

Nachhaltigkeitsbewertung für Erhaltungs- und Ertüchtigungskonzepte von Straßenbrücken

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 134

bast

Nachhaltigkeitsbewertung für Erhaltungs- und Ertüchtigungskonzepte von Straßenbrücken

von

Oliver Fischer
Sebastian Gehrlein

Technische Universität München
Lehrstuhl für Massivbau

Jan Lingemann

Büchting + Streit AG, München

Jörg Jungwirth

SSF Ingenieure, München

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 134

bast

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

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

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

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

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE: 15.0590/2012/RRB:
Nachhaltigkeitsbewertung für Erhaltungs- und Ertüchtigungskonzepte von Straßenbrücken

Fachbetreuung:
Cyrus Schmellekamp

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

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 9043-9293
ISBN 978-3-05606-271-1

Bergisch Gladbach, August 2016

Kurzfassung – Abstract

Nachhaltigkeitsbewertung für Erhaltungs- und Ertüchtigungskonzepte von Straßenbrücken

Der vorliegende Forschungsbericht behandelt die Bewertung der Nachhaltigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen an Straßenbrücken. Die Grundlage für die Nachhaltigkeitsbewertung der einzelnen Maßnahmen bildet dabei die in den vorhergehenden Forschungsvorhaben FE 15.0490 „Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturprojekte im Hinblick auf die Nachhaltigkeit“ (GRAUBNER, 2010) und FE 09.0164 „Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel“ (FISCHER, 2013) entwickelte Systematik.

Ziel des aktuellen Forschungsvorhabens ist es, die vorhandene Systeme zur Nachhaltigkeitsbewertung für die Straßeninfrastrukturelemente Brücke, Tunnel und freie Strecke so zu modifizieren und zu erweitern, dass diese auch für die Beurteilung der Nachhaltigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen an Straßenbrücken einsetzbar sind. Um die relevanten Kriterien für die Bewertung der Nachhaltigkeit zu identifizieren, wurde eine Studie zum prognostizierten Erhaltungsbedarf des Streckenabschnitts Langenbruck-Holledau auf der Bundesautobahn A 9 München-Nürnberg herangezogen. Zudem wurden das aktuelle Forschungsvorhabens FE 15.0570 „Verstärkung älterer Beton- und Spannbetonbrücken – Erarbeitung einer Erfahrungssammlung“ (SCHNELLENBACH-HELD, 2014) ausgewertet sowie eine weitere Studie zum Einsparpotenzial durch Überprüfung der tatsächlichen Einwirkungen und Widerstände genutzt, um ein möglichst realitätsnahes Bewertungssystem zu erstellen.

Die Nachhaltigkeit der einzelnen Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen soll auf Ebene des übergeordneten Verkehrsnetzes beurteilt werden. Es wurden deshalb verschiedene Betrachtungsebenen zur Beurteilung der Nachhaltigkeit eingeführt mit Hilfe derer die einzelnen Maßnahmen bezüglich ihrer Auswirkungen auf das umgebende Straßennetz überprüft und die Vorteile einer Bündelung bzw. Koordination der einzelnen Maßnahmen aufgezeigt werden können.

Sustainability assessment of maintenance and strengthening works on road bridges

In the course of the present research project the assessment of the sustainability of maintenance and strengthening works on road bridges was investigated. This sustainability assessment is thereby based on the previous research projects FE 15.0490 “Development of consistent assessment criteria for infrastructure projects with regard to sustainability“ (GRAUBNER, 2010) and FE 09.0164 “Consistent assessment criteria for elements of the road infrastructure with regard to sustainability – street and tunnel“ (FISCHER, 2013).

Aim of the current research project is to modify and enlarge the existing assessment systems for the sustainability of bridges, tunnels and free road in order to make them useable for the sustainability rating of maintenance and strengthening works on road bridges. Therefore a study to the prognosticated maintenance need on the section Langebruck-Holledau of the federal motorway A9 München-Nürnberg was used to identify the significant criteria for the assessment of the sustainability. Furthermore the recent research project FE 15.0570 “Strengthening of elder concrete and prestressed concrete bridges – development of an experience collection“ (SCHNELLENBACH-HELD, 2014) was exploited. Additionally another survey according the saving potential by verifying the actual load and resistance was used in order to develop a close to reality assessment system.

The sustainability of the single maintenance and strengthening works should be considered on the level of the higher transport network. Therefore different levels of view to assess the sustainability were established. According to the different levels of view the consequences of the individual works on the higher transport network can be screened and thereby the possibilities and advantages which come into existence by concentrating and coordinating the individual works can be shown.

Inhalt

Vorwort	7	2.6.3 Ermittlung der Bauwerksreaktionen	23
1 Einleitung	9	2.6.4 Ermittlung von repräsentativen Werten	23
1.1 Abgrenzung	9	2.6.5 Ergebnisse und Zwischenfazit	23
1.2 Vorgehen und Methodik	10	3 Bewertungsverfahren	24
1.2.1 Analyse bestehender Verfahren zur Beurteilung der Nachhaltigkeit	10	3.1 Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens	24
1.2.2 Anpassung der existierenden Konzepte zur Beurteilung der Nachhaltigkeit	10	3.1.1 Bewertung anhand von Steckbriefen	24
1.2.3 Analyse bestehender Ertüchtigungs- und Unterhaltungsverfahren	11	3.1.2 Synergieeffekte	25
1.2.4 Konzept zur Ermittlung des tatsächlichen Ertüchtigungsbedarfs	11	3.2 Gesamtkonzept „Erhalt und Ertüchtigung“	25
2 Grundlagen	12	3.3 Verfahren zur Bewertung der Nachhaltigkeit für die Erhaltung und Ertüchtigung für Brückenbauwerke	26
2.1 Allgemeines	12	3.4 Planungshilfsmittel (Steckbriefe/Kriterienkatalog)	26
2.2 Bestehende Verfahren der Erhaltung und Ertüchtigung	12	3.4.1 Gestrichene Kriterien	27
2.3 Betrachtungsebenen zur Beurteilung der Nachhaltigkeit	12	3.4.2 Anpassung der Kriterien	29
2.3.1 Erhaltungsstrategien	13	4 Zusammenfassung und Ausblick	31
2.3.2 Top-Down-Analyse	14	4.1 Bewertungssystem	31
2.3.3 Bottom-Up-Analyse	15	4.2 Grenzen des Systems	31
2.4 Auswertung von Praxisbeispielen	16	4.3 Vereinfachte Betrachtung	32
2.4.1 Vergleich der untersuchten Studie mit dem Gesamtbestand an Autobahnbrücken	16	4.4 Forschungsbedarf	32
2.4.2 Ergebnisse und Zwischenfazit	18	5 Literatur	33
2.5 Ertüchtigungsmaßnahmen	19		
2.5.1 Zusätzliche Vorspannung	20		
2.5.2 Verstärkung mit Stahlprofilen	20		
2.5.3 Ort- und Spritzbetonergänzung	21		
2.5.4 Zusätzliche Bewehrung in Nuten	21		
2.6 Überprüfung des tatsächlichen Ertüchtigungsbedarfs	22		
2.6.1 Allgemeines	22		
2.6.2 Verkehrssimulationen	23		
		Anhang	
		Der Anhang zum Bericht ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter:	
		http://bast.opus.hbz-nrw.de abrufbar	

Vorwort

Forschungskonzeption „Nachhaltigkeitsbewertung für Straßeninfrastrukturen“

Nachhaltigkeit und Klimaschutz sind wesentliche Herausforderungen unserer Gesellschaft, denen sich die Bundesregierung in nationalen und internationalen Verträgen und Programmen verpflichtet hat.

Für den Neubau von Bundesbauten ist seit der Einführung des überarbeiteten Leitfadens „Nachhaltiges Bauen“ im Jahr 2011 die Anwendung des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) verbindlich. Im Rahmen einer Forschungskonzeption hat das BMVI den Übertragungs- und Anpassungsbedarf des Hochbau-Bewertungsverfahrens auf Straßeninfrastrukturen ermitteln lassen. Hiermit wurde die Arbeitsgruppe „Nachhaltigkeitsbewertung der Straßeninfrastrukturen“ unter dem Dach des BMVI und unter Leitung der BAST beauftragt.

Ziel war die Entwicklung eines ganzheitlichen Bewertungsansatzes zur integrierten Nachhaltigkeitsbewertung der Straßeninfrastruktur. Hierzu wurden mehrere Forschungsprojekte für die verschiedenen Elemente der Straßeninfrastruktur (Straße, Brücke, Tunnel) umgesetzt.

Dieses Bewertungsverfahren berücksichtigt gleichwertig ökologische, ökonomische sowie soziale und technisch-funktionale Aspekte über den gesamten Lebenszyklus der Infrastrukturobjekte und ermöglicht den Variantenvergleich auf Objektebene. Das modular aufgebaute Bewertungsverfahren umfasst verschiedene Module für die Phasen Planung, Ausschreibung und Bau sowie Abnahme von Bauleistungen für die verschiedenen Elemente der Straßeninfrastrukturen. Die Verifizierung des Bewertungsverfahrens einschließlich seiner aufgezeigten Module in Pilotprojekten steht noch aus.

Ein Überblick über das Gesamtkonzept und die Zusammenfassung bereits abgeschlossener Projekte der Forschungskonzeption wird im Schlussbericht der BAST FE 1100.2111000 „Weiterentwicklung von Verfahren zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Verkehrsinfrastrukturen“ gegeben.

Das Ergebnis der Arbeitsgruppe zeigt, basierend auf den Schlussberichten der Forschungsprojekte, dass die Entwicklung eines Systems zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten für Straßeninfrastrukturen nach dem Vorbild des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen grundsätzlich möglich und zielführend ist. Mit dem entwickelten Bewertungssystem kann den gestiegenen Anforderungen aus gesellschaftlichen Wünschen und internationalen Abkommen hinsichtlich einer deutlichen Berücksichtigung von Aspekten der Nachhaltigkeit sowie zu Klimaschutzzielen für den Bereich der Straßeninfrastrukturen Rechnung getragen werden.

Bergisch Gladbach 2016

1 Einleitung

1.1 Abgrenzung

Individuelle Mobilität sowie Gütertransport sind wesentliche Bestandteile der modernen Gesellschaft. Unter dem Gesichtspunkt des steigenden Verkehrsaufkommens (insbesondere des Schwerlastverkehrs) und dessen Bedeutung für gesellschaftliche Entwicklungen und wirtschaftlichen Wachstum ist die Erhaltung der bestehenden Verkehrsinfrastruktur ein wesentliches gesellschaftliches Ziel. Straßenbrücken und andere Ingenieurbauwerke sind ein zentraler Bestandteil des Verkehrsangebots und somit maßgebend für die Funktionalität des Verkehrsinfrastrukturnetzes. Bezogen auf die Brückenfläche beträgt aktuell das Alter bei 57,2 % (GUNREBEN, 2014) der Brückenbauwerke 30 oder mehr Jahre. Diese Altersstruktur sowie das gestiegene Verkehrsaufkommen haben zur Folge, dass der Erhaltungs- und Ertüchtigungsbedarf von Straßenverkehrsbrücken auch in Zukunft sehr hoch sein wird. Bei der Bewertung und Beurteilung verschiedener Ausführungsvarianten gewinnen, neben wirtschaftlichen Abwägungen, Nachhaltigkeitsbetrachtungen zunehmend an Bedeutung. So existieren beispielsweise für Hochbauten bereits eine Vielzahl von Bewertungs- und Zertifizierungssystemen wie z. B. das Gütesiegel der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), die als Ergebnis vor allem einen absoluten Vergleich fertiggestellter Objekte liefern. Da bei Verkehrsinfrastrukturprojekten jedoch standortspezifische Rahmenbedingungen eine übergeordnete Rolle spielen, können die existierenden Bewertungskriterien aus dem Hochbau nicht ohne weiteres auf die Ingenieurbauwerke der Verkehrsinfrastruktur übertragen werden (BAUMGÄRTNER, 2012). Aufgrund dessen wurden in den vergangenen Jahren bereits einige Forschungsvorhaben zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Strecken und den zugehörigen Ingenieurbauwerken durchgeführt. Hier sind unter anderem die Forschungsprojekte FE 15.0490 „Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturprojekte im Hinblick auf die Nachhaltigkeit“ (GRAUBNER, 2010) und FE 09.0164 „Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel“ (FISCHER, 2013) zu nennen. In diesen Forschungsvorhaben wurden auf Steckbriefen basierende Systeme entwickelt, anhand derer geplante Bauwerksvarianten mithilfe einer Punkte- bzw.

monetären Bewertung bezüglich ihrer Nachhaltigkeit verglichen und beurteilt werden können.

Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines geeigneten Planungstools, mit dem die Nachhaltigkeit verschiedener Erhaltungs- und Ertüchtigungskonzepte für Straßenbrücken analysiert und verglichen werden kann.

Hierzu werden zum einen die bisher bestehenden Steckbriefe für den Neubau von Straßenbrücken, freier Strecke und Tunneln hinsichtlich ihrer Relevanz bezüglich Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen analysiert und überprüft. Anschließend werden auf Grundlage dieser Analyse die existierenden Kriterienkataloge hinsichtlich der für Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen relevanten Parameter angepasst, also ggf. erweitert, gekürzt oder verändert. Dabei soll auf das im FE 09.164 „Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel“ (FISCHER, 2013) eingeführte, modulare System der Steckbriefe aufgebaut werden. Auch die Reduktion der Nachhaltigkeitsbewertung auf die vier Säulen ökologische Qualität, ökonomische Qualität, sozio-kulturelle und funktionale und technische Qualität soll beibehalten werden, da eine Bewertung der Prozessqualität bei einem Variantenvergleich vor Baubeginn weder sinnvoll noch zielführend ist.

Zum anderen wird in diesem Forschungsvorhaben ein besonderes Augenmerk auf die Bewertung der Notwendigkeit von Ertüchtigungsmaßnahmen gelegt, nachdem die bisherigen Untersuchungen gezeigt haben, dass beim aktuellen Vorgehen unter Umständen ein zu hoher Ertüchtigungsbedarf ermittelt wird. Hier wird eine den Steckbriefen vorgelegte Entscheidungshilfe erarbeitet, mithilfe derer die Einflüsse eines zu sehr auf der sicheren Seite liegenden Verkehrslastmodells auf den ermittelten Ertüchtigungsbedarf berücksichtigt werden sollen. Auch und gerade bei temporär begrenzten Ertüchtigungsmaßnahmen hat die zu berücksichtigende Verkehrslast einen wesentlichen Einfluss auf die ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit der Maßnahme und sollte deshalb möglichst exakt bestimmt werden.

Ein weiterer Punkt zur Optimierung der Nachhaltigkeit von Ertüchtigungsmaßnahmen liegt in den möglichen Synergieeffekten bei gleichzeitiger Durchführung einer oder mehrerer Erhaltungsmaß-

Bauliche / betriebliche Maßnahmen im Brücken und Ingenieurbau	Bauwerks- erhaltung	Ertüchtigung (Tragfähigkeitserhöhung)		Planung entsprechend RPE-ING
		Bauwerkserneuerung/Ersatzneubau (ohne kapazitive Erweiterung)		
		Überbauerneuerung (ohne kapazitive Erweiterung)		
		Instandsetzung		
	Bauwerks- unterhaltung	Bauliche Unterhaltung (kleinere Baumaßnahmen ohne wesentliche Anhebung des Gebrauchswertes)		
		Betriebliche Unterhaltung (kleinere Eigenregiemaßnahmen ohne wesentliche Anhebung des Gebrauchswertes)		
Neubau, Um-/ Ausbau				

Bild 1: Allgemeine Definition möglicher Maßnahmen

nahmen (vgl. Bild 1). Durch die Kombination und zeitgleiche Durchführung von kurz- oder mittelfristig anstehenden Erhaltungsmaßnahmen mit notwendigen Ertüchtigungsmaßnahmen an einem oder auch bei mehreren benachbarten Bauwerken kann die Nachhaltigkeit der einzelnen Maßnahmen gegebenenfalls signifikant gesteigert werden. Ein Beispiel hierfür sind reduzierte Stauemissionen durch kürzere Sperrzeiten einer Straßenbrücke. Hier wird ein Hilfsmittel entwickelt, das die Verwaltung oder auch den planende Ingenieur in der Entscheidungsfindung unterstützt.

Auch die Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem kürzlich abgeschlossenen Forschungsvorhaben FE 15.0570 „Verstärkungen älterer Beton- und Spannbetonbrücken – Erarbeitung einer Erfahrungssammlung“ (SCHNELLENBACH-HELD, 2014) werden im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts berücksichtigt.

1.2 Vorgehen und Methodik

1.2.1 Analyse bestehender Verfahren zur Beurteilung der Nachhaltigkeit

Aktuell existiert bereits eine Vielzahl verschiedener Bewertungskonzepte, die die Nachhaltigkeit von Hochbauten messbar machen. Der Großteil dieser Zertifizierungssysteme baut dabei auf einem absoluten Vergleich unterschiedlicher Gebäude an verschiedenen Standorten auf. Diese Herangehensweise ist vor allem für Investoren oder Nutzer vorteilhaft, da hierdurch u. a. die ökologischen Vorteile, die Wohnqualität und nicht zuletzt die Lebenszykluskosten direkt gegenübergestellt werden können. Zudem verbessert ein

Zertifikat die Vermarktungschancen einer Immobilie sowie das Image der Investoren (BAUMGÄRTNER, 2012). Wie die vorhergehenden Forschungsvorhaben zur Nachhaltigkeitsbewertung der Straßeninfrastruktur (GRAUBNER, 2010; FISCHER, 2013) gezeigt haben, ist dieser absolute Vergleich bei Bauwerken der Straßeninfrastruktur nicht zielführend. Die Bauwerke der Infrastruktur werden grundsätzlich nicht zum Verkauf angeboten und benötigen deshalb keine Vermarktung durch Zertifikate. Stattdessen steht bei einem Großteil der Infrastrukturprojekte vielmehr die Notwendigkeit der Baumaßnahme im Vordergrund. Somit birgt ein Vergleich verschiedener Ausführungsvarianten das größte Potenzial für die Erstellung eines möglichst nachhaltigen Bauwerks.

Die bereits vorliegenden Konzepte zur Nachhaltigkeitsbewertung der Straßenverkehrsinfrastruktur sind als Steckbriefsystem organisiert, jedem Nachhaltigkeitskriterium ist dabei ein Steckbrief zugeordnet. Um eine einheitliche Darstellung zu gewährleisten und einen Vergleich zwischen Neubau und Ertüchtigung möglich zu machen, wird auf diese bereits vorliegenden Bewertungssysteme zurückgegriffen. Das in diesem Bericht verwendete Steckbriefsystem orientiert sich an dem im FE 09.164 „Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel“ (FISCHER, 2013) entwickelten modularen System der Steckbriefe. Die Steckbriefe sind dabei, um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, in drei Ebenen aufgeteilt. In Ebene 1 befinden sich die Steckbriefdeckblätter in denen das relevante Kriterium und die Bewertungsmethode kurz beschrieben sowie weitere Hinweise gegeben werden. In Ebene 2 werden die Berechnungs- und Bewertungsmethoden mithilfe von Tabellen und Hinweisen ausführlich dargestellt; Ebene 3 beinhaltet schließlich die systemspezifischen Steckbriefe.

1.2.2 Anpassung der existierenden Konzepte zur Beurteilung der Nachhaltigkeit

Aufbauend auf den abgeschlossenen Forschungsvorhaben zur Nachhaltigkeitsbewertung von Straßeninfrastruktur (GRAUBNER, 2010; FISCHER, 2013), wird das existierende modulare Steckbriefsystem entsprechend der Anforderungen, die sich bei Ertüchtigungs- bzw. Erhaltungsmaßnahmen stellen, angepasst.

Der modulare Aufbau der Steckbriefe soll dabei beibehalten bleiben; die Kriterien selbst werden überprüft und verschiedene, für Ertüchtigung- und Erhaltungsmaßnahmen nicht relevante, Kriterien gestrichen. Aufgrund der, im Vergleich zu einem Neubau, relativ geringen Rohstoffmengen, die bei einer Ertüchtigung bzw. Erhaltungsmaßnahme eingesetzt werden, muss ein besonderes Augenmerk auf die durch den Bauablauf verursachten Emissionen gelegt werden. Bedingt durch den geringen Stoffeinsatz ist der Anteil dieser Emissionen an der gesamten Nachhaltigkeitsbetrachtung bei einer Erhaltungs- bzw. Ertüchtigungsmaßnahme deutlich größer als bei einem Neubau. Dem wird insofern Rechnung getragen, als dass die Kriterien, die den Bauablauf betreffen, genauer beurteilt und werden in dieser Hinsicht erweitert.

Die vorliegenden Bewertungskonzepte für die Nachhaltigkeit von Straßeninfrastruktur sind bisher in vier Bewertungsmodule unterteilt. Dabei bildet jedes Modul eine abgeschlossene Bewertungseinheit und ist je einem bestimmten Bewertungszeitpunkt zugeordnet. Mithilfe des Modul 1 wird der Streckenzug (vor der Linienbestimmung) bezüglich der Nachhaltigkeit beurteilt. Modul 2 kommt bei der Optimierung von Streckenelementen vor der Planfeststellung zum Einsatz; nach der Planfeststellung werden anhand von Modul 3 die Ingenieurbauwerke im Zuge der Straßeninfrastruktur hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit verbessert. Modul 4 gibt schließlich Hinweise, um die Vergabeentscheidung zu dem jeweiligen Bewertungszeitpunkt zu analysieren. Da bei Verstärkungsmaßnahmen von Straßenbrücken die Linienführung bereits feststeht und die vorhandenen Streckenelemente nicht weiter optimiert werden können, wird der Kriterienkatalog zum Großteil auf die für Modul 3 relevanten Kriterien reduziert.

1.2.3 Analyse bestehender Ertüchtigungs- und Unterhaltungsverfahren

Es existiert eine Vielzahl von möglichen Ertüchtigungs- und Unterhaltungsverfahren für Straßenverkehrsbrücken. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts werden zum einen die verschiedenen Verfahren der baulichen Unterhaltung zusammengefasst dargestellt und beschrieben. Zum anderen wird genauer auf die bekannten Verfahren der Ertüchtigung eingegangen.

Je nach vorliegendem Schadensfall (z. B. unzureichende Schubkrafttragfähigkeit) kommen für eine

Ertüchtigung unterschiedliche Verstärkungstechniken in Frage. Es wird eine Übersicht der bekannten und häufig wiederkehrenden Schadensfälle bei Straßenverkehrsbrücken erstellt und es werden die verschiedenen, derzeit zum Einsatz kommenden Verstärkungstechniken aufgezeigt.

In diesem Zusammenhang wird auch auf das, im Auftrag der BAST durchgeführte und kürzlich abgeschlossene, Forschungsvorhaben FE 15.0550 „Wirtschaftliches und nachhaltiges Verstärken von Betonbrücken“ (BUSCHMEYER, 2015) verwiesen, in dem die mögliche Erhöhung der Nutzungsdauer durch verschiedene Erhaltungsmaßnahmen untersucht sowie deren Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit verglichen wurden.

1.2.4 Konzept zur Ermittlung des tatsächlichen Ertüchtigungsbedarfs

Die Beurteilung der Notwendigkeit von Verstärkungsmaßnahmen bietet ein großes Potenzial zur Optimierung der Nachhaltigkeit. Grundsätzlich können verschiedene Indikatoren auf die Notwendigkeit einer Bauwerksertüchtigung hinweisen. Als Indikatoren wären hierbei z. B. ein zunehmendes Bauwerksalter oder eine fortschreitende Schädigung zu nennen. Falls für ein Bestandsbauwerk aufgrund von erkennbaren Schäden oder aufgrund von Ergebnissen einer Nachrechnung nach Nachrechnungsrichtlinie (2011) eine statisch relevante Instandsetzung erforderlich ist, ist eine vorgeschaltete Überprüfung der Widerstände und insbesondere der Einwirkungen sinnvoll. Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass eine genaue Analyse der tatsächlichen Verkehrseinwirkungen ein großes Potenzial zur Reduktion der Einwirkungen birgt. Im Sinne einer optimierten Nachhaltigkeit ist es deshalb bei Straßenverkehrsbrücken mit statisch relevanten Defiziten unumgänglich zuerst die tatsächlichen Einwirkungen und Widerstände festzustellen, um keinen unnötigen Ertüchtigungsbedarf zu ermitteln. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird deshalb das prinzipielle Vorgehen zur Beschreibung der tatsächlichen Verkehrseinwirkung dargestellt und beschrieben.

2 Grundlagen

2.1 Allgemeines

Um die vorhandenen Systeme zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Elementen der Straßeninfrastruktur für Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen an Straßenbrücken anpassen zu können, wurden zuerst die grundlegenden Anwendungsfälle sowie die Indikatoren für die Notwendigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen überprüft und analysiert. Hierzu wurden u. a. die Einsatzgebiete und Häufigkeit verschiedener Ertüchtigungsmaßnahmen sowie die gängigen und häufig durchgeführten Erhaltungsmaßnahmen anhand zweier vorliegender Studien (SCHNELLENBACH-HELD, 2010, SSF Ingenieure AG, 2013) identifiziert. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens wurden weiterhin differenzierte Betrachtungsebenen zur Beurteilung der Nachhaltigkeit eingeführt. Zudem konnte das Potenzial zur Verbesserung der Nachhaltigkeit, das sich durch eine vorgelagerte Überprüfung des tatsächlichen Ertüchtigungsbedarfs ergibt, mithilfe von beispielhaften Berechnungen an realen Bauwerken belegt werden.

2.2 Bestehende Verfahren der Erhaltung und Ertüchtigung

Die im Rahmen der Bauwerkserhaltung bei Straßenverkehrsbrücken durchgeführten Maßnahmen können in die Verfahren der Instandsetzung, Ertüchtigung und Bauwerksunterhaltung unterteilt (siehe Bild 1). Die Maßnahmen im Zuge der betrieblichen Unterhaltung fließen im Weiteren nicht in die Beurteilung der Nachhaltigkeit ein, da der Umfang dieser Bauarbeiten im Normalfall sehr gering ist und keine Alternativen zur Ausführung dieser Arbeiten bestehen.

Im Rahmen dieses Forschungsberichts werden alle Maßnahmen, die dazu dienen den Zustand der Straßenverkehrsbrücke wieder dem Ausgangszustand nach Fertigstellung des Bauwerks anzunähern, als Erhaltungsmaßnahmen bezeichnet. Im Zuge der Erhaltung von Straßenverkehrsbrücken werden dabei im Regelfall folgende Maßnahmen durchgeführt:

- Betonsanierung,
- Risseverpressung,

- Konservierung, Beschichtung von Oberflächen,
- Belagserneuerung, Erneuerung der Abdichtung,
- Austausch von Verschleißteilen (Übergangskonstruktionen, Brückenlager, Gesimskappen, Geländer).

Die o. g. baulichen Änderungen haben das Ziel den Zustand (Zustandsnote) des Bauwerks zu verbessern und können so von den Ertüchtigungsverfahren abgegrenzt werden. Ziel einer Ertüchtigung ist es, die Tragfähigkeit des Bestandsbauwerks, z. B. aufgrund geänderter Anforderungen, zu erhöhen. Bei der Ertüchtigung von Straßenverkehrsbrücken kommen dabei im Wesentlichen folgende bekannte Verfahren zum Einsatz (SCHNELLENBACH-HELD, 2010, BUSCHMEYER, 2015):

- Aufbringen einer zusätzlichen Druckzone,
- Querschnittsergänzungen,
- Ergänzung durch in Nuten eingelegter, schlaffer Bewehrung,
- oberflächlich aufgeklebte Stahllaschen oder CFK-Lamellen,
- vorgespannte CFK-Lamellen,
- externe Vorspannung,
- Querkraftverstärkung mit Schubnadeln.

Die Eignung der genannten Maßnahmen zur Ertüchtigung von Straßenbrücken ist vor allem vom jeweiligen Ertüchtigungsbedarf (z. B. Traglasterrhöhung, unzureichende Schubkrafttragfähigkeit) abhängig. Ein Überblick über die derzeit zur Ausführung kommenden Ertüchtigungsmaßnahmen sowie deren Anwendungsgebiete wird in Kapitel 2.5 gegeben.

2.3 Betrachtungsebenen zur Beurteilung der Nachhaltigkeit

Ziel der Nachhaltigkeitsbewertung für Erhaltungs- und Ertüchtigungskonzepte von Straßenbrücken ist es die Nachhaltigkeit hinsichtlich des Lebenszyklus der betrachteten Straßenverkehrsbrücke sowie die des übergeordneten Verkehrsnetzes zu optimieren.

Im Sinne einer Optimierung der Nachhaltigkeit muss der gesamte Lebenszyklus des Bauwerks betrachtet werden, um bei einem Vergleich verschiedener

Varianten die „nachhaltigste“ wählen zu können. Der Lebenszyklus eines Bauwerks kann grundsätzlich in vier Phasen unterteilt werden, die alle Bestandteile der Nachhaltigkeitsbewertung sind. Phase 1 beinhaltet den Planung und den Entwurf des Bauwerks, Phase 2 die Erstellung, Phase 3 den Zeitraum der Nutzung (inklusive anfallender Unterhaltungs- oder Instandsetzungsarbeiten) und Phase 4 den Abriss bzw. die Umnutzung des Bauwerks. Für die Beurteilung der Nachhaltigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungskonzepten von Straßenbrücken bedeutet dies zum einen, dass planbare Unterhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen schon bei der Planung der Straßenverkehrsbrücke in die Nachhaltigkeitsbetrachtung berücksichtigt werden müssen. Zum anderen müssen bei der Ermittlung der Nachhaltigkeit von außerplanmäßigen Instandsetzungen oder Ertüchtigungen auch die sich daraus ergebenden Veränderungen in Phase 3 (Nutzung) und Phase 4 (Abbruch) des Lebenszyklus der Brücke betrachtet werden (siehe Bild 2).

Des Weiteren ist eine Untersuchung der Nachhaltigkeit von Einzelmaßnahmen mithilfe des modularen Steckbriefsystems nur zielführend, wenn die sich daraus ergebende Maßnahme innerhalb des Live Cycle Managements eines ganzen Verkehrsnetzes betrachtet wird. Erst durch die Kumulierung von Einzelbetrachtungen zu einer Strategieentscheidung können eventuelle Synergieeffekte genutzt werden bzw. ungünstige Überlagerungen vermieden werden.

Die Betrachtung und Analyse des Gesamtsystems hinsichtlich des nachhaltigsten Lebenszyklusmanagements kann dabei entweder als Top-Down- (vgl. Bild 6) oder Bottom-Up-Betrachtung (vgl. Bild 7) erfolgen. Maßgeblich für eine Entscheidungsfindung ist zudem die angestrebte Strategie für die Erhaltung des Bestandsbauwerks. Die Auswahl der passenden Erhaltungsstrategie für das konkrete Bauwerk ist von verschiedenen Faktoren abhängig und wird im Folgenden genauer erläutert.

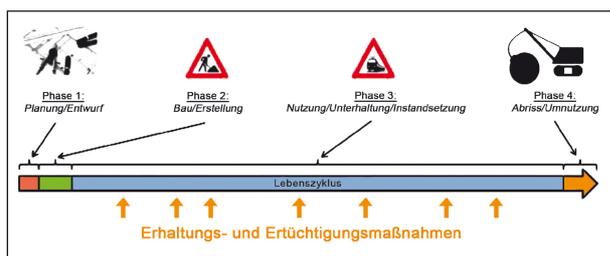


Bild 2: Lebenszyklusphasen eines Bauwerks

2.3.1 Erhaltungsstrategien

Grundsätzlich kann nach (KUHLMANN, 2011) zwischen drei verschiedenen Erhaltungsstrategien und deren Mischformen unterschieden werden:

- Präventivstrategie,
- zustandsbestimmte Strategie,
- gezielte Alterung.

Die Bewertung des Brückenzustands erfolgt bei allen Strategien über die Zustandsnote. Diese ergibt sich im Rahmen der regelmäßigen Brückeninspektionen und wird durch die Verkehrssicherheit, die Standsicherheit und die Dauerhaftigkeit der Bestandsbrücke bestimmt. Liegt die Zustandsnote in einem Bereich von 1,0 bis 1,8, so sind, laut Definition, keine Erhaltungsmaßnahmen nötig. Bei einer Note die 3,4 oder schlechter beträgt ist hingegen der kritische Bereich erreicht und es besteht akuter Handlungsbedarf, da die Verkehrsfähigkeit nicht mehr sichergestellt ist.

Die sogenannte „Präventivstrategie“ (vgl. Bild 3) zeichnet sich durch die häufige Durchführung von kleineren bis mittleren Sanierungsmaßnahmen an den Bestandsbauwerken aus. Auf diese Weise wird der Gesamtzustand der Brücke auf einem sehr guten Maß gehalten und die Dauer der jeweiligen Sanierungsmaßnahme beschränkt. Dieses Vorgehen bietet sich vor allem für strategisch sehr wichtige Brücken mit einer hohen Verkehrsbelastung und einer großen geplanten Restnutzungsdauer an. Bei diesem Vorgehen sind jedoch häufige Bauwerksuntersuchungen nötig, um zeitnah auf etwaige Zustandsverschlechterungen reagieren zu können und so einen durchgehend guten Gesamtzustand des Brückenbauwerks zu gewährleisten.

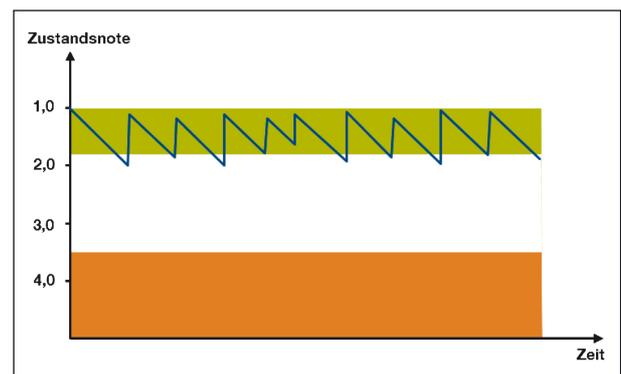


Bild 3: Präventivstrategie (KUHLMANN, 2011)

Bei der „zustandsbestimmten Strategie“ (vgl. Bild 4) wird die Häufigkeit von Sanierungsmaßnahmen hauptsächlich durch den festgestellten Zustand (Bauwerksuntersuchungen) der Brücke bestimmt. Die Maßnahmen werden in Abhängigkeit des Brückenzustandes durchgeführt, der Gesamtzustand der Brücke bewegt sich somit meist auf einem mittleren Niveau. Die Maßnahmen können auf diese Weise gebündelt durchgeführt werden, sodass die Gesamtanzahl an Eingriffen in den Straßenverkehr minimiert werden kann. Die Bündelung der Maßnahmen kann jedoch zu längeren und umfangreicheren Bauarbeiten führen; der Verkehr kann somit während diesen Erhaltungsmaßnahmen stark beeinträchtigt sein. Die zustandsbestimmte Strategie ist deshalb speziell für strategisch wichtige Brückenbauwerke mit einer großen Restnutzungsdauer und geringer bis mäßiger Verkehrsbelastung geeignet.

Bei der Erhaltungsstrategie „gezielte Alterung“ (vgl. Bild 5) werden Maßnahmen nur durchgeführt, wenn diese unumgänglich sind. Auslöser für die Durchführung einer Sanierungsmaßnahme können dabei gravierende Mängel bezüglich der Stand- oder Verkehrssicherheit oder eine bei einer Bauwerksuntersuchung festgestellte Zustandsnote von 3,4 oder schlechter sein. Die Häufigkeit und der Aufwand für die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen erhöhen sich bei dieser Erhaltungsstrategie mit zunehmenden Brückenalter. Dementsprechend müssen ab einem bestimmten Alter des Brückenbauwerks mitunter Einschränkungen (z. B. Geschwindigkeitsbeschränkungen) und unter Umständen auch umfangreichere Sanierungen in Kauf genommen werden. Die Strategie der gezielten Alterung bietet sich deshalb hauptsächlich für Verkehrsbrücken an, deren Restnutzungsdauer aufgrund ihres Alters gering ist und bei denen ein Ersatzneubau als kostengünstigste Variante identifiziert wurde. Dies gilt weiterhin ebenso für Brücken, die aufgrund der Verkehrsprognose in absehbarer Zeit durch einen Neubau mit größerer Kapazität ersetzt werden müssen.

Die konkrete Strategie zur Erhaltung von Straßenbrücken kann jedoch nur individuell an dem jeweiligen, vorliegenden Bauwerk erfolgen, da hierbei viele verschiedene Variablen, wie das Brückenalter, der Brückenzustand, die Bedeutung der Brücke im übergeordneten Netz, die aktuelle Verkehrsbelastung sowie die zukünftige Verkehrsprognose eine große Rolle spielen. All diese Faktoren müssen bei der Festlegung der zukünftigen Erhaltungsstrategie

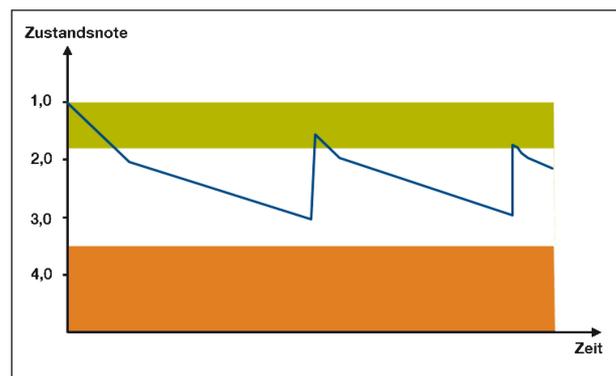


Bild 4: Zustandsbestimmte Strategie (KUHLMANN, 2011)

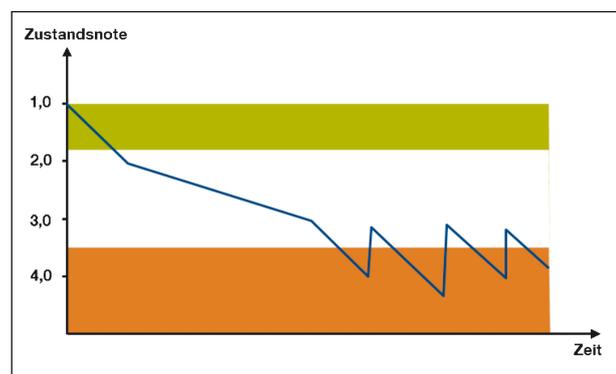


Bild 5: Gezielte Alterung (KUHLMANN, 2011)

eine Rolle spielen und mithilfe von ingenieurmäßigen Sachverstand gegeneinander abgewogen werden, um die beste Erhaltungsstrategie für das konkrete Brückenbauwerk zu finden.

2.3.2 Top-Down-Analyse

Die Betrachtung und Analyse eines Verkehrsnetzes hinsichtlich eines nachhaltigen Lebenszyklusmanagements kann entweder als Top-Down- (vgl. Bild 6) oder Bottom-Up-Betrachtung (vgl. Bild 7) erfolgen.

Bei der Top-Down-Analyse werden die einzelnen Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen ausgehend von Überlegungen zur übergeordneten Bauwerks- bzw. Gesamtnetzstrategie geplant. Dazu wird das zu betrachtende Verkehrsnetz in vier Ebenen eingeteilt (siehe Bild 6). Ausgehend von den grundlegenden Überlegungen zum Lebenszyklusmanagement im Gesamtsystem (Ebene 1), wie z. B. der Verkehrsprognose für das betrachtete Streckennetz oder in Anbetracht der zur Verfügung stehenden Mittel, kann die Erhaltungsstrategie für die einzelnen Bauwerke in Ebene 2 abgeleitet werden. Aufbauend auf der Wahl der Erhaltungsstrategie kann die beste und nachhaltigste Kombination

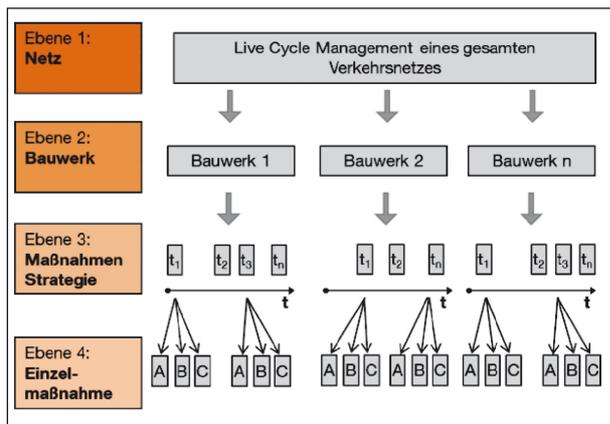


Bild 6: Betrachtungsebenen zur Beurteilung der Nachhaltigkeit (Top-Down)

von Maßnahmen zu einem Maßnahmenpaket (z. B. Risseverpressungen mit zeitgleicher Erneuerung von Abdichtung und Belag) bzw. die zeitliche Abfolge der verschiedenen Maßnahmen festgelegt werden. Diese Betrachtungen werden in Ebene 3 vorgenommen und über die geplante Restnutzungsdauer des Bauwerks kumuliert. Die in Ebene 3 festgelegten, durchzuführenden Maßnahmen werden anschließend in der untersten Betrachtungsebene (Ebene 4) bewertet und verglichen. Hier werden die verschiedenen Ausführungsvarianten einer Erhaltungs- oder Ertüchtigungsmaßnahme (z. B. Art der Risseverpressung) mithilfe des Steckbriefsystems erfasst und bewertet. Auf Grundlage der Ergebnisse der Steckbriefbewertung der verschiedenen Ausführungsvarianten kann die nachhaltigste Einzelmaßnahme bestimmt werden.

Auf diese Weise können mithilfe der Top-Down-Analyse, auf Grundlage von Überlegungen zur Strategie im gesamten Verkehrsnetz, die nachhaltigsten Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen sowie die effektivste Bündelung dieser Maßnahmen bestimmt werden.

2.3.3 Bottom-Up-Analyse

Im Gegensatz zur Top-Down-Analyse (vgl. Kapitel 2.3.2) werden bei der Bottom-Up-Analyse zunächst die verschiedenen Ausführungsvarianten einer Maßnahme verglichen um aufbauend auf diesen Ergebnissen eine Strategie für das Gesamtsystem zu erstellen (siehe Bild 7).

In der Betrachtungsebene 1 (Einzelmaßnahmen) werden die durchzuführenden Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen während der geplanten Restnutzungsdauer des Bauwerks identifiziert. Für

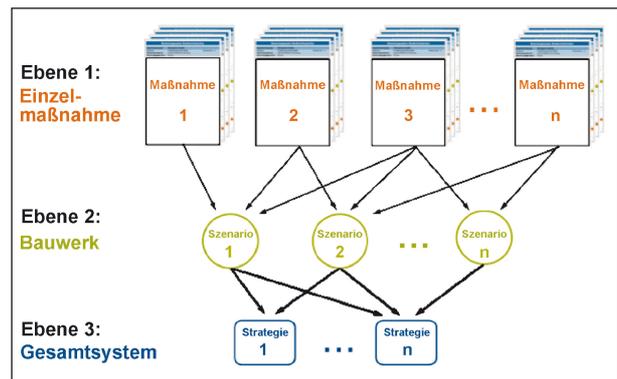


Bild 7: Betrachtungsebenen zur Beurteilung der Nachhaltigkeit (Bottom-Up)

jede dieser Maßnahmen werden die unterschiedlichen Ausführungsvarianten festgelegt und anschließend mithilfe des Steckbriefsystems hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit im Lebenszyklus des Bauwerks untereinander verglichen. Ist die nachhaltigste Ausführungsvariante der geplanten Maßnahme festgestellt, werden diese in Ebene 2 (Bauwerk) zu Maßnahmenpaketen (Szenarien) gebündelt. Aufgrund der Vielzahl der im Lebenszyklus einer Brücke durchzuführenden Arbeiten ist es hier jedoch nicht zielführend alle möglichen Kombinationen der einzelnen Maßnahmen zu untersuchen. Vielmehr müssen die einzelnen Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen mit Hilfe des Ingenieurverständs zu sinnvollen Maßnahmenpaketen zusammengefasst werden. Gesichtspunkte unter denen diese Bündelung geschieht können z. B. eine Bauzeitverkürzung oder eine Verringerung des Materialeinsatzes sein.

Aufbauend auf dem ermittelten, nachhaltigsten Szenario auf Bauwerksebene kann anschließend die nachhaltigste Strategie auf Ebene des Gesamtsystems bestimmt werden. Das Vorgehen hier ist analog zu dem Vorgehen in Ebene 2; die verschiedenen, bereits identifizierten Szenarien werden ingenieurmäßig zu Strategien gebündelt und mithilfe des Steckbriefsystems bezüglich der Synergieeffekte verglichen. Ein Aspekt der hierbei im Zuge von Synergieeffekten beachtet werden muss, ist z. B. die Verkürzung der durch Baumaßnahmen bedingten Staudauern im Gesamtnetz. Anhand des Steckbriefsystems kann wiederum die Differenz zwischen der Summe der Nachhaltigkeitsbetrachtung für jedes einzelne Szenario und dem Ergebnis der Nachhaltigkeitsbetrachtung für die zu einer Strategie gebündelten Szenarien ermittelt werden. Auch hier ist eine Maximierung der Synergieeffekte das vorrangige Ziel.

2.4 Auswertung von Praxisbeispielen

Um die Relevanz, den effektiven Einfluss und die Kosten einzelner Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen im Rahmen des Forschungsprojekt abzuklären wird eine Sonderstudie, die die SSF Ingenieure AG im Auftrag der Autobahndirektion Südbayern erstellt hat, herangezogen.

In der Studie hat SSF Ingenieure einen Maßnahmenkatalog mit hinterlegter, zugehöriger Kostenschätzung für 15 Autobahnbrücken entwickelt. Hierbei wurden Bewertungskriterien (Klassifizierung der einzelnen Bauteilgruppen anhand von Symbolen) für die Bauwerkszustände eingeführt und Prognosen für mögliche Erhaltungsmaßnahmen und anfallende Kosten für die Zielhorizonte 10 Jahre, 20 Jahre und 30 Jahre abgegeben.

Für die im Jahr 2013 erstellte Studie (SSF Ingenieure AG, 2013) wurden 15 Straßenbrücken, die als Über- (zwei Brücken) und Unterführungsbauwerke (13 Brücken) Bestandteil der Bundesautobahn A 9 München-Nürnberg auf dem Abschnitt zwischen Langenbruck und Holledau sind, untersucht und bewertet. Um die Relevanz der vorliegenden Studie für die weitere Auswertung feststellen zu können, werden die im Rahmen der Studie untersuchten Brückenbauwerke zunächst mit dem Gesamtbestand an Autobahnbrücken hinsichtlich der Kriterien Altersstruktur, Brückenlänge, Brückensklasse und Zustandsnote verglichen.

2.4.1 Vergleich der untersuchten Studie mit dem Gesamtbestand an Autobahnbrücken

In Bild 8 ist der Vergleich der auf die Brückenfläche bezogenen Altersstruktur der im Rahmen der vorliegenden Studie (SSF Ingenieure AG, 2013) untersuchten Brücken mit dem Gesamtbestand an Autobahnbrücken dargestellt. Die Auswertung dieser Daten zeigt, dass mehr als die Hälfte (circa 52 %) aller bestehenden Autobahnbrücken in den Jahren 1965 bis 1984 errichtet wurden (BMVBS, 2013). Auch ein Großteil (circa 60 %) der im Rahmen der vorliegenden Studie untersuchten Brückenbauwerke wurde in diesem Zeitraum erstellt. Die typischen Schäden an Bestandsbauwerken sowie die Auswahl einer zum Brückenbauwerk passenden Erhaltungsstrategie sind im großen Maße vom Brückenalter abhängig. Aufgrund der ähnlichen Altersstruktur der in der Studie untersuchten Brückenbauwerke zum Gesamtbestand an Brückenbauwerken

können die im Rahmen der Studie festgestellten Schäden an den Bestandsbauwerken im Hinblick auf die Häufigkeit und den Schadensumfang auf das gesamte Bundesfernstraßennetz hochgerechnet werden und es lässt sich so eine Aussage über die gängigsten Schadensbilder ableiten.

Im Vergleich der Studie mit dem Gesamtbestand an Autobridgen hinsichtlich der Stützweiten (siehe Bild 9) zeigt sich, dass die vorliegende Studie unter diesen Gesichtspunkt nicht repräsentativ ist. Während die Mehrzahl (ca. 53 %) der untersuchten Brücken Kleinbrücken mit einer Stützweite von weniger als 30 m war, machen diese Brücken im Gesamtbestand des Bundesfernstraßennetzes nur in etwa 20 % aus. Großbrücken mit einer Stützweite von mehr als 100 m, deren Anteil an der Gesamt-

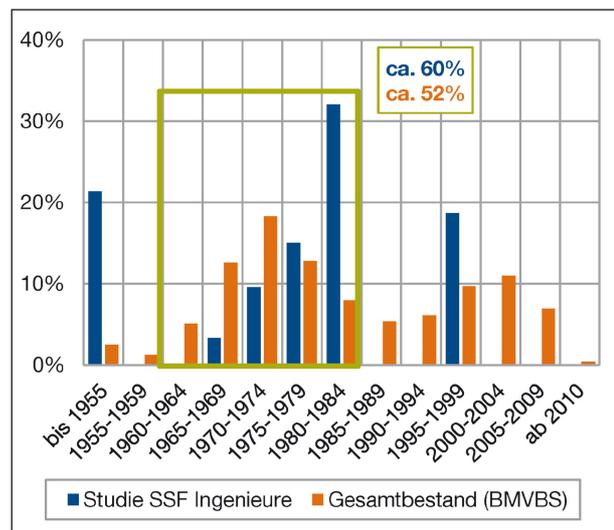


Bild 8: Vergleich der Altersstruktur

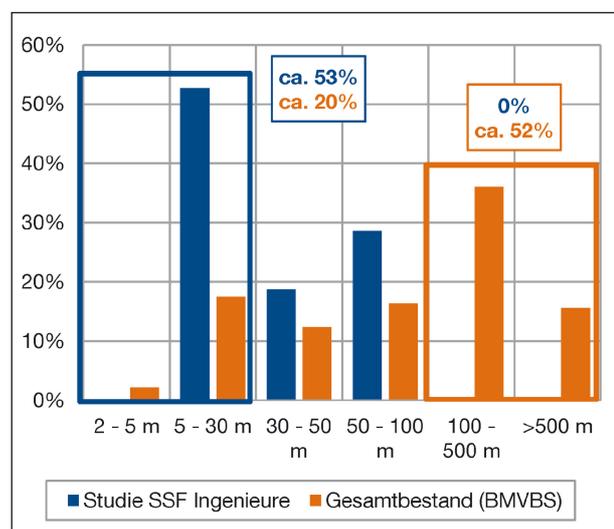


Bild 9: Vergleich der Stützweiten

brückenfläche circa 52 % beträgt, wurden hingegen im Rahmen der vorliegenden Studie nicht untersucht. Die für Großbrücken charakteristischen Schadensfälle können deshalb anhand der vorliegenden Daten nicht aufgenommen und analysiert werden. Die vorliegenden Daten haben dennoch eine große Relevanz für das Gesamtnetz der Bundesautobahnen, da zum einen die absolute Anzahl an Brückenbauwerken mit kleiner Stützweite im Gesamtnetz sehr groß ist und diese in der vorliegenden Untersuchungen sehr gut repräsentiert sind. Zum anderen werden auch die Brücken mit einer mittleren Stützweite von 30 bis 100 m durch die Studie der SSF Ingenieure AG gut abgebildet (vgl. Bild 9) und es ist deshalb davon auszugehen, dass die, in der Studie festgestellten, charakteristischen Schäden für diese Brücken repräsentativ für den Gesamtbestand sind. Zudem können die charakteristischen Schadensfälle speziell für Großbrücken aufgrund der, im Gegensatz zu kleineren Brücken, sehr viel unterschiedlicheren Randbedingungen und Ausführungsvarianten, wesentlich schwieriger verallgemeinert werden. Aufgrund dessen ist eine Fokussierung auf die häufig und immer wiederkehrend auftretenden Schadensbilder bei Verkehrsbrücken mit kleiner bis mittlerer Stützweite durchaus sinnvoll.

In Bild 10 sind die Brückenklasse der, im Rahmen der Studie untersuchten Brückenwerke, denen der Brücken im Gesamtbestand des Autobahnnetzes gegenübergestellt. Der überwiegende Anteil (circa 90 %) der existierenden Straßenverkehrsbrücken im deutschen Autobahnnetz besteht aus Brücken der Bauwerksklassen BK60 (in etwa 55 %) und

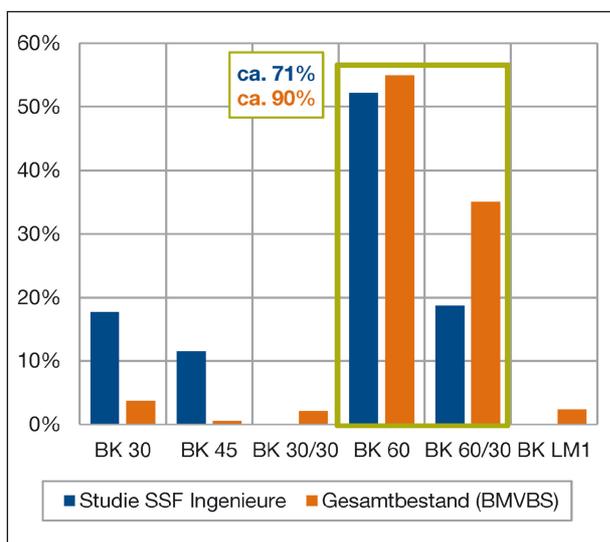


Bild 10: Vergleich der Brückenklassen

BK60/30 (in etwa 35 %). Die durch die SSF Ingenieure AG untersuchten Brücken konnten ebenso hauptsächlich in die Brückenklassen BK60 (in etwa 52 %) und BK60/30 (circa 19 %) eingeordnet werden, sodass bezüglich der Brückenklassen eine gute Übereinstimmung mit dem Gesamtbestand gegeben ist und die Ergebnisse als repräsentativ angesehen werden können.

Auch bei den Zustandsnoten zeigt sich, wie in Bild 11 zu sehen, eine gute Übereinstimmung zwischen den untersuchten Brückenbauwerken und dem Gesamtbestand des Bundesfernstraßennetzes. Mit in etwa 86 % erhielt ein Großteil der im Rahmen der Studie untersuchten Brücken eine Zustandsnote zwischen 2,0 und 2,9; auch die Mehrzahl (circa 72 %) der Bestandsbrücken kann bezüglich der Zustandsnote in diesen Bereich eingeordnet werden. Zudem entspricht die Verteilung der Zustandsnoten der untersuchten Brücken über die verschiedenen Zustandsnoten relativ gut der Verteilung im Gesamtbestand. Lediglich Brückenbauwerke mit einer Zustandsnote in den Randbereichen, also in einem Notenbereich von 3,0 und schlechter bzw. 1,4 und besser, wurden im Rahmen der Studie keine untersucht. Aufgrund des geringen Anteils (weniger als 25 %) an Brücken im Gesamtbestand mit dieser Zustandsbewertung und der geringen Menge an untersuchten Brücken scheint auch diese Einschränkung plausibel. Insgesamt können die, im Rahmen der von SSF Ingenieure AG im Auftrag der Autobahndirektion Südbayern durchgeführten Studie, untersuchten Brückenbauwerke aufgrund der Verteilung der festgestellten Zustandsnoten als repräsentativ für den Gesamtbestand an Brücken im Bundesfernstraßennetz angesehen werden.

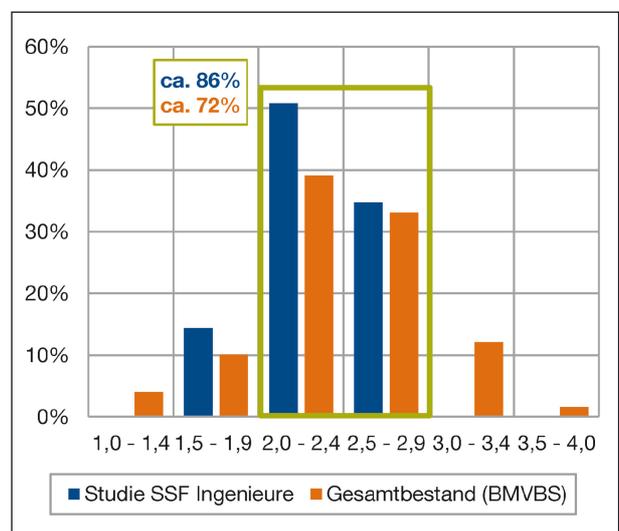


Bild 11: Vergleich der Zustandsnoten

Fahrbahn	Rissbildung in Längs und Querrichtung mit und ohne Ausbruchsstellen (Schaden bei 85,7 % der untersuchten Brücken festgestellt), Punktuellen Setzungen, Verdrückungen und Spurrinnen (64,3 %).
Fahrbahnübergänge	Versprödung der bituminösen vergossenen Trennschicht (14,9 %).
Überbau	Abplatzungen mit und ohne korrodierten Eisen (46,7 %), flächige Betonausbruchstellen mit korrodierter Bewehrung (40,0 %), Rissbildung in Längsrichtung mit Rissweitem < 0,5 mm (20,0 %), Feuchtestellen (33,3 %), Rostfahnen (26,7 %).
Unterbau	Salzausblühungen (6,7 %), Feuchtestellen bzw. Aussinterungen (80,0 %), beginnende Betonkorrosion (53,3 %), Rissbildung in vertikaler und horizontaler Richtung mit Rissweite < 0,8 mm (80,0 %), Hohl klingende Stellen der Verblendungsmauerwerke (26,7 %), flächige Durchfeuchtung der Verblendungsmauerwerke (60,0 %).
Kappen	Rissbildung mit Rissweiten < 0,2 mm (80,0 %), Ausbruchstellen, Abplatzungen bzw. Aussinterungen (80,0 %), Längsfuge zwischen Kappe und Bordstein offen, verschmutzt, mit Abplatzungen und Bewuchs (80,0 %), Kappenquerfugenverfüllung porös, gerissen und teilweise gelöst (66,7 %), Ablaufschlieren und Feuchtestellen (60,0 %).
Ausstattung	Entwässerungsröhre verstopft, gebrochen bzw. stark korrodiert (93,3 %), Abläufe verstopft (6,7 %), Korrosionsschutzbeschichtung der Holmgeländer beschädigt (93,3 %), Geländerpfostenfüßen korrodiert (33,3 %), Seile im Handlauf teilweise stark korrodiert bzw. mit Blattrost versehen (53,3 %), Schutzplanke und deren Schraubenverbindungen deformiert bzw. korrodiert (46,7 %).

Tab. 1: Typische Schäden an Bestandsbrücken

2.4.2 Ergebnisse und Zwischenfazit

Der Vergleich der im Rahmen der von der SSF Ingenieure AG durchgeführten Studie mit den Bestandsbrücken im deutschen Autobahnnetz zeigt, dass die vorliegende Studie für Brücken mit kleiner bis mittlerer Stützweite hinsichtlich der Verteilung in Brückenklassen, Zustandsnoten und Altersstruktur als repräsentativ für den Gesamtbestand angesehen werden kann. Lediglich über die charakteristischen Schäden an Großbrücken können keine konkreten Aussagen getroffen werden, da keine Brücken mit Stützweiten von mehr als 100 m untersucht wurden.

In Tabelle 1 sind die im Rahmen der Studie festgestellten Schäden an den Bestandsbauwerken, sortiert nach den Bauelementen Fahrbahn, Fahrbahnübergänge, Überbau, Unterbau, Kappen und Ausstattung, aufgelistet. Weiterhin ist angegeben mit welcher Häufigkeit die jeweiligen Schäden an den untersuchten Brücken festgestellt wurden. Da die

durchgeführte Studie, wie in Kapitel 2.4.1 festgestellt, als repräsentativ für den Gesamtbestand an Brücken mit kleiner bis mittlerer Stützweite angesehen werden kann, können auch die festgestellten Schäden als typisch für die Bestandsbrücken innerhalb des Bundesfernstraßennetzes angenommen werden.

Als häufigste, nicht-planmäßige Erhaltungsmaßnahmen wurden bei der Auswertung der Studie das bituminöse Vergießen von Rissen und Fugen sowie die Erneuerung des Fahrbahnbelags identifiziert. Bituminöses Vergießen von Rissen und Fugen wurde bei in etwa 66 % der Brücken empfohlen und verursacht dabei laut Kostenschätzung direkte Kosten in Höhe von 13,00 € pro Quadratmeter Brückenfläche. In Tabelle 2 sind die im Rahmen der Studie am häufigsten als notwendig identifizierten Erhaltungsmaßnahmen in Bezug auf ihre Anzahl und die auf die Brückenfläche bezogenen, durchschnittlichen direkten Kosten dargestellt.

Bituminöses Vergießen von Rissen und Fugen	Betroffene Brücken:	66,7 %
	Flächenanteil der Brücken:	69,1 %
	Durchschnittliche direkte Kosten:	13,00 €/m ²
Erneuerung Fahrbahnbelag (partiell, Deckschicht)	Betroffene Brücken:	61,5 %
	Flächenanteil der Brücken:	66,4 %
	Durchschnittliche direkte Kosten:	10,00 €/m ²
Erneuerung Fahrbahnbelag (vollflächig, einschließlich Abdichtung)	Betroffene Brücken:	30,8 %
	Flächenanteil der Brücken:	14,0 %
	Durchschnittliche direkte Kosten:	121,00 €/m ²
Erneuerung Fangseil	Betroffene Brücken:	61,5 %
	Flächenanteil der Brücken:	66,1 %
	Durchschnittliche direkte Kosten:	3,00 €/m ²
Erneuerung Schutzeinrichtungen	Betroffene Brücken:	38,5 %
	Flächenanteil der Brücken:	17,8 %
	Durchschnittliche direkte Kosten:	61,00 €/m ²
Kappenerneuerung (inkl. Telleranker)	Betroffene Brücken:	30,8 %
	Flächenanteil der Brücken:	14,4 %
	Durchschnittliche direkte Kosten:	139,00 €/m ²

Tab. 2: Häufigkeit und durchschnittliche direkte Kosten der Erhaltungsmaßnahmen

Anhand der Kenntnis über die typischen Schäden an Bestandsbauwerken und der am häufigsten notwendigen Erhaltungsmaßnahmen können die wesentlichen Kriterien für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen bei Straßenbrücken identifiziert und die entsprechenden Bewertungskriterien formuliert werden. Dazu werden die in den Forschungsprojekte FE 15.0490 „Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturprojekte im Hinblick auf die Nachhaltigkeit“ (GRAUBNER, 2010) und FE 09.0164 „Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel“ (FISCHER, 2013) entwickelten Bewertungskriterien (Steckbriefe) je nach ihrer Relevanz für die identifizierten Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen modifiziert, erweitert, oder gestrichen. Der für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen bei Straßenbrücken angepasste Kriterienkatalog wird in Kapitel 3.4 erläutert. Die modifizierten Steckbriefe sind diesem Forschungsvorhaben im Anhang beigefügt.

2.5 Ertüchtigungsmaßnahmen

Mithilfe der Erkenntnisse des aktuellen Forschungsvorhabens FE 15.0570 „Verstärkung älterer Beton- und Spannbetonbrücken – Erarbeitung einer Erfahrungssammlung“ (SCHNELLENBACH-HELD, 2014) und der Auswertung weiterer Literatur konnten die derzeit gängigen und durchgeführten Maßnahmen zur Ertüchtigung von Straßenverkehrsbrücken identifiziert werden. Anhand der Kenntnis über die Art und die Häufigkeit der verschiedenen, derzeit zum Einsatz kommenden Verstärkungsmaßnahmen konnte der Kriterienkatalog für die Anforderungen der Nachhaltigkeitsbewertung von Ertüchtigungsmaßnahmen bei Straßenbrücken angepasst werden (vgl. Kapitel 3.4).

In einer Vorstudie sind hierzu beispielhafte Nachhaltigkeitsbewertungen für derzeit zur Ausführung kommenden Ertüchtigungs- und Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt worden. Anhand der aus dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse konnten die Kriterien, die keinen Einfluss auf das Ergebnis der Nachhaltigkeitsbewertung ausüben, identifiziert und anschließend gestrichen werden.

Grund der Verstärkung	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit			Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchsfähigkeit			Schäden			Nutzungsänderung	
	Biegetragfähigkeit	Schubtragfähigkeit	Fehlende Spaltzugbewehrung	Begrenzung der Verformungen	Begrenzung der Rissbreiten	Dekompression	Koppelfugenproblematik	Ausführungsmängel	Anprall/Brand	Fahrbahnerweiterung	Querschnittschwächung
Zusätzliche Vorspannung (intern oder extern)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Verstärkung mit Stahlprofilen / Stahllaschen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ort- oder Spritzbetonergänzung	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Zusätzliche Bewehrung in Nuten	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓
Aufkleben von Stahllaschen/CFK-Lamellen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Verkleben von CFK-Lamellen in Schlitz	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Verstärken mit textilibewehrtem Beton	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗

Stand der Technik (durch DIN EN, abZ geregelt)
 abZ gilt bislang nicht für den Brückenbau, ZIE

Tab. 3: Anwendungsgebiete der verschiedenen Ertüchtigungsmaßnahmen

Eine Übersicht der verschiedenen Ertüchtigungsmaßnahmen die derzeit zum Einsatz kommen sowie deren Anwendungsgebieten wird in Tabelle 3 wiedergegeben. Weiterhin sind in Tabelle 3 die aktuellen Zulassungsvorschriften für die aufgeführten Maßnahmen dargestellt.

Im Folgenden werden die einzelnen, dem aktuellen Stand der Technik entsprechenden Ertüchtigungsmaßnahmen (vgl. Tabelle 3) hinsichtlich ihrer Wirkungsweise sowie ihrer Vor- und Nachteile kurz erläutert.

2.5.1 Zusätzliche Vorspannung

Die Hauptwirkung der nachträglichen Vorspannung mit internen oder externen Spanngliedern ist die Einleitung einer zusätzlichen Druckspannung in den Brückenquerschnitt mit dem Ziel dessen Tragfähigkeit zu erhöhen. Aufgrund des, im Bezug zur Gesamtkonstruktion, geringen Eigengewichts dieser Verstärkungsmaßnahme und der geringen Sperrzeiten während der Durchführung, ist diese Maßnahme hinsichtlich der Nachhaltigkeit grundsätzlich positiv zu bewerten.

Die direkten Kosten dieser Verstärkungsmaßnahme sind im großen Maß von der Spanngliedführung sowie dem Überbauquerschnitt abhängig. Nach SCHNELLENBACH-HELD (2014) sind die Ausführungskosten für diese Verstärkungsmaßnahme bei einem Großteil (81 %) der untersuchten Brücken

mit weniger als 10 % der ursprünglichen Brückenbaukosten als gering einzustufen.

Weitere Vorteile der zusätzlichen Vorspannung sind:

- keine Nutzungseinschränkungen,
- leichte Kontrollierbarkeit,
- Nachspan- und Austauschbarkeit,
- geringes zusätzliches Eigengewicht,
- Anwendungsvielfalt.

Demgegenüber stehen folgende Nachteile dieses Verfahrens:

- erschwerte Zugänglichkeit und Handhabbarkeit bei älteren Brücken,
- aufwendige Anker- und Umlenkkonstruktionen notwendig,
- eventuelle Beschädigung vorhandener Bewehrungselemente,
- Schutz vor Brand, Vandalismus und Korrosion notwendig.

2.5.2 Verstärkung mit Stahlprofilen

Liegen gravierende Mängel des Bestandsbauwerks z. B. hinsichtlich der Tragfähigkeit vor, können

diese zeitnah mit Stahlkonstruktionen verstärkt werden ohne den laufenden Betrieb in großem Umfang zu beeinträchtigen. So können mithilfe von Stahlprofilen z. B. die Stützweiten reduziert werden oder Überbauverstärkungen vorgenommen werden. Speziell die geringe Beeinträchtigung des Brückenbetriebs ist hinsichtlich der Nachhaltigkeit positiv zu bewerten.

Die direkten Kosten dieser Maßnahme sind stark von der Ausführungsvariante abhängig. Für eine Querkraftverstärkung mit Schublaschen liegen diese Kosten beispielsweise mit 15 bis 30 % der ursprünglichen Brückenbaukosten sehr hoch (SCHNELLENBACH-HELD, 2014). Grundsätzlich kann, vor allem aufgrund der bei der Verstärkung mit Stahlprofilen benötigten großen Stahlmengen, von einem hohen Kostenaufwand für diese Verstärkungsmaßnahme ausgegangen werden.

Die Vorteile der Verstärkung mit Stahlprofilen sind:

- keine oder nur geringfügige Nutzungseinschränkungen,
- als Sofortmaßnahme geeignet,
- Änderung des statischen Systems möglich,
- Anwendungsvielfalt.

Demgegenüber stehen folgende Nachteile dieses Verfahrens:

- Erhöhung des Eigengewichtes der Konstruktion,
- Schutz vor Brand, Vandalismus und Korrosion notwendig,
- Begrenzung des Verstärkungseffektes durch Steifigkeitsunterschiede zwischen Überbau/Stahlkonstruktion.

2.5.3 Ort- und Spritzbetonergänzung

Die Verfahren Ort- und Spritzbetonergänzung sind sich in ihrer Wirkungsweise, den Vor- und Nachteilen sowie den Anwendungsgrenzen sehr ähnlich und können deshalb zusammengefasst betrachtet werden. Mithilfe dieser Maßnahme können durch Aufbringung von zusätzlichem Beton die lokale und globale Biege- und Schubtragfähigkeit der einzelnen Brückenelemente erhöht werden. Auch für die Koppelfugenproblematik, die Rissbreitenbeschränkung und zur Sicherstellung eines duktilen Tragverhaltens ist diese Maßnahme geeignet.

Aufgrund der großen Mengen an Beton, die bei dieser Maßnahme im Regelfall verbaut werden, und der langen Sperrzeiten (speziell bei Arbeiten an der Fahrbahnplatte) ist die Ort- und Spritzbetonergänzung bezüglich der Nachhaltigkeit nicht uneingeschränkt als positiv zu beurteilen.

Die Kosten für die Ausführung dieser Verstärkungsmaßnahme liegen nach SCHNELLENBACH-HELD, 2014 zwischen 5 und 20 % der ursprünglichen Brückenbaukosten und damit in einem moderaten Bereich.

Die Vorteile der Ort- und Spritzbetonergänzung sind dabei:

- geringe Komplexität und damit einfache Durchführbarkeit der Maßnahme,
- Anwendungsvielfältigkeit und Flexibilität,
- kein zusätzlicher Schutz vor Brand, Vandalismus und Korrosion notwendig.

Demgegenüber stehen folgende Nachteile dieses Verfahrens:

- Erhöhung des Eigengewichtes der Konstruktion,
- Nutzungseinschränkungen durch Brückensperungen bei Arbeiten an der Fahrbahnoberfläche.

2.5.4 Zusätzliche Bewehrung in Nuten

Als Alternative zur Ort- und Spritzbetonergänzung kann in vielen Anwendungsfällen die Einbringung von zusätzlicher Bewehrung in Nuten erfolgen. Die zusätzliche Bewehrung wird dabei in, mit Betonfräsen oder per Hochdruckwasserstrahl, erstellte Nuten eingebracht, die anschließend mit schwindarmen Mörtel, Spritz- oder Ortbeton verfüllt werden. Hierdurch kann die lokale und globale Biege- und Schubtragfähigkeit angehoben werden, sowie die Behebung der Koppelfugenproblematik, die Rissbreitenbeschränkung und die Sicherstellung der Duktilität erreicht werden. Da keine zusätzliche Betonschicht aufgebracht werden muss, wird der größte Nachteil der Ort- und Spritzbetonergänzung – das große zusätzliche aufgebrachte Eigengewicht – vermieden. Deshalb ist die zusätzliche Bewehrung in Nuten, trotz der eventuellen langen Sperrzeiten, hinsichtlich der Nachhaltigkeit grundsätzlich als positiv zu bewerten.

Grundsätzlich ist die Verstärkung mit zusätzlicher Bewehrung in Nutzen mit einem relativ geringen Kostenaufwand verbunden. So liegen die direkten Kosten für die Behebung der Koppelfugenproblematik mit zusätzlicher Bewehrung in Nutzen beispielsweise bei 2 bis 9 % der ursprünglichen Brückenbaukosten (SCHNELLENBACH-HELD, 2014).

Weitere Vorteile der Verstärkung mit zusätzlicher Bewehrung in Nutzen sind:

- geringes zusätzliches Eigengewicht,
- Anwendungsvielfältigkeit und Flexibilität,
- kein zusätzlicher Schutz vor Brand, Vandalismus und Korrosion notwendig.

Demgegenüber stehen folgende Nachteile dieses Verfahrens:

- aufwendige Untersuchungen am Bestand notwendig,
- eventuelle Beschädigung vorhandener Bewehrungselemente,
- Nutzungseinschränkungen durch Brückensperren bei Arbeiten an der Fahrbahnoberfläche.

2.6 Überprüfung des tatsächlichen Ertüchtigungsbedarfs

2.6.1 Allgemeines

Sofern im Zuge der Erhaltung von bestehenden Straßenbrücken eine Bewertung der Tragfähigkeit erforderlich ist, erfolgt diese i. d. R. auf Basis der Nachrichtungslinie (2011). Bei einer Nachrechnung gemäß Nachrechnungsrichtlinie (2011) ist zunächst das Ziellastniveau festzulegen, für welches das jeweils untersuchte Bauwerk nachgewiesen werden soll. Zur Wahl des Ziellastniveaus sind in der Nachrechnungsrichtlinie Vorgaben vorhanden, welche von der Anordnung der Fahrspuren auf einem Überbau sowie der Verkehrsart und dem durchschnittlichen täglichen Schwerverkehr (DTV-SV) abhängen. Bei Bauwerken im Zuge von Bundesfernstraßen ist hiernach immer das Lastmodell LM1 gemäß DIN-Fachbericht 101 (2009) (bzw. das Lastmodell 1 gemäß DIN EN 1991 (2010)) anzusetzen.

Das Lastmodell 1 gemäß DIN-Fachbericht wurde anhand von Messwerten aus Verkehrsmessungen

kalibriert. Hierbei wurden Messstellen an Streckenabschnitten mit sehr starkem Schwerverkehr berücksichtigt (FREUND, 2011). Für solche Streckenabschnitte mit extremen Schwerverkehr wurde gezeigt, dass das Lastmodell 1 gemäß DIN-Fachbericht 101 (2009) das heute aktuelle Schwerverkehrsaufkommen gut abdeckt. Der zukünftig zu erwartenden Schwerverkehr wird jedoch durch dieses Lastmodell nicht mehr in ausreichendem Maße abdeckt. Mit dem Ansatz des Lastmodells nach DIN EN 1991 (2010) werden auch im Hinblick auf die Beanspruchung von Brückenbauwerken ungünstige zukünftige Entwicklungen abgedeckt (z. B. Zunahme des DTV-SV, Zunahme der Fahrzeuggewichte).

Bei der Planung von neuen Bauwerken ist es sinnvoll, ungünstige Lastansätze zugrunde zu legen. Die Mehrkosten infolge der Berücksichtigung extremer Verkehrseinwirkungen sind in Bezug auf die gesamten Kosten einer Maßnahme i. d. R. relativ gering. Durch den Ansatz ungünstigerer Verkehrslasten wird zudem eine hohe Robustheit der Bauwerke erreicht.

Anders verhält es sich bei der Nachrechnung von Brückenbauwerken. Hierbei muss die Tragfähigkeit des jeweiligen Bauwerkes unter Ansatz der vorhandenen Geometrie und der vorhandenen Bewehrung nachgewiesen werden. Bestehende Bauwerke, welche nach früheren Vorschriften geplant wurden, enthalten nach heutigen Maßstäben oft nur relativ wenig Bewehrung. Außerdem waren nach früheren Vorschriften geringere Verkehrslasten zu berücksichtigen. Der Ansatz von hohen Verkehrslasten kann somit dazu führen, dass Bauteile nicht nachgewiesen werden können und aufwändig verstärkt werden müssen, was bei einem realistischen Ansatz der Verkehrslasten unter Berücksichtigung des örtlichen Verkehrs ggf. nicht erforderlich wäre.

Zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Verkehrscharakteristika wurden daher im Zuge des Forschungsvorhabens Verkehrssimulationen durchgeführt. Aus den simulierten Verkehrsszenarien wurden anschließend die Beanspruchungen ausgewählter Tragwerke ermittelt. Diese wurden den Beanspruchungen infolge des Lastmodells 1 nach DIN-Fachbericht gegenübergestellt. Der Vergleich soll zeigen, welches Optimierungspotenzial hinsichtlich der Verkehrslastannahmen bei der Nachrechnung und Ertüchtigung bestehender Bauwerke existiert.

2.6.2 Verkehrssimulationen

Im ersten Schritt wurden realitätsnahe Simulationen der Lasten aus Straßenverkehr durchgeführt. Hierfür wurde ein im Büro Büchting + Streit (in Anlehnung an BÖNING (2013)) entwickeltes Programmsystem verwendet. Das Programmsystem erzeugt unter Berücksichtigung verschiedener Parameter zufällige Fahrzeugfolgen. Für die erzeugten Fahrzeugfolgen werden Achslastfolgen, welche direkt zur Ermittlung von Bauwerksbeanspruchungen genutzt werden können, mit ausgegeben.

Für die Verkehrslastsimulation werden im Wesentlichen folgende Parameter benötigt:

- durchschnittlicher täglicher Schwerverkehr (DTV-SV),
- Typenhäufigkeit der einzelnen Fahrzeugtypen,
- Verteilungsfunktionen der Gesamtgewichte für jeden Fahrzeugtyp,
- Angaben zu den Abständen zwischen Fahrzeugen in Stau-Situationen,
- Geschwindigkeiten der Fahrzeuge im fließenden Verkehr und im Stau.

Der DTV-SV kann als Anzahl von Schwerfahrzeugen direkt eingegeben werden. Hinsichtlich der Parameter Typenhäufigkeit und Verteilungsfunktionen der Gesamtgewichte wird auf Messergebnisse von verschiedenen Verkehrsmessstellen zurückgegriffen (BÖNING 2013) Die vorliegenden Messwerte lassen sich in Abhängigkeit der Lage der Messstellen und der Charakteristik der jeweils gemessenen Daten in die Kategorien „BAB A 61“, „Große Entfernung“, „Mittlere Entfernung“ und „Ortsverkehr“ einteilen (in der genannten Reihenfolge nimmt die Schwere des Verkehrs ab).

Zur Simulation der Fahrzeugabstände in Stau-Situationen können verschiedene Verteilungsfunktionen berücksichtigt werden. Die Abstände zwischen den Fahrzeugen im fließenden Verkehr werden auf Basis einer log-Normalverteilung ermittelt. Die Parameter hierfür werden aus dem DTV-SV, der Fahrgeschwindigkeit, der durchschnittlichen Fahrzeuglänge und der Simulationsdauer bestimmt.

Darüber hinaus können im Programm Pulkbildungen oder Mindestabstände zwischen Fahrzeugen im fließenden Verkehr berücksichtigt werden.

Im Hinblick auf die Untersuchung der Beanspruchungen in Bauwerksquerrichtung kann eine Streuung der Lage der Schwerfahrzeuge innerhalb des jeweiligen Fahrstreifens berücksichtigt werden.

Das Ergebnis der Verkehrssimulation ist eine Folge von Achslasten (Verkehrsband), welche hinsichtlich ihrer Charakteristik den vorgegebenen Eingangsparametern entspricht. Für die Untersuchung von Beispielbauwerken wurden jeweils mehrere Verkehrsbänder unter Berücksichtigung unterschiedlicher Eingangsparameter erzeugt, um die Einflüsse der einzelnen Parameter identifizieren zu können.

2.6.3 Ermittlung der Bauwerksreaktionen

Im zweiten Schritt wurden die Überfahrt der zuvor erzeugten Verkehrsbänder über verschiedene imaginäre Beispielsysteme sowie ein ausgewähltes reales Beispielbauwerk simuliert. Für dieses Beispielbauwerk wurden die Beanspruchungen infolge Verkehr sowohl in Bauwerkslängs- als auch in Bauwerksquerrichtung ermittelt. Aufgrund der Überfahrt des Verkehrsbandes und dem hieraus resultierenden zeitabhängigen Verlauf der Beanspruchungen lassen sich die auszuwertenden Schnittgrößen als Kennwert-Zeitverläufe darstellen.

2.6.4 Ermittlung von repräsentativen Werten

Im letzten Schritt der Verkehrssimulation wurden aus den unter Ansatz der verschiedenen Verkehrsbänder ermittelten Schnittkraft-Zeitverläufen repräsentative Werte mit unterschiedlichen Wiederkehrperioden ermittelt.

Hierfür wurden die auftretenden Schnittgrößen in Klassen eingeteilt und anschließend eine Klassengrenzen-Durchgangszählung durchgeführt. Aus den Klassengrenzen-Überschreitungshäufigkeiten können dann repräsentative Werte mit beliebigen Wiederkehrperioden extrapoliert. Das Vorgehen wird in BÖNING (2013) beschrieben.

2.6.5 Ergebnisse und Zwischenfazit

Bei dem betrachteten realen Beispielbauwerk handelt es sich um einen Dreifeldträger mit Stützweiten 34,0 – 68,0 – 29,0 m. Solche Stützweitenverhältnisse mit kurzen Randfeldern wurden in den 1960er und 1970er Jahren relativ häufig ausgeführt. Das Bauwerk hat einen einzelligen Hohlkastenquerschnitt mit einer Gesamtbreite von 12,75 m. Auf

dem Bauwerk liegen zwei Fahrspuren einer Richtungsfahrbahn (Richtungsverkehr).

Das reale Bauwerk liegt innerstädtisch im Zuge einer Bundesstraße befindet. Auf der sicheren Seite liegend wurde für den Referenz-Verkehr (Richtungsverkehr) die Kategorie „Mittlere Entfernung“ angenommen. Stausituationen wurden bei der Simulation berücksichtigt. Die Abstände zwischen jeweils zwei im Stau befindlichen Fahrzeugen wurden gleichverteilt angenommen, mit einem Minimalwert von 5,0 m und einem Maximalwert von 25,0 m.

Ausgehend von diesem Referenz-Verkehr wurden die Schnittgrößen in Bauwerkslängsrichtung am betrachteten Beispielbauwerk für insgesamt zehn weitere Verkehrsszenarien untersucht. Die Schnittgrößen in Bauwerksquerrichtung wurden für vier weitere Verkehrsszenarien untersucht.

Anhand der Ergebnisse für die einzelnen Verkehrsszenarios kann der Einfluss der jeweils variierten Verkehrsparameter bestimmt werden. Hierbei zeigt sich, dass z. B. die angenommene Verkehrskategorie hinsichtlich der auftretenden Feld- und Stützmomente in Bauwerkslängsrichtung einen deutlich größeren Einfluss auf die Ergebnisse hat als eine Verdoppelung des DTV-SV. Im Hinblick auf eine nachhaltige Ertüchtigung von bestehenden Brückenbauwerken wäre es in Zukunft daher anzustreben, über die DTV-SV-Werte hinaus möglichst genaue Kenntnisse über die Verkehrscharakteristik zu gewinnen. Da Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen in der Praxis zunehmend streckenbezogen und weniger im Hinblick auf Einzelbauwerke bearbeitet werden (MARZAHN, 2015), erscheint eine wirtschaftliche Ermittlung genauerer streckenbezogener Verkehrsdaten möglich.

Die ermittelten Schnittgrößen wurden weiterhin mit den Schnittgrößen infolge des Lastmodells 1 gemäß DIN-Fachbericht 101 (2009) verglichen. Hierbei zeigt sich beim vorliegenden Beispielbauwerk, dass hinsichtlich der Bauwerkslängsrichtung die Schnittgrößen infolge der simulierten Verkehrslasten auch unter Ansatz ungünstigster Annahmen maximal 76 % der Schnittgrößen infolge des Lastmodells 1 betragen.

Es kann gefolgert werden, dass sich durch genauere Untersuchungen (Verkehrssimulation) insbesondere bei Strecken mit geringem Schwerverkehr günstigere Verkehrslastansätze als nach Nachrechnungsrichtlinie belegen lassen.

In Bauwerksquerrichtung liegen die Schnittgrößen infolge der simulierten Verkehrslasten in allen Fällen, insbesondere auch bei Ansatz eines extremen Schwerverkehrs der Kategorie „BAB A 61“ mit einem DTV-SV von 10.000, unterhalb der infolge des Lastmodells 1 auftretenden Schnittgrößen.

Die Ergebnisse zeigen, dass es vor der Ertüchtigung eines Bauwerkes sinnvoll ist, zunächst die angesetzten Verkehrseinwirkungen unter Berücksichtigung der lokal tatsächlich zu erwartenden Verkehrslasten kritisch zu überprüfen.

3 Bewertungsverfahren

3.1 Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens

3.1.1 Bewertung anhand von Steckbriefen

Um die Nachhaltigkeit der Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen von Straßenbrücken zu bewerten wird auf das aus dem Forschungsvorhaben FE 09.0164 (FISCHER, 2013) bekannte Steckbriefsystem zurückgegriffen. Der modulare Aufbau der Steckbriefe mit einer Unterteilung in drei Ebenen wird grundsätzlich beibehalten, lediglich die Beschreibungen, Hinweise und Berechnungs- bzw. Bewertungsmethoden werden entsprechend der veränderten Anforderungen bei der Bewertung von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen angepasst. Bei der Bewertung wird ferner zwischen messbaren und nicht messbaren Kriterien unterschieden. Während die Ergebnisse der Bewertung der messbaren Kriterien zwischen verschiedenen Ausführungsvarianten als absolute Werte einfach verglichen werden können, ist bei den nicht messbaren Kriterien ein relativer Vergleich nötig. Dieser erfolgt anhand von Erläuterungsberichten sowie vorgegebener Mindestanforderungen. Die genaue Vorgehensweise zur Beurteilung der nicht messbaren Kriterien wird in den zugehörigen Steckbriefen erläutert.

Ein reiner Vergleich zwischen mehreren Ausführungsvarianten einer Erhaltungs- oder Ertüchtigungsmaßnahmen mithilfe der Steckbriefe ist jedoch aufgrund der Komplexität bzw. der möglichen Synergieeffekte bei Sanierungsmaßnahmen nicht ausreichend. Vielmehr muss die Nachhaltigkeit der Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen auf verschiedenen Ebenen betrachtet werden, um eine Aussage über das nachhaltigste Maßnahmenpaket treffen zu können (siehe Kapitel 2.3). Das schema-

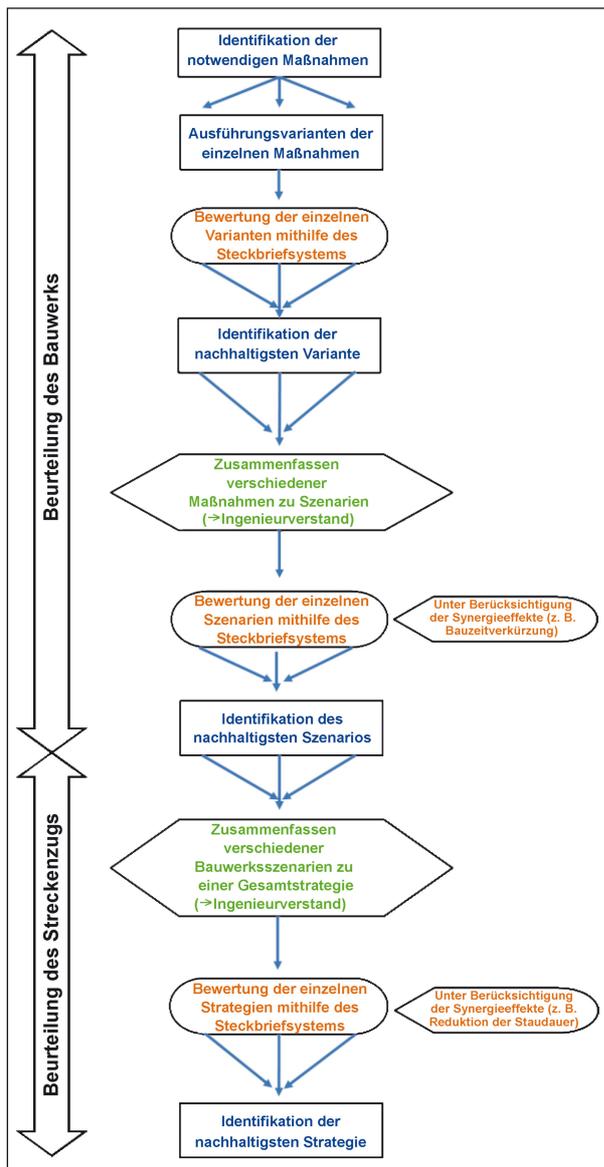


Bild 12: Ablaufdiagramm zur Beurteilung der nachhaltigsten Erhaltungs- und Ertüchtigungsstrategie

tische Vorgehen bei einer Bottom-Up-Analyse zur Bestimmung der nachhaltigsten Erhaltungs- und Ertüchtigungsstrategie für ein Verkehrsnetz ist in Bild 12 angegeben. Mithilfe dieses Vorgehens und anhand der zur Verfügung stehenden Steckbriefe können, aufbauend auf der Identifizierung der notwendigen Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen, das nachhaltigste Bauwerksszenario sowie die hinsichtlich der Nachhaltigkeit beste Strategie für das Gesamtnetz bestimmt werden.

3.1.2 Synergieeffekte

Im Zuge einer Optimierung der Nachhaltigkeit ist es zwingend nötig, mögliche Synergieeffekte zu erkennen und zu beziffern. Deshalb wird im Rahmen

dieses Forschungsprojekt ein Hilfsmittel für den planenden Ingenieur bzw. die Planungsbehörde entwickelt, mit dem mögliche Synergieeffekte zwischen Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen erkannt werden können. Dazu wird die bereits in den Forschungsvorhaben FE 15.0490 (GRAUBNER, 2010) und FE 09.0164 (FISCHER, 2013) verwendete Bewertungsmatrix bezüglich der möglichen Synergieeffekte erweitert (siehe Bild 14).

Anhand der bekannten Steckbriefsystematik wird das Einsparpotenzial bei gleichzeitiger Durchführung von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen in Abhängigkeit des geplanten Zeitpunkts der Erhaltungsmaßnahme sowie der Restlebensdauer der Straßenverkehrsbrücke berechnet und anschließend monetarisiert. Dies geschieht für alle bezüglich der Synergieeffekte relevanten Kriterien, sodass schließlich die summierten Einsparpotenziale der einzelnen Maßnahmen als monetarisierte Werte verglichen werden können.

Abweichend vom allgemeinen Bewertungsschema fließen bei Betrachtung von Erhaltungsmaßnahmen nur die während der Herstellung (t_0) verursachten Kosten bzw. Emissionen ein. Es wird davon ausgegangen, dass sich bezüglich des Betriebs und des Abbruchs durch das Ausführen einer Erhaltungsmaßnahme maximal geringfügige Änderung hinsichtlich der Nachhaltigkeit des Gesamtbauwerks ergeben.

3.2 Gesamtkonzept „Erhalt und Ertüchtigung“

Das Gesamtkonzept zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungskonzepten von Straßenbrücken gliedert sich in zwei Bereiche (siehe Bild 13). Ein Bereich beinhaltet die bereits bekannte Bewertung der Nachhaltigkeit von Baumaßnahmen (im Rahmen der Bauwerksunterhaltung) mithilfe eines modularen Steckbriefsystems. Die Nachhaltigkeit wird dabei über den gesamten Lebenszyklus der Straßenverkehrsbrücke und hinsichtlich der Auswirkungen auf das übergeordnete Verkehrsnetz beurteilt. Eingangsparemeter sind dabei unter anderem die geplante Restnutzungsdauer sowie die prognostizierte bzw. aktuelle Verkehrsbelastung. Auf diese Weise werden alle Erhaltungsmaßnahmen sowie die statisch nicht relevanten Instandsetzungen beurteilt und die bezüglich der Nachhaltigkeit beste Ausführungsvariante bestimmt.

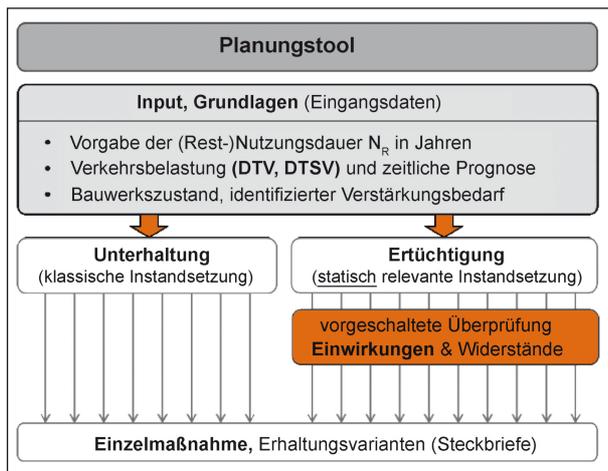


Bild 13: Planungstool

Der zweite Teil des Gesamtkonzepts betrifft die Bauwerksertüchtigungen. Der Bedarf für diese statisch relevanten Instandsetzungen ergibt sich entweder aus der Netzplanung (gestiegene Anforderungen), dem Bauwerkszustand (z. B. fortschreitende Schädigungen) oder aufgrund neuer Bemessungsvorschriften (Tragfähigkeit des Bauwerks nicht mehr nachweisbar). Wird ein Ertüchtigungsbedarf aufgrund statischer Defizite der Straßenverkehrsbrücke ermittelt, ist vor der eigentlichen Nachhaltigkeitsbewertung eine Überprüfung der tatsächlichen Einwirkungen und Widerstände vorgesehen (siehe Kapitel 2.6). Dadurch kann die Ausführung von Ertüchtigungsmaßnahmen, die nicht zwingend nötig sind, vermieden werden.

3.3 Verfahren zur Bewertung der Nachhaltigkeit für die Erhaltung und Ertüchtigung für Brückenbauwerke

Die Bewertung der Nachhaltigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen von Straßenbrücken soll auf die in den Forschungsvorhaben FE 15.0490 (GRAUBNER, 2010) und FE 09.0164 (FISCHER, 2013) vorgeschlagene Bewertungssystematik aufbauen, damit ein einheitliches und weitgehend durchgängiges Bewertungssystem erreicht werden kann. Sowohl die Zuordnung der einzelnen Kriterien zu einem oder mehreren Stakeholdern (Betroffenen) sowie die getrennte zeitliche Betrachtung der Kosten/Emissionen zu den Zeitpunkten Herstellung (t_0), Betrieb/Unterhalt (t_1) und Abbruch/Umnutzung (t_2) werden beibehalten. Weiterhin wird dem Anwender die Gewichtung der einzelnen Kriterien innerhalb einer Hauptkriteriengruppe

innerhalb bestimmter Grenzwerte freigestellt, um es dem erfahrenen Planer bzw. der Planungsbehörde möglich zu machen, die Bewertung individuell auf die gegebenen Randbedingungen anzupassen.

Neben der im Forschungsvorhaben FE 15.0490 (GRAUBNER, 2010) verwendeten Bewertung anhand eines Punktekriteriums, wird auch die im Forschungsvorhaben FE 09.0164 (FISCHER, 2013) teilweise eingeführte monetäre Betrachtung ausgewählter Kriterien weiterentwickelt. Mithilfe einer Monetarisierung aller Bewertungskriterien können gemeinhin eine größere Kostentransparenz bezüglich der Infrastrukturmaßnahmen geschaffen und im Speziellen die Lebenszykluskosten verschiedener Ausführungsvarianten besser miteinander verglichen werden. Es wird deshalb eine weitere Überarbeitung des Bewertungsverfahrens hin zu einer rein monetarisierten Betrachtung vorgeschlagen; dies ist allerdings kein Bestandteil des vorliegenden Forschungsvorhabens. Zudem können mithilfe einer monetären Betrachtung die Synergieeffekte bei gleichzeitiger Durchführung von Ertüchtigungs- und Erhaltungsmaßnahmen besser quantifiziert werden (siehe Kapitel 3.1.2).

3.4 Planungshilfsmittel (Steckbriefe/ Kriterienkatalog)

Die in den Forschungsprojekten FE 15.0490 „Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturprojekte im Hinblick auf die Nachhaltigkeit“ (GRAUBNER, 2010) und FE 09.0164 „Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel“ (FISCHER, 2013) entwickelten Bewertungskriterien wurden unter anderem anhand von Praxisbeispielen (vgl. Kapitel 2.4) auf ihre Relevanz für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen für Straßenbrücken geprüft. Da Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen zum einen meist einen sehr viel geringeren Bauaufwand als die ursprünglichen Arbeiten aufweisen und zum anderen nach der Fertigstellung des Bauwerkes und somit nach der Linienbestimmung ausgeführt werden, konnten einige Kriterien gestrichen werden. Andere Kriterien wurden um neue Aspekte erweitert oder modifiziert, sodass nun ein schlanker, funktionaler Kriterienkatalog zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen bei Straßenbrücken zur Verfügung steht.

Analog zu den vorhergehenden Forschungsvorhaben wurde keine Betrachtung der Prozessqualität vorgenommen, da Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen ausschließlich im Nutzungszeitraum des Bauwerks stattfinden. Die maßgebende Größe für die Prozessqualität bei Arbeiten in der Nutzungsphase sind die Bauzeit bzw. die Auswirkungen auf den fließenden Verkehr. Diese Größen werden jedoch durch die vorhandenen Kriterien der ökologischen und ökonomischen Qualität bereits abgebildet, sodass auf eine getrennte Betrachtung der Prozessqualität verzichtet werden kann.

3.4.1 Gestrichene Kriterien

Nachdem die Relevanz der in den vorhergehenden Forschungsvorhaben erarbeiteten Kriterien für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen für Straßenbrücken geprüft wurde, konnten einige Kriterien aufgrund des mangelnden Einflusses auf die Nachhaltigkeits-

betrachtung bzw. der Nichtanwendbarkeit gestrichen werden. Die gestrichenen Kriterien sowie die ausschlaggebenden Gründe für die Streichung werden im Folgenden aufgeführt. Ein Vergleich zwischen dem aktuellen Kriterienkatalog und denen der vorhergehenden Forschungsvorhaben ist in Tabelle 4 dargestellt.

Sonstige Wirkungen auf die globale Umwelt

Das Kriterium „Sonstige Wirkungen auf die globale Umwelt“ wurde analog zu den vorhergehenden Forschungsvorhaben aufgrund fehlender einheitlicher Bewertungsmethoden und sowie der nicht gegebener Relevanz für Brückenbauwerke zurückgestellt.

Wasserbedarf

Die Störungen des Grundwassers, die über das Kriterium „Wasserbedarf“ erfasst werden, sind vor allem im Modul 1 (Linienbestimmung) zu berücksichtigen. Ertüchtigungs- und Erhaltungsmaßnahmen finden erst nach Fertigstellung des Bauwerks und somit nach der endgültigen Linienbestimmung statt, so-

Nr.	Kriterium	Brücke	freie Strecke	Tunnel	Erhaltung
1	Ökologische Qualität				
1.1	Treibhauspotenzial	✓	✓	✓	✓
1.2	Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	✓	✓	✓	✓
1.3	Ozonbildungspotenzial (POCP)	✓	✓	✓	✓
1.4	Versauerungspotenzial (AP)	✓	✓	✓	✓
1.5	Überdüngungspotenzial (EP)	✓	✓	✓	✓
1.6a	Risiken für die lokale Umwelt Teil A: Fauna und Flora	✓	✓	✓	✓
1.6b	Risiken für die lokale Umwelt Teil B: Boden, Wasser, Luft	✓	✓	✓	✓
1.7	Sonstige Wirkungen auf die globale Umwelt	zurückgestellt → Kriterium wird gestrichen			
1.8a	Umwelteinwirkungen/Mehremissionen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	✓	✓	✓	✓
1.8b	Umwelteinwirkungen/Mehremissionen infolge Linienführung	relevant in Modul 1 "Linienbestimmung"			
1.9	Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PEne)	✓	✓	✓	✓
1.10	Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie (PEe)	✓	✓	✓	✓
1.11	Wasserbedarf	✗	→Kriterium 1.6b	→Kriterium 1.6b	→Kriterium 1.6b
1.12	Flächeinanspruchnahme	zurückgestellt	✓	✓	✗
1.13	Abfall und Kreislaufwirtschaft	zurückgestellt	✓	entfällt	✗
1.14	Ressourcenschonung	✗	✓	entfällt	✗
2	Ökonomische Qualität				
2.1	Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus	✓	✓	✓	✓
2.2	Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	✓	✓	✓	✓
2.3	Externe Kosten infolge streckenbedingter Verkehrsbeeinträchtigung	relevant in Modul 1 "Linienbestimmung"			
3	Soziokulturelle und funktionale Qualität				
3.1a	Mensch, einschließlich Gesundheit, insbesondere Lärm	✓	✓	✓	✓
3.1b	Landschaft	✗	✓	✓	✗
3.1c	Kulturgüter und sonstige Sachgüter	✗	✓	✓	✗
3.2	Komfort	✓	✓	✓	✓
3.3	Umnutzungsfähigkeit des Bauwerks	✓	→Kriterium 4.4	→Kriterium 4.4	✗
3.4	Betriebsoptimierung	✓	✓	✓	✗
3.5	Sicherheit gegen Störfallrisiken (Security)	zurückgestellt	✓	✓	✗
3.6	Verkehrssicherheit (Safety)	zurückgestellt	✓	✓	✗
3.7	Förderziele	✗	✓	✓	✗
4	Technische Qualität				
4.1	elektrische und mechanische Einrichtungen	✓	✓	✓	✓
4.2	Konstruktive Qualität	✓	✓	✓	✓
4.3	Wartungs- und Instandsetzungsfreundlichkeit	✓	→Kriterium 3.4	→Kriterium 3.4	✓
4.4	Verstärkung und Erweiterbarkeit	✓	✓	✓	✗
4.5	Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit, Demontagefreundlichkeit	✓	✓	✓	✓
4.6	Herstellbarkeit	✗	entfällt	✓	✓

Tab. 4: Überarbeiteter Kriterienkatalog

dass der Einfluss von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen auf das Kriterium „Wasserbedarf“ sehr gering ist und vernachlässigt werden kann.

Der Wasserbedarf der einzelnen Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen und die Auswirkungen, die dieser und speziell das anfallende Abwasser auf die lokale Umwelt haben, werden analog zum Forschungsvorhaben FE 09.0164 „Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel“ (FISCHER, 2013) über das Teilkriterium 1.6b „Risiken für die lokale Umwelt Teil B: Boden, Wasser und Luft“ erfasst.

Flächeninanspruchnahme

Auch das Kriterium „Flächeninanspruchnahme“ ist hauptsächlich während der Linienbestimmung der Trasse relevant und wird deshalb gestrichen. Ertüchtigungs- und Erhaltungsmaßnahmen beeinflussen den Flächenbedarf eines Brückenbauwerks im Regelfall nicht.

Abfall- und Kreislaufwirtschaft

Entsprechend der Nachhaltigkeitsbewertung von Brückenbauwerken ist das Kriterium „Abfall- und Kreislaufwirtschaft“ auch bei der Bewertung von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen zurückgestellt, da durch diese Maßnahmen die während des Betriebs und am Ende des Lebenszyklus der Brücke anfallende Abfallmenge nicht wesentlich beeinflusst wird.

Ressourcenschonung

Mithilfe des Kriteriums „Ressourcenschonung“ soll vor allem eine Reduktion des Stoffeinsatzes in Form von Gesteinskörnungen erreicht werden. Ein Einsparpotenzial ist hauptsächlich bei der Planung von freien Strecken vorhanden; das Kriterium „Ressourcenschonung“ wird deshalb für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungskonzepten gestrichen.

Externe Kosten infolge streckenbedingter Verkehrsbeeinträchtigung

Das Kriterium „Externe Kosten infolge streckenbedingter Verkehrsbeeinträchtigung“ ist nur während der Linienbestimmung für die Nachhaltigkeit der Baumaßnahme maßgebend. Da die Linienbestimmung zum Ausführungszeitpunkt der Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen bereits abgeschlossen ist, kann die Nachhaltigkeit der Maßnahme in Bezug auf dieses Kriterium nicht mehr verändert werden.

Landschaft

Die Auswirkungen des Bauwerks auf die umgebende Landschaft werden durch Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen nur in sehr geringem Maß beeinflusst. Deshalb ist das Kriterium „Landschaft“ für die Nachhaltigkeitsbewertung von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen bei Straßenbrücken gestrichen.

Kulturgüter und sonstige Sachgüter

Analog zum Kriterium „Landschaft“ wird auch das Kriterium „Kulturgüter und sonstige Sachgüter“ nicht wesentlich durch Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen beeinflusst und deshalb gestrichen.

Umnutzungsfähigkeit des Bauwerks

Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen verändern die Umnutzungsfähigkeit von Brückenbauwerken nicht bzw. nur in sehr geringem Umfang. Auch nach Durchführung von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen ist eine Umnutzung des Brückenbauwerks grundsätzlich weiterhin möglich, weshalb dieses Kriterium gestrichen wird.

Betriebsoptimierung

Die Sicherstellung eines reibungslosen Betriebs (z. B. Reinigungs- und Pflegearbeiten) ist bereits Bestandteil der Planungen für das eigentliche Brückenbauwerk. Das Kriterium „Betriebsoptimierung“ geht daher nicht mehr in die Bewertung der Nachhaltigkeit von, zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführten, Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen ein.

Sicherheit gegen Störfallrisiken

Analog zum Kriterium „Betriebsoptimierung“ wird auch die Sicherheit gegenüber Störfallrisiken schon bei der Planung des eigentlichen Brückenbauwerks berücksichtigt. Durch die im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung untersuchten Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen wird das Kriterium „Sicherheit gegen Störfallrisiken“ nicht beeinflusst und wird deshalb gestrichen.

Verkehrssicherheit

Auch für das Kriterium „Verkehrssicherheit“ ergeben sich durch Erhaltungs- und Ertüchtigungsarbeiten keine oder nur geringfügige Änderungen, sodass dieses Kriterium bei der Nachhaltigkeitsbewertung von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen nicht berücksichtigt wird.

Förderziele

Mit dem Kriterium „Förderziele“ soll der Beitrag des untersuchten Bauwerks zur Raumentwicklung ermittelt werden. Dies ist jedoch nur für das Modul 1 (Linienbestimmung) relevant; durch Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen kann die Raumentwicklung nicht beeinflusst werden. Aus diesem Grund wird das Kriterium „Förderziele“ gestrichen.

Verstärkung und Erweiterbarkeit

Die Möglichkeiten zur Verstärkung und Erweiterbarkeit von Brücken werden durch die Durchführung von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen in der Regel nicht beeinflusst. Dementsprechend ist das Kriterium „Verstärkung und Erweiterbarkeit“ für die Nachhaltigkeitsbewertung von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen nicht relevant und wird gestrichen.

3.4.2 Anpassung der Kriterien

Die bisherige Bewertung der Nachhaltigkeit von Bauwerken der Straßeninfrastruktur erfolgte über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. Der Betrachtungszeitraum musste für die Nachhaltigkeitsbewertung von Ertüchtigungs- und Erhaltungsmaßnahmen bei Straßenbrücken angepasst werden, da diese sinnvoller Weise nur über die Restnutzungsdauer des Brückenbauwerks betrachtet werden können. Je nach Ausgangsalter der Brücke verändert der reduzierte Betrachtungszeitraum damit die Prognoseunsicherheit gegenüber dem tatsächlichen Verkehrsaufkommen und verbessert somit die theoretische Genauigkeit der Nachhaltigkeitsbewertung. Bei der Beurteilung der Ausgangslage ist es dabei sehr wahrscheinlich, dass eine Restnutzungsdauer der Brücke ermittelt wird, die von der ursprünglich angesetzten Lebensdauer der Brücke von 100 Jahren erheblich abweicht. Um die tatsächliche Restnutzungsdauer der Brücke feststellen zu können und so eine verlässliche Aussage zur Nachhaltigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen treffen zu können, ist eine genaue Analyse des umgebenden Streckennetzes sowie weiterer Randbedingungen (wie z. B. das tatsächliche Verkehrsaufkommen) unumgänglich (vgl. Kapitel 2.3 und 2.6). Erst nach Festlegung einer Erhaltungsstrategie für das vorliegende Brückenbauwerk kann der Betrachtungszeitraum festgelegt werden und eine Beurteilung der Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen hinsichtlich der Nachhaltigkeit erfolgen.

Die Nummerierung der Kriterien wurde gegenüber dem vorhergehenden Forschungsvorhaben FE

15.0490 (GRAUBNER, 2010) und FE 09.0164 (FISCHER, 2013) nicht verändert, um speziell für den Vergleich zwischen Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen und dem Neubau einer Straßenverkehrsbrücke auf einen einheitlichen Kriterienkatalog zurückgreifen zu können. Eine Abgrenzung zwischen Erhaltungs- und speziell Ertüchtigungsmaßnahmen und dem Neubau einer Straßenbrücke ist jedoch von vielen unsicheren Faktoren, wie z. B. der zukünftigen Verkehrsbelastung oder dem Wartungsaufwand des Neubaus, abhängig, sodass durch den Vergleich der Nachhaltigkeit anhand des vorliegenden Steckbriefsystems nur grobe Anhaltspunkte ermittelt werden können. Vielmehr ist die Entscheidung zwischen einem Ersatzneubau oder der Durchführung von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen von der Entscheidung für eine Gesamtstrategie im Verkehrsnetz und der sich daraus ergebenden Erhaltungsstrategie für das konkrete Brückenbauwerk abhängig (vgl. Kapitel 2.3). Die Festlegung für eine Gesamtstrategie kann dabei nur unter Berücksichtigung aller bekannten Randbedingungen erfolgen; eine genaue Analyse der vorliegenden sowie der prognostizierten Verkehrsbelastung ist also, genauso wie eine politische Entscheidung zur geplanten Raumentwicklung, notwendig und unumgänglich.

Weiterhin wurden die einzelnen Kriterien hinsichtlich des Bewertungszeitpunktes und des Bewertungsgegenstandes angepasst. Die Durchführung von Ertüchtigungs- und Erhaltungsmaßnahmen bei Straßenverkehrsbrücken erfolgt während des Betriebs bzw. der Nutzung der Straßenverkehrsbrücke und dementsprechend muss auch die Nachhaltigkeit zu diesem Zeitpunkt bewertet werden. Bewertungsgegenstand sind, abweichend zu den vorhergehenden Forschungsvorhaben, lediglich Brückenbauwerke; zur Bestimmung des Vorgehens bei der Nachhaltigkeitsbewertung von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen bei Straßentunneln und dem Bereich freie Strecke ist noch weitere Forschungsarbeit notwendig.

Nach Abschluss aller Forschungsarbeiten zu der Thematik der Nachhaltigkeit von Bauwerken der Straßeninfrastruktur sollte eine Anpassung der Nummerierung im Kriterienkatalog in Betracht gezogen werden. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens wurde, um eine einheitliche Darstellung gewährleisten zu können, auf die bekannte Nummerierung aus den bereits abgeschlossenen Forschungsvorhaben inklusive der teilweise nachträglich eingefügten Kriterien zurückgegriffen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

4.1 Bewertungssystem

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wird ein Bewertungsprinzip für die Beurteilung der Nachhaltigkeit von Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen bei Straßenbrücken erarbeitet. Die Bewertung erfolgt anhand eines modularen Steckbriefsystems. Das System orientiert sich an den Ergebnisse der Forschungsvorhaben FE 15.0490 (GRAUBNER, 2010) und FE 09.0164 (FISCHER, 2013) um eine weitgehend durchgängige Bewertungsmethodik und ein einheitliches Steckbriefsystem sicherzustellen.

Um die für Erhaltung und Ertüchtigungsmaßnahmen relevanten Kriterien zu identifizieren und ein geeignete Bewertungssystem zu entwickeln wurden verschiedenen Studien durchgeführt. Hierbei wird als Praxisstudie einerseits eine von SSF Ingenieure AG erstellte Studie von 15 Straßenbrücken der Bundesautobahn A 9 München-Nürnberg auf dem Abschnitt zwischen Langenbruck und Holledau herangezogen und die Maßnahmen bezüglich Nachhaltigkeitskriterien ausgewertet. Andererseits werden Erkenntnisse des aktuellen Forschungsvorhabens FE 15.0570 „Verstärkung älterer Beton- und Spannbetonbrücken – Erarbeitung einer Erfahrungssammlung“ von Schnellenbach – Held genutzt und daran die derzeit gängigen und durchgeführten Maßnahmen zur Ertüchtigung von Straßenverkehrsbrücken identifiziert. Anhand einer dritten Studie konnte speziell bei Ertüchtigungsmaßnahmen ein großes Einsparpotenzial durch Überprüfung der tatsächlichen Einwirkungen und Widerstände aufgezeigt werden. Durch die Ermittlung spezifischer Lasten können unnötige Ertüchtigungen vermieden bzw. der Umfang von Instandsetzungen reduziert werden.

Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen der Praxisstudien wird das Bewertungssystem entwickelt und die Steckbriefe formuliert. Die Nachhaltigkeit soll auf Ebene des übergeordneten Verkehrsnetzes beurteilt werden. Dazu werden die Ergebnisse aus der Betrachtung auf Ebene der Einzelmaßnahme über sämtlichen Maßnahmen am Bauwerk und letztendlich am gesamten Straßennetz kumuliert. Um ein systematisches Berücksichtigung der gesamten Restnutzungsdauer zu ermöglichen fließen in die Bewertung unter anderem die Restnutzung, die aktuelle und prognostizierte Ver-

kehrbelastung sowie der Bauwerkszustand ein. Auf diese Weise kann die auf den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks beste Nachhaltigkeitsstrategie identifiziert und ausgewählt werden. Auch mögliche Synergieeffekte zwischen verschiedenen Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen können durch die Betrachtung in unterschiedlichen Ebenen erkannt und ausgenutzt werden.

Um eine „Vergleichsebene“ der Vielzahl an unterschiedlichen Kriterien zu erhalten aber auch gleichzeitig der der komplexen Multikriterienanalyse gerecht zu werden, wird wie auch beim Projekt Tunnel und Strecke (FE 09.0164) eine monetarisierte Betrachtung parallel zu eine Betrachtung mit Bewertungspunkten eingesetzt. Hierdurch können die verschiedenen harten und weichen Kriterien transparent miteinander verglichen werden. Auch wird dem Bewertendem ein gewisser Gewichtungsspielraum eingeräumt, um mit Ingenieursverstand die Betrachtung den sehr unterschiedlichen Randbedingungen des individuellen Bauwerks anzupassen.

4.2 Grenzen des Systems

Man wird mit einem auch noch so aufwendigen Steckbriefsystem nur bedingt der Komplexität der Planung von Sanierungsmaßnahmen an Brückenbauwerken gerecht. Auch stellt die Anwendung des entwickelten Systems, wenn man es an einem gesamten Straßennetzwerke anwenden möchte, einen sehr großen Aufwand dar. Jede einzelne Maßnahme muss bewertet werden, die Synergien am Bauwerk und auch am Gesamtnetz müssten untersucht werden, um schlussendlich eine optimierte Gesamtstrategie aus den verschiedenen betrachteten Varianten zu entwickeln. Hier stößt die Anwendbarkeit eines dezidierten Steckbriefsystems wegen des hohen Aufwandes recht bald an ihre Grenzen.

Weiterhin darf man nicht davon ausgehen, dass durch „einfaches“ Maximieren der erzielbaren Bewertungspunkte einzelner Steckbriefen sich am Schluss eine optimale Erhaltungs- und Ertüchtigungsstrategie ergibt. Hier ist sehr viel Erfahrung und Fachwissen nötig, um insbesondere auch die komplexe Interaktion verschiedener Maßnahmen zu erkennen und zu beurteilen. Die Erläuterungen und Richtungsweisungen im gesamten Bewertungskonzept sollen vielmehr die Richtung und Zielsetzung einer Nachhaltigkeitsoptimierung angeben.

Der planende Ingenieur und der Entscheider in der Verwaltung sollen hierdurch ein Hilfsmittel erhalten, um die grundlegenden Konzepte der Nachhaltigkeit in den bereits bekannten und etablierten Planungsprozess einfließen zu lassen.

4.3 Vereinfachte Betrachtung

Die durchgeführten Studien und erste „Probeanwendungen“ des Systems im Rahmen einer Masterarbeit haben gezeigt, dass auch bei einer starken Reduzierung der Anzahl der Kriterien mit Fokussierung auf die wichtigsten Effekte grundlegende Aussagen zu nachhaltigen Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen getätigt werden können.

Folgende Nachhaltigkeitsaspekte werden hierbei als maßgebende angesehen:

- **Ökonomisch**
Kostensoptimierung der gesamten Lebenszykluskosten aller Baumaßnahmen im Gesamtnetz. Eine reine Kostenreduzierung der Baukosten von Einzelmaßnahme, wie es heutzutage meist aufgrund der bestehenden Vergabep Praxis erfolgt, führt nicht zur volkswirtschaftlichen besten, geschweige der nachhaltigsten Lösung.
- **Sozio-Kulturell**
Hohe Verfügbarkeit des Bauwerks und Vermeidung von Stau bzw. langen Umleitungen (sekundäre volkswirtschaftliche Kosten). Zeitlich effiziente Baumethoden mit optimierten Verkehrsführungen bei optimal gebündelten Maßnahmen führen zur nachhaltigsten Strategie.
- **Ökologisch**
Größte ökologische Wirkung ergibt sich nicht aus den verwendeten Werkstoffen, sondern vielmehr aus der indirekten Wirkung durch Verkehr (Mehremissionen durch Stau und Umwege). Auch wenn man vermeintlich weniger nachhaltige Materialien einsetzt, mit diesen aber einen schnelleren Bauablauf und insbesondere höhere Dauerhaftigkeit erzielt (seltenerer Interventionen), ist dies nachhaltiger.
- **Bündelung/Koordination**
Grundsätzlich lässt sich durch Bündelung von Maßnahmen am Bauwerk und Koordination von Maßnahmen an benachbarten Bauwerken im Netz, der größte positive Effekt erzielen. Optimieren einer Einzelmaßnahme führt meist nur

zu einer geringeren Optimierung des Gesamtsystems.

- **Dauerhaftigkeit**
Eine hohe Dauerhaftigkeit ist selbst bei höheren Kosten nachhaltig, da hierdurch die Häufigkeit der Intervention reduziert wird und Lebenszykluskosten wie auch sekundäre Effekte (Staukosten und Abgase) reduziert werden.

4.4 Forschungsbedarf

Das basierend auf die Vorgaben des Steckbriefkonzepts aus FE 15.0490 (GRAUBNER, 2010) und FE 09.0164 (FISCHER, 2013) entwickelte Bewertungssystem stellt sich aufgrund der Notwendigkeit einer komplexen Vernetzung von Einzelmaßnahmen in der Anwendung als relativ aufwendig dar. Vorstudien im Rahmen einer Masterarbeit haben gezeigt, dass sich mit einem auf die grundlegenden Kriterien reduzierten System (siehe auch Kapitel 4.3) bereits grundlegende Aussagen und Optimierungsgrundlagen erstellen lassen. Dieses Konzept mit dem mit geringem Aufwand sicherlich 90 % des Optimierungspotenzials ausnutzen kann gilt es zu genauer zu evaluieren und weiterzuentwickeln.

Um die Anwendung eines solchen Optimierungskonzeptes in der Breite einsetzen zu können, ist eine Implementierung und Anbindung der Bewertung an das Brücken Management System (BMS) notwendig. Nur so kann die Interaktion der Maßnahmen, also die Bündelung der Maßnahmen am Bauwerk so wie die Koordination innerhalb des Netzes abgebildet werden. Im BMS sollten hier zunächst die grundsätzlich nötigen Maßnahmen identifiziert werden. Basierend auf den Prinzipien der „Vereinfachten Betrachtung“ können dann mit Ingenieursverband grundlegende Entscheidungen zur Bündelung und Koordination der Maßnahmen getroffen werden (Top-Down, siehe Kapitel 2.3.2). Die Einzelmaßnahme kann anschließend mithilfe der Steckbriefe noch bezüglich der Nachhaltigkeit individuell optimiert werden.

5 Literatur

- BAUMGÄRTNER, U.; FISCHER, O.; JUNGWIRTH, J. et al.: Ganzheitliche Beurteilung von Verkehrsinfrastrukturprojekten. Beton- und Stahlbetonbau 107, Heft 8, 2012, S. 511-523
- BMVBS: Strategie zur Ertüchtigung der Straßenbrücken im Bestand der Bundesfernstraßen (Bericht). Berlin, 2013
- BÖNING, S.: Entwicklung einer geschlossenen Vorgehensweise zur Ermittlung von Beanspruchungen von Brückenbauwerken infolge Straßenverkehr. Dissertation an der Bauhaus-Universität Weimar, 2013
- BUSCHMEYER, W.; BRAASCH, T.: Wirtschaftliches und nachhaltiges Verstärken von Betonbrücken (FE 15.0555/2012/NRB). Schlussbericht – unveröffentlicht, Im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 2015
- DIN EN 1991-2: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Dezember 2010
- DIN-Fachbericht 101: Einwirkungen auf Brücken, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, März 2009
- FISCHER, O.; SAUER, J.; JUNGWIRTH, J. et al.: Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Straßenbau, Heft S 97, Bergisch Gladbach, 2016
- FREUND, U.; BÖNING, S.: Anpassung von DIN-Fachberichten „Brücken“ an Eurocodes – Teil 1: DIN-FB 101: „Einwirkungen auf Brücken“. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft B 77, 2011
- GRAUBNER, C.-A.; FISCHER, O.; KNAUFF, A. et al.: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke in Hinblick auf Nachhaltigkeit, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken und Ingenieurbau, Heft B 125, Bergisch Gladbach, 2016
- GUNREBEN, Y.-C.: Brückenertüchtigung – Stand und Ausblick. Expertengespräch Stahlbrückenbau, BASt, Bergisch Gladbach, September 2014
- KUHLMANN, U.; BECK, T.; FISCHER, M. et al.: Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit. Stahlbau 80, Heft 10, 2011, S. 703-710
- MARZAHN, G.: Brückenbau in Deutschland, Tagungsband zum Dresdner Brückenbau-Symposium, 2015
- Nachrechnungsrichtlinie: Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand, BMVBS Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Mai 2011
- SCHNELLENBACH-HELD, M.; PEETERS, M.; SCHER-BAUM, F.: Sachstand Verstärkungsverfahren – Verstärken von Betonbrücken im Bestand. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken und Ingenieurbau, Heft B 75, 2010
- SCHNELLENBACH-HELD, M.; WELSCH, T.; FICKLER, S. et al.: Verstärkung älterer Beton- und Spannbetonbrücken – Erarbeitung einer Erfahrungssammlung (FE 15.0570/2012/NRB). Schlussbericht Teil 1 – unveröffentlicht, Im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 2014
- SSF Ingenieure AG: Studie zur Optimierung von Erhaltungs- und Ertüchtigungskonzepten am Beispiel der Bundesautobahn A 9 Nürnberg – München, Erhaltungsabschnitt A 9 Langenbruck – AD Holledau, Brücken- und Ingenieurbau (unveröffentlicht), Autobahndirektion Südbayern, 2013

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2012

B 87: Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie
Feldmann, Döring, Hellberg, Kuhnhenne, Pak, Mangerig, Beucher, Hess, Steinauer, Kemper, Scharnigg € 17,00

B 88: Anpralllasten an Schutzeinrichtungen auf Brücken – Anpassung der DIN-Fachberichte „Stahlbrücken“ und „Verbundbrücken“ an endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsrechnungen
Kuhlmann, Zizza, Günther € 15,50

B 89: Nachrechnung von Betonbrücken zur Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Bauwerke
Maurer, Heeke, Kiziltan, Kolodziejczyk, Zilch, Dunkelberg, Fitik € 19,50

B 90: Fugenbewegung an der Ruhrtalbrücke Mintard
Eilers, Quaas, Staeck € 14,00

2013

B 91: Priorisierung und Nachrechnung von Brücken im Bereich der Bundesfernstraßen – Einfluss der Einwirkungen aus Verkehr unter besonderer Berücksichtigung von Restnutzungsdauer und Verkehrsentwicklung
Freundt, Böning € 15,00

B 92: Kriterien für die Anwendung von unbewehrten Innenschalen für Straßentunnel
Kaundinya € 14,00

B 93: Querkrafttragfähigkeit von Fahrbahnplatten – Anpassung des DIN-Fachberichtes „Betonbrücken“ an die endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsrechnungen
Hegger, Reiß € 17,50

B 94: Baulicher Brandschutz für Tunnel in offener Bauweise – Rechnerischer Nachweis
Peter, Knief, Schreyer, Piazzola
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 95: Erfahrungen mit selbstverdichtendem und hochfestem Beton im Brücken- und Ingenieurbau an Bundesfernstraßen
Tauscher € 17,00

B 96: Geothermischen Anlagen bei Grund- und Tunnelbauwerken
Adam € 17,00

B 97: Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Bauwerksbeanspruchungen
Freundt, Böning € 15,00

2014

B 98: Brückenseile – Gegenüberstellung von vollverschlossenen Seilen und Litzenbündelseilen
Friedrich
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 99: Intelligente Brücke – Zuverlässigkeitsbasierte Bewertung von Brückenbauwerken unter Berücksichtigung von Inspektions- und Überwachungsergebnissen
Fischer, Schneider, Thöns, Rücker, Straub
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 100: Roadtraffic Management System (RTMS)
Freundt, Vogt, Böning, Pierson, Ehrle € 15,00

B 101: Adaptive Spannbetonstruktur mit lernfähigem Fuzzy-Regelungssystem
Schnellenbach-Held, Fakhouri, Steiner, Kühn € 18,50

B 102: Adaptive ‚Tube-in-Tube‘-Brücken
Empelmann, Busse, Hamm, Zedler, Girmscheid € 18,00

B 103: Umsetzung des Eurocode 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken
Briebrecher, Städing € 14,00

B 104: Intelligente Brücke – Konzeption eines modular aufgebauten Brückenmodells und Systemanalyse
Borrmann, Fischer, Dori, Wild
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 105: Intelligente Brücke – Machbarkeitsstudie für ein System zur Informationsbereitstellung und ganzheitlichen Bewertung in Echtzeit für Brückenbauwerke
Schnellenbach-Held, Karczewski, Kühn
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 106: Einsatz von Monitoringsystemen zur Bewertung des Schädigungszustands von Brückenbauwerken
Freundt, Vogt, Böning, Michael, Könke, Beinersdorf € 17,00

B 107: Materialeigenschaften von Kunststoffdichtungsbahnen bestehender Straßentunnel
Robertson, Bronstein, Brummermann € 16,00

B 108: Fahrzeug-Rückhaltesysteme auf Brücken
Neumann, Rauert € 18,50

B 109: Querkrafttragfähigkeit bestehender Spannbetonbrücken
Hegger, Herbrand € 17,00

B 110: Intelligente Brücke – Schädigungsrelevante Einwirkungen und Schädigungspotenziale von Brückenbauwerken aus Beton
Schnellenbach-Held, Peeters, Miedzinski
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 111: Erarbeitung von Modellen zur Bestimmung der Schadensumfangsentwicklung an Brücken
Müller € 15,00

2015

B 112: Nachhaltigkeitsberechnung von feuerverzinkten Stahlbrücken
Kuhlmann, Maier, Ummenhofer, Zinke, Fischer, Schneider € 14,00

B 113: Versagen eines Einzelelementes bei Stützkonstruktionen aus Gabionen
Placzek, Pohl
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 114: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln
Mayer, Brennerberger, Großmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

- B 115: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln**
Mayer, Brenninger, Großmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 116: Überwachungskonzepte im Rahmen der tragfähigkeitsrelevanten Verstärkung von Brückenbauwerken aus Beton**
Schnellenbach-Held, Peeters, Brylka, Fickler, Schmidt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 117: Intelligente Bauwerke – Prototyp zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells**
Thöns, Borrmann, Straub, Schneider, Fischer, Bügler
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 118: Überwachungskonzepte für Bestandsbauwerke aus Beton als Kompensationsmaßnahme zur Sicherstellung von Stand- sicherheit und Gebrauchstauglichkeit**
Siegert, Holst, Empelmann, Budelmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 119: Untersuchungen zum Brandüberschlag in Straßentunneln**
Schmidt, Simon, Guder, Juknat,
Hegemann, Dehn € 16,00
- B 120: Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit an einem vor- gespannten Zweifeldträger**
Maurer, Gleich, Heeke, Zilch, Dunkelberg
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 121: Zerstörungsfreie Detailuntersuchungen von vorgespannten Brückenplatten unter Verkehr bei der objektbezogenen Schadensanalyse**
Diersch, Taffe, Wöstmann, Kurz, Moryson
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 122: Gussasphalt mit integrierten Rohrregistern zur Temperie- rung von Brücken**
Eilers, Friedrich, Quaas, Rogalski, Staeck
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 123: Nachrechnung bestehender Stahl- und Verbundbrücken – Restnutzung**
Geißler, Krohn € 15,50
- B 124: Nachrechnung von Betonbrücken – Systematische Daten- auswertung nachgerechneter Bauwerke**
Fischer, Lechner, Wild, Müller, Kessner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 125: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infra- strukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit**
Mielecke, Kistner, Graubner, Knauf, Fischer, Schmidt-Thrö
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 126: Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur**
Mielecke, Graubner, Roth
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 127: Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-2-Schäden**
Kuhlmann, Hubmann € 21,50
- B 128: Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-3-Schäden**
Ungermann, Brune, Giese € 21,00
- B 129: Weiterentwicklung von Verfahren zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Verkehrsinfrastrukturen**
Schmellekamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 130: Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Model- le und RFID-Tags**
Tulke, Schäfer, Brakowski, Braun
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 132: Pre-Check der Nachhaltigkeitsbewertung für Brückenbau- werke**
Graubner, Ramge, Hess, Ditter, Lohmeier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 133: Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisie- rungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nach- haltigkeit**
Mielecke, Graubner, Ramge, Hess, Pola, Caspari
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 134: Nachhaltigkeitsbewertung für Erhaltungs- und Ertüchti- gungskonzepte von Straßenbrücken**
Gehrlein, Lingemann, Jungwirth
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

- B 123: Nachrechnung bestehender Stahl- und Verbundbrücken – Restnutzung**
Geißler, Krohn € 15,50
- B 124: Nachrechnung von Betonbrücken – Systematische Daten- auswertung nachgerechneter Bauwerke**
Fischer, Lechner, Wild, Müller, Kessner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 125: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infra- strukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit**
Mielecke, Kistner, Graubner, Knauf, Fischer, Schmidt-Thrö
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 126: Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur**
Mielecke, Graubner, Roth
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 127: Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-2-Schäden**
Kuhlmann, Hubmann € 21,50
-
- Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:
- Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH**
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63
- Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.
- www.schuenemann-verlag.de