

Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken

R. Schach, J. Otto, H. Häupel, M. Fritzsche

Zusammenfassung Entscheidungen aufgrund von Lebenszykluskosten (Life-Cycle-Kosten) spielen im Brückenbau zunehmend eine bedeutende Rolle. Hintergrund sind die hohen Kosten für die Erhaltung der Bauwerke. Bekannt ist weiterhin, dass die Beeinflussbarkeit der Kosten für die Herstellung und Erhaltung von Brücken in der Planungsphase am höchsten ist. Um diese Fakten quantitativ nutzbar zu machen, müssen jedoch alle im Lebenszyklus einer Brücke anfallenden Kosten einschließlich ihrer gegenseitigen Abhängigkeiten bestimmt und bewertet werden. Dies ist jedoch für die Phase der Bauwerkserhaltung schwierig, da die Vorhersage der im Laufe von mehreren Jahrzehnten zu erbringenden Leistungen nur bedingt möglich ist. Nachfolgend sollen Möglichkeiten für die prognostizierende Bestimmung deren Art und Umfang aufgezeigt werden. Im Ergebnis dieser Betrachtungen können monetäre Entscheidungsgrundlagen in der Planungsphase konkretisiert, die Aufgabenplanungen für die Erhaltung von Brücken präzisiert sowie gesicherte Grundlagen für die Vergleichbarkeit von Instandhaltungsstrategien geschaffen werden.

Life-Cycle-Costs for bridge constructions

Abstract Future decisions about bridge constructions will be more influenced by Life-Cycle-Costs than today. The reasons are higher costs for maintaining the bridges and their significant dependences on structural details. Furthermore it is a well-known fact, that the costs for production and maintaining can be mainly influenced during the design phase of the bridge. Therefore all Life-Cycle-Costs of the bridge, including their mutual dependences has to be known in advance. Mostly this process is difficult to carry out for the maintaining phase, because the prediction of future services and their costs are only fractional realizable. The following article systemizes the different maintaining services and shows possibilities to determine their types and scales. The rewards are to be found in improved monetarily basis for decision-making in the design phase for designers and public authorities. Furthermore the results can be used to compare different maintaining strategies for bridges.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Schach

Direktor des Instituts für Baubetriebswesen
der TU Dresden, 01062 Dresden
rainer.schach@tu-dresden.de

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Jens Otto

Wissenschaftlicher Assistent am Institut für
Baubetriebswesen der TU Dresden, 01062 Dresden
jens.otto@tu-dresden.de

Dipl.-Ing. Hendrik Häupel

Projektleiter bei VIC Brücken und Ingenieurbau GmbH
Ammonstraße 35, 01067 Dresden
haepel@vic-gmbh.de

Dipl.-Ing. Michael Fritzsche

Diplomand am Institut für Baubetriebswesen
der TU Dresden, 01062 Dresden
micha_fritzsche@web.de

1 Einleitung

Das Bruttoanlagevermögen des Bundes an Bundesfernstraßen liegt bei etwa 176,5 Mrd. € (Stand 2002), wobei das Straßennetz für den überörtlichen Verkehr etwa 231.000 km beträgt (Stand 1/2004) [1]. Allein im Jahr 2003 wurde für Bau und Erhaltung der Straßen eine Summe von ca. 5,6 Mrd. € investiert [1]. Rund ein Drittel dieser Kosten wurde dabei für Bau und Erhaltung von Ingenieurbauwerken ausgegeben [2]. Dazu zählen Brücken, Tunnel, Stützwände und Lärmschutzanlagen. Der Gesamtbestand an Brücken in der Baulast des Bundes betrug Ende 2004 ca. 37.000 Bauwerke [1]. Ende 2003 wurde festgestellt, dass 30 % aller Brücken einen „noch ausreichenden“, ca. 12 % sogar einen „kritischen“ Bauwerkszustand aufweisen [1]. Das ist hauptsächlich auf eine eklatante Vernachlässigung der Instandhaltung sowie auf mangelnde Kenntnisse bei neuen Baustoffen und Bautechniken bei der Brückenplanung und -ausführung in den 70er und 80er Jahren zurückzuführen. Weiterhin ist erkennbar, dass bei Entscheidungen über die konstruktive Ausbildung von Brückenbauwerken unbedingt monetäre Kriterien berücksichtigt werden müssen, um die Gesamtkosten für Herstellung und Erhaltung zu minimieren.

Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der **Wirtschaftlichkeit** durch eine integrale Betrachtung von Konstruktion, Instandhaltbarkeit und Dauerhaftigkeit bei voller Funktionserfüllung. Alle vier Kriterien sind voneinander abhängig und bedingen einander. Von großem Interesse im Vorfeld einer Entscheidung zum Bau einer Brücke ist daher die Möglichkeit, deren Wirtschaftlichkeit in den Phasen der Herstellung, vor allem aber der Erhaltung realistisch einschätzen zu können. Literaturquellen geben an, dass deutschlandweit im Mittel etwas unter 1 % der Herstellkosten eines Brückenbauwerkes jährlich in deren Erhaltung investiert werden müssen [3]. Hochgerechnet auf eine angemessene Lebensdauer von über 50 Jahren ergeben sich damit für die Erhaltung von Brücken im Mittel Kosten in Höhe von 50 % der Herstellkosten. Dieser Wert kann jedoch auch 100 % durchaus übersteigen. Deshalb ist es schon im Zuge der Straßen- und Brückenplanung zum Vergleich alternativer Konstruktionsformen oder Linienführungen wichtig, die mit einem Brückenentwurf verbundenen Lebenszykluskosten zu kennen. Da jedoch gerade die Bestimmung der Erhaltungskosten aufgrund der Vielzahl an zu beachtenden Randbedingungen sehr schwierig ist, sollen an dieser Stelle brauchbare Möglichkeiten gesicherter Kostenprognosen aufgezeigt werden.

2 Terminologie der Bauwerkserhaltung

Die Begriffe Instandhaltung, Instandsetzung, Unterhaltung und Erhaltung werden nur selten im richtigen Kontext angewendet. Eine übergeordnete Begriffsbestimmung liefern die DIN 31051 und DIN EN 13306. **Instandhaltung** im Sinne dieser Normen ist die „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der

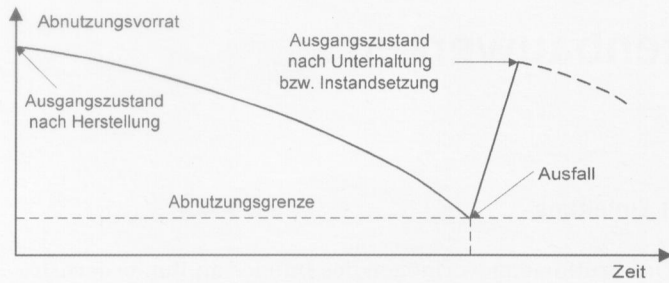


Bild 1. Abbau des Abnutzungsvorrates und seine Erstellung durch Unterhaltung oder Instandsetzung nach DIN 31051

Fig. 1. Degradation of the reserve for wear-out and their increasing by maintenance (DIN 31051)

Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann.“ Es werden vier konkrete Teilmaßnahmen benannt, welche unter dem Begriff Instandhaltung zusammengefasst werden: Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Schwachstellenbeseitigung. Gemäß DIN 31051 besitzen Bauwerke einen so genannten Abnutzungsvorrat (Bild 1). Damit ist die Kapazität einer Betrachtungseinheit gemeint, welche verbraucht werden kann bis eine volle Funktionserfüllung nicht mehr möglich ist. Zu diesem Zeitpunkt ist die Abnutzungsgrenze erreicht und es müssen Instandhaltungsmaßnahmen zur Wiederherstellung des Abnutzungsvorrates eingeleitet werden.

Neben den Definitionen der DIN-Vorschriften liefert die RI-EBW-PRÜF in der Ausgabe von 1998 sowie die DIN 1076 ergänzende Definitionen zur Instandhaltung von Ingenieurbauwerken an Straßen. Die RI-EBW-PRÜF 98 spricht dabei nicht von Instandhaltung, sondern von **Erhaltung** der Bauwerke und gliedert diese in die Bauwerksunterhaltung, Instandsetzung, Erneuerung und den Ausbau. Der Begriff **Bauwerksunterhaltung** wird unterschieden in betriebliche und bauliche Unterhaltung. Die betriebliche Unterhaltung beinhaltet kleinere Maßnahmen, die zur Sicherung der Substanz, Funktion und Verkehrssicherheit des Fahrweges erforderlich sind. Die bauliche Unterhaltung umfasst bauliche Maßnahmen kleineren Umfangs an der Tragkonstruktion ohne nennenswerte Anhebung des Gebrauchswertes. Die Definition der Bauwerksunterhaltung entspricht im Wesentlichen dem Leistungsbild der Wartung nach DIN 31051. Gleichermassen beschreibt der in der DIN 31051 verwendete Begriff der Schwachstellenbeseitigung das Leistungsbild einer präventiven Unterhaltung. Die Definition der **Instandsetzung** gemäß RI-EBW-PRÜF 98 entspricht der Definition nach DIN 31051. Der Begriff **Erneuerung** beinhaltet den Ersatz von Bauteilen bzw. eines ganzen Bauwerks, der Begriff des **Ausbaues** die Ergänzung und Erweiterung von vorhande-

nen Bauwerken. Die Leistungsinhalte der Erneuerung sind somit ebenfalls bedingt mit denen der Instandsetzung nach DIN 31051 vergleichbar. Der Begriff des Ausbaus findet sich in den Definitionen der DIN 31051 nicht wieder. In der aktualisierten Fassung der RI-EBW-PRÜF vom Jahr 2004 wurde auf derartig exakte Definitionen und Leistungsbilder der Erhaltung von Brückenbauwerken verzichtet. Eine umfassende Definition zur **Prüfung** von Bauwerken enthält die DIN 1076. Diese kann mit der Inspektion nach DIN 31051 gleichgesetzt werden.

Aufbauend auf die bestehenden Definitionen kann man die Erhaltung von Brückenbauwerken in drei Bereiche gliedern, welche die Grundlage für die weiteren Ausführungen bilden: Zustandskontrolle, Zustandserhaltung und Zustandsverbesserung (Bild 2). Die **Zustandskontrolle** wird gemäß DIN 1076 in die Bauwerksprüfung und die Bauwerksüberwachung unterschieden. Die Bauwerksprüfung beinhaltet größere Untersuchungen des Bauwerkszustandes zur Ableitung von Zeitpunkt und Umfang erforderlicher Unterhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen und ist in die Einfache Prüfung sowie die Hauptprüfung zu unterscheiden. Die Bauwerksüberwachungen bestehen aus regelmäßigen optischen Überprüfungen kleineren Umfangs zur Verfolgung bestimmter Schadensentwicklungen. Sie können in Besichtigungen und Beobachtungen unterschieden werden. Die **Zustandserhaltung** wird gemäß RI-EBW-PRÜF 98 in die bauliche und betriebliche Unterhaltung gegliedert. Die **Zustandsverbesserung** ist mit der Instandsetzung der Brücken gleichzusetzen. Diese beinhaltet alle größeren Reparaturmaßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung des Bauwerkszustandes sowie den Austausch abgenutzter Bauteile. Die Instandsetzung bezieht sich dabei nur auf den Urzustand nach Übergabe des betriebsbereiten Bauwerks. Alle Maßnahmen zur Verbesserung und Erweiterung des Bauwerkszustandes über diesen Urzustand hinaus, wie Brückenverbreiterungen, der Anbau zusätzlicher Bauteile sowie Teil- oder Vollersatzneubauten fallen nicht unter den Begriff der Bauwerkserhaltung.

3 Lebenszykluskosten im Brückenbau

3.1 Lebenszyklusphasen einer Brücke

Brückenbauwerke verursachen in jeder Phase ihres Lebenszyklus Kosten. Unter dem Begriff *Kosten* wird der monetär bewertete Verzehr von Gütern und Dienstleistungen verstanden. Die Gesamtheit dieser Kosten wird als Lebenszykluskosten bezeichnet. Bei einer Brücke wird der Lebenszyklus grundsätzlich in drei Phasen gegliedert (Bild 3). Die Phase 1 beinhaltet die Herstellung und wird nochmals in Pla-

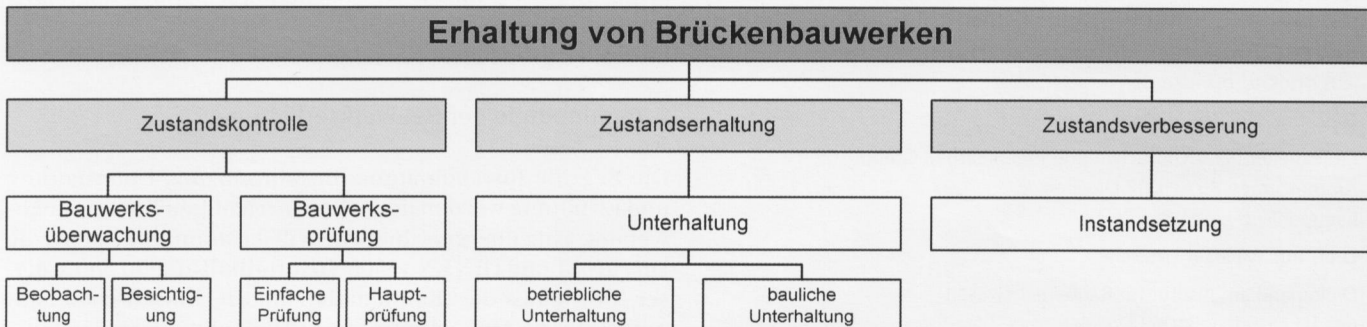


Bild 2. Begriffliche Zusammenhänge bei der Erhaltung von Brückenbauwerken

Fig. 2. Definitions in the context of bridge maintenance

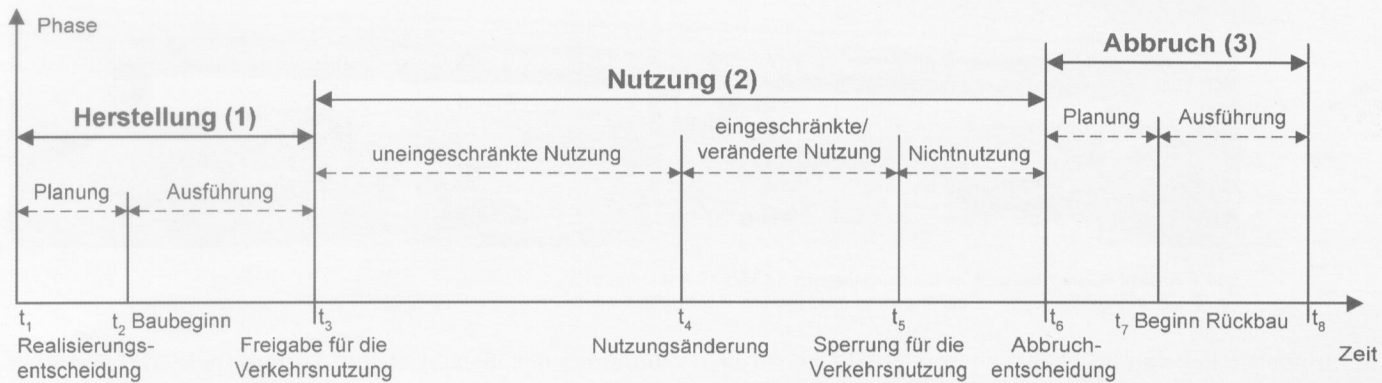


Bild 3. Lebenszyklusphasen eines Brückenbauwerkes
Fig. 3. Phases of the life-cycle of bridges

nung und Ausführung unterteilt. Daran schließt sich die Nutzungsphase an (Phase 2). Die Nutzungsphase wird in einen Zeitraum der uneingeschränkten Nutzung und einen Zeitraum der eingeschränkten/veränderten Nutzung unterschieden. Haben sich die äußeren Randbedingungen oder der Zustand des Bauwerks so stark verändert, dass eine Funktionserfüllung nicht oder nur mit starken Einschränkungen möglich ist, dann schließt sich mit Phase 3 der Abbruch des Bauwerkes an. Wird diese Phase aus finanziellen oder verkehrstechnischen Gründen nicht sofort eingeleitet, ist ihr noch der Zeitraum der Nichtnutzung vorangestellt.

3.2 Herstellkosten

Die Herstellkosten umfassen neben den Aufwendungen für den Grunderwerb die Kosten für die Planung und die Ausführung des Bauwerkes. Im Zuge der **Planung** fallen zunächst Kosten für die Vor-, Entwurfs-, Genehmigungs- und Ausführungsplanung sowie für die Vorbereitung und Mitwirkung bei der Vergabe an. Deren Höhe ist in der HOAI geregelt. Ein Honoraranspruch entsteht durch Planungsleistungen für Ingenieurbauwerke und Verkehrsanlagen (§ 51 ff. HOAI), zusätzlich aber auch durch Leistungen der Tragwerksplanung (§ 62 ff. HOAI), für Bodenmechanik, Erd- und Grundbau (§91ff. HOAI) sowie vermessungstechnische (§ 96 ff. HOAI) und landschaftsplanerische Leistungen (§ 43 ff. HOAI). Neben den genannten Kosten können auch Kosten für die verwaltungsinterne Planungsbetreuung bei den öffentlichen Behörden anfallen. Diese gliedern sich in Personal-, Ausrüstungs- und Ausstattungskosten der Verwaltungsangestellten (Büroausstattung, Fahrzeuge usw.). Die höchsten Aufwendungen der Herstellphase fallen im Zuge der **Bauausführung** an. Diese sind vor allem die Kosten des bauausführenden Unternehmens sowie der Bauüberleitung des Auftraggebers (Lph. 8, § 55 HOAI), der Bauüberwachung (§ 57 HOAI) sowie die Gebühren für die Prüfung der Ausführungsunterlagen. Weiterhin entstehen Kosten für Leistungen, wie z. B. die Objektbetreuung und Dokumentation nach Lph. 9, § 55 HOAI oder Gutachten sowie für die vor der Abnahme der Gesamtleistung erforderliche erste Hauptprüfung nach DIN 1076.

3.3 Nutzungskosten

Bei der Nutzung von Brückenbauwerken fallen Kosten insbesondere für die Leistung der Erhaltung, also Kontroll-, Unterhaltungs- und Instandsetzungsleistungen an. Einzelheiten sind im Kapitel 4 erläutert. Weiterhin können Kosten für den Betrieb der Brückenausstattung (Beleuchtung, Über-

wachung usw.) anfallen. Diese Kosten sollen jedoch an dieser Stelle nicht weiter verfolgt werden, da sie für Lebenszykluskosten-Entscheidungen bei Brücken nur selten von Bedeutung sind. Für Kosten der Verkehrssicherung bei eingeschränkter/veränderter Nutzung oder Nichtnutzung sowie verwaltungsbegleitender Maßnahmen wird auf den vor- und nachgelagerten Abschnitt verwiesen.

3.4 Abbruchkosten

Der Brückenabbruch kann als Totalabbruch oder als Teilabbruch mit weiterführender Nutzung noch vorhandener Bauteile erfolgen. Ähnlich der Herstellung setzen sich auch die Abbruchkosten insbesondere aus denen der Planung, Ausführung und verwaltungsseitigen Betreuung zusammen. Wenn aus Gründen des Lärm-, Unfall- oder Umweltschutzes besondere Schutzvorkehrungen zu treffen sind, können diese die Kosten des Abbruchs und der Entsorgung weiter erhöhen. Gleiches gilt für die Entsorgung von kontaminierten Materialien. Kosten für die Verkehrssicherung sind oft ein weiterer Teil der Abbruchkosten. In der Regel sind Umleitungen für den Verkehr oder Behelfsbrücken einzurichten.

3.5 Beeinflussbarkeit von Lebenszykluskosten

Die in den einzelnen Lebenszyklusphasen erbrachten Leistungen haben Auswirkungen auf Leistungen der gleichen und nach gelagerten Phase(n). Ziel des Baulasträgers muss es daher sein, die mit den Leistungen einhergehenden Kosten so zu beeinflussen, dass wirtschaftlich betrachtet minimale Gesamtkosten entstehen. Als wirtschaftlich ist eine Sache immer dann anzusehen, wenn entweder mit dem geringst möglichen Einsatz ein festgelegtes Zustandsniveau (finanzbezogene Wirtschaftlichkeit) oder mit einem festgelegten Einsatz das bestmögliche Zustandsniveau (zustandsbezogene Wirtschaftlichkeit) erreicht wird. Für Brücken ist die finanzbezogene Wirtschaftlichkeit von Bedeutung, das heißt, die Lebenszykluskosten sollten bei voller Funktionserfüllung (Standssicherheit, Verkehrssicherheit, Funktionalität und Dauerhaftigkeit) so gering wie möglich sein. Dabei gilt festzustellen, in welchen Bereichen eines Lebensabschnittes zusätzliche oder unterlassene Maßnahmen finanzielle Auswirkungen auf die Kosten anderer Phasen haben. Da bekanntlich die Beeinflussbarkeit der Bauwerkserhaltung während der Herstellphase am größten ist, sollten bereits dort die entscheidenden Voraussetzungen für eine einfache Bauwerksprüfung sowie eine aufwandsarme Instandsetzung geschaffen werden. Neben der Wahl geeigneter Materialien ist im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit und



Bild 4. Ansicht Referenzbauwerk im Kreuzungsbereich B 156/BAB A 4 in Bautzen
 Fig. 4. Side view of the reference building at the road junction B 156/BAB A 4 in Bautzen

Kontrollierbarkeit von Brücken insbesondere die konstruktive Durchbildung zu betrachten. Setzt man kapitalmarktorientierte Entscheidungsgrundlagen voraus, sollte die abschließende quantitative Wertung von Entscheidungsalternativen maßgeblich an einer kapitalisierenden Gesamtkostenbewertung unter Anwendung finanzmathematischer Verfahren orientieren.

4 Leistungen bei der Erhaltung von Brückenbauwerken

4.1 Vorbemerkung

Die erforderlichen Nutzungskosten von Brückenbauwerken können im Gegensatz zu den Herstellkosten in frühen Planungsphasen nur sehr schwer prognostiziert werden. Gründe dafür liegen in dem fehlenden Wissen über die Art und den Umfang der während der Nutzungsphase zu erwartenden Schädigungsverläufe und den damit verbundenen erforderlichen Leistungen. Die Literatur bietet dafür zwar verschiedene Ansätze, zumeist jedoch nur mit einem unzureichenden Genauigkeitsgrad. Grundsätzlich kann man sagen, dass die Genauigkeit der Kostenprognose zwar mit fortschreitendem Planungsstand zunimmt, jedoch auch nach Abschluss der Herstellphase noch mit beträchtlichen Unsicherheiten verbunden ist. Erst mit voranschreitender Nutzungsphase werden die Annahmen genauer, da dann die Wahrscheinlichkeit, dass bestimmte Schadensbilder eintreten, durch regelmäßige Prüfungen besser eingeschätzt werden kann. Für die Bestimmung der Lebenszykluskosten ist jedoch eine realistische Abschätzung der Nutzungskosten noch vor Ausführung der Bauwerke erforderlich. Derzeit existieren dafür nur relativ ungenaue Verfahren für die Be-

stimmung der Instandsetzungskosten. Diese Verfahren bestimmen jedoch nur einen prozentualen Richtwert der Instandsetzungskosten in Abhängigkeit der Herstellkosten. Die Angaben in der Literatur schwanken dabei zwischen 0,4 % [2] und 2,0 % [4] der Herstellkosten p. a. Daran ist jedoch ersichtlich, mit welchen Unsicherheiten eine solche Abschätzung verbunden sein kann. Für die Abschätzung der Kosten für die Zustandskontrolle finden sich in der Literatur verschiedene Ansätze [2]. Für die Zustandserhaltung sind Kostenprognosen nur in Form von statistischen Auswertungen bestehender Erfahrungswerte vorhanden.

Um für die Voraussage von Unterhaltungs- und Instandsetzungskosten belastbarere Zahlen zu erhalten, werden derzeit im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), im Rahmen der Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems (BMS) Forschungsarbeiten durchgeführt, welche der Prognose von Instandsetzungskosten deterministische Schadensverlaufsmodelle zugrunde legen. Dies verspricht eine genauere Vorhersage der Schadensentwicklung und ist damit Grundlage für die prognostizierende Planung von Unterhaltungs- und Instandsetzungsleistungen [5].

Nachfolgend werden von den Autoren die genannten Forschungsergebnisse auf ein konkretes Brückenbauwerk angewendet, um beispielhaft die Kosten für die Bauwerks-erhaltung (Zustandskontrolle, -erhaltung und -verbesserung) zu bestimmen. Es sei darauf verwiesen, dass die ermittelten Kostenansätze einen Leistungsumfang voraussetzen, der dem Idealbild der Bauwerkserhaltung entspricht. Dieser Leistungsumfang beinhaltet die Durchführung aller

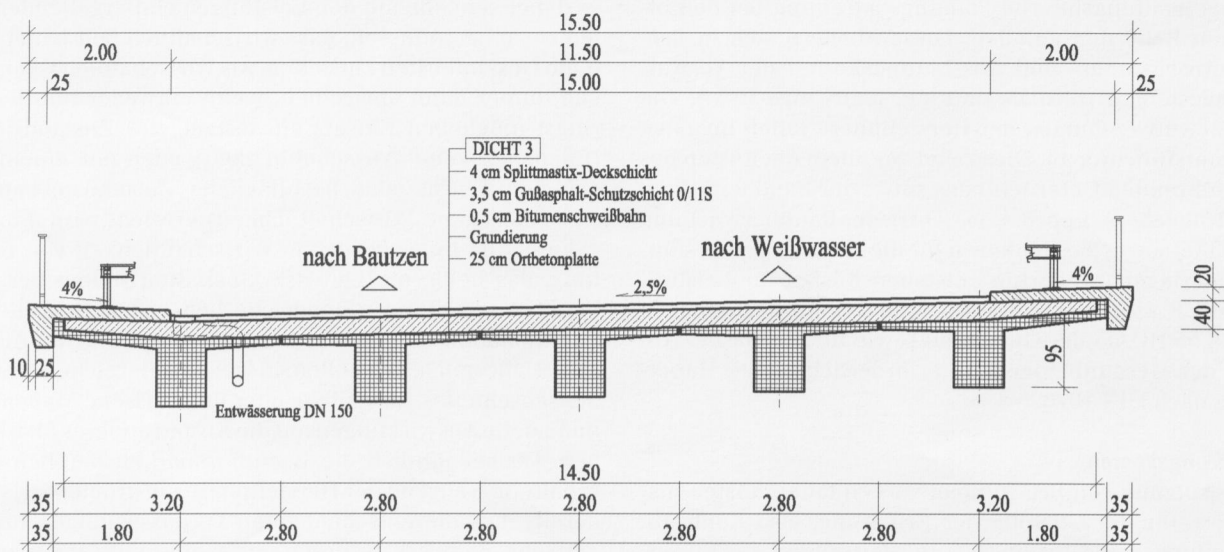


Bild 5. Regelquerschnitt Referenzbauwerk (RQ 15,5)
 Fig. 5. Cross Section of the reference building (RQ 15,5)

notwendigen Erhaltungsmaßnahmen zum theoretisch erforderlichen Zeitpunkt. Bei dem in **Bild 4** und **Bild 5** dargestellten Referenzbauwerk handelt es sich um ein Ü-Bauwerk (RQ 15,5, Breite zwischen Geländern 15 m, Halbfertigteilbauweise, 705 m² Brückenfläche), das als zweifeldriger, 5-stegiger Plattenbalken mit Stützweiten von 22,5 m und 24,5 m ausgeführt wurde.

4.2 Leistungen der Zustandskontrolle

Die **Bauwerksüberwachung** als ein Teil der Zustandskontrolle dient der Schadenserkenkung und gliedert sich in die „laufende Beobachtung“ und die „Besichtigung“. Bei Ingenieurbauwerken sind zwei Mal jährlich im Rahmen der **laufenden Beobachtung** alle Bauteile auf offensichtliche Mängel oder Schäden hin zu untersuchen. Die Beobachtung ist eine reine Sichtprüfung und dauert je nach Bauwerk selten länger als einen Tag. Sie wird i. d. R. durch ein bis zwei Personen vorgenommen und beinhaltet eine Untersuchung auf Mängel und Schäden, die zur Beeinträchtigung der Stand- und Verkehrssicherheit führen. Beobachtungen beschränken sich auf die frei zugänglichen Bereiche der Bauwerke. **Besichtigungen** hingegen finden einmal jährlich mit ein bis zwei Personen ohne zusätzliche Besichtigungsgeräte, aber unter Nutzung von am Bauwerk vorhandenen Besichtigungsanlagen statt. Festgestellte Mängel oder Schäden am Bauwerk müssen protokolliert werden. Die Besichtigung erfordert im Gegensatz zur Beobachtung einen höheren Zeitaufwand. Die Bauwerksüberwachung ist i. d. R. Pflichtaufgabe der Straßenmeistereien. Zur Bauwerksüberwachung sind mit Ausnahme des Transportfahrzeuges keine zusätzlichen Geräte erforderlich. Der Verwaltungsaufwand seitens der administrativen Stellen ist vernachlässigbar klein. Die Leistungen der Beobachtung und der Besichtigung beinhalten Personal- und Arbeitsplatzkosten für die prüfbeteiligten Personen für die Dauer der Prüfung und der anschließenden Dokumentation. Weiterhin fallen Fahrtkosten für die Prüfer zum Bauwerk an. Die Kosten der laufenden Beobachtung des **Referenzbauwerkes** belaufen sich auf ca. 75,- €/Beobachtung (0,10 €/m² Brückenfläche). Die Kosten der Besichtigung des Referenzbauwerkes betragen ca. 175,- €/Besichtigung (0,25 €/m² Brückenfläche). Stellt man die genannten Kosten der Bauwerksüberwachung den Kosten vergleichbarer Brückenkonstruktionen, z. B. einer Stahlverbund-, Ort beton- oder Rahmenbrücke gegenüber, würden sich ähnliche Kostenansätze ergeben. Es besteht aufgrund des begrenzten Prüfumfanges nahezu keine Abhängigkeit der Kosten für die Bauwerksüberwachung von der konstruktiven Ausbildung des Brückenbauwerkes.

Die **Bauwerksprüfung** als zweiter Teil der Zustandskontrolle beinhaltet die feingliedrige Untersuchung des Ingenieurbauwerkes. Sie gliedert sich in die Einfache Prüfung und die Hauptprüfung, wobei beide Prüfungen in einem Drei-Jahres-Rhythmus zu wiederholen sind. Die **Hauptprüfung** ist die erste Prüfung eines Bauwerks in Form der umfassenden Bauwerksabnahme nach der Herstellung. Dabei müssen alle Bauwerksteile, teilweise auch mit zusätzlichen Besichtigungsgeräten, handnah und sehr detailliert geprüft werden. Die Hauptprüfungen beinhalten die Untersuchung in einer Weise, die eine umfassende Aussage zum Bauwerkszustand und dessen weiterer Entwicklung möglich macht. Die Ergebnisse der Prüfung werden elektronisch erfasst (SIB-Bauwerke) und bilden die Grundlage für eine Zustandsnote. Diese ist Indikator für die Dringlichkeit von Zustandserhal-

tungs- oder -verbesserungsmaßnahmen. Die **Einfache Prüfung** ist als intensive, erweiterte Sichtprüfung durchzuführen. Funktionsteile und Gründungen sind in die Prüfung einzubeziehen. Reicht der übliche Umfang einer Einfachen Prüfung nicht aus, den Bauwerkszustand eindeutig zu bestimmen, ist dieser ganz oder teilweise auf den Umfang einer Hauptprüfung zu erweitern. Hauptprüfungen und Einfache Prüfungen werden durch Prüftrupps durchgeführt. Diese bestehen in der Regel, je nach Größe des Bauwerks und Kapazität der prüfenden Stelle, aus zwei bis sechs Personen. Sie benötigen zur Prüfung eine Grundausrüstung an Geräten. Weiterhin können Spezialgeräte zum Einsatz kommen. Die erreichten Leistungswerte (m²/h) sind abhängig von der zu untersuchenden Fläche und werden hauptsächlich in die Prüfung von Beton-, Kappen-, Belags- und Stahlflächen gegliedert. Letztgenannte fordert aufgrund der aufwendigen Prüfmethode üblicherweise den größten Zeitaufwand. Dabei wird deutlich, dass die erreichbaren Leistungswerte der Prüfung stark vom zu prüfenden Baustoff, den konstruktiven Besonderheiten sowie der Zugänglichkeit der Bauteile abhängen. Erfahrungswerte zeigen, dass sich die Leistungswerte der Einfachen Prüfung im Vergleich zur Hauptprüfung annähernd um den Faktor 2,5 unterscheiden. Je nach Verkehrssituation auf und unter der Brücke können zusätzlich erhebliche Verkehrssicherungsmaßnahmen erforderlich werden.

Beide Prüfungsarten werden von den Straßenbauämtern bzw. unabhängigen, privaten Ingenieurbüros durchgeführt. Die Leistungen für die **Einfache Prüfung** und die **Hauptprüfung** fallen in einem Zyklus von jeweils sechs Jahren an. Sie beinhalten Personal- und Arbeitsplatzkosten (Ausrüstung und Ausstattung der Prüfbeteiligten) für die Dauer der Prüfung und anschließenden Dokumentation, Kosten für Verbrauchsmaterialien (Gipsmarken, Indikatorstoffe usw.) sowie anteilig Personal- und Arbeitsplatzkosten für die verwaltungsinterne Betreuung (Abteilungsleiter, Sachgebietsleiter usw.) der zuständigen Behörde. Neben den Personalkosten fallen Transportkosten für den Prüftrupp zum Bauwerk sowie Kosten für erforderliche Hebe- und Rüstzeuge zur Besichtigung an. Je nach örtlicher Situation müssen Kosten für Verkehrssicherungsmaßnahmen auf und ggf. auch unter dem Bauwerk berücksichtigt werden. Alle aufgeführten Kosten sind variable Kosten und abhängig vom Leistungswert der jeweiligen Prüfung. Die Gesamtkosten für eine Hauptprüfung des **Referenzbauwerkes**, durchgeführt von Mitarbeitern der öffentlichen Verwaltung, belaufen sich auf 5.000,- € (ca. 7,00 €/m² Brückenfläche). Darin eingeschlossen sind Kosten für die eigentliche Prüfung (ca. 23 %), die Dokumentation (ca. 7 %) und ingenieurmäßige Auswertung (ca. 6 %), das Fahrzeug (ca. 2 %), den Hubsteiger (ca. 12 %) sowie die Verkehrssicherung (ca. 50 %). Der Kostenbestimmung wurden exakte Leistungswerte sowie die Mengen der zu prüfenden Brückenflächen zugrunde gelegt. Die Gesamtkosten für eine Einfache Prüfung belaufen sich bei dem Referenzobjekt auf 2.800,- € (ca. 4,00 €/m² Brückenfläche). Stellt man wiederum die erforderlichen Kosten der Bauwerksprüfung des Referenzbauwerkes den Kosten vergleichbarer Brückenkonstruktionen aus Stahlbeton gegenüber, ergeben sich ähnliche Kostenansätze. Unterschiede sind in diesen Fällen nur auf die unterschiedliche Größe der Prüfflächen zurückzuführen. Je feingliedriger die Bauwerke sind, um so größer sind die zu prüfenden Oberflächen und damit auch die Prüfkosten. Unterscheiden sich die Bauwer-

ke auch in Art und Anzahl der Lager sowie Art der Übergangskonstruktion, ist das mit zusätzlichen Kostenabweichungen verbunden. Eine Änderung der Prüfdauer geht dabei oft mit einer Änderung der Verkehrssicherungs- und Geräteinsatzdauer einher. Daher sind bei Rahmenbauwerken aufgrund der fehlenden Lager, der einfachen Übergangskonstruktionen und der gedrungenen Querschnittsform die Prüfkosten üblicherweise am geringsten. Bei Stahl- und Stahlverbundkonstruktionen ergeben sich durch die meist sehr feingliedrigen Stahlflächen und relativ hohen Aufwandswerte bei deren Prüfung meist sehr hohe Prüfkosten.

4.3 Leistungen der Zustandserhaltung

Die **Zustandserhaltung** umfasst alle Maßnahmen, welche den Abbau des Abnutzungsvorrates verlangsamen. Sie erhalten den Gebrauchswert ohne ihn zu verbessern. Man unterscheidet dabei in bauliche und die betriebliche Unterhaltung. Die **betriebliche Unterhaltung** wird ausschließlich durch die Straßenmeistereien durchgeführt. Sie umfasst all jene Maßnahmen, welche insbesondere der Erhaltung der Verkehrssicherheit und der Sicherung der Bausubstanz dienen. Beispiele sind Sofortmaßnahmen bei Ausbrüchen des Fahrbahnbelages, Säubern der Fahrbahnübergangskonstruktion oder die Erneuerung beschädigter Schutzplanken. Die **bauliche Unterhaltung** umfasst kleinere Reparaturen und Ausbesserungsarbeiten am Brückenbauwerk. Diese werden meist durch die Bauabteilungen der Straßenbauämter oder Straßenmeistereien durchgeführt. Handelt es sich um umfangreichere Maßnahmen, kann es auch zu einer Fremdvergabe kommen. Beispiele sind kleinere Betonausbesserungen, Beseitigen von Graffiti oder Korrosionsschutzarbeiten an Lagern. Während in den ersten Jahren vorrangig eine betriebliche Unterhaltung erforderlich wird, überwiegen durch zunehmende Mängel und Schäden in späteren Jahren die Maßnahmen der baulichen Unterhaltung. Eine genaue Prognose der zu erwartenden Unterhaltungsleistungen kann nur durch eine pauschale Abschätzung mittlerer jährlicher Mengen üblicher Maßnahmen erfolgen, da deren Durchführung stark von politischen und finanziellen Faktoren abhängen.

Für die Zustandserhaltung des **Referenzbauwerkes** wurden im Mittel jährliche Kosten in Höhe von 2.500,- € (ca. 3,50 €/m² Brückenfläche) ermittelt. Diese umfassen hauptsächlich Leistungen wie z. B. die Beseitigung von Graffiti und Ausbrüchen im Fahrbahnbelag, kleinere Betoninstandsetzungen oder die Erneuerung beschädigter Schutzplanken. Leistungswerte, Mengen sowie zugehörige Kosten beruhen auf Erfahrungswerten der zuständigen Behörden. Die Kosten für die Zustandserhaltung sind nahezu unabhängig von der gewählten Konstruktionsform der Brücke, da die Art der zugrunde liegenden Leistungen in der Regel unabhängig von der konstruktiven Ausbildung der Brücke ist.

4.4 Leistungen der Zustandsverbesserung

Der kostenintensivste Teil der Erhaltung von Brückenbauwerken ist die **Instandsetzung**. Instandsetzungsmaßnahmen sind unabdingbar, wenn Nutzungsdauern über mehrere Jahrzehnte angestrebt werden. Die erforderlichen Maßnahmen unterscheiden sich in ihrer Art und in ihrem Umfang, zielen jedoch hauptsächlich auf den Korrosionsschutz, die Erneuerung der Fahrbahnbeläge, der Instandsetzung der Betonoberfläche sowie der Lager und Fahrbahnübergangskonstruktionen ab. Sie orientieren sich an dem jewei-

ligen Bauwerkszustand und somit an den Ergebnissen der Zustandskontrollen. Deshalb sind frühe Prognosen für eine lebenszyklusorientierte Betrachtung nur mit einem hohen Maß an Ungenauigkeit möglich. Nachfolgend wird jedoch ein viel versprechendes Verfahren vorgestellt, welches die Art und den Umfang von zukünftigen Instandsetzungsmaßnahmen auf Grund deterministischer Verfahren bereits während der Planungsphase eines Brückenbauwerkes bestimmbar macht.

Das **Verfahren zur prognostizierenden Leistungsbestimmung der Zustandsverbesserung** basiert auf aktuellen Forschungsergebnissen, die im Rahmen eines Bauwerks-Management-Systems im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) durchgeführt werden [5]. Dem Verfahren liegen validierte Modelle zugrunde, die das zukünftige Verhalten von Bauteilen und damit deren Zustandsentwicklung infolge der äußeren Belastung und den Umgebungsbedingungen beschreiben. Weiterhin werden verschiedene Möglichkeiten der Instandsetzung in Verbindung mit ihrer Wirksamkeit gebracht. Maßgebender Kennwert des gesamten Verfahrens ist die Zustandsnotenentwicklung nach RI-EBW-PRÜF 2004. Die Zustandsnote wird ausgehend vom Optimalzustand nach Fertigstellung des Bauwerkes zum Zeitpunkt $t = 0$ durch zwei zeitabhängige Verhaltensmodelle beeinflusst: das Schädigungsmodell und das Nutzungsdauermodell. Beide Modelle beschreiben die Verschlechterung des Zustandes einzelner Bauwerksteile in Abhängigkeit der äußeren Einflüsse. Das Schädigungsmodell beinhaltet das zeitliche Fortschreiten von Schädigungen auf Grundlage von zumeist chemischen Vorgängen (z. B. durch Betonkarbonatisierung, Chlorideindringung, Korrosion). Das Nutzungsdauermodell beschreibt hingegen die Zustandsentwicklung von Bauteilen aufgrund von empirisch gesicherten Erfahrungswerten ohne Berücksichtigung von Schädigungsmechanismen (z. B. Zustandsentwicklung von Verformungslagern). Die gewählten Instandsetzungsarbeiten ergeben in Abhängigkeit ihrer Art Rücksetzwerte, welche wiederum die Zustandsnote des Gesamtbauwerkes verbessern [5].

Nachfolgend soll das Verfahren näher beschrieben werden: Zu Beginn der Leistungsbestimmung von zukünftigen Instandsetzungsmaßnahmen (ggf. auch von Unterhaltungsmaßnahmen, vgl. Abschnitt 4.3) erfolgt eine Schadensbeurteilung der einzelnen Bauteile (Unterbau, Überbau, Verschleißteile) auf einer Skala von 1,0 bis 4,0 nach den Vorgaben der RI-EBW-PRÜF, direkt nach Herstellung des Bauwerkes. Da das Bauwerk zu diesem Zeitpunkt keine Mängel aufweisen sollte, wird dabei in der Regel eine Zustandsnote von 1,0 ermittelt. Ausgehend von den Zustandsnoten der einzelnen Bauteile wird deren zukünftige Entwicklungen in Abhängigkeit der genannten Schädigungs- und Nutzungsdauermodelle prognostiziert. Im Ergebnis entsteht für jedes Bauteil die Zustandsnotenentwicklung in Abhängigkeit der Zeit (**Bild 6**). Die Gesamtzustandsnote der Brücke entspricht der schlechtesten Bauteilnote [6]. In einem weiteren Schritt ist eine geeignete Bauwerkserhaltungsstrategie festzulegen (vgl. Kapitel 5). Mit dieser Strategie ist die Aussage verbunden, bis zu welcher Zustandsverschlechterung das Bauwerk ohne Instandsetzungsmaßnahmen belassen werden soll. Dazu ist eine Gesamtzustandsnote des Bauwerkes festzulegen, ab der spätestens Instandsetzungsmaßnahmen eingeleitet werden. Dabei sind Grenzwerte einzuhalten, einen unteren Wert, ab dem Schäden prinzipiell erst bei der Instand-

Jahre	Überbau			Unterbau			Verschleißteile							Gesamtzustand des Bauwerks	
	Betonzustand - Abtrag, Stahlkorrosion	Betonzustand - Risse	Betonzustand - Karbonatisierung, Chloridbelastung, Stahlkorrosion	Betonzustand - Abtrag, Stahlkorrosion	Betonzustand - Risse	Betonzustand - Karbonatisierung, Chloridbelastung, Stahlkorrosion Stütze+Widerlager	Kappen	Lager	Übergangskonstruktion	Geländer	Fahrbahnbelag	Abdichtung unter Fahrbahn	Bauwerksentwässerung		
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2
2	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2	1,3
3	1,3	1,3	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,3	1,5
...
12	2,0	2,1	1,6	2,0	1,6	1,7	2,2	2,0	2,4	2,4	2,8	2,8	2,0	2,8	2,8
13	2,1	2,1	1,7	2,1	1,7	1,8	2,3	2,1	2,6	2,6	2,9	2,9	2,1	2,9	2,9
14	2,1	2,2	1,7	2,1	1,7	1,8	2,4	2,2	2,7	2,7	3,1	3,1	2,2	3,1	3,1
...
19	2,3	2,4	2,0	2,3	2,0	2,1	2,9	2,6	3,3	3,3	3,9	3,9	2,6	3,9	3,9
20	2,4	2,5	2,0	2,4	2,0	2,2	3,0	2,7	3,4	3,4	4,0	4,0	2,7	4,0	4,0
21	2,5	2,5	2,1	2,5	2,0	2,3	3,1	2,8	3,5	3,5	4,0	4,0	2,8	4,0	4,0
...
35	3,6	3,4	2,8	3,6	2,9	3,3	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Bild 6. Unterstellte Zustandsnotenentwicklung des Referenzbauwerkes ohne Durchführung von Instandsetzungsmaßnahmen
 Fig. 6. Assumed development of the grade of building conditions of the reference building without maintenance

setzungsplanung berücksichtigt werden und einen oberen Wert, ab dem Einschränkungen in der Funktionsfähigkeit zu erwarten sind. Instandsetzungen außerhalb des sich ergebenden Intervalls sind unwirtschaftlich bzw. bringen größere Risiken mit sich (Bild 7).

Nachdem die chronologische Zustandsnotenentwicklung, die zu erwartenden Schäden und deren Eintrittszeitpunkte sowie der Zeitpunkt der ersten Instandsetzung bekannt sind, müssen Überlegungen über mögliche Instandsetzungsmaßnahmen angestellt werden. Im Rahmen der Forschungsarbeiten der BAST wird dafür ein Katalog erarbeitet, in dem für definierte Schäden geeignete Instandsetzungsmaßnahmen vorgeschlagen werden. Jeder Instandsetzungsmaßnahme ist dort weiterhin ein geschätzter Rücksetzwert zugeordnet, der die Zustandsnote der instand gesetzten Bauteile herabsetzt. Auf Grundlage dieser Rücksetzwerte kann nun festgelegt werden, welche Zustandsnote die Brücke nach der Zustandsverbesserung erreicht. Diese Zustandsnote ist abschließend wieder Ausgangspunkt, um deren zukünftige Entwicklung in Abhängigkeit der genannten Schädigungs- und Nutzungsdauermodelle zu prognostizieren.

Ein wichtiges Kriterium für die wirtschaftliche Instandsetzung ist die Bündelung von Maßnahmen. Das führt dazu, dass die Verkehrsbehinderung minimiert wird und die Kosten für Baustelleneinrichtung, Verkehrslenkung und Bauausführung durch Zusammenfassung und Mengenerhöhung

sinken. Dafür ist aber eine gewisse Flexibilität hinsichtlich des Zeitpunktes der Instandsetzungsmaßnahme erforderlich, um für möglichst viele geschädigte Bauteile einen wirtschaftlich sinnvollen Instandsetzungszeitpunkt zu bestimmen.

Die Bestimmung der Gesamtzustandsnote des Bauwerkes, ab der eine wirtschaftlich sinnvolle Instandsetzung möglich ist, hängt von vielen Randbedingungen ab. Daher kann sie nicht bestimmt, sondern nur aus Erfahrungswerten abgeleitet werden. Üblicherweise schwankt sie zwischen 2,5 und 3,0. Wird eine niedrige Zustandsnote gewählt (z. B. 2,5), werden sehr häufig Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich. Bei einer hohen Zustandsnote hingegen (z. B. 3,0) ist eine Bündelung mehrerer Maßnahmen bei abnehmenden Instandsetzungsintervallen möglich. Eine Aussage über die Kostenvorteile beider Varianten ist nur bedingt möglich, da einerseits bei häufigen Instandsetzungsmaßnahmen jeweils nur ein geringer Schadensumfang zu beheben ist, andererseits die kumulierten, schadensunabhängigen Fixkosten aller Maßnahmen (z. B. für die Verkehrssicherung) relativ hoch sind. Die Kosten der Instandsetzung setzen sich aus den Kosten für Planung und Bauausführung, Verkehrssicherung sowie die verwaltungsseitige Betreuung zusammen. Für die Ermittlung der Instandsetzungskosten am gewählten Referenzbauwerk wurde eine Strategie gewählt, bei welcher der Gesamtzustand des Bauwerkes eine Bewertung

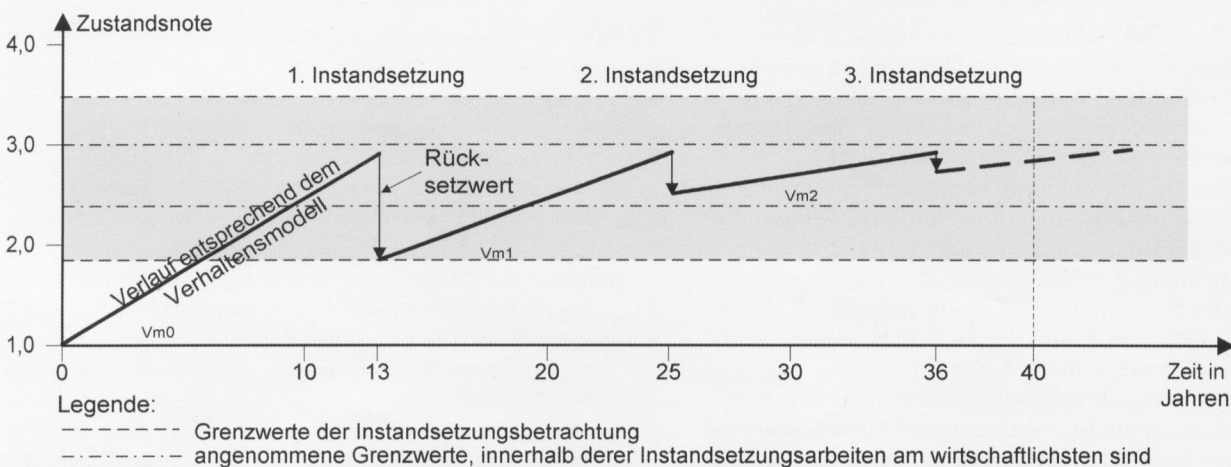


Bild 7. Zustandsnotenentwicklung des Referenzbauwerkes bei drei Instandsetzungsmaßnahmen
 Fig. 7. Development of the grade of building conditions with three maintenances

nach RI-EBW-PRÜF 2004 von 2,9 nicht unterschreiten sollte. Anschließend wurden alle im Schadenskatalog der RI-EBW-PRÜF aufgeführten Schadensbilder betrachtet und mit Hilfe der Forschungsergebnisse der BAST der zu erwartenden Schadensentwicklung gegenüber gestellt. Im Ergebnis entstanden die in Bild 6 dargestellten Aussagen über die zu erwartenden Eintrittszeitpunkte von Schäden sowie die Zustandsnotenentwicklung aller relevanten Bauteile des Brückenbauwerkes. Die genannten Forschungsarbeiten liefern für einzelne Schadensbilder weiterhin Aussagen über Art und Umfang geeigneter Instandsetzungsmaßnahmen und die dadurch zu erwartende Verbesserung der Zustandsnote (Rücksetzwert) des geschädigten Bauteils sowie des gesamten Bauwerkes. Für das hier untersuchte Referenzbauwerk ergaben sich für den betrachteten Zeitraum von 40 Jahren drei Instandsetzungsmaßnahmen unterschiedlichen Umfangs in einem Intervall von 13, 12 und 11 Jahren. Die dabei prognostizierte Zustandsnotenentwicklung ist in Bild 7 dargestellt.

Bewertet man abschließend die in den drei Instandsetzungsmaßnahmen durchzuführenden Leistungen mit marktüblichen Preisen, ergeben sich für die drei Instandsetzungen Kosten in Höhe von $(0,26 + 0,84 + 0,47 =) 1,57$ Mio. € (ca. 2.200,- €/m² Brückenfläche, einschließlich Verwaltungsaufwand, Verkehrslenkung usw.) Damit muss festgestellt werden, dass bei dieser Brücke die Kosten für die Erhaltung des Bauwerkes die Baukosten übersteigen. Stellt man wiederum die Kosten der Instandsetzungsmaßnahmen dieser Brücke vergleichbaren Konstruktionsformen gegenüber, ergeben sich ähnliche Ergebnisse wie bei der Bauwerksprüfung. Während die Instandsetzung geschädigter Stahlflächen im Vergleich zu Betonflächen höhere Kosten verursacht, entfallen bei Rahmenbauwerken kostenintensive Instandsetzungsleistungen an Lagern und Übergangskonstruktionen. Die Kosten der Instandsetzung des Referenzbauwerkes sind zwischen den Kosten einer vergleichbaren Rahmenkonstruktion und eines Stahl-/Stahlverbundbauwerkes einzuordnen.

5 Strategien der Erhaltung von Brückenbauwerken

Im Ergebnis der dargestellten Vorgehensweise können die Lebenszykluskosten für Bauwerke, abhängig von ihrer konstruktiven Durchbildung mit einer für die hier genannten Zwecke ausreichenden Wahrscheinlichkeit und Genauigkeit prognostiziert werden. Damit können diese Ergebnisse als Grundlage für Entscheidungen in der Planungsphase, Voraussetzung für die Kostenplanung der Behörden und Instrument für die Wahl der richtigen Erhaltungsstrategie herangezogen werden.

Hinsichtlich der Prüfabläufe lassen die eindeutigen Regelungen der RI-EBW-PRÜF und der DIN 1076 jedoch wenig Spielraum für unterschiedliche Vorgehensweisen. Die verschiedenen Erhaltungsstrategien unterscheiden sich daher hauptsächlich durch die Intensität und Regelmäßigkeit von Unterhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen. Für eine weitsichtige und ökonomisch vertretbare Bauwerkserhaltung ist daher eine Kombination aus präventiver und kor-

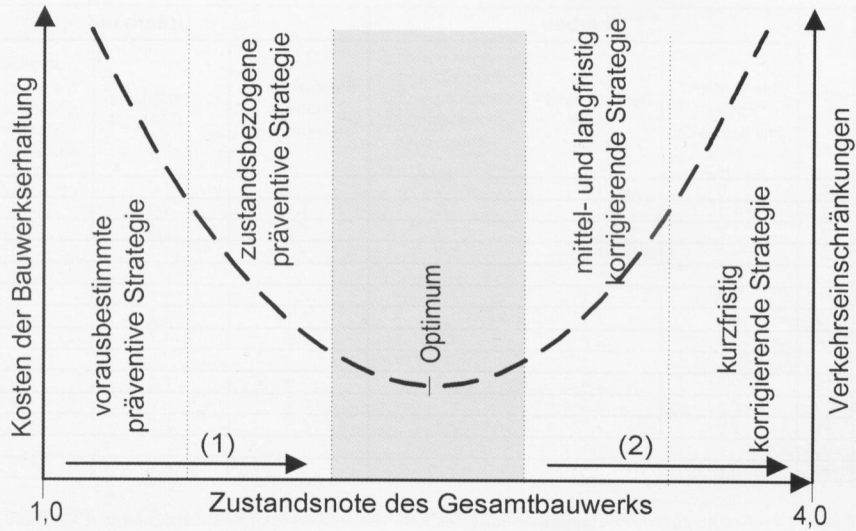


Bild 8. Bauwerkserhaltungsstrategien in Abhängigkeit von Zustandsnote, Erhaltungskosten und Verkehrseinschränkung
 Fig. 8. Maintenance strategies depending on the grade of building conditions, maintenance costs and traffic restrictions

rigierender Instandhaltung empfehlenswert (Bild 8). Kleinere vorbestimmte Maßnahmen werden zur Verlängerung der Haltbarkeit kontinuierlich durchgeführt und durch unregelmäßige zustandsbezogene Maßnahmen ergänzt. Die Entstehung großer Schäden wird so herausgezögert, gleichzeitig werden die Instandsetzungskosten verringert. Maßnahmenbündelung führt zu einer Beschränkung von Verkehrseinschränkungen sowie geringeren Kosten für Verkehrssicherung und Baustelleneinrichtung.

Mit einem Anstieg des zulässigen Schädigungszustandes einer Brücke über den Anfangszustand hinaus werden die Instandsetzungsintervalle größer. Einhergehend nehmen Kosten und Verkehrseinschränkungen ab (vgl. (1) in Bild 8). Wird jedoch ein bestimmter Schädigungszustand überschritten, kommt es langfristig zur Umkehr dieser Entwicklung. Dann steigen Kosten und Umfang der Instandsetzung sprunghaft an (vgl. (2) in Bild 8). Kennt man diesen Umkehrpunkt, können die Maßnahmen der wirtschaftlichsten Bauwerkserhaltung bestimmt und damit die Lebenszykluskosten minimiert werden.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Straßenbaubericht 2004, Eigenverlag, Bonn, 2004.
- [2] Vollrath, F./Tathoff, H.: Handbuch der Brückeninstandhaltung, 2. Auflage, Bau+Technik, Düsseldorf, 2002.
- [3] Lüsse, G.: Gezielte Bauwerkserhaltung – Erfahrungen aus der Praxis in einem Flächenland, in Straße+Autobahn, Kirschbaum, Bonn, Heft 9/98, S. 480 – 493.
- [4] Rabe, D.: Die Unterhaltung von Stahlbeton- und Spannbetonbrücken, in Bauingenieur, Springer, Wien, Heft 56, 1981, S. 431 – 437.
- [5] Haardt, P.: Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz, Bundesanstalt für Straßenwesen, Eigenverlag, 08/2002.
- [6] Haardt, P.: Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken, Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Wirtschaftsverlag NW, Bremerhafen, Heft B 22, 1999.