichbare Grundlage zu stellen.

Im Folgenden werden die zu berücksichtigenden ökonomischen Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen, wie sie ermittelt werden, sowie das anschließende Bewertungsverfahren erläutert.

## 4.2 Ökonomische Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen

### 4.2.1 Kostenkomponenten

#### 4.2.1.1 Allgemeines

Ein wesentlicher Aspekt der ökonomischen Wirkungen sind die Kosten der Erhaltungsmaßnahme. Diese Kostenbestandteile werden mit Hilfe des Kostenkataloges nach Kapitel 3.3 ermittelt. Zusätzliche, den Investitionsmaßnahmen zuzurechnende Kosten für Grunderwerb, für Entschädigung, für Ausgleichsmaßnahmen und für das Errichten von Lärmschutzeinrichtungen sind nur für Straßenneubau und -ausbau relevant, nicht aber für Erhaltungsmaßnahmen und bleiben demzufolge unberücksichtigt.

#### 4.2.1.2 Kosten für bauliche Unterhaltung

Bei den EWS werden die laufenden Kosten für die betriebliche und die bauliche Unterhaltung der Straße als Kostenkomponenten behandelt. Zur baulichen Unterhaltung zählen Sofortmaßnahmen und Maßnahmen kleineren Umfangs sowie Arbeiten zur Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft, unter die auch Kontrollarbeiten fallen. Dabei werden die in Tabelle 8 genannten Kostensätze als lau-

Bauwerk	Kosten der baulichen Unterhaltung
Brücken BAB	300.000 DM/(km * a)
Brücken außerhalb und innerhalb geschlossener Ortschaften	150.000 DM/(km * a)
Tunnel BAB (2 Röhren)	500.000 DM/(km * a)
Tunnel außerhalb und innerhalb geschlossener Ortschaften (1 Röhre)	300.000 DM/(km * a)

**Tab. 8:** Kosten der betrieblichen und baulichen Unterhaltung für Brücken und Tunnel nach EWS



fende Kosten für die bauliche Unterhaltung in Ansatz gebracht (Preisstand 01.01.1995).

Aktuelle Überlegungen im Rahmen der PMS-Entwicklung deuten darauf hin, dass zukünftig auch die bauliche Unterhaltung Berücksichtigung finden soll. Konsequenterweise ist sie dann auch im BMS zu berücksichtigen.

Da die volkswirtschaftliche Bewertung auf der Basis von Wettbewerbspreisen den Wert beanspruchter Ressourcen widerspiegeln soll, darf ebenso wie bei der Bewertungsmethodik der BVWP und in den EWS die Mehrwertsteuer nicht berücksichtigt werden. In der Erhaltungspraxis wird jedoch das Ausweisen der Mehrwertsteuer verlangt. Deshalb soll die Berechnung der Kosten sowohl ohne als auch mit Mehrwertsteuer verfolgt werden, um sowohl einer methodisch korrekten volkswirtschaftlichen Untersuchung als auch den Informationsanforderungen der Anwender gerecht zu werden.

#### 4.2.1.3 Kosten für Erneuerung/Ersatzneubau

Ein Ersatzneubau ist zielführend, wenn dauerhafte Instandsetzungen nicht mehr möglich sind oder gegenüber einem Ersatzneubau unwirtschaftlich wären. Seine Kapazität entspricht der des Vorgängerbauwerkes.

Die Entscheidung über die Erhaltungswürdigkeit eines Bauwerks schließt die Untersuchung des Falles ein, dass anstelle einer Instandsetzungsmaßnahme ein Ersatzbau in Frage kommt. In diesem Fall ist zu berücksichtigen, dass das Abbruchmaterial möglicherweise einer Wiederverwendung zugeführt wird. Die dabei erzielbaren Einnahmen werden als negative Kosten verbucht.

Geht der Ersatzneubau mit einer kapazitätserweiternden Verbreiterung der Brücke einher, ist davon auszugehen, dass für die an das Brückenbauwerk angrenzenden Straßenabschnitte ebenfalls eine Verbreiterung vorgesehen ist, es sich somit um eine Ausbaumaßnahme handelt, die entweder mit dem Verfahren der Bundesverkehrswegeplanung oder mit den EWS volkswirtschaftlich bewertet wird. Dabei ist die Maßnahme, die sich auf die Brücke bezieht, mit in die Bewertung integriert.

In Parallelität zur Systematik der Straßenerhaltung wird ein Ersatzbau zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit als Erweiterung eingestuft.

#### 4.2.1.4 Kosten der Bauwerksprüfung

Zu den Bauwerksprüfungen zählen halbjährliche laufende Beobachtungen, jährliche Besichtigungen, Hauptprüfungen im Abstand von 6 Jahren, einfache Prüfungen im Abstand von 3 Jahren nach einer Hauptprüfung und Prüfungen aus besonderem Anlass. Die Kosten der Routineprüfungen setzen sich zusammen aus den Bestandteilen Personalkosten für den Prüfrupp und die Verwaltung, anteilige Kosten für die Ausrüstung sowie Kosten für die Verkehrssicherung. Verfahren zur Berechnung der Kosten einer Hauptprüfung in Abhängigkeit von der Brückenfläche sind [28] zu entnehmen.

Bauwerksprüfungen sind Kontrollmaßnahmen, die analog dem PMS nicht in das BMS integriert werden sollen. Als Ausnahme sind Prüfungen aus besonderem Anlass anzusehen, wenn bestimmte Erhaltungsmaßnahmen dazu führen, dass eine objektbezogene Schadensanalyse erforderlich wird.

#### 4.2.1.5 Restwert des Bauwerkes

Beim BVWP-Verfahren und in den EWS wird von vorgegebenen Abschreibungszeiträumen ausgegangen, die Kosten werden in Annuitäten umgerechnet. Während des Abschreibungszeitraumes und damit auch während des Bewertungszeitraumes wird volle Funktionsfähigkeit der Straße unterstellt. Demgegenüber kann sich der Bewertungsgegenstand beim BMS je nach Erhaltungsmaßnahme am Ende eines zu definierenden Bewertungszeitraumes in völlig unterschiedlichem Zustand befinden. Um die Vergleichbarkeit von Maßnahmen auf Objektebene und auf Netzebene zu gewährleisten, ist es erforderlich, den Zustand des Bewertungsobjektes am Ende des Bewertungszeitraumes zu bewerten. Die Bewertung einer Erhaltungsmaßnahme konzentriert sich auf die Kosten und Wirkungen der Maßnahme innerhalb eines definierten Bewertungszeitraumes.

Aus technischer Sicht existieren zur Behebung eines Schadens häufig mehrere zielführende Maßnahmevarianten. Unterschiedliche Erhaltungsmaßnahmen zur Behebung ein und desselben Schadens können eine unterschiedliche Rücksetzung der Zustandszahl sowie eine differenzierte Schadensentwicklung nach erfolgter Maßnahme bewirken. Zudem hängt der Zustand am Ende des Bewertungszeitraumes davon ab, in welchem Jahr des Maßnahmezeitraumes die Erhaltung durchgeführt wird (siehe Kapitel 3.3). Für den Vergleich von Maß-

nahmevarianten ist daher eine monetäre Bewertung der noch vorhandenen Ressource vorzunehmen. Als Ergebnis wird der so genannte Restwert ausgewiesen. Er kann als fiktive Einnahme am Ende des Bewertungszeitraumes interpretiert werden, wenn es gelänge, die noch vorhandene Ressource zu verkaufen.

Alternativ dazu kann der Wertverlust des Bauteiles als Indikator für die Wirkung unterschiedlicher Maßnahmevarianten herangezogen werden. Der Wertverlust wird als fiktive Baulastträgerkosten interpretiert, die notwendig sind, um am Ende des Bewertungszeitraumes wieder ein Bauteil, eine Bauteilgruppe oder ein Bauwerk auf ein definiertes Zustandsniveau zu bringen.

In jedem Fall geht am Ende des Bewertungszeitraumes rechnerisch der gleiche Zustand des betreffenden Bauwerkes, Bauteiles oder der Bauteilgruppe in die Bewertung ein. Je höher die dafür aufzubringenden Kosten sind, um so höher war der Wertverlust und um so niedriger ist der Restwert der vorliegenden Substanz des Bauwerkes.

In [21] wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem der Wertverlust eines Bauteiles, einer Bauteilgruppe bzw. eines Bauwerkes anhand des prognostizierten Zustandes am Ende des Bewertungszeitraumes ermittelt werden kann. Grundlage dafür sind die prognostizierten Zustandszahlen  $Z_{ikn}$  für Schäden  $i$  am Bauteil  $k$  im letzten Jahr  $n$  des Bewertungszeitraumes, wenn die Erhaltungsstrategie  $E_s$  verfolgt wurde. Davon ausgehend werden zwei Möglichkeiten für die Berechnung des Wertverlustes eines Bauteiles bei Verfolgen der Erhaltungsstrategie  $E_s$  vorgeschlagen:

- Die Bezeichnung  $z$  wird für die Anzahl der am Ende des Bewertungszeitraumes ( $n$ -tes Jahr) zu erwartenden Einzelschäden  $i$  am Bauteil  $k$  verwendet. Der Relativwert, der die Abweichung des Bauteilzustandes vom Bestzustand am Ende des Bewertungszeitraumes widerspiegelt, wenn die Strategie  $E_s$  verfolgt wird, ist:

$$R_{kns} = \frac{\sum_{i=1}^z [\min(Z_{ikn/E_s}; 3,4) - 1]}{z * (3,4 - 1)} \quad (6)$$

mit  $s = 1$  (1) S

Dieser Relativwert wird genutzt, um die Kosten abzuschätzen, mit denen das Bauteil wieder in den Bestzustand versetzt wird. Er dient als Fak-

tor für die Kosten  $K_{WWk}$ , die erforderlich sind, um bei Vorliegen einer Zustandszahl von 3,4 für alle Schäden das Bauteil  $B_k$  wieder in den Bestzustand zu versetzen.

Die Restkosten  $K_{Rest,k,s}$  bei Verfolgen der Erhaltungsstrategie  $E_s$  betragen dann

$$K_{REST,k,s} = K_{WWk} * R_{kns} \quad (7)$$

mit  $s = 1$  (1) S

- Wenn die Schadensprognose für das Ende des Bewertungszeitraumes mehrere Schäden unterschiedlicher Ausprägung an ein und dem selben Bauteil liefert, kann der Restwert nicht nach (6) ermittelt werden. Schäden mit einer geringen Bewertung nach  $S$ ,  $V$ ,  $D$  und einer niedrigen Zustandszahl  $Z_{ikn}$  führen dazu, dass der Einfluss schwerer prognostizierter Schäden in (6) reduziert wird.

Aus diesem Grund wird folgende Beziehung vorgeschlagen. Dabei orientiert sich der Relativwert am größten prognostizierten Schaden eines Bauteils:

$$R_{kns} = \frac{\min[\max(Z_{i,s}); 3,4] - 1}{3,4 - 1,0} \quad (8)$$

mit  $s = 1$  (1) S

Der Relativwert wird folglich anhand desjenigen prognostizierten Schadens an einem Bauteil ermittelt, der die größte Zustandszahl liefert. Für die Berechnung der Restkosten gilt wiederum (7).

#### 4.2.1.6 Kapitalisierung von Kosten und Nutzen

Um Zahlungen vergleichbar zu machen, sind nach dem allgemeinen finanzmathematischen Ansatz der Investitionsrechnung die Auszahlungen (Investitionen) und Einzahlungen (Nutzen) auf einen einheitlichen Bezugszeitpunkt auf- bzw. abzuzinsen. Je länger der Bewertungszeitraum ist, um so unbedeutender wird der Restwert des Bauwerkes im gesamtwirtschaftlichen Vergleich von Erhaltungsstrategien. Problematisch ist auch, dass bei oberflächlicher Betrachtung Maßnahmen in fernerer Zukunft durch das Abzinsen kostengünstiger erscheinen und deshalb präferiert werden könnten.

In der Forschung gibt es derzeit unterschiedliche Auffassungen zur Diskontierung bei Investitionsrechnungen, bei denen der Staat als Investor auf-

tritt. Gegenwärtig erfolgt beim PMS keine Diskontierung von Kosten und Nutzen. Auch bei der Standardprognose des Erhaltungsbedarfs der Fernstraßeninfrastruktur werden die erforderlichen Finanzmittel für den Erhaltungsbedarf der einzelnen Jahre in der zu diesen Zeiträumen anfallenden Höhe ausgewiesen.

Inwiefern eine Kapitalisierung von Kosten und Nutzen dem gewollten Effekt, am Ende des Bewertungszeitraumes ein möglichst intaktes Bauwerk vorzufinden, entgegensteht, wird im Zusammenhang mit abschließenden Überlegungen zur Restwertbestimmung im Rahmen einer Studie derzeit näher untersucht [32].

## 4.2.2 Nutzelemente

### 4.2.2.1 Allgemeines

Unterlassene Maßnahmen sowie die Durchführung von Baumaßnahmen zwingen die Straßennutzer zu Verhaltensänderungen, die aus angeordneten Verkehrseinschränkungen bis hin zur Sperrung des Verkehrsweges mit Ausweichen auf Alternativrouten resultieren. Dritte werden durch veränderte Schadstoff- und Lärmbelastung im Zuge der Nutzung von Alternativrouten beeinträchtigt. Nach durchgeführter Maßnahme werden die Einschränkungen in der Regel zurückgenommen, so dass für den Straßennutzer und Dritte ein Nutzen der Maßnahme entsteht.

Als Nutzenkomponenten werden die Fahrzeugbetriebskosten, die Zeitkosten und die Unfallkosten in die Wirtschaftlichkeitsberechnung einbezogen. Ihre Summe entspricht den Straßennutzerkosten. Die Berechnung dieser Kosten erfolgt in den entwickelten Verfahren nach den EWS. Notwendige Ergänzungen und Besonderheiten des Rechenganges sind in Anlagen zum Schlussbericht zu [21] dargestellt. Insbesondere wird darin auf die Kosten der Straßennutzer und Dritter infolge von Stau während der Baumaßnahme und auf veränderte Kosten von Straßennutzern und Dritten in Abhängigkeit von der Zustandsveränderung des Bauwerkes nach Durchführung von Maßnahmen oder bei Verfolgen der Strategie „Nichts-tun“ eingegangen.

### 4.2.2.2 Mengengerüst

Unter dem Mengengerüst eines Bewertungsverfahrens werden alle Mengenangaben verstanden, die nach Multiplikation mit Kostensätzen zu Aussagen über Kostenkomponenten und Nutzenkomponenten des Bewertungsverfahrens führen.

Zum Mengengerüst gehören zunächst alle Daten, die das Bauwerk beschreiben, d. h. Bauwerksdaten nach ASB, Zustandsdaten und Zustandsprognosen (siehe Kapitel 3.4).

Bei der Ermittlung des Nutzens von Erhaltungsmaßnahmen ist außerdem der durchschnittliche tägliche Verkehr DTV die fundamentale Größen auf der die Ermittlung des Nutzens nachweist basiert.

Weiterhin ist die Angabe der Alternativrouten erforderlich. Alternativrouten sind derzeit nicht Bestandteil der ASB und somit in den Bauwerksdaten nicht enthalten. Angaben zu Alternativrouten finden sich hingegen in der Regel in den Straßeninformationsbanken der Länder. Derzeit wird eine Verknüpfung zwischen SIB-Bauwerke und Straßeninformationsbanken realisiert. Damit werden Informationen über Alternativrouten verfügbar.

Sowohl im BVWP-Verfahren als auch in den EWS wird detailliert angeführt, für welche Fahrzeuggruppen (Pkw, Lastkraftwagen, Last- und Sattelzüge, Busse) und mit welchem Zeitbezug (Normalwerktag, Urlaubswerktag, Sonn- und Feiertag) der DTV als Verkehrsnachfrage im Bewertungszeitraum zu ermitteln ist. Unterschiede zwischen den Verfahren bestehen in der anteiligen Aufteilung der Stunden eines Jahres nach Normal- und Urlaubswerktagen sowie nach Sonn- und Feiertagen. Auf dem DTV basieren weitere wichtige Größen des Mengengerüsts, u. a.:

- Geschwindigkeiten im Pkw- und im Güterverkehr während der einzelnen Zeitabschnitte,
- Fahrleistung nach Fahrzeuggruppen auf den einzelnen Straßenabschnitten,
- Kraftstoffverbrauch nach Fahrzeuggruppen auf den einzelnen Straßenabschnitten,
- Schadstoffausstoß,
- Lärmpegel.

Es kann einerseits nicht prinzipiell davon ausgegangen werden, dass die Bauwerksdaten DTV-Werte in der Form enthalten, wie sie für die EWS gefordert werden. Andererseits sollen durch die Integration einer volkswirtschaftlichen Bewertung in ein BMS möglichst keine zusätzlichen Datenanforderungen gestellt werden. Deshalb wird hier vorausgesetzt, dass einer der beiden Fälle für vorhandene Verkehrsdaten zutrifft:

- Die jahresbezogene durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge für den Gesamtverkehr aller Tage des Jahres und der prozentuale Anteil des Güter- und Busverkehrs [%] sind bekannt oder
- die jahresbezogene durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge für den Gesamtverkehr an Normalwerktagen und der zugehörige prozentuale Güterverkehrsanteil, Anteil des Güter- und Busverkehrs, sind bekannt.

Daraus können die erforderlichen DTV-Werte durch einen Algorithmus berechnet werden. Die Berechnung der nach Fahrtzweckgruppen unterschiedenen DTV-Werte hängt von Parametern ab, die für die Alten Bundesländer sowie für deren Gesamtheit in den EWS gesondert ausgewiesen sind. Es fehlen jedoch entsprechende Parameter für die Neuen Bundesländer sowie für deren Durchschnitt und für einen gesamtdeutschen Durchschnitt. Solange diese Parameter nicht vorliegen, sind aus Parallelen zum Verkehrsgeschehen Rückschlüsse zu ziehen, um für alle Bundesländer die geforderten DTV-Werte bereitzustellen. Die Einzelheiten des Berechnungsverfahrens sind im Hintergrundbericht 1 zu [25] dargestellt.

Der Bewertungszeitraum umfasst eine Zeitspanne, in der sich das Verkehrsaufkommen verändern wird. Für Entscheidungen zu Erhaltungsmaßnahmen an Bauwerken kann die Entwicklung des Verkehrsaufkommens durchaus Einfluss auf die Maßnahmeauswahl und den Eingreifzeitpunkt haben. Ist die Zustandsentwicklung in starkem Maße von der Verkehrsbelastung abhängig (dies gilt insbesondere für den Anteil des Schwerverkehrs), dann wird bei gleicher Zustandsbewertung zweier Bauwerke und gleicher Verkehrsbelastung zuerst an demjenigen Bauwerk eine Erhaltungsmaßnahme vorgeschlagen, bei dem der stärkere Zuwachs des DTV bzw. des Schwerverkehrsanteils zu erwarten ist. Ein Vorschlag zur Vorhersage des Verkehrsaufkommens ist [25] zu entnehmen.

#### 4.2.2.3 Alternativrouten

Gegenüber den Verhältnissen bei der Straßenerhaltung sind die meisten Bauwerksschäden bis auf Fahrbahnschäden und Schäden an Übergangskonstruktionen für den Straßennutzer nicht wahrnehmbar, so dass er sich zu keiner Verhaltensänderung aus freier Entscheidung gezwungen sieht. Die Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit aufgrund von Bauwerksschäden an

Brücken wird den Straßennutzer ebenfalls nicht auf eine Alternativroute ausweichen lassen, weil in der Regel die Länge der Brücke nur einen Bruchteil der Gesamtstrecke vom Abzweig der Alternativroute bis zum Wiedereinmünden ausmacht. Aus diesen Gründen kann im BMS nicht dem Konzept des PMS gefolgt werden, einen Umwegfaktor zu definieren, mit dem die Anzahl der Pkw und der Fahrzeuge des Güterverkehrs, die aus freier Entscheidung die Alternativroute gewählt haben, berechnet wird.

Sind in die Bewertung Alternativrouten einzubeziehen, sind für die Bewertung die Strecke zwischen den Anschlussknoten der Alternativroute und die zugehörige Verkehrsmenge relevant. Bei Autobahnen kann davon ausgegangen werden, dass die Alternativroute an den beiden Anschlussstellen abzweigt bzw. einmündet, zwischen denen sich das Brückenbauwerk befindet. Dann sind auf der gesamten Strecke, die zwischen Anschlussknoten der Alternativroute liegt, der DTV-Wert und GV-Anteil konstant.

Bei Brücken von Bundesstraßen liegen zwischen den Anschlussknoten der Alternativroute in der Regel weitere Netzknoten und damit Quellen und Senken des Verkehrsaufkommens, so dass unterschiedliche DTV-Werte und GV-Anteile für die Straßenabschnitte zwischen den Anschlussknoten zu erwarten sind. Wird die Alternativroute befahren, dann tritt auf der ursprünglichen Route mit dem zu bewertenden Bauwerk möglicherweise eine Verkehrsentslastung auf Teilabschnitten ein.

Alternativrouten werden infolge von Verkehrserschwernissen bei der Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen an Brücken von den Straßennutzern freiwillig gewählt oder sie werden durch erzwungenes Verhalten (Beschränkung des zulässigen Gesamtgewichtes, Beschränkung der Höhe, Breite oder Länge eines Fahrzeuges) befahren. Alternativrouten stehen weiterhin in engem Zusammenhang mit dem „Nichts-tun“-Fall, bei dem innerhalb des Bewertungszeitraumes theoretisch ein Zustand entstehen kann, der Verkehrsbeschränkungen oder die Sperrung der Brücke zur Folge hat. Zur Berechnung des DTV-Wertes für Alternativrouten siehe [25].

Die Erfahrungen bei der Anwendung der EWS für den Straßenneubau und -ausbau sowie für Ortsumgehungen deuten darauf hin, dass bei der Ermittlung des Nutzens einer Investitionsmaßnahme die Nutzenkomponenten Fahrzeit, Betriebskosten,

Unfallgeschehen und Lärmbelastung den Hauptteil des monetären Nutzens bringen [25].

Während der Erhaltungsmaßnahme sind Verkehrserschwerisse bis hin zur zeitweiligen Sperrung einer Brücke die Ursache für veränderte Kosten der Straßennutzer. Verbleiben die Fahrzeuge trotz Behinderung auf der das betreffende Bauwerk enthaltenden Route, dann sind zumindest die Zeitkosten, Betriebskosten und Unfallkosten in die Bewertung einzubeziehen. Zeitkosten und Betriebskosten hängen von der Beeinflussung der Geschwindigkeit im Zuge der Baumaßnahme ab. Die Unfallrate im Baustellenbereich ist in der Regel größer als bei unbehinderter Fahrt.

Die Lärmbelastung, die mit verringerter Geschwindigkeit sinkt, hat im Baustellenbereich in der Regel abnehmende Tendenz. Wird sie nicht als Nutzenkomponente ausgewiesen, so wird der Nutzen auf keinen Fall überschätzt, sondern höchstens unterschätzt. Dagegen sinken die Schadstoffkosten zunächst mit abnehmender Geschwindigkeit, um dann wegen des erhöhten Schadstoffausstoßes bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten anzusteigen.

Weichen die Fahrzeuge während der Erhaltungsmaßnahme oder als Ergebnis einer Sperrung auf Alternativrouten aus, verändern sich neben den Straßennutzerkosten auch die Lärmbelastungen der Anwohner, sobald die Alternativrouten Innerortsstraßen enthalten. Der erforderliche Datenumfang ist allerdings derzeit in Datenbanken nicht abgedeckt, so dass eine Berücksichtigung nicht möglich ist. Das Gleiche gilt auch für die Berücksichtigung der Belastung von Menschen und Bauten durch Luftschadstoffe.

Im Gegensatz dazu reichen die Informationen, mit denen die Betriebs- und Zeitkosten berechnet werden, aus, um den Nutzen aus veränderter Schadstoffbelastung der Vegetation und veränderter Klimabelastung zu berechnen.

Im Rahmen des Bewertungsverfahrens erfolgt eine Konzentration auf die Nutzenkomponenten

- Betriebskosten,
- Zeitkosten,
- Unfallkosten,
- Schadstoffkosten aus Belastung der Vegetation und des Klimas.

#### 4.2.2.4 Wertgerüst

Für das Bewertungsverfahren der BVWP und für die EWS ist jeweils ein Wertgerüst vorgegeben, das aus Kostensätzen zur Berechnung von laufenden Kosten (betriebliche und bauliche Unterhaltung) sowie aus Kostensätzen für alle Nutzenkomponenten besteht. Durch die verfahrensseitige Vorgabe dieser Kostensätze ist gewährleistet, dass Maßnahmen, die sich auf unterschiedliche Objekte beziehen, hinsichtlich ihrer volkswirtschaftlichen Bewertung miteinander vergleichbar sind. Die wesentlichen Komponenten des Wertgerüsts sind unter Berücksichtigung des erforderlichen Mengengerüsts:

- Betriebskostensätze,
- Zeitkostensätze,
- Unfallkostensätze,
- Kostensatz zur Bewertung der Klimabelastung (nur EWS).

Im Bewertungsverfahren werden zunächst die Angaben der EWS übernommen, da sie im Gegensatz zu den Verfahren der BVWP vollständig dokumentiert sind. In Zukunft ist hier jedoch Abstimmungsbedarf gegeben.

Von den empfohlenen Nutzenkomponenten sind die Fahrzeugbetriebskosten, die Zeitkosten sowie die Schadstoffkosten aus Belastung der Vegetation und des Klimas abhängig von der Geschwindigkeit der Fahrzeuge.

Für die Berechnung der Fahrzeuggeschwindigkeit ist der durchschnittliche tägliche Verkehr an Normalwerktagen, Urlaubswerktagen sowie Sonn- und Feiertagen die entscheidende Komponente. Er ist in Abhängigkeit vom Straßentyp in stündliche Verkehrsstärken des Gesamtverkehrs und der Güterverkehrsfahrzeuge umzurechnen.

In die Nutzenberechnung von Erhaltungsmaßnahmen sollen auch diejenigen Kosten integriert werden, die dem Straßennutzer und Dritten infolge der Einrichtung von Baustellen während der Erhaltungsmaßnahme entstehen. Die Ermittlung der Geschwindigkeiten im Baustellenbereich wird ausführlich im Hintergrundbericht 3 zu [25] erläutert.

Die Fahrzeugbetriebskosten setzen sich aus einem nahezu geschwindigkeitsunabhängigen Betriebskostengrundwert und den geschwindigkeitsabhängigen Kraftstoffverbrauchskosten zusammen. Die

Betriebskostengrundwerte und Kraftstoffkostensätze sind der EWS zu entnehmen.

Die Zeitkosten ergeben sich aus dem auf die Fahrzeuggruppe bezogenen Zeitkostensatz und aus den Fahrzeugstunden auf den betrachteten Streckenabschnitten (siehe [12]).

Ausgangspunkt für die Kosten, die infolge der Belastung der Vegetation durch Luftschadstoffe der Allgemeinheit (Dritten) entstehen, sind die Emissionsfaktoren in der Warmfahrt. Sie geben an, welche Schadstoffmenge durch die Fahrt eines Kraftfahrzeuges über 1 km entsteht. Als Schadstoffarten werden  $\text{NO}_x$ , CO, HC,  $\text{SO}_2$  und Partikel berücksichtigt (siehe [12]).

Kosten für die Klimabelastung werden aus dem Kraftstoffverbrauch an Benzin und Dieselmotorkraftstoff berechnet und sind somit geschwindigkeitsabhängig. Der Kraftstoffverbrauch wird mittels Umrechnungsfaktoren in ausgestoßene  $\text{CO}_2$ -Mengen umgerechnet, die mit einem Kostensatz von 180 DM/(t  $\text{CO}_2$ ) multipliziert werden, um die Kosten für Dritte zu erhalten (siehe [12]).

Die Unfallkosten nach den EWS hängen vom Straßentyp, dem durchschnittlichen täglichen Verkehr DTV und der Länge der zu betrachtenden Straßenabschnitte ab. In den EWS sind die Unfallraten getrennt nach Personen- und Sachschäden sowie die Unfallkostensätze für alle Straßentypen zusammengestellt. Daraus leiten sich die Unfallkostenraten und die Unfallkostendichten ab.

Die veränderte Verkehrsführung im Baustellenbereich wirkt sich auf das Unfallgeschehen aus. In [25] wird vermerkt, dass im Mittel das Unfallgeschehen bereits 2 km vor der Baustelle und noch bis zu 1 km hinter der Baustelle beeinflusst ist.

Die einzelnen Kostenkomponenten können mit in [25] angegebenen Formeln ermittelt werden.

#### 4.2.2.5 Nutzungseinschränkungen

Ein befriedigender oder noch ausreichender Zustand des Gesamtbauwerkes ( Zustandsnote 2,0 bis 2,9) kann gemäß RI-EBW-PRÜF bereits kurzfristig Warnhinweise zwecks Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit erforderlich machen. Liegt ein kritischer Bauwerkszustand vor (Zustandsnote 3,0 bis 3,4), dann können Warnhinweise zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit umgehend erforderlich sein. Bei einem ungenügenden Bauwerkszustand (Zustandsnote 3,5 bis 4,0) können neben Warnhin-

weisen zusätzlich sofort Nutzungseinschränkungen erforderlich werden.

Nutzungsbeschränkungen mit der Folge des Ausweichens eines Teiles oder aller Fahrzeuge auf eine Alternativroute werden für den „Nichts-tun“-Fall bei der Nutzerkostenberechnung berücksichtigt:

- Beschränkung des Gesamtgewichtes eines Fahrzeuges,
- Beschränkung der Abmessungen eines Fahrzeuges,
- Sperrung einer Fahrtrichtung,
- Sperrung beider Fahrtrichtungen.

Das Verbot des Fahrens ohne einen Mindestabstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug führt lediglich zu Verkehrserschwernissen, die nicht in Nutzerkostenberechnungen integriert werden. Das Gleiche gilt für die Einschränkungen „Überholverbot“, „Begrenzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit“ und „Sperrung von Fahrstreifen“.

Aussagen zu einer einschränkenden Nutzung sind erforderlich, um die Kosten der Straßennutzer im „Nichts-tun“-Fall bzw. bis zum Ergreifen einer Erhaltungsmaßnahme ermitteln zu können. Es ist noch offen, wie die Festlegung einer einschränkenden Nutzung der Brücke anhand der schadensbezogenen Zustandszahl oder/und anhand der Zustandsbewertung erfolgt. Möglich ist ein Katalog, der einen Bezug zwischen Zustandswert eines Bauteiles und der die Nutzung des Bauwerkes einschränkenden Maßnahme herstellt.

### 4.3 Verfahren zur Bewertung von Maßnahmevarianten auf Objektebene

#### 4.3.1 Allgemeines

Bewertungsverfahren auf monetärer Basis arbeiten bei der Abwägung von Maßnahmealternativen mit der Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen. Eine gesamtwirtschaftliche Kosten-Nutzen-Rechnung für Erhaltungsmaßnahmen schließt die Straßennutzerkosten und die Kosten Dritter ein.

Für die Bauwerkserhaltung stehen nicht nur Maßnahmealternativen zur Verfügung, die Maßnahmedurchführung ist zudem innerhalb eines Eingreifzeitraumes zeitlich flexibel. Daraus folgt, dass nur dynamische Verfahren der Investitionsrechnung in Betracht kommen.

Dabei sind folgende Aspekte zu beachten:

- Für die verwendeten Kostensätze ist das Jahr des Preisstandes festzulegen.
- Sämtliche Kosten und Nutzen, die in verschiedenen Jahren anfallen, sind auf einen einheitlichen Bezugszeitpunkt auf- bzw. abzuzinsen.
- Die Vergleichbarkeit von Maßnahmevarianten und ihrer Wirkungen ist dadurch zu gewährleisten, dass am Ende des Bewertungszeitraumes durch Ansatz fiktiver Maßnahmen oder durch eine Restwertbestimmung ein gleiches Zustandsniveau des betreffenden Bauwerkes, Bauteiles oder der Bauteilgruppe vorliegt.

Die gesamtwirtschaftliche Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen an Bauwerken im Zuge von Straßen soll sich an das Verfahren des BVWP und der EWS anlehnen. Dort wird die Wirkung der Maßnahme durch das Verhältnis von Nutzen zu Kosten gemessen, die beide auf einen einheitlichen Bezugszeitpunkt auf- bzw. abzuzinsen sind. Im objektbezogenen Bewertungsverfahren des BMS wird die ökonomische Wirkung der Erhaltungsmaßnahmen ebenfalls durch das Verhältnis aller Kosten des Baulastträgers zu den Nutzen der Straßennutzer und Dritter gemessen. Wie beim BVWP wird zusätzlich auch die Differenz von Kosten und Nutzen zur Information ausgewiesen.

Der Nutzen von Erhaltungsmaßnahmen wird anhand der Differenz der Straßennutzerkosten und der Kosten Dritter ausgewiesen. Dabei werden die Kosten der Straßennutzer und Dritter von den Kosten des „Nichts-tun“-Falls subtrahiert. Somit besteht der Nutzen in der Kosteneinsparung der Straßennutzer und Dritter.

In [21] wurde das Konzept der ökonomischen Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen an Brücken und sonstigen Ingenieurbauwerken präzisiert, so dass technisch sinnvolle Maßnahmen sowie der Zeitpunkt der Maßnahmedurchführung aus gesamtwirtschaftlicher Sicht bewertet werden können. Als Ergebnis entsteht eine Maßnahmereihe, die auch als Datenbasis für die Optimierung der Erhaltungsplanung auf Netzebene genutzt werden soll.

Voraussetzung für die Berechnung der Komponenten einer gesamtwirtschaftlichen objektbezogenen Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen sind:

- die Ergebnisse der Bauwerksprüfung nach RIEBW-PRÜF und die darauf aufbauende Bewertung von Mängeln und Schäden,

- das Vorliegen eines Maßnahmenkatalogs und die Kenntnis von Eingreifzeiträumen,
- die Zuordnung von Maßnahmevarianten zu vorliegenden Schäden,
- Prognosen des Bauwerkszustandes in Abhängigkeit von durchgeführten Maßnahmen und für die Strategie „Nichts-tun“.

Damit bestehen enge Beziehungen zu anderen Modulen des BMS, die in Bild 23 aufgezeigt sind.

#### 4.3.2 Planungsfall und „Nichts-tun“-Fall

Wie oben erläutert werden bei den vorgesehenen Kosten/Nutzen-Analysen für Erhaltungsmaßnahmen zwei Fälle gegenübergestellt:

- der Planungsfall zur Ermittlung der Wirkungen der zu untersuchenden Maßnahmen,
- der „Nichts-tun“-Fall zur Ermittlung der Konsequenzen des Unterlassens von Maßnahmen.

Hinsichtlich des Planungsfalls sind drei Wirkungen zu unterscheiden:

- Wirkungen auf die Straßennutzer und auf Dritte während der Durchführung der Maßnahme,
- Wirkungen auf die Straßennutzer und auf Dritte nach abgeschlossener Maßnahme,
- Wirkungen für den Baulastträger.

Im ersten Fall sind folgende Wirkungen zu integrieren:

- veränderte Verkehrsführung an Arbeitsstellen,
- Beschränkungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit vor Baustellen und
- in Baustellen,
- Überholverbote,
- Beschränkungen der zulässigen Last,
- Sperrung für bestimmte Fahrzeuggruppen,
- allgemeine Sperrung der Fahrbahn.

Die drei erstgenannten Wirkungen beeinflussen die geschwindigkeitsabhängigen Komponenten. Die anderen genannten Wirkungen zwingen dazu, Alternativrouten zu wählen. Die Angabe von Alternativrouten ist Bestandteil des Bewertungsverfahrens im Rahmen des geplanten BMS.

Unmittelbar nach abgeschlossener Erhaltungsmaßnahme kann davon ausgegangen werden, dass die Kosten des Straßennutzers ausschließlich durch den Straßentyp und durch die Verkehrsbelastung determiniert sind. Der Zustand des Bauwerkes ändert sich jedoch innerhalb des Bewertungszeitraumes und führt ggf. zu einem veränderten Verhalten der Straßennutzer aus eigener Entscheidung oder erzwungenermaßen. Dies unterscheidet den Planungsfall für Erhaltungsmaßnahmen deutlich von dem Planungsfall des BVWP-Bewertungsverfahrens und der EWS, bei denen während des gesamten Bewertungszeitraumes von einer Straße ausgegangen wird, deren Zustand dem Neubauzustand entspricht.

Die Definition des „Nichts-tun“-Falls ist für das BMS gegenüber dem BVWP-Bewertungsverfahren und den EWS problematisch. Bei Letzteren ist der Vergleichsfall identisch mit dem Unterlassen der Baumaßnahme; also ein durchaus realistischer Fall. Demgegenüber ist das Unterlassen jeglicher Erhaltungsmaßnahme als Vergleichsfall für ein BMS ab einem bestimmten physikalisch-technischen Zustand des Bauwerkes nicht mehr tolerierbar, da dann die Verkehrssicherheit und/oder die Standsicherheit des Bauwerkes gefährdet wären. Diese Situation ist, insbesondere weil es sich um Brücken von Bundesautobahnen oder Bundesstraßen handelt, nicht realistisch. Der Vergleichsfall ist im BMS in der Regel keine „Erhaltungsstrategie“ aus technischer Sicht, sondern er hat seine Bedeutung für das Verfahren der Kosten/Nutzen-Analyse. Das Vorgehen hat den Vorteil, dass alle Erhaltungsmaßnahmen zunächst an ein und derselben Vergleichsstrategie gemessen werden und diese Ergebnisse dafür genutzt werden können, unterschiedliche Erhaltungsmaßnahmen miteinander zu vergleichen.

#### 4.3.3 Maßnahmezeitraum und Bewertungszeitraum

Für die nach den EWS zu beurteilenden Investitionsmaßnahmen ist der Zeitpunkt der Verkehrsübergabe Bestandteil der Maßnahmeplanung. Für die Bewertung wird er als vorgegeben vorausgesetzt. Im Gegensatz dazu ist im Fall von Bauwerks-Management-Systemen nicht nur die Maßnahmeart, sondern auch der Eingreifzeitpunkt unter bestimmten Zielvorgaben zu optimieren. Es ist sinnvoll, den Zeitraum einzuschränken, in denen Erhaltungsmaßnahmen ergriffen werden, da die Auswahl der Maßnahmeart von Zustandsprognosen

des Bauwerkes bzw. von Bauteilen oder Bauteilgruppen abhängt und diese Prognosen mit zunehmendem Prognosehorizont unzuverlässiger werden.

Im Falle von Bauwerken im Zuge von Straßen ist bei der Festlegung des Maßnahmezeitraumes zu berücksichtigen, dass nach DIN 1076 die Zeitpunkte der Hauptprüfungen festgelegt sind, die der Feststellung von Mängeln und Schäden dienen. Die erste Hauptprüfung erfolgt nach Fertigstellung des Bauwerkes, die zweite vor Ablauf der Gewährleistung. Mängel und Schäden, die anlässlich dieser beiden Hauptprüfungen erkannt werden, gehen zu Lasten des Bauunternehmens. Sie sind daher für den Baulastträger nur aus der Sicht der Zustandserfassung für das BMS von Interesse. Die weiteren Hauptprüfungen erfolgen jeweils im Abstand von 6 Jahren. Die dabei ausgewiesenen Mängel und Schäden ersetzen als aktualisierte Information die Schadensprognose, so dass nach jeweils erfolgter Hauptprüfung eine besser fundierte Maßnahmeauswahl erfolgen kann, als sie aufgrund einer Schadensprognose möglich ist. Es wird daher ein Zeitraum von 6 Jahren als Maßnahmezeitraum gesetzt.

Innerhalb eines BMS sind die Auswirkungen der ausgewählten Erhaltungsmaßnahmen für einen Zeitraum zu untersuchen, der mindestens so lang wie der Maßnahmezeitraum ist. Für die Wahl dieses Bewertungszeitraumes ist einerseits entscheidend, wie zuverlässig die Zustandsprognose der Bauteile und Bauteilgruppen ist, mit deren Hilfe die Auswirkungen der Erhaltungsmaßnahmen vorhergesagt werden. Neben dem Maßnahmezeitraum ist für das BMS ein Bewertungszeitraum festzulegen, der wegen netzbezogener Komponenten des BMS möglichst bundesweit einheitlich gehandhabt werden sollte. Es ist zu berücksichtigen, dass der Bewertungszeitraum möglichst so festgelegt wird, dass für den „Nichts-tun“-Fall die Wirkung unterlassener Maßnahmen sichtbar werden. Er wird zunächst mit 20 Jahren festgelegt.

Das BMS wird nach der beabsichtigten bundesweiten Installation ein Managementsystem sein, dessen Datengrundlagen routinemäßig aktualisiert werden. Dazu gehört insbesondere die Dokumentation von durchgeführten Erhaltungsmaßnahmen und der Schadensentwicklung im Zuge von Bauwerksprüfungen nach DIN 1076. Ebenso routinemäßig ist auf der Grundlage aktualisierter Datenbestände in regelmäßigen Zeitabständen, z. B.



jährlich, die Erhaltungsplanung zu aktualisieren und zu bewerten. Deshalb soll der Maßnahmezeitraum und der Bewertungszeitraum stets mit dem Jahr beginnen, das als erstes Planungsjahr für eine Erhaltungsmaßnahme im betrachteten Netz in Frage kommt.

**4.3.4 Reihung der Maßnahmen nach gesamtwirtschaftlichen Kriterien**

Bei der BVWP und in den EWS ist für die Reihung von Investitionsmaßnahmen nach ihrer gesamtwirtschaftlichen Wirkung das Nutzen-Kosten-Verhältnis

$$NKV = \frac{\text{Nutzen der Maßnahme im Vergleich zum „Nichts-tun“-Fall}}{\text{Kosten der Maßnahme im Vergleich zum „Nichts-tun“-Fall}} \quad (9)$$

das entscheidende Kriterium. Dem Nutzen der Maßnahme werden die Kosteneinsparungen bei den Straßennutzern und die monetär bewertete Verminderung der Belastung von Umwelt und Anrainern im Vergleich zum „Nichts-tun“-Fall zuge-rechnet. Der Nutzen besteht somit aus vermiedenen Kosten.

Für das BMS soll eine klare Trennung zwischen Baulastträger einerseits und Straßennutzer sowie Dritte (Umwelt) andererseits erfolgen und als Nutzen einer Maßnahme alle monetären Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen auf Straßennutzer und Dritte definiert werden, als Kosten alle Auswirkungen auf den Baulastträger.

Der höhere Restwert eines Bauteils/einer Bauteilgruppe/eines Bauwerks am Ende des Bewertungszeitraumes infolge durchgeführter Erhaltung gegenüber dem Restwert bei der Variante „Nichts-tun“ ist in den Nenner des Nutzen-Kosten-Verhältnisses zu integrieren. Präferiert wird die Variante, bei der das günstigste Verhältnis zwischen Nutzen und Kosten besteht.

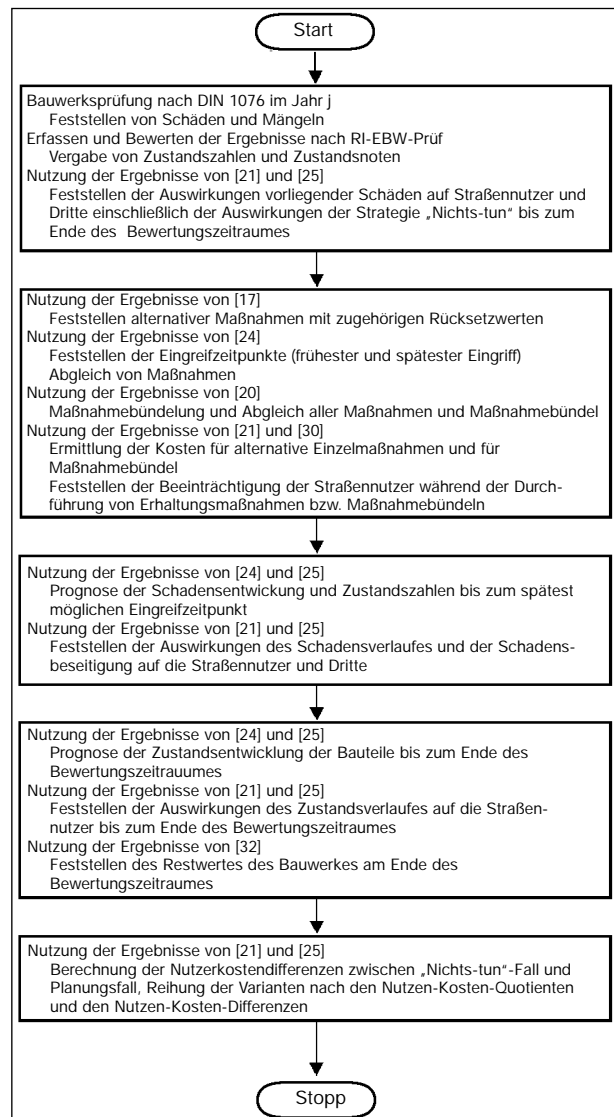
Eine wichtige Voraussetzung ist, dass das Verfahren auch anwendbar sein soll, wenn Maßnahmenvarianten für die Erhaltung an unterschiedlichen Bauteilen verglichen werden. Im Vordergrund des BMS muss die Erhaltung des gesamten Bauwerks stehen; dabei ist es durchaus möglich, dass die Erhaltung eines bestimmten Bauteils bei allen dafür in Frage kommenden Variantevarianten ein relativ geringes Nutzen-Kosten-Verhältnis hat.

Vorteilhaft ist die Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses vor allem, wenn Einzelmaßnahmen zur Behebung verschiedener Schäden mit einem Maßnahmebündel verglichen werden. Die Vorteile von Maßnahmebündeln mit beispielsweise nur einmaliger Behinderung des Verkehrsablaufs spiegelt sich im Nutzen-Kosten-Verhältnis wider.

Die Nutzen-Kosten-Differenz, die als Kapitalwert bezeichnet wird,

$$NKD = [\text{Nutzen der Maßnahme im Vergleich zum „Nichts-tun“-Fall}] - [\text{Kosten der Maßnahme im Vergleich zum „Nichts-tun“-Fall}] \quad (10)$$

wird bei der BVWP zusätzlich zur Beurteilung von Investitionen herangezogen, um beispielsweise bei



**Bild 23:** Ablaufschema für eine objektbezogene Kosten/Nutzen-Analyse im BMS

gleicher Effektivität von Maßnahmen als weiteren Gesichtspunkt die absolute Höhe der Kosten und des Nutzens in die Maßnahmepräferenz einfließen zu lassen. Dieser Ansatz entspricht im Prinzip dem Kosten-Minimum-Kriterium für die Gesamtkosten von Baulastträger, Straßennutzern und Dritten. Bei einem Maßnahmevergleich nach diesem Kriterium werden die Gesamtkosten aus den Kosten des Baulastträgers, den Straßennutzerkosten und den Kosten Dritter gebildet. Dabei wird berücksichtigt, dass dem Straßennutzer infolge von zustandsbedingten Verkehrseinschränkungen und im Zuge der Erhaltungsmaßnahme zusätzliche Kosten entstehen, aber auch Kostenvorteile, wenn durch Erhaltungsmaßnahmen etwa Sperrungen oder Beschränkungen des zulässigen Gesamtgewichts vermeidbar sind. Im BMS soll die Nutzen-Kosten-Differenz als sekundäre Information genutzt werden, z. B. um bei gleichem Nutzen-Kosten-Verhältnis zweier alternativer Maßnahmen diejenige zu präferieren, bei der die (positive) Nutzen-Kosten-Differenz am größten ist.

## 5 Weitere Entwicklungsschritte

Die weiteren Entwicklungsschritte des BMS umfassen in erster Linie Aktivitäten zur Realisierung von DV-gestützten Verfahren:

- Weiterentwicklung von SIB-Bauwerke zur Berücksichtigung der aufgeführten Kataloge und Verhaltensmodelle und diesbezüglicher Auswerteverfahren. Die fachliche Feinkonzeption zur Umsetzung der in Kapitel 3 aufgeführten Verfahren in SIB-Bauwerke wird im Laufe des Jahres 2002 als Ergebnis der Projekte [29] und [30] bereitgestellt.
- Entwicklung von BMS-MB zur objektbezogenen Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen. Die fachliche Feinkonzeption der in Kapitel 4 aufgeführten Verfahren im geplanten Programmsystem BMS-MB wird im Laufe des Jahres 2002 als Ergebnis des Projekts [31] bereitgestellt.
- Entwicklung von BMS-EP zur netzweiten Optimierung von Erhaltungsprogrammen. Die fachliche Feinkonzeption der Verfahren des geplanten Programmsystems wird im Laufe des Jahres 2002 als Ergebnis des Projekts [14] bereitgestellt. Die Konzeptionierung eines Auswertetools für das geplante Programmsystem BMS-EP sowie die Gestaltung einer Schnittstelle zu einem geplanten Programmsystem für die Be-

reitstellung von Streckenbändern erfolgt im Rahmen des Projekts [15].

- Entwicklung von BMS-SB zur Strategiebewertung und Visualisierung von Auswirkungen unterschiedlicher Strategien. Das in [4] dokumentierte Verfahren zur Strategiebewertung auf Netzebene für die Belange der Straßenbauverwaltungen wird derzeit fortgeschrieben [16]. Die fachliche Feinkonzeption des geplanten Programmsystems wird mit Hilfe dieses Projekts bis Anfang 2003 bereitgestellt.

Die Entwicklung dieser Computerprogramme umfasst die Erstellung fachtechnischer Feinkonzepte und DV-technischer Feinkonzepte, die Programmierung und die Verfahrenseinführung in den Straßenbauverwaltungen. Die Vorgehensweise orientiert sich dabei am Phasenkonzept gemäß BVB-Planung.

Anschließend an die fachtechnischen und die DV-technischen Konzeptionen erfolgen die Realisierung der Programmsysteme SIB-Bauwerke, BMS-MB, BMS-EP und BMS-SB in den Jahren 2003 bis 2004 als separate IT-Vorhaben. Testläufe in einer begrenzten Anzahl von Verwaltungen sowie die Einführung der Systeme schließen sich an.

Neben der DV-Entwicklung ist zur Einführung der Verfahren in den Straßenbauverwaltungen die Bereitstellung einer Richtlinie für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Bauwerken vorgesehen.

Im Vorfeld sind darüber hinausgehend noch einzelne Detailpunkte zu klären. Dazu gehören die Festlegung der Berücksichtigung des Restwertes bzw. des Wertverlustes im Bewertungszeitraum, eine Klärung der Frage, inwieweit eine Diskontierung in das Bewertungsverfahren zu integrieren ist, die endgültige Formulierung des Kostenkataloges mit zugehörigem Auswerteverfahren, die Vervollständigung der Verhaltensmodelle sowie die Klärung, wie freie Schadensbeschreibungen nach ASB bzw. RIEBW-Prüf mit dem Maßnahmenkatalog gekoppelt werden sollen. Diese Fragestellungen werden in den derzeit laufenden Projekten [29 bis 32] bis Ende des Jahres 2002 für die Belange des BMS geklärt.

## 6 Zusammenfassung

Das BMVBW realisiert ein umfassendes Bauwerks-Management-System (BMS) mit Teilmodulen für Bundes- und Länderverwaltungen, welches als

Hilfsmittel für die Erstellung von Erhaltungsplanungen dient und als Controlling-Instrument die Realisierung von Zielen und Strategien ermöglicht. Angestrebt werden damit eine bundesweite Vereinheitlichung von Planungsverfahren sowie die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Rahmen der Erhaltung der Bauwerke des Bundesfernstraßennetzes. Im Rahmen des AP-Projektes 99245/B4 „Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems (BMS) für das deutsche Fernstraßennetz, Stufe 1 und 2“ werden die Entwicklung der Stufe 1 „Grundlagenuntersuchungen“ und der Stufe 2 „Bewertungsverfahren auf Objektebene“ des in [1]

konzipierten Bauwerks-Management-Systems und die Umsetzung in die Verwaltungspraxis angestrebt. Im Folgenden werden die bislang durchgeführten Aktivitäten und die sich daraus ergebenden Konkretisierungen der ursprünglichen Konzeption beschrieben.

Das BMS für die Belange der Straßenbauverwaltungen ist in erster Linie von unten nach oben orientiert, d. h., ausgehend von den Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 erfolgen objektbezogene Analysen und Bewertungen, die nachfolgend auf der Netzebene optimiert und zu Erhaltungsprogrammen zusammengefasst werden (siehe Bild 24). Die Realisierung erfolgt in einzelnen DV-Programmen, die jeweils Teilergebnisse für die nachfolgenden Verfahren bereitstellen. Diese Vorgehensweise gewährleistet eine weitgehende Transparenz und die Möglichkeit von Eingriffen in den Gesamtablauf. Das Programmsystem SIB-Bauwerke wird zur Bereitstellung von Informationen für die nachfolgenden Bewertungsverfahren integriert. Daneben werden drei neue Computerprogramme entwickelt: BMS-MB zur Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen auf Objektebene, BMS-EP zur Optimierung der Erhaltungsplanung auf Netzebene und BMS-SB zur Visualisierung der Auswirkungen von Erhaltungsszenarien und -strategien (siehe Bild 25).

Die fachliche Konzeption der DV-Programme erfolgt im Rahmen dieses AP-Projektes sowie von Ressortprojekten des BMVBW.

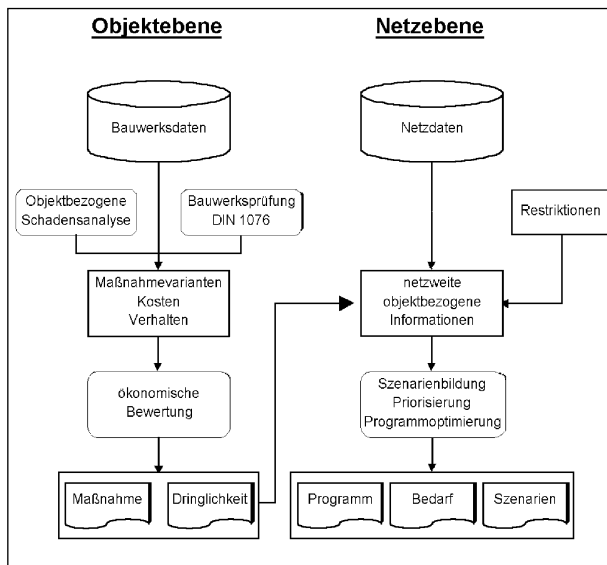


Bild 24: BMS – Straßenbauverwaltungen

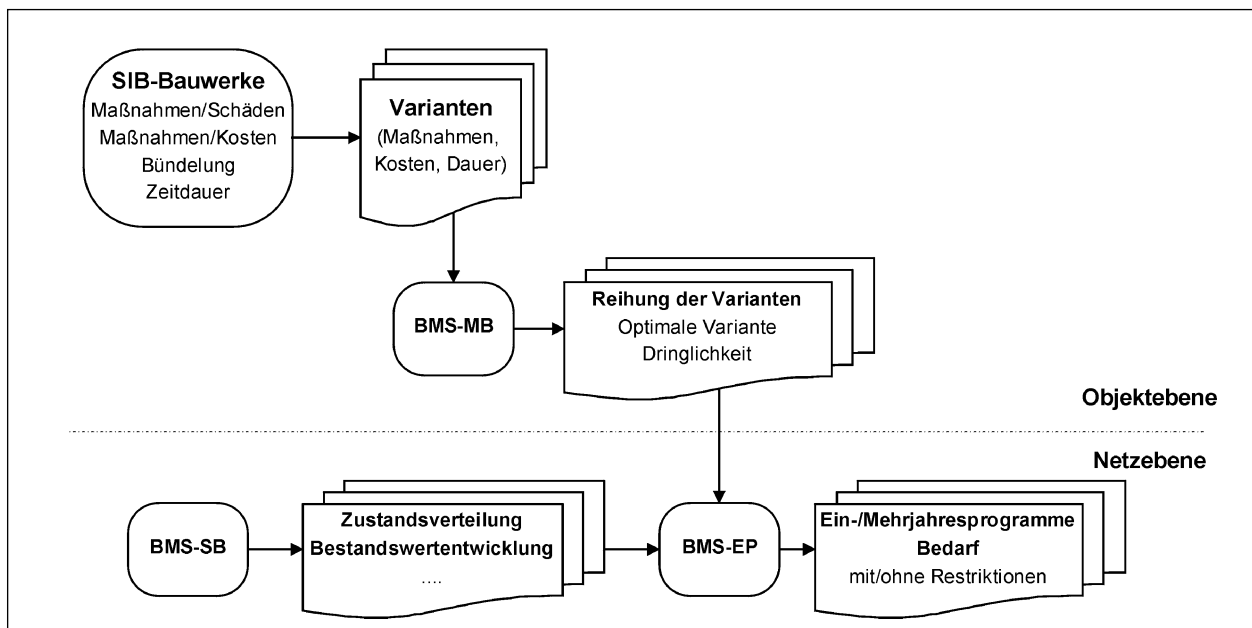


Bild 25: DV-Programme für die Erhaltungsplanung

Die Koordinierung und Betreuung dieser Projekte wird von der BAST und der Arbeitsgruppe „Entwicklung des BMS“ in Abstimmung mit dem B/L-HA Brücken- und Ingenieurbau gewährleistet. Zur Betreuung der DV-Entwicklung wurde vom B/L-FA IT Koordinierung die Projektgruppe PG 28 Bauwerks-Management-System eingerichtet.

Im Rahmen des AP-Projektes werden ausschließlich die objektbezogene Bewertung sowie die benötigte Informationsbereitstellung betrachtet. Die Realisierung der netzbezogenen Bewertung ist hierbei nicht beinhaltet, Anforderungen von diesbezüglichen Bewertungsverfahren werden jedoch berücksichtigt.

#### Stufe 1: Grundlagenuntersuchungen

Die Anwendung der o. g. geplanten Programmsysteme erfordert objektbezogene Informationen, die aus Bauwerks- und Schadensdaten abzuleiten sind. Zur Erlangung dieser Informationen sind Wissenskataloge und Auswerteverfahren erforderlich, mit denen die Einbeziehung von Bauwerksdaten ermöglicht wird. Ein bereits in diesem Sinne in SIB-Bauwerke realisiertes Verfahren ist die Ermittlung der Zustandsnote gemäß RI-EBW-PRÜF. Derzeit wird der Maßnahmenkatalog gemäß ASB, Teilsystem Bauwerksdaten in SIB-Bauwerke umgesetzt. Daneben sind weitere Verfahren geplant, mit denen die benötigten Informationen ermittelt werden können:

- Schadensbezogene Auswertung des Maßnahmenkataloges (Verknüpfung zwischen Schäden und Maßnahmen).
- Zusammenfassung von Maßnahmen für gleichartige Schäden und Bündelung von unterschiedlichen Maßnahmen zu Maßnahmenvarianten.
- Bereitstellung eines Kostenkataloges und variantenbezogene Auswertung (Verknüpfung zwischen Maßnahmen und Kosten).
- Bereitstellung eines Kataloges von Verhaltensmodellen und variantenbezogene Auswertung (Verknüpfung zwischen Maßnahmen und Verhaltensmodellen).

Als Ergebnis wird eine Liste möglicher Maßnahmenvarianten (zusammengefasste und gebündelte Maßnahmen) in Verbindung mit Informationen über den Zeitpunkt der Ausführung, voraussichtliche

Kosten und die Auswirkungen auf das Verhalten des Bauwerks bereitgestellt. Zur Verknüpfung von Maßnahmen und Schäden sowie zur Bündelung von Maßnahmen sind in [17] erste Erkenntnisse zusammengestellt worden. Weitere Informationen sind dem Schlussbericht zu [20] zu entnehmen. Der Kostenkatalog wird derzeit in [30] vervollständigt konzipiert.

Eine Zusammenstellung der Verhaltensmodelle sowie das Vorgehen zu Berücksichtigung der Auswirkungen von Maßnahmen ist in den Schlussberichten zu [23] und [24] dokumentiert.

Die fachliche Feinkonzeption zur Umsetzung der Verfahren in SIB-Bauwerke wird im Laufe des Jahres 2002 als Ergebnis der Projekte [29] und [30] bereitgestellt. Anschließend erfolgt die Realisierung in SIB-Bauwerke im Rahmen eines weiteren IT-Vorhabens.

#### Stufe 2: Bewertungsverfahren auf Objektebene

Mit dem geplanten Programmsystem BMS-MB kann ermittelt werden, welche Maßnahmenvariante unter ökonomischen Gesichtspunkten zielführend ist und wann diese durchgeführt werden sollte. Der Bewertungsansatz beinhaltet eine Kosten-Nutzen-Analyse. Als Baulastträgerkosten werden dabei die mit Hilfe von SIB-Bauwerke ermittelten Kosten der Maßnahmenvarianten berücksichtigt. Der Baulastträgnutzen wird u. a. über den Restwert bzw. den Wertverlust des Bauteils/Bauwerks am Ende des Bewertungszeitraums (voraussichtlich 20 Jahre) bestimmt. Das Verfahren zur Restwertermittlung wird derzeit in [32] abschließend geklärt.

Nutzerkosten mit Bezug zu Erhaltungsmaßnahmen an Bauwerken entstehen in erster Linie durch die Beeinflussung des Verkehrsablaufs aufgrund von Arbeitsstellen an Straßen. Auswirkungen sind dabei die Verringerung der Kapazität und der Rückstau von Fahrzeugen. Darüber hinaus entstehen Wirkungen vor der Durchführung der Erhaltungsmaßnahme z. B. durch Begrenzung des zulässigen Gesamtgewichts sowie nach der Maßnahme durch Wegfall der Verhaltensänderung. Es entstehen zusätzliche Betriebs- und Fahrzeitkosten. Zusätzliche Unfallkosten werden über geänderte Unfallraten berücksichtigt. Die Ermittlung der Kostenkomponenten erfolgt nach den Verfahren der Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS).

Zusätzlich zu den Baulastträger- und den Nutzerkosten werden Kosten für Dritte berücksichtigt, die aufgrund der Verkehrsbeeinflussung entstehen. Hierzu zählen in erster Linie Kosten aufgrund der Klimabelastung. Ausgelöst werden diese Kosten infolge veränderter Geschwindigkeit der Fahrzeuge sowie infolge der Wahl einer Alternativroute. Auch diese Kostenkomponenten werden mit Hilfe der Verfahren der EWS ermittelt.

Das Ergebnis der Analyse ist eine Reihung von Maßnahmenvarianten unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Nutzen/Kosten-Verhältnisse als Eingangsgröße für weitere Analysen. Die fachliche Feinkonzeption der Verfahren wird im Laufe des Jahres 2002 als Ergebnis des Projekts [31] bereitgestellt. Anschließend erfolgt die Realisierung des Programmsystems BMS-MB im Rahmen eines IT-Vorhabens.

## 7 Literatur

- [1] HAARDT, P.: Konzeption eines Managementsystems zur Erhaltung von Brücken- und Ingenieurbauwerken, Berichte der BAST, Heft B25, Bergisch Gladbach, 1999
- [2] Bundesanstalt für Straßenwesen: Statistik der Bauwerke des Bundesfernstraßennetzes 2001, unveröffentlicht, Bergisch Gladbach, 2002
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Straßenbaubericht 2001, Bonn, 2002
- [4] KRIEGER, J.: Entwicklung des Finanzbedarfs für die Erhaltung der Brücken der Bundesfernstraßen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2000, unveröffentlicht
- [5] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Straßenbau: ASB, Anweisung Straßeninformationsbank, Teilsystem Bauwerksdaten, Verkehrsblatt-Verlag, 1998
- [6] Bundesministerium für Verkehr-, Bau und Wohnungswesen, Abteilung Straßenbau: RI-EBW-PRÜF, Ausgabe 1998, Verkehrsblatt-Verlag, 1998
- [7] DIN 1076: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen; Überwachung und Prüfung, Ausgabe November 1999
- [8] Programmsystem SIB-Bauwerke, Ingenieurbüro WPM, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, 1999
- [9] HAARDT, P.: Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken, Berichte der BAST, Heft B22, Bergisch Gladbach, 1999
- [10] NAUMANN, J.: Erhaltungsmanagement der Bundesfernstraßen, BMS/BRIME-Kolloquium 2000, Bundesanstalt für Straßenwesen, 2000
- [11] N. N.: Brückenerhaltung, Bericht einer wissenschaftlichen Expertengruppe der OECD, Paris 1992, erschienen in: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 666, 1994
- [12] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS), Ausgabe 1997
- [13] FE 15.322/2000/HRB: Grundlagen zur Optimierung der Erhaltungsplanung, PTV Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe, im Auftrag des BMVBW, 2002
- [14] FE 15.369/2002/HRB: Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung der Erhaltungsplanung für Brücken- und Ingenieurbauwerke (fachliche Feinkonzeption BMS-EP), PTV Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe, im Auftrag des BMVBW, in Bearbeitung
- [15] FE 15.347/2001/HRB: Entwicklung eines Verfahrens für die Erstellung des Erhaltungsprogramms auf Netzebene, Heller Ingenieurgesellschaft, Darmstadt, im Auftrag des BMVBW, in Bearbeitung
- [16] FE 15.344/2001/HRB: Entwicklung eines Verfahrens zur Szenariobildung, PTV Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe, im Auftrag des BMVBW, in Bearbeitung
- [17] FE 15.318/1999/HRB: Entwicklung eines Kataloges von Erhaltungsmaßnahmen, König und Heunisch, Leipzig, im Auftrag des BMVBW, 2002
- [18] RSA, Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen, 4. Auflage, 1995
- [19] Bundesministerium für Verkehr (BMV): Richtlinien für die Berechnung der Ablösungsbeträge der Erhaltungskosten für Brücken, Straßen, Wege und andere Ingenieurbauwerke

- ke, Stand 1988 (Ablöserichtlinie), Verkehrsblatt-Dokument Nr. B 6306, 1988
- [20] FE 89.104/2001/HRB: Grundlagen der Optimierung von Erhaltungsstrategien auf Objektebene, Universität Stuttgart, in Bearbeitung
- [21] FE 15.323/2000/HRB: Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Maßnahmenvarianten, RS-Consult, Berlin, im Auftrag des BMVBW, in Bearbeitung
- [22] OEFNER, G.: Ermittlung von repräsentativen Kostensätzen für Erhaltungsmaßnahmen (Fahrbahnen), Schlussbericht zum Projekt BMVBW-V1002/UA1, Universität der Bundeswehr, München, 2001
- [23] FE 15.297/1998/HRB: Erarbeitung von Modellen zur Schadens- und Zustandsentwicklung, König und Heunisch, Leipzig, im Auftrag des BMVBW, 2000
- [24] FE 15.319/1999/HRB: Ermittlung des Eingreifzeitpunktes für Erhaltungsmaßnahmen an Brücken und Ingenieurbauwerken, König und Heunisch, Leipzig, im Auftrag des BMVBW, 2001
- [25] FE 15.320/1999/HRB: Verfahren zur Ermittlung der ökonomischen Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen, RS-Consult, Berlin, im Auftrag des BMVBW, 2001
- [26] Bundesministerium für Verkehr (BMV) (Hrsg.): Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen, Bewertungsverfahren für den Bundesverkehrswegeplan 1992, Schriftenreihe des BMV, Heft 72, 1993
- [27] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Richtlinie für die Anlage von Straßen, Teil Wirtschaftlichkeitsuntersuchung (RAS-W), Ausgabe 1986
- [28] Bundesministerium für Verkehr: Bauwerksprüfung nach DIN 1076 – Bedeutung, Organisation, Kosten, Dokumentation 1997, Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund, 1997
- [29] FE 15.370/2002/HRB: Weiterentwicklung von Verhaltensmodellen im Rahmen des Bauwerks-Management-Systems, Universität Stuttgart, im Auftrag des BMVBW, in Bearbeitung
- [30] FE 15.371/2002/HRB: Weiterentwicklung des Verfahrens zur Ermittlung von Baulastträgerkosten bei der Erhaltungsplanung von Brücken- und Ingenieurbauwerken, König und Heunisch, Leipzig, im Auftrag des BMVBW, in Bearbeitung
- [31] FE 15.346/2001/HRB: Entwicklung eines Verfahrens zur Erhaltungsplanung auf Bauwerkebene (fachliche Feinkonzeption BMS-MB), in Bearbeitung
- [32] FE 89.120/2002/HRB: Restwertermittlung und Diskontierung im Rahmen der Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen in Managementsystemen, in Bearbeitung

Schriftenreihe		B 11: Fahrbahnbeläge auf Sohlen von Trogbauwerken R. Wruck 44 Seiten, 1996	€ 12,00
<b>Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen</b>		B 12: Temperaturmessungen bei der Verbreiterung der Rodenkirchener Brücke W. Goebel 96 Seiten, 1996	€ 15,30
Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“		B 13: Strukturanalyse von Beton Entwicklung eines Verpreßverfahrens mit fluoreszierendem Harz H.-P. Gatz, P. Gusia 28 Seiten, 1996	€ 11,00
B 1: Realkalisierung karbonatisierter Betonrandzone H. Budnik, T. Laakkonen, A. Maaß, F. Großmann 28 Seiten, 1993	vergriffen		
B 2: Untersuchungen an Fertigteilbrücken BT 70/ BT 700 H. Haser 68 Seiten, 1993	kostenlos	B 14: Verhalten von Fahrbahnübergängen aus Asphalt infolge Horizontallasten J. Krieger, E. Rath 112 Seiten, 1997	€ 16,00
B 3: Temperaturunterschiede an Betonbrücken H. Knabenschuh 64 Seiten, 1993	vergriffen	B 15: Temperaturbeanspruchung im Beton und Betonersatz beim Einbau von Abdichtungen F. Großmann, J. Budnik, A. Maaß 88 Seiten, 1997	€ 14,50
B 4: Merkblatt zur Entnahme repräsentativer Strahlschuttproben MES-93 16 Seiten, 1993	€ 9,00	B 16: Seilverfüllmittel - Mechanische Randbedingungen für Brückenseile M. Eilers, A. Hemmert-Halswick 288 Seiten, 1997	€ 27,50
B 5: Spezielle Probleme bei Brückenbauwerken in den neuen Bundesländern H. Haser, R. Kaschner 44 Seiten, 1994	€ 11,50	B 17: Bohrverfahren zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe und des Chloridgehaltes von Beton H.-P. Gatz, P. Gusia, M. Kuhl 48 Seiten, 1997	€ 14,00
B 6: Zur Berechnung von Platten mit schwacher Querbewehrung R. Kaschner 44 Seiten, 1995	€ 11,50	B 18: Erprobung und Bewertung zerstörungsfreier Prüfmethode für Betonbrücken J. Krieger, M. Krause, H. Wiggenhauser 143 Seiten, 1998	€ 16,50
B 7: Erprobung von dichten lärmindernden Fahrbahnbelägen für Brücken S. Sczyslo 56 Seiten, 1995	€ 12,50	B 19: Untersuchung von unbelasteten und künstlich belasteten Beschichtungen Instandhaltung des Korrosionsschutzes durch Teilenerneuerung - Entwicklung eines Meßverfahrens M. Schröder 23 Seiten, 1998	€ 11,00
B 8: Untersuchungen am Brückenbelag einer orthotropen Fahrbahnplatte J. Krieger, E. Rath 140 Seiten, 1995	€ 17,50	B 20: Reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl M. Eilers, W. Ritter 46 Seiten, 1998	€ 12,50
B 9: Anwendung von zerstörungsfreien Prüfmethoden bei Betonbrücken J. Krieger 60 Seiten, 1995	€ 13,00	B 21: Windlasten für Brücken nach ENV 1991-3 J. Krieger 19 Seiten, 1998	€ 10,50
B 10: Langzeituntersuchungen von Hydrophobierungsmitteln A. Maaß, B. Krieger 60 Seiten, 1995	€ 12,50		

- B 22: Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken**  
P. Haardt  
42 Seiten, 1999 € 11,50
- B 23: Bewertung und Oberflächenvorbereitung schwieriger Untergründe**  
Instandhaltung des Korrosionsschutzes durch Teil-erneuerung  
M. Schröder, S. Sczyslo  
31 Seiten, 1999 € 11,00
- B 24: Erarbeitung einer ZTV für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl**  
Untersuchungen zur Empfindlichkeit der verschiedenen RHD-Belagsysteme unter ungünstigen Einbaubedingungen  
M. Eilers, G. Stoll  
25 Seiten, 1999 € 11,00
- B 25: Konzeption eines Managementsystems zur Erhaltung von Brücken- und Ingenieurbauwerken**  
P. Haardt  
52 Seiten, 1999 € 12,50
- B 26: Einsatzmöglichkeiten von Kletterrobotern bei der Bauwerksprüfung**  
J. Krieger, E. Rath, G. Berthold  
18 Seiten, 1999 € 10,50
- B 27: Dynamische Untersuchungen an reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen**  
M. Eilers, W. Ritter, G. Stoll  
32 Seiten, 1999 € 11,00
- B 28: Erfassung und Bewertung von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen auf Stahl**  
M. Eilers  
28 Seiten, 2000 € 11,00
- B 29: Ergänzende Untersuchungen zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe und des Chloridgehaltes von Beton**  
H.-P. Gatz, B. Quaas  
36 Seiten, 2000 € 12,00
- B 30: Materialkonzepte, Herstellungs- und Prüfverfahren für elutionsarme Spritzbetone**  
F. Heimbecher  
33 Seiten, 2000 € 11,00
- B 31: Verträglichkeit von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen mit Abdichtungssystemen nach den ZTV-BEL-ST**  
M. Eilers, G. Stoll  
24 Seiten, 2000 € 10,50
- B 32: Das Programm ISOCORRAG: Ermittlung von Korrosivitätskategorien aus Massenverlust-raten**  
M. Schröder  
26 Seiten, 2000 € 11,50
- B 33: Bewährung von Belägen auf Stahlbrücken mit orthotropen Fahrbahnplatten**  
M. Eilers, S. Sczyslo  
115 Seiten, 2000 € 17,00
- B 34: Neue reaktionsharzgebundene Dünnbeläge als Fahrbahnbeläge auf einem D-Brücken-Gerät**  
M. Eilers, W. Ritter  
47 Seiten, 2000 € 13,00
- B 35: Bewährung von Brückenbelägen auf Betonbauwerken**  
R. Wruck  
28 Seiten, 2002 € 11,50
- B 36: Fahrbahnübergänge aus Asphalt**  
R. Wruck  
22 Seiten, 2002 € 11,00
- B 37: Messung der Hydrophobierungsqualität**  
H. J. Hörner, N. von Witzhausen, P. Gatz  
24 Seiten, 2002 € 11,00
- B 38: Materialtechnische Untersuchung beim Abbruch der Talbrücke Haiger**  
Durchführung von Ultraschall- und Impakt-Echo-Messungen  
M. Krause, H. Wiggenhauser, J. Krieger  
113 Seiten, 2002 € 17,00
- B 39: Bewegungen von Randfugen auf Brücken**  
M. Eilers, R. Wruck, B. Quaas  
48 Seiten, 2002 € 13,00
- B 40: Schutzmaßnahmen gegen Graffiti**  
D. v. Weschpfennig  
26 Seiten, 2003 € 11,50
- B 41: Temperaturen an der Unterseite orthotroper Fahrbahntafeln beim Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht**  
M. Eilers, E. Küchler, B. Quaas  
42 Seiten, 2002 € 12,50
- B 42: Anwendung des Teilsicherheitskonzeptes im Tunnelbau**  
A. Städing, T. Krockner  
31 Seiten, 2003 € 12,00



B 43: Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz  
- Stufen 1 und 2

P. Haardt

56 Seiten, 2003

€ 13,50

---

**Zu beziehen durch:**

Wirtschaftsverlag NW

Verlag für neue Wissenschaft GmbH

Postfach 10 11 10

D-27511 Bremerhaven

Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0

Telefax: (04 71) 9 45 44 77

Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)

Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)