

**Bundesministerium für Verkehr,
Bau und Stadtentwicklung**

**Richtlinien
für die Erhaltung
von Ingenieurbauten**

RI-ERH-ING

**Richtlinie zur Durchführung
von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen
im Rahmen von Instandsetzungs-/
Erneuerungsmaßnahmen bei
Straßenbrücken**

RI-WI-BRÜ

Inhalt

	Seite
1 Vorbemerkung	4
2 Geltungsbereich	6
3 Ziel und Abgrenzung der Richtlinie	7
4 Verfahrensdurchführung	8
5 Begriffsbestimmungen	11
5.1 Bauwerk und Bewertungsverfahren	11
5.2 Investition und Finanzierung	13
6 Wirtschaftlichkeitsberechnungen	19
6.1 Kapitalisierte Kosten der Varianten	19
6.1.1 Baukosten	19
6.1.2 Kapitalisierte Unterhaltungskosten	20
6.1.3 Restwert der am Ende des Bewertungszeitraums bestehenden Brücke	22
6.2 Ablaufschemata der Berechnung der kapitalisierten Kosten	24
6.3 Formelsammlung und Variablenverzeichnis	26
7 Beispielrechnungen	30
7.1 Instandsetzung der A-Talbrücke	30
7.2 Erhaltung des Korrosionsschutzes der B-Talbrücke	45
8 Tabellen	51
Tabelle T1: Baupreisindex des Statistischen Bundesamtes	51
Tabelle T2: Rentenbarwertfaktoren	52
9 Literaturverzeichnis	55
10 Berechnungsanleitung	57

	Seite
Tabellen des Textteiles	
1 Beurteilungsmatrix nicht monetarisierter Aspekte	9
2 Formelsammlung	25
3 Variablenverzeichnis	26
4 Eingabedaten für Variante 1 "Neubau"	34
5 Eingabedaten für Variante 2 "Neubau des Überbaus, Instandsetzung der Unterbauten"	35
6 Eingabedaten für Variante 3 "Instandsetzung"	36
7 Variantenvergleich	37
8 Bewertungsmatrix für Variante 1 "Neubau"	38
9 Beurteilungsmatrix für Variante 2 "Neubau des Überbaus, Instandsetzung der Unterbauten"	39
10 Beurteilungsmatrix für Variante 3 " Instandsetzung "	40
11 Erläuterungen zur Beurteilungsmatrix der Variante 1	41
12 Erläuterungen zur Beurteilungsmatrix der Variante 2	42
13 Erläuterungen zur Beurteilungsmatrix der Variante 3	43
14 Begriffsbestimmungen im Korrosionsschutz	46
15 Vor- und Nachteile der Erhaltungsvarianten	46
16 Erzielbare Schutzdauern der Erhaltungskonzepte	47
17 Zusammenstellung der Kosten der Maßnahmen Teilerneuerung, Vollerneuerung und Ausbesserung	49
18 Ergebnisse des Beispiels zum Korrosionsschutz	50
Abbildungen	
1 Zahlungsreihe einer Variante vor und nach Bildung der Barwerte	16
2 Generelles Ablaufschema der Berechnung der kapitalisierten Kosten	24
3 Ablaufschema Berechnungsverfahren für den Fall: die Erstmaßnahme ist eine Erneuerung	25
4 Ablaufschema Berechnungsverfahren für den Fall: die Erstmaßnahme ist eine Instandsetzung	25

1 Vorbemerkung

Die Ausrichtung des Verwaltungshandelns nach dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit erfordert die bestmögliche Nutzung der vorhandenen aber stets knappen Personal-, Sach- und Finanzmittel. Es gilt, 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 § 7 BHO für Maßnahmen mit erheblicher finanzieller Bedeutung gesamtwirtschaftliche Verfahren in Form von Nutzen-Kosten-Untersuchungen (NKU) durchzuführen. Erhaltungsausgaben sind Investitionen in das Anlagevermögen des Bundes und stellen ebenso wie Investitionen in Form von Neu- und Ausbauten eine langfristige Anlage von Kapital in Sachgüter dar. Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen sollten daher auch für Erhaltungsinvestitionen zunehmend Berücksichtigung finden.

Die vorliegende Richtlinie befasst sich mit der wirtschaftlichen Beurteilung von Erhaltungsmaßnahmen ausschließlich bei Straßenbrücken. Zu den Erhaltungsmaßnahmen gehören die Unterhaltung, die Instandsetzung und die Erneuerung. Wirtschaftlich ist eine Maßnahme nicht schon dann, wenn die Baukosten möglichst gering sind. Vielmehr sind für einen definierten Betrachtungszeitraum alle relevanten Folgekosten der Entscheidung Instandsetzung oder Erneuerung aufzuzeigen, d. h. mit welchen Folgemaßnahmen, die wiederum Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen darstellen, innerhalb des Bewertungszeitraums zu rechnen ist. Ziel der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ist es also, Maßnahmen zu identifizieren, die mit vertretbarem Mitteleinsatz zu einer möglichst langen Nutzungsdauer der instand gesetzten oder erneuerten Straßenbrücken führen und mit möglichst geringen Erhaltungskosten in der Folge der Erstmaßnahme (zur Definition vgl. Abschnitt 5.1) verbunden sind.

Da bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu Erhaltungsmaßnahmen die Folgekosten in den Nutzungszeiträumen der instand gesetzten oder erneuerten Straßenbrücken zu berücksichtigen sind, ist die Anwendung von finanzmathematischen Verfahren zweckmäßig. Diese setzen für eine Vergleichbarkeit jedoch einen gemeinsamen Bewertungszeitraum aller miteinander zu vergleichenden Maßnahmen voraus.

Verschiedene zu untersuchende Varianten werden hinsichtlich des Ziels "langjährige und wirtschaftliche Bereitstellung einer Nutzer optimierten Verkehrsinfrastruktur" unter Einbeziehung der zu erwartenden Nutzungsdauer der bestehenden Straßenbrücke und der im Betrachtungszeitraum zusätzlich anfallenden Erhaltungsausgaben einschließlich eines etwaigen Ersatzbauwerks (Erneuerung = Abbruch + Neubau) bewertet. Die Entscheidungsalternativen (Varianten) unterscheiden sich neben der grundsätzlichen Frage "Instandsetzung oder Erneuerung" inklusive aller Folgekosten der Erhaltung z. B. auch in der Wahl der Bauweise, des Bauverfahrens oder des Zeitpunkts der Durchführung der

Erhaltungsmaßnahmen. Entscheidungsrelevante Ausgangsgrößen für die Bildung der Varianten sind Zustand und Alter der bestehenden Straßenbrücke.

Eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ist ein Bewertungsinstrument zur Identifizierung der Variante mit den geringsten Gesamtkosten und stellt damit eine Entscheidungshilfe bei der Planung von Erhaltungsmaßnahmen dar. Wesentliche Größen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen sind Schätzwerte oder plausible Annahmen, deren Einfluss auf das Berechnungsergebnis durch Sensitivitätsuntersuchungen abgeschätzt werden kann. Insbesondere erhält man die endgültigen Baukosten erst nach Abrechnung der Baumaßnahme. Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs- / Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken dienen der Steuerung und Entscheidungsfindung im konkreten Einzelfall.

2 Geltungsbereich

Die Richtlinie ist bei Erhaltungsmaßnahmen von Straßenbrücken in der Baulast des Bundes anzuwenden. Sie findet keine Anwendung bei der Entscheidung, ob Erweiterungsmaßnahmen an Straßenbrücken durchgeführt werden sollen. Das hier entwickelte Rechenverfahren bietet jedoch die Möglichkeit, verschiedene Erweiterungsmaßnahmen ökonomisch gegeneinander abzuwägen.

Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen sind entweder bei haushaltswirksamen Erhaltungsmaßnahmen mit Auftragsvolumen von mehr als **3 Mio. Euro** durchzuführen, wie z. B. größere Instandsetzungsmaßnahmen und Erneuerungen bestehender Straßenbrücken, oder bei Erhaltungsmaßnahmen, deren **Auftragsvolumen 50% der reinen Baukosten** des Bauwerks zum heutigen Preisstand übersteigt.

Es kann ggf. auf die Anwendung dieser Richtlinie verzichtet werden (z. B. bei kleineren Bauwerken oder wenn Alternativen offensichtlich ausgeschlossen werden können). Wird darauf verzichtet, obwohl mindestens eine der oben genannten Bedingungen erfüllt ist, so ist dieses Vorgehen zu begründen und zu erläutern.

Bei der Anwendung dieser Richtlinie bei der Entscheidungsfindung zur Wahl einer Erhaltungsstrategie beim Korrosionsschutz (Teilerneuerung oder Vollerneuerung) wird der Korrosionsschutz selbst als Bauteil behandelt. Ein Beispiel hierzu findet sich in Abschnitt 7.2.

3 Ziel und Abgrenzung der Richtlinie

Ziel der Richtlinie ist es, ein Objekt bezogenes, am einzelnen Brückenbauwerk orientiertes Verfahren zu etablieren, mit dem Aussagen zur wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit verschiedener Arten von Erhaltungsmaßnahmen getroffen werden können. Diese wirtschaftliche Betrachtungsweise soll als Entscheidungshilfe bei

- der Abwägung Instandsetzung oder Erneuerung,
- der Abwägung verschiedener Varianten der Instandsetzung sowie bei
- der Abwägung verschiedener Varianten der Erneuerung, die sich z. B. durch das Bauverfahren und die Bauweise unterscheiden,

dienen.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung basiert auf angenommenen Nutzungsdauern für die verschiedenen Maßnahmen, um nicht nur die Baukosten, sondern auch alle Folgekosten (Zweitmaßnahmen) der möglichen Maßnahmen berücksichtigen zu können.

In einer Matrixstruktur (siehe Tabelle 1) werden vorausgehend weitere Beurteilungsgrößen wie Fragen des Umweltschutzes und der bauzeitlichen Verkehrsführung berücksichtigt, um eine realitätsnahe Planungs- und Entscheidungsgrundlage zur Verfügung zu stellen.

Ziel der Richtlinie ist es nicht, eine Reihung verschiedener Straßenbrücken, die zur Instandsetzung oder Erneuerung anstehen, im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Erhaltungsmaßnahme aufzustellen und somit eine Verteilung der Budgets öffentlicher Haushalte vorzunehmen.

Letztgenanntes Ziel wird durch die Aufstellung von Erhaltungsprogrammen im Rahmen des Bauwerks-Management-Systems (BMS) angestrebt. Hierbei erfolgen auch Untersuchungen im Netzzusammenhang, die bei begrenztem Budget und anderen Randbedingungen zu einer Beeinflussung der Maßnahmenwahl für das einzelne Objekt führen können [18]. Ergebnisse der Untersuchungen im Rahmen des BMS sind bei der Bewertung und Auswahl von Maßnahmen zu berücksichtigen.

4 Verfahrensdurchführung

Die Durchführung der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/ Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken orientiert sich an der Arbeitsanleitung zu den vorläufigen Verwaltungsvorschriften zu § 7 BHO, die im Rahmen von Neubaumaßnahmen im Straßenbau zur Anwendung kommen [2]. Im Vorfeld der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung müssen folgende Voruntersuchungen durchgeführt werden:

- die Beschaffung von Daten und Informationen, die eine zutreffende Analyse der Ausgangslage und des Handlungsbedarfs zulassen
- die sorgfältige ingenieurmäßige Prüfung und Erfassung des vorhandenen Bauwerkszustandes gemäß der Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 [5].

Die eigentlichen Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen werden basierend auf den Ergebnissen der Voruntersuchungen in den folgenden Schritten durchgeführt:

(I) **Problemdarstellung und Zielformulierung**

- übergeordnete und Objekt bezogene Ziele gemäß der in Tabelle 1 genannten Kriterien

(II) **Entwicklung und Erläuterung der zu untersuchenden Varianten**

- unter Berücksichtigung der in Tabelle 1 genannten Kriterien
- Vergleich mit den Auswirkungen des Ausbleibens jeglicher Maßnahme für einen beschränkten Zeitraum
- Festlegung des Eingreifzeitpunktes z. B. unter Berücksichtigung des Bauwerkszustandes und einer abgeschätzten Zustandsentwicklung (Hinweise auf Eingreifzeitintervalle lassen sich z. B. [13] entnehmen)
- Begründung der Durchführbarkeit - insbesondere der Instandsetzungskonzepte
- Zielkonformität der Varianten

(III) **Wirtschaftlichkeitsberechnungen**

- gemäß Abschnitt 6

(IV) **Beurteilung nicht monetarisierter Aspekte**

- gemäß Tabelle 1
- auch unter Berücksichtigung der Folgemaßnahmen der Varianten

(V) **Erarbeitung einer Empfehlung**

- unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus den Schritten (III) und (IV)

Tabelle 1: Beurteilungsmatrix nicht monetarisierter Aspekte

VARIANTE ____: Erstmaßnahme (EM): _____ Zweitmaßnahme (ZM): _____					
Kriterien	Bewertung für EM bzw. ZM				
	++	+	o	-	--
Ingenieurbau					
Standsicherheit	- nach Fertigstellung				
Dauerhaftigkeit	- nach Fertigstellung				
Verkehrssicherheit	- nach Fertigstellung				
Gestaltung	- nach Fertigstellung				
Verkehrsplanung					
Verkehrsführung	- während der Bauzeit				
Leistungsfähigkeit	- während der Bauzeit				
	- nach Fertigstellung				
Umweltschutz					
Lärmschutz	- während der Bauzeit				
	- nach Fertigstellung				
Gewässer- und Bodenschutz	- während der Bauzeit				
	- nach Fertigstellung				
Natur- und Landschaftsschutz	- während der Bauzeit				
	- nach Fertigstellung				
Weitere Umweltschutzaspekte	- während der Bauzeit				
	- nach Fertigstellung				
Durchführbarkeit					
Personal					
Bau- und Planungsrecht					
Grunderwerb					
Haushalt					
Bauzeit					
Sonstiges					
Kapazitätsveränderung _____					

++ = sehr gut
 + = gut
 o = mittel

- = schlecht
 -- = sehr schlecht

ERLÄUTERUNGEN ZUR VORANSTEHENDEN BEURTEILUNGSMATRIX (Tabelle 1)		
zu Inge- nieur- bau	Bewertung nach Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit gemäß den Definitionen der RI-EBW-PRÜF [5]	
zu Verkehrsplanung	Verkehrsführung - während der Bauzeit	Es sind die vorgesehenen bzw. möglichen Verkehrsführungen/-lenkungen z. B. hinsichtlich Machbarkeit einer einfachen Spurführung, Verflechtungsbereiche, Umfang der Sicherungsmaßnahmen (einschließlich Kosten), Geschwindigkeitsabsenkung, Notwendigkeit einer Behelfsbrücke zu bewerten.
	Leistungsfähigkeit - während der Bauzeit	Es ist die Auswirkung auf den Fahrzeugdurchsatz [Kfz/h am Querschnitt] infolge der Verkehrssicherungs- bzw. -lenkungsmaßnahmen zu bewerten.
	Leistungsfähigkeit - nach Fertigstellung	Es ist die Leistungsfähigkeit nach Abschluss der Maßnahme auch unter Berücksichtigung des prognostizierten Verkehrsaufkommens zu bewerten, z. B. im Vergleich mit der davor oder dahinter liegenden freien Strecke, den Auswirkungen von seitlichen Bauteilen in geringem Abstand vom Lichtraum.
zu Umweltschutz	Lärmschutz - während der Bauzeit	Kann bereits während der Bauzeit ein Lärmschutz realisiert werden, z. B. durch Vorziehen von Wall- oder Wandbau? Muss bei der Instandsetzung eine vorhandene Lärmschutzwand demontiert werden? Kann ein Provisorium eingesetzt werden?
	Lärmschutz - nach Fertigstellung	Erfüllt der vorgesehene Lärmschutz alle Forderungen der einschlägigen Richtlinien aktiv (Tag-/Nachtpegel) oder verbleiben Bereiche, die passiven Schutz der Anwohner erfordern? Kosten hierfür?
	Gewässer- und Bodenschutz - während der Bauzeit	z. B. während der Erneuerung des Korrosionsschutzes
	Natur- und Landschaftsschutz	Erwerb von Ausgleichs- und Ersatzflächen
	weitere Umweltschutzaspekte	Hier sind ggf. weitere Umweltschutzkriterien aufzuführen, wie z. B. Einsatz geeigneter Strahlmittel bei Korrosionsschutzmaßnahmen hinsichtlich Strahlschuttanfall/-verwertung/-deponierung.
zu Durchführbarkeit	Personal	Steht für Planung, Ausschreibung, Vergabe, Bauaufsicht und Abrechnung rechtzeitig das erforderliche Personal zur Verfügung? Interne und ggf. externe Personalressourcen sowie die durch sie verursachten Kosten in den jeweiligen Haushaltsjahren abschätzen.
	Grunderwerb	Ist Grunderwerb erforderlich? Wann ist er zu tätigen? Sind Ausgleichsflächen zu beschaffen?
	Haushalt	Stehen zu den geplanten Terminen wie z. B. Veröffentlichung der Ausschreibung die erforderlichen Haushaltsmittel zur Verfügung?
	Bauzeit	Neben der absoluten Bauzeit ist auch die Dauer der verschiedenen Phasen von Behinderungen z. B. durch Verkehrsführungen zu bewerten.
Kapazitätsveränderung z. B. höhere Tragfähigkeit, größeres Lichtraumprofil, zusätzliche Fahrspur		

Die Kriterien der Beurteilungsmatrix (Tabelle 1) dienen in Schritt (II) der Vorauswahl von Varianten. Für die für die weitere Bewertung ausgewählten Varianten sind die Kriterien in Schritt (IV) ausführlich zu beschreiben. Die Beurteilungsmatrix ermöglicht die Erfassung aller Aspekte zur Beurteilung einer Variante, die über eine wirtschaftliche Untersuchung der Bau- und ihrer Folgekosten hinausgehen. **Die Auswahl der optimalen Variante hat das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung und die Bewertung der Beurteilungsmatrix (bei einer Kapazitätsveränderung am Bauwerk siehe auch Abschnitt 5.1, Erhaltung) gleichermaßen zu berücksichtigen.**

5 Begriffsbestimmungen

5.1 Bauwerk und Bewertungsverfahren

Bauwerksteile

Bauwerksteile im Sinne dieser Richtlinie sind stets der Überbau oder die Unterbauten.

Bewertungszeitraum

Frei wählbarer Zeitraum in Jahren, in dem verschiedene Varianten miteinander verglichen werden. Das Bezugsjahr ist das erste Jahr des Bewertungszeitraums. Der Bewertungszeitraum sollte jedoch mindestens der größten verbleibenden Restnutzungsdauer des Bauwerks (Überbau oder Unterbauten) entsprechen.

Bezugsjahr

Als Bezugsjahr wird das Jahr der verkehrsbereiten Fertigstellung des Bauwerks nach Durchführung der Erstmaßnahme zu Grunde gelegt.

Hierbei ist es für das Berechnungsverfahren vereinfachend ohne Bedeutung, in welchem Monat des Bezugsjahres die verkehrsbereite Fertigstellung erfolgt. Dieses Vorgehen korrespondiert mit dem Ansatz der nachschüssigen Verzinsung (s. u.).

Erhaltung

Die Erhaltung umfasst in Anlehnung an die Ablösungsrichtlinien [8] alle notwendigen Maßnahmen, damit Bauwerke bzw. Bauwerksteile (Überbau und Unterbauten) verkehrs- und standsicher die theoretische Nutzungsdauer erreichen können. Sie umfasst die Unterhaltung, die Instandsetzung und die Erneuerung.

Maßnahmen, die zu einer wesentlichen Erhöhung der Kapazität des Bauwerks führen (u. a. die Verbreiterung einer Brücke und die Erhöhung ihrer Tragfähigkeit), sind einer Erweiterung zuzurechnen. Enthalten alle zu untersuchenden Varianten eine vergleichbare Kapazitätserhöhung, so können die Varianten ohne weiteres miteinander verglichen werden; unterscheidet sich jedoch eine Variante hinsichtlich ihrer Kapazität, so sind die Kosten der Kapazitätserhöhung herauszurechnen.

Erstmaßnahme

Als Erstmaßnahme wird diejenige Maßnahme bezeichnet, die im Bezugsjahr fertig gestellt wird. Jede Variante beginnt mit einer Erstmaßnahme. Sie ist damit der Auslöser der im Rahmen dieser Richtlinie angestellten Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen.

Herstellungsjahr des originären Bauwerks

Besteht ein Bauwerk aus mehreren biegesteif miteinander verbundenen Teilbauwerken aus unterschiedlichen Herstellungsjahren, sind sinnvolle Annahmen für das Bauwerksalter und die Restnutzungsdauer zu treffen.

Maßnahmen

Als Maßnahmen im Sinne dieser Richtlinie werden alle möglichen Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen an einer Straßenbrücke verstanden.

Restnutzungsdauer

Als Restnutzungsdauer ist die Anzahl der Jahre bis zur voraussichtlich nächsten Erneuerung des Bauwerks oder Bauwerksteils anzusetzen. Die Restnutzungsdauer kann auf der Grundlage einer Bauwerksprüfung festgestellt werden. Bei der Ermittlung der Restnutzungsdauer der Varianten am Ende des Bewertungszeitraums ist die theoretische Nutzungsdauer (s. u.) um die Nutzungsdauer des Bauwerks oder Bauwerksteils am Ende des Bewertungszeitraums zu vermindern.

Theoretische Nutzungsdauer

Die theoretische Nutzungsdauer ist ein Erfahrungswert für die mögliche Nutzungsdauer eines Bauwerks oder eines Bauwerksteils. Die theoretische Nutzungsdauer des Bauwerks oder der Bauwerksteile beginnt im Jahr ihrer Fertigstellung. Die Werte für die theoretischen Nutzungsdauern sind in den Ablösungsrichtlinien [8] aufgeführt.

Verkehrsbereite Fertigstellung

Die verkehrsbereite Fertigstellung bezeichnet den Zeitpunkt, ab dem ein Bauwerk vom Verkehr genutzt werden kann. Ein verkehrsbereites Bauwerk muss noch nicht in Betrieb genommen sein. Die verkehrsbereite Fertigstellung schließt auch nicht aus, dass noch Restarbeiten ausgeführt werden. Diese Arbeiten haben keinen Einfluss auf den Beginn der theoretischen Nutzungsdauer.

Variante

Eine Variante setzt sich aus der Erstmaßnahme und allen ihren Folgemaßnahmen innerhalb des Bewertungszeitraums zusammen. Von dieser Definition weicht allein die Nullvariante ab, die für einen beschränkten Zeitraum das Ausbleiben jeglicher Maßnahme vorsieht.

Zweitmaßnahme

Als Zweitmaßnahme wird eine Maßnahme bezeichnet, die innerhalb des Bewertungszeitraumes auf eine Erstmaßnahme folgt. Die Beispiele in dieser Richtlinie enthalten maximal nur eine Zweitmaßnahme.

5.2 Investition und Finanzierung

Abschreibung

Die Abschreibung (A) beschreibt den Werteverzehr des Brückenbauwerks oder seiner Bauwerksteile während der bisherigen Nutzungsdauer. Bei der hier angewandten Form der Abschreibung wird der Neuwert des Brückenbauwerks zur Zeit der Erstellung als Sachanlagevermögen angesetzt. Die planmäßige Abschreibung erfolgt linear, d. h. der jährliche Abschreibungsbetrag (A_j) auf das abnutzbare Sachanlagevermögen (S) wird auf die (theoretische) Nutzungsdauer (m) bezogen. Es gilt für den jährlichen Abschreibungsbetrag (A_j):

$$A_j = \frac{S}{m}.$$

Der Abschreibungsbetrag (A) einschließlich des Bezugsjahrs ergibt sich aus der Multiplikation des jährlichen Abschreibungsbetrags mit der Anzahl der Jahre der bisherigen Nutzungsdauer (n).

$$A = A_j * n.$$

Beispiel

Im Jahr 1998 (Bezugsjahr) werden Erhaltungsmaßnahmen an einem Brückenbauwerk geplant. Die Herstellungskosten (S) des 1968 gebauten Brückenbauwerks setzten sich zusammen aus den Herstellungskosten des Überbaus und der Unterbauten. Beide Bauwerksteile haben unterschiedliche theoretische Nutzungsdauern. Aus diesem Grund müssen die jährlichen Abschreibungsbeträge getrennt berechnet werden.

Berechnungsgrundlagen (vgl. Beispiel Abschnitt 7.1)

Variable	Unterbauten	Überbau
Herstellungskosten (Preisstand 1968) in €	3,221 Mio. Euro	5,113 Mio. Euro
Theoretische Nutzungsdauer	110 Jahre	70 Jahre
Bisherige Nutzungsdauer	30 Jahre	30 Jahre
Jährlicher Abschreibungsbetrag	$\frac{3,221 \text{ Mio. Euro}}{110 \text{ Jahre}} = 0,029 \text{ Mio. €/a}$	$\frac{5,113 \text{ Mio. Euro}}{70 \text{ Jahre}} = 0,073 \text{ Mio. €/a}$

Für die Ermittlung des bis zum Bezugsjahr angefallenen Abschreibungsbetrags (A) folgt damit:

$$A = (0,029 \text{ Mio. Euro} + 0,073 \text{ Mio. Euro}) * 30 \text{ Jahre} = 3,060 \text{ Mio. Euro (Preisstand 1968) in €}.$$

Baupreisindex

Der Baupreisindex ist ein Leistungspreisindex, der aus den auf dem Markt erzielten Preisen für definierte Leistungen, hier Bauleistungen von Straßenbrücken, ermittelt wird. Er spiegelt im Zeitablauf die sich aufgrund technischer Verbesserungen verändernden Produktionskosten, aber auch die konjunkturelle Entwicklung in der jeweiligen Branche wider. Für die vorliegende Richtlinie sind als Baupreisindex die Indizes des Statistischen Bundesamtes für den Neubau von Brücken im Straßenbau zu verwenden (vgl. Abschnitt 8, Tabelle T1). Für Bauwerke, für die weder ein Baupreisindex noch Herstellungskosten vorliegen, werden die Kosten näherungsweise über Vergleichsbauwerke mit heutigem Preisstand ermittelt.

Liegt für das Bezugsjahr kein Baupreisindex vor, da das Bezugsjahr in der Zukunft liegt, so kann der Baupreisindex aus dem sich an das Bezugsjahr anschließenden Jahr unverändert übernommen werden.

Kapitalwert

Der Kapitalwert ist im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen ein Kriterium für die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit verschiedener Varianten. Mit Hilfe des Kapitalwertes werden Einnahmen und Ausgaben (Zahlungen) einer Variante, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, vergleichbar gemacht, indem sie auf ein festzulegendes Bezugsjahr in Abhängigkeit davon auf- bzw. abgezinst werden, ob die Zahlungen vor bzw. nach dem Bezugsjahr anfallen. Eine auf diesen Zeitpunkt auf- bzw. abgezinste Zahlung bezeichnet man als ihren Barwert. Der Kapitalwert stellt die Summe der Barwerte aller Zahlungen in der Bauphase und im Bewertungszeitraum dar (vgl. Abbildung 1).

Zahlungen, die erst in der Zukunft anfallen, sind zum heutigen Zeitpunkt geringer zu bewerten, da die Zeitspanne bis zur Ausgabe theoretisch zur Anlage des Geldes mit dem Kapitalmarktzins genutzt werden kann. Zahlungen, die bereits in der Vergangenheit erfolgt sind, werden heute höher als zum Ausgabezeitpunkt bewertet, da eine Entscheidung zu ihren Gunsten nur stattgefunden hat, wenn sie mindestens soviel Rendite bringen wie alternative Geldanlagen bei gegebenem Kapitalmarktzins. Zahlungen, die vor dem Bezugsjahr fällig sind, müssen daher aufgezinst, Zahlungen, die nach dem Bezugsjahr fällig sind, entsprechend abgezinst werden. Die Faktoren der Aufzinsung sind die reziproken Werte der Abzinsung.

Bei der Betrachtung von Erneuerungs-, Instandsetzungs- und Unterhaltungsmaßnahmen kommt es im Bewertungszeitraum ausschließlich zu Ausgaben. Für den Kapitalwert (K_0) der Varianten bezogen auf den Bewertungszeitraum (b) der Wirtschaftlichkeitsberechnung gilt deshalb:

Entsprechend ergibt sich für die formale Darstellung (Erläuterung der Variablen untenstehend):

frühere Zahlung aufgezinnt

$$K_0 = \overbrace{\sum_{i=-v}^{-1} K_i * \frac{1}{q^i}}^{\text{frühere Zahlung aufgezinnt}} + \underbrace{\sum_{i=0}^b K_i * \frac{1}{q^i}}_{\text{künftige Zahlung abgezinst}} = \sum_{i=-v}^b K_i * \frac{1}{q^i}.$$

K_0 = Summe der aufgezinnten Auszahlungen, die vor dem Bezugsjahr angefallen sind, und der abgezinsten Auszahlungen, die nach dem Bezugsjahr absehbar anfallen werden.

Dauert die Bau- bzw. Instandsetzungsphase nicht länger als ein Jahr, d. h. die gesamten Kosten einer Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme als Erstmaßnahme fallen im Bezugsjahr an, so vereinfacht sich die oben stehende Formel zu:

$$K_0 = \sum_{i=0}^b K_i * \frac{1}{q^i}.$$

Variablenliste

Variable	Bedeutung	Dimension
K_0	Kapitalwert	Mio. Euro
b	Anzahl der Jahre des Bewertungszeitraums	Jahre
i	Laufindex für die Jahre des Bewertungszeitraums und ggf. für die Jahre der Investitionen vor dem Bezugsjahr (Bauphase)	[-]
q	Zinsfaktor der Kapitalisierung $q = 1 + \frac{z}{100}$ (für $z = 3\%$ ist $q = 1,03$)	[-]
z	Zinssatz der Kapitalisierung	v. H.
$\frac{1}{q^b} = q^{-b}$	Abzinsungsfaktor für b Jahre	[-]
q^b	Aufzinsungsfaktor für b Jahre	[-]
v	Anzahl der Jahre mit Auszahlungen vor dem Bezugsjahr	Jahre

Beispiel zu Abbildung 1 (Beträge auf zwei Stellen nach dem Komma gerundet):

$$K_0 = 3,50 * 1,03^2 + 2,00 * 1,03^1 + 1,0 * 1,03^0 + 0,70 * 1,03^0 + 0,70 * 1,03^{-1} + 0,70 * 1,03^{-2} + 0,70 * 1,03^{-3} + 1,90 * 1,03^{-4} + 1,20 * 1,03^{-5}$$

$$K_0 = 3,71 + 2,06 + 1,0 + 0,70 + 0,68 + 0,66 + 0,64 + 1,69 + 1,04 = 12,18 \text{ Mio. Euro}$$

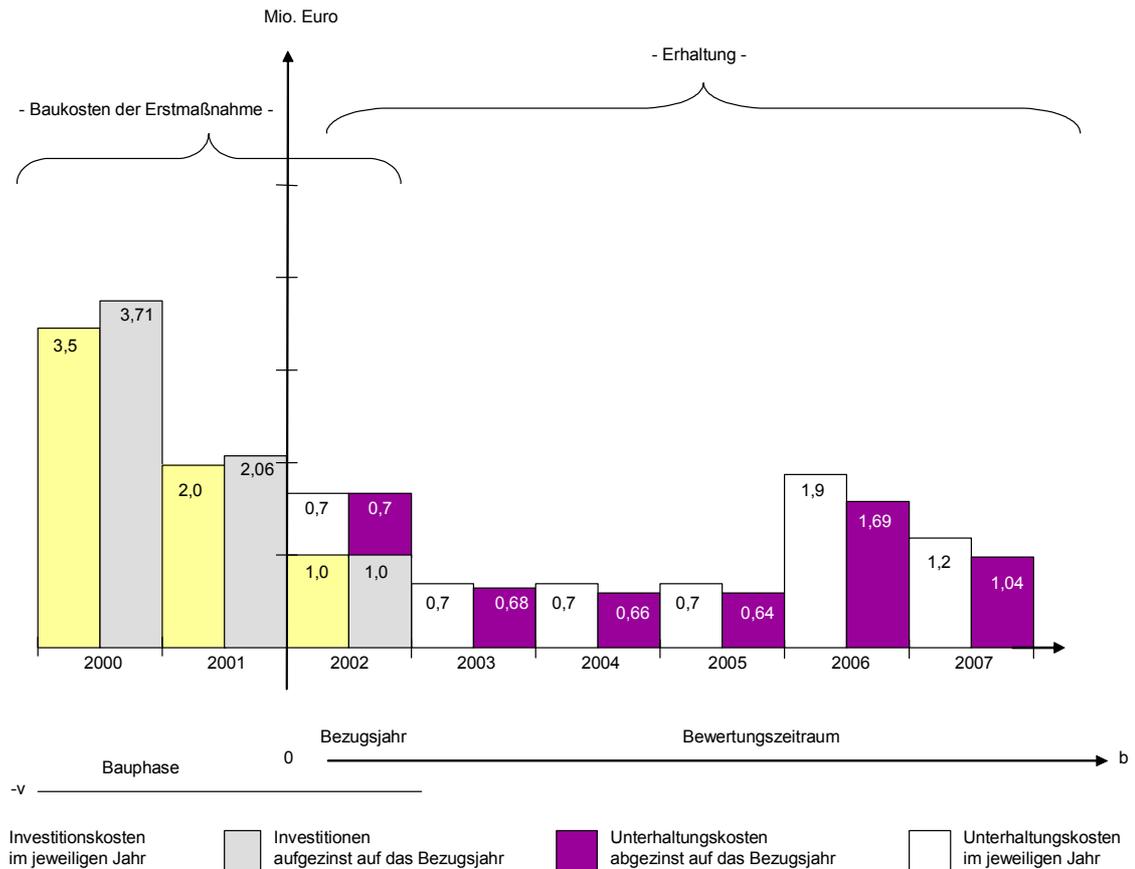


Abbildung 1: Zahlungsreihe einer Variante vor und nach Bildung der Barwerte

Nachschüssige Betrachtungsweise von Zahlungsreihen

Alle Zahlungen, die während einer Periode (eines Jahres) anfallen, werden so behandelt, als ob sie am Periodenende anfallen würden. Folglich müssen Zinsen stets erst ab dem Ende der Periode berücksichtigt werden, in der die Zahlung aufgetreten ist. Dieses Vorgehen wird als nachschüssige Verzinsung bezeichnet und bei der Berechnung des Kapitalwerts angewendet.

Preisstand

Die Preise, die für Güter und Dienstleistungen auf dem Markt ermittelt werden, verändern sich mit dem Zeitablauf. Werden für Güter und Dienstleistungen Preise angegeben, wie sie in einem bestimmten Jahr ermittelt wurden, so hat diese Bewertung der Güter und Dienstleistungen in Geldeinheiten den Preisstand dieses Jahres.

Rentenbarwertfaktor

Der nachschüssige Rentenbarwertfaktor (r_b) ist der Zahlenwert, der bei Multiplikation mit dem Einzelbetrag einer konstanten Zahlungsreihe (z. B. jährliche Unterhaltungskosten) den Kapitalwert dieser Zahlungsreihe ergibt.

Formal kann er für einen Bewertungszeitraum von b Jahren wie folgt hergeleitet werden:

$$r_b = \frac{1}{q^1} + \frac{1}{q^2} + \frac{1}{q^3} + \dots + \frac{1}{q^b}$$

$$\Leftrightarrow r_b = \sum_{i=1}^b q^{-i}$$

$$\Leftrightarrow r_b = \frac{q^b - 1}{q^b * (q - 1)} \quad \text{mit } q = 1 + \frac{z}{100}.$$

Beispiel:

Laufend wiederkehrende Zahlungen, wie beispielsweise jährliche Unterhaltungskosten, werden mittels des Rentenbarwertfaktors in den Betrag im Bezugsjahr umgerechnet, der bei entsprechender Verzinsung ausreicht, diese laufenden Kosten während eines festgelegten Zeitraums zu begleichen.

Für ein Brückenbauwerk fallen die nächsten 70 Jahre jährliche Unterhaltungskosten von 533.100 Euro an. Nachfolgend wird der Rentenbarwertfaktor gemäß oben stehender Formel berechnet. Sein Wert kann auch direkt Tabelle T2 in Abschnitt 8 entnommen werden.

$$r_b = \frac{1,03^{70} - 1}{1,03^{70} * (1,03 - 1)} = \frac{7,92 - 1}{7,92 * 0,03} \approx 23,12.$$

Durch Multiplikation der jährlichen Unterhaltungskosten von 533.100 Euro mit dem berechneten Rentenbarwertfaktor von 23,12 erhält man den Betrag der Unterhaltung von 15,526 Mio. Euro, der heute mit einem Zinssatz von 3% anzulegen wäre, um innerhalb der nächsten 70 Jahre die notwendigen Unterhaltungsmaßnahmen durchführen zu können.

Restwert

Der Restwert eines Bauwerks in einem bestimmten Jahr sind die um den Abschreibungsbetrag verminderten reinen Herstellungskosten (s. Abschnitt 6.1.3). Der Abschreibungsbetrag wird linear - bezogen auf die Summe aus bisheriger Nutzungsdauer und voraussichtlicher Restnutzungsdauer des Bauwerks in diesem Jahr - ermittelt.

Wird der Restwert eines Bauwerks berechnet, das innerhalb des Bewertungszeitraums als Zweitmaßnahme erstellt wird, so ist sein Restwert auf das Bezugsjahr abzuzinsen.

Zinssatz

Für den Zinssatz z ist mit Ausnahme von Sensitivitätsrechnungen entsprechend den Bewertungsverfahren des Bundes der inflationsbereinigte Zinssatz von 3 von Hundert (v. H.) anzusetzen [6, 11].

6 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Vorbemerkung

Die Berechnung der kapitalisierten Kosten der Varianten werden im nachfolgenden Abschnitt 6.1 verbal hergeleitet und erläutert. Die entsprechenden mathematischen Formeln für die numerische Berechnung sowie das hierfür benötigte Variablenverzeichnis sind in Abschnitt 6.3 "Formelsammlung und Variablenverzeichnis" aufgeführt. Auf die jeweilige Formel wird im Text unmittelbar in Klammern hingewiesen.

6.1 Kapitalisierte Kosten der Varianten

Die Summe der kapitalisierten Kosten einer Variante (K_{VAR}) ergibt sich aus der Addition der kapitalisierten Kosten der Unterbauten (K_{UT}) und des Überbaus ($K_{ÜB}$) (Formel 1). Die kapitalisierten Kosten einer Variante sind getrennt für Unterbauten und Überbau zu berechnen, da für diese unterschiedliche Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten und unterschiedliche theoretische Nutzungsdauern gelten und zudem die Varianten unterschiedliche Maßnahmen für die Bauwerksteile, also z. B. die Instandsetzung der Unterbauten und die Erneuerung des Überbaus, vorsehen können.

Die kapitalisierten Kosten der Unterbauten bzw. des Überbaus einer Variante innerhalb des Bewertungszeitraums setzen sich zusammen aus (Formel 2):

- den kapitalisierten Baukosten der Erst- und ggf. auch der Zweitmaßnahme ($K_{B,VAR}$) und
- den kapitalisierten Unterhaltungskosten ($E_{U,VAR}$) abzüglich
- des kapitalisierten Restwertes der am Ende des Bewertungszeitraums bestehenden Brücke (R_{VAR}).

Alle genannten Größen werden, wie durch den Zusatz "kapitalisiert" angezeigt, auf das Bezugsjahr der Wirtschaftlichkeitsrechnung, d. h. das Jahr der verkehrsbereiten Fertigstellung der Straßenbrücke nach Durchführung der Erstmaßnahme, ab- oder aufgezinst.

6.1.1 Baukosten

Die Baukosten einer Einzelmaßnahme setzen sich aus den reinen Baukosten (Instandsetzungs- oder Erneuerungskosten), den Kosten für Abbruch, Behelfe, Betriebserschwernisse und Verkehrsführung sowie den Verwaltungskosten zusammen. Die Verwaltungskosten werden vereinfachend in Höhe von 10% sowohl der Instandsetzungs- bzw. Erneuerungskosten als auch der Kosten für Abbruch, Behelfe, Betriebserschwernisse und Verkehrsführung angesetzt [8]. Die reinen Baukosten des originären Bauwerks werden als Herstellungskosten bezeichnet.

Um auch die Folgekosten der Entscheidung Instandsetzung oder Erneuerung mit berücksichtigen zu können, werden im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen auch alle weiteren baulichen Maßnahmen innerhalb des Bewertungszeitraums erfasst, die sich der Erstmaßnahme Instandsetzung oder Erneuerung anschließen. Die Baukosten einer Variante setzen sich daher aus den Kosten aller Einzelmaßnahmen zusammen.

In der folgenden Herleitung werden die relevanten Fälle, dass innerhalb des Bewertungszeitraums ein oder zwei Maßnahmen je Bauwerk oder Bauwerksteil durchgeführt werden, behandelt. Weitere Einzelmaßnahmen innerhalb des Bewertungszeitraums sind ggf. analog zu berechnen.

Die Baukosten der Erstmaßnahme ($K_{B,EM}$) berechnen sich bei einjähriger Bauzeit gemäß den Formeln 3 und 4. Bei Bauzeiten von über einem Jahr müssen die Baukosten gemäß des zeitlichen Anfalls der Auszahlungen innerhalb der Bauphase auf das Bezugsjahr der Wirtschaftlichkeitsrechnung auf- bzw. abgezinst, d. h. kapitalisiert, werden. Zur Berechnung ist in diesem Fall die erste Formel für den Kapitalwert aus Abschnitt 5.2 anzuwenden.

Die Baukosten für die Zweitmaßnahme ($K_{B,ZM}$) sind dahingehend zu kapitalisieren, dass der Betrag im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen angesetzt wird, der im Bezugsjahr angelegt werden müsste, um bei einer 3%-igen Verzinsung im Jahr der Erneuerung die Baukosten bereitzustellen (Formel 5). Bei Zweitmaßnahmen wird vereinfachend eine einjährige Bauzeit angenommen.

6.1.2 Kapitalisierte Unterhaltungskosten

Die kapitalisierten Unterhaltungskosten einer Straßenbrücke (E_U^b) innerhalb eines Bewertungszeitraums von b Jahren stellen den Betrag dar, der im Bezugsjahr zur Verfügung stehen müsste, um innerhalb des Bewertungszeitraums den Unterhaltsverpflichtungen nachkommen zu können. Unterstellt man innerhalb des Bewertungszeitraums näherungsweise in jedem Jahr gleich hohe durchschnittliche Unterhaltungskosten, so ergeben sich die kapitalisierten Unterhaltungskosten innerhalb eines Bewertungszeitraumes aus der Multiplikation der jährlichen Unterhaltungskosten (U_j) mit dem Rentenbarwertfaktor (Formeln 6 und 7).

$$E_U^b = K_U * \frac{p}{100} * \frac{q^b - 1}{q^b (q - 1)}$$

Die jährlichen Unterhaltungskosten bestimmen sich gemäß den Ablösungsrichtlinien [8] als Produkt aus dem bauwerkspezifischen Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten und den um die Verwaltungskosten erhöhten reinen Baukosten (K_U) (Bezugsgröße der Unterhaltungskosten) (Formel 8). Die genannten Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten sind in der Regel [8] zu entnehmen. In begründeten Einzelfällen kann von diesen Sätzen abgewichen werden.

Nach einer Erstmaßnahme „Instandsetzung“ kann in begründeten Einzelfällen zusätzlich zu den veranschlagten jährlichen Unterhaltungskosten auch eine weitere Erhaltungsmaßnahme im Bewertungs-

zeitraum angesetzt werden.

Ausschließlich Instandsetzungsmaßnahmen im Bewertungszeitraum

Für den Fall, dass im Bewertungszeitraum nur Instandsetzungen der bestehenden Brücke durchgeführt werden, ergibt sich keine Veränderung des Prozentsatzes der jährlichen Unterhaltungskosten. Daher sind ausschließlich die Herstellungskosten der originären Brücke mit dem Baupreisindex bezüglich des Jahres ihrer Herstellung und des Bezugsjahres aus Tabelle T1 auf den Preisstand des Bezugsjahres umzubasieren und hiermit wiederum die Bezugsgröße der Unterhaltungskosten zu ermitteln (*Formeln 9 und 10*). Die kapitalisierten Unterhaltungskosten ($E_{U,OR}$) berechnen sich als Produkt aus der umbasierten Bezugsgröße für das originäre Bauwerk, dessen Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten und aus dem Rentenbarwertfaktor für den gesamten Bewertungszeitraum (*Formel 11*).

Die Verwendung des Baupreisindex anstelle einer Aufzinsung mit dem durchschnittlichen, inflationsbereinigten Zinssatz von 3% bedeutet eine Verbesserung der Berechnungsergebnisse, da der Baupreisindex im Zeitablauf die sich aufgrund technischer Verbesserungen verändernden Produktionskosten, aber auch die konjunkturelle Entwicklung in der jeweiligen Branche widerspiegelt.

Erneuerungsmaßnahmen

Für den Fall der Erneuerung des originären Bauwerks oder Bauwerksteils innerhalb des Bewertungszeitraums sind je nach Zeitpunkt der Erneuerung verschiedene Bezugsgrößen der kapitalisierten Unterhaltungskosten zu bestimmen: für das originäre Bauwerk (*Formel 10, s. o.*) sowie für das neue Bauwerk oder Bauwerksteil als Erst- oder Zweitmaßnahme. Hierfür werden wiederum die reinen Baukosten um einen 10%-igen Verwaltungskostenanteil erhöht (*Formeln 12 und 13*).

Erneuerungsmaßnahme als Erstmaßnahme

Bei einer Erneuerung als Erstmaßnahme und einziger Maßnahme im Bewertungszeitraum berechnen sich die kapitalisierten Unterhaltungskosten ($E_{U,EM}$) im Bewertungszeitraum als Produkt aus der Bezugsgröße der Erstmaßnahme (*Formel 12*), deren Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten und aus dem Rentenbarwertfaktor für den gesamten Bewertungszeitraum (*Formel 14*).

Bei einer bauartgleichen Erneuerung in der Differenzierung der Ablösungsrichtlinien entspricht der Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten der Erstmaßnahme dem des originären Bauwerks oder Bauwerksteils.

Erneuerungsmaßnahme als Zweitmaßnahme

Bei einer Instandsetzung als Erstmaßnahme und einer Erneuerung als Zweitmaßnahme bilden die kapitalisierten Unterhaltungskosten ($E_{U,ZM}$) die Summe aus den kapitalisierten Unterhaltungskosten für das originäre Bauwerk oder Bauwerksteil bis zum Zeitpunkt der Zweitmaßnahme und aus den kapitalisierten Unterhaltungskosten für die Zweitmaßnahme anschließend bis zum Ende des Bewertungszeitraums. Die kapitalisierten Unterhaltungskosten für das originäre Bauwerk oder Bauwerksteil berechnen sich wiederum als Produkt aus der umbasierten Bezugsgröße (*Formel 10*), dem Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten und aus dem Rentenbarwertfaktor für den Zeitraum vom Bezugsjahr bis zum Zeitpunkt der Zweitmaßnahme (*erster Summand der Formel 15*).

Die kapitalisierten Unterhaltungskosten für die Zweitmaßnahme berechnen sich als Produkt aus der Bezugsgröße (*Formel 13*), dem Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten und aus dem Rentenbarwertfaktor für den Zeitraum vom Zeitpunkt der Herstellung der Zweitmaßnahme bis zum Ende des Bewertungszeitraums (*zweiter Summand der Formel 15*).

Bei einer bauartgleichen Erneuerung entspricht der Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten der Zweitmaßnahme dem des originären Bauwerks oder Bauwerksteils. Da der Rentenbarwertfaktor keine lineare Größe darstellt, sind für die Bestimmung der kapitalisierten Unterhaltungskosten der Zweitmaßnahme die kapitalisierten Unterhaltungskosten des Zeitraums vom Bezugsjahr bis zum Jahr der Zweitmaßnahme von denen des gesamten Bewertungszeitraums zu subtrahieren und nicht der Rentenbarwertfaktor für den Zeitraum vom Zeitpunkt Herstellung der Zweitmaßnahme bis zum Ende des Bewertungszeitraums anzusetzen.

Zwei Erneuerungsmaßnahmen innerhalb des Bewertungszeitraums

Bei einer zweifachen Erneuerung des Bauwerks oder Bauwerksteils innerhalb des Bewertungszeitraums erfolgt die Berechnung der kapitalisierten Unterhaltungskosten analog zum Fall "Erneuerung folgt auf Instandsetzung". Abweichend hiervon müssen ausschließlich die Bezugsgröße der Erstmaßnahme (*Formel 12*) und deren Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten im ersten Summanden der Berechnungsvorschrift eingesetzt werden (*Formel 16*).

6.1.3 Restwert der am Ende des Bewertungszeitraums bestehenden Brücke

Der Restwert der am Ende des Bewertungszeitraums bestehenden Brücke (R_{VAR}) ergibt sich aus der Subtraktion des Abschreibungsbetrags am Ende des Bewertungszeitraums von den reinen Baukosten. Der jeweilige Abschreibungsbetrag wird linear - bezogen auf die (theoretische) Nutzungsdauer der Bauwerke oder Bauwerksteile - ermittelt. Der Restwert ist abzuzinsen.

Ist die Summe aus der bisherigen Nutzungsdauer und der aufgrund des Zustands des Bauwerks zu erwartender Restnutzungsdauer größer als die theoretische Nutzungsdauer des Bauwerks, dann ist

für die Ermittlung des Abschreibungsbetrags die über die theoretische Nutzungsdauer hinausgehende tatsächliche Nutzungsdauer zu berücksichtigen.

Bei der Bestimmung des Restwertes sind die reinen Herstellungskosten maßgebend. Die zu den Baukosten ferner zählenden Kosten für Abbruch, Behelfe, Betriebserschwerisse und Verkehrsführung sowie Verwaltungskosten bilden kein abnutzbares Anlagevermögen.

Die Berücksichtigung des Restwertes in den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen ermöglicht die freie Wahl des Bewertungszeitraums.

6.2 Ablaufschemata der Berechnung der kapitalisierten Kosten

Variante Zeitachse		Instandsetzung		Erneuerung	
	Erstmaßnahme	Erneuerungs- bzw. Instandset- zungskosten	Formel 3		Formel 3
<i>keine Zweitmaßnahme</i>	<i>Unterhaltung</i>	<i>Formel 11</i>		<i>Formel 14</i>	
	<i>Restwert</i>	<i>Formel 17</i>		<i>Formel 18</i>	
Zweitmaßnahme		Instandset- zung	Erneuerung	Instandset- zung	Erneuerung
	Erneuerungs- bzw. Instandset- zungskosten	Formel 5		Formel 5	
	Unterhaltung	Formel 11	Formel 15	Formel 14	Formel 16
Ende des Bewer- tungszeitraums	Restwert	Formel 17	Formel 19	Formel 18	Formel 19

Abbildung 2: Generelles Ablaufschema der Berechnung der kapitalisierten Kosten

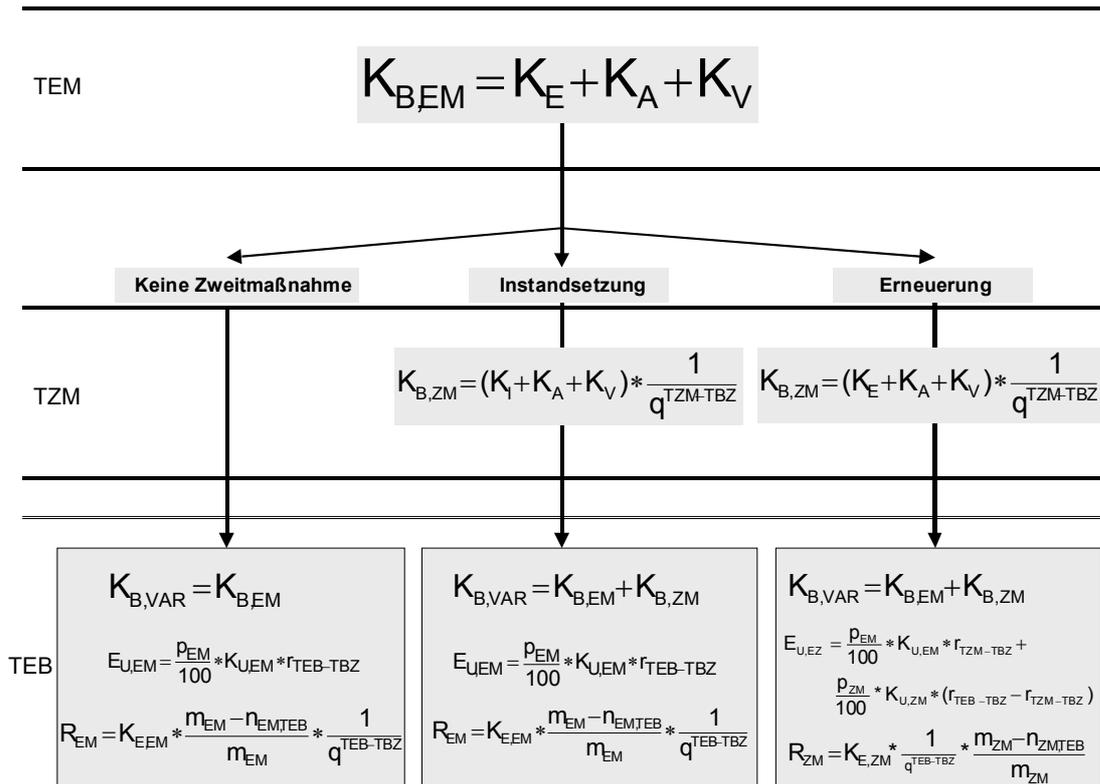


Abbildung 3: Ablaufschema Berechnungsverfahren für den Fall: Erstmaßnahme ist eine Erneuerung

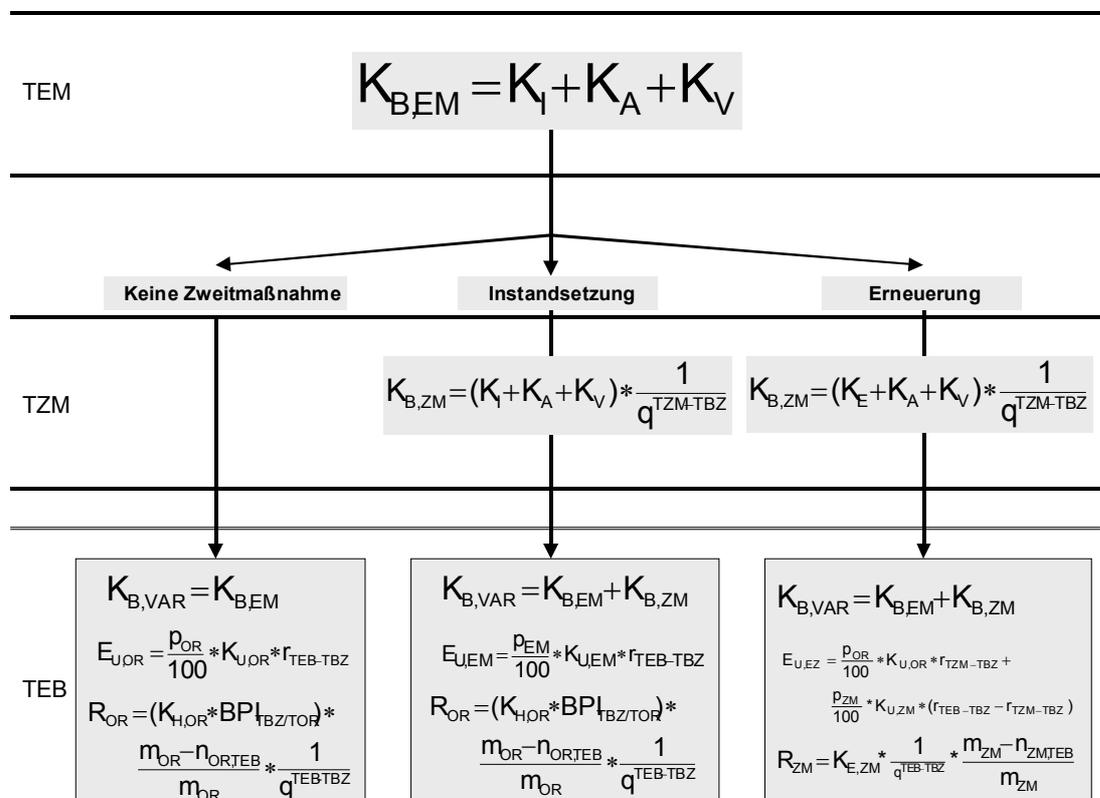


Abbildung 4: Ablaufschema Berechnungsverfahren für den Fall: Erstmaßnahme ist eine Instandsetzung

6.3 Formelsammlung und Variablenverzeichnis

Tabelle 2: Formelsammlung

lfd-Nr.	Formel	Abschnitt
1	$K_{VAR} = K_{UT} + K_{ÜB}$	6.1
2	$K_{UT}; K_{ÜB} = K_{B,VAR} + E_{U,VAR} - R_{VAR}$	6.1
3	$K_{B,EM} = K_{I/E} + K_A + K_V$	6.1.1
4	$K_V = 0,1 * (K_{I/E} + K_A)$	6.1.1
5	$K_{B,ZM} = (K_{I/E} + K_A + K_V) * \frac{1}{q^{T_{ZM}-T_{BZ}}}$	6.1.1
6	$E_U^b = U_j * r_b$	6.1.2
7	$r_b = \frac{q^b - 1}{q^b(q - 1)}$	6.1.2
8	$U_j = K_U * \frac{p}{100}$	6.1.2
9	$BPI_{TBZ/TOR} = \frac{BPI_{TBZ}}{BPI_{TOR}}$	6.1.2
10	$K_{U,OR} = 1,1 * (K_{H,OR} * BPI_{TBZ/TOR})$	6.1.2
11	$E_{U,OR} = \frac{p_{OR}}{100} * K_{U,OR} * r_{TEB-TBZ}$	6.1.2
12	$K_{U,EM} = 1,1 * K_{E,EM}$	6.1.2
13	$K_{U,ZM} = 1,1 * K_{E,ZM}$	6.1.2
14	$E_{U,EM} = \frac{p_{EM}}{100} * K_{U,EM} * r_{TEB-TBZ}$	6.1.2
15	$E_{U,ZM} = \frac{p_{OR}}{100} * K_{U,OR} * r_{T_{ZM}-T_{BZ}} + \frac{p_{ZM}}{100} * K_{U,ZM} * (r_{TEB-TBZ} - r_{T_{ZM}-T_{BZ}})$	6.1.2
16	$E_{U,EZ} = \frac{p_{EM}}{100} * K_{U,EM} * r_{T_{ZM}-T_{BZ}} + \frac{p_{ZM}}{100} * K_{U,ZM} * (r_{TEB-TBZ} - r_{T_{ZM}-T_{BZ}})$	6.1.2
17	$R_{OR} = (K_{H,OR} * BPI_{TBZ/TOR}) * \frac{m_{OR} - n_{OR,TEB}}{m_{OR}} * \frac{1}{q^{T_{EB}-T_{BZ}}}$	6.1.3
18	$R_{EM} = K_{E,EM} * \frac{m_{EM} - n_{EM,TEB}}{m_{EM}} * \frac{1}{q^{T_{EB}-T_{BZ}}}$	6.1.3
19	$R_{ZM} = K_{E,ZM} * \frac{1}{q^{T_{EB}-T_{BZ}}} * \frac{m_{ZM} - n_{ZM,TEB}}{m_{ZM}}$	6.1.3

Tabelle 3: Variablenverzeichnis

Variable	Bedeutung	Dimension
b	Anzahl der Jahre des Bewertungszeitraums	Jahre
BPI	Baupreisindex	[-]
BPI _{TBZ}	Baupreisindex des Bezugsjahrs	[-]
BPI _{TOR}	Baupreisindex des Herstellungsjahres des originären Bauwerks oder Bauwerksteils	[-]
BPI _{TBZ/TOR}	Baupreisindex zur Umbasierung der Herstellungskosten des originären Bauwerks oder Bauwerksteils	[-]
E_U^b	Kapitalisierte jährliche Unterhaltungskosten eines Bauwerks oder Bauwerksteils bei einem Bewertungszeitraum von b Jahren	Mio. Euro
$E_{U,OR}$	Kapitalisierte jährliche Unterhaltungskosten des originären Bauwerks oder Bauwerksteils	Mio. Euro
$E_{U,EM}$	Kapitalisierte jährliche Unterhaltungskosten im Bewertungszeitraum bei einer Erneuerung als Erstmaßnahme	Mio. Euro
$E_{U,EZ}$	Kapitalisierte jährliche Unterhaltungskosten im Bewertungszeitraum bei einer Erneuerung sowohl als Erstmaßnahme als auch als Zweitmaßnahme	Mio. Euro
$E_{U,VAR}$	Kapitalisierte jährliche Unterhaltungskosten der Variante	Mio. Euro
$E_{U,ZM}$	Kapitalisierte jährliche Unterhaltungskosten im Bewertungszeitraum bei einer Erneuerung als Zweitmaßnahme	Mio. Euro
K_A	Kosten für Abbruch, Behelfe, Betriebserschwernde und Verkehrsführung	Mio. Euro
$K_{B,EM}$	Kapitalisierte Baukosten der Erstmaßnahme	Mio. Euro
$K_{B,VAR}$	Kapitalisierte Baukosten der Variante (Summe der kapitalisierten Baukosten der einzelnen Maßnahmen der Variante)	Mio. Euro
$K_{B,ZM}$	Kapitalisierte Baukosten der Zweitmaßnahme	Mio. Euro
$K_{E,EM}$	Reine Baukosten der Erneuerung bei einer Erstmaßnahme	Mio. Euro
$K_{E,ZM}$	Reine Baukosten der Erneuerung bei einer Zweitmaßnahme	Mio. Euro
$K_{H,OR}$	Herstellungskosten des originären Bauwerks oder Bauwerksteils	Mio. Euro
K_E	Reine Baukosten für Erneuerung	Mio. Euro
K_I	Reine Baukosten für Instandsetzung	Mio. Euro
K_U	Bezugsgröße, die der Ermittlung der kapitalisierten Unterhaltungskosten zu Grunde zu legen ist (Reine Bau- bzw. Instandsetzungskosten zuzüglich Verwaltungskosten von 10% der reinen Bau- bzw. Instandsetzungskosten)	Mio. Euro
$K_{U,OR}$	Bezugsgröße des originären Bauwerks oder Bauwerksteils, die der Ermittlung der kapitalisierten Unterhaltungskosten zu Grunde zu legen ist	Mio. Euro
$K_{U,EM}$	Bezugsgröße der Erstmaßnahme, die der Ermittlung der kapitalisierten Unterhaltungskosten zu Grunde zu legen ist	Mio. Euro
$K_{U,ZM}$	Bezugsgröße der Zweitmaßnahme, die der Ermittlung der kapitalisierten Unterhaltungskosten zu Grunde zu legen ist	Mio. Euro

K_{UT}	Kapitalisierte Kosten der Unterbauten	Mio. Euro
$K_{ÜB}$	Kapitalisierte Kosten des Überbaus	Mio. Euro
K_V	Verwaltungskosten in 10% von K_{VE} und K_A	Mio. Euro
K_{VAR}	Kapitalisierte Kosten einer Variante	Mio. Euro
m_{OR}	Theoretische Nutzungsdauer des originären Bauwerks oder Bauwerksteils	Jahre
m_{EM}	Theoretische Nutzungsdauer des als Erstmaßnahme erstellten Bauwerks oder Bauwerksteils	Jahre
m_{ZM}	Theoretische Nutzungsdauer des als Zweitmaßnahme erstellten Bauwerks oder Bauwerksteils	Jahre
$n_{OR,TEB}$	Bisherige Nutzungsdauer des originären Bauwerks oder Bauwerksteils zum Ende des Bewertungszeitraums	Jahre
$n_{EM,TEB}$	Bisherige Nutzungsdauer der Erstmaßnahme zum Ende des Bewertungszeitraums	Jahre
$n_{ZM,TEB}$	Bisherige Nutzungsdauer der Zweitmaßnahme zum Ende des Bewertungszeitraums	Jahre
P	Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten des Bauwerks oder Bauwerksteils als Hundertteile der Kosten K_U	[-]
p_{OR}	Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten des originären Bauwerks oder Bauwerksteils als Hundertteile der Kosten K_U	[-]
p_{EM}	Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten der Erstmaßnahme als Hundertteile der Kosten K_U	[-]
p_{ZM}	Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten der Zweitmaßnahme als Hundertteile der Kosten K_U	[-]
q	Zinsfaktor der Kapitalisierung	[-]
r_b	Rentenbarwertfaktor für einen Zeitraum von b Jahren	[-]
$r_{TEB-TBZ}$	Rentenbarwertfaktor für den Zeitraum zwischen Bezugsjahr und Ende des Bewertungszeitraums	[-]
$r_{TZM-TBZ}$	Rentenbarwertfaktor für den Zeitraum zwischen Bezugsjahr und Zweitmaßnahme	[-]
$r_{TEB-TZM}$	Rentenbarwertfaktor für den Zeitraum zwischen Zweitmaßnahme und Ende des Bewertungszeitraums	[-]
R_{EM}	Kapitalisierter Restwert der zu Beginn des Bewertungszeitraums als Erstmaßnahme erstellten Brücke	Mio. Euro
R_{ZM}	Kapitalisierter Restwert der innerhalb des Bewertungszeitraums als Zweitmaßnahme erstellten Brücke	Mio. Euro
R_{OR}	Kapitalisierter Restwert des Originalbauwerks	Mio. Euro
R_{VAR}	Kapitalisierter Restwert der Variante; entspricht dem kapitalisierten Restwert der am Ende des Bewertungszeitraums bestehenden Brücke	Mio. Euro
TBZ	Bezugsjahr	Jahr

TEB	Ende des Bewertungszeitraums	Jahr
TEM	Jahr der Durchführung der Erstmaßnahme	
TOR	Jahr der Herstellung des originären Bauwerks oder Bauwerksteils	Jahr
TZM	Jahr der Durchführung der Zweitmaßnahme	Jahr
U_j	Jährliche Unterhaltungskosten des Bauwerks oder Bauwerksteils	Mio. Euro
ÜB	Überbau	[-]
UT	Unterbauten	[-]
z	Zinssatz der Kapitalisierung	Von Hundert (v. H.)
ZM	Zweitmaßnahme	[-]

7 Beispielrechnungen

7.1 Erhaltungsmaßnahmen an der A-Talbrücke

(I) Problemdarstellung und Zielformulierung

Aus den Ergebnissen der Bauwerksprüfung nach DIN 1076 folgt, dass die Standsicherheit der im Jahr 1968 erstellten A-Talbrücke der BAB A 5 beeinträchtigt und die Dauerhaftigkeit des Über- und der Unterbauten nicht mehr gegeben ist. Die prognostizierte Schadensausbreitung und Folgeschädigung erfordert umgehend eine Instandsetzung, Nutzungseinschränkung oder Bauwerkserneuerung.

Rahmenbedingungen und übergeordnete Ziele

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen hat eine systematische Erhaltungsplanung als wesentlichen Bestandteil zur langfristigen Sicherung der Mobilität von Wirtschaft und Gesellschaft identifiziert. Grundlagen einer solchen systematischen Erhaltungsplanung sind die folgenden Erhaltungsstrategien:

- Mit den zur Verfügung stehenden Erhaltungsmitteln ist ein höchstmögliches Qualitätsniveau des Bestandsnetzes zu erreichen.
- Erhaltungsmaßnahmen sind in größere Abschnitte (Maßnahmenbereiche) zusammenzufassen, um Eingriffe in das Verkehrsgeschehen in räumlicher und zeitlicher Ausdehnung zu minimieren.
- Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen und Bauwerken sind aufeinander abzustimmen.

Spezielle objektbezogene Ziele

- Belange des Umweltschutzes (Lärmschutz, Landschafts- und Naturschutz) sind in einer sensiblen Naturlandschaft, verbunden mit ländlicher bzw. kleinstädtischer Bebauung, von großer Wichtigkeit.
- Die BAB – Richtungsfahrbahn nach Norden weist eine Steigung von 2,5% auf, was eine dritte Spur für LKW (Langsamfahrspur) unter Beibehaltung des Standstreifens notwendig macht.
- Das stark aufgeweitete Tal und die große Höhe der Brücke über Talgrund erfordern eine ästhetisch befriedigende Brückenansicht.

(II) Entwicklung und Erläuterung der zu untersuchenden Varianten

Angaben zum bestehenden Bauwerk

Die Herstellungskosten der Brücke betragen im Jahr 1968 3,2211 Mio. Euro für die Unterbauten aus Stahlbeton und 5,1129 Mio. Euro für den Überbau aus Stahlverbund. Die theoretische Nutzungsdauer der Unterbauten beträgt gemäß den Ablösungsrichtlinien [8] 110 Jahre bei einem Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten von 0,50%. Für den Überbau ist die theoretische Nutzungsdauer mit

70 Jahren und der Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten mit 1,10% gemäß [8] angesetzt.

Herleitung der Varianten

Die vorab ermittelten Kosten der Instandsetzung betragen mehr als 50% der Kosten einer vollständigen Erneuerung. Aus diesem Grund werden nachfolgende Varianten näher untersucht.

Variante 1: Neubau der gesamten Brücke

Variante 2: Erneuerung des Überbaus und Instandsetzung der Unterbauten

Variante 3: Instandsetzung des Überbaus und Instandsetzung der Unterbauten

Für die einzelnen Varianten ist in einem beschränkten Zeitraum bis zum Eingreifzeitpunkt ein Verzicht auf Erhaltungsmaßnahmen theoretisch möglich. Dies beinhaltet jedoch eine Nutzungseinschränkung des Bauwerks durch eine vorläufige Beschränkung des zulässigen Gesamtgewichts auf 16 to. Zusätzlich ist eine statische Nachrechnung und Tragfähigkeitseinstufung nach DIN 1072 erforderlich. Da es sich bei dem Bauwerk um eine Brücke im Zuge einer hoch belasteten Autobahn mit hohem Schwerverkehrsanteil handelt, ist eine Nutzungseinschränkung nur für einen begrenzten Zeitraum vor einer umgehend einzuplanenden Maßnahme möglich. Daraus folgt, dass mit der Durchführung der Maßnahmen möglichst früh bzw. im Rahmen des nächsten Jahresprogramms begonnen werden sollte.

Erläuterungen zu den Varianten

Variante 1

Es wird eine bauartgleiche Erneuerung des gesamten Brückenbauwerks (Unterbauten Stahlbeton, Überbau Stahlverbund) geplant. Mit dieser Variante wird ein standsicheres, verkehrssicheres und dauerhaftes Bauwerk kurzfristig gewährleistet. Zwar ergibt sich durch ein erforderliches Planfeststellungsverfahren und umfangreiche Entwurfsarbeiten ein erhöhter administrativer Aufwand, Forderungen der Planfeststellung bzgl. Umweltschutz, Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit können jedoch berücksichtigt werden.

Die reinen Baukosten der Erneuerungsmaßnahme (Erstmaßnahme) belaufen sich im Bezugsjahr für die Unterbauten auf 7,2603 Mio. Euro; hierzu kommen noch 0,6954 Mio. Euro für Abbruch, Behelfe, Betriebserschwerisse und Verkehrsführung und ein 10%-iger Zuschlag auf beide Teilsummen für Verwaltungskosten. Für den Überbau werden 26,4849 Mio. Euro für die reinen Baukosten, 2,3724 Mio. Euro für Abbruch, Behelfe, Betriebserschwerisse und Verkehrsführung und wiederum ein 10%-iger Zuschlag auf beide Teilsummen für Verwaltungskosten veranschlagt.

Die theoretische Nutzungsdauer der erneuerten Unterbauten beträgt gemäß den Ablösungsrichtlinien [8] 110 Jahre bei einem Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten von 0,50%. Für den erneuerten Überbau ist die theoretische Nutzungsdauer mit 70 Jahren und der Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten mit 1,10% gemäß [8] anzusetzen.

Weitere größere Instandsetzungsmaßnahmen innerhalb des Bewertungszeitraumes können ausgeschlossen werden. Die Vor- und Nachteile der Variante 1 sind Tabelle 11 zu entnehmen.

Variante 2

Als Erstmaßnahme wird lediglich der Überbau bauartgleich erneuert, die Unterbauten werden instand gesetzt. Mit dieser Variante wird ein standsicheres, verkehrssicheres und dauerhaftes Bauwerk angestrebt. Restrisiken ergeben sich aufgrund der Instandsetzung der Unterbauten.

Die Kosten für die Instandsetzung der Unterbauten belaufen sich auf 3,2825 Mio. Euro reine Baukosten, 0,5778 Mio. Euro für Abbruch, Behelfe, Betriebserschwernde und Verkehrsführung zuzüglich 10% von beiden Teilsummen als Verwaltungskostenzuschlag. Die Angaben zur Erneuerung des Überbaus können der Beschreibung der Variante 1 entnommen werden.

Die Restnutzungsdauer der Unterbauten wird nach der Instandsetzung ingenieurmäßig mit 48 Jahren angesetzt. Diese auf der besonderen Konstruktion der Unterbauten beruhende Einschätzung bedeutet eine Reduzierung der theoretischen Nutzungsdauer auf 80 Jahre. Der Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten für die Unterbauten beträgt 0,50%. Für den erneuerten Überbau ist die theoretische Nutzungsdauer mit 70 Jahren und der Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten mit 1,10% gemäß [8] anzusetzen.

Nach 48 Jahren muss, da die Nutzungsdauer der Unterbauten zu Ende geht, die gesamte Brücke erneuert werden. Diese Erneuerung erfolgt bauartgleich und bedeutet für den Überbau eine zweifache Erneuerung innerhalb des Bewertungszeitraums. Aufgrund der bauartgleichen Erneuerung können die Investitionskosten in Preisen des Bezugsjahres sowie die Angaben zu den theoretischen Nutzungsdauern und den Prozentsätzen der jährlichen Unterhaltungskosten der Variante 1 entnommen werden. Die Vor- und Nachteile der Variante 2 sind aus Tabelle 12 zu ersehen.

Variante 3

Als Erstmaßnahme erfolgt eine Instandsetzung des Über- und der Unterbauten. Bei dieser Variante ergeben sich Restrisiken bzgl. Standsicherheit und Dauerhaftigkeit des Bauwerks. Gegenüber dem ursprünglichen Bauwerk ergeben sich keine Verbesserungen hinsichtlich der Verkehrssicherheit. Nach Beendigung der Instandsetzung fehlt nach wie vor der Standstreifen der Nordfahrbahn. Da keine in das Gelände integrierte Lärmschutzwand möglich ist, können Lärmschutzforderungen nicht erfüllt werden. Weiterhin ist mit Gewässer- und Bodenbelastungen z. B. infolge der Korrosionsschutzmaßnahmen während der Bauzeit zu rechnen.

Die Kosten für die Instandsetzung sind bei den Unterbauten identisch zu denen in Variante 2. Die Instandsetzung des Überbaus setzt sich zusammen aus 18,7593 Mio. Euro reinen Baukosten, 2,3116 Mio. Euro für Abbruch, Behelfe, Betriebserschwernde und Verkehrsführung sowie einem 10%-igen Zuschlag auf beide Teilsummen für Verwaltungskosten.

Die Restnutzungsdauer der Unterbauten wird wie in Variante 2 mit 48 Jahren angesetzt. Die Restnutzungsdauer des Überbaus wird mit 30 Jahren angesetzt. Das heißt bei der Gesamtnutzungsdauer des Überbaus wurde wegen der vorhandenen Restrisiken ein Abschlag in Höhe von 8 Jahren berücksichtigt. Der Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten für die Unterbauten beträgt 0,50% und für den Überbau 1,10%.

Nach 30 Jahren muss, da die Nutzungsdauer des Überbaus zu Ende geht und die Restnutzungsdauer der Unterbauten lediglich 18 Jahre beträgt, die gesamte Brücke erneuert werden. Die Erneuerung erfolgt bauartgleich. Aus diesem Grund können die Investitionskosten in Preisen des Bezugsjahres sowie die Angaben zu den theoretischen Nutzungsdauern und den Prozentsätzen der jährlichen Unterhaltungskosten der Zweitmaßnahme aus Variante 1 entnommen werden. Die Vor- und Nachteile der Variante 3 sind aus Tabelle 13 zu ersehen.

(III) Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

Die Eingabetabellen und Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zu den Varianten sind den nachfolgend dargestellten Formblättern des Excel-Berechnungsprogramms in den Tabellen 4 bis 7 zu entnehmen.

Generelle Berechnungshinweise

Das Bezugsjahr ist für alle Varianten das Jahr 2000 (Jahr der Erstmaßnahme). Als Bewertungszeitraum werden im vorliegenden Beispiel 70 Jahre angesetzt, die der theoretischen Nutzungsdauer des als Erstmaßnahme erneuerten Überbaus entsprechen. Alle Preise sind als Bruttopreise (einschließlich Umsatzsteuer) zu verstehen. Die Investitionskosten sind in Preisen des Bezugsjahres angegeben. Der für die Kapitalisierung zu Grunde gelegte, inflationsbereinigte Zinssatz beträgt gemäß den Bewertungsverfahren des Bundes 3% p. a. Die anzuwendenden Berechnungsformeln können den Abbildungen 3 und 4 bzw. der Formelsammlung entnommen werden. Die theoretischen Nutzungsdauern sowie die Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten werden, soweit nicht konstruktionsbedingt andere Annahmen zu treffen sind, entsprechend [8] angesetzt.

Tabelle 4: Eingabedaten für Variante 1 "Neubau"

Variable	BESCHREIBUNG	Dimension	Eingabefelder in gelb	
TEM	Jahr der Erstmaßnahme	Jahr	2000	
TZM	Jahr der Zweitmaßnahme	Jahr		
TEB	Ende des Bewertungszeitraums	Jahr	2070	
TOR	Baujahr der originären Straßenbrücke	Jahr	1968	
	Art der Erhaltungsmaßnahmen		Unterbauten	Überbau
	Erstmaßnahme Instandsetzung ggf. Zweitmaßnahme Instandsetzung oder keine Zweitmaßnahme			
	Erstmaßnahme Erneuerung ggf. Zweitmaßnahme Instandsetzung oder keine Zweitmaßnahme		X	X
	Erstmaßnahme Instandsetzung und Zweitmaßnahme Erneuerung			
	Erstmaßnahme Erneuerung und Zweitmaßnahme Erneuerung			
	Bauart des Bauwerk(steile)		Unterbauten	Überbau
	Bauart des originären Bauwerks		Stahlbeton	Stahlverbund
	Bauart der Erstmaßnahme			
	Bauart der Zweitmaßnahme			
m	Nutzungsdauer (theoretisch bzw. ingenieurmäßig ermittelt)		Unterbauten	Überbau
m _{OR}	Theoretische Nutzungsdauer des originären Bauwerks	in Jahren	110	70
	Abschlag auf die Nutzungsdauer des originären Bauwerks (Schätzung)	+ bzw. - Jahre		
m _{EM}	Theoretische Nutzungsdauer der Erstmaßnahme	in Jahren	110	70
m _{ZM}	Theoretische Nutzungsdauer der Zweitmaßnahme	in Jahren		
p	Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten		Unterbauten	Überbau
p _{OR}	originäres Bauwerk	in Prozent	0,50	1,10
p _{EM}	Erstmaßnahme	in Prozent	0,50	1,10
p _{ZM}	Zweitmaßnahme	in Prozent		
	Baukosten		Unterbauten	Überbau
K _{H,OR}	reine Baukosten des originären Bauwerks zum Preisstand des Herstellungsjahrs	in Mio. €	3,2211	5,1129
	Erstmaßnahme			
K _{I/E,EM}	reine Erneuerungs- bzw. Instandsetzungskosten im Bezugsjahr	in Mio. €	7,2603	26,4849
K _{A,EM}	Abbruch, Behelfe im Bezugsjahr	in Mio. €	0,6954	2,3724
	reine Erneuerungs- bzw. Instandsetzungskosten im Vorjahr	in Mio. €		
	Abbruch, Behelfe im Vorjahr	in Mio. €		
	reine Erneuerungs- bzw. Instandsetzungskosten im Vorvorjahr	in Mio. €		
	Abbruch, Behelfe im Vorvorjahr	in Mio. €		
K _{I/E,ZM}	Zweitmaßnahme reine Erneuerungs- bzw. Instandsetzungskosten	in Mio. €		
K _{A,ZM}	Abbruch, Behelfe der Zweitmaßnahme	in Mio. €		

Tabelle 5: Eingabedaten für Variante 2 "Neubau des Überbaus, Instandsetzung der Unterbauten"

Variable	BESCHREIBUNG	Dimension	Eingabefelder in gelb	
TEM	Jahr der Erstmaßnahme	Jahr	2000	
TZM	Jahr der Zweitmaßnahme	Jahr	2048	
TEB	Ende des Bewertungszeitraums	Jahr	2070	
TOR	Baujahr der originären Straßenbrücke	Jahr	1968	
	Art der Erhaltungsmaßnahmen		Unterbauten	Überbau
	Erstmaßnahme Instandsetzung ggf. Zweitmaßnahme Instandsetzung oder keine Zweitmaßnahme			
	Erstmaßnahme Erneuerung ggf. Zweitmaßnahme Instandsetzung oder keine Zweitmaßnahme			
	Erstmaßnahme Instandsetzung und Zweitmaßnahme Erneuerung		X	
	Erstmaßnahme Erneuerung und Zweitmaßnahme Erneuerung			X
	Bauart des Bauwerk(steile)		Unterbauten	Überbau
	Bauart des originären Bauwerks		Stahlbeton	Stahlverbund
	Bauart der Erstmaßnahme			
	Bauart der Zweitmaßnahme			
m	Nutzungsdauer (theoretisch bzw. ingenieurmäßig ermittelt)		Unterbauten	Überbau
m _{OR}	Theoretische Nutzungsdauer des originären Bauwerks	in Jahren	110	70
	Abschlag auf die Nutzungsdauer des originären Bauwerks (Schätzung)	+ bzw. - Jahre	-30	
m _{EM}	Theoretische Nutzungsdauer der Erstmaßnahme	in Jahren	80	70
m _{ZM}	Theoretische Nutzungsdauer der Zweitmaßnahme	in Jahren	110	70
p	Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten		Unterbauten	Überbau
p _{OR}	originäres Bauwerk	in Prozent	0,50	1,10
p _{EM}	Erstmaßnahme	in Prozent	0,50	1,10
p _{ZM}	Zweitmaßnahme	in Prozent	0,50	1,10
	Baukosten		Unterbauten	Überbau
K _{H,OR}	reine Baukosten des originären Bauwerks zum Preisstand des Herstellungsjahrs	in Mio. €	3,2211	5,1129
	Erstmaßnahme			
K _{I/E,EM}	reine Erneuerungs- bzw. Instandsetzungskosten im Bezugsjahr	in Mio. €	3,2825	26,4849
K _{A,EM}	Abbruch, Behelfe im Bezugsjahr	in Mio. €	0,5778	2,3724
	reine Erneuerungs- bzw. Instandsetzungskosten im Vorjahr	in Mio. €		
	Abbruch, Behelfe im Vorjahr	in Mio. €		
	reine Erneuerungs- bzw. Instandsetzungskosten im Vorvorjahr	in Mio. €		
	Abbruch, Behelfe im Vorvorjahr	in Mio. €		
K _{I/E,ZM}	Zweitmaßnahme reine Erneuerungs- bzw. Instandsetzungskosten	in Mio. €	7,2603	26,4849
K _{A,ZM}	Abbruch, Behelfe der Zweitmaßnahme	in Mio. €	0,6954	2,3724

Tabelle 6: Eingabedaten für Variante 3 "Instandsetzung"

Variable	BESCHREIBUNG	Dimension	Eingabefelder in gelb	
TEM	Jahr der Erstmaßnahme	Jahr	2000	
TZM	Jahr der Zweitmaßnahme	Jahr	2030	
TEB	Ende des Bewertungszeitraums	Jahr	2070	
TOR	Baujahr der originären Straßenbrücke	Jahr	1968	
	Art der Erhaltungsmaßnahmen		Unterbauten	Überbau
	Erstmaßnahme Instandsetzung ggf. Zweitmaßnahme Instandsetzung oder keine Zweitmaßnahme			
	Erstmaßnahme Erneuerung ggf. Zweitmaßnahme Instandsetzung oder keine Zweitmaßnahme			
	Erstmaßnahme Instandsetzung und Zweitmaßnahme Erneuerung		X	X
	Erstmaßnahme Erneuerung und Zweitmaßnahme Erneuerung			
	Bauart des Bauwerk(steile)		Unterbauten	Überbau
	Bauart des originären Bauwerks		Stahlbeton	Stahlverbund
	Bauart der Erstmaßnahme			
	Bauart der Zweitmaßnahme			
m	Nutzungsdauer (theoretisch bzw. ingenieurmäßig ermittelt)		Unterbauten	Überbau
m _{OR}	Theoretische Nutzungsdauer des originären Bauwerks	in Jahren	110	70
	Abschlag auf die Nutzungsdauer des originären Bauwerks (Schätzung)	+ bzw. - Jahre	-30	-8
m _{EM}	Theoretische Nutzungsdauer der Erstmaßnahme	in Jahren	80*)	62
m _{ZM}	Theoretische Nutzungsdauer der Zweitmaßnahme	in Jahren	110	70
p	Prozentsätze der jährlichen Unterhaltungskosten		Unterbauten	Überbau
p _{OR}	originäres Bauwerk	in Prozent	0,50	1,10
p _{EM}	Erstmaßnahme	in Prozent	0,50	1,10
p _{ZM}	Zweitmaßnahme	in Prozent	0,50	1,10
	Baukosten		Unterbauten	Überbau
K _{H,OR}	reine Baukosten des originären Bauwerks zum Preisstand des Herstellungsjahrs	in Mio. €	3,2211	5,1129
	Erstmaßnahme			
K _{I/E,EM}	reine Erneuerungs- bzw. Instandsetzungskosten im Bezugsjahr	in Mio. €	3,2825	18,7593
K _{A,EM}	Abbruch, Behelfe im Bezugsjahr	in Mio. €	0,5778	2,3116
	reine Erneuerungs- bzw. Instandsetzungskosten im Vorjahr	in Mio. €		
	Abbruch, Behelfe im Vorjahr	in Mio. €		
	reine Erneuerungs- bzw. Instandsetzungskosten im Vorvorjahr	in Mio. €		
	Abbruch, Behelfe im Vorvorjahr	in Mio. €		
K _{I/E,ZM}	Zweitmaßnahme reine Erneuerungs- bzw. Instandsetzungskosten	in Mio. €	7,2603	26,4849
K _{A,ZM}	Abbruch, Behelfe der Zweitmaßnahme	in Mio. €	0,6954	2,3724

*) 80 Jahre werden nicht erreicht, da die Brücke nach 62 Jahren wegen des Überbaus abgebrochen wird.

Tabelle 7: Variantenvergleich

			Variante 1		Variante 2		Variante 3	
Va-riable	Beschreibung	Dimen-sion	Unter-bauten	Über-bau	Unter-bauten	Über-bau	Unter-bauten	Über-bau
Kapitalisierte Baukosten								
K _{B,EM}	Kapitalisierte Baukosten der Erstmaßnahme	Mio. €	8,7513	31,7430	4,2463	31,7430	4,2463	23,1780
K _{B,ZM}	Kapitalisierte Baukosten der Zweitmaßnahme	Mio. €	0,0000	0,0000	2,1178	7,6818	3,6054	13,0777
K _{B,VAR}	Kapitalisierte Baukosten der Varianten	Mio. €	8,7513	31,7430	6,3641	39,4248	7,8517	36,2557
Kapitalisierte Unterhaltungskosten								
E _{U,OR}	Kapitalisierte Unterhaltungskosten im Falle ausschließlicher Instandsetzungsmaßnahmen	Mio. €	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E _{U,EM}	Kapitalisierte Unterhaltungskosten im Falle einer Erneuerung als Erstmaßnahme	Mio. €	1,1629	9,3331	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
E _{U,ZM}	Kapitalisierte Unterhaltungskosten im Falle einer Instandsetzung als Erstmaßnahme u. einer Erneuerung als Zweitmaßnahme	Mio. €	0,0000	0,0000	1,5838	0,0000	1,4894	6,9250
E _{U,EZ}	Kapitalisierte Unterhaltungskosten im Falle einer Erneuerung als Erstmaßnahme und einer Erneuerung als Zweitmaßnahme	Mio. €	0,0000	0,0000	0,0000	9,3331	0,0000	0,0000
E _{U,VAR}	Kapitalisierte Unterhaltungskosten der Varianten	Mio. €	1,1629	9,3331	1,5838	9,3331	1,4894	6,9250
Kapitalisierter Restwert des am Ende des Bewertungszeitraums vorhandenen Bauwerks								
R _{OR}	Kapitalisierter Restwert des originären Bauwerks bei ausschließlichen Instandsetzungsmaßnahmen	Mio. €	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
R _{EM}	Kapitalisierter Restwert des als Erstmaßnahme erneuerten und ggf. als Zweitmaßnahme instandgesetzten Bauwerks	Mio. €	0,3334	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
R _{ZM}	Kapitalisierter Restwert des als Zweitmaßnahme erneuerten Bauwerks (EM kann ggf. auch Erneuerung sein)	Mio. €	0,0000	0,0000	0,7336	2,2937	0,5835	1,4336
R _{VAR}	Kapitalisierte Restwerte der Varianten	Mio. €	0,3334	0,0000	0,7336	2,2937	0,5835	1,4336
K _{UB,UT}	Kapitalisierte Kosten von Unterbauten und Überbau	Mio. €	9,5808	41,0761	7,2143	46,4642	8,7576	41,7471
K _{VAR}	Kapitalisierte Kosten der Varianten	Mio. €	50,6569		53,6785		50,5047	

(IV) Ergebnisse der Beurteilung nicht monetarisierter Aspekte

Die Ergebnisse der Beurteilung nicht monetarisierter Aspekte der unterschiedlichen Varianten sind den Bewertungsmatrizen in den nachfolgenden Tabellen 8 bis 10 bzw. den Erläuterungen zu den Varianten 1 - 3 in den Tabellen 11 – 13 zu entnehmen.

Tabelle 8: Beurteilungsmatrix für Variante 1 "Neubau"

Variante 1		Erstmaßnahme (EM): bauartgleiche Erneuerung Unterbauten/Überbau, Zweitmaßnahme (ZM): keine Maßnahme im Bewertungszeitraum				
		Bewertung für EM bzw. ZM				
Kriterien		++	+	o	-	--
		Ingenieurbau				
Standsicherheit	- nach Fertigstellung	x				
Verkehrssicherheit	- nach Fertigstellung	x				
Dauerhaftigkeit	- nach Fertigstellung	x				
Gestaltung	- nach Fertigstellung	x				
Verkehrsplanung						
Verkehrsführung	- während der Bauzeit				x	
Leistungsfähigkeit	- während der Bauzeit		x			
	- nach Fertigstellung	x				
Umweltschutz						
Lärmschutz	- während der Bauzeit				x	
	- nach Fertigstellung	x				
Gewässer- und Bodenschutz	- während der Bauzeit			x		
	- nach Fertigstellung	x				
Natur- und Landschaftsschutz	- während der Bauzeit			x		
	- nach Fertigstellung	x				
Weitere Umweltschutzaspekte	- während der Bauzeit					
	- nach Fertigstellung					
Durchführbarkeit						
Personal					x	
Bau- und Planungsrecht					x	
Grunderwerb				x		
Haushalt					x	
Bauzeit					x	
Sonstiges						
Kapazitätsveränderung: Richtungsfahrbahn nach Norden erhält 3. Spur für LKW (Langsamfahrspur)						

++ = sehr gut

+ = gut

o = mittel

- = schlecht

-- = sehr schlecht

Tabelle 9: Beurteilungsmatrix für Variante 2 "Neubau des Überbaus, Instandsetzung der Unterbauten"

Variante 2 Erstmaßnahme (EM): bauartgleiche Erneuerung Überbau/ Instandsetzung Unterbauten Zweitmaßnahme (ZM): bauartgleiche Erneuerung Überbau/Unterbauten						
Kriterien	Bewertung für EM bzw. ZM					
	++	+	o	-	--	
Ingenieurbau						
Standsicherheit	- nach Fertigstellung	X _{ZM}	X _{EM}			
Verkehrssicherheit	- nach Fertigstellung	X _{ZM}	X _{EM}			
Dauerhaftigkeit	- nach Fertigstellung	X _{ZM}	X _{EM}			
Gestaltung	- nach Fertigstellung	X _{ZM}		X _{EM}		
Verkehrsplanung						
Verkehrsführung	- während der Bauzeit			X _{EM}	X _{ZM}	
Leistungsfähigkeit	- während der Bauzeit		X _{EM/ZM}			
	- nach Fertigstellung	X _{ZM}	X _{EM}			
Umweltschutz						
Lärmschutz	- während der Bauzeit			X _{EM}	X _{ZM}	
	- nach Fertigstellung	X _{EM/ZM}				
Gewässer- und Bodenschutz	- während der Bauzeit			X _{ZM}	X _{EM}	
	- nach Fertigstellung	X _{EM/ZM}				
Natur- und Landschaftsschutz	- während der Bauzeit		X _{EM}	X _{ZM}		
	- nach Fertigstellung	X _{EM/ZM}				
Weitere Umweltschutzaspekte	- während der Bauzeit					
	- nach Fertigstellung					
Durchführbarkeit						
Personal				X _{EM}	X _{ZM}	
Bau- und Planungsrecht				X _{EM}	X _{ZM}	
Grunderwerb			X _{EM}	X _{ZM}		
Haushalt				X _{EM}	X _{ZM}	
Bauzeit				X _{EM}	X _{ZM}	
Sonstiges						
Kapazitätsveränderung: EM: Überbau wie Var. 1, Unterbauten mit Pfeilerkopfverstärkung; ZM: wie Var. 1						

++ = sehr gut
+ = gut
o = mittel

- = schlecht
-- = sehr schlecht

Tabelle 10: Beurteilungsmatrix für Variante 3 "Instandsetzung"

Variante 3: Erstmaßnahme (EM): Instandsetzung Unterbauten/Überbau Zweitmaßnahme (ZM): bauartgleiche Erneuerung Unterbauten/Überbau						
Kriterien	Bewertung für EM bzw. ZM					
	++	+	o	-	--	
Ingenieurbau						
Standsicherheit	- nach Fertigstellung	X _{ZM}		X _{EM}		
Verkehrssicherheit	- nach Fertigstellung	X _{ZM}		X _{EM}		
Dauerhaftigkeit	- nach Fertigstellung	X _{ZM}			X _{EM}	
Gestaltung	- nach Fertigstellung	X _{ZM}			X _{EM}	
Verkehrsplanung						
Verkehrsführung	- während der Bauzeit		X _{EM}		X _{ZM}	
Leistungsfähigkeit	- während der Bauzeit		X _{EM/ZM}			
	- nach Fertigstellung	X _{ZM}	X _{EM}			
Umweltschutz						
Lärmschutz	- während der Bauzeit		X _{EM}		X _{ZM}	
	- nach Fertigstellung	X _{ZM}	X _{EM}			
Gewässer- und Bodenschutz	- während der Bauzeit			X _{ZM}	X _{EM}	
	- nach Fertigstellung	X _{EM/ZM}				
Natur- und Landschaftsschutz	- während der Bauzeit		X _{EM}	X _{ZM}		
	- nach Fertigstellung	X _{EM/ZM}				
Weitere Umweltschutzaspekte	- während der Bauzeit					
	- nach Fertigstellung					
Durchführbarkeit						
Personal			X _{EM}		X _{ZM}	
Bau- und Planungsrecht			X _{EM}		X _{ZM}	
Grunderwerb			X _{EM}	X _{ZM}		
Haushalt			X _{EM}		X _{ZM}	
Bauzeit			X _{EM}		X _{ZM}	
Sonstiges						
Kapazitätsveränderung: EM: keine; ZM: wie Var. 1						

++ = sehr gut

+ = gut

o = mittel

- = schlecht

-- = sehr schlecht

Tabelle 11: Erläuterungen zur Beurteilungsmatrix der Variante 1

zu Ingenieurbau	Standsicherheit - nach Fertigstellung	Der Brückenneubau ist hinsichtlich der Kriterien Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit optimal, da Konstruktion und Bautechnik dem gegenwärtigem Stand der Technik entsprechen. Der Neubau wird bereits als EM realisiert, während der Neubau bei den Varianten 2 und 3 erst als ZM vorgesehen ist.
	Verkehrssicherheit - nach Fertigstellung	
	Dauerhaftigkeit - nach Fertigstellung	
	Gestaltung - nach Fertigstellung	
zu Verkehrsplanung	Verkehrsführung - während der Bauzeit	Verkehrsführung ist bei allen 3 Varianten gleich : $\rightarrow 5 + 0$, wobei allerdings der Brückenneubau (Var. 1) gegenüber den anderen Varianten für die EM die längste Verkehrsbeschränkung (Bauzeit) aufweist.
	Leistungsfähigkeit - während der Bauzeit	Die Auswirkung auf den Fahrzeugdurchsatz (Kfz/h) ist infolge der Verkehrssicherungs- und -lenkungsmaßnahmen bei allen 3 Varianten gleich.
	Leistungsfähigkeit - nach Fertigstellung	Die Forderung nach Einrichtung von 3 Fahrstreifen für die Nordfahrbahn (gegenüber 2 Fahrstreifen auf der Südfahrbahn) findet beim Brückenneubau durch Verbreiterung des Überbaus (auf 3 Fahr- und 1 Standstreifen) Berücksichtigung und wird als EM realisiert.
zu Umweltschutz	Lärmschutz - während der Bauzeit	Der entstehende Baulärm kann nicht durch temporäre Schutzmaßnahmen verhindert werden. Allerdings erzeugt Var. 1 gegenüber den EM der anderen Varianten den größten Lärm.
	Lärmschutz - nach Fertigstellung	Var. 1 beinhaltet in das Gelände integrierte Lärmschutzwände und erfüllt damit die Forderungen der Planfeststellung.
	Gewässer- und Bodenschutz	Während der Baudurchführung ist beim Neubau die geringste Gewässer- und Bodenbelastung zu erwarten. Nach Fertigstellung gibt es keine durch den Brückenbau verursachte Belastung (geschlossenes Entwässerungssystem).
	Natur- und Landschaftsschutz	Aufgrund der Auflagen bei der Planfeststellung müssen bei Var. 1 Ausgleichs- und Ersatzflächen für zusätzlichen Flächenverbrauch erworben werden. Nach Fertigstellung gibt es keine Beeinträchtigung.
	weitere Umweltschutzaspekte	entfällt
zu Durchführbarkeit	Personal	Var. 1 ist aufgrund der langen Planungs- und Bauzeit (Neubauentwurf und größeres Bauvolumen) sehr personalintensiv.
	Bau- und Planungsrecht	Bei Var. 1 ist ein Planfeststellungsverfahren erforderlich (personal- und zeitintensiv).
	Grunderwerb	Var. 1 hat zusätzlichen Flächenbedarf für die Unterbauten, neben dem erforderlichen Ersatzflächenbedarf.
	Haushalt	Var. 1 bindet die größten Haushaltssummen und bringt deshalb die größeren Probleme bei der Mittelbeschaffung gegenüber den anderen Varianten.
	Bauzeit	Var. 1 weist die längste Bauzeit auf.

EM / ZM = Erstmaßnahme / Zweitmaßnahme innerhalb des Bewertungszeitraums

Tabelle 12: Erläuterungen zur Beurteilungsmatrix der Variante 2

zu Ingenieurbau	Standsicherheit - nach Fertigstellung Verkehrssicherheit - nach Fertigstellung Dauerhaftigkeit - nach Fertigstellung	Bei der EM wird der Überbau zwar erneuert (wie Variante 1), bei den Unterbauten sind jedoch auch nach der Instandsetzung verbleibende Restrisiken für Standsicherheit und Dauerhaftigkeit nicht auszuschließen. Die ZM ist wie Variante 1 zu beurteilen.
	Gestaltung - nach Fertigstellung	Wenn auch der Überbau erneuert wird, erscheint durch die verbleibenden Stützen bzw. Stützenabstände das äußere Bild der Brücke weniger gelungen als bei Var. 1. Erst mit der ZM (Neubau wie Variante 1) ist Verbesserung möglich.
zu Verkehrsplanung	Verkehrsführung - während der Bauzeit	Verkehrsführung ist bei allen 3 Varianten gleich: → 5 + 0 Verkehrsbeschränkungszeit ist gegenüber der Var.1 kürzer, wirkt sich allerdings durch die ZM zusätzlich belastend aus (wie Var. 1).
	Leistungsfähigkeit - während der Bauzeit	Die Auswirkung auf den Fahrzeugdurchsatz (Kfz / h) ist infolge der Verkehrssicherungs- und -lenkungsmaßnahmen bei allen 3 Varianten gleich.
	Leistungsfähigkeit - nach Fertigstellung	Durch die Erneuerung des verbreiterten Nordüberbaus ist die EM der Var. 2 wie Var. 1 zu bewerten; Verbreiterung allerdings nur durch Pfeilerkopfverstärkung machbar.
zu Umweltschutz	Lärmschutz - während der Bauzeit	Der entstehende Baulärm kann nicht durch temporäre Schutzmaßnahmen verhindert werden. EM der Var. 2 (Teilneubau) erzeugt zwar geringeren Lärm als Var. 1, aber durch ZM im Bewertungszeitraum zusätzliche Lärmbelastung.
	Lärmschutz - nach Fertigstellung	EM der Var. 2 berücksichtigt ebenso wie Var. 1 in das Gelände integrierte Lärmschutzwände.
	Gewässer- und Bodenschutz	Bei der EM der Var. 2 sind infolge der Strahlstaubbelastung (Instandsetzung Unterbauten) Belastungen für Boden und Gewässer nicht auszuschließen. Nach Fertigstellung wegen geschlossenem Entwässerungssystem keine Belastung, auch nicht durch ZM.
	Natur- und Landschaftsschutz	EM der Var. 2 macht keine Ausgleichs- und Ersatzflächen erforderlich, wohl aber die ZM. Nach Fertigstellung sind alle Varianten bzgl. Natur- und Landschaftsschutz gleich einzuschätzen.
	weitere Umweltschutzaspekte	entfällt
zu Durchführbarkeit	Personal	EM und ZM der Var. 2 bedürfen beide personalintensive Entwurfsarbeiten.
	Bau- und Planungsrecht	Bei der EM der Var. 2 ist lediglich ein Verfahren zur Befreiung von der Planfeststellung, bei der ZM allerdings ein Planfeststellungsverfahren wie bei Var. 1 erforderlich.
	Grunderwerb	Bei der EM der Var. 2 ist lediglich Bedarf an bauzeitigen Flächen (Baustraße, Baustelleneinrichtung), erst die ZM erfordert zusätzlichen Flächenbedarf für die Unterbauten, neben dem erforderlichen Ersatzflächenbedarf (wie bei Var. 1).
	Haushalt	Die Mittelbeschaffung ist bei der EM der Var. 2 wegen der geringeren Bausummen weniger problematisch, allerdings ist für die ZM nochmals die Bausumme der Var. 1 aufzubringen.
	Bauzeit	Die EM der Var. 2 weist zwar gegenüber der Var. 1 eine kürzere Bauzeit auf. Zusätzlich ist allerdings die ZM (Var. 1) zu betrachten.

EM / ZM = Erstmaßnahme / Zweitmaßnahme innerhalb des Bewertungszeitraums

Tabelle 13: Erläuterungen zur Beurteilungsmatrix der Variante 3

zu Ingenieurbau	Standsicherheit - nach Fertigstellung	Bei Unterbauten und Überbau der EM der Var. 3 können auch nach der Instandsetzung Restrisiken für Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit nicht ausgeschlossen werden. Besonders die Dauerhaftigkeit schneidet schlecht ab, da die Nutzungszeiten der Ersatzsysteme (PCC, SPCC, OS) sehr beschränkt sind.
	Verkehrssicherheit - nach Fertigstellung	
	Dauerhaftigkeit - nach Fertigstellung	ZM ist wie Var. 1 zu beurteilen
	Gestaltung - nach Fertigstellung	Da die EM das alte Bauwerke bestehen lässt, gilt hier sinngemäß das gleiche wie bei Var. 2
zu Verkehrsplanung	Verkehrsführung - während der Bauzeit	Verkehrsführung ist bei allen 3 Varianten gleich : → 5 + 0, wobei die Var. 3 die kürzeste Verkehrsbeschränkungszeit aufweist (nur während Erneuerung von Belag, Abdichtung und Kappen), wobei als ZM der Neubau zusätzliche Beschränkungen (wie Var. 1) bringt.
	Leistungsfähigkeit - während der Bauzeit	Die Auswirkung auf den Fahrzeugdurchsatz (Kfz / h) ist infolge der Verkehrssicherungs- und -lenkungsmaßnahmen bei allen 3 Varianten gleich.
	Leistungsfähigkeit - nach Fertigstellung	Bei der EM wird am Querschnitt nichts verändert (Standstreifen der Nordfahrbahn wird als Provisorium zum 3. Fahrstreifen). Erst mit der ZM wird die Situation verbessert (zusätzlicher 3. Fahrstreifen).
zu Umweltschutz	Lärmschutz - während der Bauzeit	Der entstehende Baulärm kann nicht durch temporäre Schutzmaßnahmen verhindert werden. Var. 3 erzeugt als EM den geringsten Lärm, aber: lärmintensive ZM zusätzlich im Bewertungszeitraum!
	Lärmschutz - nach Fertigstellung	Bei der EM der Var. 3 ist eine ins Gelände integrierte Lärmschutzwand wegen der Zusatzlasten nicht möglich. Erst mit ZM ist das gewährleistet.
	Gewässer- und Bodenschutz	Bei der EM der Var. 3 sind infolge Strahlstaubbelastung (Instandsetzung Unterbauten und Überbau) Boden- und Gewässerbeeinträchtigungen nicht auszuschließen. ZM bringt weitere Belastungen. Nach Fertigstellung sind alle 3 Varianten wegen des geschlossenen Entwässerungssystems gleich.
	Natur- und Landschaftsschutz	EM der Var. 3 macht keine Ausgleichs- und Ersatzflächen erforderlich, wohl aber die ZM. Nach Fertigstellung sind alle Varianten gleich.
	weitere Umweltschutzaspekte	entfällt
zu Durchführbarkeit	Personal	Die EM der Var. 3 bedingt die geringste Entwurfsarbeit. ZM ist wie Var. 1 zu bewerten.
	Bau- und Planungsrecht	Die EM der Var. 3 erfordert kein Bau- und Planungsrechtverfahren, wohl aber die ZM (wie Var. 1).
	Grunderwerb	Bei der EM der Var. 3 ist lediglich Bedarf an bauzeitigen Flächen (Baustraße, Baustelleneinrichtung), dafür hat die ZM – wie bei Var. 1 beschrieben – Bau- und Ersatzflächenbedarf.
	Haushalt	Der Mittelbedarf für die EM der Var. 3 ist gegenüber den anderen Varianten gering. Bei der ZM entsteht zusätzlich ein Bedarf wie bei Var. 1.
	Bauzeit	Die EM der Var. 3 bedarf der kürzesten Bauzeit. Allerdings zusätzliche Beeinträchtigung durch die ZM (Bauzeit wie Var. 1).

EM / ZM = Erstmaßnahme / Zweitmaßnahme innerhalb des Bewertungszeitraums

(ii) Erarbeitung einer Empfehlung

Abschließende Bewertung bzw. Empfehlung aus dem Vergleich zwischen den Ergebnissen der Wirtschaftlichkeitsrechnung (Variantenkostenvergleich) und der Variantendiskussion aufgrund nicht monetarisierter Aspekte:

1. Der Variantenvergleich der Wirtschaftlichkeitsrechnung ergibt einen Vorteil zu Gunsten der Variante 3 (Instandsetzung als Erstmaßnahme, Neubau als Zweitmaßnahme nach 30 Jahren). Variante 3 ist mit 50,5047 Mio. Euro die billigste Variante gegenüber Variante 1 (Erneuerung des Überbaus und der Unterbauten) mit 50,6569 Mio. € und Variante 2 mit 53,6785 Mio. €.
Die Kapazitätsveränderung bei Var. 1 (Überbauverbreiterung) wurde nicht herausgerechnet, da sie in allen 3 Varianten - entweder als Erst- oder als Zweitmaßnahme - vorkommt. Dagegen blieb die Pfeilerkopfverstärkung bei Var. 2 (Unterbau) unberücksichtigt, da sie nur dort als Erstmaßnahme notwendig wird.
2. Dagegen zeigt die Variantendiskussion aufgrund nicht monetarisierter Aspekte, dass gerade Variante 3 hinsichtlich des Ingenieurbaus wegen der verbleibenden Restrisiken schlechter abschneidet als die anderen Varianten. In gleicher Weise nachteilig ergibt sich der fehlende Standstreifen der Nordfahrbahn nach Beendigung der Instandsetzung, die nicht zu erfüllende Lärmschutzforderung (keine in das Gelände integrierte Lärmschutzwand möglich), die möglichen Gewässer- und Bodenbelastungen während der Instandsetzung und die Tatsache, dass erst mit dem Neubau die Sicherheitsmängel ausgeräumt werden können. Außerdem müssen bei Variante 3 im Bewertungszeitraum zwei Baumaßnahmen (vermehrte Verkehrs-, Lärm- und sonstige Umweltbelastungen) durchgeführt werden. Die aus Tabelle 6 ersichtlichen Vorteile der Variante 3 relativieren sich durch die bereits nach 30 Jahren notwendigen Zweitmaßnahme.
3. Variante 1 ist zwar die zunächst kostenintensivste Maßnahme mit der längsten Bauzeit, die ein Planfeststellungsverfahren und eine umfangreiche Entwurfsarbeit erfordert, die aber vor allem die verbleibenden Restrisiken der Variante 3 und auch 2 durch einen sofortigen Neubau vermeidet. Außerdem können die Forderungen der Planfeststellung (Lärmschutzwand, Boden- und Gewässerschutz) eingehalten sowie die Sicherheit und Leistungsfähigkeit der BAB-Strecke durch Verbreiterung der Nordfahrbahn (3. Fahrstreifen unter Beibehaltung des Standstreifens) verbessert werden. Vorteilhaft ist auch, dass keine Zweitmaßnahme im Bewertungszeitraum und damit keine weiteren Bau- und Umweltbelastungen erforderlich werden.
4. Variante 2 hat Vor- und Nachteile der Varianten 1 und 3 in abgeschwächter Form. Sie bringt keine ins Auge fallenden Vorzüge gegenüber den anderen Varianten und liegt außerdem auch bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung an letzter Stelle (teuerste Variante).

Es wird in Abwägung aller vorgenannten Vor- und Nachteile empfohlen, entgegen den Ergebnissen des Variantenkostenvergleichs die Variante 1 (Erneuerung von Unterbauten und Überbau) zur Ausführung kommen zu lassen. Mit maßgeblich für diese Entscheidung ist, dass der tatsächliche Bauwerkszustand, das erst im Rahmen von Bauarbeiten zu ermittelnde volle Schadensausmaß (falls überhaupt möglich) und die trotzdem auch nach einer Instandsetzung noch verbleibenden Restrisiken am besten durch einen sofortigen Neubau in den Griff zu bekommen sind.

7.2 Erhaltung des Korrosionsschutzes der B-Talbrücke

Vorbemerkungen zum Korrosionsschutz

Der Korrosionsschutz soll die Dauerhaftigkeit der Stahlbauwerke gewährleisten und hat damit eine wichtige technische Funktion. An größeren Bauwerken können die Kosten für die Herstellung eines vollständigen Korrosionsschutzes zwischen 50,- und 100,- Euro/m² liegen und erreichen daher bei einer Brücke mit ca. 100.000 m² Stahloberfläche insgesamt 5 bis 10 Mio. Euro. Die hohen Kosten sind zum Teil durch hohe Nebenkosten bedingt, z. B. für Schutzmaßnahmen zur Durchführung der Arbeiten, für Umweltschutzmaßnahmen sowie für die Entsorgung der anfallenden Abfälle.

Die in der Vergangenheit verwendeten Korrosionsschutzsysteme mit Öl- oder Alkydharzbindemitteln von maximal ca. 200 µm Dicke erreichten Schutzdauern bis zum Auftreten erster Schäden von 10 bis 15 Jahren und Gesamtnutzungsdauern bis zur weitgehenden Zerstörung von 20 bis 25 Jahren. Die seit einigen Jahrzehnten eingesetzten höherwertigen Reaktionsharzsysteme mit EP- oder PUR-Bindemitteln von maximal ca. 320 µm erreichen bereits Schutzdauern von ca. 25 Jahren.

In der Vergangenheit wurden unter den genannten Bedingungen Erhaltungsmaßnahmen am Korrosionsschutz i. d. R. erst dann vorgenommen, wenn die Nutzungsdauer erschöpft und das System weitgehend zerstört war (nach ca. 20 bis 25 Jahren). D. h. der Zeitraum zwischen zwei Vollerneuerungen ergab sich aus der Nutzungsdauer des verwendeten Korrosionsschutzsystems. Der Korrosionsschutz muss dann einer Vollerneuerung (siehe Tabelle 14) unterzogen werden. Die Vollerneuerung erfordert das vollflächige Entfernen der Altbeschichtung bis zu einem vereinbarten Oberflächenvorbereitungsgrad und das Aufbringen einer vollständigen Neubeschichtung bestehend aus Grund-, Zwischen- und Deckbeschichtungen.

Denkbar ist jedoch auch eine Teilerneuerung (siehe Tabelle 14), bei der rechtzeitig an erkennbaren Schadstellen (z. B. Roststellen, Unterwanderungen) eine Oberflächenvorbereitung bis zum Stahluntergrund sowie das örtliche Aufbringen von Grund- und Zwischenbeschichtungen erfolgt. Im übrigen Bereich wird die funktionsfähige Altbeschichtung gereinigt und die gesamte Oberfläche mit mindestens einer ganzflächigen neuen Deckbeschichtung versehen.

Als dritte Möglichkeit kann ausschließlich eine Ausbesserung von Schadstellen mit örtlicher Oberflächenvorbereitung und Applikation von Grund-, Zwischen- und Deckbeschichtungen durchgeführt werden, wobei durch die Ausfleckung ästhetisch unbefriedigende Oberflächen entstehen.

Prinzipiell lassen sich somit zwei unterschiedliche Erhaltungsstrategien des Korrosionsschutzes unterscheiden (Tabellen 15 und 16):

- Die langperiodische Erhaltung, die zeitlich soweit gestreckt wird, dass i. d. R. eine Vollerneuerung erforderlich wird;
- die kurzperiodische Erhaltung, bei der durch rechtzeitige Ausbesserung und/oder Teilerneuerung die Zeitspanne bis zur nächsten Vollerneuerung verlängert wird.

Tabelle 14: Begriffsbestimmungen im Korrosionsschutz (*)

Instandsetzung durch	Verfahren
Ausbesserung	Wiederherstellen des Korrosionsschutzes durch Aufbringen geeigneter Korrosionsschutzsysteme an kleinflächigen Fehlstellen
Teilerneuerung	Wiederherstellen des Korrosionsschutzes durch Aufbringen geeigneter Korrosionsschutzsysteme an Fehlstellen und Aufbringen von mindestens einer ganzflächigen Deckbeschichtung
Vollerneuerung	Restloses Entfernen der alten Korrosionsschutzbeschichtung und Aufbringen eines neuen Korrosionsschutzsystems

(*) siehe ZTV-ING Teil 4, Stahlbau, Stahlverbundbau, Abschnitt 3, Korrosionsschutz von Stahlbauten

Tabelle 15: Vor- und Nachteile der Erhaltungsvarianten

Maßnahme	Vorteile	Nachteile
Vollerneuerung	- lange Erhaltungsintervalle	- es werden dichte Einhausung, Abplanung oder Abschirmung erforderlich, großer technischer und finanzieller Aufwand - es fallen i. d. R. 2 bis 4 mal mehr Mengen Strahlschutt im Vergleich zur Teilerneuerung an
Teilerneuerung	- Verminderung von Strahlschutt - i. d. R. einfache Schutzmaßnahmen - aufgrund geringerer Schadstoffbelastung einfacherer Arbeitsschutz	- bei schwer zugänglichen Bauteilen nicht mehr wirtschaftlich - aufwendigere Vorbereitung der Ausschreibung z. B. Voruntersuchungen, Probeflächen - sorgfältigere Ausführung z. B. bei der Oberflächenvorbereitung erforderlich
Ausbesserung	- einfache Planung - Ausführung im Rahmen der Bauwerksunterhaltung möglich - weitgehende Verminderung von Strahlschutt - einfache Oberflächenvorbereitung und Schutzmaßnahmen, z. B. Saugkopfstrahlen, Schleifscheiben	- Ästhetik (Flickenteppich)

Darüber hinaus sollten für die Wahl der Erhaltungsstrategie folgende objektbezogene Aspekte berücksichtigt werden:

- Zustand des vorhandenen Korrosionsschutzes, Bewertung des verbleibenden Korrosionsschutzes, Verträglichkeit der Stoffe
- Zugänglichkeit und Erreichbarkeit des Bauwerks und seiner Bauteile (z. B. hohe Einrüstkosten eines Brückenpylons)
- Mögliche Betriebsbeeinträchtigungen (z. B. Kosten der Betriebserschwerung bei Einschränkung des Fahrverkehrs der Deutschen Bahn AG)
- Notwendiger Umgebungsschutz (dichte Einhausung, Abplanung oder Abschirmung des Bauwerks)
- Erforderliche Maßnahmen zum Arbeitsschutz
- Abfallentsorgung
- weitere Aspekte gemäß Richtlinie für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten [1] in den Ausschreibungshinweisen.

Zur detaillierten Untersuchung im Vorfeld einer Erhaltungsmaßnahme gibt die Richtlinie für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten weitere Hilfestellung. Sie nennt Anforderungen und Grenzwerte für die Entscheidung der Erhaltungsvariante.

Tabelle 16: Erzielbare Schutzdauern der Erhaltungskonzepte (Korrosionsschutz)

Maßnahme		Erhaltungsintervalle und/oder erzielbare Schutzdauer
lang-periodische Erhaltung	Vollerneuerung	erste Vollerneuerung nach 25 Jahren, zweite Vollerneuerung im 45. Jahr, <i>Systeme auf Alkydharzbasis (AK) nach Blatt 71 bzw. 72 erhalten nach ca. 28 Jahren eine Vollerneuerung, Duplexsysteme nach 40-50 Jahren eine Vollerneuerung</i>
kurz-periodische Erhaltung	Teilerneuerung	1. Ausbesserung der Erstbeschichtung nach 15 Jahren, wobei maximal 7% der Beschichtungsfläche auszubessern sind (Standardausbesserung). 2. Nach weiteren 10 Jahren jedoch mit 10% Ausfleckanteil sowie einer neuen Deckbeschichtung über die Gesamtfläche (Teilerneuerung). 3. nach weiteren 20 Jahren (d. h. im 45. Jahr) Vollerneuerung. <i>Systeme auf Alkydharzbasis (AK) nach Blatt 71 bzw. 72 der TL 918300 sollten nach spätestens 18 Jahren eine Teilerneuerung erhalten, Systeme auf Vinylchlorid-Copolymerisat-Basis (PVC) nach Blatt 77 oder Epoxid/Polyurathan-Basis (EP/PUR) nach Blatt 87 der TL → Ausbesserung oder Teilerneuerung erst bei Standzeiten > 20 Jahre Phtalatsysteme 10 – 15 Jahre.</i>
	Ausbesserung	nur 5% der Beschichtungsfläche sind schadhafte; ausbessern mit 1 Grund- und 2 Deckbeschichtungen

Aufgabenstellung

Das Korrosionsschutzsystem der B-Tal-Stahlbrücke der BAB A 46 hat im Bezugsjahr 2000 ein Alter von 15 Jahren. Es ist in einem Zustand, der eine kurzperiodische Erhaltung mit zwischenzeitlicher Teilerneuerung in Frage kommen lässt. Die Stahlflächen der B-Talbrücke umfassen 14.720 m². Tabelle 17 beinhaltet die einzelnen Kosten für Ausbesserung, Teilerneuerung und Vollerneuerung, wie z. B. die Kosten der Baustelleneinrichtung und -räumung, der Rüstung und Einhausung, der Strahlmittel usw. Die Gesamtkosten von Ausbesserung, Teilerneuerung und Vollerneuerung sind gemäß Tabelle 17 zu berechnen. Die langperiodische Erhaltung setzt sich aus zwei Vollerneuerungen nach 25 und nach 45 Jahren zusammen, die kurzperiodische Erhaltung aus einer Ausbesserung nach 15 Jahren, einer Teilerneuerung nach 25 Jahren und einer Vollerneuerung nach 45 Jahren (Tabelle 17). Für die vorliegende Aufgabenstellung sind die genannten Erhaltungsstrategien innerhalb des Zyklus von 45 Jahren um das derzeitige Alter des Korrosionsschutzsystems von 15 Jahren zu verschieben. Beide Erhaltungsstrategien sind durch die Kapitalwerte ihrer Erhaltungskosten im Bezugsjahr miteinander zu vergleichen.

Generelle Berechnungshinweise

Das Bezugsjahr ist das Jahr 2000. Als Bewertungszeitraum werden im vorliegenden Beispiel 45 Jahre angesetzt, die einem Zyklus der lang- bzw. kurzperiodischen Erhaltung entsprechen. Alle Preise sind als Bruttopreise (einschließlich Umsatzsteuer) zu verstehen. Die Erhaltungskosten sind in Preisen des Bezugsjahres angegeben. Der für die Kapitalisierung zu Grunde gelegte, inflationsbereinigte Zinssatz beträgt 3 % p. a.

Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen

Die reinen Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen (Tabelle 18), dass im vorliegenden Beispiel die kurzperiodische Erhaltung um rund 43.300 Euro zum Preistand des Bezugsjahres im Bewertungszeitraum kostengünstiger ist als die langperiodische Erhaltung des Korrosionsschutzes. Die Berücksichtigung der Kriterien wie sie in der Verfahrensdurchführung (siehe Abschnitt 4) angegeben sind, finden analoge Anwendung.

Tabelle 17: Zusammenstellung der Kosten der Maßnahmen Teilerneuerung, Vollerneuerung und Ausbesserung

	Anzahl bzw. Aufteilung	Kosten je Einheit	Teilerneuerung	Kosten	Prozente	Vollerneuerung	Kosten	Prozente	Ausbesserung	Kosten	Prozente
Strahlchuttanalyse		750 €	750	750	0,1%	750	750	0,1%	750	750	0,5%
Baustelleneinrichtung bzw. -räumung	(~10-15% der Gesamtkosten)		30.000	30.000	5%	40.000	40.000	5%	13.387	13.387	9%
Rüstung und Einhausung	(~25-40% d. Gesamtkosten)		100.000	100.000	18%	122.980	122.980	17%	75.000	75.000	51%
Anlagen zum Arbeits- und Umweltschutz (z. B. Anlage zur Strahlchuttsentsorgung)			14.000	14.000	3%	16.225	16.225	2%	10.000	10.000	7%
Stahlflächen vorbereiten für Vollerneuerung (Sa 2 1/2)	14.720 m ²	15 €/m ²				220.800					
Stahlflächen vorbereiten für Teilerneuerung	14.720 m ²	10 €/m ²	147.200								
Stahlflächen vorbereiten für Ausbesserung (Sa 2 1/2)	7% von 14.720	17,50 €/m ²							18.032		
Strahlmittel der Vollerneuerung weiterverwerten	14.720 m ² * 50 kg/m ² / 1000 kg/t	90 €/t				66.240					
Strahlmittel der Teilerneuerung weiterverwerten	0,4*14.720 m ² * *50 kg/m ² / 1000 kg/t	90 €/t	26.496								
Strahlmittel der Ausbesserung weiterverwerten	0,07*14.720 m ² * *50 kg/m ² / 1000 kg/t	90 €/t							4.637		
Vollerneuerung 1 GB + 3 DB	14.720 m ²	(4,5+4+4+4,5)* €/m ²				250.240					
Teilerneuerung 1 GB + 2 DB	14.720 m ² 0,10 bzw.	(4,5+4+4,5)* €/m ²	191.360								
Teilerneuerung/Ausbesserung Kantenschutz, EP mit Zinkphosphat	0,07*14.720 m ²	15 €/m ²	22.080						15.456		
SUMME in €	pauschal	20000 €	546.886	402.136	74%	737.236	557.280	76%	147.262	48.125	33%
16% MWSt			87.502		100%	117.958		100%	23.562		100%
Endsumme in €			634.388	TE		855.193	VE		170.824	Ausbess.	
Kosten pro m ² Beschichtungsfläche in €/m ²	14.720		43			58			12		

Tabelle 18: Ergebnisse des Beispiels zum Korrosionsschutz

Variante 1: langperiodische Erhaltung, Bewertungszeitraum 45 Jahre, Beginn 15 Jahre nach Aufbringen des originären Korrosionsschutzes			
1.)	Vollerneuerung nach 10 Jahren		
	Erhaltungskosten	Mio. €	0,8552
	10 % Verwaltungskosten	Mio. €	0,0855
	Summe		0,9407
	Abzinsungsfaktor für 10 Jahre	$1/1,03^{10}$	0,7441
	Kapitalisierte Kosten im Bezugsjahr	Mio. €	0,7000
2.)	Vollerneuerung nach 30 Jahren (nach weiteren 20 Jahren)		
	Erhaltungskosten	Mio. €	0,8552
	10 % Verwaltungskosten	Mio. €	0,0855
	Summe		0,9407
	Abzinsungsfaktor für 30 Jahre	$1/1,03^{30}$	0,4120
	Kapitalisierte Kosten im Bezugsjahr	Mio. €	0,3876
3.)	Restwert des Korrosionsschutzes im Jahr 2045		
	$0,8552 \cdot 5/20 = 0,2352$	Mio. €	-0,2138
	Abzinsungsfaktor für 45 Jahre	$1/1,03^{45}$	0,2644
	Kapitalisierte Kosten im Bezugsjahr	Mio. €	-0,0565
	Gesamtsumme Variante 1	Mio. €	1,0310
Variante 2: kurzperiodische Erhaltung, Bewertungszeitraum 45 Jahre, Beginn 15 Jahre nach Aufbringen des originären Korrosionsschutzes			
1.)	Ausbesserung unmittelbar von ungefähr 7% der Fläche im Bezugsjahr		
	Erhaltungskosten	Mio. €	0,1708
	10 % Verwaltungskosten	Mio. €	0,0171
	Summe		0,1879
	Abzinsungsfaktor im Bezugsjahr	$1/1,03^0$	1,0000
	Kapitalisierte Kosten im Bezugsjahr	Mio. €	0,1879
2.)	Teilerneuerung nach 10 Jahren, mit einem Ausfleckanteil von ungefähr 10%		
	Erhaltungskosten	Mio. €	0,6344
	10 % Verwaltungskosten	Mio. €	0,0634
	Summe		0,6978
	Abzinsungsfaktor für 10 Jahre	$1/1,03^{10}$	0,7441
	Kapitalisierte Kosten im Bezugsjahr	Mio. €	0,5193
3.)	Vollerneuerung nach 30 Jahren (nach weiteren 20 Jahren)		
	Erhaltungskosten	Mio. €	0,8552
	10 % Verwaltungskosten	Mio. €	0,0855
	Summe		0,9407
	Abzinsungsfaktor für 30 Jahre	$1/1,03^{30}$	0,4120
	Kapitalisierte Kosten im Bezugsjahr	Mio. €	0,3876
4.)	Restwert des Korrosionsschutzes im Jahr 2045		
	$0,8552 \cdot 30/45 - 0,1708 = 0,3993$	Mio. €	-0,3993
	Abzinsungsfaktor für 45 Jahre	$1/1,03^{45}$	0,2644
	Kapitalisierte Kosten im Bezugsjahr	Mio. €	-0,1056
	Gesamtsumme Variante 2	Mio. €	0,9891

Anmerkung: Für den Korrosionsschutz wird, da er als Bauteil gesehen wird, ein Restwert ermittelt.

Tabelle T2: Rentenbarwertfaktoren (nachsüssig) $\Rightarrow r_b = \frac{q^b - 1}{q^b * (q - 1)}$; mit: $q = 1 + \frac{z}{100}$

Jahre	Rentenbarwertfaktor				
	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
1	0,9804	0,9756	0,9709	0,9662	0,9615
2	1,9416	1,9274	1,9135	1,8997	1,8861
3	2,8839	2,8560	2,8286	2,8016	2,7751
4	3,8077	3,7620	3,7171	3,6731	3,6299
5	4,7135	4,6458	4,5797	4,5151	4,4518
6	5,6014	5,5081	5,4172	5,3286	5,2421
7	6,4720	6,3494	6,2303	6,1145	6,0021
8	7,3255	7,1701	7,0197	6,8740	6,7327
9	8,1622	7,9709	7,7861	7,6077	7,4353
10	8,9826	8,7521	8,5302	8,3166	8,1109
11	9,7868	9,5142	9,2526	9,0016	8,7605
12	10,5753	10,2578	9,9540	9,6633	9,3851
13	11,3484	10,9832	10,6350	10,3027	9,9856
14	12,1062	11,6909	11,2961	10,9205	10,5631
15	12,8493	12,3814	11,9379	11,5174	11,1184
16	13,5777	13,0550	12,5611	12,0941	11,6523
17	14,2919	13,7122	13,1661	12,6513	12,1657
18	14,9920	14,3534	13,7535	13,1897	12,6593
19	15,6785	14,9789	14,3238	13,7098	13,1339
20	16,3514	15,5892	14,8775	14,2124	13,5903
21	17,0112	16,1845	15,4150	14,6980	14,0292
22	17,6580	16,7654	15,9369	15,1671	14,4511
23	18,2922	17,3321	16,4436	15,6204	14,8568
24	18,9139	17,8850	16,9355	16,0584	15,2470
25	19,5235	18,4244	17,4131	16,4815	15,6221
26	20,1210	18,9506	17,8768	16,8904	15,9828
27	20,7069	19,4640	18,3270	17,2854	16,3296
28	21,2813	19,9649	18,7641	17,6670	16,6631
29	21,8444	20,4535	19,1885	18,0358	16,9837
30	22,3965	20,9303	19,6004	18,3920	17,2920
31	22,9377	21,3954	20,0004	18,7363	17,5885
32	23,4683	21,8492	20,3888	19,0689	17,8736
33	23,9886	22,2919	20,7658	19,3902	18,1476
34	24,4986	22,7238	21,1318	19,7007	18,4112
35	24,9986	23,1452	21,4872	20,0007	18,6646
36	25,4888	23,5563	21,8323	20,2905	18,9083
37	25,9695	23,9573	22,1672	20,5705	19,1426
38	26,4406	24,3486	22,4925	20,8411	19,3679
39	26,9026	24,7303	22,8082	21,1025	19,5845
40	27,3555	25,1028	23,1148	21,3551	19,7928
41	27,7995	25,4661	23,4124	21,5991	19,9931
42	28,2348	25,8206	23,7014	21,8349	20,1856
43	28,6616	26,1664	23,9819	22,0627	20,3708
44	29,0800	26,5038	24,2543	22,2828	20,5488
45	29,4902	26,8330	24,5187	22,4955	20,7200
46	29,8923	27,1542	24,7754	22,7009	20,8847

Jahre	Rentenbarwertfaktor				
	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
47	30,2866	27,4675	25,0247	22,8994	21,0429
48	30,6731	27,7732	25,2667	23,0912	21,1951
49	31,0521	28,0714	25,5017	23,2766	21,3415
50	31,4236	28,3623	25,7298	23,4556	21,4822
51	31,7878	28,6462	25,9512	23,6286	21,6175
52	32,1449	28,9231	26,1662	23,7958	21,7476
53	32,4950	29,1932	26,3750	23,9573	21,8727
54	32,8383	29,4568	26,5777	24,1133	21,9930
55	33,1748	29,7140	26,7744	24,2641	22,1086
56	33,5047	29,9649	26,9655	24,4097	22,2198
57	33,8281	30,2096	27,1509	24,5504	22,3267
58	34,1452	30,4484	27,3310	24,6864	22,4296
59	34,4561	30,6814	27,5058	24,8178	22,5284
60	34,7609	30,9087	27,6756	24,9447	22,6235
61	35,0597	31,1304	27,8404	25,0674	22,7149
62	35,3526	31,3467	28,0003	25,1859	22,8028
63	35,6398	31,5578	28,1557	25,3004	22,8873
64	35,9214	31,7637	28,3065	25,4110	22,9685
65	36,1975	31,9646	28,4529	25,5178	23,0467
66	36,4681	32,1606	28,5950	25,6211	23,1218
67	36,7334	32,3518	28,7330	25,7209	23,1940
68	36,9936	32,5383	28,8670	25,8173	23,2635
69	37,2486	32,7203	28,9971	25,9104	23,3303
70	37,4986	32,8979	29,1234	26,0004	23,3945
71	37,7437	33,0711	29,2460	26,0873	23,4563
72	37,9841	33,2401	29,3651	26,1713	23,5156
73	38,2197	33,4050	29,4807	26,2525	23,5727
74	38,4507	33,5658	29,5929	26,3309	23,6276
75	38,6771	33,7227	29,7018	26,4067	23,6804
76	38,8991	33,8758	29,8076	26,4799	23,7312
77	39,1168	34,0252	29,9103	26,5506	23,7800
78	39,3302	34,1709	30,0100	26,6190	23,8269
79	39,5394	34,3131	30,1068	26,6850	23,8720
80	39,7445	34,4518	30,2008	26,7488	23,9154
81	39,9456	34,5871	30,2920	26,8104	23,9571
82	40,1427	34,7192	30,3806	26,8700	23,9972
83	40,3360	34,8480	30,4666	26,9275	24,0358
84	40,5255	34,9736	30,5501	26,9831	24,0729
85	40,7113	35,0962	30,6312	27,0368	24,1085
86	40,8934	35,2158	30,7099	27,0887	24,1428
87	41,0720	35,3325	30,7863	27,1388	24,1758
88	41,2470	35,4463	30,8605	27,1873	24,2075
89	41,4187	35,5574	30,9325	27,2341	24,2380
90	41,5869	35,6658	31,0024	27,2793	24,2673
91	41,7519	35,7715	31,0703	27,3230	24,2955
92	41,9136	35,8746	31,1362	27,3652	24,3226
93	42,0722	35,9752	31,2002	27,4060	24,3486
94	42,2276	36,0734	31,2623	27,4454	24,3737
95	42,3800	36,1692	31,3227	27,4835	24,3978
	Rentenbarwertfaktor				

Jahre	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
96	42,5294	36,2626	31,3812	27,5203	24,4209
97	42,6759	36,3538	31,4381	27,5558	24,4432
98	42,8195	36,4427	31,4933	27,5902	24,4646
99	42,9603	36,5295	31,5469	27,6234	24,4852
100	43,0984	36,6141	31,5989	27,6554	24,5050
101	43,2337	36,6967	31,6494	27,6864	24,5240
102	43,3664	36,7773	31,6985	27,7163	24,5423
103	43,4964	36,8559	31,7461	27,7452	24,5599
104	43,6239	36,9325	31,7923	27,7732	24,5769
105	43,7490	37,0074	31,8372	27,8002	24,5931
106	43,8715	37,0804	31,8808	27,8263	24,6088
107	43,9917	37,1516	31,9231	27,8515	24,6238
108	44,1095	37,2210	31,9642	27,8758	24,6383
109	44,2250	37,2888	32,0040	27,8993	24,6522
110	44,3382	37,3549	32,0428	27,9221	24,6656

9 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), (Hrsg.) [2005], Richtlinie für die Erhaltung des Korrosionsschutzes von Stahlbauten (RI-ERH-KOR)
- [2] Bundesministerium der Finanzen, [1995]: Vorläufige Verwaltungsvorschriften zur Bundeshaushaltsordnung (Vorl. VV-BHO), GMBI 1995
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), (Hrsg.), [1999], Funktionsbauverträge, Forschungsbericht, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 780, 1999
- [4] Bundesministerium für Verkehr (BMV), (Hrsg.), [1998], Leitfaden für die Planungsentscheidung "Einschnitt oder Tunnel", Verkehrsblatt-Dokument Nr. B 5004
- [5] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), (Hrsg.), [2004], Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF), www.sib-bauwerke.de
- [6] Bundesministerium für Verkehr (BMV), (Hrsg.), [1993], "Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Verkehrsweginvestitionen - Bewertungsverfahren für den Bundesverkehrswegeplan 1992", Heft 72 der Schriftenreihe des BMV, Schlussbericht zum FE-Vorhaben 90372/92 des BMV, durchgeführt von Planco Consulting, Essen, BVU Beratergruppe Verkehr und Umwelt, Freiburg, und Ingenieurbüro Heusch/Boesefeldt, Aachen
- [7] Bundesministerium für Verkehr (BMV), [1993], Rundschreiben des BMV: StB 30/06.26.10/79Va93 vom 8. September 1993 - Einsparungen im Bundesfernstraßenbau -
- [8] Bundesministerium für Verkehr (BMV), [1988]: Richtlinien für die Berechnung der Ablösungsbeträge der Erhaltungskosten für Brücken, Straßen, Wege und andere Ingenieurbauwerke, Stand 1988, Verkehrsblatt-Dokument Nr. B 6306
- [9] Bundesministerium für Verkehr (BMV), [1986], Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (RAS-W), Stand 1988, ARS 13/1986, StB 10/20.30.73/27 Va86 vom 9.4./25.6.1986
- [10] DIN 1076: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen, herausgegeben vom Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [11] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), (Hrsg.), [1997]: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS), Bergisch-Gladbach
- [12] Großmann, Dr.-Ing. [1998], Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Betonbrücken mit externer Vorspannung und Vorspannung mit nachträglichem Verbund, Aufsatz anlässlich der Bund/Länder-Hauptausschusssitzung vom 18.02.1998
- [13] Holst, Ralph, [2003], Konzeption zur Erweiterung des Programmsystems SIB-Bauwerke für die Belange des Bauwerks-Management-Systems (fachliche Feinkonzeption BMS-MV), Schlussbericht zum AP-Projekt 02242/B4, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 2003

-
- [14] Landwehr, Ernst, [1996], "Ökonomische und ökologische Aspekte von Instandhaltungsstrategien an Stahlbrücken", in: Eisenbahntechnische Rundschau, 1996, Heft 1-2, S. 66-70
- [15] Möller, Dietrich-Alexander, [1985], Die Kapitalwertmethode. Ein Verfahren zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Baumaßnahmen; DBZ, Forschung und Praxis, 2/85, S. 351-352
- [16] Planco Consulting GmbH, [1999], Modernisierung der Verfahren zur Schätzung der volkswirtschaftlichen Rentabilität von Projekten der Bundesverkehrswegeplanung (Schlussbericht), FE-Vorhaben 96487/97 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), Essen, 1999
- [17] PTV AG/Ingenieurbüro Freundt, [2000], Aktualisierung der Ablösungsrichtlinien inklusive "Anhang zur Verordnung", Karlsruhe/Weimar, Schlussbericht, 2000
- [18]** PTV Planung Transport Verkehr AG, [2003], Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung der Erhaltungsplanung für Brücken- und Ingenieurbauwerke auf Netzebene (fachliche Feinkonzeption BMS-EP), Schlussbericht zum Projekt FE 15.369/2002/HRB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Karlsruhe 2003
- [19] SEP Maerschalk, RS-Consult, [2003], Entwicklung eines Verfahrens zur Erhaltungsplanung auf Bauwerksebene (fachliche Feinkonzeption BMS-MB), Schlussbericht zum F+E-Projekt FE 15.46/2001/HRB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Berlin 2003
- [20] Spremann, Klaus, Investition und Finanzierung, Oldenbourg Verlag, München, div. Auflagen
- [21] SEP Maerschalk, [1999], Erhaltungsbedarf für Bundesfernstraßen, Landesstraßen und Kommunalstraßen, Kurzbericht herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), München, 1999
- [22] SSP Consult, [1999], Untersuchungen zur Optimierung der Straßenerhaltung: Abschätzung der Wirkung zeitlich zurückgestellter Reinvestitionen in die Straßeninfrastruktur, Endbericht, Stuttgart, 1999
- [23] Vollrath, Fritz; Tathoff, Heinz [2002], Handbuch der Brückeninstandhaltung; 2. Auflage, Düsseldorf, Beton-Verlag
- [24] Wöhe, Günter, Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Verlag Franz Vahlen, München, div. Auflagen
- [25] Zentrum für Logistik und Verkehrsplanung, [2000], Entwicklung eines BVWP/EWS-kompatiblen Bewertungsbausteins für Erhaltungsinvestitionen in die Straßeninfrastruktur und dessen bedarfsgerechte Begleitung im Feldversuch nach Integration des Bewertungsbausteins in die Software "VIAPMS" der "VIAGROUP", Winterthur, Dokumentation Stufe 1, Berlin, 2000