

Untersuchungsbericht zur strategischen Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Ingenieurbauwerken

Bonn, Dezember 2020

Dieser Untersuchungsbericht wurde durch die Arbeitsgruppe „RPE-ING“ des KoA Erhaltung als Grundlage für die RPE-ING erstellt:

Olaf Mertzsch; Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern
(Obmann)

Carsten Ahner; Landesamt für Straßenbau und Verkehr, Sachsen

Kay Degenhardt; Landesbetrieb Straßenwesen - Land Brandenburg

Wolf-Dieter Friebel; Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

Christian Grubert; Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein

Lars Heinz; Landesstraßenbaubehörde Sachsen-Anhalt

Andreas Jackmuth; Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz

Wilfried König; Thüringer Landesamt für Bau und Verkehr

Ostermeier; Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

René Pinnel; Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr

Kurt Christian Roder; Bundesanstalt für Straßenwesen

Hagen Schulz; DEGES, Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH

Inhalt	Seite
1 Allgemeines.....	5
2 Übersicht der Begriffssystematik der Bauwerkserhaltung.....	6
3 Ziele der Erhaltung	6
3.1 Grundsätzliches.....	6
3.2 Quantifizierbare Erhaltungsziele	6
3.2.1 Grundsätzliches.....	6
3.2.2 Zielzustandsnote / Zielsubstanzkennzahl.....	7
3.2.3 Traglastindex	8
3.2.4 Anlagevermögen / Modernitätsgrad	8
3.3 Qualitativ zu bewertende Erhaltungsziele	8
3.3.1 Grundsätzliches.....	8
3.3.2 Auswirkungen auf den Nutzer	8
3.3.3 Netzsicherheit und Gewährleistung von Großraum- und Schwertransporten	9
3.3.4 Ausgleich der Altersstruktur des Bauwerksbestands.....	9
4 Erhaltungsstrategien	10
4.1 Grundsätzliches.....	10
4.2 Ausfallstrategie	10
4.3 Erhaltungsstrategie mit regelmäßigen Intervallen	10
4.4 Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung.....	11
4.5 Kombinierte Erhaltungsstrategien	11
4.6 Zeitliche Alterung der Bauwerke	14
4.7 Mögliche Eingriffszeiträume	15
4.7.1 Eingriffszeiträume bei regelmäßigen Intervallen.....	15
4.7.2 Eingriffszeiträume bei kontrollierter Schadensentwicklung.....	16
5 Ablauf und Rahmenbedingungen der strategischen Erhaltungsplanung	16
5.1 Grundsätzliches.....	16
5.2 Datengrundlage	17
5.3 Bauwerksprüfung.....	17

5.4	Schadensanalyse	17
5.5	Festlegung der Erhaltungsstrategie	18
5.6	Priorisierung	18
5.7	Programmbildung	18
5.8	Ausführung	18
5.9	Ergebniskontrolle.....	18
5.10	Erhaltungsbedarfsprognose.....	18
6	Betrachtungen auf Objektebene.....	19
7	Betrachtungen auf Netzebene	19
7.1	Grundsätzliches.....	19
7.2	Vordringliche Netze	20
7.3	Festlegung der Erhaltungsstrategie	20
Literatur		21
Anlagen		23
Anlage 1	Begriffsbestimmungen	23
Anlage 2	(informativ) Mindestangaben in SIB-Bauwerke für eine koordinierte Erhaltungsplanung der Ingenieurbauwerke.....	26
Anlage 3	(informativ) Praxisbezogene Beispiele für Erhaltungsstrategien.....	28
Anlage 4	(informativ) Ergänzende Hinweise zum Anlagevermögen / Modernitätsgrad.....	39
Anlage 5	(informativ) Hinweise zur kultur-historischen Bewertung von Bauwerken.....	40
Anlage 6	(informativ) Entwicklung von Bauwerkszustand und Anlagewert.....	41

1 Allgemeines

Der nachfolgende „Untersuchungsbericht zur strategischen Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Ingenieurbauwerken“ bildet die Grundlage für die „Richtlinie für die strategische Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Ingenieurbauwerken (RPE-ING)“. Ziel dieser Untersuchungen war die Systematisierung und Vereinheitlichung der Erhaltungsplanung von Ingenieurbauwerken nach DIN 1076 [1].

Die zukünftige RPE-ING soll der Erhaltung der Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit des Gesamtbestandes der Ingenieurbauwerke unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit sowie der Leistungsfähigkeit der Straße dienen.

Die Richtlinie wird sich mit den folgenden verwaltungstechnischen Aufgaben der Bauwerkserhaltung befassen:

- Analyse des Zustands der zu erhaltenden Bauwerke und dessen voraussichtliche Entwicklung im Bewertungszeitraum
- Erarbeitung von Erhaltungsstrategien
- Aufstellung von mittelfristigen Bedarfsprogrammen und jährlichen Programmplanungen zur Umsetzung auf Ausführungsebene
- Berücksichtigung gleichzeitig laufender Planungen, z. B. Aus- und Umbau, Maßnahmen der Straßenerhaltung
- Berücksichtigung der Belange der koordinierten Baubetriebsplanung

Die netzweite Erhaltungsplanung soll zu möglichst langen Nutzungszeiten zwischen den baulichen Maßnahmen und dadurch zu geringeren Verkehrsbehinderungen führen.

Die Erhaltung umfasst alle Maßnahmen der Instandsetzung und der Modernisierung (Verstärkung, Teilerneuerung und Ersatzneubau) an Ingenieurbauwerken (entsprechend der Übersicht nach **Bild 1**).

Maßnahmen der betrieblichen und baulichen Unterhaltung sowie Sofortmaßnahmen sind nicht Teil der Erhaltungsplanung im Sinne der nachfolgenden Betrachtungen.

Die nachfolgenden Untersuchungen gelten in erster Linie für die strategische Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Ingenieurbauwerken der Bundesfernstraßen. Sie können sinngemäß auch auf den Bestand der Ingenieurbauwerke anderer Baulastträger angewendet werden.

Die hier verwendeten Begriffe sind in der **Anlage 1** erläutert.

2 Übersicht der Begriffssystematik der Bauwerkserhaltung

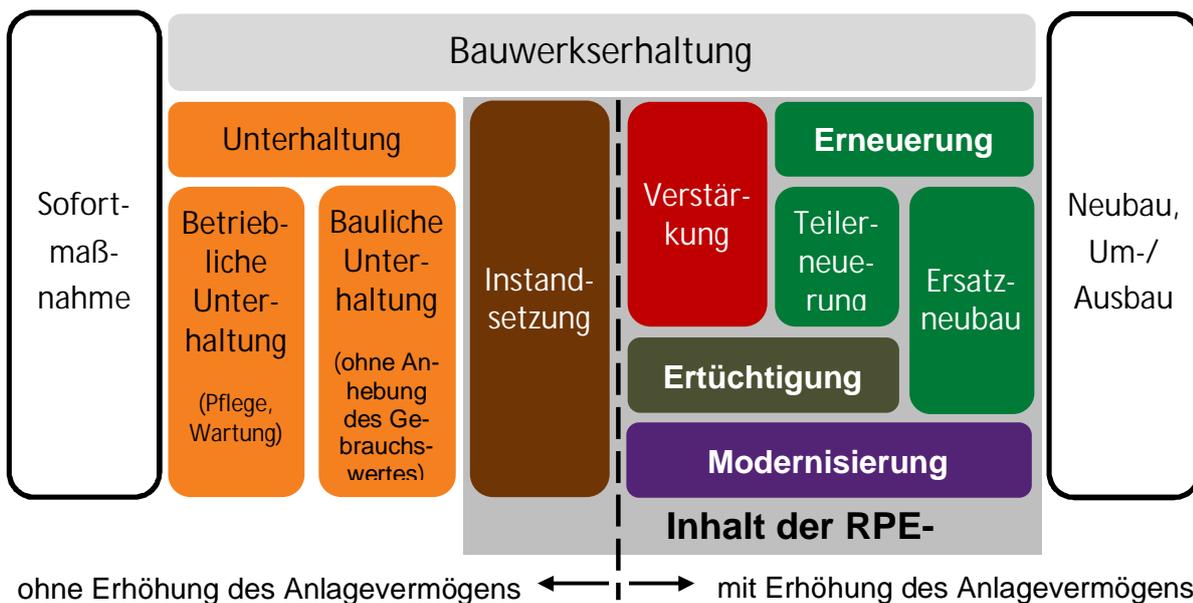


Bild 1: Übersicht der Begriffssystematik der Bauwerkserhaltung

Instandsetzungen, die nicht technisch bzw. technologisch zwingend im Zusammenhang mit Modernisierungen ausgeführt werden, erhöhen nicht das Anlagevermögen und zählen daher im Rahmen der Vermögensrechnung zu den nicht aktivierungsfähigen Kosten im Sinne der Terminologie des Deutschen Handels- und Steuerbilanzrechts und sind rein konsumtive Maßnahmen.

Modernisierungen führen dagegen zu einer Steigerung des Anlagevermögens und zählen daher im Rahmen der Vermögensrechnung zu den aktivierungsfähigen Kosten, welche in einer Bilanzierung ausgewiesen werden. Modernisierungsmaßnahmen sind damit investive Maßnahmen. Die regelmäßig im Rahmen der Modernisierung ebenfalls durchgeführten Instandsetzungsanteile sind ebenfalls aktivierungsfähig, soweit sie zwingend im räumlichen, technischen oder technologischen Zusammenhang mit der Hauptmaßnahme stehen.

3 Ziele der Erhaltung

3.1 Grundsätzliches

Gemäß § 4 FStrG [2] und den entsprechenden Länderstraßengesetzen haben die „Träger der Straßenbaulast dafür einzustehen, dass ihre Bauten allen Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügen“. Dabei sind die sonstigen öffentlichen Belange zu berücksichtigen.

Ausgehend von diesen Forderungen ergibt sich als grundsätzliches Erhaltungsziel, einen Bauwerkszustand und eine Tragfähigkeit sicherzustellen, die dem regelmäßigen Verkehrsbedürfnis genügen.

Ein verkehrssicherer Zustand der Ingenieurbauwerke ist in jedem Fall sicherzustellen.

3.2 Quantifizierbare Erhaltungsziele

3.2.1 Grundsätzliches

Die Bauwerkserhaltung soll sich vorrangig an messbaren Größen orientieren. Folgende Größen stehen zur Verfügung:

- Zustandsnote und/oder Substanzkennzahl [6]
- Traglastindex [8]

Darüber hinaus kann der Modernitätsgrad berücksichtigt werden (siehe Abschn. 3.2.4).

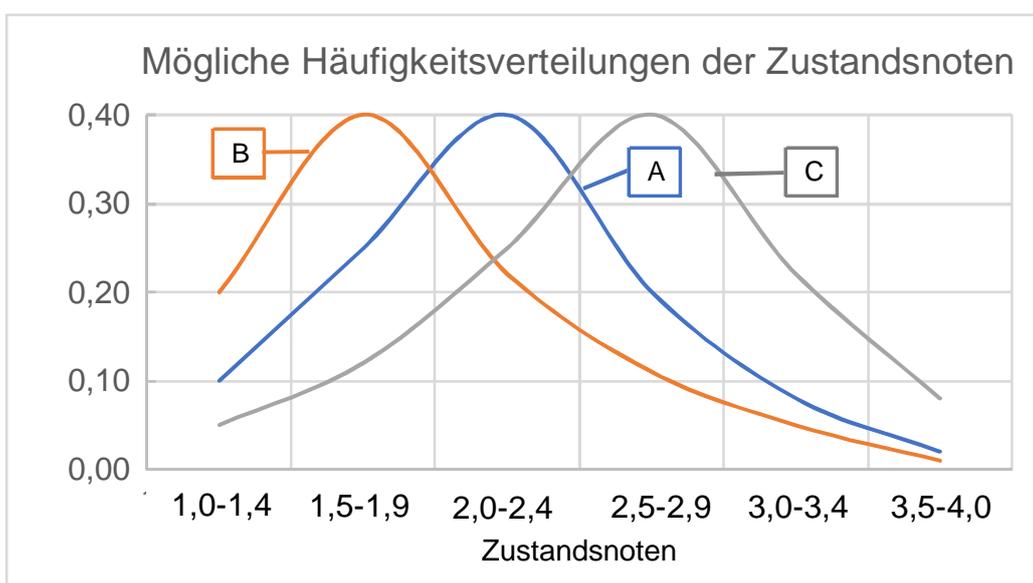
Zur Berücksichtigung von Nutzerfolgekosten liegt derzeit kein anwendbares Instrumentarium vor. Aus diesem Grund können nachfolgend die Auswirkungen auf die Nutzer, die gemäß [3], [4] und [5] bestimmt werden können, nur im Rahmen einer qualitativen Bewertung berücksichtigt werden.

3.2.2 Zielzustandsnote / Zielsubstanzkennzahl

Nachfolgend wird die Häufigkeitsverteilung der Zustandsnoten und/oder Substanzkennzahlen auf die Bauwerksfläche bezogen betrachtet.

Die im Prognosezeitraum (Zeitraum für den die Erhaltungs- und Bedarfsprognose erstellt wird, siehe Abschn. 5.10) zu erreichende mittlere Zustandsnote bzw. Substanzkennzahl des gesamten historisch gewachsenen Bauwerksbestandes sollte im Bereich von 2,0 - 2,4 liegen.

Ungeachtet der vorgenannten Zielvorgaben für den Gesamtbauwerksbestand, erfordern Schäden mit der Schadensbewertung $S \geq 3$ oder $V \geq 3$ an Einzelbauwerken Erhaltungsmaßnahmen bzw. verkehrsorganisatorische Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit der Verkehrsteilnehmer.



- A Zustandsnotenbereich (bei ausgewogenem Erhaltungsaufwand)
- B Zustandsnotenbereich (bei überdurchschnittlichem Erhaltungsaufwand)
- C Zustandsnotenbereich (bei unterdurchschnittlichem Erhaltungsaufwand)

Bild 2: Mögliche Zustandsnotenverteilungen für einen Bauwerksbestand

In **Bild 2** werden drei unterschiedliche Verteilungen von Zustandsnoten eines Bauwerksbestandes dargestellt. Der Kurvenverlauf „A“ beschreibt eine anzustrebende Häufigkeitsverteilung der Zustandsnoten eines Bauwerksbestandes, der das Ausfallrisiko von Bauwerken begrenzt, die Nutzungsdauer der Bauwerke und das Anlagevermögen bei ausgewogenem Erhaltungsaufwand langfristig sichert. In der nachfolgenden **Tabelle 1** werden die Folgen von unterschiedlichen Zielen anhand der Zustandsnotenverteilungen in **Bild 2** gegenübergestellt.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Folgen zur Aufrechterhaltung der Zustandsnotenverteilungen gem. **Bild 2**

Zustandsnotenverteilung	A	B	C
Erhaltungsaufwand	Optimum aller Belange	sehr hoch	gering
Ausfallwahrscheinlichkeit		sehr gering	hoch
Nutzungsdauer		hoch	gering
Nettoanlagevermögen		hoch	gering

Die Anzahl an Bauwerken mit einer Zustandsnote bzw. Substanzkennzahl größer 2,9 ist gering zu halten.

Zustandsnoten bzw. Substanzkennzahlen größer 3,4 sind weitestgehend zu vermeiden. Der jeweilige maximale Prozentsatz von Zustandsnoten bzw. Substanzkennzahlen größer 3,4 ist durch den zuständigen Baulastträger, in Abhängigkeit von der Netzbedeutung und der Leistungsfähigkeit, festzulegen.

3.2.3 Traglastindex

Die Tragfähigkeit kennzeichnet die Eigenschaft eines Bauwerks bzw. einzelner Bauwerksteile, die planmäßigen Beanspruchungen (bei Nutzungsbeschränkungen entsprechend reduziert) schadlos aufnehmen zu können.

Das für das jeweilige Bauwerk erforderliche Ziellastniveau ergibt sich aus der Verkehrsstärke, der Verkehrszusammensetzung sowie dem Straßenquerschnitt und kann auf der Grundlage der Nachrechnungsrichtlinie [7] bestimmt werden.

Der Traglastindex [8] bewertet in einem Soll-Ist-Vergleich in gestufter Form die strukturellen Eigenschaften einer Brücke. Im Wesentlichen wird hierbei die aktuelle Tragfähigkeit eines Bauwerks in Bezug auf das erforderliche Ziellastniveau verglichen und bewertet.

Ziel der Erhaltungsplanung sollte ein möglichst kleiner Traglastindex sein. Bauwerke mit einem hohen Traglastindex sollten somit bevorzugt in der Erhaltungsplanung berücksichtigt werden.

3.2.4 Anlagevermögen / Modernitätsgrad

Das Anlagevermögen beschreibt die Summe der Vermögenswerte der einzelnen Anlagenteile (hier Ingenieurbauwerke) eines Bauwerksbestands. Die Entwicklung des Anlagevermögens im Verlauf der Nutzungsdauer kann ein wichtiger Indikator zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Erhaltungsstrategien sein.

Der Quotient aus Nettoanlagevermögen zu Bruttoanlagevermögen wird als Modernitätsgrad bezeichnet.

Ergänzende Hinweise können **Anlage 5** entnommen werden.

3.3 Qualitativ zu bewertende Erhaltungsziele

3.3.1 Grundsätzliches

Im Rahmen der qualitativen Bewertung von Erhaltungszielen sind im Wesentlichen folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Auswirkungen auf den Nutzer (z. B. Korridorbetrachtungen)
- Netzsicherheit und Gewährleistung von Großraum- und Schwertransporten
- Ausgleich der Altersstruktur des Bauwerksbestandes

3.3.2 Auswirkungen auf den Nutzer

Ziel eines planmäßigen Erhaltungsmanagements ist es, durch die vorausschauende Planung von Erhaltungsmaßnahmen einen Bauwerkszustand zu erreichen, bei dem gravierende Folgen für den Nutzer, wie z. B. Sperrungen für den Schwerverkehr oder Vollsperrungen, nicht eintreten.

Zur Reduzierung der Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen an Ingenieurbauwerken sollten Baumaßnahmen in geeigneten Streckenzügen zusammengefasst und soweit möglich mit Streckenbaumaßnahmen kombiniert werden. Hierdurch wird vermieden, dass es in einem Streckenzug über einen längeren Zeitraum, zu immer wiederkehrenden, punktuellen Behinderungen kommt.

3.3.3 Netzsicherheit und Gewährleistung von Großraum- und Schwertransporten

Zur Gewährleistung einer weitgehend durchgängigen Straßenverkehrsinfrastruktur sind Erhaltungsmaßnahmen so zu koordinieren, dass die Durchgängigkeit des Straßennetzes gewährleistet ist. Neben der Sicherung des Individualverkehrs und des genehmigungsfreien Schwerverkehrs ist auch die Gewährleistung von erlaubnis- und genehmigungspflichtigen Großraum- und Schwertransporten erforderlich. Deshalb sind im Rahmen der koordinierten Erhaltungsplanung vorrangig die Strecken des TEN-T (TEN-V) Kernnetzes [22] zu ertüchtigen. Weitere vorrangige Netze können durch den zuständigen Baulasträger definiert werden z. B. Brückenmodernisierungsnetz [25].

3.3.4 Ausgleich der Altersstruktur des Bauwerksbestands

Die Altersstruktur eines Bauwerksbestands ist von ausschlaggebender Bedeutung für den perspektivischen Erhaltungsbedarf.

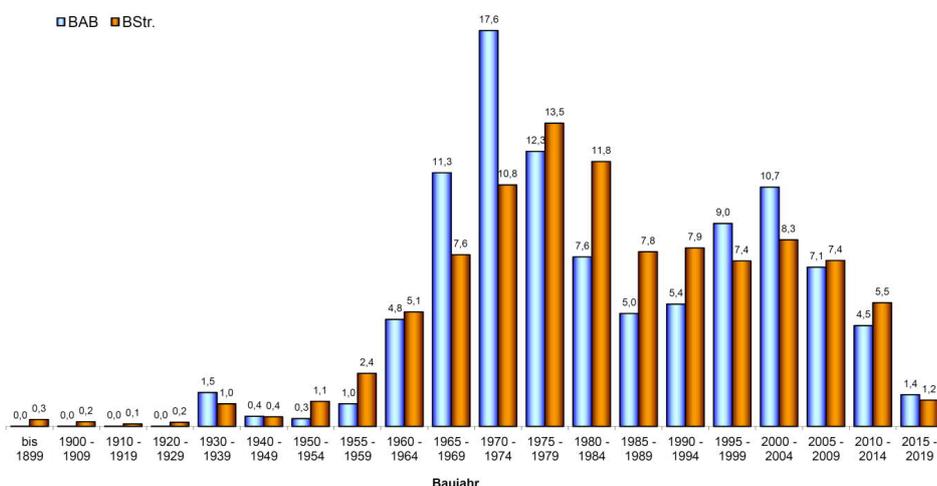


Bild 3: Altersverteilung der Bauwerke im Bereich der Bundesfernstraßen, Stand 2018

Bauwerke, die im gleichen Zeitraum errichtet wurden, weisen in vielen Fällen auch ein ähnliches Alterungsverhalten auf. Darüber hinaus können sie mit vergleichbaren bautechnischen Defiziten behaftet sein und sind im Rahmen ihrer Nutzung ähnlichen Beanspruchungen ausgesetzt. In der Folge entsteht bei diesen Bauwerksgruppen häufig im gleichen Nutzungszeitraum ein erhöhter Instandsetzungs- oder Modernisierungsbedarf. Dies kann zu erheblichen Spitzenbelastungen des Erhaltungsetats und wegen vermehrter Bautätigkeit zu unzumutbaren Verkehrsbehinderungen führen.

Bild 3 zeigt die Altersverteilung der Brückenbauwerke im Bereich der Bundesfernstraßen. Erkennbar ist, dass sich in der Altersverteilung deutliche Spitzen (Bauwerke aus den Baujahren 1965 bis 1979 und 1995 bis 2004) bezüglich des zu erwartenden Modernisierungsbedarfs ergeben, was zu einer extremen Häufung von Eingriffen in den Verkehr führen kann. Aus volkswirtschaftlicher Sicht, aber auch aus Nutzersicht, ist dies kritisch zu sehen. Ziel einer strategischen Erhaltungsplanung sollte es daher sein, Häufungen von Erhaltungsmaßnahmen in einzelnen Jahren zu vermeiden und den Erhaltungsbedarf auf leistbarem Niveau zu verstetigen. Dies kann erreicht werden, indem Bauwerke durch geeignete Modernisierungsmaßnahmen an die gestiegenen Anforderungen angepasst werden und somit deren Grenznutzungsdauer (siehe **Anlage 1**) als auch deren Maximalnutzungsdauer (siehe **Anlage 1**) verlängert wird. Die im Rahmen dieses Berichtes durchgeführten Modellrechnungen zeigten, dass sich darüber hinaus ein Ausgleich der Altersstruktur des Bauwerksbestands einstellt, wenn ältere Bauwerke eines prioritären Netzes, deren Substanzkennzahl den Wert von 3,0 erreichen oder nach Ablauf von 85 % der theoretischen Nutzungsdauer, in die Ersatzneubauplanung aufgenommen werden.

4 Erhaltungsstrategien

4.1 Grundsätzliches

Zur Herleitung der in Abschnitt 4.5 für das Erhaltungsmanagement von Ingenieurbauwerken bevorzugten Erhaltungsstrategie, werden zunächst in den Abschnitten 4.2 bis 4.4 die wesentlichen Grundlagen, die zur Formulierung der optimalen Erhaltungsstrategie benötigt werden, erläutert.

Alle Ingenieurbauwerke unterliegen permanent einem Verschleiß und einer Alterung. Folgende Schadensentwicklungen sind möglich (**Bild 4**):

- linearer Verlauf
- degressiver Verlauf
- progressiver Verlauf
- zunächst degressiver, dann progressiver Verlauf
- zunächst progressiver, dann degressiver Verlauf

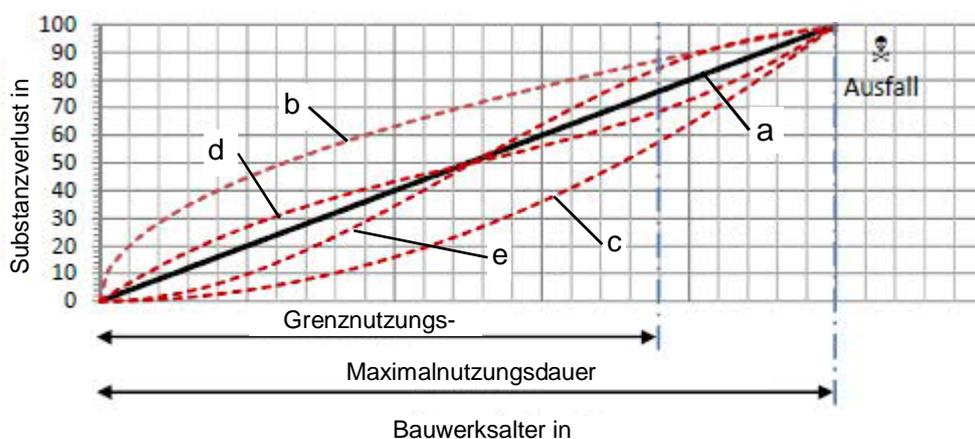


Bild 4: Szenarien der Schadensentwicklung

Auf Bauwerks- als auch auf Bauteilebene lassen sich grundsätzlich die folgenden drei Erhaltungsstrategien voneinander unterscheiden [14]:

- Ausfallstrategie
- Erhaltungsstrategie mit regelmäßigen Intervallen
- Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung

Diese Erhaltungsstrategien werden nachfolgend dargestellt.

4.2 Ausfallstrategie

Bei der Ausfallstrategie wird erst nach dem Versagen eines Bauwerks oder Bauteils gehandelt. Die Ausfallstrategie nutzt die Maximalnutzungsdauer eines Bauwerks oder Bauteils vollständig aus. Dafür wird nur ein geringer Organisationsaufwand benötigt. Besondere Kenntnisse über den Schadensverlauf sind nicht erforderlich. Die Ausfallstrategie ist nur für Bauwerke bzw. Bauteile denkbar, deren Ausfall kein Sicherheitsrisiko darstellt (Grenznutzungsdauer = Maximalnutzungsdauer).

Hinweis: Für Bauwerke im Verkehrsbereich ist diese Strategie damit keine Option.

4.3 Erhaltungsstrategie mit regelmäßigen Intervallen

Bei der Erhaltungsstrategie mit regelmäßigen Intervallen werden Erhaltungsmaßnahmen nach im Voraus bestimmten Intervallen durchgeführt. Die Erhaltungsintervalle sind abhängig von den dauerhaftigkeitsrelevanten Einwirkungen sowie von den Bauteilwiderständen. Diese werden mit

statistischen Methoden auf der Grundlage von Bestandsdatenbanken oder Dauertests so ermittelt, dass eine ausreichende Ausfallsicherheit besteht. Die Erhaltungsstrategie mit regelmäßigen Intervallen zeichnet sich durch eine einfache Planbarkeit der Erhaltungsmaßnahmen aus. Sie kann sinnvoll eingesetzt werden, wenn

- das Ausfallverhalten mit ausreichender Genauigkeit vorher bestimmt werden kann,
- die erforderlichen Erhaltungsintervalle bekannt sind,
- hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Baustoffe und Bauteile bestehen,
- die Kosten bei Nichtausnutzung der Grenznutzungsdauer kleiner sind als die Kosten bei einem Ausfall, ggf. unter Berücksichtigung von Nutzerfolgekosten.

In reiner Form sieht die Erhaltungsstrategie mit regelmäßigen Intervallen keine turnusmäßigen Prüfungen vor. Verkehrsbauwerke zeigen im Regelfall jedoch kein einheitliches Schädigungsverhalten. Auf Bauwerksebene kann die Erhaltungsstrategie mit regelmäßigen Intervallen daher nur in Kombination mit einer kontrollierten Schadensentwicklung zur Anwendung kommen, die definitionsgemäß regelmäßige Zustandserfassungen gemäß DIN 1076 [1] vorsieht.

4.4 Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung

Die Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung erfordert eine regelmäßige Zustandserfassung gemäß DIN 1076 [1], um das Maß der Schädigung von Bauwerken oder Bauteilen bestimmen und ggf. erforderliche Erhaltungsmaßnahmen rechtzeitig ergreifen zu können. Dementsprechend erfordert diese Form der Erhaltungsstrategie einen hohen Organisations- und Planungsaufwand. Im Unterschied zur Erhaltungsstrategie mit regelmäßigen Intervallen kann die Maximalnutzungsdauer von Bauwerken oder der Bauteile besser ausgenutzt werden, indem man durch die regelmäßige Bauwerksprüfung die Grundlagen für eine sukzessive Anhebung der Grenznutzungsdauer schafft. Die Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung eignet sich besonders für komplexe Systeme mit hohen Sicherheitsanforderungen, deren Maximalnutzungsdauer nicht hinreichend genau vorausbestimmt werden kann. Dies macht die Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung zum Regelfall auf Bauwerksebene.

Die Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung kann in den folgenden drei Ausprägungen eingesetzt werden [9]:

- präventiv: Bei der präventiven Erhaltungsstrategie wird die Bauwerkssubstanz während der gesamten Nutzungsdauer durch relativ kleine, kurzperiodische Erhaltungsmaßnahmen auf einem guten Niveau gehalten.
- reaktiv: Bei der reaktiven Erhaltungsstrategie werden die erforderlichen Arbeiten über längere Zeiträume zu größeren Instandsetzungsmaßnahmen gebündelt.
- mit kontrollierter Alterung: Bei der Strategie der gezielten Alterung wird nur dann eingegriffen, wenn die Standsicherheit und/oder die Verkehrssicherheit des Bauwerks gefährdet sind.

4.5 Kombinierte Erhaltungsstrategien

Für die Erhaltungspraxis im konstruktiven Ingenieurbau ist die Anwendung der vorgestellten Erhaltungsstrategien in jeweils reiner Form in der Regel ungeeignet oder nicht zielführend. Stattdessen ist es sinnvoll, die dargestellten Erhaltungsstrategien in Abhängigkeit von den Randbedingungen zweckmäßig miteinander zu kombinieren.

Verkehrsbauwerke sind individuelle bauliche Anlagen mit einem komplexen Schädigungsverhalten. Da der Alterungs- bzw. Schädigungsverlauf für die einzelnen Bauwerke mit unterschiedlichen Hauptbaustoffen, Herstellungsjahren und Vorschädigungen derzeit nur in Annäherung prognostiziert werden kann, ist eine regelmäßige Zustandserfassung unverzichtbar. Basis jedweder Strategiebildung auf Bauwerksebene ist folglich eine Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung.

Die Nutzungsdauer der betrachteten Ingenieurbauwerke ist im Regelfall nicht nur in technischer, sondern auch in wirtschaftlicher Hinsicht begrenzt.

Innerhalb der Nutzungsdauer durchläuft ein Bauwerk einen Schädigungsprozess, der sich in zwei Phasen einteilen lässt:

- 1. Nutzungsphase: Das Bauwerk ist in technisch-wirtschaftlicher Hinsicht erhaltungswürdig,
- 2. Nutzungsphase: Das Bauwerk ist in technisch-wirtschaftlicher Hinsicht nicht mehr erhaltungswürdig (siehe auch RI-WI-BRÜ [10]).

Erhaltungsstrategie für die erste Nutzungsphase

Für die erste Nutzungsphase bieten sich in Abhängigkeit von den Randbedingungen eine präventiv oder eine reaktiv ausgerichtete Erhaltungsstrategie an.

Präventive Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung

Durch frühzeitige Eingriffe in den Schädigungsverlauf wird die Gefahr von Folgeschäden minimiert. In Bezug auf einzelne Bauteile können diese Eingriffe auch in entsprechend kurzen Intervallen nach einem festgelegten Instandsetzungsplan ausgeführt werden.

Die präventive Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung erzeugt einen hohen Erhaltungsaufwand. Sie sollte daher auf Ingenieurbauwerke mit herausragender strategischer Netzbedeutung, die zudem nur schwer zu ersetzen sind, Anwendung finden.

Reaktive Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung

Zur Vermeidung von Folgeschäden ist es in wirtschaftlicher Hinsicht sinnvoll, auftretende Schäden mit einer Schadensbewertung $S < 3$ und/oder $V < 3$ möglichst über lange Zeiträume aufzusummieren und dann im Rahmen umfassender Instandsetzungs-/Modernisierungsmaßnahmen zu beseitigen (Bündelung von Maßnahmen). Die reaktive Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung bietet sich insbesondere für das nachgeordnete Netz als Standardstrategie zur Optimierung der Bauwerkserhaltung in wirtschaftlicher Hinsicht an. Darüber hinaus kann es auf hochbelasteten Korridoren volkswirtschaftlich sinnvoll sein, Erhaltungsmaßnahmen an bestimmten Bauteilen in regelmäßigen Intervallen bauwerksübergreifend auszuführen, um die Anzahl der Eingriffe in den Verkehr zu minimieren. Im Idealfall lassen sich diese Intervalle mit regelmäßigen Erhaltungsmaßnahmen der Strecke synchronisieren.

In der Praxis wird es dabei jedoch unvermeidbar sein, dass durch die bauwerksübergreifende Gleichschaltung der Eingriffe die Grenznutzungsdauern der betroffenen Bauteile nicht voll ausgenutzt werden. Voraussetzung für den Einsatz regelmäßiger Instandsetzungsintervalle muss es sein, dass die Kosten für die Nichtausnutzung der Grenznutzungsdauern betroffener Bauteile entweder durch Synergieeffekte (gemeinsame Verkehrsführung mit anderen Bauwerken bzw. mit der Strecke) oder die Einsparung volkswirtschaftlicher Kosten (Nutzerkosten) kompensiert werden.

Erhaltungsstrategie für die zweite Nutzungsphase

Sobald ein Bauwerk in die zweite Nutzungsphase eintritt, d. h. nicht mehr erhaltungswürdig ist, bietet sich ein Wechsel auf die Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Alterung an, um die Grenznutzungsdauer des Bauwerks weitgehend auszuschöpfen. In der zweiten Nutzungsphase werden bei Bedarf nur noch kleine Eingriffe zur Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit durchgeführt („kontrollierter Nichts-Tun-Fall“). Die praktische Restnutzungsdauer des alten Bauwerks wird zur planerischen Vorbereitung des in absehbarer Zeit anstehenden Ersatzneubaus genutzt.

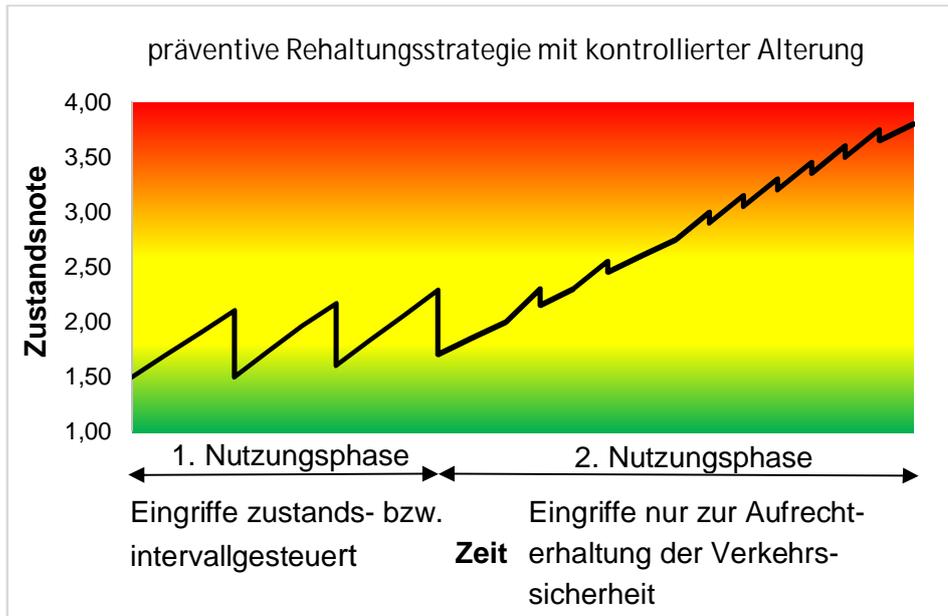
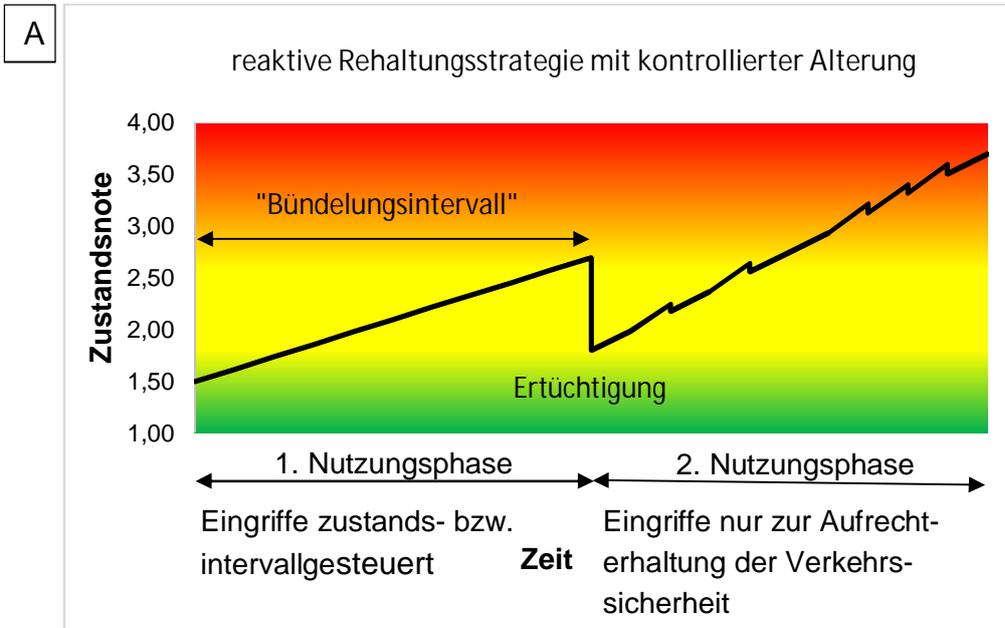


Bild 5: Präventive Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung und anschließender kontrollierter Alterung (schematische Darstellung)



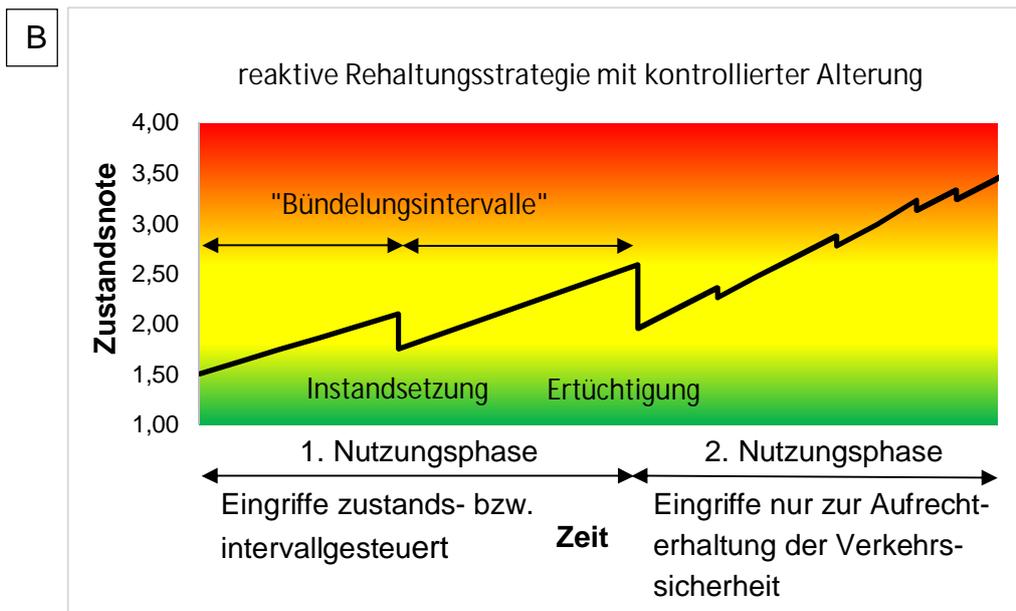


Bild 6: Reaktive Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung und anschließender kontrollierter Alterung (schematische Darstellung)
(A - nur ein Bündelungsintervall, B - mehrere Bündelungsintervalle)

Hinweis: Wird ein Bauwerksbestand mit einer reaktiven Erhaltungsstrategie und anschließender kontrollierter Alterung bewirtschaftet, so stellen Bauwerke, die sich in der zweiten Nutzungsphase befinden keinen Erhaltungsrückstand dar, weil diese Bauwerke als nicht mehr erhaltungswürdig gelten.

Übergang zwischen erster und zweiter Nutzungsphase

Der Übergang von der ersten in die zweite Nutzungsphase sollte, in Abhängigkeit von der Bauart und Verkehrsbelastung, in der Regel bei ca. 50 % bis 70 % der theoretischen Nutzungsdauer erfolgen.

Zu diesem Zeitpunkt erfolgt die Festlegung für die Strategie in der zweiten Nutzungsphase in Abhängigkeit von der Zustandsnote bzw. der Substanzkennzahl und dem Traglastindex unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit (ggf. nach RI-WI-BRÜ [10]). Für erhaltungswürdige Bauwerke erfolgt zu diesem Zeitpunkt in der Regel eine Modernisierung, hierbei sind netzweite Strategien zu beachten.

Erhaltungsstrategie für besondere Bauwerke

Für besonders exponierte Bauwerke bzw. für Bauwerke, die unter Denkmalschutz stehen, sind in der Regel gesonderte Erhaltungsstrategien erforderlich. Hierbei ist die kultur-historische Bedeutung des Bauwerks zu berücksichtigen. Dies kann dazu führen, dass einer umfassenden Instandsetzungs- oder Ertüchtigungsmaßnahme der Vorrang vor einem Ersatzneubau zu geben ist (siehe **Anlage 6**).

4.6 Zeitliche Alterung der Bauwerke

Um eine Erhaltungsplanung für Ingenieurbauwerke vornehmen zu können, ist die Kenntnis der wahrscheinlichen, künftigen Zustandsänderungen der Bauwerke erforderlich.

Im Rahmen der weiteren Betrachtungen wird von zwei möglichen Grundfunktionen der Bauwerksalterung ausgegangen.

1. Die lineare Alterung

Bei der linearen Alterung wird eine gleichmäßige Verschlechterung der Zustandsnote bzw. der Substanzkennzahl im Verlauf der theoretischen Nutzungsdauer unterstellt.

2. Die „S-Shape-Funktion“ (exponentiell)

Bei der S-Shape Alterung wird davon ausgegangen, dass die Alterung zunächst degressiv und ab einem bestimmten Alter progressiv verläuft, siehe [11] und [12].

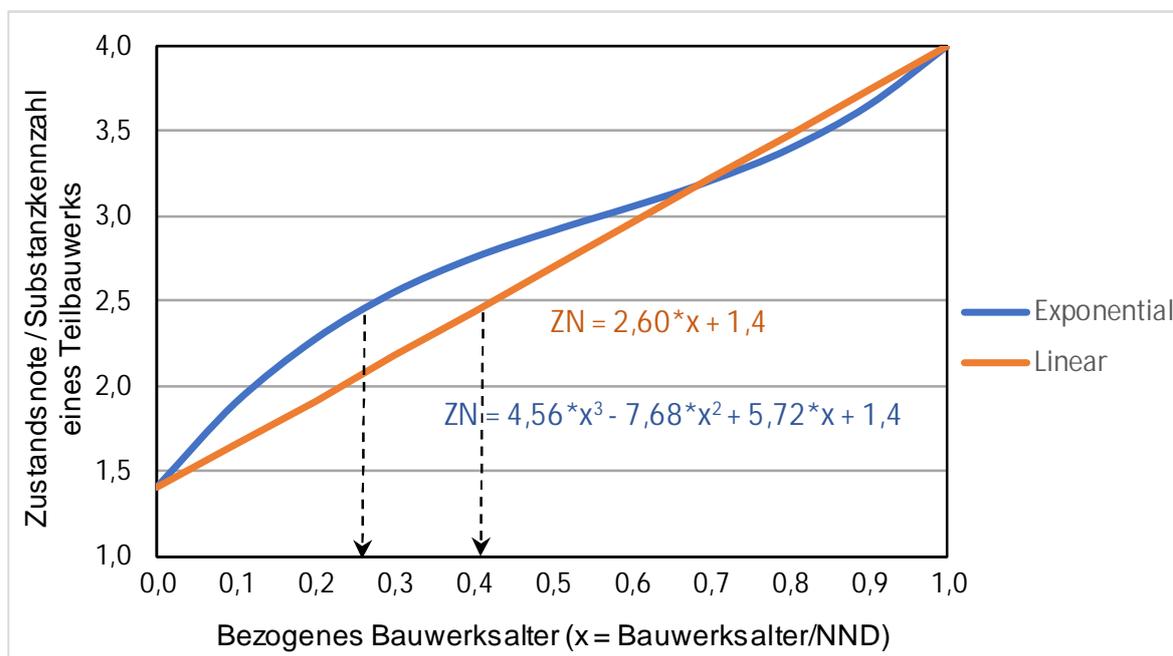


Bild 7: Zustandsverlaufsfunctionen eines ungestörten Alterungsverlaufs in Abhängigkeit von der normativen Nutzungsdauer (NND)

Berücksichtigt man bei der Entwicklung des baulichen Zustands von Brückenbauwerken, dass bauliche Maßnahmen im Zuge der Bauwerkserhaltung durchgeführt werden, ergibt sich über die Nutzungsdauer ein geänderter Zeitverlauf (siehe **Anlage 7**).

Um die „Alterungsfunktion“ auf Bauwerke mit unterschiedlichen theoretischen Nutzungsdauern nach der „Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung“ (ABBV) [13] anwenden zu können, empfiehlt es sich, die theoretische Nutzungsdauer in einen auf den Wert „1“ normierten Bezugswert, die normative Nutzungsdauer (NND), umzuformen (vergleiche **Bild 7**).

Diese Alterungsfunktionen können sowohl auf die Zustandsnote als auch auf die Substanzkennzahl bezogen werden [12]. Derzeit liegen nur für die Zustandsnoten statistische Untersuchungen vor. Ausgehend von [12] ist derzeit davon auszugehen, dass sich für den zeitlichen Verlauf der Substanzkennzahlen ähnliche Verläufe wie bei den Zustandsnoten ergeben.

Ein möglicher Ansatz zur Beschreibung der zuvor erläuterten Zustandsnotenverläufe ist in **Bild 7** dargestellt. Hierbei wurde davon ausgegangen, dass zum Beginn der Nutzungsdauer (Fertigstellung Bauwerk = Mittelwert der Zustandsnoten aus 1. + 2. Hauptprüfung) eine mittlere Zustandsnote von 1,4 erreicht wird.

4.7 Mögliche Eingriffszeiträume

4.7.1 Eingriffszeiträume bei regelmäßigen Intervallen

Für diese Erhaltungsstrategie wären zunächst entsprechende Erhaltungsintervalle, z. B. für Kapfen, Fahrbahnübergänge, Beläge und Abdichtungen, zu ermitteln. Auf der Grundlage dieser Instandsetzungsintervalle sind die notwendigen Erhaltungszeitpunkte festzulegen.

4.7.2 Eingriffszeiträume bei kontrollierter Schadensentwicklung

Bei der Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung werden die auftretenden Einzelschäden über einen bestimmten Zeitraum gesammelt, um im Rahmen einer Instandsetzungs-/Modernisierungsmaßnahme insgesamt beseitigt zu werden. Solange aus den Einzelschäden keine gravierenden Folgeschäden oder Verkehrsgefährdungen entstehen, ist diese Erhaltungsstrategie theoretisch umso wirtschaftlicher, je länger die Bündelungsintervalle gewählt werden. Gravierende Folgeschäden sind gemäß Zustandsbewertung nach RI-EBW-PRÜF [3] immer dann zu erwarten, wenn die Auswirkung eines Einzelschadens auf die Dauerhaftigkeit mit $D \geq 3$ bewertet wird.

Entsprechend dem festgelegten Bewertungsschlüssel ergibt sich aus der Einzelschadensbewertung $D = 3$ in der Regel eine Zustandsnote bzw. Substanzkennzahl des Gesamtbauwerks im Bereich von $\geq 2,5$.

Vereinfacht folgt daraus, dass Schäden an einem erhaltungswürdigen Bauwerk im Allgemeinen beseitigt werden sollten, bevor eine Zustandsnote bzw. Substanzkennzahl für das Bauwerk von 2,5 deutlich überschritten wird. Unter dieser Voraussetzung und unter Beachtung der Zustandsnotenentwicklung gemäß **Bild 7** ergeben sich nachfolgende mögliche Eingriffszeiträume (siehe auch **Bild 27**)

- nach ca. 20 - 30 Jahren (Instandsetzung) und nach ca. 45 - 55 Jahren (Modernisierung, 50 - 70 % der theoretischen Nutzungsdauer) oder
- nach ca. 30 - 50 Jahren eine Modernisierung.

Eine Zustandsnote am Einzelbauwerk von 2,9 sollte vor der kontrollierten Alterung nicht überschritten werden.

5 Ablauf und Rahmenbedingungen der strategischen Erhaltungsplanung

5.1 Grundsätzliches

Die strategische Erhaltungsplanung ist ein fortlaufender Prozess, der im Allgemeinen in mehreren Stufen erfolgt und in regelmäßigen Abständen fortgeschrieben werden muss.



Bild 8: Ablaufdiagramm der systematischen Erhaltung [16]

Grundlage jeder Erhaltungsplanung sind die gemäß ASB-ING [19] in SIB-Bauwerke vorhandenen Bauwerksdaten, insbesondere der aktuelle Bauwerkszustand. Im Rahmen der Erhaltungsplanung sind neben den Daten zum Bauwerkszustand auch der Traglastindex, das Bauwerksalter und die damit verbundenen Entwurfskriterien sowie die Lage im Netz und die damit verbundene Verkehrsbelastung zu berücksichtigen.

Der Bauwerkszustand wird im Rahmen der Bauwerksprüfung festgestellt. Im Zusammenhang mit der Bauwerksprüfung (bei der Prüfung oder im Rahmen der Auswertung der Prüfung) erfolgt die Festlegung von Maßnahmen zur Beseitigung der festgestellten Schäden (Maßnahmenempfehlungen). Hierbei sind auch Festlegungen zur zeitlichen Beseitigung der Schäden und der hiermit verbundenen voraussichtlichen Kosten erforderlich. Im Rahmen der Maßnahmenempfehlungen kann eine Zusammenfassung geeigneter Maßnahmen sinnvoll sein.

Auf Grundlage der vorgenannten Randbedingungen wird eine Priorisierung der bauwerksbezogenen erforderlichen Maßnahmen sowie der Bauwerke untereinander durchgeführt.

Im Anschluss an die Maßnahmenpriorisierung erfolgt die Planung und Ausführung der festgelegten Maßnahmen. Die Umsetzung der Maßnahmen sollte zu einer Verbesserung des Bauwerkszustandes führen. Die anschließende Neubewertung des Bauwerkes wird in SIB-Bauwerke eingetragen. Der sich ergebende neue Bauwerkszustand kann zur Ergebniskontrolle herangezogen werden und wird in einem Zustandsbericht dokumentiert.

5.2 Datengrundlage

Die Datengrundlage des Bauwerksbestands stellt das Datenmodell nach ASB-ING [19] dar und ist bei Erfordernis durch die objektbezogenen Maßnahmenempfehlungen (z. B. im Ergebnis einer objektbezogenen Schadensanalyse (OSA) [15] bzw. einer Nachrechnung [7]) zu ergänzen.

Der Umfang der verwendeten Daten richtet sich nach dem jeweiligen Prognoseverfahren.

5.3 Bauwerksprüfung

DIN 1076 [1] regelt die wesentlichen Grundlagen der Bauwerksprüfung. Diese Regelungen werden durch die RI-EBW-PRÜF [6] konkretisiert. Neben der genauen Festlegung der zu prüfenden Bauwerke werden die Häufigkeit, die Prüfintensität sowie die Qualifikation der mit der Prüfung zu beauftragende Ingenieure festgelegt. Durch die regelmäßige Bauwerksprüfung wird der Zustand eines Bauwerks bzw. Bauteils erfasst und fortgeschrieben.

Ein am Bauwerk bzw. Bauteil festgestellter Schaden wird hinsichtlich des Einflusses auf die Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit bewertet und in SIB-Bauwerke erfasst. Unter Berücksichtigung der Schadenshäufigkeit je Bauteilgruppe für jedes Teilbauwerk ergeben sich eine Substanzkennzahl und eine Zustandsnote für das Bauwerk bzw. Bauteil.

5.4 Schadensanalyse

Neben der Zustandserfassung sind gemäß RI-EBW-PRÜF [6] im Rahmen der Bauwerksprüfung und deren Auswertung, Empfehlungen zur Schadensbeseitigung als „Maßnahmenempfehlungen“ zu erfassen. Diese können im Rahmen der weiteren Schadensbewertung konkretisiert werden. Die Maßnahmenempfehlungen werden in SIB-Bauwerke über bundeseinheitliche Maßnahmendefinitionen mit Kosten, Dringlichkeiten und ggf. mit Fristen, wenn die Ausführungszeiten bereits bekannt sind (Maßnahmenfixierung), aufgenommen.

Bei komplexen, schwerwiegenden oder unklaren Schadensbildern können über die Bauwerksprüfung hinausgehend detaillierte objektbezogene Schadensanalysen erforderlich werden. Ziel ist eine genauere Beurteilung des Schadensausmaßes und der Schadensursache. Damit wird eine sichere Schadensbewertung möglich, auf deren Grundlage geeignete Erhaltungsmaßnahmen festgelegt werden können. Diese vertieften Schadensanalysen erfolgen auf Grundlage des Leitfadens „Objektbezogene Schadensanalyse“ (OSA) [15].

5.5 Festlegung der Erhaltungsstrategie

Die für das einzelne Bauwerk, aber auch für einen größeren Bauwerksbestand zu verwendende Erhaltungsstrategie ist von einer Reihe von Kenngrößen abhängig. Wesentliche Kenngrößen sind das Bauwerkalter, der Bauwerkszustand, der Traglastindex sowie die Lage im Straßennetz (siehe hierzu auch Abschnitt 7).

Welche, der in Abschnitt 4 dargestellten Erhaltungsstrategien letztendlich zur Anwendung kommt, ist durch den jeweiligen Baulastträger festzulegen.

5.6 Priorisierung

Im Anschluss an die zuvor beschriebenen Prozesse „Bauwerksprüfung, Schadensanalyse und Festlegung von Maßnahmenempfehlungen“ erfolgt für definierte Zuständigkeitsbereiche eine jahres- und bauwerksscharfe Priorisierung der in einem definierten Zeitraum (z. B. ein Jahr bzw. fünf Jahre) erforderlichen Erhaltungsmaßnahmen. Die fixierten Maßnahmen werden in der Priorisierung berücksichtigt. Die Priorisierung bzw. Dringlichkeitsreihung können über bauwerksbezogene und streckenbezogene Daten erfolgen.

Im Ergebnis kann eine Prioritätenliste erzeugt werden. Diese dient als Grundlage für die Aufstellung eines Erhaltungsprogramms. Gleichzeitig stellt die Prioritätenliste den erforderlichen Erhaltungsbedarf für den betrachteten Zeitraum dar. Unter Berücksichtigung der hinterlegten Maßnahmenkosten kann der erforderliche Haushaltsmittelbedarf abgeschätzt werden.

5.7 Programmbildung

Die Programmbildung erfolgt auf Grundlage der Prioritätenliste und der für die jeweiligen Haushaltsjahre zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel.

Grundlage für das mittelfristige Erhaltungsprogramm im Bundesfernstraßenbereich bildet das ARS zur Aufstellung der Erhaltungsprogramme bzw. Meldung der Ist-Ausgaben [20]. Das Erhaltungsprogramm ist für den Bereich der Bundesfernstraßen mit dem BMVI abzustimmen.

5.8 Ausführung

Das mit dem Bund abgestimmte mittelfristige Erhaltungsprogramm bildet die Grundlage für das Bauprogramm im Bereich der Bundesfernstraßen.

Die Maßnahmen sind entsprechend den geltenden Regelwerken zu planen, auszuschreiben und auszuführen.

5.9 Ergebniskontrolle

Nach Abschluss der Erhaltungsmaßnahme sind die Zustandsdaten des Bauwerks, in der Regel auf der Grundlage einer Bauwerksprüfung, in SIB-Bauwerke einzupflegen. Die durchgeführten Maßnahmen sind mit den tatsächlich angefallenen Kosten in den Bauwerksdaten zu erfassen.

Eine Ergebniskontrolle der eingesetzten Haushaltsmittel ergibt sich aus der jährlichen Analyse der Zustandsnoten bzw. der Substanzkennzahlen der Bauteilgruppen und der Bauwerke mittels SIB-Bauwerke.

5.10 Erhaltungsbedarfsprognose

Neben der eigentlichen bauwerksscharfen Erhaltungsplanung ist zur Ermittlung und Planung erforderlicher Ressourcen (Personal, Haushaltsmittel) eine längerfristige Erhaltungsbedarfsprognose erforderlich. Hierzu sind Kenntnisse u. a. über die durchschnittliche zeitliche Entwicklung der Zustandsnoten und der Kosten in Form von Kostenfunktionen erforderlich.

Die Kostenfunktionen sind für verschiedene Maßnahmenarten (Instandsetzung, Modernisierung) auf Basis statistischer Untersuchungen zu erstellen. Sowohl bei der Instandsetzung und der Modernisierung als auch beim ersatzlosen Rückbau, sind auch die Kosten für den Abbruch und die Entsorgung von Bauwerken oder Bauwerksteilen zu berücksichtigen. Für eine vereinfachte

mathematische Darstellung ist eine einheitliche Bezugsgröße notwendig. Hierfür bietet sich die Bauwerksfläche an. Ein möglicher Ansatz kann [23] entnommen werden.

Für eine Erhaltungsbedarfsprognose ist eine größere Anzahl von Berechnungen mit unterschiedlichen Zielstellungen erforderlich. Hierbei ist zu beachten, dass sich die Berechnungszeit erhöht, je größer der Betrachtungszeitraum gewählt wird. Ingenieurbauwerke werden im Regelfall für eine theoretische Nutzungsdauer von 70 bis 130 Jahren konzipiert. Sie können aber auch deutlich älter werden. Deshalb sollte für Berechnungen mit strategischer Zielsetzung möglichst ein Betrachtungszeitraum von mindestens 50 Jahren gewählt werden. Dadurch können die Auswirkungen einer ungleichmäßigen Altersverteilung des Bauwerksbestands besser berücksichtigt werden. Auf dieser Basis lassen sich aussagekräftige Berechnungen mit unterschiedlichen Erhaltungsstrategien oder zur Kalibrierung des Gesamtsystems durchführen.

Sind die grundlegenden Festlegungen anhand langfristiger Berechnungen im erforderlichen Umfang verifiziert, kann für weitere Betrachtungen auch auf kürzere Zeiträume abgestellt werden.

6 Betrachtungen auf Objektebene

In Abschnitt 5 wurde der grundsätzliche Ablauf des Erhaltungsmanagements dargestellt. Hierbei wurde bisher nicht zwischen Objekt- und Netzebene unterschieden.

Auf der Objektebene werden die für das einzelne Teilbauwerk maßgebenden Betrachtungen und/oder Untersuchungen durchgeführt. Im Einzelnen sind dies:

- Auswertung der vorhandenen Bauwerksdaten
- Durchführung der Bauwerksprüfungen
- Schadensanalysen und Festlegung der Maßnahmenempfehlungen
- Festlegung der Erhaltungsstrategie in Bezug auf das betrachtete Einzelobjekt (Teilbauwerk) unter Berücksichtigung der Tragfähigkeit und der Wirtschaftlichkeit
- Dringlichkeitsreihung in Abhängigkeit vom Bauwerksalter, Bauwerkszustand und Traglastindex
- Planung und Ausführung der Erhaltungsmaßnahme
- Ergebniskontrolle durch Auswertung des Bauwerkszustandes und Überprüfung der Kostenberechnung sowie der Wirtschaftlichkeit nach der Umsetzung der Erhaltungsmaßnahme

Zur Erstellung des Erhaltungsprogramms sind neben den auf das Bauwerk bezogenen Priorisierungen weitere Randbedingungen, wie z. B. die Lage im Netz oder geplante Ausbaumaßnahmen, zu betrachten.

7 Betrachtungen auf Netzebene

7.1 Grundsätzliches

Für einen effizienten Mitteleinsatz und zur Gewährleistung eines weitgehend durchlässigen Straßennetzes ist es erforderlich, neben der Betrachtung auf Objektebene auch streckenbezogene Aspekte bei der Priorisierung zu berücksichtigen. Hierzu zählen die Streckenbedeutung im Gesamtnetz (Verbindungsfunktionsstufe) und die sich daraus ergebende Entwurfsklasse sowie die Verkehrsbelastung (DTV bzw. DTV-SV). Darüber hinaus können auch regionale Besonderheiten für eine besondere Priorität von Bedeutung sein. Weiterhin kann der Ausbau einer Strecke, insbesondere im Bereich der Autobahnen, Einfluss auf die Maßnahmenpriorisierung haben.

Werden Erhaltungsmaßnahmen in größeren Streckenlosen durchgeführt, so sind die Bauwerke besonders zu berücksichtigen. In diesem Fall ist zu überprüfen, ob die bestehenden Bauwerke aus statischer Sicht die aktuellen und die über den vorgesehenen Nutzungszeitraum prognostizierten Verkehrsbelastungen sicher aufnehmen können oder bauliche Maßnahmen zur Ertüchtigung

gung der Bauwerke erforderlich sind. Darüber hinaus ist darzulegen, dass die geplanten Maßnahmen an den Bauwerken wirtschaftlich sind. Die bereitzustellenden Daten sind in einer Tabelle gemäß [24] zusammenzufassen und dem Streckenentwurf beizufügen.

7.2 Vordringliche Netze

Für die Erhaltungsplanung können Streckenzüge, wie z. B. Autobahntrassen im Brückenmodernisierungsnetz [25] oder wichtige Verbindungen zwischen Industriestandorten und/oder Häfen, von besonderer Bedeutung sein. Im Rahmen der Priorisierung sind diese vordringlich zu berücksichtigen.

Diese besondere Priorisierung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. So können die Erhaltungsmaßnahmen in vordringlichen Netzen mit einem festen Realisierungszeitraum als gesetzte Maßnahmen in SIB-Bauwerke berücksichtigt werden. In anderen Fällen kann es sinnvoll sein, Trassen mit einer besonderen Prioritätszahl bzw. -faktor zu belegen.

7.3 Festlegung der Erhaltungsstrategie

Die Erhaltungsstrategie kann sowohl in Abhängigkeit vom einzelnen Bauwerk als auch auf der Grundlage des Netzzusammenhangs festgelegt werden. So kann es für Bauwerke im Zuge von Bundesautobahnen in Abhängigkeit von der Streckenbedeutung sinnvoll sein, eine Strategie mit regelmäßigen Instandsetzungsintervallen zu verfolgen. Bei der Intervallbildung sind die Intervalle der Streckeninstandsetzung mit zu berücksichtigen. Im Gegensatz dazu wird für Bauwerke im Zuge von Bundesstraßen in der Regel eine Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung zur Anwendung kommen.

Literatur

- [1] DIN 1076: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen; Überwachung und Prüfung; 1999-11
- [2] Bundesfernstraßengesetz (FStrG); 29.11.2018
- [3] Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen, Version 05/2011; Bundesanstalt für Straßenwesen, 2011
- [4] Ausführungshinweise zum „Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen“, Version 2011; Bundesanstalt für Straßenwesen, 2011
- [5] AVERAA „Abschätzung der verkehrlichen Auswirkungen einer Arbeitsstelle“; Bundesanstalt für Straßenwesen, 2019
- [6] Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF)
- [7] Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie), 05/2011, 1. Ergänzung, 04/2015
- [8] Grundkonzeption Traglastindex; ARS 09/2020
- [9] Kuhlmann, U.: Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit.; Stahlbau 2011, Heft 10.
- [10] Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken (RI-WI-BRÜ)
- [11] Verfahrensbeschreibung zur Prognose des Erhaltungsbedarfs von Ingenieurbauwerken „BW-ERH-Pro-Sys c (Bauwerks-Erhaltungs-Prognosesystem) Entwicklungsstufe 1 Straßenbrücken und Stützwände - Arbeitsstand 31.08.2017“
- [12] Müller, S.: Erarbeitung von Modellen zur Bestimmung der Schadensumfangsentwicklung, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie-Abteilung Massivbau, Karlsruher Institut für Technologie KIT, BW, BAST-Forschungsthema; BAST-Heft B 111, 2014
- [13] Verordnung zur Berechnung von Ablösebeträgen nach dem Eisenbahnkreuzungsgesetz, dem Bundesfernstraßengesetz und dem Bundeswasserstraßengesetz (Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung - ABBV); 01.07.2010
- [14] Forkert, Lothar: Verfahren zur Prognose von Schadensentwicklungen bei einer kostenoptimierten Brückeninstandhaltung. Düsseldorf; VDI-Verlag, 1990
- [15] Leitfaden Objektbezogene Schadensanalyse (OSA); 19.12.2007
- [16] Haardt, P.: Entwicklung eines Bauwerk-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz - Stufen 1 und 2; BAST-Heft B 43, 2003
- [17] Beratende Äußerung des Sächsischen Rechnungshofs zur Erhaltung der staatlichen Straßeninfrastruktur, März 2016; Seite 35 ff.
- [18] DIW Berlin Heft 53: „Wegekosten und Wegekostendeckung des Straßen- und Schienenverkehrs in Deutschland im Jahre 2007“
- [19] Anweisung Straßeninformationsbank, Segment Bauwerke (ASB-ING), 10/2013
- [20] Aufstellung der Erhaltungsprogramme bzw. Meldung der Ist-Ausgaben für Fahrbahnbefestigungen und Ingenieurbauwerke von Bundesfernstraßen (ARS 22/2016)
- [21] Bauwerk-Management-System, Teil SB (Zustandsverteilung, Substanzwertentwicklung) (BMS-SB); 2019
- [22] VERORDNUNG (EU) Nr. 1315/2013 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 11. Dezember 2013 über Leitlinien der Union für den Aufbau eines trans-europäischen Verkehrsnetzes und zur Aufhebung des Beschlusses Nr. 661/2010/EU

- [23] Leitfaden zur Prüfung einer Instandsetzung/Ertüchtigung an Ingenieurbauwerken (Abgrenzung zur Ersatzneubauplanung); 2019
- [24] Richtlinien für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsentwürfen im Straßenbau (RE Erhaltung), 2019
- [25] Bericht „Stand der Modernisierung von Straßenbrücken der Bundesfernstraßen“; 10.02.2020
- [26] Handelsgesetzbuch; 07/2019

Anlagen

Anlage 1 Begriffsbestimmungen

Unterhaltung

Kleinere bauliche oder betriebliche Maßnahmen zur Sicherung der Substanz, Funktion und Verkehrssicherheit. Diese Maßnahmenart ist nicht Gegenstand dieses Regelwerks.

Betriebliche Unterhaltung

Pflege- und Wartungsarbeiten zur Sicherung der Bausubstanz, Funktion und Verkehrssicherheit.

Bauliche Unterhaltung

Bauliche Maßnahmen kleineren Umfangs zur Sicherung der Bausubstanz, Funktion und Verkehrssicherheit, wie z. B. Nachziehen/Austausch von Verbindungsmitteln, Behebung von Schäden an Geländern und Schutzeinrichtungen (Konsumtive Maßnahme ohne Anhebung des Anlagevermögens).

Bauwerkserhaltung

Umfasst Maßnahmen der Modernisierung, Instandsetzung und Unterhaltung eines Bauwerks bzw. einzelner Bauwerksteile.

Erhaltungsmanagement

Das Erhaltungsmanagement umfasst alle Handlungen und Maßnahmen der Bestandserfassung inkl. der Bauwerksprüfung, Zustandserfassung und -bewertung sowie der Planung, der Organisation und der Abwicklung von Maßnahmen, die der Substanzerhaltung eines Bauwerkes von der Inbetriebnahme bis zum Abbruch dienen. Es ist Bestandteil des Lebenszyklusmanagements.

Instandsetzung

Eine Instandsetzung ist die Summe baulicher Maßnahmen größeren Umfangs, die der Wiederherstellung des planmäßigen Zustandes eines Bauwerks oder seiner Bauteile dienen; ohne Gebrauchswertenerhöhung.

Modernisierung

Die Modernisierung beinhaltet bauliche Maßnahmen im Umfang einer Verstärkung, Teilerneuerung oder Erneuerung mit Anpassung an aktuelle technische Standards.

Verstärkung

Unter einer Verstärkung sind bauliche Maßnahmen zu verstehen, die eine Tragfähigkeitsverbesserung über die Ursprungstragfähigkeit hinaus beinhalten

Anmerkung:

Verstärkungen werden i.d.R. in Verbindung mit der Erneuerung oder Ergänzung von einer oder von mehreren Bauteilgruppen durchgeführt.

Ertüchtigung

Die Bauwerksertüchtigung beinhaltet bauliche Maßnahmen im Umfang einer Verstärkung oder einer Teilerneuerung beziehungsweise einer Kombination aus Verstärkung und Teilerneuerung.

Teilerneuerung

Teilerneuerungen beinhalten die Erneuerung einzelner (z. B. Überbauerneuerung) oder mehrerer Bauteilgruppen (z. B. leistungsfähigere Schutzeinrichtungen und/oder Kappen, was zu einer wesentlichen Verbesserung gegenüber dem Ursprungsentwurf führt); mit Gebrauchswertenerhöhung.

Erneuerung

Die Erneuerung beinhaltet bauliche Maßnahmen der Teilerneuerung oder des Ersatzneubaus.

Ersatzneubau

Ersetzen eines vorhandenen Bauwerkes durch ein neues Bauwerk ohne kapazitive Erweiterung.

Anmerkung:

Da sich im Laufe der Nutzung des Altbauwerks sowohl die Tragfähigkeitsanforderungen als auch die Nutzungsanforderungen hinsichtlich des Umweltschutzes, des Lärmschutzes, der Verkehrssicherheit und des Fahrkomforts nicht unerheblich verändert haben, geht der Aufwand weit über das Maß einer einfachen Wiederherstellung des Ursprungbauwerks hinaus.

Rückbau

Der Rückbau beschreibt den ersatzlosen Abbruch und die Entsorgung eines Bauwerks oder einzelner Bauwerksteile.

Sofortmaßnahmen

Sofortmaßnahmen sind unverzüglich zu ergreifende Maßnahmen aufgrund ungenügender oder nicht vorhandener Standsicherheit oder Verkehrssicherheit.

Neubau

Der Neubau ist die Errichtung eines Bauwerkes in bestehenden oder neuen Straßen, ohne dass ein Vorgängerbauwerk existiert.

Kapazitive Erweiterung

Bei der Verbreiterung eines Bauwerks um ein oder mehrere Fahrstreifen handelt es sich um eine kapazitive Erweiterung. Der Anbau eines Standstreifens auf Grund der Anwendung des geltenden Regelwerks gilt nicht als kapazitive Erweiterung. Die Möglichkeit einer temporären Standstreifenfreigabe ist im Einzelfall zu regeln.

Gebrauchswerterhöhung

Die Gebrauchswerterhöhung ist eine Verbesserung des Komforts, der Sicherheit und/oder der Dispositionsfreiheit gegenüber dem Ursprungsentwurf.

Maximalnutzungsdauer

Maximale Nutzungsdauer in der ein spezielles, betrachtetes Bauteil / Bauwerk die gestellten Anforderungen gerade noch erfüllt (S, V, D gerade noch keine Bewertung von 4 aufweisen). Mit Erreichen der Maximalnutzungsdauer ist der Abnutzungsvorrat eines Bauteils / Bauwerks vollständig verbraucht.

Grenznutzungsdauer

Nutzungsdauer auf die die Nutzung eines Bauteils/Bauwerks beschränkt wird, um eine bestimmte Sicherheit gegen ein Überschreiten der Maximalnutzungsdauer (S, V, D gleich 4) zu erreichen.

Im Rahmen von Simulationsrechnungen wird i.d.R. davon ausgegangen, dass die Grenznutzungsdauer gegen die theoretische Nutzungsdauer konvergiert. Durch umfangreiche Erhaltungsmaßnahmen ist es möglich, dass die Grenznutzungsdauer die theoretische Nutzungsdauer überschreitet. Unterbleiben Erhaltungsmaßnahmen kann es sein, dass die Grenznutzungsdauer hinter der theoretischen Nutzungsdauer zurückbleibt.

Praktische Restnutzungsdauer

Restnutzungsdauer, die die Zeitspanne von einem bestimmten Betrachtungszeitpunkt aus bis zum Ende der Grenznutzungsdauer beschreibt.

Theoretische Restnutzungsdauer

Restnutzungsdauer, die die Zeitspanne von einem bestimmten Betrachtungszeitpunkt aus bis zum Ende der theoretischen Nutzungsdauer beschreibt.

Theoretische Nutzungsdauer

Zeitspanne von der Fertigstellung eines Bauteils bzw. eines Bauwerkes bis zu dessen voraussichtlicher Beseitigung/Abbruch.

Voraussichtliche, auf statistischer Basis ermittelte Nutzungsdauer eines idealisierten Bauwerks auf der Grundlage der ABBV.

Normative Nutzungsdauer

Durch Normierung von 100 % der theoretischen Nutzungsdauer auf den Wert 1 geht die theoretische Nutzungsdauer in die normative Nutzungsdauer (NND) über.

Konsumtive Maßnahme (nicht aktivierungsfähige Maßnahmen)

Konsumtive Maßnahmen sind Maßnahmen, die in der Vermögensrechnung nicht zu einer Erhöhung des Anlagevermögens führen. Sie verursachen zwar Kosten, führen aber nicht zu einer Wertsteigerung.

Investive Maßnahme (aktivierungsfähige Maßnahmen)

Investive Maßnahmen steigern den Wert des Anlagevermögens in der Vermögensrechnung.

Nutzerfolgekosten

Kosten des Nutzers, die sich auf Grund der Baumaßnahme ergeben, z. B. Zeitverluste und erhöhte Kraftstoffkosten durch Umleitungsführung oder Verkehrsraumeinschränkung.

Um- und Ausbau (Erweiterung mit kapazitiver Erweiterung)

Die Erweiterung ist eine bauliche Veränderung des Bauwerks unter Verwendung von Bauteilen des Vorläuferbauwerks oder die bauliche Veränderung der Tragkonstruktion zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Bauwerks hinsichtlich der geometrischen Hauptabmessungen.

Kapazitive Erweiterung

Eine kapazitive Erweiterung beinhaltet immer eine signifikante Erhöhung der Leistungsfähigkeit eines Teilbauwerkes, die durch eine Bauwerksverbreiterung zur Aufnahme zusätzlicher Verkehrsstreifen gekennzeichnet ist (Fahrstreifen, Gehweg, Radweg).

Die Bauwerksflächenvergrößerung in Folge von Anpassungen von Verkehrsbreiten an geänderte Standards stellt keine kapazitive Erweiterung dar.

Bruttoanlagevermögen

Das Bruttoanlagevermögen ist die Summe aller Anschaffungskosten bzw. Wiederbeschaffungskosten der betrachteten Grundgesamtheit der Ingenieurbauwerke.

Unter den Anschaffungskosten sind die Baukosten zum Zeitpunkt der Erstellung zu verstehen.

Unter Wiederbeschaffungskosten sind die Baukosten eines Ersatzes zum Zeitpunkt der Betrachtung zu verstehen.

Nettoanlagevermögen

Das Nettoanlagevermögen entspricht dem Zeitwert des Bruttoanlagevermögens unter Berücksichtigung einer i. d. R. linearen Abschreibung ab dem Fertigstellungszeitpunkt.

Modernitätsgrad

Der Modernitätsgrad ist der Quotient aus Nettoanlagevermögen und Bruttoanlagevermögen

Anlage 2 (informativ) Mindestangaben in SIB-Bauwerke für eine koordinierte Erhaltungsplanung der Ingenieurbauwerke

Die nachfolgend aufgeführten Angaben gemäß ASB-ING [19] sind in SIB-Bauwerke erforderlich, um eine koordinierte Erhaltungsplanung zu ermöglichen.

- aus der Datentabelle "Teilbauwerke"

UI/UA
Bemerkungen
Anderes Bauwerk nach DIN 1076
Teilbauwerksnummer
ID-Nummer
Bauwerksart
Stadium
Baujahr
Baulast

- aus der Datentabelle "Bauwerksverzeichnis"

Amt
Bauwerksart
Bauwerk
Bauwerksnummer
Anzahl der Teilbauwerke
Konstruktion
Baujahr (Überbau)
Stadium
Baulast Konstruktion
Bauwerkslänge
Bauwerksfläche
Tragfähigkeit
Höchstwertiger Sachverhalt Oben
Höchstwertiger Sachverhalt Unten
Liste der Schilder (StVO-Nr., Menge) Oben
Zustandsnote
Substanzkennzahl
Hauptbaustoff des Überbaus der Brücke
Lagerart

Art der Übergangskonstruktion
Fahrbahnbelag
ID-Nummer

- aus der Datentabelle "Brücken"

Minimale Überschüttungshöhe
Lichte Höhe
Lichte Weite bei Einfeldbrücken
ID-Nummer
Länge
Breite

- aus der Datentabelle "Brückennachrechnung"

Ziellastniveau

- aus der Datentabelle "Bauwerkszustand Empfehlungen"

Art
Menge
Geschätzte Kosten in €
Dringlichkeit
Maßnahmenfixierung
Ausführungsjahr

Zusätzlich sind für das Programm BMS-SB [16] die ID-Nummern für das statische System, die Vorspannung, die Gründung, die Seile, die Lager, die Übergangskonstruktion, die Abdichtung, die Anker, die Kappen, das Schutzsystem, die Ausstattung, die Baustoffe und für den Fahrbahnbelag erforderlich.

Anlage 3 (informativ) Praxisbezogene Beispiele für Erhaltungsstrategien

Das Ergebnis einer Bedarfsprognose wird maßgeblich von der Parameterwahl beeinflusst. Die Auswirkungen der Parameterwahl auf das Ergebnis einer Bedarfsprognose soll im Folgenden anhand von vier ausgesuchten Beispielen dargestellt werden. Grundlage der Berechnungen ist der Brückenbestand im Zuge von Bundesstraßen eines Flächenlandes in Westdeutschland. Um eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Berechnungen sicher zu stellen, wird für alle Beispiele dieselbe Datenbasis verwendet.

Die Altersverteilung des betrachteten Bauwerksbestands weist bei den Bauwerksflächen eine ausgeprägte Häufung in den Jahren 1967 bis 1997 auf (siehe unten und vgl. Abs. 3.3.4). Aufgrund dieser Altersverteilung wurde ein möglichst langer Betrachtungszeitraum (bis 2069) gewählt. Als Grundlage für die Berechnungen wurde die Substanzkennzahl verwendet, da diese gemäß Abs. 2.11 der RI-EBW-Prüf [6] der Bilanzierung des Anlagevermögens dient. Wesentlichen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse haben neben der Altersstruktur der Bauwerke, die Grenzsubstanzkennzahl (alternativ Grenzzustandsnote) und die Grenznutzungsdauer, ab der für ein Bauwerk eine Erneuerung vorzusehen ist, sowie der mögliche Umfang von Instandsetzungen und Modernisierungen bis zu dieser Erneuerung. Die Erhaltungsstrategien, die den gegenständlichen Berechnungen zu Grunde liegen, beinhalten keine reinen Belagserneuerungen, weil diese vornehmlich für den Autobahnbereich von Interesse sind, und im Bundesstraßenbereich seltener zum Einsatz kommen.

Bei der Ermittlung der Maßnahmenkosten wurde der Baukostenindex mit Null angesetzt, um eine verzerrungsfreie Abbildung zu erhalten. Die Berechnung des Anlagevermögens erfolgte aus volkswirtschaftlicher Sicht und stellt daher auf den Wiederbeschaffungswert der einzelnen Bauwerke ab.

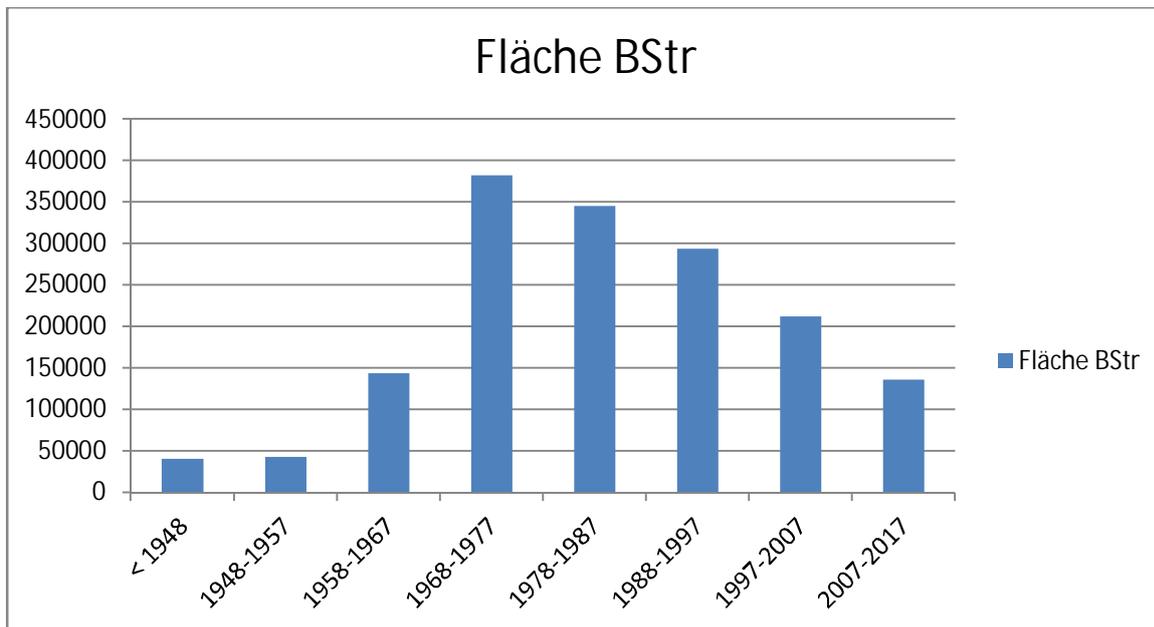


Bild 9: Altersverteilung

In den Berechnungen 1 – 3 werden die Auswirkungen unterschiedlicher Grenzzustandsnoten sowie Unterschiede im Maßnahmenumfang auf die Entwicklung eines Bauwerkskollektivs dargestellt. Die Berechnung 4 stellt die Auswirkungen einer veränderten Grenznutzungsdauer gegenüber Berechnung 3 dar.

Maßnahmenfarbgebung:

dunkelrot = fixierte Maßnahmenempfehlungen aus SIB-Bauwerken

rosa = generierte Ersatzneubauten bzw. Ertüchtigungen

blau = generierte Modernisierungen

grün = generierte partielle Instandsetzungen

Berechnung 1 (Idealszenario):

Grenzsubstanzkennzahl: 3,0

Grenznutzungsdauer: 1,0x theoretische Nutzungsdauer nach ABBV

Maßnahmen an großen Bauwerken:

2x partielle Instandsetzung; 1x Modernisierung

Maßnahmen an kleinen Bauwerken:

1x Modernisierung

Ergebnisübersicht:

Gesamtkosten bis 2069: 4,2 Mrd. €

Anzahl der Maßnahmen: 9.834

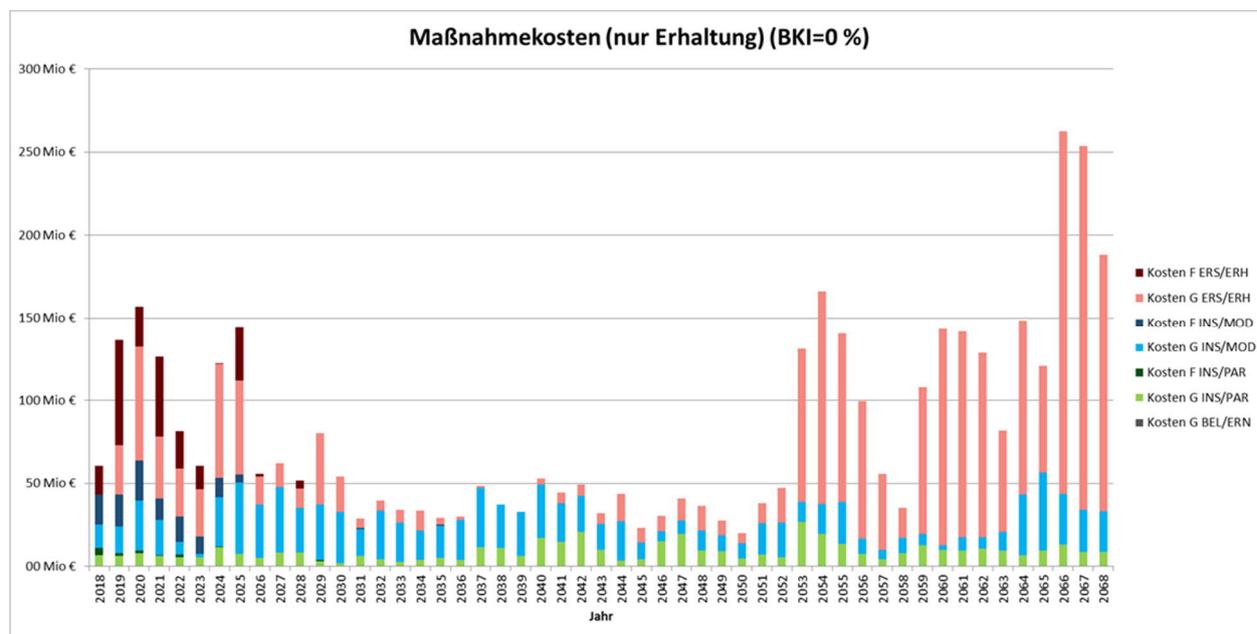


Bild 10: Kosten für Erhaltungsmaßnahmen

Die Häufung der Bauwerke aus den 70er bis 90er Jahren gemäß Altersverteilung bildet sich auch im Bereich der Maßnahmenkosten ab, da für ähnlich alte Bauwerke ein ähnlicher Degradationsverlauf entsteht. Dies führt zu einer Häufung der erforderlichen Ersatzneubauten (rosa) ab 2050 bis zum Simulationsende. Hierbei ist anzumerken, dass damit noch nicht alle erforderlichen Bauwerkerneuerungen der Bauwerke aus den 70er bis 90er Jahren erfasst sind. Das Ende des Erneuerungspeaks liegt außerhalb des Simulationszeitraums.

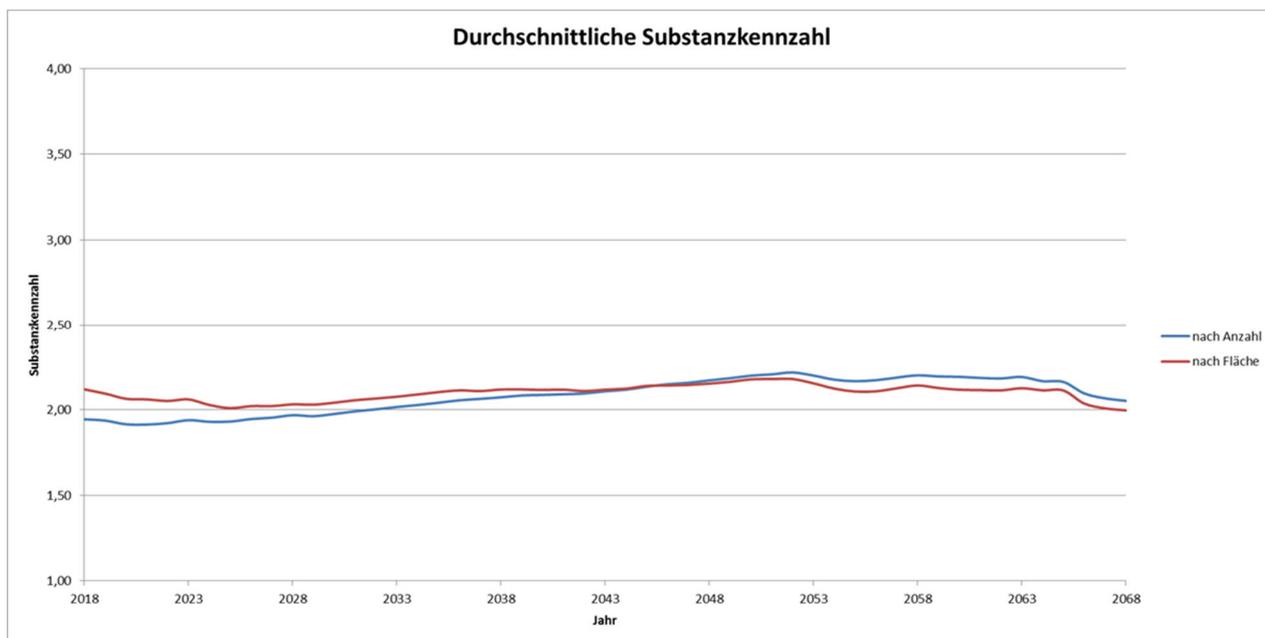


Bild 11: Entwicklung der durchschnittlichen Substanzkennzahl

Mit der Idealstrategie steigt die mittlere Substanzkennzahl der Bauwerke zunächst leicht von 2,0 auf etwa 2,2 an. Mit Einsetzen der Erneuerungswelle ab 2050 stabilisiert sich die mittlere Substanzkennzahl, sinkt am Ende des Betrachtungszeitraums wieder auf das Ausgangsniveau ab.

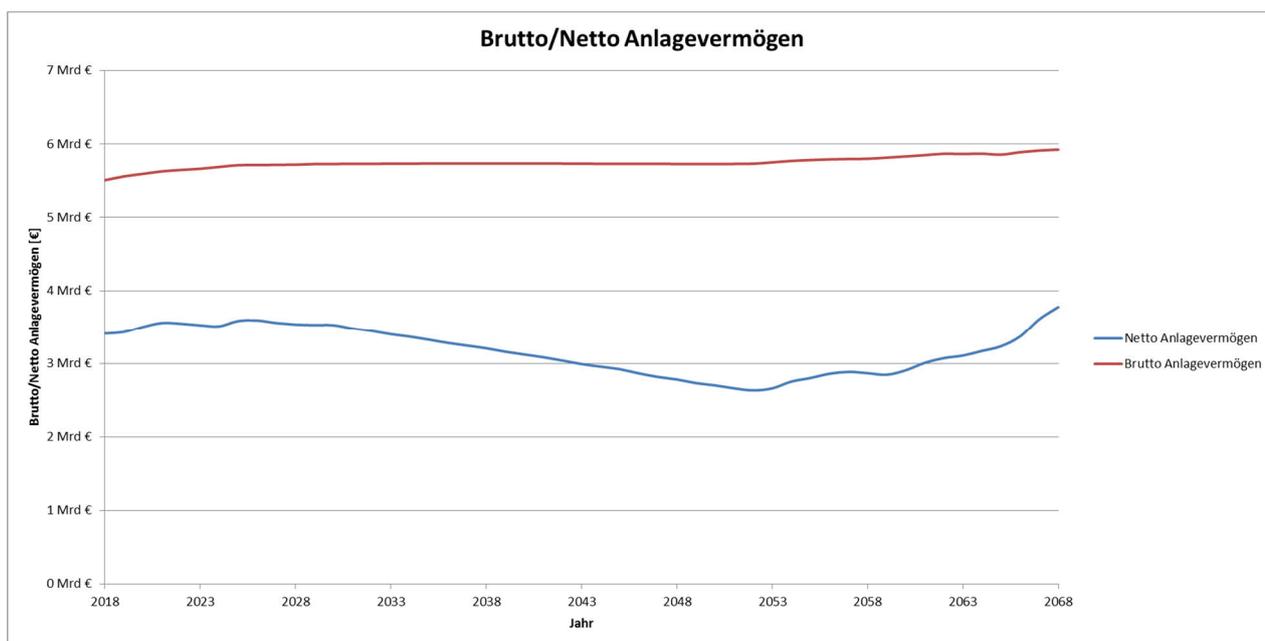


Bild 12: Entwicklung des Brutto/Netto Anlagevermögens

Das Nettoanlagevermögen, das dem Zeitwert des Bruttoanlagevermögens unter Berücksichtigung einer i.d.R. linearen Abschreibung ab dem Fertigstellungszeitpunkt entspricht, nimmt selbst bei der Idealstrategie zunächst leicht ab, bis die Welle der Ersatzneubauten ab 2050 einsetzt. Zum Ende des Betrachtungszeitraums liegt das Nettoanlagevermögen leicht über dem Ausgangswert im Jahr 2019.

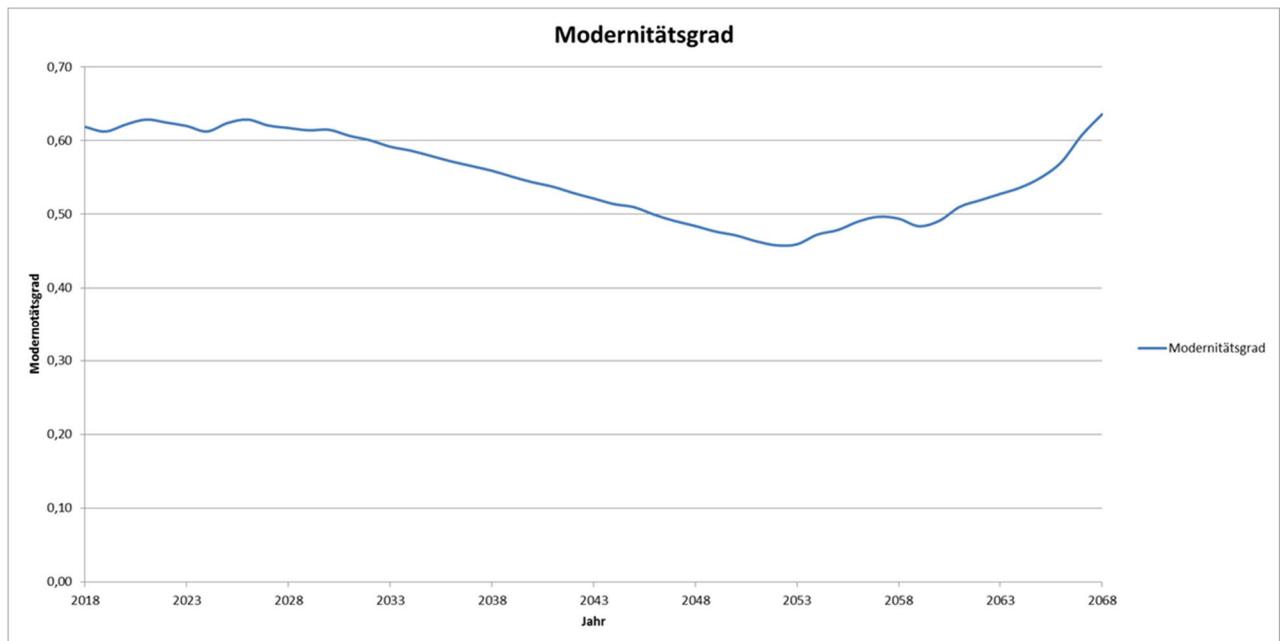


Bild 13: Entwicklung des Modernitätsgrades

Der Modernitätsgrad, der das Verhältnis von Nettoanlagevermögen zu Bruttoanlagevermögen darstellt, sinkt von ca. 0,6 auf etwa 0,45 und steigt mit Einsetzen der Erneuerungswelle ab 2050 wieder auf das Ausgangsniveau an.

Der Vorteil des Idealszenarios besteht in der Vergleichmäßigung der mittleren Substanzkennzahl. Die extrem hohe Anzahl an erforderlichen Maßnahmen stellt eine große Herausforderung in der Umsetzung dar. Der Modernitätsgrad sinkt bei diesem Szenario ab 2040 auf unter 0,5, was einen Indikator für einen Erhaltungsrückstand darstellt, der zum Ende der Betrachtung wieder abgebaut wird.

Berechnung 2 (Pessimismus-Szenario):

Grenzsubstanzkennzahl: 3,7

Grenznutzungsdauer: 1,0x theoretische Nutzungsdauer nach ABBV

Maßnahmen an großen Bauwerken:

1x partielle Instandsetzung

Maßnahmen an kleinen Bauwerken:

keine

Ergebnisübersicht:

Gesamtkosten bis 2069: 2,9 Mrd. €

Anzahl der Maßnahmen: 6.394

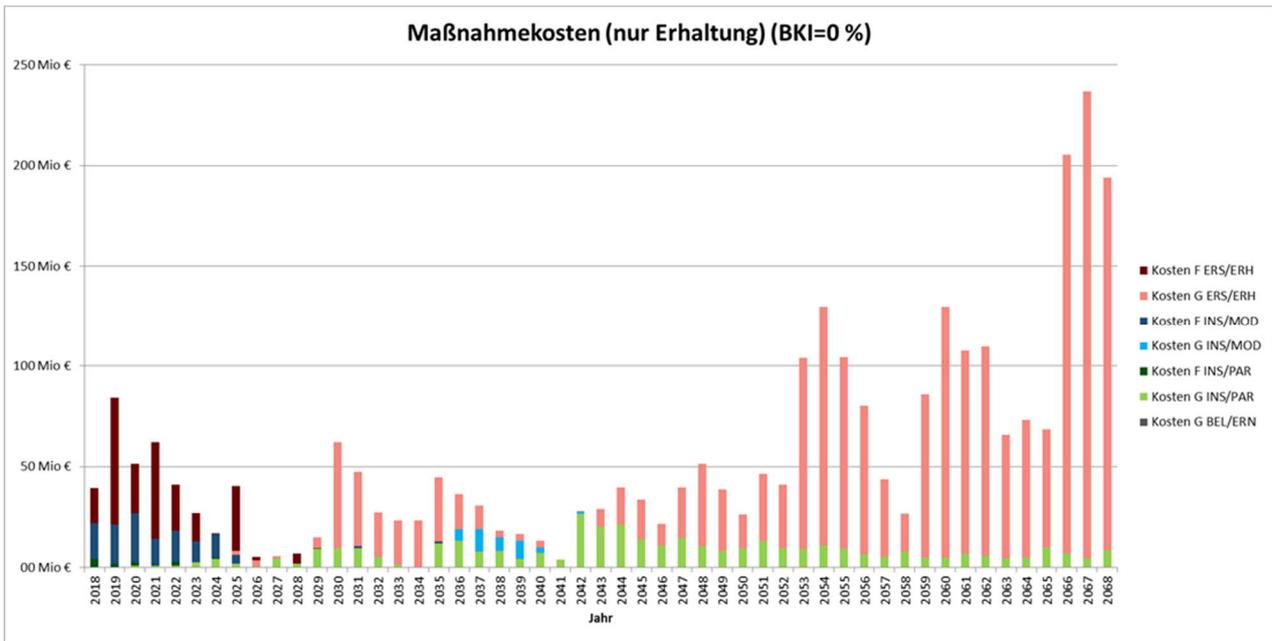


Bild 14: Kosten für Erhaltungsmaßnahmen

Modernisierungen an Bauwerken sind im Pessimismus-Szenario kaum vorgesehen. An kleinen Bauwerken werden keine Maßnahmen bis zu deren Ersatz durchgeführt. Für große Bauwerke ist nur eine partielle Instandsetzung bis zu deren Ersatz vorgesehen.

Auch bei diesem Szenario beginnt die Erneuerungswelle der Bauwerke aus den 70er bis 90er Jahren erst ab 2050.

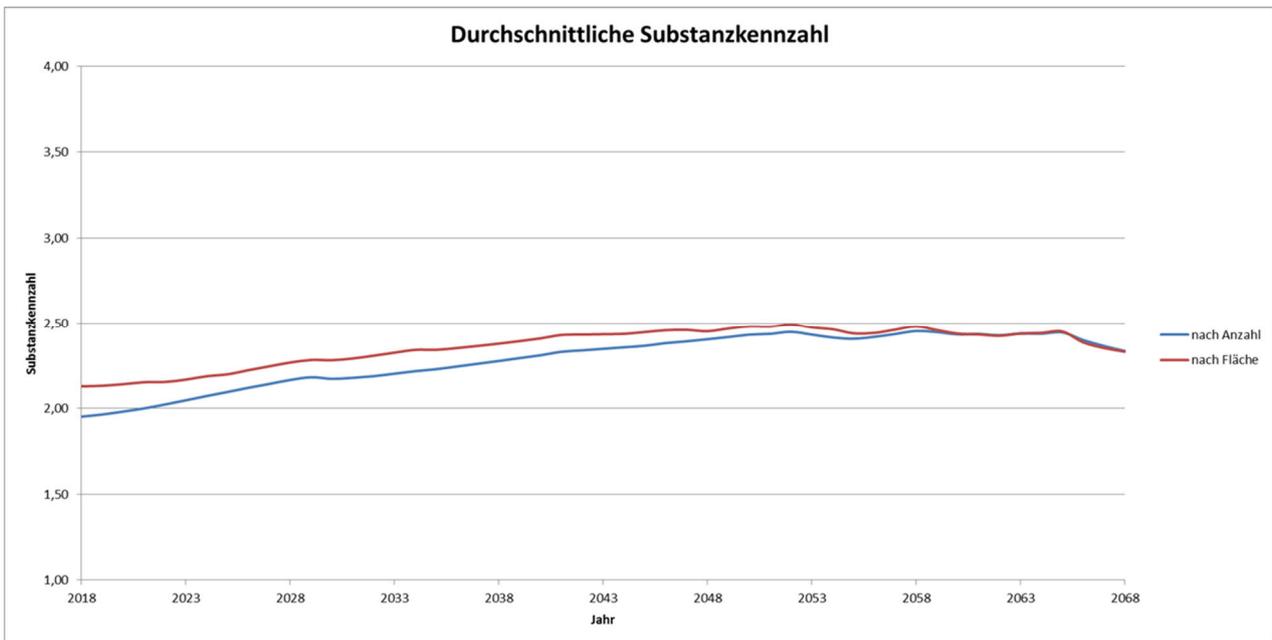


Bild 15: Entwicklung der durchschnittlichen Substanzkennzahl

Aufgrund der sehr geringen Anzahl an Instandsetzungen und Modernisierungen, kommt es bei diesem Szenario zu einer kontinuierlichen Verschlechterung der mittleren Substanzkennzahl von ca. 2,0 auf etwa 2,5 im Jahr 2050. Erst mit dem Einsetzen der Erneuerungswelle ab 2050 verbessert sich diese langsam wieder.

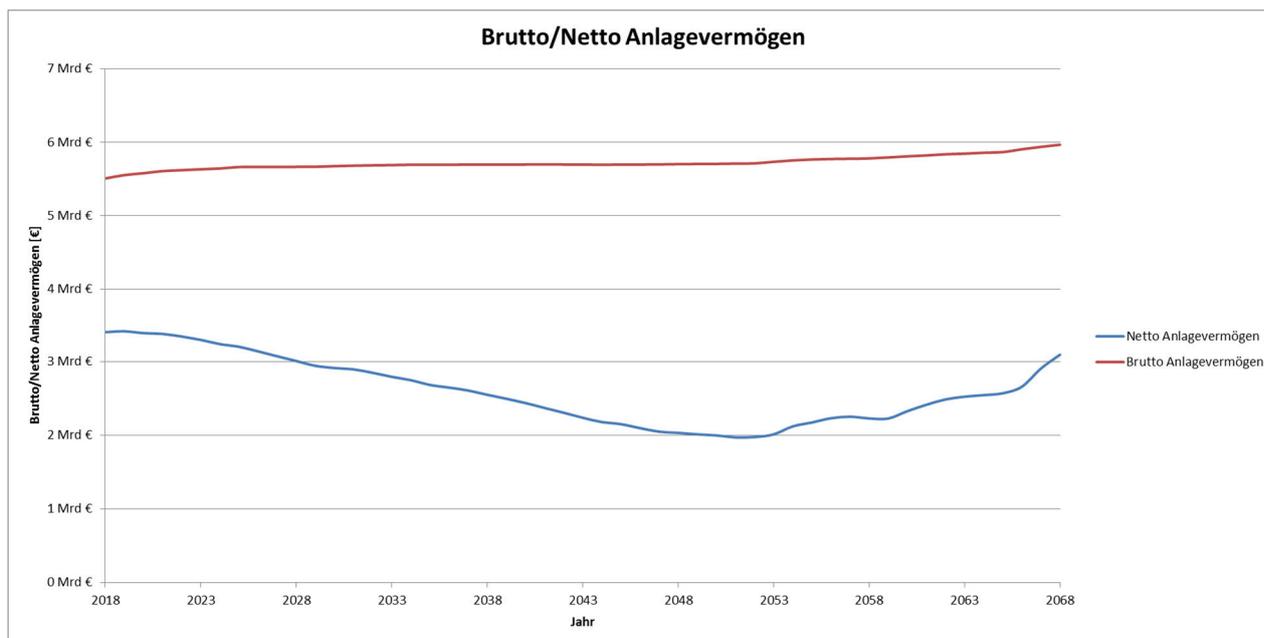


Bild 16: Entwicklung des Brutto/Netto Anlagevermögens

Das Nettoanlagevermögen nimmt bis 2050 kontinuierlich ab, um mit Einsetzen der Erneuerungswelle wieder anzusteigen. Am Ende des Betrachtungszeitraums wird das Ausgangsniveau des Anlagevermögens aber nicht mehr ganz erreicht.

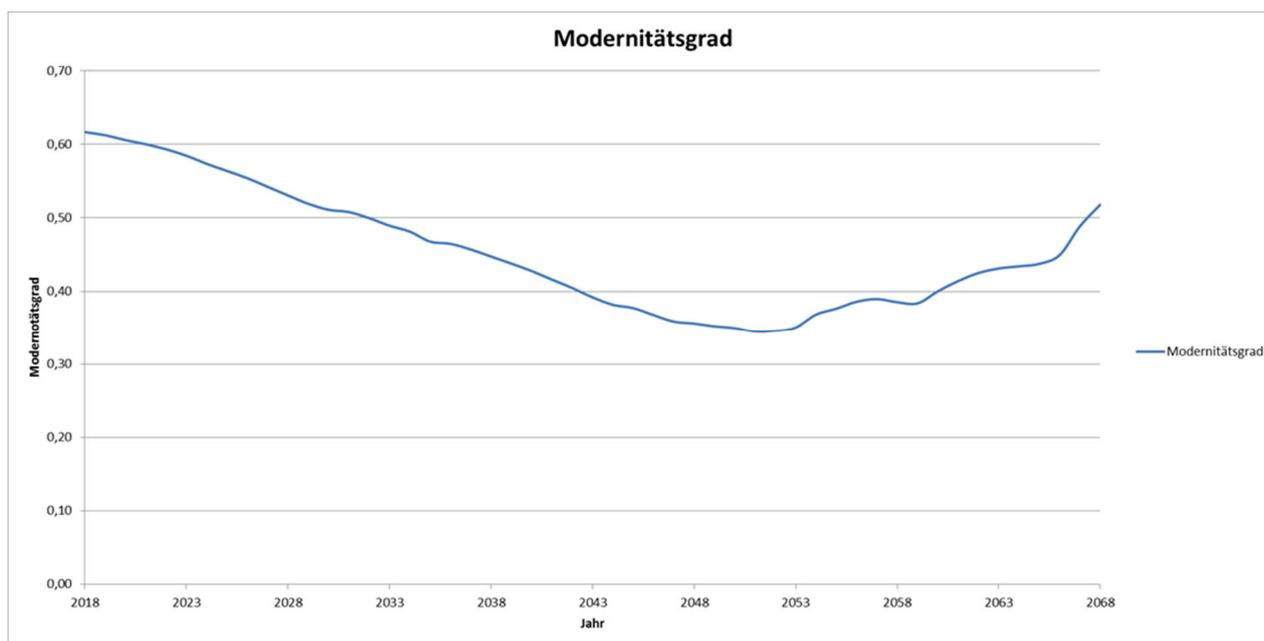


Bild 17: Entwicklung des Modernitätsgrades

Der Modernitätsgrad sinkt ab 2040 sogar erheblich unter 0,4 ab und erreicht am Ende des Betrachtungszeitraums gerade einmal den Wert von 0,5. Der Modernitätsgrad liegt damit erheblich unter dem Ausgangswert.

Dieses Szenario ist als nicht nachhaltig zu bezeichnen.

Berechnung 3 (Realszenario 1):

Grenzsubstanzkennzahl: 3,4

Grenznutzungsdauer: 1,0x theoretische Nutzungsdauer nach ABBV

Maßnahmen an großen Bauwerken:

1x Modernisierung

Maßnahmen an kleinen Bauwerken:

1x partielle Instandsetzung

Ergebnisübersicht:

Gesamtkosten bis 2069: 3,61 Mrd. €

Anzahl der Maßnahmen: 6.844

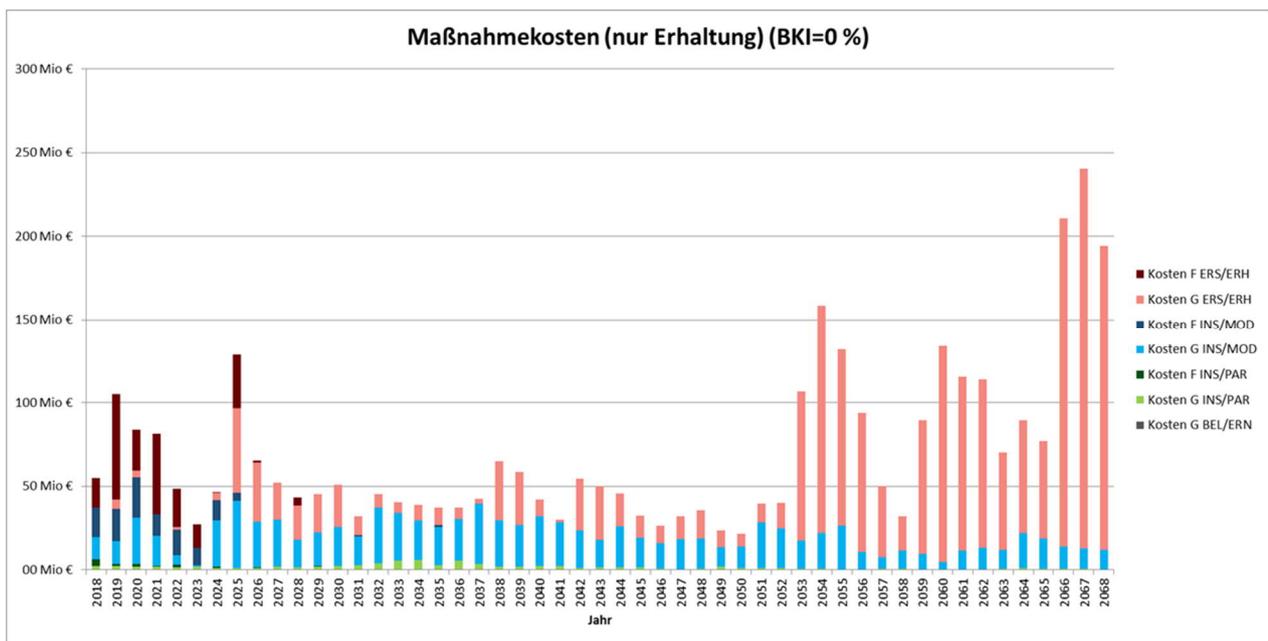


Bild 18: Kosten für Erhaltungsmaßnahmen

Beim Realszenario 1 ähnelt die Verteilung der Maßnahmenkosten der Verteilung der Berechnung für das Idealszenario. Die Summen und die Maßnahmenanzahl unterscheiden sich jedoch deutlich vom Idealszenario, da Instandsetzungen nur in sehr geringem Umfang stattfinden.

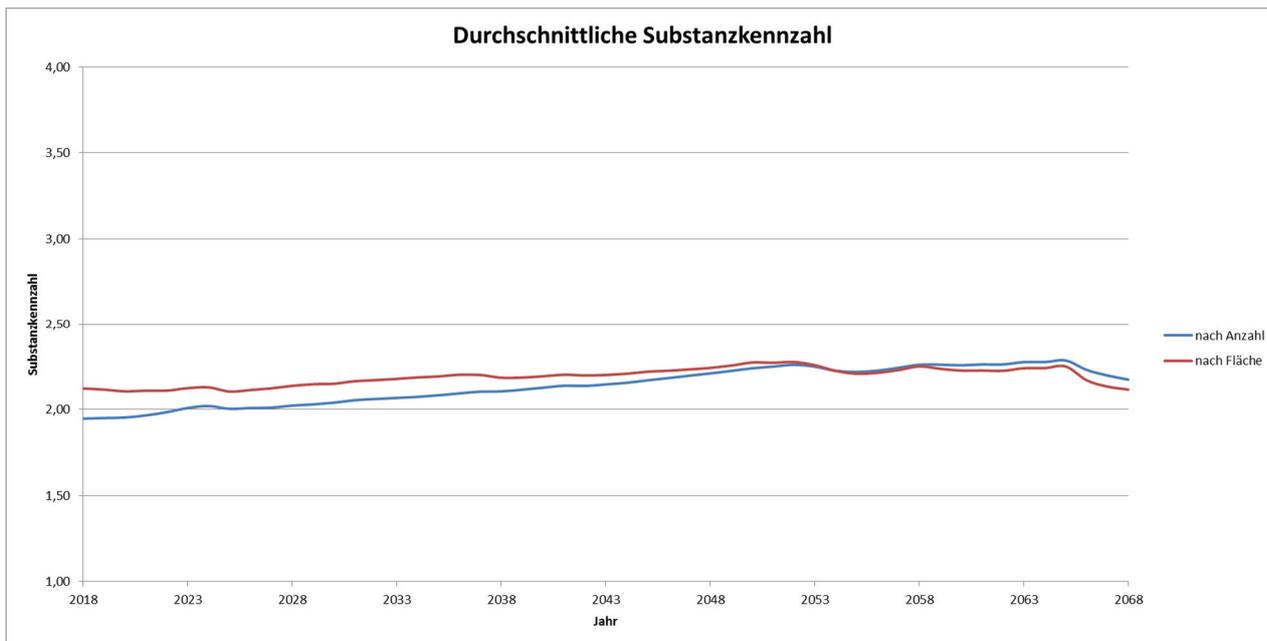


Bild 19: Entwicklung der durchschnittlichen Substanzkennzahl

Beim Realszenario 1 steigt die mittlere Substanzkennzahl von ca. 2,0 langsam auf etwa 2,3 an, bis ab 2050 die Erneuerungswelle einsetzt. Dadurch stabilisiert sich die mittlere Substanzkennzahl bis sie zum Ende des Betrachtungszeitraums hin leicht sinkt. Bezogen auf die Anzahl der Bauwerke liegt die mittlere Substanzkennzahl 2069 leicht über dem Ausgangswert in 2019.

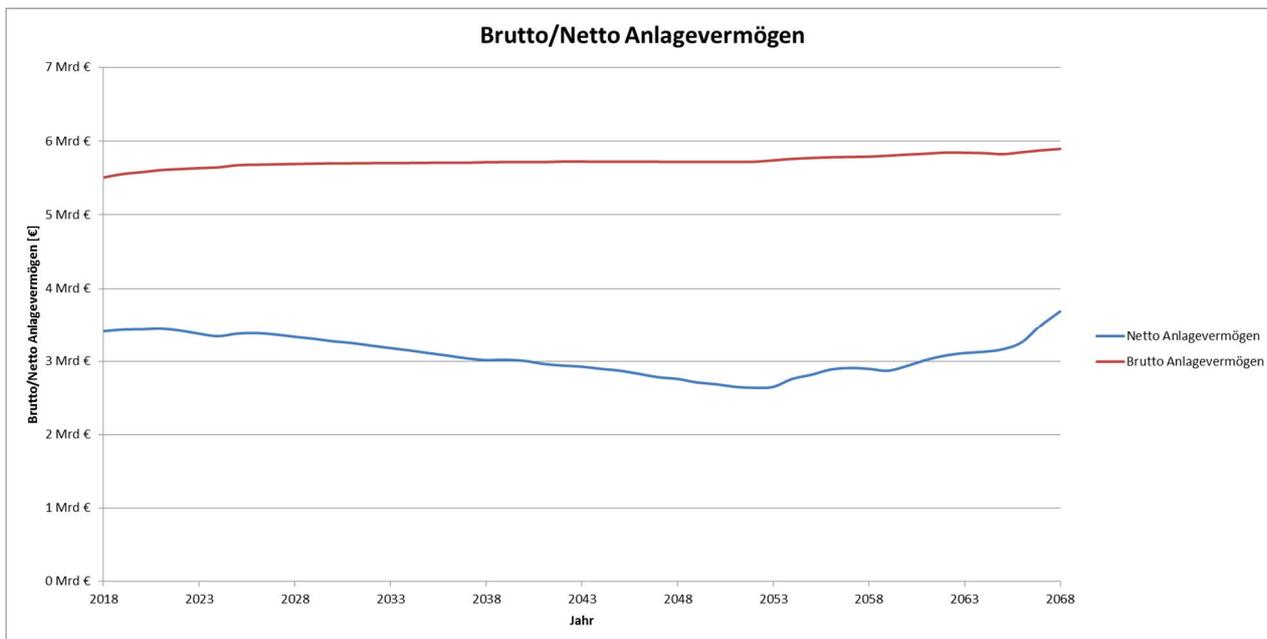


Bild 20: Entwicklung des Brutto/Netto Anlagevermögens

Das Nettoanlagevermögen verringert sich zunächst, um ab 2050 mit Einsetzen der Erneuerungswelle wieder anzusteigen und am Ende des Betrachtungszeitraums im Jahr 2069 leicht über dem Ausgangsniveau zu liegen.

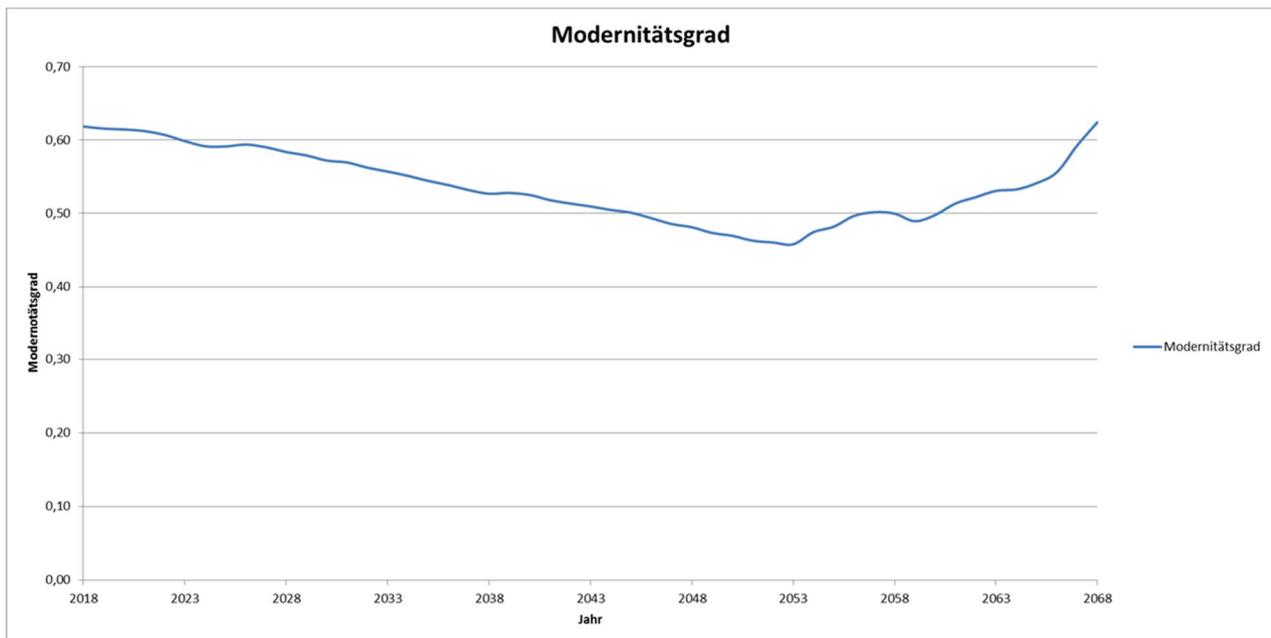


Bild 21: Entwicklung des Modernitätsgrades

Der Modernitätsgrad sinkt zunächst auf etwa 0,45 im Jahr 2053 ab, steigt ab 2050 wieder an, um dann in etwa auf der Höhe des Ausgangswertes leicht über 0,6 zu schließen.

Insgesamt kann das Realszenario1 als einigermaßen nachhaltig zu bewerten. Das Absinken des Modernitätsgrades unter 0,5 bedeutet aber, dass sich zum Ende des Betrachtungszeitraums analog zum Idealszenario ein Erhaltungsrückstand ergibt.

Berechnung 4 (Realszenario 2):

Grenzsubstanzkennzahl: 3,4

Grenznutzungsdauer: 0,85x theoretische Nutzungsdauer nach ABBV

Maßnahmen an großen Bauwerken:

1x Modernisierung

Maßnahmen an kleinen Bauwerken:

1x partielle Instandsetzung

Ergebnisübersicht:

Gesamtkosten bis 2069: 4,77 Mrd. €

Anzahl der Maßnahmen: 8.556

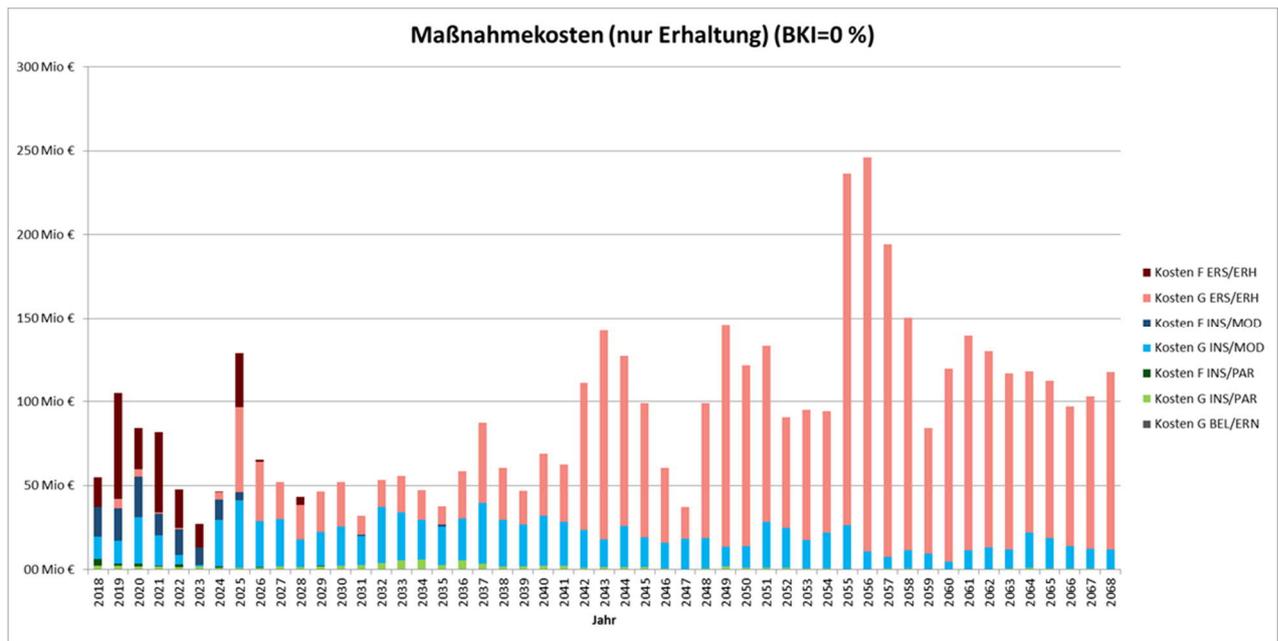


Bild 22: Kosten für Erhaltungsmaßnahmen

Um die Realität besser abbilden zu können, wird beim Realszenario 2 die Grenznutzungsdauer auf 85 % der theoretischen Nutzungsdauer abgesenkt. Durch die Absenkung der Grenznutzungsdauer setzt die Bauwerkserneuerungswelle deutlich früher ein. Dadurch wird die Erneuerung einer deutlich größeren Anzahl von Bauwerken im Betrachtungszeitraum erfasst (bei den anderen drei Szenarien liegen, wie bereits beschrieben, eine Reihe von Erneuerungen der Bauwerke aus den 70er bis 90er Jahren nicht mehr im Betrachtungszeitraum). Dadurch erklärt sich der Anstieg der Gesamtkosten und der Maßnahmenanzahl gegenüber der Berechnung 3 (Realszenario 1).

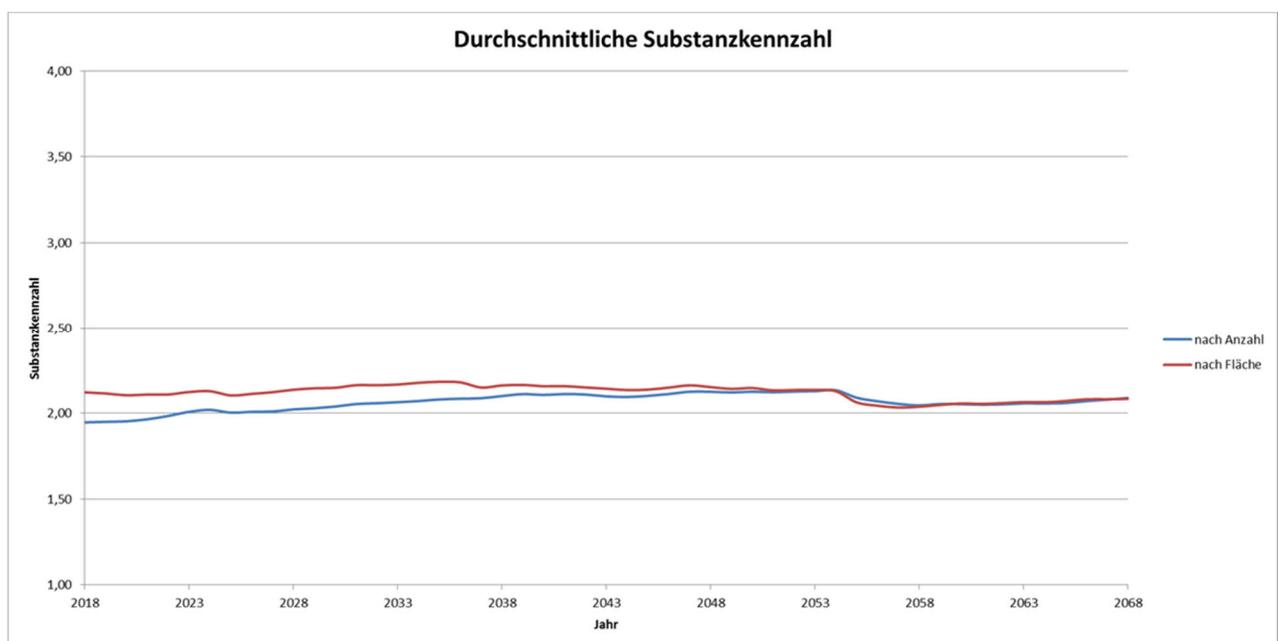


Bild 23: Entwicklung der durchschnittlichen Substanzkennzahl

Mit dem Realszenario 2 erreicht man einen sehr gleichmäßigen Verlauf der mittleren Substanzkennzahl, der sogar das Idealszenario übertrifft. Zudem kommt man mit einer deutlich geringeren Anzahl von Maßnahmen aus, obwohl die Erneuerung einer deutlich größeren Anzahl von Bauwerken im Betrachtungszeitraum erfasst wird.

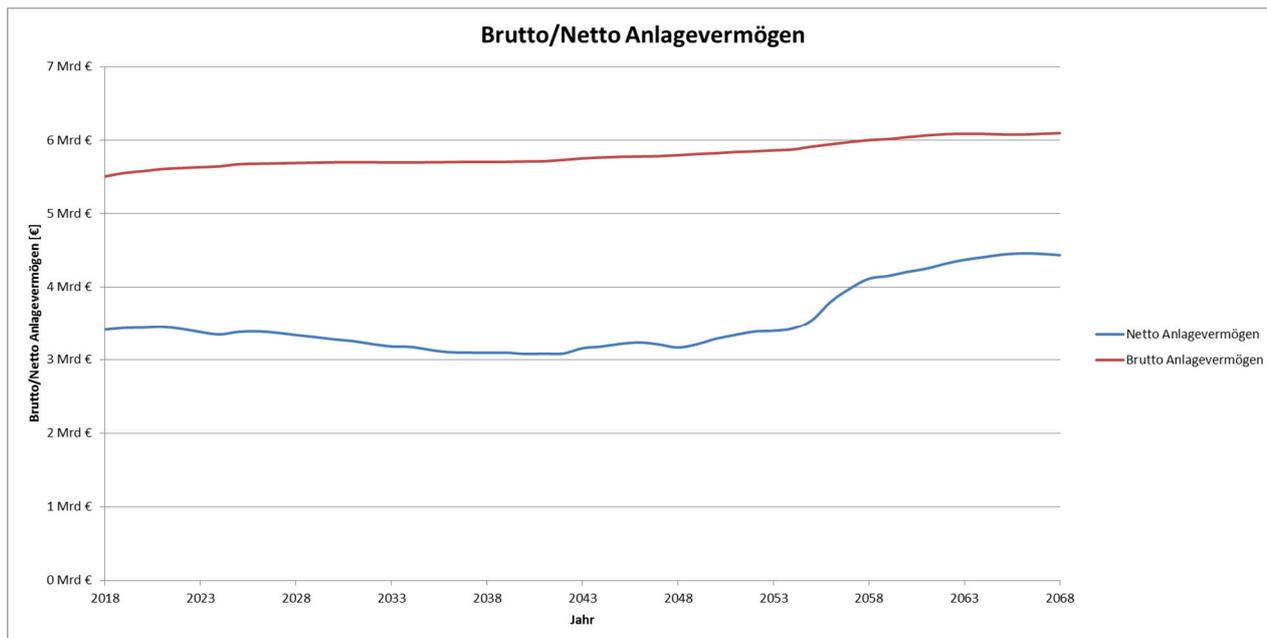


Bild 24: Entwicklung des Brutto/Netto Anlagevermögens

Bei diesem Szenario verändert sich das Nettoanlagevermögen anfangs nur gering. Mit Einsetzen der Erneuerungswelle ab 2040 erhöht sich das Nettoanlagevermögen bis zum Ende des Betrachtungszeitraums. Die Differenz des Nettoanlagevermögens zwischen dem gegenständlichen Realszenario 2 und Realszenario 1 entspricht dabei in etwa der Differenz der Gesamtkosten dieser beiden Szenarien.

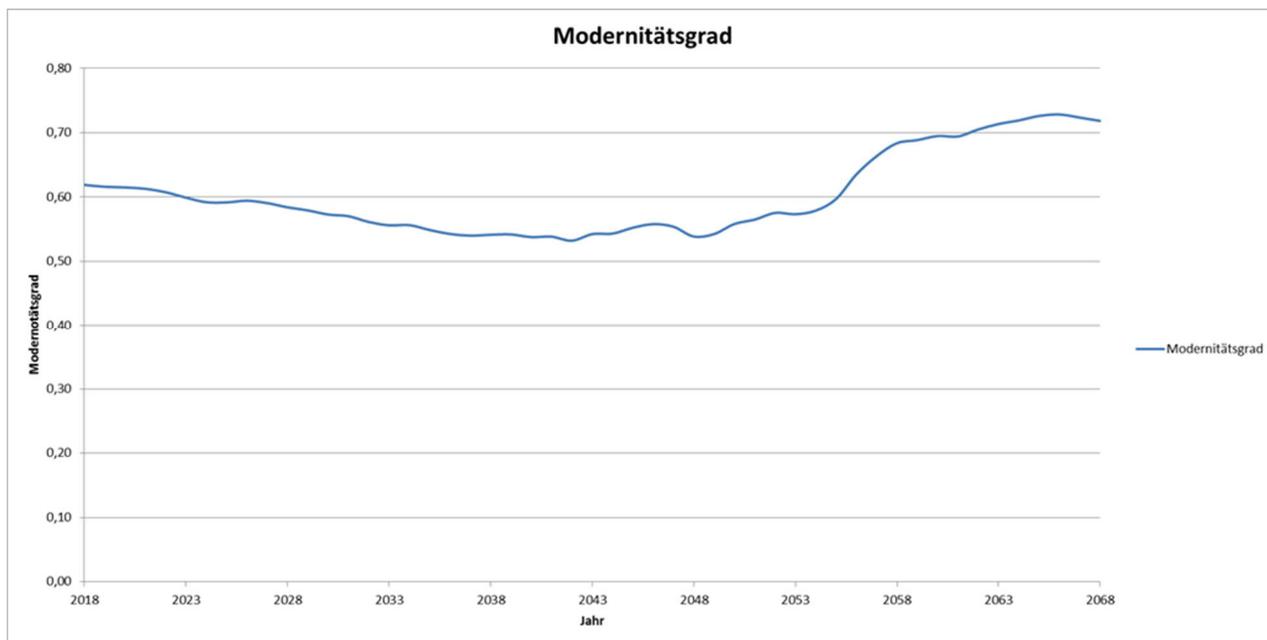


Bild 25: Entwicklung des Modernitätsgrades

Der Modernitätsgrad liegt bei diesem Szenario durchwegs über 0,5 und steigt zum Ende des Betrachtungszeitraums auf über 0,7 an.

Realszenario 2 wirkt dem Substanzverlust aktiv entgegen und ist als sehr nachhaltig zu bezeichnen.

Im Vergleich zum Idealszenario kommt es mit deutlich weniger Maßnahmen aus und liefert in allen Belangen aber bessere Ergebnisse.

Anlage 4 (informativ) Ergänzende Hinweise zum Anlagevermögen / Modernitätsgrad

Die Entwicklung des Anlagevermögens im Verlauf der Nutzungsdauer kann ein wichtiger Indikator zur Beurteilung der Nachhaltigkeit einer Erhaltungsstrategie sein. Verschiedene Rechenhöfe sehen es als erforderlich an, die Vermögensentwicklung in die strategische Planung der Erhaltung einfließen zu lassen [17]. Unterschieden wird in Nettoanlagevermögen und Bruttoanlagevermögen, der Quotient aus beiden Werten wird als Modernitätsgrad bezeichnet. Das Anlagevermögen kann entweder zu Anschaffungskosten oder zu Wiederbeschaffungskosten ermittelt werden. Eine Berechnung zu Anschaffungskosten wird im Rahmen einer Unternehmensbilanz nach Handelsgesetzbuch (HGB) [26] bei doppischer Haushaltsführung zu verfolgen sein, wohingegen bei kameralistischer Haushaltsführung einer Berechnung auf der Basis der Wiederbeschaffungskosten im Rahmen einer volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung der Vorzug einzuräumen ist [18].

Das Nettoanlagevermögen drückt den Zeitwert des Bruttoanlagevermögens aus. Der Modernitätsgrad beschreibt, wieviel Prozent des Vermögens noch nicht abgeschrieben sind und gibt Aufschluss über den Alterungsprozess des Anlagevermögens.

Bei der Beurteilung der Nachhaltigkeit einer Erhaltungsstrategie ist die Entwicklung des Nettoanlagevermögens und der Modernitätsgrad im Zeitverlauf zu betrachten. Eine Erhaltungsstrategie ist dann besonders nachhaltig, wenn das Nettoanlagevermögen über den Betrachtungszeitraum hinweg möglichst konstant bleibt. Steigt das Nettoanlagevermögen im Betrachtungszeitraum an, so findet eine Verjüngung des Bestands statt. Sinkt das Nettoanlagevermögen im Betrachtungszeitraum, so wird Vermögen aufgezehrt und der Bestand auf Verschleiß gefahren. Um keinen Erhaltungsrückstand entstehen zu lassen, sollte der Modernitätsgrad in jedem Fall über 0,5 liegen.

Im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Bilanzierung, deren Grundüberlegungen auch für die volkswirtschaftliche Gesamtrechnung sinngemäß angewendet werden können, wird zwischen konsumtiven Maßnahmen und investiven Maßnahmen unterschieden. Konsumtive Maßnahmen erzeugen Kosten (nicht aktivierungsfähige Kosten) ohne dabei das Anlagevermögen zu erhöhen, investive Maßnahmen hingegen erhöhen das Anlagevermögen (aktivierungsfähige Kosten). Für die Berechnung des Nettoanlagevermögens und des Modernitätsgrades ist es daher wichtig, welche Maßnahmenarten (siehe **Bild 1**) welcher der beiden Kategorien zugeordnet werden.

Die Frage, welche Maßnahmenarten/-typen im Einzelnen aktivierungsfähig im Sinne des HGB [26] sind, wird in der Fachliteratur kontrovers diskutiert. Die genaue Grenzziehung zwischen konsumtiven und investiven Maßnahmen ist im Detail oft nicht einfach. Um eine klare Handlungsgrundlage zu schaffen, empfiehlt es sich durch eine Aktivierungsrichtlinie eine Richtschnur für die Zuordnung vorzugeben.

Im Folgenden wird über die Schaffung einer entsprechenden Aktivierungsrichtlinie definiert, welche Maßnahmenarten/-typen nach **Bild 1** für den Bereich Ingenieurbauwerke als aktivierungsfähig gelten und welche nicht.

Maßnahmen der Modernisierung (siehe **Bild 1**) sind für den Bereich der Ingenieurbauwerke als aktivierungsfähige Investitionen im Hinblick auf die Steigerung des Nettoanlagevermögens und des Modernitätsgrades anzusehen, reine, Instandsetzungen hingegen nicht (siehe **Bild 1**).

Werden im Rahmen einer Modernisierung auch Instandsetzungsarbeiten an einem Bestandsbauwerk durchgeführt, die mit der Modernisierung im zeitlichen, räumlichen oder technischen Zusammenhang stehen, so sind so sind zur Vereinfachung der Handhabung auch die dadurch entstandenen Instandsetzungskosten ebenfalls aktivierungsfähig.

Die vorgenannten betriebswirtschaftlichen Aspekte zur Aktivierungsfähigkeit der einzelnen Maßnahmenarten sind den ingenieurtechnischen Aspekten im Allgemeinen gleichzustellen.

Anlage 5 (informativ)

Hinweise zur kultur-historischen Bewertung von Bauwerken

Exponierte Brücken können eine kultur-historische Bedeutung für ihr Umfeld besitzen. Aus dem identitätsstiftenden Charakter leitet sich eine Erhaltungswürdigkeit für das Bauwerk (Denkmal) ab.

Die Existenz eines Ingenieurbauwerks kann mit einer bestimmten Konstruktion, einer bestimmten Gestaltung, einer bestimmten Region oder auch mit bestimmten Ereignissen untrennbar verbunden sein.

Für die kultur-historische Bewertung können die folgenden drei Merkmale von Bedeutung sein:

- konstruktions-historisch
- regional-kulturell
- kunst-historisch

Der konstruktions-historische Aspekt beschreibt die Besonderheiten der Konstruktion des Ingenieurbauwerks. Es wird Bezug zu besonderen Berechnungs- bzw. Nachweisverfahren, Bauweisen oder Materialien genommen. Ein Nachweisverfahren im Standsicherheitsnachweis, das erstmalig verwendet wurde, ein Ingenieurbauwerk in einer Bauweise zu erstellen, von der kaum noch weitere Zeugnisse existieren oder Materialien, die keine Normungskonformität aufweisen, können als Beispiele genannt werden.

Ingenieurbauwerke, die in herausragender Weise prägend für eine Stadt oder eine Region sind, kommt eine regional-kulturelle Bedeutung zu. Das können Ingenieurbauwerke sein, die mit besonderen historischen Ereignissen oder bestimmten gesellschaftlichen oder industriellen Entwicklungen in Verbindung stehen.

Die Gestaltung eines Bauwerks und seine Formgebung spiegeln den kunst-historischen Aspekt wider. Geländer mit floralen Gestaltungselementen, Ornamente in Brüstungen oder Stützenkapitelle mit historischem Bezug verleihen dem Ingenieurbauwerk seinen individuellen Charakter. Aus dieser Formensprache wird der Entwurfsgedanke sichtbar.

Anlage 6 (informativ) Entwicklung von Bauwerkszustand und Anlagewert

Die Erhaltungsstrategie mit kontrollierter Schadensentwicklung basiert auf der Voraussetzung, dass die notwendigen Erhaltungsmaßnahmen in bestimmten Zeiträumen durchgeführt werden. Ziel dieser Strategie ist es, die altersbedingte Verschlechterung des Bauwerkszustandes zu kontrollieren und gleichzeitig die Funktions- und Leistungsfähigkeit des Bauwerksbestandes zu gewährleisten.

Der schlagartigen Verschlechterung des Bauwerkszustands wird durch gezielte betriebliche und bauliche Maßnahmen entgegengewirkt. Die Notwendigkeit dieser Maßnahmen ergibt sich aus dem baulichen Zustand, der im Zuge der Bauwerksprüfung nach DIN 1076 [1] erfasst, dokumentiert und bewertet wird.

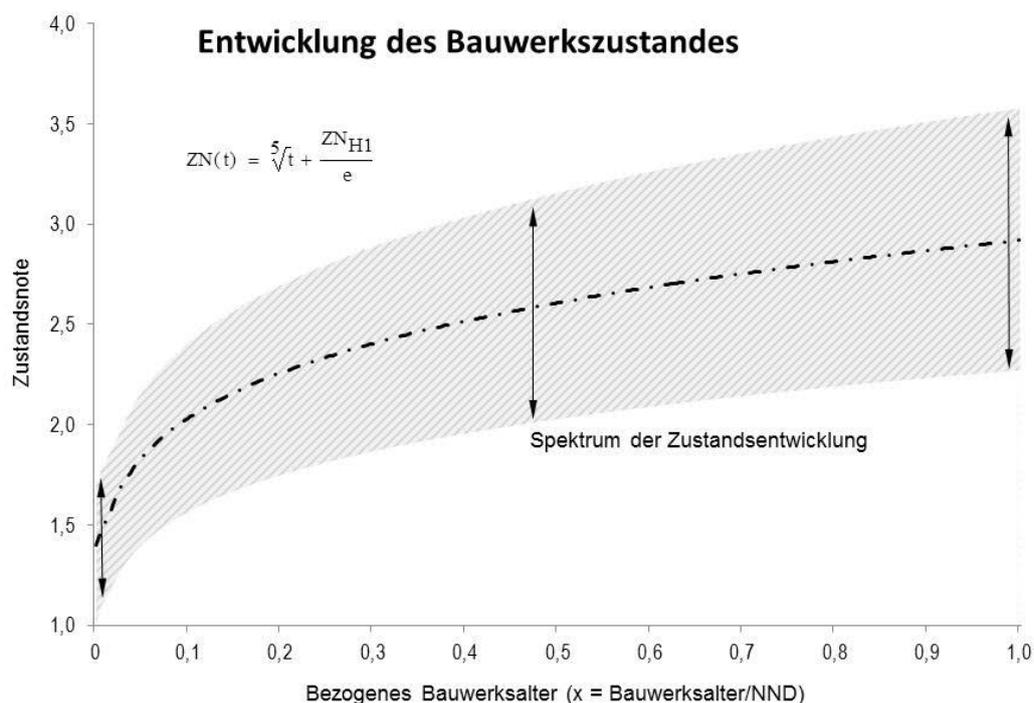


Bild 26: Entwicklung des baulichen Zustands über die Nutzungsdauer

Wird bei der Entwicklung des baulichen Zustands von Brückenbauwerken berücksichtigt, dass bauliche Maßnahmen im Zuge der Bauwerkserhaltung durchgeführt werden, ergibt sich über die Nutzungsdauer der in **Bild 26** dargestellte Verlauf. Hierbei wird der bauliche Zustand durch die Zustandsnote repräsentiert. Dieser Verlauf lässt sich über die Funktion:

$$Z_N(t) = 5\sqrt[5]{t} + \frac{Z_{N_{H1}}}{e} \quad (\text{für } t \geq 3 \text{ Jahre und } Z_{N_{H1}} \leq 2,0) \quad (\text{A7.1})$$

mathematisch beschreiben.

In Gleichung A7.1 bedeuten:

- $Z_N(t)$ - Zustandsnote der Bestandsbauwerke zu einem bestimmten Zeitpunkt t
- $Z_{N_{H1}}$ - Zustandsnote der H1-Prüfung
- t - Zeitpunkt zu dem der bauliche Zustand ermittelt werden soll
- e - Konstante Eulersche Zahl

Die Funktion gibt innerhalb eines Spektrums den durchschnittlichen Verlauf der Entwicklung des Bauwerkszustands wieder. Als wesentliche Einflussgrößen der Zustandsentwicklung fungieren die Nutzungsdauer und der bauliche Zustand zur Inbetriebnahme. Ab einer durchschnittlichen Zustandsnote der H1-Prüfungen (1. Hauptprüfung) von $> 2,0$ liefert die Funktion in den ersten

Jahren der Nutzungsdauer keine plausiblen Ergebnisse. So markiert der Wert von 2,0 einen Schwellenwert, der als Durchschnittswert für H1-Prüfungen bezogen auf den Bauwerksbestand inakzeptabel ist.

Der Funktion liegen neben zeitlich bedingten Materialschädigungsprozessen, Alterung, Verschleiß und Schädigungen infolge der Verkehrsbelastung auch Schädigungen infolge Fremdeinwirkung aus Verkehrsunfällen und Auswirkungen aus baulichen Veränderungen infolge Unterhaltungs-, Instandsetzungs- und Erweiterungsmaßnahmen zu Grunde. Die Erhaltungsmaßnahmen bewirken, dass nach ungefähr der Hälfte der Nutzungsdauer der Anstieg deutlich flacher ausfällt, d. h. eine sukzessive und damit verhältnismäßig gut steuerbare Verschlechterung des Bauwerkszustands stattfindet.

Werden erforderliche betriebliche und bauliche Maßnahmen im Rahmen der Bauwerkserhaltung in bestimmten Zeiträumen realisiert, kann mit dieser Erhaltungsstrategie eine kontrollierte Schadensentwicklung unter Beachtung der Verkehrssicherungspflicht erreicht werden.

Die Entwicklung des Bauwerkszustands und des Anlagewerts über die Nutzungsdauer für ein durchschnittliches Bauwerk in der Gesamtheit des Bauwerksbestandes ist in **Bild 27** dargestellt.

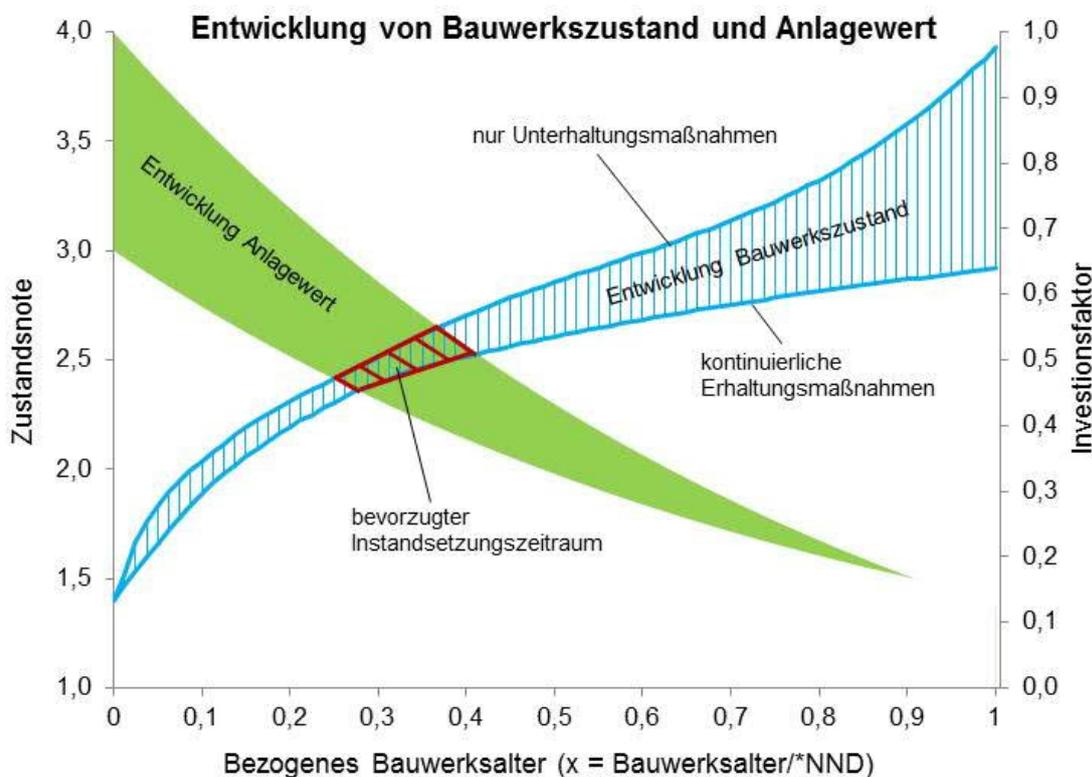


Bild 27: Entwicklung von Bauwerkszustand und Anlagewert

Die Entwicklung des Bauwerkszustands über die Nutzungsdauer ist abhängig vom Bauwerksalter zum Betrachtungszeitpunkt und von der Zustandsnote der 1. Hauptprüfung, d. h. vom baulichen Zustand unmittelbar nach Fertigstellung des Bauwerks. Mit zunehmender Nutzungsdauer verschlechtert sich infolge zeitlich bedingter Materialschädigungsprozesse, Alterung, Verschleiß und Schädigungen aus der Verkehrseinwirkung sowie ggf. unplanmäßiger Einwirkungen der Bauwerkszustand, erkennbar an einer steigenden Zustandsnote. Die Zunahme der Zustandsnote erfolgt in einer gewissen Bandbreite. Der untere Grenzbereich stellt sich ein, wenn kontinuierliche Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden. Ein durchschnittliches Bauwerk startet zu Beginn seiner Nutzungsdauer mit einer Zustandsnote von 1,4 und erreicht bei NND = 1,0 einen Wert von 2,9. Werden nur Unterhaltungsmaßnahmen umgesetzt, erfährt ein durchschnittliches Bauwerk nach ca. der Hälfte seiner theoretischen Nutzungsdauer einen progressiven Anstieg. Bei gleicher Startnote von 1,4 beträgt die Zustandsnote 4,0 bei NND = 1,0.

Wird die Zustandsentwicklung in Relation zum Anlagevermögen gesetzt, ergibt sich über die Nutzungsdauer eine gegenläufige Entwicklung. Unmittelbar nach Fertigstellung besitzt ein Bauwerk einen Anlagewert, der den vollständigen Investitionskosten entspricht (Investitionsfaktor = 1,0). Mit zunehmender Nutzungsdauer folgt die Entwicklung des Bauwerkszustandes einem degressiven Verlauf. Der Anlagewert nimmt stetig ab. Erreicht dieser Verlauf das Spektrum der Entwicklung des Bauwerkszustandes, bildet sich ein Überschneidungsbereich aus. Diese zeitliche Schnittmenge stellt den bevorzugten Zeitraum für Erhaltungsmaßnahmen dar.