

Modellverfahren für die Ingenieurbauwerke - Adaption von Modul SB des Bauwerks-Management-Systems BMS

Für die Ermittlung des Erhaltungsbedarfs der Ingenieurbauwerke wurde auf der Grundlage der Bauwerksdaten nach ASB-ING und Modul SB des Bauwerks-Management-Systems (BMS, *Haardt 1999a*) ein Verfahren entwickelt, das die angewendete Zustandsbewertung der Bauteilgruppen (*Haardt 1999b*) berücksichtigt und eine Szenarienbildung ermöglicht.

Nachfolgend wird die entwickelte und auf Basis von Standardsoftware (MS-Excel) angewendete Adaption des Modul SB zusammenfassend beschrieben. Eine ausführliche Dokumentation des BMS insgesamt und des Modul SB findet sich in:

Holst, R.:

Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz, Stufe 3. Schlussbericht zum AP-Projekt 02 244/B4. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, August 2005.

Stadler A., Freitag, N.:

IT-Realisierung BMS, Datenimport und Verfahrensabläufe (Kap. 8). BMS Version 1.1.10. PTV AG Karlsruhe + KHP GmbH, Leipzig. Karlsruhe, 11.01.2013.

Stadler A., Freitag, N.:

IT-Realisierung BMS, Datenbank. BMS-Version Version 1.1.10. PTV AG Karlsruhe + KHP GmbH, Leipzig. Karlsruhe, 21.12.2012.

Stadler A., Freitag, N.:

Benutzerhandbuch Bauwerk-Management-System (BMS). Version 1.1.12. PTV AG Karlsruhe + KHP GmbH, Leipzig. Karlsruhe, 24.07.2014.

Inhalt

1	Bestandsdaten der Ingenieurbauwerke	3
2	Schadens- und Zustandsbewertung der Ingenieurbauwerke.....	3
3	Finanzbedarfsermittlung für die Ingenieurbauwerke	5
3.1	Beschreibung der Zustandsentwicklung	6
3.2	Maßnahmearten und Maßnahmekosten.....	7
	Literatur	9

1 Bestandsdaten der Ingenieurbauwerke

Die benötigten Bestandsdaten der Ingenieurbauwerke können aus SIB-Bauwerke übernommen werden. SIB-Bauwerke enthält eine Fülle von in der Modellrechnung punktuell berücksichtigten Detailinformationen, die in **ANHANG 1 – Datendokumentation** im Einzelnen dargestellt sind. Dazu gehören generell Informationen zu:

- Bauwerkskenngößen (Bauwerksnummer, Anzahl Teilbauwerke),
- Bauwerksart,
- Baulast (Konstruktion und Fahrbahndecke),
- Baujahr,
- Gesamtlänge, Breite, Fläche,
- Tragfähigkeit,
- Hauptbaustoffe der Bauteile bzw. Bauteilgruppen.

2 Schadens- und Zustandsbewertung der Ingenieurbauwerke

Für die Bedarfsprognose der Ingenieurbauwerke stehen Zustandsnoten zur Verfügung, die seit 1999 nach den „Richtlinien zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF)“ gebildet werden (*BMV 2004*). Die Bewertungsergebnisse werden für alle Ingenieurbauwerke in der Datenbank SIB-Bauwerke vorgehalten.

Um den Zustand eines Bauwerks beurteilen zu können, sind Angaben zur Bauwerksgeschichte, zur Nutzung und Beanspruchung erforderlich sowie Untersuchungen am Bauwerk durchzuführen. Die Angaben zur Bauwerksgeschichte umfassen u. A. Daten über Alter, Art und Zweck des Bauwerks, die wesentlichen statischen und konstruktiven Merkmale, Baustoffdaten sowie Ausführungsunterlagen. Darüber hinaus sind Umbau-, Ergänzungs- und Instandsetzungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Weiterhin sind Angaben zur Nutzung und Beanspruchung zu erfassen. Das Fazit der Prüfung am Bauwerk ist die Beurteilung von eventuellen Schäden und die Bewertung des Zustandes. Wenn die im Rahmen der Bauwerksprüfung gewonnenen Erkenntnisse nicht ausreichen, den Zustand des Bauwerks zu beurteilen, werden zusätzliche Untersuchungen erforderlich. In besonderen Fällen muss, aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse, das Verformungsverhalten oder die Standsicherheit eines Bauwerks oder seiner Komponenten rechnerisch überprüft werden.

Die Verfahrensweise für die Schadens- und Zustandsbewertung von Bauwerken ist in den bereits o. e. Richtlinien (RI-EBW-PRÜF) dokumentiert. Bei der Entwicklung des Verfahrens wurden zunächst genaue Definitionen der Kriterien Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit erarbeitet. Grundlage des Verfahrens ist die detaillierte Bewertung der Einzelschäden. Dabei ist im Verlauf der Bauwerksprüfungen für jeden erfassten Einzelschaden

eine getrennte Schadensbewertung (ganzzahlige Noten von 0 bis 4) nach den drei o. a. Kriterien durchzuführen. Zusätzlich ist für jeden Einzelschaden der Schadensumfang quantitativ zu erfassen. Bei der Schadensbewertung ist zunächst von einem mittleren Schadensumfang und einer mittleren Schadenshäufigkeit auszugehen. Abweichende Umfänge bzw. Häufigkeiten werden später bei der Ermittlung der Zustandsnote (s. u.) durch Zu- und Abschläge berücksichtigt (*Haardt 1999b*).

Zu-stands-note	Bau-werks-zustand	Stand-sicher-heit	Verkehrssicherheit	Dauerhaftigkeit	Instand-setzung	Schadens-beseiti-gung
1,0 – 1,4	sehr gut	gege-ben	gegeben	gegeben		
1,5 – 1,9	gut	gege-ben	gegeben	geringfügige Beein-trächtigung auf länge-re Sicht möglich		
2,0 – 2,4	befriedi-gend	gege-ben	gegeben Warnhinweise evtl. kurzfristig erforderlich	Beeinträchtigung auf längere Sicht möglich	mittelfristig erforder-lich	evtl. kurzfristige erforderlich
		Schadensausbreitung oder Folgeschädigung möglich				
2,5 – 2,9	ausrei-chend	gege-ben	Beeinträchtigung möglich Warnhinweise evtl. kurzfristig erforderlich	erhebliche Beeinträchtigung möglich	kurzfristige erforderlich	evtl. kurzfristige erforderlich
		Schadensausbreitung oder Folgeschädigung zu erwarten				
3,0 – 3,4	nicht ausrei-chend	beein-träch-tigt	beeinträchtigt Warnhinweise evtl. umgehend erforder-lich, evtl. Nutzungseinschränkungen	unter Umständen nicht mehr gegeben	umgehend erforder-lich	evtl. umgehend erforder-lich
		evtl. Schadensausbreitung oder Folgeschädigung, so dass Stand-sicherheit bzw. Verkehrs-sicherheit kurzfristig nicht mehr gegeben				
3,5 – 4,0	ungenü-gend	erheblich beeinträchtigt oder nicht mehr gegeben Warnhinweise evtl. sofort erforderlich, evtl. Nutzungseinschränkungen		unter Umständen nicht mehr gegeben	umgehend erforder-lich oder Erneue-rung	evtl. sofort erforder-lich
		evtl. Schadensausbreitung oder Folgeschädigung, so dass Stand-sicherheit bzw. Verkehrs-sicherheit kurzfristig nicht mehr gegeben oder irreparabler Bauwerksverfall				

Abb. 1: Bedeutung der Zustandsbereiche bei den Ingenieurbauwerken (*Metzler 2005*)

Bei der Bewertung von Einzelschäden nach der Standsicherheit und der Verkehrssicherheit sind ausschließlich die aktuellen Einflüsse des Schadens zu berücksichtigen. Die Bewertung der Dauerhaftigkeit umfasst die Auswirkungen des Schadens in zeitlicher Hinsicht. Zur Sicherstellung eines einheitlichen Vorgehens bei der Schadensbewertung werden dem Prüfer umfangreiche Schadensbewertungskataloge an die Hand gegeben. Diese Beispielsammlungen sind in der Richtlinie RI-EBW-PRÜF enthalten.

Die Zustandsbewertung von Bauwerken (bzw. Bauteilen oder Bauteilgruppen) nach DIN 1076 erfolgt auf Grundlage der Noten (0 bis 4) aus der Schadensbewertung. Die Ergebnisse der Zustandsbewertung werden auf einer Notenskala abgebildet, die von Zustandsnote 1,0 bis Zustandsnote 4,0 reicht. Zur Beurteilung der Auswirkungen der Schäden auf die Kriterien Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit sind auf dieser Skala sechs Zustandsnotenbereiche definiert. Die Abgrenzungen und Inhalte dieser sechs Zustandsbereiche sind in Abb. 1 dargestellt (nach Metzler 2005). Auf der Grundlage dieser Einteilung ist, ähnlich wie bei den Fahrbahnen, die Festlegung eines Warnwerts (Note 2,5) und eines Schwellenwerts (Note 3,0) möglich. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für eine einheitliche Vorgehensweise bei der systematischen Erhaltungsplanung für Fahrbahnen und Ingenieurbauwerke erfüllt.

Neben den Zustandsnoten wird für die Bauteile bzw. Bauteilgruppen eine Substanzkennzahl ermittelt. Die Bewertung erfolgt analog der Verfahrensweise bei den Zustandsnoten, wobei allerdings das Kriterium Verkehrssicherheit vernachlässigt wird. Die Substanzkennzahl ist vergleichbar mit dem Substanzwert der Fahrbahnen.

3 Finanzbedarfsermittlung für die Ingenieurbauwerke

Bei der Bedarfsprognose im Rahmen des BVWP 2003 wurde für die Ingenieurbauwerke das Strategiemodellverfahren angewendet. Die Abschätzung des Erhaltungsbedarfs der Brücken erfolgte dabei mit Hilfe der aus der Altersstruktur abgeleiteten Investitionszeitreihe. Im Strategiemodellverfahren können jedoch keine Einzelbauwerke, sondern nur Bauwerksgruppen für festgelegte Merkmals- und Alterskategorien betrachtet werden (s. **ANHANG 2 – Verfahrensdokumentation** – Strategiemodell).

Bei der Aktualisierung des Erhaltungsbedarfs 2011 bis 2015 (*Maerschalk, Krause, Hinsch 2012*) standen erstmals mit den Bauwerksdaten gemäß ASB-ING vollumfänglich detaillierte Informationen sowohl zum Bestand der Einzelbauwerke einschließlich der vorhandenen Bauteile bzw. Bauteilgruppen als auch zu ihrem Zustand zur Verfügung.

Aufbauend auf diesen verfügbaren Datenbeständen wurde eine neue Methodik für die Prognose des Erhaltungsbedarfs entwickelt. Sie basiert auf der Betrachtung der Bauteile jedes Einzelbauwerkes, wobei Erkenntnisse aus der Entwicklung eines Management- Systems der Bauwerkserhaltung (BMS-SB) einbezogen wurden.

3.1 Beschreibung der Zustandsentwicklung

Voraussetzung für die Anwendung des neuen Modellverfahrens ist die Kenntnis der Zustandsnoten bzw. Substanzkennzahlen der am Bauwerk vorhandenen Bauteilgruppen, die entsprechend der aktuellen Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken errechnet wurden. Zur Bestimmung des Zeitpunktes einer Erhaltungsmaßnahme werden Verhaltensfunktionen in Anlehnung an die Modelle der BMS-Entwicklung herangezogen (Novak, Brosge, Reichert 2003). Diese basieren auf der Abschätzung mittlerer (Rest-) Nutzungsdauern für die einzelnen Bauteile unter Berücksichtigung der vorhandenen Schädigung. Damit kann in Abhängigkeit vom gegenwärtigen Zustand abgeschätzt werden, wann ein vorgegebener Eingreifbereich erreicht wird und ein Bauteil zur Erhaltung ansteht.

Die verwendeten Verhaltensfunktionen für die Bauteile von Brücken sind in Abb. 2 dargestellt. Eine Vereinfachung ist dabei insoweit vorgenommen, als auch für das Verhalten des Unter- und Überbaus eine lineare Funktion herangezogen wird, da die für die Beschreibung des (nicht linearen) Verhaltens hinsichtlich der Karbonatisierung und Chlorideindringung benötigten Faktoren (z. B. Diffusionskonstanten, Chloridwanderungskoeffizienten, Novak, Brosge, Reichert 2003) allenfalls für Einzelbauwerke, aber nicht netzweit verfügbar sind.

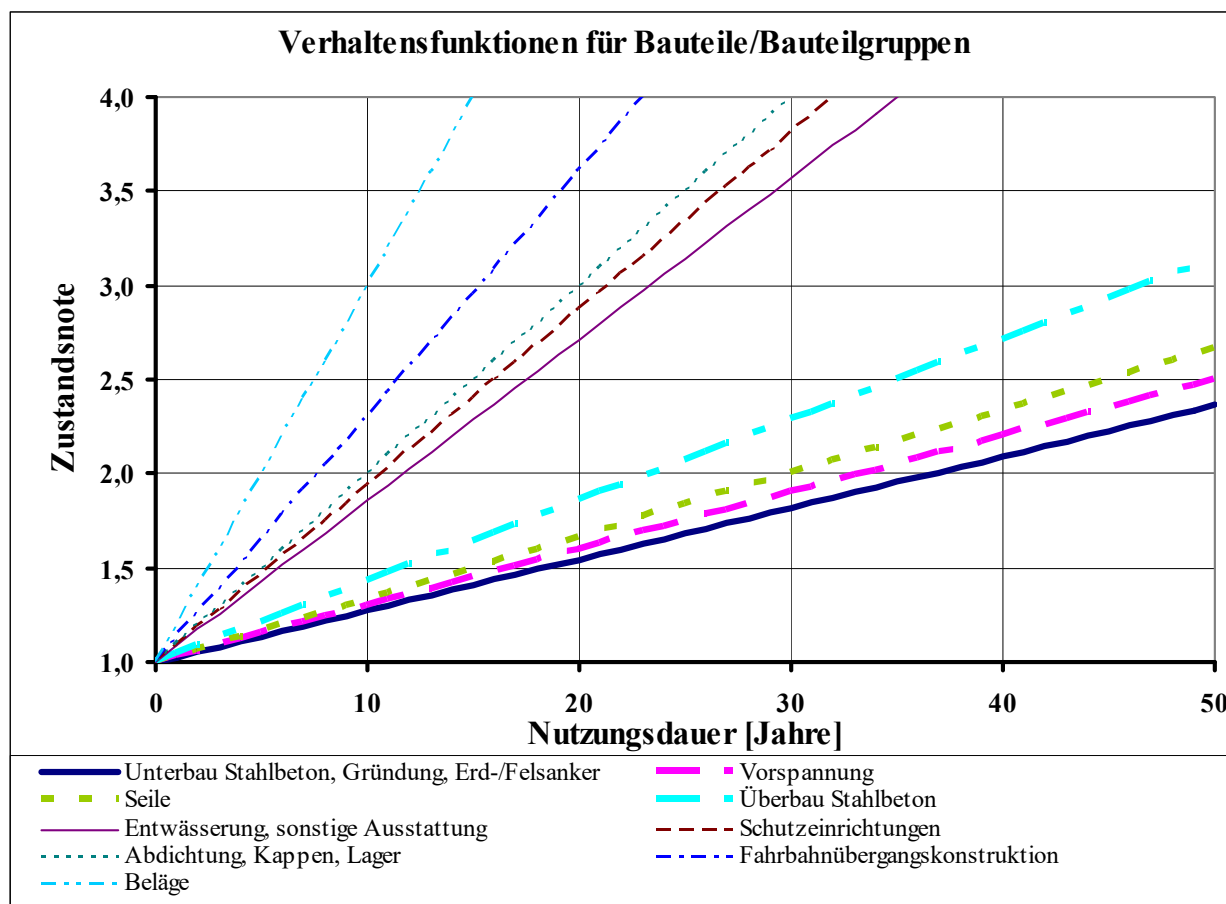


Abb. 2: Verhaltensfunktionen für Brückenbauteile/Bauteilgruppen (nach Novak, Brosge, Reichert 2003)

Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen an den Bauteilen bzw. Bauteilgruppen der Teilbauwerke der Brücken werden in Betracht gezogen, wenn der Zustand im Eingreifbereich von 2,5 bis 3,0 liegt. Eine Erhaltungsmaßnahme wird spätestens in dem Jahr angesetzt, in dem die Eingreifschwelle (3,0) überschritten wird. Danach erfolgt die Rücksetzung (Reset) der Zustandsnoten der jeweils betroffenen Bauteile und die erneute Fortschreibung des Zustandes mit den in Abb. A.17 veranschaulichten Verhaltensfunktionen.

3.2 Maßnahmearten und Maßnahmekosten

Bei den Brücken werden sowohl Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen für die einzelnen Bauteile als auch kombinierte Maßnahmen an mehreren oder allen Bauteilen untersucht. Während bei Maßnahmen an einzelnen Bauteilen nur der Zustand des jeweiligen Bauteils zurückgesetzt wird, werden bei kombinierten Maßnahmen die Zustandsnoten aller betroffenen Bauteile zurückgesetzt. Auf diese Weise können die höheren Kosten für kombinierte Maßnahmen durch Synergieeffekte bei den Gerüst-, Verkehrslenkungs- und Baustelleneinrichtungskosten sowie durch entsprechend höhere Wirksamkeiten kompensiert werden. Die Zustandsnoten werden bei Erneuerung der Bauteile auf 1,0, bei Instandsetzung auf 1,5 zurückgesetzt.

Unberücksichtigt bei den Berechnungen bleiben die Bauteile Seile, Anker und Vorspannung. Seile und Anker sind relativ selten, es liegt dafür nur uneinheitliche bzw. keine Kostensätze vor; diese Bauteile erfordern individuelle Untersuchungen. Vorspannung wird bei der Erhaltung des Überbaus durch individuelle, vom Hauptbaustoff und der Brückenfläche abhängige Kostensätze berücksichtigt.

Die Bündelung von Erhaltungsmaßnahmen am Teilbauwerk erfolgt nach zwei unterschiedlichen Ansätzen. Zunächst werden technisch zwingende Bündelungen vorgenommen:

- Erneuerung der Abdichtung erzwingt Maßnahme am Belag,
- Erneuerung der Kappen erzwingt Erneuerung der Schutzeinrichtung,
- Erneuerung des Überbaus erzwingt Erneuerung Lager, Abdichtung, Belag, Kappen, Schutzeinrichtung, Vorspannung und Übergangskonstruktion,
- Erneuerung des Unterbaus (einschließlich Gründung) erzwingt Erneuerung aller anderen vorhandenen Bauteilgruppen und entspricht somit einem Ersatz des gesamten Bauwerks. Die Bedingungen der Substanzkennzahlen für einen Ersatz sind:
 - sofort: Unterbau $\geq 3,5$ ODER (Überbau $\geq 3,5$ UND Unterbau $\geq 3,0$)
 - vordringlich: Unterbau $\geq 3,5$ ODER (Überbau $\geq 3,0$ UND Unterbau $\geq 3,0$)
 - kurzfristig: Unterbau $\geq 3,5$ ODER (Überbau $\geq 3,0$ UND Unterbau $\geq 2,9$)
 - später: ((Überbau $\geq 2,9$ UND Unterbau $\geq 2,5$) ODER (Überbau $> 2,3$ UND Unterbau $> 2,3$ UND Kappen $> 2,5$)) UND Baujahr <1955

In einem zweiten Arbeitsgang erfolgt eine zeitliche Bündelung. Dabei werden die ermittelten Finanzbedarfswerte für Maßnahmen an unterschiedlichen Bauteilgruppen und Ersatz eines

Teilbauwerks zeitlich gleichmäßig verteilt, wenn sie innerhalb eines festgelegten Zeitfensters vorgesehen sind. Im Sinne der Finanzbedarfsprognose bietet es sich an, dieses Zeitfenster auf Halbdekaden festzulegen.

Die Entscheidung, ob eine Instandsetzung oder Erneuerung gewählt wird, fällt in Abhängigkeit von den durch die Szenarienbildung vorgegebenen Randbedingungen (z. B. verfügbares Budget bei Finanzszenarien, Qualitätsziel bei Qualitätsszenarien).

Maßnahmen zur Verstärkung oder Ertüchtigung von Brücken, die eine zu geringe Tragfähigkeit aufweisen, können derzeit noch nicht im Modellablauf berücksichtigt werden, da noch kein Algorithmus für die Bewertung der längerfristigen Wirkungen derartiger Maßnahmen verfügbar ist.

Die Kostensätze für Maßnahmen an Ingenieurbauwerken wurden im Zusammenhang mit der Entwicklung des BMS in einer Basiskalkulation für ca. 70 verschiedene Maßnahmearten erhoben (*Hellmann, Maerschalk, Rübensam 2002*). Sie beruhen auf einer Analyse der Teilleistungen an einzelnen Bauteilen und wurden mit einigen an der BMS-Entwicklung beteiligten Straßenbauverwaltungen einer ersten Abstimmung unterzogen. Diese Kostenerhebung wurde anschließend auf eine breitere und repräsentativere Basis gestellt (*Freitag, Pommerning, Walther, Stadler 2003*). Die für ein betrachtetes Bauwerk angesetzten Kosten ergeben sich in Abhängigkeit von der Bauwerksgröße und dem Maßnahmeumfang aus der Addition der Teilkomponenten

- Verkehrssicherung,
- Einrichten/Räumen der Baustelle,
- Aufbauen/Vorhalten eines Gerüsts,
- Durchführung der Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme.

In **ANHANG 1 - Datendokumentation** sind beispielhaft einige aus dieser Addition gebildete Einheitskosten (mittlere Brückengröße, mittlerer Maßnahmeumfang) aufgelistet. Die Einheitskosten der dort aufgeführten wichtigsten Maßnahmearten unterscheiden sich je nach Brückengröße und Maßnahmeumfang für alle einzelnen Bauwerke, wobei die Werte mit abnehmender Brückenfläche im Allgemeinen größer werden.

Für die Abgrenzung der baulichen Unterhaltung von Ingenieurbauwerken gegenüber den Maßnahmekosten für Instandsetzung bzw. Erneuerung gibt es bisher keine klaren Definitionen. Im Rahmen der vorliegenden Finanzbedarfsprognose wird davon ausgegangen, dass die angesetzten Kosten für Instandsetzung und Erneuerung bereits mit den baulichen Unterhaltungskosten kombiniert sind. Das heißt, dass im Einzelfall u. U. auf Instandsetzungen zugunsten von baulichen Unterhaltungsarbeiten verzichtet wird. Es werden also keine gesonderten Unterhaltungskosten angesetzt.

Literatur

- Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau (BMV 2004):
RI-EBW-PRÜF – Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerkshauptprüfung nach DIN 1076. Dortmund, Verkehrsblatt – Verlag 2004.
- Freitag, N.; Pommerening, D.; Walther, C; Stadler, A. (2003):
Weiterentwicklung des Verfahrens zur Ermittlung von Baulastträgerkosten im Rahmen des BMS. Schlussbericht zum FE 15.371/2002/HRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. KHP König Heunisch Planungsgesellschaft mbh und PTV traffic mobility logistics. Leipzig 2003.
- Haardt, P. (1999a):
Konzeption eines Managementsystems zur Erhaltung von Brücken und Ingenieurbauwerken. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft B25, Bergisch Gladbach 1999.
- Haardt, P. (1999b):
Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau, Heft B22, Bergisch Gladbach 1999.
- Hellmann, L.; Maerschalk, G.; Rübensam, J (2002).:
Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Maßnahmevarianten für die Erhaltungsplanung auf Objektebene. Schlussbericht zum FE 15.323/2000/HRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. RS Consult und SEP Maerschalk, Berlin 2002.
- Maerschalk, G.; Krause, G.; Hinsch, K. (2012):
Überprüfung und Aktualisierung der Erhaltungsbedarfsprognose der Bundesfernstraßen. Projekt-Nr. 28.0021/2007/ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. SEP Maerschalk, München, März 2012
- Metzler, H (2005).:
Bauwerkserhaltung. Der Elsner, 2005.
- Novak, B., Reichert, F (2001).:
Entwicklung eines Katalogs von Erhaltungsmaßnahmen für Brücken und Ingenieurbauwerke. Schlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt FE 15.319/1999/HRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. Universität Stuttgart, Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren und König Heunisch Beratende Ingenieure. Stuttgart 2001.
- Novak, B.; Brosge, S.; Reichert, F. (2003):
Weiterentwicklung von Verhaltensmodellen im Rahmen des Bauwerks-Management-Systems. Schlussbericht zum FE 15.370/2002/HRB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. Universität Stuttgart, Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren. Stuttgart 2003.