

Pre-Check der Nachhaltigkeitsbewertung für Brückenbauwerke

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 132

The logo for 'bast' is written in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are closely spaced and have a slight shadow effect, giving it a three-dimensional appearance. The 'a' and 's' are particularly prominent.

Pre-Check der Nachhaltigkeitsbewertung für Brückenbauwerke

von

Carl-Alexander Graubner
Peter Ramge

Technische Universität Darmstadt
Institut für Massivbau, Fachgebiet Massivbau

Rainer Hess
Michael Ditter
Martina Lohmeier

Durth Roos Consulting GmbH
Darmstadt

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 132

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 15.0589/2012/RRB:
Pre-Check der Nachhaltigkeitsbewertung
für Brückenbauwerke

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 0943-9293
ISBN Ak978-3-95606-254-4

Bergisch Gladbach, Juni 2016

Kurzfassung – Abstract

Pre-Check der Nachhaltigkeitsbewertung für Brückenbauwerke

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wird zunächst das aus dem Jahre 2010 stammende Bewertungssystem für Brückenbauwerke (FE 15.494/2010/FRB) überarbeitet. Der erforderliche Anpassungsbedarf wird dabei hauptsächlich aus der bereits durchgeführten Pilotstudie (FE 15.0522/2011/FRB) ermittelt. Zudem finden auch Erkenntnisse aus weiteren Forschungsprojekten der BAST Berücksichtigung. Diese sind z. B. „Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur“ (FE 09.0162/2011/LRB), „Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel“ (FE 09.0164/2011/ LRB) und „Grundlagen für einen Leitfaden „Nachhaltige Straßeninfrastrukturen“ – Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit“ (FE 09.0179/2011/MRB).

Im zweiten Teil des Vorhabens wird mit der Entwicklung eines Pre-Check-Systems ein neuer Systembaustein zur Komplettierung des Bewertungssystems für Brücken erarbeitet. Mit Abschluss des vorliegenden Projekts steht damit ein Systempaket für die Bewertung von Brücken in verschiedenen Leistungsphasen nach HOAI zur Verfügung. Nun kann sowohl eine Pre-Check-Bewertung in der Leistungsphase 2 durchgeführt werden, als auch ein fertiggestelltes Bauwerk am Ende der Leistungsphase 8 bewertet werden. Die Pre-Check Bewertung kann zukünftig zur Entscheidungsfindung für die Festlegung einer Vorzugsvariante dienen. Nach Fertigstellung der Brücke kann dann die Pre-Check-Bewertung mit der Bewertung des fertiggestellten Bauwerks verglichen werden. Hierbei ist besonders die Prognosequalität des Pre-Checks im Hinblick auf das endgültige Bewertungsergebnis für das fertiggestellte Bauwerk interessant. Durch die klare Trennung der Bewertung des Ist-Zustands (fertiggestelltes Bauwerk) von der Prognose der Nachhaltigkeitsqualität im Rahmen des Pre-Check, gewinnt die Bewertung an Transparenz.

Pre-Check of the sustainability assessment for bridge constructions

In the first part of the present research project the assessment system for road bridges (FE 15.494/2010/FRB), which was developed in 2010, is being revised. For this purpose the need for adaption is mostly generated from data of the pilot study done in 2012 (FE 15.0522/2011/FRB). Furthermore findings of other research projects of the Federal Highway Research Institute (BAST) are considered as well. These projects are „Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur“ (FE 09.0162/2011/LRB), „Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel“ (FE 09.0164/2011/LRB) and „Grundlagen für einen Leitfaden „Nachhaltige Straßeninfrastrukturen“ – Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit“ (FE 09.0179/2011/MRB) for example.

In the second part of the research project a pre-check system is developed as a further module to complete the overall system for the assessment of road bridges. With the finalisation of the present research project the assessment of road bridges can be conducted at different construction stages. Likewise a pre-check assessment in the HOAI construction stage 2 as well as an assessment of the ready-for-use bridge at the end of HOAI construction phase 8 is possible now. In future road bridge projects the pre-check assessment is meant to support the decision process during the planning phase. After the construction of a bridge is finalised, the results of the pre-check assessment can be compared to those of the assessment of the completed bridge. In this context the prediction quality of the pre-check assessment is of special interest. Due to the clear separation in two application instances – a pre-check application during the planning phase and an application after the finalisation of the bridge – the system gains in transparency.

Summary

Pre-Check of the sustainability assessment for bridge constructions

1 Introduction

1.1 Initial situation

Since a couple of years several national and international sustainability assessment systems for the building sector are established. Due to the regular application in practice, these systems are constantly revised and optimised. In the field of sustainability assessment of infrastructure objects comparable systems are mostly still under development. Since 2010 a German traffic infrastructure sustainability assessment system is developed under the leading role of the Federal Highway Research Institute. This system is mainly based on the "Assessment System for Sustainable Building for Federal Buildings" (BNB). Firstly the system is meant to be applied only for road infrastructure. Nevertheless the possibility of further adaption to other fields of traffic infrastructure is aimed as well.

At present there is no comparable international system available for the assessment of traffic infrastructure that combines all aspects of sustainability in adequate manner. There are systems or subsystems available, but either they consider only certain aspects of sustainability or they are only applicable for selected parts of a road infrastructure system under certain boundary conditions.

1.2 Objective target

In the scope of this research project two main objectives are perused. Firstly the assessment system for road bridges (FE 15.494/2010/FRB), which was developed in 2010, should be revised and amended. For this purpose the findings of the pilot study, which was conducted in 2012, as well as any further findings that became known since the initial release of the system in 2010 are meant to be considered.

Furthermore, based on the revised system, a pre-check system is to be developed. By this pre-check system an early detection of sustainability

potentials and thus the possibility of steering the further planning into the most sustainable direction are aimed. The overall scope of the research project is the development of a handy straightforward overall system that can be easily used to evaluate finalised road bridge constructions as well as to pre-assess road bridge projects already during the early planning stages.

2 Approach

The current research project builds up on the following research projects of the Federal Highway Research Institute which are all dealing with the subject of road infrastructure:

- FE 15.494/2010/FRB – Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit,
- FE 15.0522/2011/FRB – Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus,
- FE 09.0162/2011/LRB – Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur,
- FE 09.0164/2011/LRB – Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel,
- FE 09.0179/2011/MRB – Grundlagen für einen Leitfaden „Nachhaltige Straßeninfrastrukturen“ – Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit

The research project starts with the evaluation of the findings of the pilot study (FE 15.0522/2011/FRB), in which the assessment system of 2010 was tested for the first time on several exemplary bridges. Based on this analysis the need of adjustment for the assessment system of 2010 is identified. Besides the findings of the pilot study further findings of current research work and scientific publications are considered as well. The above named research projects of the Federal Highway Research Institute (FE 09.0162/2011/LRB, FE 09.0164/2011/LRB und FE 09.0179/2011/MRB) are to be named especially in this respect. Where possible also the criteria, which were put on hold in the original system of 2010 will be considered in the revision.

In the next step the system will be worked over according to the identified need of adjustment. To achieve this all necessary adaptations will be introduced in detail to the existing system and updated criteria profiles will be provided. If need be, especially reference values, calculating methods and standards of evaluation will be questioned and adapted where possible.

In the second part of the research project the applicability of the revised assessment system for road bridges for the early planning stages of road bridge projects will be investigated. Therefore the scope of the relevant planning phases has to be defined first. Based on this definition the criteria of the revised system that are relevant in this planning stage are identified. Furthermore it will be checked in which extend the evaluation methods have to be adapted for an application in the early planning stages. Those criteria that can be applied in the early planning stages and provide a reasonable steering potential regarding the predicted quality of sustainability of the completed bridge construction will be selected.

The determined relevant evaluation criteria and the adapted evaluation methods will subsequently be further elaborated in detail and respective criteria profiles for the pre-check application will be provided as modular part of the revised sustainability assessment system for road bridges.

3 Results

3.1 Revision of the existing system

Based on the needs for adjustment determined in the first work package, the existing assessment system for road bridges was worked over. However, not all amendment and adaptation suggestions, which resulted in the findings of the pilot study and the other research projects, could be applied without further ado. Issues with special need for discussion and debate are addressed in detail in the final report.

The structure of the revised system for finalised bridge constructions was taken from the system for roadways and tunnels (FE 09.0164/ 2011/LRB). That means the criteria profiles are grouped in coversheets, method profiles and subsystem-specific annexes. The main attention of the current research project focuses on the revision of the subsystem-specific annexes for bridges. There is

less need for the adaptation of the coversheets and the method profiles. The coversheets can therefore be taken from the system for roadways and tunnels without any change of content. For the method profiles however a structural adjustment is recommended. The subsystem-specific content should be separated more precisely from the actual methods. As part of the revision, this has been implemented by the introduction of the so-called general subsystem-specific annex, in which all the subsystem-specific content is aggregated that is relevant for all – or at least several – of the methods and criteria.

Compared to the old assessment system for bridges (as of 2010) new criteria were introduced and existing criteria were merged or split up respectively in the scope of the revision. In this context the numbering of the criteria was re done. To avoid the division of criteria numbers into sub-numbers as well as unnecessary gaps between the numbers, each criterion got its own continues number. A possible extension of the overall system by the subsystem module “traffic routes” as well as the implementation of the pre-check application were both considered in this respect. The weighting of individual criteria within the overall assessment by means of the so-called “impact numbers” was adopted almost unchanged from the research projects that were executed previously (FE 15.494720107FRB and FE 09.0164720117LRB).

As Major results of the revision, the introduction of different clusters to classify the bridges by type (see Table 1) and the introduction of a new reference unit for quantitative indicators can be named. As new reference unit for quantitative indicators the so-called “substitute bridge surface area” (Brückenersatzfläche) is suggested according to the following definition:

$$X_{BRÜCKE} = \text{Brückenersatzfläche} = L \cdot B_{RQ} \quad (1)$$

mit

$X_{BRÜCKE}$	reference unit for bridges
L	length of the bridge (total span measured between the system axes of the abutments)
B_{RQ}	Width of the paved area of the adjacent road's cross sections, which is planned in the relevant road section

Within the criteria profiles special attention was paid to the increasing of the system's consistency. In the

Typ	Combinations	Example
I	Small bridge / Category AS	e.g. overpass leading a motorway over a single-lane road
II	Small bridge / Category LS and VS	e.g. overpass leading a country road over a small river
III	Small bridge / Category HS and ES	e.g. overpass leading over a railway track within a town or village
IV	Medium bridge / Category AS	e.g. overpass construction within a motorway junction
V	Medium bridge / Category LS and VS	e.g. overpass leading a country road over a motorway
VI	Medium bridge / Category HS and ES	e.g. overpass over a multi-track railway property within a town or village
VII	Large bridge / Category AS	e.g. motorway bridge in the course of the track alignment in moving terrain
VIII	Large bridge / Category LS and VS	e.g. non built-up elevated road within a town or village
IX	Large bridge / Category HS and ES	e.g. river bridge within a town or village
X	Extra Large bridge / Category AS	e.g. large motorway viaduct
XI	Extra Large bridge / Category LS and VS	e.g. bridge over inlet or channel with cruise ship operation

Tab. 1: Proposed clusters for bridges

revised version all the checklist questions are formulated in such a way that they can be answered in any case. The need to skip single non-applicable check list questions, which always leads to a distortion of the weighting of the remaining questions, is not given any more.

The revised system (as of 2015) is now characterised by a better overall structuring. Furthermore the system-inherent manipulating possibilities to gain unwarranted evaluation results were reduced. In the annexes A2 to A4 of the final report the elaborated criteria profiles for the revised assessment system "Road Bridge" (as of 2015) are given.

During the scope of the revision it became clear that a sound data pool of reference values is needed to evaluate those criteria involving quantifiable indicators. Especially since a clustering into different bridge types was introduced, it is obvious that the previous practice application of the evaluation system in the scope of the pilot study (5 + 1 bridges) is not sufficient to provide input data for all needed reference values. The determination of the relevant reference values for the assessment system is a continuous process that has to be increasingly pursued in the future. The specification of reference values for all quantifiable indicators and all bridge types was out of the current project's scope.

3.2 Pre-Check-System

According to the general planning process for road bridges the point of appliance of the pre-check

system is set at the end of the pre-planning phase (HOAI planning stage 2 for engineering structures). Since the planning phases of traffic facilities run in general slightly offset to those of civil engineering structures, the roadway will then be already in its design stage (HOAI planning stage 3 for traffic facilities). The boundary conditions for the point of appliance of the pre-check are therefore defined as follows: The alignment of the traffic route is already fixed to a grate extent and thus the location where the bridge structure is to be erected is set. Nevertheless regarding the vertical alignment and the precise location of the jumping points, minor changes are still possible. As a result, the application of the pre-check system allows the comparison of different alternative solutions for the intended bridge and the choice of the preferred construction can be backed up by the results of the pre-check evaluation.

During the early planning stages, the information needed for the evaluation, can naturally not be provided in such a depth and completeness as they can after finalizing the respective construction task. Therefore, all criteria were reviewed in a first step to find out whether they can already be applied at the point of time scheduled for the pre-check application. For an application suitable information must be available (of whatever depth of detail) and furthermore a possibility of influencing the respective criterion in terms of sustainability should be given. If at least the first requirement was met, criterion profiles were worked out for the pre-check application. However, since the needs of process quality during the early planning stages are meant to be dealt with elsewhere in the overall system

(module “tendering and contracting”), the main criteria group 5 is not considered in the pre-check system. In annex A5 of the final report the elaborated criteria profiles (sub-system-specific annexes) for the pre-check assessment system are presented.

Apart from the process quality criteria, all criteria that are used for the evaluation of a completed bridge structure are applied in the pre-check assessment as well. In certain parts the pre-check assessment corresponds to the assessment of the completed bridge construction, such as for example in the LCA criteria and the criterion lifecycle costs. Questions that can be applied for the pre-check in the same manner of intent as for the assessment of completed bridge structures were kept. For all other criteria, the checklist questions of the pre-check system generally differ from those of the system for completed bridge structures. In some cases the questions of the system for completed bridge structures had just to be rephrased in such a way that a state of planning is queried for the pre-check, while for the assessment of the completed bridge structures the state, which was actually executed, is asked for. But also entirely new questions were developed for the pre-check assessment system.

The biggest difference between the pre-check system and the system for the completed bridge constructions lies in the main criteria group 5 “process quality”. The main criteria group 5 is not part of the pre-check system, whereas the criteria 5.3 (construction site7construction process) and 5.5 (quality assurance of construction) are regarded in the system for completed bridge constructions. There is therefore no overlap between the pre-check system and the system for completed bridge constructions in this respect. Due to the mostly congruent content a direct comparison between the pre-check assessment and the assessment of the completed bridge construction is possible for almost all other criteria. This allows evaluating how well the planning of the bridge was actually set in to practice during the realisation process.

The omission of the fifth main criteria group forces a nominal change in the weighting of the main criteria groups in the pre-check system. Since the main criteria group 5 counts 10% in the overall rating in the system for completed bridge constructions, the four remaining main criteria groups count 25% each in the pre-check system instead of 22.5%. Compared to the system for

completed bridge construction the weighting of the first four main criteria groups relative to each other did, however, not change.

When comparing the results of the pre-check rating as predicted values with the outcome of the evaluation of the completed building as in fact achieved values, both the nominal weighting difference and the single-sided absence of main criteria group 5 must be considered. In order to achieve an uniform analysis level, on the side of the completed bridges only the main criteria groups 1 to 4 are to be included in the comparison, while on the side of the pre-check assessment all individual results must be multiplied by the factor of 0.9. The process quality must remain disregarded when comparing the predicted sustainability quality with the actual state’s assessment.

4 Conclusion and recommendations

Within the scope of this project, the first sustainability assessment system for road bridges developed in 2010 was fundamentally revised. Furthermore, a new pre-check module was developed for the completion of the assessment system for bridges. With the completion of the current project a modular system for the assessment of bridge construction projects in different progress stages is available. Now both a pre-check assessment in the HOAI phase 2 can be performed, as well the evaluation of a completed bridge construction at the end of HOAI phase 8. The most important aspect is, however, the possibility to apply the sustainability assessment system as a guideline during the full process of planning and execution of a bridge construction project.

Before the system can finally be introduced into practice, reference values for each bridge type must be specified for both the pre-check system and the system for completed bridges. This should be done in a preceding introductory phase, in which the evaluation of the quantitative indicators within the scope of the bridge construction assessments is done only by relative comparison. Once this application supplied a sufficiently large pool of data with evaluation results, the reference values can be defined. Thus the evaluation with absolute reference values can be enabled in the future in the scope of an ongoing system updating. The elaboration of the reference values within the scope

of the preceding introductory phase will require some time. After this, however, a complete and ready to use assessment system will be available.

In general it is proposed to revise the system periodically (for example every 2 to 3 years). In this context, each reference value should be reviewed and adjusted if necessary. Once the sustainability assessment is common practice and only minor adjustments are needed on the system the revision intervals may be increased (for example every 5 to 6 years). With the current revised system a powerful and stable tool for the sustainability assessment of bridge constructions is available.

With the pre-check application the sustainability quality of a bridge can be predicted. This evaluation can be used for example to back up the choice of a preferred alternative in the decision process. After finalizing the bridge construction the pre-check rating can be compared to the rating of the completed bridge. In this context especially the quality of the prediction of the pre-check in regard to the completed bridge construction is of interest. Regarding the comparability of the pre-check assessment with the later assessment of the completed bridge a pilot study is recommended. In this pilot study it should be clarified, for example, whether the prediction of the environmental impact and the life cycle costs is systematically too positive and if therefore a correction factor should be introduced for the respective reference values in the pre-check system. Within the scope of the regular system update it should be considered as well whether any bonus should be awarded in the overall rating if the respective values of the pre-check prediction were reached or outmatched in the assessment of the completed bridge construction. In this respect, however, the results of practical application should be awaited first.

Due to the clear separation into two application instances – a pre-check application during the planning phase and an application after the finalisation of the bridge – the assessment became more logical and transparent and the system gained in consistency. The distinction between a pre-check rating during the planning phase and the evaluation of the completed construction should be taken as example and should be implemented into the subsystems of other infrastructure elements as well. For the prospective development of the subsystem module “traffic routes” this distinction should be set as default.

Inhalt

Vorwort	11	3.3.10 Berechnung der unregelmäßigen Erhaltungskosten	28
1 Einleitung	13	3.3.11 Kriterium Umnutzungsfähigkeit und Erweiterbarkeit	29
1.1 Zielsetzung	13	3.3.12 Kriterium Förderziele	30
1.2 Vorgehensweise	13	3.3.13 Kriterium Herstellbarkeit	30
2 Ausgangssituation	14	3.3.14 Kriterium Rückbau	30
2.1 Allgemeines	14	3.3.15 Hauptkriteriengruppe 5 „Prozessqualität“	31
2.2 Bestehende nationale Bewertungs- systeme für Straßeninfrastruktur- bauwerke	14	3.4 Allgemeine subsystemspezifische Anlage für Brücken	31
2.2.1 Brücken	14	3.5 Fazit zum Bewertungssystem für das fertiggestellte Bauwerk	32
2.2.2 Strecke/Tunnel	15	4 Entwicklung eines Pre-Check-Systems	33
2.3 Anpassungsbedarf	16	4.1 Allgemeines	33
2.4 Bedarf Pre-Check-System	17	4.2 Berücksichtigte Kriterien der Ökologischen Qualität	36
3 Überarbeitung des bestehenden Bewertungssystems für fertig- gestellte Straßenbrücken	18	4.2.1 Umweltwirkungen (Kriterien 1.1 bis 1.5)	36
3.1 Allgemeines	18	4.2.2 Risiken für die lokale Umwelt/ lokale Umweltverträglichkeit (Kriterium 1.6 und 1.7)	37
3.2 Struktur des Systems	18	4.2.3 Umweltwirkungen infolge von baubedingten Verkehrsbeein- trächtigungen (Kriterium 1.8)	37
3.3 Aspekte mit besonderem Erörterungsbedarf	18	4.2.4 Primärenergiebedarf (Kriterium 1.10)	38
3.3.1 Übersicht	18	4.2.5 Abwasseraufkommen (Kriterium 1.11)	38
3.3.2 Clusterung	20	4.2.6 Flächeninanspruchnahme (Kriterium 1.12)	38
3.3.3 Bezugsgröße für quantitative Messgrößen	22	4.2.7 Abfall und Kreislaufwirtschaft (Kriterium 1.13)	39
3.3.4 Referenzwerte	24	4.2.8 Ressourcenschonung (Kriterium 1.14)	39
3.3.5 Methodensteckbriefe	25	4.3 Berücksichtigte Kriterien der Ökonomischen Qualität	39
3.3.6 Linearisierte Punktezuordnung	25		
3.3.7 Umgang mit nicht anwendbaren oder neu einzuführenden Bewer- tungskriterien	26		
3.3.8 Umgang mit bauwerksspezifisch nicht zutreffenden Checklisten- fragen	26		
3.3.9 Kriterien zur Primärenergie	27		

4.3.1	Lebenszykluskosten (Kriterium 2.1)	39
4.3.2	Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigungen (Kriterium 2.2)	40
4.4	Berücksichtigte Kriterien der Sozio- kulturell-funktionalen Qualität	40
4.4.1	Schutzgut Mensch, einschließlich menschlicher Gesundheit (Kriterium 3.1)	40
4.4.2	Schutzgut Landschaft (Kriterium 3.2)	41
4.4.3	Schutzgut Kulturgüter und sonstige Sachgüter (Kriterium 3.3)	41
4.4.4	Komfort (Kriterium 3.4)	41
4.4.5	Sicherheit gegen Störfallrisiken (Kriterium 3.5)	41
4.4.6	Verkehrssicherheit (Kriterium 3.6)	42
4.5	Berücksichtigte Kriterien der Technischen Qualität	42
4.5.1	Elektrische und mechanische Einrichtungen (Kriterium 4.1)	42
4.5.2	Konstruktive Qualität (Kriterium 4.2)	42
4.5.3	Erhaltung und Betriebsoptimierung (Kriterium 4.3)	43
4.5.4	Verkehrsentwicklung/Verstärkung und Erweiterbarkeit (Kriterium 4.4)	43
4.5.5	Rückbaubarkeit (Kriterium 4.5)	44
4.6	Berücksichtigte Kriterien der Prozessqualität	44
4.7	Fazit Pre-Check-System	44
5	Zusammenfassung	45
6	Literatur	46

Anhang

Anlage A1: Anpassungsbedarf und Dokumenta-
tion der Überarbeitung

Anlage A2: Steckbriefdeckblätter

Anlage A3: Methodensteckbriefe

Anlage A4: Subsystemspezifische Anlagen
„Brücke“ Bewertungszeitpunkt
„fertiggestelltes Bauwerk“

Anlage A5: Subsystemspezifische Anlagen
„Brücke“ Bewertungszeitpunkt
„Pre-Check“

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 deutlicheren Berücksichtigung von Aspekten der Nachhaltigkeit sowie zu Klimaschutzzielen für den Bereich der Straßeninfrastrukturen Rechnung getragen werden.

Bergisch Gladbach 2016

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung

Im Rahmen des laufenden Forschungsvorhabens werden zwei zentrale Ziele verfolgt. Zum einen soll das im Rahmen des Forschungsprojektes FE 15.0494/2010/FRB entwickelte Nachhaltigkeitsbewertungssystem für Brücken anhand der Erkenntnisse der durchgeführten Pilotstudie aktualisiert und ergänzt werden. Zum anderen soll aufbauend auf dem dann aktualisierten System eine Pre-Check-Systematik erarbeitet werden, die es erlaubt, Nachhaltigkeitspotenziale frühzeitig zu erkennen und den Verlauf der Gesamtplanung in Richtung einer besonders nachhaltigen Lösung zu lenken.

1.2 Vorgehensweise

Das vorliegende Forschungsvorhaben baut auf den folgenden laufenden oder bereits abgeschlossenen Forschungsprojekten der Bundesanstalt für Straßenwesen zum Thema der Nachhaltigen Straßeninfrastruktur auf:

- FE 15.494/2010/FRB Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit (kurz: Projekt „Brücke 2010“),
- FE 15.0522/2011/FRB Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus (kurz: Projekt „Pilotstudie“),
- FE 09.0162/2011/LRB Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur (kurz: Projekt „Konzepte“),
- FE 09.0164/2011/LRB Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel (kurz: Projekt „Strecke/Tunnel“),
- FE 09.0179/2011/MRB Grundlagen für einen Leitfaden „Nachhaltige Straßeninfrastrukturen“ – Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit (kurz: Projekt „Potenziale“).

Zu Beginn des Projektes erfolgt in Arbeitspaket 1 (AP 1) die Analyse der Ergebnisse und Erkenntnis-

se aus dem Projekt „Pilotstudie“, in dem die neu entwickelte Bewertungssystematik für Straßenbrücken erstmals im Rahmen einer Pilotanwendung an verschiedenen Straßenbrücken getestet worden ist. Aufbauend auf dieser Analyse wird der Anpassungsbedarf für das Bewertungssystem für Straßenbrücken, das im Rahmen des Forschungsprojektes „Brücke 2010“ entwickelt wurde, identifiziert. Neben den Erkenntnissen aus der genannten Pilotstudie sollen auch weitere Erkenntnisse aus aktuellen Forschungsarbeiten und Fachveröffentlichungen berücksichtigt werden. Insbesondere sollen die zuvor genannten Projekte „Konzepte“, „Strecke/Tunnel“ und „Potenziale“ berücksichtigt werden. Die im bestehenden Bewertungssystem für Straßenbrücken (Stand 2010) derzeit zurückgestellten Kriterien sollen, wo möglich, im Rahmen der Bearbeitung mit einfließen.

Anhand des in AP 1 identifizierten Anpassungsbedarfs soll im folgenden Arbeitspaket 2 (AP 2) das Bewertungssystem überarbeitet werden. Hierzu werden die notwendigen Anpassungen im Einzelnen in das Bewertungssystem eingearbeitet. Hier sollen, sofern erforderlich, insbesondere Referenzwerte, Berechnungsmethodiken und Bewertungsmaßstäbe hinterfragt und, wo möglich, angepasst werden. Ziel von AP 2 ist die Weiterentwicklung der ursprünglichen, im Forschungsprojekt FE 15.494/2010/FRB entwickelten Bewertungssystems für Straßenbrücken auf Basis der seitdem gewonnenen Erkenntnisse.

Im zweiten Teil des Forschungsprojektes wird dann die Anwendbarkeit des überarbeiteten bzw. weiterentwickelten Bewertungssystems für Straßenbrücken für die frühe Planungsphase eines Brückenbauprojektes untersucht. Hierfür wird in Arbeitspaket 3 (AP 3) zunächst eine Abgrenzung der relevanten Planungsphasen vorgenommen. Auf Basis dieser Abgrenzung werden die in dieser Phase relevanten Bewertungskriterien des weiterentwickelten Bewertungssystems identifiziert. Zudem wird geprüft, in welcher Hinsicht das Bewertungsverfahren zur Anwendung in der frühen Planungsphase angepasst werden muss. Es werden diejenigen Bewertungskriterien herausgearbeitet, die in der frühen Planungsphase bereits angewendet werden können und die ein hohes Lenkungs- bzw. Beeinflussungspotenzial bezüglich der prognostizierten Nachhaltigkeitsbewertung des fertigen Bauwerks aufweisen

Die ermittelten relevanten Bewertungskriterien und das angepasste Bewertungsverfahren werden im

folgenden Arbeitspaket 4 (AP 4) weiter ausgearbeitet. Ziel des zentralen AP 4 ist die Formulierung von Steckbriefen für ein Pre-Check-System als Bestandteil eines kompakten, zielsicher anwendbaren Gesamtsystems, das sowohl zur Bewertung der Nachhaltigkeit von fertiggestellten Brückenbauwerken als auch für einen Pre-Check in den frühen Planungsphasen angewendet werden kann.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit enthält der Hauptteil dieses Berichtes die der Bewertungssystematik zugrunde liegenden Annahmen und Randbedingungen sowie die kurze Darstellung einzelner Bewertungsinhalte. Die einzelnen sehr umfangreichen Steckbriefe für die konsistente Bewertung der Nachhaltigkeit von Straßenbrücken sind im Anhang wiedergegeben.

2 Ausgangssituation

2.1 Allgemeines

Bereits seit mehreren Jahren sind national sowie international einige anerkannte Systeme für die Nachhaltigkeitsbewertung im Hochbau etabliert. Zu nennen sind hier beispielsweise die Systeme BNB, DGNB, LEED, BREEAM, CASBEE und GreenStar. Durch ihre regelmäßige Praxisanwendung unterliegen diese Systeme auch einem stetigen Optimierungsprozess. Im Bereich der Nachhaltigkeitsbewertung von Infrastrukturanlagen hingegen befinden sich vergleichbare Systeme weitestgehend noch in der Entwicklungsphase. In Deutschland befindet sich seit 2010 unter der Federführung der BAST ein auf dem Bewertungssystem des BNB aufbauendes Bewertungssystem für Verkehrsinfrastruktur in der Entwicklung. Zunächst ist die Anwendung im Bereich der Straßeninfrastruktur vorgesehen. Das System soll aber für den gesamten Bereich der Verkehrsinfrastruktur ausbaubar sein.

International gibt es derzeit noch kein vergleichbares etabliertes System, welches zur Bewertung aller Nachhaltigkeitsaspekte der Verkehrsinfrastruktur geeignet ist. Es gibt einige Systeme bzw. Teilsysteme, die jedoch entweder nur ausgewählte Aspekte betrachten oder nur für bestimmte Subsysteme bzw. in bestimmten Systemgrenzen anwendbar sind. Zu nennen sind hier beispielsweise die Systeme Greenroads (USA), NISTRA (Schweiz), CEEQUAL (Großbritannien), IS (Australien), ENVISION (USA).

Die Systeme CEEQUAL, ENVISION und IS legen den Schwerpunkt ihrer Bewertung auf ökologische und soziale Aspekte und vernachlässigen dabei die ökonomische Komponente des Projektes. Diese wird oft nur indirekt durch die Verringerung des Energiebedarfs oder die Auswahl von Materialien mit erhöhter Lebensdauer beachtet. Bei dem Australischen System (IS) befindet sich ein ökonomisches Kriterium („wirtschaftliche Leistungsfähigkeit“) derzeit noch in Entwicklung. Das System Greenroads beinhaltet zwar alle Aspekte der Nachhaltigkeit, jedoch spielt die Gleichwertigkeit der drei Säulen eine untergeordnete Rolle. So ist es möglich, die höchstmögliche Zertifizierungsstufe zu erreichen, auch wenn in einer ganzen Kriteriengruppe keine Punkte erzielt wurden. Das System, welches dem deutschen System hinsichtlich der Anforderungen an die Ganzheitlichkeit am nächsten kommt, ist das Schweizer System NISTRA. Jedoch vernachlässigt NISTRA bei der Lebenszyklusbetrachtung das sogenannte End-of-Life-Szenario und bezieht die Umweltwirkungen aus dem Bauwerk selbst nicht in die Bewertung mit ein. Es wird nur die Umweltwirkung bzw. der Schadstoffausstoß des Verkehrs, der auf der Straßeninfrastruktur abgewickelt wird, erhoben und bewertet. Die Umweltwirkungen aus dem Bauprozess und aus der Herstellung und Verarbeitung der Baumaterialien werden jedoch nicht erfasst. Dadurch unterscheidet sich NISTRA grundlegend von der deutschen Systematik. Verglichen mit dem Bewertungsumfang den das an das BNB angelehnte deutsche System anstrebt, deckt also derzeit keines der genannten Systeme das Spektrum der Nachhaltigkeitsbewertung in vollem Umfang ab.

2.2 Bestehende nationale Bewertungssysteme für Straßeninfrastrukturbauwerke

2.2.1 Brücken

Im Rahmen des Forschungsvorhabens FE 15.0494/2010/FRB „Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit“ (Brücke 2010) wurde erstmals ein Entwurf für ein Nachhaltigkeitsbewertungssystem für Straßenbrücken erarbeitet. Wie bereits erwähnt, orientiert sich das System am Bewertungssystem für Büro- und Verwaltungsgebäude des ehemaligen BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) bzw. des DGNB e. V. (Deutsche Gesellschaft für Nachhal-

tiges Bauen). Die Systemstruktur wurde dabei weitestgehend übernommen. Ebenso wurde versucht, die Inhalte der Kriterien so weit wie möglich zu übernehmen bzw. durch inhaltliche Anpassung auf Brücken zu übertragen. Da sich Brücken sowohl in der Konstruktion als auch in der Nutzungsweise jedoch deutlich von Gebäuden unterscheiden, war dies nicht für alle Kriterien ohne weiteres möglich. Daraus ergeben sich die unumgängliche Notwendigkeit inhaltlicher Abweichungen und der Bedarf einige Kriterien um brückenspezifische Aspekte zu ergänzen.

Neben der Entwicklung des eigentlichen Bewertungssystems für Brücken wurden im Projekt „Konzepte“ (FE-Nr. 09.0162/2011/LRB) grundlegende konzeptionelle Gesichtspunkte der Gliederung eines Gesamtsystems zur Nachhaltigkeitsbewertung von Verkehrsinfrastrukturanlagen erarbeitet. Darin werden unter anderem Abgrenzungen bezüglich der Anwendungsbereiche und Anwendungszeitpunkte der einzelnen Teilsysteme definiert. Die Systemgrenzen, die im Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) noch nicht präzisiert waren, werden damit festgesetzt. Das Bewertungssystem Brücke ist demnach nach erfolgter Linienbestimmung und Planfeststellung anzuwenden. Alle nachhaltigkeitsrelevanten Entscheidungen im Planungs- und Realisierungsprozess, die vor diesem Zeitpunkt liegen (z. B. Wahl der Trassenführung; Entscheidung, dass eine Brücke zu bauen ist; Örtlichkeit der zu bauenden Brücke etc.) sind folglich nicht Bewertungsgegenstand des eigentlichen Bewertungssystems für Brückenbauwerke.

Das Bewertungssystem (Stand 2010) ist im Grunde darauf ausgelegt, ein fertiges Bauwerk zu bewerten. Da die Zuordnung des Systems zu einem konkreten Anwendungszeitpunkt während der damaligen Systementwicklung noch nicht präzisiert war, werden jedoch im Systementwurf (Stand 2010) einige Fragestellungen angesprochen, die für das fertiggestellte Bauwerk nicht (bzw. nach erfolgreicher Fertigstellung nicht mehr) relevant sind, beispielsweise die Frage nach der Komplexität des Bauverfahrens oder der Qualifikation des Planungsteams. Im laufenden Projekt kann nun konkret eine Unterscheidung zwischen der Bewertung des fertiggestellten Bauwerks und der Bewertung in der frühen Planungsphase (Pre-Check) unternommen werden. Die in Kapitel 3 behandelte Überarbeitung des bestehenden Systementwurfs (Brücke 2010) beinhaltet dabei die Bewertung des fertiggestellten Bauwerks. Die Bewertung der Nachhaltig-

keit des Bauwerks in der Planungsphase wird in Kapitel 4 bei der Erarbeitung des Pre-Check-Systems adressiert.

Der Systementwurf (Stand 2010) wurde in einer Pilotphase erprobt (Forschungsvorhaben FE-Nr. 15.0522/2011/FRB). Auf den aus der Praxisanwendung gewonnenen Erkenntnissen basiert ein Großteil des in Kapitel 2.3 dargestellten Anpassungsbedarfs. Die gewonnene Praxiserfahrung ist somit auch Gegenstand der in Kapitel 3 dargestellten Überarbeitung des Systems im Rahmen des laufenden Vorhabens.

2.2.2 Strecke/Tunnel

Im Zuge der Erweiterung des Bewertungssystems wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens FE-Nr. 09.0164/2011/LRB „Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel“ ein Bewertungssystem für die Subsysteme Strecke und Tunnel entwickelt. Der Aufbau des Systems orientiert sich am Bewertungssystem Brücke und basiert auf den gleichen Grundlagen. Aufgrund des zeitlichen Versatzes konnte jedoch bereits auf einige erkannte Schwachstellen des Systems Brücke reagiert werden. Zur besseren Übersichtlichkeit und zur Vermeidung häufiger Wiederholung gleicher Formulierungen wurden beispielsweise die Steckbriefe in mehrere Ebenen unterteilt. Die übergeordnete Ebene stellen die Steckbriefdeckblätter dar, die zweite Ebene bilden die Methodensteckbriefe und die dritte Ebene umfasst die subsystemspezifischen Anlagen.

Insbesondere durch den modularen Aufbau in unterschiedlichen Ebenen bietet das Bewertungssystem Strecke/Tunnel die Möglichkeit, beliebige Erweiterungen mit minimalem Anpassungsaufwand zu realisieren. Es stellt somit die Basis für die Gliederungsstruktur des aufzubauenden Gesamtsystems Verkehrsinfrastruktur dar. Die im Zuge der Harmonisierung dieses Systems notwendige Überführung der Steckbriefe des Systems Brücke in das 3-Ebenen-Konzept wurde in der Überarbeitung (Kapitel 3) im Rahmen des laufenden Projekts umgesetzt.

Bei der Erstellung des Systems für Strecke und Tunnel wurde der Fokus auf eine Bewertung während der frühen Projektphasen (Vorplanung, Entwurfs- und Genehmigungsplanung) gelegt. Mit dieser Begründung wurde die Hauptkriteriengruppe 5

(Prozessqualität) aus der Betrachtung ausgeklammert. Das ausgearbeitete System kann dennoch, wie das System Brücke auch, für eine Bewertung eines fertiggestellten Tunnelbauwerks bzw. einer fertiggestellten Strecke herangezogen werden.

Im Vergleich zum Bewertungssystem Brücke sind die Steckbriefe des Bewertungssystems Strecke/Tunnel weitestgehend offen gestaltet. Zu den messbaren Kriterien wurden keine Referenz-, Ziel- und Grenzwerte festgelegt und zu den nicht messbaren Kriterien sind in der Regel keine konkreten Checklistenfragen ausformuliert. Der Planer soll damit nicht durch ein starres Gerüst vorformulierter Antwortmöglichkeiten davon abgehalten werden innovative Lösungsansätze zu verfolgen. Ebenso soll damit vermieden werden, dass sich das Ziel der Planung lediglich in der Erfüllung bzw. Übererfüllung geltender Regelwerke und Vorschriften äußert. Vielmehr soll der Planer dazu angeregt werden, über ebendiese gesetzten Vorschriften hinaus zu denken. Hierdurch wird jedoch eine objektivierte vergleichende Bewertung unterschiedlicher Projekte deutlich erschwert.

2.3 Anpassungsbedarf

Der im Rahmen der Pilotstudie festgestellte Anpassungsbedarf wurde im Schlussbericht der Pilotstudie in Kapitel 3.5 in tabellarischer Übersicht zusammengefasst. Als wichtigste Punkte, denen in der Pilotstudie eine sehr hohe Priorität eingeräumt wurde, sind die folgenden zu nennen:

- Hauptkriteriengruppen 1 und 2: Änderung der Bezugsfläche und Clusterung der Brückentypen.
 - Kriterien 1.8 und 2.2: Die zu verwendende Verkehrsentwicklung außerhalb des Prognosezeitraums ist eindeutig festzulegen.
 - Kriterien 1.8 und 2.2: Die Kopplung der Ergebnisse an den DTV ist zum Teil unlogisch und führt nicht zu Transparenz.
 - Kriterium 1.10: Der Referenzwert für den Gesamtprimärenergiebedarf ist zu ändern.
 - Hauptkriteriengruppe 2: Die Gewichtung der Kosten (Kriterium 2.1 zu 2.2) ist zu überprüfen.
 - Kriterien 3.3 und 4.4: Die Kriterien „Umnutzungsfähigkeit“ und „Verstärkung und Erweiterbarkeit“ sollten vollständig überdacht werden.
 - Kriterien 3.4 und 4.3: Die ökonomischen Auswirkungen aller Checklistenpunkte der Kriterien „Betriebsoptimierung“ und „Wartung und Instandhaltungsfreundlichkeit“ sind im Kriterium 2.1 zu erfassen.
- In den Tabellen A1.1a bis A1.1e im Anhang ist der Anpassungsbedarf der Pilotstudie vollständig wiedergegeben. Die Tabellen aus der Pilotstudie wurden dabei um eine zusätzliche Spalte ergänzt, in der die Umsetzung im laufenden Projekt dokumentiert ist. So wird für jeden einzelnen Punkt ersichtlich, ob und wie der entsprechende Anpassungsbedarf im überarbeiteten System umgesetzt wurde bzw. begründet, warum dieser ggf. nicht oder anders als vorgeschlagen umgesetzt wurde.
- Aus dem Projekt „Konzepte“ lässt sich der Bedarf ableiten, ein System zu entwickeln, das für verschiedene Subsysteme kompatibel ist. Auch die Aufteilung des Gesamtsystems in Module (unterschiedliche Anwendungszeitpunkte) geht auf das Projekt „Konzepte“ zurück.
- Im Projekt „Strecke/Tunnel“ wurde die Forderung nach einem modularen Systemaufbau dahingehend umgesetzt, dass die Steckbriefe in Steckbriefdeckblätter, Methodensteckbriefe und subsystemspezifische Anlagen unterteilt wurden. Dieser Aufbau dient jetzt als Vorlage für die Überarbeitung des Systems Brücke. Weiterhin lässt sich aus dem Projekt „Strecke/Tunnel“ dahingehend ein Anpassungsbedarf sehen, dass sowohl Kriterien umstrukturiert wurden als auch neue Kriterien eingeführt wurden, bzw. Kriterien, die im System Brücke vorerst zurückgestellt waren, aktiviert wurden. Im Einzelnen sind das:
- Kriterium 1.6 „Einflüsse auf die lokale Umwelt“: Das Kriterium wurde in zwei Unterkriterien aufgeteilt, Kriterium 1.6a „Risiken für die lokale Umwelt Teil A: Fauna und Flora“ und Kriterium 1.6b „Risiken für die lokale Umwelt Teil B: Boden, Wasser und Luft“.
 - Kriterium 1.8 „Umweltwirkungen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung“: Das Kriterium wurde durch das Kriterium 1.8b „Umweltwirkung infolge Linienführung“ ergänzt.
 - Die zurückgestellten Kriterien 1.12 „Flächeninanspruchnahme“ und 1.13 „Abfall“ wurden integriert
 - Ein Kriterium „Ressourcenschonung“ wurde als Kriterium 1.14 neu eingeführt.

- Kriterium 2.2 „Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung“: Das Kriterium wurde durch das Kriterium 2.3 „Externe Kosten infolge von streckenbedingter Verkehrsbeeinträchtigung“ ergänzt.
- Kriterium 3.1 „Lärmschutz“: Das Kriterium wurde umbenannt und ergänzt. Aus Kriterium 3.1 sind die Kriterien 3.1a „Mensch, einschließlich Gesundheit, insbesondere Lärm“, 3.1b „Landschaft“ und 3.1c „Kulturgüter und sonstige Sachgüter“ hervorgegangen.
- Kriterium 3.3 „Umnutzungsfähigkeit“: Das Kriterium wurde in Kriterium 4.4 „Verstärkung und Erweiterbarkeit“ integriert.
- Die zurückgestellten Kriterien 3.5 „Sicherheit gegenüber Störfallrisiken (Security)“ und 3.6 „Verkehrssicherheit (Safety)“ wurden integriert.
- Ein Kriterium „Förderziele“ wurde als Kriterium 3.7 neu eingeführt.
- Kriterium 4.3 „Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit“: Das Kriterium wurde in Kriterium 3.4 „Betriebsoptimierung“ integriert.
- Ein Kriterium „Herstellbarkeit“ wurde für das Subsystem Tunnel als Kriterium 4.6 neu eingeführt.

Im Rahmen der Potenzialanalyse im Projekt „Potenziale“ wurde ein erster Versuch unternommen, Inhalte und Struktur des Bewertungssystems Brücke (Stand 2010) und des Bewertungssystems Strecke/Tunnel zu kombinieren. Während der Bearbeitung zeigte sich zudem besonders, dass die Bezugsgröße „Brückenfläche“ in der Form wie sie im Bewertungssystem (Stand 2010) definiert wurde, zur Beurteilung der Nachhaltigkeit eines Brückenbauwerkes ungeeignet ist. Weiterhin wurde bestätigt, dass die Praxis, unzutreffende Checklistenfragen auszublenden, immer zu einer Verzerrung der Bewertungsergebnisse führt. Ebenso zeigte sich, dass einige Abfragen Aspekte betreffen, die außerhalb der Beeinflussbarkeit durch das Brückenbauwerk liegen. Derartige Sachverhalte sollten nicht in die Bewertung des Brückenbauwerkes einfließen. Ggf. wären sie an anderer Stelle zu berücksichtigen, z. B. bei der Bewertung der Linienführung oder des Streckenzuges. Weiterhin ist festzuhalten, dass einige Fragen missverständlich ausgelegt werden können und dadurch Lösungen, die gar nicht oder nur unter bestimmten Randbedingungen nachhaltig sind, pauschal immer

positiv bewertet werden. Als dringlichster Anpassungsbedarf aus Sicht des Projektes „Potenziale“ lässt sich folgendes zusammenfassen:

- Erarbeitung einer Bezugsgröße, die besser geeignet ist als die Brückenfläche nach derzeitiger Definition und die insbesondere die Manipulationsmöglichkeiten minimiert.
- Checklistenfragen sollten so formuliert werden, dass sie in jedem Fall beantwortet werden können. Sodass der Fall, dass Fragen ausgeblendet werden müssen, nicht vorkommen kann.
- Fragestellungen, die nicht durch das Brückenbauwerk beeinflusst werden können, sollten vermieden werden.
- Alle Fragestellungen sollten dahingehend überprüft werden, ob sie immer zur nachhaltigsten Lösung führen.

2.4 Bedarf Pre-Check-System

Klassischerweise wird eine Nachhaltigkeitsbewertung am bereits fertig gestellten Bauwerk durchgeführt. Die nachhaltigkeitsbestimmenden Parameter sind zu diesem Zeitpunkt allerdings nicht mehr steuerbar, sodass nur noch eine Ist-Erfassung der Nachhaltigkeitsqualität des Bauwerks möglich ist. Für Verkehrsinfrastrukturbauwerke kann in den frühen Planungsphasen hingegen ein sehr großer Einfluss auf die nachhaltigkeitsbestimmenden Parameter ausgeübt und die Nachhaltigkeitsqualität eines Bauwerks maßgeblich geprägt werden. Um das Ziel einer nachhaltigen Verkehrsinfrastruktur für unsere Zukunft zu erreichen, ist daher ein praxisorientiertes Instrumentarium nötig, mit dem die Planungs- und Realisierungsprozesse von Infrastrukturbauprojekten kontinuierlich begleitet werden. Damit lassen sich die während der Planungs- und Realisierungsprozesse vorhandenen Nachhaltigkeitspotenziale aufzeigen, optimieren und erzielte Erfolge dokumentieren. Da das größte Nachhaltigkeitspotenzial in den frühen Planungsphasen für Verkehrsinfrastrukturbauprojekte liegt, muss konsequenterweise auch eine Pre-Check-Systematik zur Bewertung der Nachhaltigkeit für diese Lebenszyklusphasen entwickelt werden. Mit der Pre-Check-Bewertungssystematik sollten dabei mehrere Ziele verfolgt werden. Zum einen soll durch die frühe Anwendung des Bewertungssystems das generelle Bewusstsein zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten in der Planung gefördert

werden. Die in den einzelnen Kriterien abzufragenden Inhalte sollten projektbegleitend als Planungsziele verstanden werden. Weiterhin kann und sollte die Pre-Check-Bewertung zur Entscheidungsfindung bei der Wahl der Vorzugsvariante herangezogen werden. Und letztlich soll sich durch einen Vergleich des bei der Pre-Check-Bewertung prognostizierten Zielerfüllungsgrads mit dem Zielerfüllungsgrad der sich bei der Nachhaltigkeitsbewertung des fertiggestellten Bauwerks ergibt, die Qualität der nachhaltigkeitsorientierten Planung beurteilen und nachvollziehen lassen. Fehleinschätzungen im Rahmen der Vorplanung lassen sich so nachträglich identifizieren und Diskrepanzen zwischen Planungsziel und Ist-Zustand lassen sich differenziert den einzelnen Kriterien zuordnen. Vom Pre-Check-System wird somit ein erheblicher Beitrag zur kontinuierlichen Optimierung von Planung und Bauausführung hinsichtlich der Nachhaltigkeit und zur Aktivierung vorhandener Nachhaltigkeitspotenziale erwartet.

3 Überarbeitung des bestehenden Bewertungssystems für fertiggestellte Straßenbrücken

3.1 Allgemeines

Aufbauend aus dem in Arbeitspaket 1 festgestellten Anpassungsbedarf wurde das bestehende System zur Bewertung der Nachhaltigkeit fertiggestellter Brückenbauwerke überarbeitet. Die Steckbriefe des überarbeiteten Systems bzw. Vorschläge dazu befinden sich im Anhang (Anlage A2). Nicht alle aus der Pilotstudie oder aus den anderen herangezogenen Projekten resultierenden Verbesserungs- bzw. Anpassungsvorschläge ließen sich ohne weiteres umsetzen. Auf die Punkte, zu denen es Diskussions- oder Erörterungsbedarf gibt, wird nachfolgend genauer eingegangen.

3.2 Struktur des Systems

Der Aufbau des überarbeiteten Bewertungssystems für fertiggestellte Brückenbauwerke wurde aus dem System Strecke/Tunnel übernommen, d. h. es wird Steckbriefdeckblätter, Methodensteckbriefe und subsystemspezifische Anlagen geben. Das Hauptaugenmerk liegt aufgrund des Projekt-

auftrags auf der Bearbeitung der subsystemspezifischen Anlagen „Brücke“. Der Anpassungsbedarf im Bereich der Steckbriefdeckblätter und der Methodensteckbriefe ist gering. Die Steckbriefdeckblätter können daher inhaltlich weitestgehend unverändert aus dem System Strecke/Tunnel übernommen werden. Bei den Methodensteckbriefen empfiehlt sich eine strukturelle Umstellung. Die subsystemspezifischen Inhalte sollten noch besser von den eigentlichen Methoden getrennt werden, was im Rahmen der Überarbeitung umgesetzt wurde (vgl. Kapitel 3.3.4 und 3.4).

Gegenüber dem bestehenden Brückenbewertungssystem (Stand 2010) ergeben sich aus den Projekten „Strecke/Tunnel“ und „Potenziale“ zusätzliche neue Kriterien bzw. Zusammenfassungen oder Aufteilungen von Kriterien. In Tabelle 1 sind die alte Nummerierung und Kriterienbezeichnung (Stand 2010), der Arbeitsstand aus dem Projekt „Potenziale“ (in den sämtliche Neuerungen aus dem Projekt „Strecke/Tunnel“ übernommen wurden) sowie die vorgeschlagene Aufteilung für das überarbeitete System gegenübergestellt. Die Gewichtung einzelner Kriterien innerhalb der Gesamtbewertung über Bedeutungszahlen wurde nahezu unverändert aus den Forschungsprojekten „Brücke 2010“ bzw. „Strecke/Tunnel“ übernommen. Die Nummerierung der Kriterien wurde dabei neu durchgezählt. Jedes Kriterium erhält eine eigene fortlaufende Nummer, um die Unterteilung von Kriteriennummern in Unternummern (z. B. 1.6a und 1.6b) sowie Lücken in der Zählung zu vermeiden. Hierbei wurden sowohl eine Erweiterung des Systems durch das Subsystemmodul „Streckenzüge“ als auch die Anwendung im Pre-Check-System berücksichtigt. Unabhängig davon, dass in manchen Subsystemen nicht alle Kriterien zur Anwendung kommen, ist es vorgesehen, im Gesamtsystem eine einheitliche und durchgängige Nummerierung der Kriterien zu führen. Mit der Ausarbeitung weiterer Subsysteme kann es erforderlich werden, weitere Kriterien einzuführen. Deren Nummerierung ist dann in jeder Hauptkriteriengruppe fortlaufend an die bestehenden Kriterien anzuschließen.

3.3 Aspekte mit besonderem Erörterungsbedarf

3.3.1 Übersicht

Es gibt einige Aspekte, zu denen über die in den Projekten „Pilotstudie“ und „Konzepte“ dargestellt

Hauptkriterien- gruppe	System Brücke (2010)		System Strecke/Tunnel bzw. Projekt "Potenziale"		überarbeitetes System Brücke (2015) Bewertungszeitpunkt: nach Baufertigstellung				
	Nr.	Titel	Nr.	Titel	Nr.	Titel			
Ökologische Qualität	1.1	Treibhauspotenzial (GWP)	3	1.1	Treibhauspotenzial (GWP)	3	1.1	Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	3
	1.2	Ozonschichtzerstörungspotenzial (ODP)	1	1.2	Ozonschichtzerstörungspotenzial (ODP)	1	1.2	Abbaupotential der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	1
	1.3	Ozonbildungspotenzial (POCP)	1	1.3	Ozonbildungspotenzial (POCP)	1	1.3	Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	1
	1.4	Versauerungspotenzial (AP)	1	1.4	Versauerungspotenzial (AP)	1	1.4	Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP)	1
	1.5	Überdüngungspotenzial (EP)	1	1.5	Überdüngungspotenzial (EP)	1	1.5	Eutrophierungspotenzial (EP)	1
	1.6	Risiken für die lokale Umwelt	1	1.6a	Risiken für die lokale Umwelt/ lokale Umweltverträglichkeit (Teil A - Flora und Fauna)	0,5	1.6	Risiken für die lokale Umwelt/ lokale Umweltverträglichkeit (Teil A - Flora und Fauna)	1
				1.6b	Risiken für die lokale Umwelt/ lokale Umweltverträglichkeit (Teil B - Boden, Wasser, Luft)	0,5	1.7	Risiken für die lokale Umwelt/ lokale Umweltverträglichkeit (Teil B - Boden, Wasser, Luft)	1
	1.7	Sonstige Wirkungen auf die globale Umwelt		1.7	Sonstige Wirkungen auf die globale Umwelt			→ <i>ersatzlos gestrichen</i>	
	1.8	Umweltwirkungen infolge von baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	3	1.8a	Umweltwirkungen infolge von baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	3	1.8	Umweltwirkungen infolge von baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	3
				1.8b	Umweltwirkungen infolge Linienführung		1.9	→ <i>keine Anwendung für Brückenbauwerke</i>	
	1.9	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEne)	3	1.9	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEne)	3	1.10	Primärenergiebedarf	4
	1.10	Primärenergiebedarf erneuerbar (PEe)	1	1.10	Primärenergiebedarf erneuerbar (PEe)	1		→ in 1.10 aufgegangen	
	1.11	Wasserbedarf und Abwasseraufkommen	1	1.11	Wasserbedarf und Abwasseraufkommen	1	1.11	Abwasseraufkommen	1
	1.12	Flächeninanspruchnahme	1	1.12	Flächeninanspruchnahme	1	1.12	Flächeninanspruchnahme	1
	1.13	Abfall	1	1.13	Abfall	1	1.13	Abfall und Kreislaufwirtschaft	1
				1.14	Ressourcenschonung	1	1.14	Ressourcenschonung	1
2.1	Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus	3	2.1	Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus	3	2.1	Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus	3	
2.2	Externe Kosten infolge von baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	2	2.2	Externe Kosten infolge von baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	2	2.2	Externe Kosten infolge von baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	2	
			2.3	Externe Kosten infolge von streckenbedingter Verkehrsbeeinträchtigung		2.3	→ <i>keine Anwendung für Brückenbauwerke</i>		
3.1	Lärmschutz	2	3.1a	Mensch, einschließlich Gesundheit, insbesondere Lärm	1	3.1	Schutzgut Mensch, einschließlich menschliche Gesundheit	1	
			3.1b	Landschaft	1	3.2	Schutzgut Landschaft	1	
			3.1c	Kulturgüter und sonstige Sachgüter	1	3.3	Schutzgut Kulturgüter und sonstige Sachgüter	1	
3.2	Komfort	2	3.2	Komfort	1	3.4	Komfort	1	
3.3	Umnutzungsfähigkeit	2	3.3	→ in 4.4 aufgegangen			→ in 4.4 aufgegangen		
3.4	Betrieboptimierung	2	3.4	→ in 4.3 aufgegangen			→ in 4.3 aufgegangen		
3.5	Sicherheit gegenüber Störfällrisiken (Security)	2	3.5	Sicherheit gegenüber Störfällrisiken (Security)	1	3.5	Sicherheit gegenüber Störfällrisiken (Security)	1	
3.6	Verkehrssicherheit (Safety)	2	3.6	Verkehrssicherheit (Safety)	1	3.6	Verkehrssicherheit (Safety)	1	
			3.7	Förderziele	1	3.7	→ <i>keine Anwendung für Brückenbauwerke</i>		
4.1	Elektrische und mechanische Einrichtungen	1	4.1	Elektrische und mechanische Einrichtungen	1	4.1	Elektrische und mechanische Einrichtungen	1	
4.2	Konstruktive Qualität	3	4.2	Konstruktive Qualität	3	4.2	Konstruktive Qualität	3	
4.3	Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit	2	4.3	Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit	2	4.3	Instandhaltung und Betriebsoptimierung	2	
4.4	Verstärkung und Erweiterbarkeit	0,5	4.4	Verstärkung und Erweiterbarkeit	2	4.4	Verkehrsentwicklung und -planung / Verstärkung und Erweiterbarkeit	1	
4.5	Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit, Demontagefreundlichkeit	1	4.5	Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit, Demontagefreundlichkeit	1	4.5	Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit, Demontagefreundlichkeit	1	
			4.6	Herstellbarkeit		4.6	→ <i>keine Anwendung für fertiggestellte Bauwerke</i>		
5.1	Qualifikation des Planungsteams und Qualität der Planung	3	5.1	Qualifikation des Planungsteams und Qualität der Planung	3	5.1	→ <i>keine Anwendung für fertiggestellte Bauwerke</i>		
5.2	Nachweis der Nachhaltigkeitsaspekte in der Ausschreibung	2	5.2	Nachweis der Nachhaltigkeitsaspekte in der Ausschreibung	2	5.2	→ <i>vorerst zurückgestellt</i>		
5.3	Baustelle/Bauprozess		5.3	Baustelle/Bauprozess		5.3	Baustelle/Bauprozess	2	
5.4	Qualität der ausführenden Firmen/ Präqualifikation		5.4	Qualität der ausführenden Firmen/ Präqualifikation		5.4	→ <i>keine Anwendung für fertiggestellte Bauwerke</i>		
5.5	Qualitätssicherung der Bauausführung	3	5.5	Qualitätssicherung der Bauausführung	3	5.5	Qualitätssicherung der Bauausführung	2	

Tab. 1: Übersicht der Einzelkriterien im überarbeiteten System

ten Anpassungsvorschläge hinaus erweiterter Erörterungsbedarf besteht. Gründe dafür können sein, dass aus keiner der betrachteten Unterlagen ein eindeutiger Vorschlag zur Lösung hervorgeht, es widersprüchliche Vorschläge gibt oder dass den Auftragnehmern während der Bearbeitung des laufenden Projektes neuerlicher Klärungsbedarf aufgefallen ist.

Folgende Punkte werden im Einzelnen erörtert:

- Clusterung,
- Bezugsgröße für quantitative Messgrößen,
- Referenzwerte,
- Methodensteckbriefe,
- Linearisierung der Punktezuordnung,
- Umgang mit nicht anwendbaren und neu einzuführenden Kriterien,
- Umgang mit nichtzutreffenden Checklistenfragen,
- Kriterien zur Primärenergie,
- Berechnung der unregelmäßigen Erhaltungskosten.
- Kriterium Umnutzungsfähigkeit und Erweiterbarkeit,
- Kriterium Förderziele,
- Kriterium Herstellbarkeit,
- Kriterium Rückbau,
- Berücksichtigung der Prozessqualität.

3.3.2 Clusterung

In der Pilotstudie wurde festgestellt, dass eine Clusterung der Bauwerke für die Vergleichbarkeit quantitativer Messgrößen, die auf eine Bezugsgröße bezogen werden, notwendig wird. Im bestehenden System (Stand 2010) ist dies leicht nachzuvollziehen, da dort als Bezugsgröße die Brückenfläche festgelegt ist. Allerdings ist nur ein gewisser Teil der Kosten und Umweltwirkungen einer Brücke proportional zu ihrer Fläche. Eine große Talbrücke wäre allein dadurch, dass alle quantitativen Bewertungsgrößen auf die Brückenfläche bezogen werden, nie mit einer Autobahnüberführung oder einer innerstädtischen Flussbrücke vergleichbar.

Es gibt folgende Unterscheidungsmerkmale, mit denen eine Clusterung grundsätzlich erfolgen kann:

1. Kategorie der Straße auf der Brücke,
2. Zu überquerende Situation,
3. Länge (Spannweite),
4. Höhe.

Hinsichtlich der auf der Brücke geführten Straßenkategorie wurde bereits in den Projekten „Konzepte“ und „Pilotstudie“ eine Clusterung wie folgt vorgeschlagen:

1. AS – Autobahnen außerhalb und innerhalb von bebauten Gebieten;
2. LS – Landstraßen außerhalb bebauter Gebiete, VS – anbaufreie Hauptverkehrsstraßen im Vorfeld und innerhalb bebauter Gebiete;
3. HS – angebaute Hauptverkehrsstraßen innerhalb bebauter Gebiete, ES – Erschließungsstraßen innerhalb bebauter Gebiete.

Angenommen es würden für die Einteilung der Brücken nach ihrer Länge und nach ihrer Höhe jeweils 5 Klassen definiert, so ergäben sich daraus $5 \cdot 5 = 25$ Kombinationsmöglichkeiten für Größenklassen. Bei einer freien Kombinierbarkeit mit den Straßenkategorien (3 Klassen, s. o.) würden sich insgesamt $3 \cdot 25 = 75$ Brückentypen ergeben. Sicherlich ließen sich einige dieser Kombinationen sofort als „nicht praxisrelevant“ ausschließen. Aber selbst bei einer Reduktion der Kombinationsmöglichkeiten auf alle in der Praxis tatsächlich vorkommenden Fälle ergeben sich immer noch zu viele Kombinationsmöglichkeiten für eine praxistaugliche Anwendung der Cluster im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung.

Im Sinne der Simplifizierung sind also Längen- und Höhenklassen bestmöglich zu kombinieren und in einfache Größenklassen zusammenzufassen. Dabei können nicht alle theoretisch möglichen Kombinationen berücksichtigt werden. Es muss eine Fokussierung auf die Größenklassen bzw. die Kombinationen erfolgen, in die die meisten praxisrelevanten Brücken eingeordnet werden können. Brücken, die dann aufgrund ihrer Abmessungen keiner Größenklasse eindeutig zugeordnet werden können, müssen für die Bewertung derjenigen Klasse zugeordnet werden, der sie am ehesten entsprechen. Die Entscheidung muss dabei nicht auf einem rein quantitativen Vergleich der Ähnlichkeit der Abmessungen beruhen, sondern muss unter

Berücksichtigung des Gesamtcharakters der Brücke vom Bearbeiter individuell getroffen werden.

In den Projekten „Konzepte“ und „Pilotstudie“ wurden bereits Vorschläge für Größenklassen gemacht. Die „Pilotstudie“ schlägt beispielsweise die folgende Einteilung vor:

1. Einfeld- und Überführungsbauwerke,
2. Mehrfeldbauwerke (niedrige Pfeilerhöhe (< 6 m) und gemäßigte Spannweiten (< 20 m)),
3. Großbrücken (Talbrücken, Seebrücken etc. mit großen Spannweiten und hohen Pfeiler- bzw. Pylonhöhen).

Im Projekt „Potenziale“ wurde bei der Bearbeitung des zweiten Arbeitspaketes (AP 2) für den Bereich Brücken bereits eine eigene Clusterung vorgenommen. Für die Belange der Potenzialermittlung waren hierbei sehr enge, sehr konkret gefasste Cluster notwendig. Im Projekt „Potenziale“ kamen dafür folgende Cluster zum Einsatz:

- Typ 1: Kleine Brücke/Durchlass (für Fuß-/Radweg oder Bach),
- Typ 2: Überführung über eine einbahnige Landstraße oder über eine zweigleisige Bahnstrecke,
- Typ 3: Überführung über eine bis zu 8-streifige Autobahn,
- Typ 4: Überbrückung eines „mittelgroßen“ Flusses.

Alle Brücken, die größer als Typ 4 sind (große Talbrücken etc.), wurden im Projekt „Potenziale“ nicht behandelt.

Im IGF-Vorhaben „Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit“ der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (NABRÜ) [KUHLMANN 2014] wurden die Brücken zur Betrachtung ebenfalls in Cluster eingeteilt. Hier kamen folgende Cluster zum Einsatz:

- Typ A: Überführung einer etwa 45 m breiten Autobahn (Gesamtspannweite 45 m) (Untergliedert in Typ A1 Einfeldbrücke und Typ A2 Zweifeldbrücke),
- Typ B: Mehrfeldbrücke mittlerer Spannweite,
- Typ C: Talbrücke mit großen Spannweiten (60-80 m; Gesamtlänge > 400 m).

Diese Aufteilung deckt sich prinzipiell mit dem in der „Pilotstudie“ gegebenen Vorschlag und unterscheidet sich von der des Projekts „Potenziale“ dadurch, dass keine Durchlässe (Typ 1 bei „Potenziale“) berücksichtigt werden und dass kleine Brücken in der Größenordnung einer Überführung über eine einbahnige Bundesstraße (Typ 2 bei „Potenziale“) nicht separat betrachtet werden. Der Typ A entspricht im Grunde dem Typ 3 aus dem Projekt „Potenziale“, wobei bei Typ 3 eine höhere maximale Spannweite definiert ist, um auch schiefwinklig scheidende Überführungen über eine 8-spurige Autobahn berücksichtigen zu können. Typ B entspricht Typ 4 und Typ C entspricht den im Projekt „Potenziale“ nicht behandelten Brücken, die größer als Typ 4 sind. Die Bearbeiter schlagen für das überarbeitete Bewertungssystem die Verwendung von Größenklassen in Anlehnung an die Cluster des Projekts „Potenziale“ wie folgt vor:

- Größenklasse 1:
Durchlass; Spannweite ≤ 2 m (Durchlässe werden im Bewertungssystem derzeit nicht berücksichtigt),
- Größenklasse 2:
kleine Brücke; einfeldrige Brücke/Überführungsbauwerk, Spannweite bis max. 35 m,
- Größenklasse 3:
mittlere Brücke; ein- oder zweifeldrige Brücke/Überführungsbauwerk, Gesamtspannweite bis 80 m,
- Größenklasse 4:
große Brücke; mehrfeldrige Brücke mit geringer bis mittlerer Pfeilerhöhe, Gesamtspannweite bis ca. 500 m,
- Größenklasse 5:
sehr große Brücke; Großbrücke mit großen Spannweiten und hohen Pfeiler- bzw. Pylonhöhen, Gesamtspannweite > 400 m.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Durchlässe nicht Gegenstand des im laufenden Projekt bearbeiteten Bewertungssystems sind, ergeben sich aus den verbleibenden 4 Größenklassen in Kombination mit den obengenannten drei Straßenkategorieklassen theoretisch 12 Brückentypen. Da Brücken der Größenklasse 5 (sehr große Brücken) im angebauten Straßennetz jedoch praktisch nicht vorkommen, verbleiben die in Tabelle 2 dargestellten 11 praxisrelevanten Brückentypen.

Typ	Kombination	Beispiel
I	Kleine Brücke/Kategorie AS	z. B. Überführung einer Autobahn über eine einbahnige Straße
II	Kleine Brücke/Kategorie LS u. VS	z. B. Überführung einer Landstraße über ein kleines Fließgewässer
III	Kleine Brücke/Kategorie HS u. ES	z. B. innerörtliche Überführung über eine Bahnstrecke
IV	Mittlere Brücke/Kategorie AS	z. B. Kreuzungsbauwerk zweier Autobahnen oder autobahnähnlich ausgebauter Straßen
V	Mittlere Brücke/Kategorie LS u. VS	z. B. Überführung einer Landstraße über eine Autobahn
VI	Mittlere Brücke/Kategorie HS u. ES	z. B. innerörtliche Überführung über eine mehrgleisige Bahnanlage
VII	Große Brücke/Kategorie AS	z. B. Autobahnbrücke im Rahmen der Trassierung in bewegtem Gelände
VIII	Große Brücke/Kategorie LS u. VS	z. B. innerörtliche anbaufreie Hochstraße
IX	Große Brücke/Kategorie HS u. ES	z. B. innerörtliche Flussbrücke
X	Sehr große Brücke/Kategorie AS	z. B. große Talbrücke
XI	Sehr große Brücke/Kategorie LS u. VS	z. B. Brücke über Meeresarm oder Kanal mit Hochseeschiffsbetrieb

Tab. 2: Vorgeschlagene Clusterung für Brücken

3.3.3 Bezugsgröße für quantitative Messgrößen

Grundsätzlich können alle quantitativen Messgrößen im Zuge der Nachhaltigkeitsbewertung „pro Bauwerk“ betrachtet werden. Der auf die Bezugsgröße „Stück Brücke“ bezogene Vergleich stellt dann jedoch lediglich eine Betrachtung von Absolutwerten dar. Ein echter relativer Vergleich ist damit nicht möglich. Für einen reinen Variantenvergleich ist die Betrachtung „pro Bauwerk“ vollkommen ausreichend und sollte hier immer die erste Wahl sein. Besteht aber der Wunsch nach einem Vergleich der Brückenqualität mit Referenzwerten, wie er auch zur Bewertungsfindung im Nachhaltigkeitsbewertungssystem grundsätzlich vorgesehen ist, ist die Bezugsgröße „Stück Brücke“ ungeeignet.

Die Bezugsgröße sollte immer einen Bezug zum Nutzen aufweisen. Bei Gebäuden besteht z. B. ein direkter Zusammenhang zwischen der Bezugsgröße Bruttogeschosfläche und dem Nutzen als vermietbare Fläche. Nur so kann einer Manipulation der Bewertung bzw. einer Beschönigung der Ergebnisse durch künstliche Vergrößerung der Bezugseinheit ohne gleichzeitige Erhöhung des Nutzens vorgebeugt werden.

Im Bewertungssystem (Stand 2010) dient die Brückenfläche als Bezugsgröße für die quantitativen Messgrößen. Die anzusetzende Fläche ergibt sich dort aus der Länge der Brücke, gemessen als Abstand zwischen den äußeren Flügelwandenden, multipliziert mit der Brückenbreite, definiert als der Abstand zwischen den Geländern.

Diese Definition der Brückenfläche birgt jedoch einige Schwachpunkte hinsichtlich der Anwendung im Bewertungssystem, insbesondere, wenn auf Grundlage der Bewertungssystematik in der Planungsphase ein Zielsystem zur Nachhaltigkeitsoptimierung des Bauwerks erarbeitet werden soll. Im Bewertungssystem (Stand 2010) gibt es nur jeweils einen Referenzwert für alle Brückengrößen. Eine Clusterung ist dort nicht vorgesehen. Durch die Wahl der modifizierten Länge (gemessen bis zu den Flügelwandenden) anstatt der klassischen Brückenlänge wurde versucht, die systembedingten Unterscheide zwischen großen und kleinen Brücken für die Bewertung zu kompensieren. In der Pilotstudie wird vorgeschlagen, nach Einführung einer geeigneten Clusterung auf diese spezielle Definition einer modifizierten Brückenlänge zu verzichten. Diesem Vorschlag sollte Folge geleistet werden, da die Verwendung der modifizierten Brückenlänge ein gewisses Manipulationspotenzial birgt. Bei großen Brücken spielt der Einfluss der Flügelwände auf die anzusetzende Länge kaum eine Rolle, bei kleinen Brücken dafür umso mehr. Bei einer Brücke, deren Länge beispielsweise 20 m beträgt, bewirkt eine Veränderung der Flügelwandlänge von 1 m je Seite eine Veränderung der Bezugslänge und damit der Bezugsgröße „Brückenfläche“ in der Größenordnung von $\pm 10\%$ (1 m je Seite entspricht 2 m in Summe). Die gleiche Veränderung der Flügelwandgeometrie würde bei einer 400 m langen Brücke lediglich eine Veränderung der Bezugsgröße von $\pm 0,5\%$ bewirken. Diese Manipulationsmöglichkeit muss unbedingt ausgeschaltet werden.

Bei der Brückenbreite verhält es sich ähnlich. Im alten System (Stand 2010) besteht formal ein nach oben offenes Manipulationspotenzial hinsichtlich der Brückenbreite. Da sich bei einer Veränderung der Brückenbreite nicht alle Bauwerkskomponenten linear im Verhältnis zur Brückenbreite ändern, nehmen die eingesetzten Baustoffmassen auch nicht proportional zur Brückenbreite zu. Das bedeutet, dass sich die Umweltwirkungen und die Kosten einer Brücke ebenfalls nicht streng proportional zur Brückenbreite verhalten. Ein gewisser Fixanteil bleibt von der tatsächlichen Bauwerksbreite weitestgehend unbeeinflusst. Bei einer Steigerung der Brückenbreite ist der prozentuale Zuwachs der Brückenfläche daher immer größer als der prozentuale Zuwachs bei den Umweltwirkungen und Kosten. Die Lösung eines allgemeinen Optimierungsalgorithmus zur Minimierung der flächenbezogenen Umweltwirkungen und Kosten würde immer ergeben, dass die Brücken umso umweltfreundlicher und kostengünstiger werden, je breiter sie ausgeführt sind, ohne dass je eine Grenzbreite oder ein Optimum erreicht würden.

Der Nutzen einer Brücke liegt darin, einen gewissen Verkehrsstrom (z. B. quantifiziert als DTV) über ein Hindernis zu führen. Einerseits kann der tatsächlich auftretende DTV bzw. der in der Planungsphase prognostizierte DTV zur Charakterisierung des Nutzens herangezogen werden (genutzte Kapazität), andererseits der gewählte Regelquerschnitt und damit der mögliche Verkehr (installierte Kapazität). Der Nutzen ist jedoch nicht linear proportional zur tatsächlichen Brückenfläche oder Brückenbreite. Sobald die zur Abwicklung des betreffenden DTV benötigte Breite erreicht ist, wird der Nutzen der Brücke durch eine weitere Verbreiterung nicht erhöht.

Für ein Brückenbauwerk wird die gleiche Kapazität benötigt wie für den angrenzenden Streckenzug. Zur Bildung der Bezugsgröße darf daher keine größere Breite angesetzt werden, als aus diesen Randbedingungen erforderlich. Die anzusetzende Brückenbreite muss vielmehr aus dem vorhandenen (bzw. der Planung zugrundeliegenden) Regelquerschnitt des Streckenzuges abgeleitet werden. Es ist jedoch nicht zielführend, die Nennbreite des Regelquerschnitts zu verwenden. Bei Autobahnquerschnitten trägt beispielsweise der unbefestigte Mittelstreifen mit planmäßig 4 m Breite zum Nennmaß des Regelquerschnitts bei, er wird aber in der Regel nicht als solcher über die Brücke geführt. Daher wird vorgeschlagen, als Ersatzbreite zur Be-

stimmung der Bezugsfläche die Summe der Breite der befestigten Fläche des Regelquerschnitts anzusetzen.

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden zudem einige alternative Bezugsgrößen untersucht, wobei verschiedene Kombinationen aus den Brückenabmessungen (Länge, Breite, Höhe) und dem DTV betrachtet wurden. Keine der untersuchten Bezugsgrößenvarianten konnte jedoch überzeugen.

Da die Höhe der Brücke durch die äußeren Randbedingungen der Geländetopographie in Verbindung mit den Vorgaben der Trassierung bestimmt wird, lässt sich hinsichtlich der Verknüpfung von Höhe und Nutzen kein verallgemeinerbarer Zusammenhang formulieren. Die Integration der Höhe in die Bezugsgröße stellt daher, entgegen der im Rahmen der Projektbearbeitung (Zwischenbericht) getroffenen Annahme, keine Verbesserung der Bezugsgröße dar.

In der Abwicklung des DTV besteht letztlich der Nutzen einer Brücke. Bei einer Berücksichtigung des DTV (bzw. des Prognose-DTV) als Bestandteil der Bezugsgröße anstelle einer vom Regelquerschnitt abgeleiteten Ersatzbreite, würde zusätzlich der Ausnutzungsgrad der Brücke in die Bewertung einfließen, da das ausgeführte Bauwerk (installierte Kapazität) auf die genutzte Kapazität (DTV) bezogen würde. Der Ausnutzungsgrad ist aber eher ein Charakteristikum des gesamten Streckenzuges und weniger des individuellen Bauwerks. Da im Rahmen des Subsystems Brücke jedoch das individuelle Bauwerk bewertet werden soll und nicht der Streckenzug, scheint es nicht sinnvoll anstelle der Brückenbreite bzw. der oben beschriebenen Ersatzbreite den DTV in die Bezugsgröße zu integrieren.

Zusammenfassend wird folgende Bezugsgröße für die Anwendung im überarbeiteten Bewertungssystem für Brücken empfohlen:

$$X_{\text{BRÜCKE}} = \text{Brückenersatzfläche} = L \cdot B_{\text{RQ}} \quad (1)$$

mit

$X_{\text{BRÜCKE}}$	Bezugsgröße für Brücken
L	Länge der Brücke (Gesamtstützweite, gemessen zwischen den Systemachsen der Widerlager)
B_{RQ}	Breite der befestigten Fläche des Regelquerschnittes der im betreffenden Abschnitt des Streckenzuges der Planung zugrunde liegt

Die Manipulierbarkeit der Bewertung durch die Wahl einer übermäßigen Bauwerksbreite oder Flügelwandlänge ist bei der oben genannten Bezugsgröße nicht mehr möglich. Die systembedingten Unterschiede, die sich bei der Bewertung zwischen Autobahnen (mehrspurige Querschnitte, in der Regel auf getrennten Richtungsbauwerken), einspurigen Landstraßen und innerörtlichen Straßen mit zusätzlichem Fußgängerverkehr hinsichtlich der Regelquerschnittsbreiten ergeben, können durch die in Kapitel 3.3.2 vorgeschlagene Clusterung berücksichtigt werden.

3.3.4 Referenzwerte

Für die quantitativ messbaren Kriterien sollen die Referenzwerte diejenigen Werte darstellen, für deren Erreichen 50 % der möglichen Bewertungspunkte vergeben werden. Grundsätzlich gilt, dass die Referenzwerte den üblichen Durchschnitt nach dem aktuellen Stand der Technik repräsentieren sollen. Innerhalb des laufenden Projektes waren keine umfangreichen Untersuchungen zur Referenzwertbestimmung möglich.

In der Pilotstudie hat sich gezeigt, dass im Systementwurf von 2010 der durch Referenz-, Ziel- und Grenzwert definierte bewertbare Bereich, nicht für alle messbaren Kriterien in einem sinnvollen Wertebereich lag. Beim Ozonbildungspotenzial lagen beispielsweise die Ergebnisse von vier der sechs untersuchten Brücken außerhalb des bewertbaren Bereichs, wobei die Werte dreimal oberhalb des Grenzwertes und einmal unterhalb des Zielwertes lagen. Hier scheint die Definition des bewertbaren Bereichs zu eng zu sein. Bei den Lebenszykluskosten lagen die Ergebnisse hingegen für alle Brücken unterhalb des Zielwertes, was dafür spricht, dass hier der Referenzwert an sich zu hoch festgelegt wurde.

In der Pilotstudie hat sich auch gezeigt, dass es für die Ergebnisse einzelner Messgrößen starke Ausreißer zu geben scheint (z. B. wird für eine Messgröße mehr als das 6-fache des entsprechenden Referenzwertes erreicht.) Um aber beurteilen zu können, ob es sich hierbei tatsächlich um einen Ausreißer handelt oder ob es sich um die Streuung der Werte aufgrund von unterschiedlichen Bauweisen und Brückentypen handelt, wie sie durchschnittlich in der Praxis vorkommen können, muss zunächst eine ausreichend große Grundgesamtheit von Brücken untersucht werden. Da die Brücken jetzt in 11 praxisrelevante Brückentypen geclustert

sind, bedarf es bei der Bestimmung der Referenzwerte besonderer Sorgfalt. Grundsätzlich wird vermutet, dass durch die Clusterung die Streubreite möglicher Ergebnisse für die Messgrößen der einzelnen Kriterien bei durchschnittlichen Brücken nach dem aktuellen Stand der Technik sinkt. Diese Annahme muss jedoch durch eine repräsentative Anzahl von Vergleichsobjekten zunächst abgesichert werden. Für einzelne Messgrößen können aufgrund der unterschiedlichen Bauweisen und/oder der individuellen verwendeten Materialien (z. B. beim Vergleich eines Spannbetonbauwerks mit einem Stahlverbundbauwerk) durchaus stark unterschiedliche Ergebnisse erreicht werden. Daher müssen ebenfalls die Faktoren zur Bildung des Grenz- und Zielwertes, die im alten System für alle messbaren Kriterien einheitlich mit 0,7 zur Ermittlung des Zielwertes und 1,3 zur Ermittlung des Grenzwertes gesetzt waren, hinterfragt werden. Je nachdem wie stark die Messwerte für einzelne Kriterien bei durchschnittlichen Brücken nach dem aktuellen Stand der Technik streuen, kann es sinnvoll sein diese Faktoren anzupassen, um eine möglichst hohe Aussagekraft und eine gute Trennschärfe in der Bewertung zu erreichen.

In der Pilotstudie wurden lediglich 6 Brücken untersucht, wobei bei einer Brücke sogar nur die in den Kriterien Nr. 1.1 bis 1.5 betrachteten Umweltwirkungen bewertet wurden. Mit diesen 6 Brücken werden 5 der 11 Brückentypen (Typ I, Typ V, Typ VIII, Typ IX und Typ X) abgedeckt, wobei mit Ausnahme von Typ V, für den es zwei Beispielbauwerke gibt, jeweils nur ein Bauwerk pro Brückentyp vertreten ist.

Die vorhandene Datengrundlage reicht also in keinem Fall aus um repräsentative Referenzwerte für alle Brückentypen festzulegen. Selbst für eine Bestimmung der unter den Beispielbrücken vertretenen Brückentypen ist die Datengrundlage nicht ausreichend. In den Steckbriefen des überarbeiteten Systems müssen die Referenzwerte sowie die Faktoren zur Ermittlung von Ziel- und Grenzwert daher zunächst offen gelassen werden.

Eine Anwendung des Systems ist dennoch möglich, indem die Bewertung der quantitativen Messgrößen zunächst nach „Level 3“ und später nach „Level 2“ (vgl. Methodensteckbrief „Bewertung bei messbaren Kriterien“) erfolgt. Sobald ein ausreichend großer Datenpool mit Bewertungsergebnissen zu Verfügung steht, können dann im Zuge der Systemfortschreibung Referenzwerte definiert werden, um somit eine Bewertung nach „Level 1“ zu

ermöglichen. So können die Referenzwerte sukzessive aus der Anwendung des Systems erarbeitet werden. Aufgrund des häufigeren Auftretens in der Praxis ist dabei zu erwarten, dass für einige Brückentypen diese Festlegung der Referenzwerte früher stattfinden kann als für andere. Alternativ ist es auch denkbar, dass eine gesonderte Pilotstudie zur Bestimmung der Referenzwerte und der Faktoren zur Bestimmung von Ziel- und Grenzwerten gestartet wird, in der für jeden Brückentyp gezielt Bauwerke ausgewählt werden, die zusammen einen repräsentativen Durchschnitt praxisüblicher Bauwerke nach dem aktuellen Stand der Technik bilden.

Hinsichtlich der Faktoren zur Bestimmung von Ziel- und Grenzwerten wird vorgeschlagen zunächst die Faktoren 0,7 für den Zielwert und 1,3 für den Grenzwert anzustreben. Nur in den Fällen, in denen diese Faktoren nachgewiesenermaßen keine signifikant unterscheidende Bewertung zulassen, sollte von den Vorgaben abgewichen werden.

3.3.5 Methodensteckbriefe

Einige der im Projekt „Strecke/Tunnel“ dargestellten Methodensteckbriefe enthalten subsystemspezifische Inhalte (z. B. Tabellen zu Lebensdauern und Erhaltungskostensätzen). Ziel der Methodensteckbriefe sollte es eigentlich sein, unabhängig vom jeweiligen Subsystem die allgemeingültigen Berechnungsmethoden darzustellen. Daher schlagen die Bearbeiter des Projektes vor, subsystemspezifische Inhalte aus den Methodensteckbriefen auszugliedern und jeweils in eine eigene, die Methodensteckbriefe ergänzende, subsystemspezifische Anlage zu überführen. Bei einer Anpassung oder Novellierung eines Subsystems muss dann folgerichtigerweise nur die entsprechende Anlage geändert werden und nicht der Methodensteckbrief an sich. Anstelle von vielen einzelnen, subsystemspezifischen Methodensteckbriefanlagen scheint es sinnvoll, diese Inhalte für jedes Subsystem jeweils in einer „allgemeinen subsystemspezifischen Anlage“ zusammenzufassen. Betroffen hiervon sind die Methodensteckbriefe „Ökobilanz“, „Ermittlung von Mehrkilometern und Staustunden“ sowie „Lebenszykluskosten“. Die anderen Methodensteckbriefe sind bereits ausreichend subsystemunabhängig.

Die Bewertungen mit Checkliste und Erläuterungsbericht unterscheiden sich in der letztendlichen Bewertungsfindung nicht nennenswert. Im Falle der Bewertung anhand eines Erläuterungsberichts

werden die zu bewertenden Inhalte bzw. Qualitäten über eine Zuordnung von Checklistenpunkten (CP) ausgedrückt. Bei der formalen Auswertung eines Kriteriums spielt es bei dem Vergleich der erreichten CP mit den möglichen CP dann keine Rolle mehr, ob diese aus einzelnen definierten Checklistenfragen gesammelt wurden oder ob diese aus den Inhalten eines Berichts abgeleitet wurden. Im Allgemeinen kann im Steckbriefdeckblatt bei nicht messbaren Kriterien auch noch nicht festgelegt werden, welche der beiden Methoden zur Anwendung kommt. Diese Regelung erfolgt erst in der subsystemspezifischen Anlage. D. h. jedes Steckbriefdeckblatt, das ein nicht messbares Kriterium behandelt, müsste derzeit auf beide Methodensteckbriefe verweisen. Die Zusammenfassung zu einem Methodensteckbrief „nicht messbare Kriterien“ scheint daher zielführend.

Bezüglich der Methodensteckbriefe wird folgendes Vorgehen empfohlen:

- Alle subsystemspezifischen Inhalte aus den Methodensteckbriefen ausgliedern und für jedes Subsystem in einer „allgemeinen subsystemspezifischen Anlage“ zusammenfassen.
- Die Methodensteckbriefe „Checkliste“ und „Erläuterungsbericht“ zu einem gemeinsamen Methodensteckbrief „nicht messbare Kriterien“ zusammenfassen.

Bei den überarbeiteten Steckbriefen in der Anlage wurden diese Vorschläge zur „allgemeinen subsystemspezifischen Anlage“ (vgl. auch Kapitel 3.4) und zur Zusammenfassung der beiden Methodensteckbriefe zum Methodensteckbrief „nicht messbare Kriterien“ entsprechend umgesetzt.

3.3.6 Linearisierte Punktezuordnung

Nach Auffassung der Bearbeiter sollte bei allen quantitativen Messgrößen eine lineare Zuordnung der Punkte zwischen Grenzwert und Zielwert dergestalt erfolgen, dass für das Erreichen des Zielwertes 10 Punkte vergeben werden und für das Erreichen des Grenzwertes 0 Punkte. Der Referenzwert sollte in der Regel mittig zwischen Zielwert und Grenzwert liegen und mit 5 Punkten bewertet werden, sodass sich eine einfache lineare Zuordnung zwischen 0 Punkten (Grenzwert gerade erreicht) und 10 Punkten (Zielwert gerade erreicht) ergibt. Die durch Interpolation ermittelten Punkte sollten auf eine Nachkommastelle gerundet werden.

Das Vorgehen im bestehenden System, bei dem es für das genaue Erreichen des Grenzwertes 1,0 Punkte gibt und erst bei Werten schlechter als der Grenzwert 0 Punkte vergeben werden, erzeugt einen unnötigen Sprung in der Bewertungsskala. In begründeten Ausnahmefällen könnten Referenzwert, Grenzwert und Zielwert auch derart festgelegt werden, dass der Referenzwert nicht mittig zwischen Grenzwert und Zielwert liegt. Da die Punktezuordnung (Grenzwert \triangleq 0 Punkte, Referenzwert \triangleq 5 Punkte, Zielwert \triangleq 10 Punkte) erhalten bleiben sollte, ergibt sich für diesen Fall eine bilineare Zuordnung. Dies sollte aber die Ausnahme bleiben. Auch bei Checklistenfragen, die eine Interpolation der CP zwischen der besten und der schlechtesten Umsetzungslösung vorsehen, sollte jeweils der volle Punkteumfang ausgenutzt werden, d. h. für die schlechteste Lösungsvariante sollten 0 Punkte vergeben werden.

3.3.7 Umgang mit nicht anwendbaren oder neu einzuführenden Bewertungskriterien

Da es angestrebt ist, alle Subsysteme als integralen Bestandteil eines übergeordneten Systems „Verkehrsinfrastruktur“ zu gestalten, lässt es sich nicht vermeiden, dass das Portfolio aller Kriterien des Gesamtsystems einzelne Kriterien enthält, die nicht für jedes Subsystem relevant sind.

Die Nachhaltigkeitsbewertung eines Infrastrukturobjekts sollte sich aber immer nur auf relevante, aussagekräftige und unter den vorgegebenen Randbedingungen bewertbare Kriterien beschränken. Insofern ist es unumgänglich aus der Summe aller Kriterien für jedes Subsystem bzw. für jeden Anwendungsfall (Pre-Check, Bewertung nach Fertigstellung etc.) eine Auswahl an anzuwendenden Kriterien zu treffen. Da die Gewichtungen der Hauptkriteriengruppen im Bewertungssystem feststehen, ist die Gewichtung eines Einzelkriteriums (bzw. dessen Einfluss auf den Gesamterfüllungsgrad) innerhalb einer Hauptkriteriengruppe von der Anzahl der Einzelkriterien und den vergebenen Bedeutungszahlen abhängig. Die Veränderung der Kriterienanzahl führt somit immer zu einer Gewichtsveränderung der Einzelkriterien innerhalb einer Hauptkriteriengruppe. Die Entscheidung, ob ein Kriterium für die Bewertung angewendet wird oder nicht, darf daher nicht bei jeder Bewertung individuell entschieden werden, sondern muss für das jeweilige Subsystem und den jeweiligen Bewertungszeitpunkt (Pre-Check, fertiggestelltes Bauwerk etc.) verbindlich festgelegt werden.

Hierbei sollte grundsätzlich die Option offengehalten werden, bei einer Novellierung eines Subsystems im Zuge der Fortschreibung des Bewertungssystems neue Kriterien einzuführen und ggf. bestehende Kriterien auszublenden, wenn sie sich für das konkrete Subsystem als nicht relevant oder als in der Anwendung ungeeignet erwiesen haben. Innerhalb eines Subsystems müssen für die unterschiedlichen Bewertungszeitpunkte nicht zwingend alle zur Anwendung kommenden Kriterien identisch sein.

Im bestehenden Bewertungssystem für Brücken (Stand 2010) waren einige Kriterien zurückgestellt, da noch keine konkreten Bewertungsmethoden bzw. Bewertungsmaßstäbe festgelegt waren. Auch nach der durchgeführten Systemüberarbeitung verbleiben weiterhin einzelne Kriterien im System, die nicht zur Anwendung kommen, da eine konkrete inhaltliche Ausarbeitung der Kriterien noch aussteht. Im Zuge der Fortschreibung des Gesamtsystems sollte angestrebt werden, die betreffenden Kriterien in die entsprechenden Subsysteme einzupflegen. Hierbei ist jeweils die Vergabe der Bedeutungszahlen zu prüfen und ggf. anzupassen.

Wie bereits in Kapitel 3.2 angesprochen, ist es hinsichtlich der Kriteriennummern vorgesehen, unabhängig davon, dass in manchen Subsystemen nicht alle Kriterien zur Anwendung kommen, im Gesamtsystem eine einheitliche und durchgängige Nummerierung der Kriterien zu führen. Neue Kriterien sind bezüglich ihrer Nummerierung in jeder Hauptkriteriengruppe fortlaufend an die bestehenden Kriterien anzuschließen.

3.3.8 Umgang mit bauwerksspezifisch nicht zutreffenden Checklistenfragen

Bezüglich nichtzutreffender Checklistenfragen sieht das bestehende System (Stand 2010) vor, diese auszublenden. Da sich die Bewertung der nichtmessbaren Kriterien aus dem Verhältnis der erreichten CP zu den möglichen CP ableitet, führt das Ausblenden einzelner Checklistenfragen zu einer Veränderung der relativen Gewichtung der verbleibenden Fragen und damit zwangsläufig zu einer Verzerrung der Bewertungsergebnisse.

Im Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) kommt es innerhalb einzelner Kriterien durchaus vor, dass einzelne Checklistenfragen nicht zutreffend sind. Im Falle des Kriteriums 3.2 „Komfort“ wurde das Problem beispielsweise dadurch gelöst, dass

einige Checklistenfragen nur für Brücken innerorts zu beantworten sind und andere nur für Brücken außerorts. Da in Summe jeweils die gleichen CPs erreicht werden können, findet keine Verzerrung statt und es müssen keine Fragen ausgeblendet werden. Dieses Vorgehen, für verschiedene Randbedingungen unterschiedliche Checklistenfragen zu formulieren, ist grundsätzlich möglich.

Hingegen gibt es im bestehenden System andere Checklistenfragen, z. B. einige Fragen im Kriterium 3.1, die sich auf Lager und Übergangskonstruktionen beziehen, die für integrale Brücken nicht zutreffend sind und auch nicht beantwortet werden können. Durch die derzeit vorgesehene Praxis, diese Frage auszublenden, entsteht wie oben beschrieben eine Verzerrung in der Ergebnisbewertung. In den meisten Fällen lassen sich die Fragen aber dahingehend umformulieren, dass sie für alle in Frage kommenden Varianten eindeutig beantwortet werden können.

Für das überarbeitete Bewertungssystem wird also vorgeschlagen, die Checklistenfragen entweder so zu formulieren, dass sie für alle vorkommenden Fälle eindeutig beantwortbar sind oder es sind alternative Fragen zu formulieren, die je nach Randbedingungen angewendet werden müssen. Das Vorgehen, nicht zutreffende Fragen auszublenden, sollte dagegen nicht angewendet werden. Diese Empfehlungen wurden bei den überarbeiteten Steckbriefen in der Anlage entsprechend umgesetzt.

3.3.9 Kriterien zur Primärenergie

Im Zuge der Überarbeitung des Systems wurden die Bezeichnungen an die aktuelle Version der Ökobau.dat (Ökobau.dat 2014) angepasst, sodass die Bezeichnungen „Total nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT)“ und „Total erneuerbare Primärenergie (PERT)“ Verwendung finden.

Im alten Bewertungssystem (Stand 2010) gibt es zwei Kriterien, die sich mit der Primärenergie befassen. Das sind Kriterium 1.9 „nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PEne)“ und Kriterium 1.10 „Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbare Energie (PEe)“. Formal werden hier drei einzelne Teilkriterien abgeprüft, von denen zwei in einem Kriterium zusammengefasst sind, während eines in einem eigenen Kriterium behandelt wird.

Ein Grund für diese ungleiche Aufteilung ist im Kontext des Brückenbewertungssystems (Stand 2010)

auf den ersten Blick nicht ersichtlich. Es wäre konsistenter, entweder allen drei Abfragen ein eigenes Kriterium zuzuteilen oder alle drei Teilkriterien in einem Kriterium „Primärenergie“ zusammenzufassen. Die Notwendigkeit in Kriterium 1.10 den Gesamtprimärenergiebedarf und den Anteil erneuerbare Energie zusammenzufassen, der sich im Bewertungssystem für Gebäude (z. B. BNB Bürogebäude) daraus ergibt, dass sich die Teilkriterien teilweise kompensieren lassen, entfällt im System Brücke. Im BNB System kann in dem entsprechenden Kriterium ein zu geringer Anteil an erneuerbarer Energie durch einen insgesamt niedrigeren Gesamtprimärenergiebedarf ausgeglichen werden. So ist es beispielsweise möglich, alleine aus einem entsprechend niedrigen Gesamtprimärenergiebedarf die volle Punktzahl des Kriteriums zu erhalten, auch wenn der Anteil an erneuerbarer Energie bei 0 % liegt. Aus diesem Grunde müssen die beiden Sachverhalte im BNB System in einem Kriterium zusammengefasst sein. Bei Brücken ist die Kompensationsmöglichkeit jedoch nicht vorgesehen. Hier lassen sich aus jedem Teilkriterium nur maximal jeweils 50 % der zu erreichenden Punkte des Kriteriums erreichen. Insofern handelt es sich nunmehr um die schlichte Addition zweier unabhängiger Kriterien. Formal sollten also alle drei Fragen zu Primärenergie gleich behandelt werden, also entweder jeweils in eigene Kriterien gefasst oder in ein einziges gemeinsames Kriterium zusammengefasst werden.

Die drei genannten Teilkriterien lassen sich zwar formal unabhängig behandeln, inhaltlich besteht aber eine Abhängigkeit zwischen Primärenergiebedarf, Gesamtenergiebedarf und dem Anteil erneuerbarer Energie. Diese Größen sind nicht unabhängig voneinander.

$$PENRT + PERT = PE_{ges} \quad (2)$$

$$\text{Anteil PERT} = PERT/PE_{ges} \quad (3)$$

Gleichung (2) stellt eine Gleichung mit drei Unbekannten dar. Sobald also zwei der drei abgefragten Größen bekannt sind, ergibt sich die dritte rechnerisch daraus. Eine Abfrage bzw. Überprüfung von allen drei Indikatoren stellt also eine Überbestimmung dar. Für die Überarbeitung des Systems lassen sich folglich verschiedene mögliche Umsetzungsvorschläge definieren:

- a) Die Abfragen inhaltlich gleich lassen, aber aufgrund der formalen Systematik jeden der einzeln geprüften Sachverhalte in einem eigenen Kriterium behandeln.

- b) Die Abfragen inhaltlich gleich lassen, aber unter Beibehaltung der gegenwärtigen relativen Gewichtung alle drei Teilkriterien in ein einziges Kriterium „Primärenergie“ zusammenfassen.
- c) Die Abfrage auf zwei der drei Teilkriterien reduzieren, die entweder in ein gemeinsames Kriterium „Primärenergie“ zusammengefasst werden oder die jeweils in eigenen Kriterien behandelt werden.

Von den Bearbeitern wird die Reduktion der Abfrage auf die beiden Indikatoren „Gesamtprimärenergiebedarf“ und „Anteil erneuerbarer Energie am Gesamtenergiebedarf“ sowie die Zusammenfassung in ein gemeinsames Kriterium empfohlen.

Eine Abfrage von „nichterneuerbarer Energie“ und dem „Anteil erneuerbarer Energie“, die ebenfalls denkbar wäre und eher der Abfrage aus dem bestehenden System (Stand 2010) entspricht, ist formal schlechter geeignet, da hier bei gleichbleibendem Bedarf an nicht erneuerbarer Energie durch den zusätzlichen Verbrauch von erneuerbarer Energie das Ergebnis verbessert werden kann, ohne dabei den Verbrauch an nicht erneuerbaren Ressourcen zu reduzieren.

3.3.10 Berechnung der unregelmäßigen Erhaltungskosten

Im bestehenden System (Stand 2010) gibt es einen konkreten Ansatz, wie die unregelmäßigen Erhaltungskosten ermittelt werden sollen. Das Vorgehen wird im Steckbrief 2.1 „direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus“ genau beschreiben. Die unregelmäßigen Erhaltungskosten sind anhand der in Tabelle I des Steckbriefs hinterlegten Datensätze zu bestimmen. Diese Tabelle gibt sowohl die Lebensdauern bzw. Erneuerungszyklen einzelner Baustoffe und Bauteile bzw. Bauteilschichten vor, als auch die für die Erneuerung anzusetzenden Kosten. Sämtliche Kosten sind dabei über einen angegebenen Kostenfaktor durch Multiplikation mit der Brückenfläche zu bestimmen.

Da die unregelmäßigen Erhaltungskosten direkt in die Lebenszykluskosten eingehen, muss deren Anteil an den gesamten Lebenszykluskosten auch bei der Festlegung der Referenzwerte der Lebenszykluskosten berücksichtigt werden.

Die Referenzwerte für die Lebenszykluskosten im bestehenden System (Stand 2010) wurden aus den Ergebnissen des Forschungsprojektes „Nachhal-

tiges Bauen – Ökobilanzierung und Lebenszykluskosten von vier Straßenbrücken“ (Forschungsbericht F15-10-2010 FG Massivbau, TU Darmstadt, kurz: Projekt „Hessische Straßenbrücken“) [GRAUBNER & KNAUFF 2010] abgeleitet. Hierbei kam jedoch ein grundsätzlich anderer Ansatz zur Ermittlung der unregelmäßigen Erhaltungskosten zum Tragen. Im Projekt „Hessische Straßenbrücken“ wurden die unregelmäßigen Erhaltungskosten direkt aus den Herstellungskosten der einzelnen zu erneuernden Positionen bestimmt. Die Herstellkosten wurden dazu entsprechend der Erneuerungsintervalle aufgezinnt und abdiskontiert. Zur Berücksichtigung des Mehraufwandes einer Erneuerung im Bestand (incl. Ausbau und Entsorgung des alten Bauteils) gegenüber einem Neubau wurden die Kosten jeweils mit einem Mehraufwandsfaktor in Höhe von 3,0 multipliziert.

Die Unterschiede bei den Berechnungsmethoden haben einen großen Einfluss auf den Anteil der unregelmäßigen Erhaltungskosten am Gesamtbetrag der Lebenszykluskosten. In der Pilotstudie wurde festgestellt, dass die Lebenszykluskosten der untersuchten Brücken (mit Ausnahme der Baakenhafenbrücke) weit unter dem durch Zielwert und Grenzwert begrenzten bewertbaren Bereich liegen. Dies liegt hauptsächlich an der unterschiedlichen Ermittlung der unregelmäßigen Erhaltungskosten.

Diese Diskrepanz spiegelt sich auch in der aktuellen Fachliteratur wieder. So wird beispielsweise in [ZINKE et al. 2010] festgestellt, „dass anders als im Hochbau, wo die Nutzungskosten dominieren, der Großteil der kapitalisierten Lebenszykluskosten den Herstellungskosten zugeschrieben werden muss.“ Während in [GRAUBNER et al. 2011] der Großteil der Lebenszykluskosten den Folgekosten (Instandhaltung 60 % der LCC und Wartung 3 % der LCC) zugeschrieben wird.

Der Vorteil des Ansatzes aus dem bestehenden Bewertungssystem (Stand 2010) liegt darin, dass er für alle Brücken identisch ist, was eine gewisse Vergleichbarkeit sicherstellt. Für diesen Ansatz müssten allerdings die Eingangswerte überprüft, bzw. überarbeitet werden, da sie verglichen mit dem anderen Ansatz sehr niedrige Ergebnisse liefern. Der Nachteil liegt allerdings darin, dass die Erfassung sehr pauschal ist und individuelle Eigenheiten der Brücken keine Berücksichtigung finden. Beispielsweise erfolgt die Ermittlung der Erneuerungskosten für die Brückenlager über die

Brückenfläche und damit sehr ungenau, da hier die Anzahl und die Leistungsfähigkeit (z. B. zulässige Lasten) der tatsächlichen Lager nicht eingehen.

Der Vorteil des Ansatzes aus dem Projekt „Hessische Straßenbrücken“ liegt wiederum darin, dass sich individuelle Lösungen besser erfassen lassen. Nachteilig ist, dass bei der Gegenüberstellung zweier Varianten die direkte Vergleichbarkeit aber nicht immer gegeben ist. Die Vergleichbarkeit hängt hier in stärkerem Maße von der Vollständigkeit und korrekten Erfassung aller relevanten Positionen in der Massenbilanz der Herstellungsphase ab, da die dort hinterlegten Positionen die Grundwerte für die Kosten der Instandsetzung dieser Positionen sind. Eine gute Vergleichbarkeit kann nur gegeben sein, wenn die Kostenaufstellung ausreichend detailliert durchgeführt ist. Eine Gefahr zur Verfälschung der Ergebnisse liegt darin, dass die abgerechneten Herstellkosten bzw. deren Aufteilung auf die Einzelpositionen durch die wirtschaftlichen und marktpolitischen Interessen der ausführenden Firmen bestimmt sind und somit nicht unbedingt den objektiven Kosten der jeweiligen Positionen entsprechen.

Für die Betrachtung über pauschale Faktoren müssten die in der Tabelle 1 des Kriteriums 2.1 im alten System (entspricht Tabelle 2 im Steckbrief „allgemeine subsystemspezifische Anlage Brücke“ im überarbeiteten System) dargestellten, anzusetzenden Werte überprüft und angepasst werden. Die Ergebnisse der Pilotstudie lassen vermuten, dass diese Werte größtenteils zu niedrig angesetzt sind.

Für die Berücksichtigung der Kosten der zu erneuernden Positionen auf Basis ihrer ursprünglichen Herstellkosten wäre der Faktor für den Mehraufwand (im Projekt „Hessische Straßenbrücken“ bei Vollersatz zu 3,0 gewählt) zu überprüfen. Es ist leicht einzusehen, dass beispielsweise die Erneuerung einer Deckschicht bei einer bestehenden Brücke mit mehr Aufwand und mehr Kosten verbunden ist als die Position „Einbringen der Deckschicht“ innerhalb der Kostenaufstellung bei der Ersterstellung der Brücke. Dies begründet sich darin, dass z. B. die Baustelleneinrichtung speziell für diese Maßnahme bereitgestellt werden muss und vor dem Einbringen der neuen Deckschicht die alte Deckschicht entfernt und entsorgt werden muss. Ob hier jedoch der pauschale Faktor von 3,0 gerechtfertigt ist, ist zu hinterfragen. Den Bearbeitern scheint dieser pauschale

Faktor zu hoch. Neben dem Faktorwert sollte ebenfalls überprüft werden, ob dieser Faktor für alle Positionen identisch sein sollte oder ob dieser für einzelne Gewerke höher bzw. niedriger festzulegen ist.

Sicherlich ist der letztgenannte Ansatz realitätsnaher, da hier die Kosten für diskrete Positionen (z. B. Lageraustausch) auch als diskrete Kosten abgebildet werden und nicht als verschmierte Kosten. Der Ansatz von verschmierten Kosten ist nur dann sinnvoll, wenn keine Werte für die tatsächlichen Kosten der Position aus der Herstellung vorliegen. Dies sollte aber bei einem Neubau in der Regel nicht der Fall sein, da hier aus den Herstellkosten des Bauwerkes die Kosten für die einzelnen Positionen nachvollziehbar hervorgehen. Lediglich bei der Bewertung eines Bestandsbauwerks, zu dem keine Unterlagen zu den Herstellungskosten mehr verfügbar sind, könnte eine pauschale Herangehensweise sinnvoller sein.

Aus Sicht der Bearbeiter sind unter Berücksichtigung der genannten Überprüfungen bzw. Anpassungen grundsätzlich beide Ansätze möglich. Für die Systemüberarbeitung wurde auf Wunsch des Auftraggebers die Variante der verschmierten Kostenansätze wie im alten System Stand 2010 beibehalten. Eine Überprüfung bzw. Neufestlegung der Zahlenwerte fand im Rahmen des laufenden Projektes nicht statt. Die Werte der Tabelle im Anhang sind aus dem System 2010 übernommen.

3.3.11 Kriterium Umnutzungsfähigkeit und Erweiterbarkeit

In der Pilotstudie wurde bereits kritisch hinterfragt, ob die Betrachtung einer Umnutzung bei Brückenbauwerken grundsätzlich sinnvoll ist. Eine Brücke wird immer als Brücke genutzt werden. Echte Umnutzungen sind die Ausnahme. Eine Erfassung derselben im Bewertungssystem ist daher nicht sinnvoll. Ein Wechsel des Verkehrsträgers kommt ebenfalls nicht in Frage, eine Bahnbrücke wird i. d. R. nie als Straßenbrücke genutzt werden und eine Straßenbrücke nie als Bahnbrücke. Die einzige Umnutzung bezüglich eines Verkehrsträgerwechsels, die praxisrelevant scheint, ist die Verwendung von ausgedienten Straßen- oder Bahnbrücken als Rad- oder Fußwegbrücken. Diese Möglichkeit der Nachnutzung ist aber immer gegeben. Ob sie im Einzelfall sinnvoll ist, hängt von den örtlichen Gegebenheiten und dem Bedarf ab, jedoch nicht vom Brückenbauwerk an sich.

Wichtiger ist die Frage nach der Erweiterbarkeit. Nach dem derzeitigen Bewertungssystem wird eine Brücke positiv bewertet, wenn Tragreserven vorhanden sind. D. h. wenn eine Erweiterungsmöglichkeit hinsichtlich der aufzubringenden Lasten besteht und wenn eine zusätzliche Fahrspur auf dem Überbau untergebracht werden kann, wenn also eine Erweiterbarkeit hinsichtlich der Verkehrsmenge besteht. Grundsätzlich kann das Vorhalten beider Reserven eine nachhaltige Lösung sein. Nämlich genau dann, wenn der Bedarf für eine dieser Reserven oder für beide tatsächlich eintritt. Tritt dieser Bedarf jedoch innerhalb des Lebenszyklus des Bauwerkes nicht ein, so ist eine Variante, die nicht ausgeschöpfte Last- und Kapazitätsreserven vorhält, verglichen mit einer auf den tatsächlichen Bedarf optimierten Brücke die weniger nachhaltige Lösung. Die Schwierigkeit liegt in der Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit des Bedarfes. Die Praxis aus dem bestehenden System, vorhandene Trag- und Kapazitätsreserven immer positiv zu bewerten, ist nicht zielführend.

Im überarbeiteten System wurde der Problematik dahingehend begegnet, dass zum einen abgefragt wird, in wieweit vorhandene Planungen hinsichtlich der infrastrukturellen Entwicklung des betreffenden Bereiches berücksichtigt wurden. Liegen keine Planungen vor (z. B. Bundesverkehrswegeplan etc.), so ist zu prüfen, ob gewisse mögliche zukünftige Entwicklungsszenarien sinnvollerweise dennoch zu berücksichtigen sind. Dies kann z. B. anhand eines Vergleiches mit ähnlichen Projekten geschehen. Zum anderen wird die technische Möglichkeit einer Verstärkung bzw. Erweiterung abgefragt. Durch die Art der Abfrage soll einer Überdimensionierung und einem unnötigen Vorhalten nicht benötigter Kapazitäten vorgebeugt werden. Die Nutzung der vorhandenen Breite des Überbaus zur Ausweisung zusätzlicher Fahrstreifen ist beispielsweise nicht als nachträgliche Erweiterbarkeit zu werten, sondern als Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung. Das Vorhalten der entsprechenden Überbaubreite ist eine bewusste planerische Entscheidung, die im Sinne der Nachhaltigkeit begründet werden muss. Das unbegründete Vorhalten eines zusätzlichen Fahrstreifens, für den weder ein aktueller Bedarf besteht noch ein zukünftiger Bedarf absehbar ist oder möglich erscheint, entspricht nicht den Grundsätzen der Nachhaltigkeit.

Bei der Bearbeitung des Projektes „Potenziale“ wurde festgestellt, dass die Kriterien Umnutzungsfähigkeit (Kriterium 3.3 im alten System) und Ver-

stärkung und Erweiterbarkeit (Kriterium 4.4 im alten System) in weiten Teilen gleiche Inhalte behandeln und somit zusammengelegt werden sollten. Da eine echte „Umnutzung“ für Brücken nicht in Frage kommt, überwiegen die technischen Aspekte dieser Kriterien. Daher wurden die Inhalte beider Kriterien im vorliegenden Vorschlag für das überarbeitete System in Kriterium 4.4 „Verkehrsentwicklung und -planung/Verstärkung und Erweiterbarkeit“ in der Hauptkriteriengruppe 4 „Technische Qualität“ zusammengefasst.

3.3.12 Kriterium Förderziele

Das im System Strecke/Tunnel neu eingeführte Kriterium 3.7 „Förderziele“ kann nicht für herausgelöste Einzelbauwerke wie Brücken oder Tunnel separat angewendet werden. Zur zielführenden Anwendung muss hier immer der gesamte Streckenzug betrachtet werden. Folglich findet dieses Kriterium im überarbeiteten Bewertungssystem für das Subsystem Brücke keine Anwendung.

3.3.13 Kriterium Herstellbarkeit

Das Kriterium 4.6 „Herstellbarkeit“, das mit dem System Strecke/Tunnel für das Subsystem Tunnel neu eingeführt wurde, kann definitionsgemäß für die Bewertung eines fertiggestellten Bauwerks nicht sinnvoll angewendet werden. Bei einem fertiggestellten Bauwerk wurde der Beweis der Herstellbarkeit durch die erfolgte Fertigstellung bereits erbracht. Probleme, die sich dabei ggf. ergaben wurden offensichtlich gelöst. Eventuelle negative Auswirkungen ungünstiger und komplizierter Randbedingungen, z. B. hohe Baukosten, hoher Materialverbrauch etc. schlagen sich in der Bewertung in den betreffenden Kriterien nieder. Eine rückwirkende Bewertung der Risiken und Unwägbarkeiten der Herstellung sind für ein fertiges Bauwerk nicht notwendig. In der Planungsphase ist die Erörterung der technischen Machbarkeit und der damit verbundenen Risiken jedoch sinnvoll, sodass ein Bewertungskriterium „Herstellbarkeit“ grundsätzlich eine Daseinsberechtigung hat. Im überarbeiteten System zur Bewertung von fertiggestellten Brücken ist das Kriterium 4.6 nicht berücksichtigt.

3.3.14 Kriterium Rückbau

Im bestehenden Bewertungssystem (Stand 2010) wird der Rückbau nicht konsistent berücksichtigt. Bezüglich der Ökologischen Qualität sind Rückbau

und Entsorgung über die EoL-Datensätze in der Ökobilanz zu berücksichtigen, während die Rückbau- und Entsorgungskosten bei der Ökonomischen Qualität in die Lebenszykluskostenberechnung nicht eingehen. Ebenso wird der Einfluss des Rückbaus auf eine Verkehrsbeeinträchtigung auf sekundären Verkehrswegen bei der Berechnung von Stautunden und Mehrkilometern derzeit nicht betrachtet, während alle anderen Baumaßnahmen an der Brücke (incl. der Herstellung) hierbei berücksichtigt werden. Diese Inkonsistenz sollte behoben werden

Zu den Kriterien 1.8, 2.1, 2.2 und 4.5 ist also die Frage zu klären, ob die Wirkungen des Rückbaus in Form von Kosten und Verkehrsbeeinträchtigung nur in Kriterium 4.5 zu bewerten sind, oder ob diese Wirkungen auch in die Kriterien 1.8, 2.1 und 2.2 einfließen sollen. In den überarbeiteten Steckbriefen in der Anlage wurde eine Berücksichtigung des Rückbaus in den Kriterien 1.8, 2.1 und 2.2 entsprechend vorgesehen.

3.3.15 Hauptkriteriengruppe 5 „Prozessqualität“

In einzelnen Steckbriefen sieht das bestehende System Abfragen vor, die die Bauphase der Brücke betreffen und die sich für ein fertiggestelltes Objekt nicht wirklich bewerten lassen, wie z. B. die Abfrage nach der Komplexität und der Fehleranfälligkeit des Bauprozesses oder die Frage nach den Umweltbeeinträchtigungen während der Bauphase. Alle derartigen Abfragen sind in die Hauptkriteriengruppe 5 „Prozessqualität“ zu verschieben. Bei der Überarbeitung des Systems wurde dies umgesetzt und alle den Bauprozess sowie die Bauphase betreffenden Fragen aus den Steckbriefen der Hauptkriteriengruppen 1 bis 4 entfernt und in die Kriterien 5.3 (Baustelle/Bauprozess) und 5.5 (Qualitätssicherung der Bauausführung) der Hauptkriteriengruppe 5 eingepflegt. Die Kriterien 5.1 (Qualifikation des Planungsteams und Qualität der Planung), 5.2 (Nachweis der Nachhaltigkeitsaspekte in der Ausschreibung) und 5.4 (Qualität der ausführenden Baufirmen/Präqualifikation) sind für die Bewertung des fertiggestellten Bauwerks an sich nicht relevant.

Am Beispiel der Qualität der Planungsteams und der Präqualifikation der Baufirmen lässt es sich anschaulich verdeutlichen: Grundsätzlich sind dies essenzielle Voraussetzungen für das Gelingen eines Infrastrukturprojekts, da sie die Qualität und

den Ablauf des Bauprojekts maßgeblich beeinflussen. Sobald aber das Bauwerk fertiggestellt ist, kann das Bauwerk bzw. seine Qualität dann direkt bewertet werden. Wenn sich beispielsweise aufgrund eines schlechten Planungsteams die Bauausführung verzögert hat und die Kosten gestiegen sind, so schlägt sich diese Auswirkung in gestiegenen Lebenszykluskosten nieder. Wenn aufgrund einer mäßigen Bauausführung die Technische Qualität des Bauwerks schlecht ist (z. B. Höhendifferenz bei den Fahrbahnübergängen, Ebenheit der Fahrbahn etc.), so schlägt sich dies bei der Bewertung der Technischen oder der Soziokulturellen Qualität nieder. Die Frage, warum diese schlechteren Qualitäten aufgetreten sind, spielt für die Bewertbarkeit des fertiggestellten Bauwerks keine Rolle.

3.4 Allgemeine subsystemspezifische Anlage für Brücken

In der allgemeinen subsystemspezifischen Anlage sind alle kriterien- und methodenübergreifenden Spezifikationen und Festlegungen des Subsystems Brücke hinterlegt. Hier werden die zu verwendenden Brückentypen (Clusterung) sowie die für die Bewertung von quantitativen Messgrößen bei Brücken anzuwendende Bezugsgröße definiert.

In einer tabellarischen Übersicht ist zudem festgelegt, welche Bauteilgruppen bei der Mengenermittlung für LCA und LCC jeweils zu berücksichtigen sind. Die Angaben wurden hier weitestgehend aus dem alten Bewertungssystem (Stand 2010) übernommen.

Weiterhin enthält die allgemeine subsystemspezifische Anlage alle notwendigen Angaben zur Ermittlung der Umweltwirkungen und der Kosten während der Nutzungsphase. Tabelle 5 der allgemeinen subsystemspezifischen Anlage enthält die für Brücken anzusetzenden Nutzungsdauern von Bauteilen und Komponenten sowie Werte für die Dauer und die Kosten von Erhaltungsmaßnahmen. Die Nutzungsdauern sowie die Zeitdauern und die Kostenansätze für Erhaltungsmaßnahmen wurden aus dem Bewertungssystem für Brücken (Stand 2010; FE 15.494/2010/FRB) übernommen. Die Ergebnisse der „Pilotstudie“ lassen allerdings vermuten, dass die angesetzten Werte für die Kosten zu niedrig sind. Insofern wird empfohlen, die Werte regelmäßig fortzuschreiben. Dabei könnte zur Steigerung der Transparenz von der Möglichkeit

Gebrauch gemacht werden, bei einzelnen Positionen Zeitdauer und Kosten pro Stück (z. B. bei Lagern) oder pro laufendem Meter (z. B. bei Übergangskonstruktionen, Betonschutzwänden, Schutz- und Leiteinrichtungen) anzugeben. Ob sich dadurch tatsächlich ein Mehrwert im Sinne einer präziseren Abschätzung oder einer gesteigerten Transparenz ergibt, muss sich zeigen. Im Zuge der Fortschreibung des Bewertungssystems kann die Tabelle auch um weitere Positionen ergänzt werden oder bestehende Positionen können weiter differenziert werden. In FE 15.494/2010/FRB werden folgende Quellen für die Werte angegeben: [BMVBS 2001] und [BASt a] für die Nutzungsdauern, [BASt b] für Zeitdauern Erhaltungsmaßnahmen und [BASt c] für die Kostenansätze von Erhaltungsmaßnahmen.

Neben den tabellierten Werten für die unregelmäßige Erhaltung ist auch der Faktor f_{RE} zur Ermittlung der Kosten der regelmäßigen baulichen Unterhaltung über einen prozentualen Anteil der Herstellungskosten für Brücken hinterlegt. Auch in diesem Fall wurde der Wert des Faktors ($f_{RE} = 2,0 \%$) aus dem bestehenden Bewertungssystem (Stand 2010) übernommen.

Tabelle 6 der allgemeinen subsystemspezifischen Anlage enthält die für Erhaltungsmaßnahmen an Brücken relevanten Verkehrsführungen. Die Verkehrsführungsvarianten wurden unverändert aus dem Bewertungssystem für Brücken (Stand 2010; FE 15.494/2010/FRB) übernommen. Sollte sich im Zuge der Fortschreibung des Bewertungssystems die Notwendigkeit dazu ergeben, können weitere Positionen mit den dazugehörigen Verkehrsführungsvarianten ergänzt werden. In FE 15.494/2010/FRB werden folgende Quellen für die Werte angegeben: [BECKMANN 2001, HELLMANN 2008].

Bis auf wenige Ausnahmen sind für Brücken in der Nutzungsphase keine Kosten und Umweltwirkungen für Betrieb und betriebliche Unterhaltung zu berücksichtigen, da die meisten Betriebsprozesse (z. B. Straßenreinigung, Winterdienst oder der Betrieb einer Straßenbeleuchtung) der Verkehrsstrecke zuzuordnen sind und nicht primär dem Brückenbauwerk. Die zu berücksichtigenden Ausnahmen sind in der allgemeinen subsystemspezifischen Anlage in Tabelle 7 genannt. Sollte sich im Zuge der Fortschreibung des Bewertungssystems die Notwendigkeit dazu ergeben, kann die Tabelle um weitere Positionen ergänzt werden.

3.5 Fazit zum Bewertungssystem für das fertiggestellte Bauwerk

In der Pilotstudie (FE 15.0522/2011/FRB) wurde das Bewertungssystem mit Stand von 2010 bereits erfolgreich angewendet. Im vorliegenden Projekt wurde der aus der Pilotstudie sowie anderen bereits abgeschlossenen Forschungsprojekten („Konzepte“, „Potenziale“, „Strecke/Tunnel“) bekannte Anpassungsbedarf bei der Systemüberarbeitung umgesetzt. Das überarbeitete System (Stand 2015) zeichnet sich dadurch aus, dass nun vor allem die systembedingten Manipulationsmöglichkeiten zur Erreichung ungerechtfertigter Bewertungsergebnisse eliminiert wurden. Die im alten Bewertungssystem (Stand 2010) zurückgestellten Kriterien wurden ausgearbeitet und in das Bewertungssystem integriert.

Im Anhang (Anlage A2 bis A4) ist der ausgearbeitete Entwurf der Steckbriefe für das überarbeitete System „Brücke“ (Stand 2015) wiedergegeben. Für die Bewertung des fertiggestellten Bauwerks kommen die folgenden Kriterien zum Einsatz:

- Ökologische Qualität:
Kriterien 1.1 bis 1.8 sowie 1.10 bis 1.14,
- Ökonomische Qualität: Kriterien 2.1 bis 2.2,
- Soziokulturelle und funktionale Qualität:
Kriterien 3.1 bis 3.6,
- Technische Qualität: Kriterien 4.1 bis 4.5,
- Prozessqualität: Kriterien 5.3 und 5.5.

Bei der Überarbeitung hat sich gezeigt, dass zur Bewertung der quantifizierbaren Messgrößen eine geeignete Datengrundlage mit Referenzwerten für die verschiedenen Bauwerkscluster geschaffen werden muss. Besonders da jetzt eine Unterteilung in 11 Brückentypen vorgenommen wurde, wird deutlich, dass die bisherige Praxisanwendung des Bewertungssystems im Rahmen der Pilotstudie (5 + 1 Brücken) noch nicht ausreichend ist, um Referenzwerte für alle Bauwerkscluster zu definieren. Die Festlegung der Referenzwerte für diese ist ein kontinuierlicher Prozess, der zukünftig verstärkt vorangetrieben werden sollte. Mit dem überarbeiteten System (Stand 2015) steht der konzeptionelle Rahmen, in den die zu erarbeitenden Referenzwerte eingepflegt werden müssen. Die Festlegung der Referenzwerte für alle quantitativen Messgrößen und alle Brückentypen war im Rahmen der Bearbeitung des laufenden Projektes nicht möglich.

Bevor die endgültige Praxiseinführung der Nachhaltigkeitsbewertungssystematik erfolgen kann, sollten in einer vorlaufenden Einführungsphase zunächst Brückenbewertungen durchgeführt werden, bei denen die Bewertung der quantitativen Messgrößen nach „Level 3“ und später nach „Level 2“ (vgl. Methodensteckbrief „Bewertung bei messbaren Kriterien“) erfolgt. Sobald ein ausreichend großer Datenpool mit Bewertungsergebnissen zu Verfügung steht, können im Zuge der Systemfortschreibung Referenzwerte definiert werden, um somit eine Bewertung nach „Level 1“ zu ermöglichen. Grundsätzlich wird vorgeschlagen, dass System in regelmäßigen Abständen zu novellieren (z. B. alle 2 bis 3 Jahre) und in diesem Zusammenhang die Referenzwerte zu überprüfen. Wenn die Nachhaltigkeitsbewertung gängige Praxis ist und nur geringe Anpassungen am System mehr nötig sind, kann das Überprüfungsintervall auch vergrößert werden (z. B. 5 bis 6 Jahre). Mit dem überarbeiteten System steht zu diesem Zeitpunkt ein leistungsfähiges und stabiles Tool zur Bewertung der Nachhaltigkeit von fertiggestellten Brückenbauwerken zur Verfügung.

4 Entwicklung eines Pre-Check-Systems

4.1 Allgemeines

Wird unter Anwendung der Bewertungssystematik für Straßenbrücken (Entwicklung im Projekt „Brücke 2010“, FE 15.0494/2010/FRB, Pilotanwendung im Projekt „Pilotstudie“, FE 15.0522/2011/FRB und Überarbeitung im Rahmen des vorliegenden Projektes) eine Nachhaltigkeitsbewertung am fertiggestellten Bauwerk vorgenommen, geschieht dies zu einem Zeitpunkt der keine Verbesserung der festgestellten Nachhaltigkeit mehr zulässt. Auch wenn umsichtige Beteiligte die vorgesehene Beurteilung des Bauwerkes nach Fertigstellung bereits in der Planung berücksichtigen werden, werden ggf. nicht alle Potenziale erkannt und genutzt. Daher erscheint es besser, eine Überprüfung der Planung anhand einer Prognose der Nachhaltigkeit als Meilenstein vorzusehen. Dieser „Pre-Check“ muss dabei zeitlich so in den Planungsablauf integriert werden, dass die Bauwerksplanung noch geändert und verbessert werden kann. Auf diese Weise lassen sich die Einflussmöglichkeiten auf die Nachhaltigkeit in der Planung adressieren und die zugehörigen Optimierungspotenziale ausschöpfen.

Die Implementierung eines solchen Meilensteins zur Prognose der Nachhaltigkeit eröffnet die Möglichkeit, eine Lenkung des Planungsprozesses hin zu einer nachhaltigeren Lösung zu fördern.

Orientiert am Planungsablauf für Straßenbrücken wird der Zeitpunkt für den Pre-Check an das Ende der Vorplanung (HOAI-Leistungsphase 2 der Bauwerksplanung) gelegt. Da die Planungsphasen einer Verkehrsanlage in der Regel etwas versetzt dazu ablaufen (vgl. Bild 1), befindet sich der Verkehrsweg dann schon im Entwurfsstadium (HOAI-Leistungsphase 3 der Straßenplanung). Im Detail werden die Rahmenbedingungen zum Zeitpunkt des Pre-Checks daher wie folgt definiert: Die Linienführung des Verkehrsweges liegt weitgehend fest und damit auch der Standort, an dem das Brückenbauwerk errichtet werden soll. Hinsichtlich der Gradienten und in der Folge des genauen Abzweigungspunktes sind aber noch kleinere Änderungen möglich. Dadurch können mit einer Pre-Check-Systematik verschiedene Lösungen für die geplante Straßenbrücke verglichen bzw. die Auswahl der Vorzugsvariante im Hinblick auf die Nachhaltigkeit unterstützt werden.

Das Konzept der Nachhaltigkeitsbewertung von Elementen der Straßeninfrastruktur sieht für die Beurteilungssystematik einen einheitlichen Kriterienkatalog über alle Elemente und Lebensphasen einer Verkehrsanlage vor (vgl. Projekt „Konzepte“, FE 09.0162/2011/LRB). In den frühen Planungsphasen können die für eine Beurteilung erforderlichen Informationen naturgemäß noch nicht so vollständig und detailliert vorliegen wie nach der Fertigstellung eines Bauwerkes. Daher wurden die Kriterien in einem ersten Schritt daraufhin überprüft, ob sie zu dem definierten Zeitpunkt für den Pre-Check bereits angewendet werden können. Für eine Anwendung müssen Informationen (gleich welcher Detailtiefe) vorliegen und es sollte darüber hinaus eine Einflussmöglichkeit auf den betrachteten Aspekt der Nachhaltigkeit bestehen. Soweit mindestens die erste Voraussetzung erfüllt ist, erfolgt die Ausarbeitung der Steckbriefe für den definierten Bewertungszeitpunkt. Als Grundlage für die Ausarbeitung bzw. Anpassung der Steckbriefe auf diesen Zeitpunkt wird betrachtet, welche Daten für eine Beurteilung zur Verfügung stehen bzw. zusätzlich herangezogen werden können. Ausgehend von der Datengrundlage wird bei Bedarf im nächsten Schritt die Berechnungs- bzw. Bewertungsmethodik modifiziert und an die verfügbaren Informationen angepasst. Die beschriebenen Verfahren

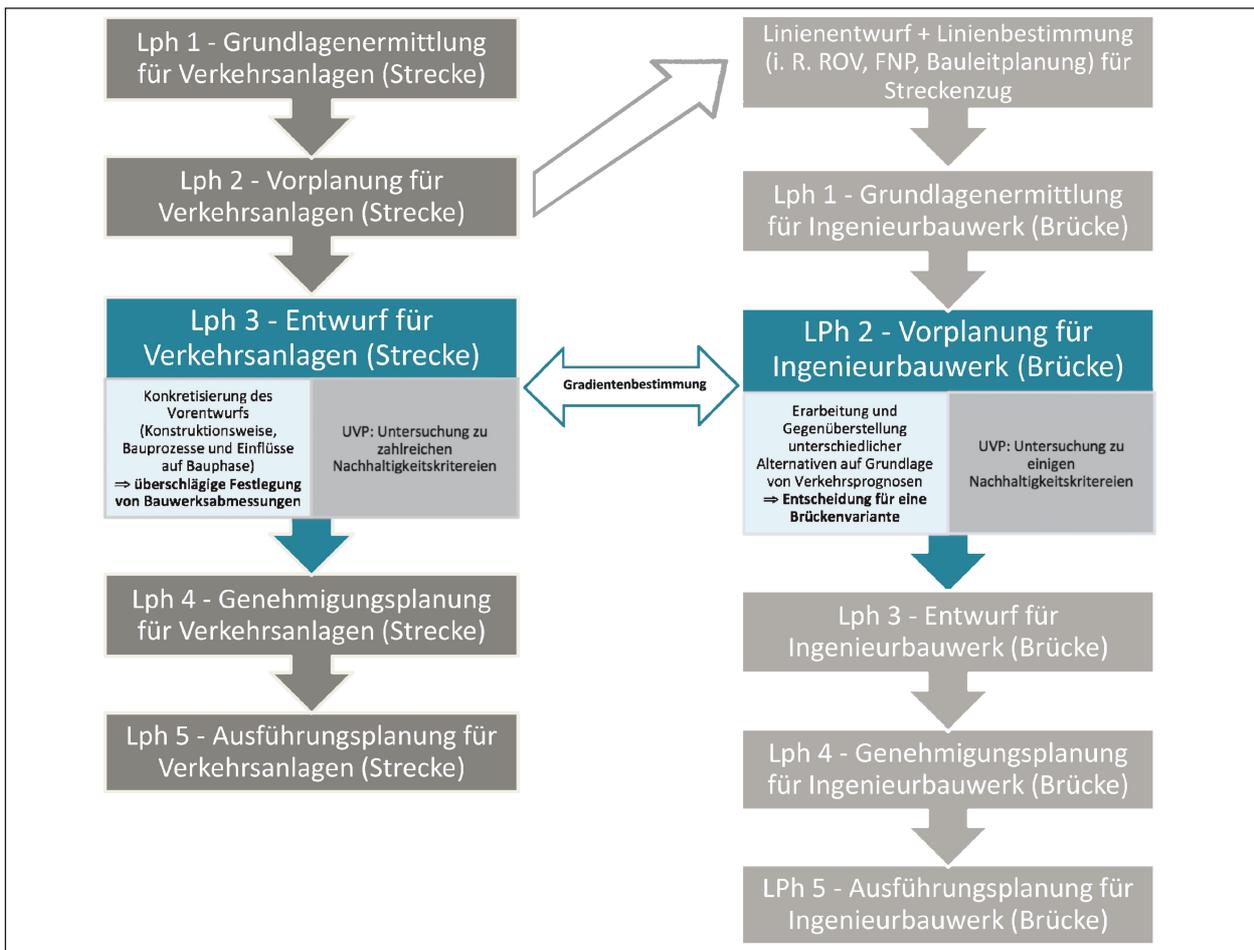


Bild 1: Planungsphasen Verkehrsanlage

erlauben es, auch bei noch lückenhaften oder ungenauen Daten, die Wirkung von Entscheidungen auf die Nachhaltigkeit der geplanten Straßenbrücke abzuschätzen.

Da die Belange der Prozessqualität in der frühen Planungsphase an anderer Stelle im Gesamtsystem behandelt werden sollen (Modul „Ausschreibung und Vergabe“), findet im Pre-Check-System keines der Kriterien der Hauptkriteriengruppe 5 Berücksichtigung. Darüber hinaus kommen alle Kriterien, die für die Bewertung eines fertiggestellten Brückenbauwerks herangezogen werden, auch in der Pre-Check-Bewertung zur Anwendung. Tabelle 3 zeigt eine Übersicht der für die Pre-Check-Bewertung und für die Bewertung des fertiggestellten Bauwerks zu berücksichtigten Kriterien

Da die Hauptkriteriengruppe 5, die im System für fertiggestellte Bauwerke mit 10 % in die Gesamtbewertung eingeht, im Pre-Check-System nicht bewertet wird, ergibt sich für die vier verbleibenden Hauptkriteriengruppen im Pre-Check eine Gewichtung von jeweils 25 %.

Gegenüber dem System für fertiggestellte Bauwerke hat sich die relative Gewichtung der ersten vier Hauptkriteriengruppen untereinander somit nicht verändert. Beim Vergleich des Ergebnisses der Pre-Check-Bewertung als Prognose mit dem Ergebnis der Bewertung des fertiggestellten Bauwerkes als tatsächlich erreichtem Wert, muss der nominelle Gewichtsunterschied sowie das einseitige Fehlen der Hauptkriteriengruppe 5 beachtet werden. Um ein einheitliches Vergleichsniveau zu erreichen dürfen auf der Seite des fertigen Bauwerks nur die Hauptkriteriengruppen 1 bis 4 in den Vergleich einbezogen werden, während auf der Seite der Pre-Check-Bewertung alle Einzelergebnisse mit dem Faktor 0,9 zu multiplizieren sind. Die Prozessqualität muss beim Vergleich der Prognose mit dem tatsächlich erreichten Ergebnis unberücksichtigt bleiben.

Hauptkriterien- gruppe	Pre-Check				fertiggestelltes Bauwerk			
	Gewichtung	Nr.	Kriterium	Be- deutungs- faktor	Gewichtung	Nr.	Kriterium	Be- deutungs- faktor
Ökologische Qualität	25%	1.1	Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	3	22,5%	1.1	Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	3
		1.2	Abbaupotential der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	1		1.2	Abbaupotential der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	1
		1.3	Bildungspotential für troposphärisches Ozon (POCP)	1		1.3	Bildungspotential für troposphärisches Ozon (POCP)	1
		1.4	Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP)	1		1.4	Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP)	1
		1.5	Eutrophierungspotenzial (EP)	1		1.5	Eutrophierungspotenzial (EP)	1
		1.6	Risiken für die lokale Umwelt/ lokale Umweltverträglichkeit (Teil A - Flora und Fauna)	1		1.6	Risiken für die lokale Umwelt/ lokale Umweltverträglichkeit (Teil A - Flora und Fauna)	1
		1.7	Risiken für die lokale Umwelt/ lokale Umweltverträglichkeit (Teil B - Boden, Wasser, Luft)	1		1.7	Risiken für die lokale Umwelt/ lokale Umweltverträglichkeit (Teil B - Boden, Wasser, Luft)	1
		1.8	Umweltwirkungen infolge von baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	3		1.8	Umweltwirkungen infolge von baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	3
		1.9	→ keine Anwendung für Brückenbauwerke			1.9	→ keine Anwendung für Brückenbauwerke	
		1.10	Primärenergiebedarf	4		1.10	Primärenergiebedarf	4
		1.11	Abwasseraufkommen	1		1.11	Abwasseraufkommen	1
		1.12	Flächeninanspruchnahme	1		1.12	Flächeninanspruchnahme	1
		1.13	Abfall und Kreislaufwirtschaft	1		1.13	Abfall und Kreislaufwirtschaft	1
		1.14	Ressourcenschonung	1		1.14	Ressourcenschonung	1
Ökonomische Qualität	25%	2.1	Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus	3	22,5%	2.1	Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus	3
		2.2	Externe Kosten infolge von baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	2		2.2	Externe Kosten infolge von baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	2
		2.3	→ keine Anwendung für Brückenbauwerke			2.3	→ keine Anwendung für Brückenbauwerke	
Soziokulturelle und funktionale Qualität	25%	3.1	Schutzgut Mensch, einschließlich menschliche Gesundheit	1	22,5%	3.1	Schutzgut Mensch, einschließlich menschliche Gesundheit	1
		3.2	Schutzgut Landschaft	1		3.2	Schutzgut Landschaft	1
		3.3	Schutzgut Kulturgüter und sonstige Sachgüter	1		3.3	Schutzgut Kulturgüter und sonstige Sachgüter	1
		3.4	Komfort	1		3.4	Komfort	1
		3.5	Sicherheit gegenüber Störfallrisiken (Security)	1		3.5	Sicherheit gegenüber Störfallrisiken (Security)	1
		3.6	Verkehrssicherheit (Safety)	1		3.6	Verkehrssicherheit (Safety)	1
		3.7	→ keine Anwendung für Brückenbauwerke			3.7	→ keine Anwendung für Brückenbauwerke	
Technische Qualität	25%	4.1	Elektrische und mechanische Einrichtungen	1	22,5%	4.1	Elektrische und mechanische Einrichtungen	1
		4.2	Konstruktive Qualität	3		4.2	Konstruktive Qualität	3
		4.3	Instandhaltung und Betriebsoptimierung	2		4.3	Instandhaltung und Betriebsoptimierung	2
		4.4	Verkehrsentwicklung und -planung / Verstärkung und Erweiterbarkeit	1		4.4	Verkehrsentwicklung und -planung / Verstärkung und Erweiterbarkeit	1
		4.5	Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit, Demontagefreundlichkeit	1		4.5	Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit, Demontagefreundlichkeit	1
		4.6	→ keine Anwendung im Pre-Check			4.6	→ keine Anwendung für fertiggestellte Bauwerke	
Prozessqualität	0%	5.1	→ keine Anwendung im Pre-Check		10%	5.1	→ keine Anwendung für fertiggestellte Bauwerke	
		5.2	→ keine Anwendung im Pre-Check			5.2	→ zurückgestellt	
		5.3	→ keine Anwendung im Pre-Check			5.3	Baustelle/Bauprozess	2
		5.4	→ keine Anwendung im Pre-Check			5.4	→ keine Anwendung für fertiggestellte Bauwerke	
		5.5	→ keine Anwendung im Pre-Check			5.5	Qualitätssicherung der Bauausführung	2

Tab. 3: Übersicht der für die Pre-Check-Bewertung und für die Bewertung des fertiggestellten Bauwerks anzuwendenden Kriterien

4.2 Berücksichtigte Kriterien der Ökologischen Qualität

4.2.1 Umweltwirkungen (Kriterien 1.1 bis 1.5)

Eine ökobilanzielle Betrachtung ist immer möglich, sobald eine Sachbilanz, entsprechende Umweltindikatoren sowie eine geeignete Bezugsgröße vorliegen. Für eine Pre-Check-Bewertung kann also eine vorläufige Ökobilanz basierend auf der Datengrundlage der Vorplanung aufgestellt werden. Bezüglich der Datensätze der Ökobau.dat besteht keine Notwendigkeit zur Differenzierung hinsichtlich des Anwendungszeitpunktes, sodass für die Pre-Check-Bewertung die gleichen Datensätze Anwendung finden können, wie zur Bewertung eines fertiggestellten Bauwerks. Hinsichtlich der Wahl der Bezugsgröße muss ebenfalls nicht differenziert werden. Da zum Anwendungszeitpunkt des Pre-Check-Systems der Regelquerschnitt des Streckenzuges, zu dem die Brücke gehört, bereits bekannt ist und sich die Länge des Brückenbauwerks mit hinreichender Genauigkeit aus den Variantenentwürfen ergibt, kann als Bezugsgröße für das Pre-Check-System die gleiche Bezugsgröße wie zur Bewertung des fertiggestellten Bauwerks herangezogen werden.

Im Vergleich zur Bewertung eines fertiggestellten Bauwerks stellt hingegen die Genauigkeit der Massenbilanz im Rahmen Vorplanung eine wesentliche Unsicherheit dar. Hinsichtlich der Vorhersagegenauigkeit der Massenschätzung im Rahmen des Pre-Checks ist eine gewisse Streuung zu erwarten, wobei prinzipiell eine Überschätzung und eine Unterschätzung gleichermaßen möglich sind.

Grundsätzlich wäre es denkbar, sich zur Vereinfachung der ökobilanziellen Bewertung im Rahmen der Pre-Check Anwendung auf diejenigen Bauteilgruppen zu beschränken, die in den einzelnen Wirkungskategorien erfahrungsgemäß den Hauptanteil der jeweiligen Umweltwirkung verursachen. Weiter könnte auf die Faktoren zur Berücksichtigung von vernachlässigten Bauteilen, Transporten und Bauprozessen verzichtet werden, da es sich bei der Pre-Check-Bewertung ohnehin um eine mit Unsicherheiten behaftete Vorabschätzung handelt.

Ein Vergleich der Pre-Check-Bewertung mit einer späteren Bewertung des fertiggestellten Bauwerks würde hierdurch allerdings erschwert. Insofern wird empfohlen, bei der Pre-Check-Bewertung alle Bauteilgruppen zu bilanzieren, die auch bei der Bewertung eines fertiggestellten Bauwerks bilanziert

werden und die Faktoren zur Berücksichtigung von vernachlässigten Bauteilen, Transporten und Bauprozessen wie im Bewertungssystem für das fertiggestellte Bauwerk anzuwenden. Nur so lässt sich auf einfache und nachvollziehbare Weise die Vergleichbarkeit der prognostizierten Ökobilanzwerte (Pre-Check) mit den Ökobilanzwerten des tatsächlich realisierten Bauwerks sicherstellen.

Ein Beeinflussungspotenzial besteht bei den in den Kriterien 1.1 bis 1.5 behandelten Umweltwirkungen hinsichtlich der Art und Menge der eingesetzten Stoffmassen für die unterschiedlichen Entwurfsvarianten. Hierauf haben beispielsweise die Wahl des Hauptbaustoffs, die Wahl der Konstruktionsweise aber auch die Qualität des Entwurfs (materialeffizienter Einsatz der Baustoffe, optimierte Ausnutzung der Querschnitte etc.) einen Einfluss. Da unterschiedliche Optimierungsansätze auf einzelne Teilbereiche aber auch gegenläufige Auswirkungen haben können, kann das Potenzial einzelner Optimierungsansätze nicht ohne weiteres bestimmt werden. Erst in der Gesamtbewertung der Variante zeigt sich deren Einfluss auf das Ergebnis. Das größte Lenkungspotenzial besteht durch die Auswahl der Variante mit den besten Ökobilanzwerten. Das Potenzial zur weiteren Optimierung der Ökobilanzwerte im Zuge der weiteren Planung wird als wesentlich geringer eingeschätzt.

Da neben der Unterstützung bei der Variantenauswahl auch der Vergleich der Pre-Check-Bewertung mit der Bewertung des fertiggestellten Bauwerks angestrebt wird, ist die Bewertung durch den Vergleich mit Referenzwerten immer durchzuführen, auch wenn der direkte Variantenvergleich bereits eine eindeutige Bewertung hinsichtlich der Wahl der Vorzugsvariante zulässt. Bezüglich des Vorgehens und der Bewertungsmethodik können alle in den Kriterien 1.1 bis 1.5 behandelten Umweltwirkungen in gleicher Weise behandelt werden. Als Referenzwerte für die Bewertung sind jeweils dieselben Referenzwerte anzusetzen wie im Bewertungssystem für das fertiggestellte Bauwerk.

Sollte sich im Zuge der Praxisanwendung herausstellen, dass die Streuung der Schätzungen auf Datengrundlage der Vorplanung so groß sind, dass die Ergebnisse häufig außerhalb des signifikanten durch Grenz- und Zielwert begrenzten Wertebereichs liegen, sind die Faktoren zur Berechnung von Grenz- und Zielwert anzupassen um den bewertbaren Bereich zu vergrößern. Sollte sich herausstellen, dass in der Vorplanung die prog-

nostizierten Stoffmassen systematisch in hohem Maße unterschätzt werden, so ist ein Faktor zur Berücksichtigung dieser Unterschätzung einzuführen. Die Referenzwerte sollten aufgrund der angestrebten Vergleichbarkeit der Ergebnisse nicht gegenüber denen des Bewertungssystems für das fertige Bauwerk verändert werden. Halten sich die Abweichungen jedoch in vertretbaren Grenzen, so kann auf einen Korrekturfaktor verzichtet werden. Der Quotient aus der im Pre-Check prognostizierten Umweltwirkung und der bei der Bewertung des fertigen Bauwerks ermittelten Umweltwirkung kann dann als Indikator für nachträgliche Bewertung der Qualität der Vorplanung bzw. der Genauigkeit Schätzung im Rahmen der Vorplanung herangezogen werden.

4.2.2 Risiken für die lokale Umwelt/ lokale Umweltverträglichkeit (Kriterium 1.6 und 1.7)

Die Zielsetzung beider Kriterien besteht darin, Risiken und schädigende Einflüsse durch Eingriffe und Veränderungen auf die lokale Umwelt zu vermeiden bzw. zu minimieren. Die Relevanz der Straßeninfrastruktur für dieses Thema liegt in der Umwelterheblichkeit größerer Bauvorhaben begründet. Betrachtet werden im Kriterium 1.6 die Schutzgüter der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP), Tiere, Pflanzen und biologische Vielfalt sowie im Kriterium 1.7 Boden, Wasser, Luft und Kleinklima.

Die Bewertung erfolgt anhand von Teilkriterien, die in der subsystemspezifischen Anlage zum Steckbrief vorgegeben sind. Die Qualität des Bauwerks hinsichtlich dieser Teilkriterien ist darzustellen und anschließend der erreichten Punktzahl zuzuordnen. Die Antworten ergeben sich aus dem Erläuterungsbericht der UVP. Gemäß dem Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG) ist die UVP ein gestuftes Vorgehen zur Beurteilung der Umweltwirkungen auf Mensch, Tier, Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima, Landschaft, Kulturgüter und sonstige Sachgüter von konkreten Projekten. Die erste Stufe findet jedoch schon im Raumordnungsverfahren (ROV) statt. Im Rahmen dessen wird nach konfliktarmen Räumen und Korridoren gesucht. Nach Abschluss des ROV steht die Linienführung des gesamten Streckenzuges fest, unabhängig von Detailbetrachtungen einzelner Bauwerke. Ein weiteres Instrument ist die Strategische Umweltprüfung (SUP), aus der ebenfalls Ergebnisse zur Bewertung von Teilkriterien herangezogen werden können.

Beide Prozesse laufen dem Beginn der Planung von Ingenieurbauwerken zeitlich vor, wägen aber bereits die grundlegenden, wichtigen Umweltbelange ab. Eine große Hebelwirkung bei der Bewertung beider Kriterien besteht also schon im Vorfeld der eigentlichen Bauwerksplanung. Zum festgelegten Pre-Check-Zeitpunkt können durch den Vergleich konkreter Varianten zur Festlegung der Vorzugsvariante Punkte vergeben werden, die jedoch eine erheblich geringere Steuerungskraft aufweisen als die restlichen Teilkriterien der Hauptkriterienengruppe 1.

4.2.3 Umweltwirkungen infolge von baubedingten Verkehrsbeeinträchtigungen (Kriterium 1.8)

Baumaßnahmen im Rahmen von Neubau, Erhaltung oder Rückbau von Infrastrukturbauwerken sollten derart gestaltet werden, dass Verkehrsbeeinträchtigungen, die zu erhöhtem Kraftstoffverbrauch und infolgedessen zu Mehremissionen führen, minimiert werden. Wird das Bauwerk bereits in der Planung optimiert, so können die Verkehrsbeeinträchtigungen über den Lebenszyklus erheblich reduziert werden.

Die Häufigkeit von baubedingten Verkehrsbeeinträchtigungen wird durch die tatsächliche Inanspruchnahme eines Bauwerks (Lastfälle) und die theoretischen, d. h. planmäßigen Nutzungszeiten (Zeiten der Lastaufnahme) der Anlagenteile einer Verkehrsanlage bestimmt.

Die Nutzungszeiten ihrerseits sind grundsätzlich abhängig von der bestimmungsgemäßen Beschaffenheit (Qualität) der verwendeten Baustoffe und Baustoffgemische, der Bauteile und der daraus gebildeten Konstruktionen.

Die Dauer von Verkehrsbeeinträchtigungen wird bedingt durch die Wahl der Bauverfahren in Verbindung mit den möglichen und/oder zulässigen Verkehrsführungen während der Bauzeit und den zu bewältigenden Verkehrsbelastungen.

Bereits bei der Planung eines Bauwerks können die notwendigen Erhaltungsmaßnahmen und damit die Umweltwirkungen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung maßgeblich beeinflusst werden.

Grundsätzlich ist die konkrete Bauablaufplanung für den Neubau und die Erhaltung/Unterhaltung von Bauwerken Gegenstand nachgelagerter Planungsschritte oder -überlegungen. Gleichwohl sollten

jedoch Betrachtungen zu den Verfahren planmäßiger Bauwerkssanierungen und den damit zwingend verbundenen baubedingten Verkehrsbeeinträchtigungen angestellt werden, um auch zu diesem frühen Zeitpunkt ein Potenzial im Sinne der nachhaltigen Bauwerksentwicklung ansprechen zu können.

4.2.4 Primärenergiebedarf (Kriterium 1.10)

Für die ökobilanzielle Prognose und Bewertung des Primärenergiebedarfs gelten die gleichen Randbedingungen wie für die in den Kriterien 1.1 bis 1.5 behandelten Umweltwirkungen. Das in Kapitel 4.2.1 beschriebene Vorgehen im Rahmen der Pre-Check-Bewertung ist daher sinngemäß auch auf Kriterium 1.10 anzuwenden.

4.2.5 Abwasseraufkommen (Kriterium 1.11)

Wasser, das durch den Kontakt mit den Infrastrukturbauwerken, insbesondere mit den Verkehrsflächen, verunreinigt wurde, muss fachgerecht abgeleitet und als Abwasser entsprechend behandelt werden. Aus Sicht der Nachhaltigkeit besteht das Ziel darin, mit möglichst geringen Aufwand (geringe Kosten, geringer Wartungsaufwand) die negative Beeinträchtigung der Umwelt bestmöglich zu minimieren.

Anders als im Hochbau, wo sich Wasserbedarf und Abwasseraufkommen eines Gebäudes hauptsächlich durch die Nutzung ergeben (Gebäudereinigung, Sanitäreanlagen, Trinkwasserkonsum etc.), besteht für Straßeninfrastrukturbauwerke faktisch kein Wasserbedarf während der Nutzungsphase. Das Abwasseraufkommen von Infrastrukturbauwerken ergibt sich aus der Notwendigkeit, natürlich anfallende Wassermengen abzuleiten. Bei Straßen und Brückenbauwerken handelt es sich dabei hauptsächlich um Niederschlagswasser. Bei Tunnelbauwerken kann die Notwendigkeit bestehen, Bergwasser abzuleiten. Die fachgerechte Ableitung des Abwassers muss im Rahmen dieses Kriteriums beurteilt werden. Dabei sollen mögliche Varianten der Entwässerungseinrichtungen geprüft und im Hinblick auf Nachhaltigkeit, d. h. Vermeidung negativer Beeinträchtigungen der Umwelt, bewertet werden. Der Wasserbedarf und das Abwasseraufkommen während der Bauwerkserstellung werden in diesem Kriterium nicht behandelt. Die Kosten für Bau, Betrieb und Unterhaltung der Abwasserab- und -behandlung sind in der Hauptkriterien-

gruppe 2 bei der Ermittlung der Lebenszykluskosten zu berücksichtigen. Der zusätzlichen Flächeninanspruchnahme durch die Planung und den Bau der Entwässerungseinrichtung wird im gleichnamigen Kriterium 1.12 Rechnung getragen.

Da die Entwässerung erst in der Ausführungsplanung detailliert betrachtet und festgelegt wird, entfaltet die Bewertung dieses Kriteriums zum Pre-Check-Zeitpunkt noch nicht ihre volle Wirkung. Es können jedoch bereits Aussagen zur befestigten Fläche (Berechnung entsprechend Bezugsgröße) und zur Wahl der Gradienten getroffen werden. Die geplante Entwässerungseinrichtung ist zu diesem Zeitpunkt zwar noch eine reine Absichtserklärung, kann aber im Zusammenhang mit der Gradientenwahl schon wegweisend für die Abwägung im Rahmen der Ausführungsplanung sein.

4.2.6 Flächeninanspruchnahme (Kriterium 1.12)

Die anhaltend hohe Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke (ca. 69 ha pro Tag im Jahr 2012) stellt ein großes Defizit für eine nachhaltige Entwicklung dar. Ziel der Bundesregierung ist es deshalb, die Inanspruchnahme neuer Flächen bis zum Jahr 2020 auf 30 ha pro Tag zu begrenzen. Die Straßenverkehrsfläche hat hieran einen bedeutenden Anteil (Statistisches Bundesamt, 2014). Die größte Lenkungsmöglichkeit besteht zwar vor der Linienbestimmung, das Kriterium ist aber auch für spätere Planungsphasen noch relevant.

Die Umwandlung von naturnahen Flächen beeinträchtigt zum einen die ökologischen Funktionen des Bodens und geht zum anderen mit einer Zersiedelung und Landschaftszerschneidung einher. Dies wird auch in der Umweltverträglichkeitsprüfung mit dem Schutzgut „Landschaft“ angesprochen. Fläche wird zum einen dauerhaft durch das Bauwerk und zum anderen vorübergehend während der Baumaßnahmen beansprucht. Darüber hinaus beansprucht auch die Gewinnung von Roh- und Baustoffen Flächen, welche jedoch im Rahmen dieses Kriteriums nicht berücksichtigt werden. Dem gegenüber können jedoch der Rückbau nicht mehr notwendiger Infrastrukturbauwerke oder die Reduzierung vorhandener Querschnitte einen positiven Einfluss auf die Nachhaltigkeitsbetrachtung haben.

In der Vorplanung findet die Untersuchung von Lösungsmöglichkeiten mit ihren Einflüssen auf die

bauliche und konstruktive Gestaltung und deren Zweckmäßigkeit statt. Eine erste Abschätzung der erforderlichen Flächeninanspruchnahme der Varianten ist daher möglich und kann für den Pre-Check bewertet werden. Das Kriterium kann aber erst im Zuge der Entwurfsplanung (Genehmigungsplanung) in Gänze beurteilt werden.

Generell muss zur Prüfung dieses Kriteriums die Bezugsgröße festgelegt sein.

4.2.7 Abfall und Kreislaufwirtschaft (Kriterium 1.13)

Abfall fällt während des gesamten Lebenszyklus einer Verkehrsanlage im Allgemeinen und hier eines Bauwerks im Besonderen in unterschiedlicher Art und Menge an. Bei Bauarbeiten sind Baustellenabfälle und Restmaterialien zu entsorgen. Beim Straßenbetrieb fallen Grünschnitt und Kehrgut an. Beim Rückbau von Bauteilen oder Bauwerken entstehen große Mengen an Bauschutt. Abfallvermeidung und ein hochwertiges Recycling können durch gezieltes Management, sortenreine Trennbarkeit von Konstruktionen etc. gefördert werden. Die notwendige Beseitigung von Abfall muss umweltverträglich erfolgen.

Die Zielsetzung des Kriteriums ist die Vermeidung von Abfall und die umweltverträgliche Verwertung und Beseitigung von Abfällen. Die Verwertung und Wiederverwendung von Abfällen (Kreislaufwirtschaft) ist anzustreben, da ein Recycling gleichzeitig zur Ressourcenschonung beiträgt. Durch die Wahl geeigneter Baustoffe wird das Recycling beim Rückbau erleichtert.

Für das Subsystem Brücke wird das Kriterium Abfall und Kreislaufwirtschaft nur über eine Betrachtung der Abfallmengen bewertet, die aus der Erzeugung und Entsorgung der verwendeten Baustoffe entstanden sind bzw. voraussichtlich entstehen werden. Mittels der Datengrundlage für die Kriterien 1.1 bis 1.5 kann auch für dieses Kriterium zum Zeitpunkt des Pre-Checks bereits eine überschlägige Abschätzung der Abfallmengen erfolgen und somit bewertet werden.

4.2.8 Ressourcenschonung (Kriterium 1.14)

Eine Verringerung des Bedarfs von Ressourcen kann durch „sparsame“ Konstruktionen, den Einsatz von Recyclingbaustoffen sowie in begrenztem Maße durch Substitution mit nachwachsenden

Rohstoffen etc. erreicht werden. Der Bedarf stofflicher Ressourcen zur Energiegewinnung wird im Kriterium „Primärenergiebedarf“ behandelt und ist daher nicht Gegenstand dieses Kriteriums.

Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung ist der Ressourcenbedarf insgesamt zu minimieren. Im Infrastrukturbereich werden große Mengen mineralischer Stoffe (Splitt, Schotter, Sand, Kies, Zement etc.) eingesetzt, wobei der Bedarf an neuen Materialien durch den anteiligen Einsatz von rezykliertem Material reduziert werden kann. Unter den nichtmineralischen Ressourcen ist insbesondere Bitumen für die Fahrbahndecke relevant. Erneuerbare Ressourcen spielen im Straßeninfrastrukturbereich derzeit kaum eine Rolle.

Ähnlich wie beim Kriterium Flächeninanspruchnahme (1.12) können zumindest hinsichtlich des Bewertungsmerkmals „sparsame Konstruktion“ zum Zeitpunkt der Vorplanung bei der Variantenprüfung Aussagen getroffen werden. Die Hebelwirkung dieses Kriteriums ist durch das Fehlen der anderen Bewertungsmerkmale beim Pre-Check dennoch nicht sehr hoch.

4.3 Berücksichtigte Kriterien der Ökonomischen Qualität

4.3.1 Lebenszykluskosten (Kriterium 2.1)

Grundsätzlich ist das Vorgehen zur Pre-Check-Bewertung der Lebenszykluskosten ähnlich wie bei den Kriterien 1.1 bis 1.5 und 1.10 der Hauptkriterien-Gruppe Ökologische Qualität.

Die Bewertung erfolgt nach der gleichen Methodik wie die Bewertung des fertiggestellten Bauwerks, jedoch auf Grundlage der zum Zeitpunkt der Pre-Check-Bewertung vorliegenden Prognosen.

Eine Abschätzung der Herstellkosten kann hier aus der Kostenschätzung der Vorentwürfe abgeleitet werden. Die Erhaltungskosten können daraufhin mit der gleichen Vorgehensweise und unter Zugrundelegung der gleichen Ansätze wie bei der Bewertung der fertiggestellten Bauwerke ermittelt werden.

Die Rückbaukosten sollen ebenfalls abgeschätzt werden. Eine verlässliche Abschätzung der Rückbaukosten setzt voraus, dass im Zuge des Vorentwurfs der unterschiedlichen Varianten das Rückbaukonzept in der gleichen Tiefe ausgearbeitet ist

wie die Herstellung des Bauwerks selbst. Da davon nicht immer ausgegangen werden kann, ist bei der Schätzung der Rückbaukosten mit einer gewissen Ungenauigkeit zu rechnen. Insgesamt gesehen stellen die Rückbaukosten im Vergleich zu den Herstellkosten und Erhaltungskosten jedoch den kleinsten Anteil am Barwert der Lebenszykluskosten dar, sodass diese Unsicherheit im Rahmen der Pre-Check-Bewertung hinnehmbar erscheint.

Als Eingangsdaten für die Bewertung der Lebenszykluskosten müssen also eine Kostenschätzung der Herstellkosten sowie alle Angaben, die zur Ermittlung der Erhaltungskosten notwendig sind, vorliegen. Dazu gehören hauptsächlich Angaben zur Größe des Bauwerks (Brückenfläche), zu seiner Bauart (konventionell oder integral), ggf. zu Art und Anzahl von Lagern und Übergangskonstruktionen sowie zur Wahl der Hauptbaustoffe (Beton oder Stahl).

Sofern eindeutig, kann die Bewertung bzw. die Auswahl einer Vorzugsvariante durch den direkten Vergleich der Absolutwerte der Lebenszykluskosten erfolgen. Für den allgemeinen Fall, bei dem der direkte Vergleich über alle Kriterien gesehen kein eindeutiges Ergebnis liefert, erfolgt die Bewertung wie bei den Umweltwirkungen durch den Vergleich der für die jeweilige Variante prognostizierten Lebenszykluskosten mit einem Referenzwert. Als Referenzwerte für die Pre-Check-Bewertung sind die gleichen Referenzwerte wie zur Bewertung der fertiggestellten Brückenbauwerke zu verwenden.

Hinsichtlich einer evtl. notwendigen Vergrößerung des signifikanten Bewertungsfensters durch Anpassung der Faktoren zur Ermittlung von Grenz- und Zielwert sowie zur möglichen Einführung eines Korrekturfaktors zur Berücksichtigung einer systematischen Unterschätzung gelten die in Kapitel 4.2.1 für die Kriterien 1.1 bis 1.5 beschriebenen Ausführungen gleichermaßen.

4.3.2 Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigungen (Kriterium 2.2)

Staus und Zeitverzögerungen im Straßenverkehr sind für die Nutzer nicht nur ärgerlich, sie verursachen auch hohe volkswirtschaftliche Kosten.

Relevant für die Bewertung von Infrastrukturbawerken sind hier vor allem Verkehrsbeein-

trächtigungen an Baustellen, da diese bereits in der Planungsphase minimiert werden können.

Die Zeitkosten, die durch Verkehrsbeeinträchtigungen entstehen, sind sogenannte externe Kosten, da sie nicht beim Bauherren oder Betreiber des Infrastrukturbawerks sondern bei den Nutzern anfallen. Bisher werden diese externen Kosten nur indirekt berücksichtigt. Bei der Abwicklung von Erhaltungsmaßnahmen wird z. B. versucht, Staus durch die Wahl einer günstigen Verkehrsführung oder einen beschleunigten Bauablauf zu minimieren. Bereits bei der Planung eines Bauwerks können die notwendigen Erhaltungsmaßnahmen und damit die externen Kosten maßgeblich beeinflusst werden.

Da dieses Kriterium inhaltlich direkt mit dem Kriterium 1.8 korrespondiert, kann zum Pre-Checkzeitpunkt auf Grundlage der dort erfolgten Überlegungen und Variantenabwägungen auch eine Kostenanalyse erfolgen. Wenngleich die Berechnungen überschlägig sind, können dennoch Aussagen über die Wertigkeit der verschiedenen Erhaltungsmaßnahmen und den damit zwingend verbundenen baubedingten Verkehrsbeeinträchtigungen getroffen werden und zur Ermittlung einer Vorzugsvariante führen.

4.4 Berücksichtigte Kriterien der Soziokulturell-funktionalen Qualität

4.4.1 Schutzgut Mensch, einschließlich menschlicher Gesundheit (Kriterium 3.1)

Die Zielsetzung des Kriteriums besteht darin, schädigende Einflüsse und Risiken für den Menschen zu vermeiden bzw. zu minimieren und eine hohe Lebensqualität für die Bevölkerung zu erreichen. Vor allem der Verkehrslärm wird von den betroffenen Anwohnern als besonders störend empfunden und kann in vielfältiger Weise deren Lebensbedingungen beeinträchtigen. Lärmbelastigungen werden vor allem durch die Störung der Kommunikation, der Erholung und Entspannung, einschließlich des Nachtschlafes, hervorgerufen. Lärm beeinträchtigt das Wohlbefinden und kann darüber hinaus bei dauerhaft hoher Belastung zu einem Stressfaktor und Risiko für die Gesundheit werden.

Bei der Bauwerksplanung kann den Geräuschemissionen des Verkehrs durch Schallschutzmaßnahmen entgegengewirkt werden. Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens werden zwar die zu er-

füllenden Lärmschutzmaßnahmen vorgeschrieben, im Sinne des nachhaltigen Bauens soll jedoch ein Anreiz geschaffen werden, diesen Mindeststandard zu übertreffen. Betrachtet werden auch weitere Aspekte zum Schutzgut „Mensch“ aus der Umweltverträglichkeitsprüfung. Weitere Schutzgüter werden an anderer Stelle behandelt. Zur Bewertung wird der Erläuterungsbericht der UVP herangezogen. Ebenso wie bei den Kriterien 1.6 und 1.7 entfaltet dieses Kriterium jedoch bereits bei der Festlegung der Linienführung seine größte Hebelwirkung und kann zum Zeitpunkt des Pre-Checks lediglich zur Feinjustierung nachgezogen werden.

4.4.2 Schutzgut Landschaft (Kriterium 3.2)

Bauwerke der Straßeninfrastruktur haben allein aufgrund ihrer Größe eine Auswirkung auf die Landschaft, in der sie sich befinden. Die Zielsetzung des Kriteriums besteht darin, negative Auswirkungen auf die Landschaft zu vermeiden bzw. zu minimieren. Betrachtet wird hier das Schutzgut „Landschaft“ aus der Umweltverträglichkeitsprüfung. Weitere Schutzgüter werden an anderer Stelle behandelt.

Die Straßeninfrastruktur kann mit prägnanten Einzelbauwerken eine Landschaft gestalten oder sich unauffällig in die Umgebung einfügen. Wesentliche Entscheidungen werden vor der Linienbestimmung getroffen, doch auch im Rahmen der Planung der Einzelbauwerke bestehen noch Einflussmöglichkeiten. Vorgaben zur Gestaltung seitens des Auftraggebers beeinflussen ebenfalls die Variantenfindung maßgeblich. Auch bei diesem Kriterium, werden zur Beantwortung der Checkliste die Ergebnisse der UVP verwendet. Somit gelten dieselben Hinweise zur Pre-Check-Bewertung wie bei den Kriterien 1.6, 1.7 und 3.1.

4.4.3 Schutzgut Kulturgüter und sonstige Sachgüter (Kriterium 3.3)

Die Zielsetzung des Kriteriums besteht darin, negative Auswirkungen auf Kulturgüter und sonstige Sachgüter zu vermeiden bzw. zu minimieren. Betrachtet werden hier Kulturgüter und sonstige Sachgüter aus der Umweltverträglichkeitsprüfung. Weitere Schutzgüter werden an anderer Stelle behandelt. Wesentliche Entscheidungen werden vor der Linienbestimmung getroffen, doch auch im Rahmen der Planung der Einzelbauwerke bestehen noch Einflussmöglichkeiten. Die Pre-Check-Bewertung erfolgt gemäß den Kriterien 1.6, 1.7, 3.1 und 3.2.

4.4.4 Komfort (Kriterium 3.4)

Ziel ist es, Bauwerke so zu planen, dass sie den Anforderungen an den Komfort bestmöglich genügen. Der Komfort stellt eine Anforderung an die Funktionalität der Straßeninfrastruktur dar, der aus Sicht der Nutzer sehr bedeutend ist, da er direkt wahrgenommen wird. Der Komfort beschreibt die Funktionserfüllung des Infrastrukturbauwerks aus Sicht des individuellen Nutzers. Diese wiederum stellen bewusst und unbewusst Anforderungen an das Bauwerk, die sich je nach Nutzer und Bauwerksart unterscheiden. Ein gut geplantes Bauwerk trägt zum Wohlbefinden der Nutzer bei. Häufig wirken sich Aspekte des Kriteriums Komfort, wie z. B. Übersichtlichkeit und Fahrbahneigenschaften, wie Ebenheit, Griffigkeit, optische Führung auch bei Dunkelheit etc. auch positiv auf die Sicherheit des Verkehrsablaufs (vgl. Kriterium 3.6) aus. Die Trassenführung liegt dabei außerhalb der Bewertung.

Die meisten Bewertungsaspekte können zum Zeitpunkt der Vorplanung noch nicht beurteilt werden. Lediglich die Übersichtlichkeit und der Fahrkomfort sind daher für den Pre-Check relevant.

4.4.5 Sicherheit gegen Störfallrisiken (Kriterium 3.5)

Aus dem Kriteriensteckbrief für das fertiggestellte Bauwerk könnten grundsätzlich alle Fragen, die sich mit Risiken durch äußere Gefahren befassen (Frage 1 bis Frage 4) auch bei der Pre-Check-Bewertung abgefragt werden. Zu Frage 1 und Frage 4 (Gefahr durch Niederschläge und sonstige Gefahren) liegen aber ggf. keine genauen Daten vor. Bei diesen beiden Fragen spielen die örtlichen Randbedingungen zudem eine dominante Rolle, sodass sich für die Bewertung verschiedener Brückenvarianten an einem vorgegebenen Standort im Rahmen der Pre-Check-Bewertung keine signifikante Bewertungsunterscheidung erwarten lässt. Die Pre-Check-Bewertung ist zu einem Zeitpunkt vorgesehen, zu dem der Standort der Brücke schon feststeht, es besteht diesbezüglich also kein Lenkungspotenzial. Folglich verbleiben aus der Gruppe der Fragen zu potenziellen Risiken durch äußere Gefahren nur die Fragen 2 und 3 (Eisglätte und Seitenwindgefahr). Hier besteht ein Lenkungspotenzial dahingehend, dass unterschiedliche bauliche und betriebliche Maßnahmen zur Gefahrenabwehr geplant werden können. Insofern ist für diese Fragen eine unterscheidende Bewertung der verschiedenen Varianten möglich.

Die letzte Frage des Kriteriensteckbriefs zur Bewertung des fertiggestellten Bauwerks bezüglich des Störfallmanagements kann unverändert in das Pre-Check-System übernommen werden.

4.4.6 Verkehrssicherheit (Kriterium 3.6)

Bei der Bewertung des fertiggestellten Bauwerks ist dieses Kriterium anhand eines Erläuterungsberichts zu bewerten. Es werden jedoch fünf Stichpunkte zur Orientierung genannt. Für das Pre-Check-System sollten daraus einfache Entscheidungsfragen (ja/nein-Fragen) abgeleitet werden. Mit einer derart vereinfachten Abfragung lassen sich zwar nicht alle Belange der Verkehrssicherheit in ausreichender Tiefe berücksichtigen, im Rahmen der Pre-Check Anwendung ist diese Ungenauigkeit jedoch vertretbar.

Zu den Aspekten „Anprall an Brückenpfeiler, Pylone und sonstige Bauwerksteile“, „Verkehrsleit- und -warnsysteme“ sowie „Sichtfelder“ lassen sich für die Pre-Check-Bewertung geeignete Fragen ableiten, die einfach zu beantworten sind, zu denen die bewertungsrelevanten Information vorliegen und die ein gewisses Lenkungspotenzial aufweisen. Zudem lassen diese für einen Variantenvergleich an einem festgelegten Standort signifikante Unterschiede in der Bewertung erwarten.

Zu den Aspekten „Trennung der Richtungsfahrbahnen“ und „Absturzsicherung“ sind keine Fragen im Pre-Check-System vorgesehen, da hier die Erfordernisse weitestgehend aus der Strecke bzw. aus den örtlichen Randbedingungen sowie den geltenden Sicherheitsstandards bestimmt werden. Somit sind weder Lenkungspotenzial noch signifikante Bewertungsunterschiede bei einem Variantenvergleich zu erwarten.

4.5 Berücksichtigte Kriterien der Technischen Qualität

4.5.1 Elektrische und mechanische Einrichtungen (Kriterium 4.1)

Alle Fragestellungen, die zur Bewertung des fertiggestellten Bauwerks angewendet werden, sind auch für eine Pre-Check-Bewertung relevant. Bei der Bewertung des fertigen Bauwerks beziehen sich die Fragen auf die tatsächlich eingebauten Komponenten. Im Pre-Check-System können die Fragen entsprechend nur auf die geplanten Kom-

ponenten bezogen werden. Für die Bewertung muss aus der Vorentwurfsplanung eine Absichtserklärung zur Wahl konkreter Komponenten hervorgehen, mittels derer sich die Fragen beantworten lassen. Die Formulierung der Fragen kann weitestgehend unverändert übernommen werden. Die Fragen müssen lediglich dahingehend angepasst werden, dass sie sich auf einen noch nicht umgesetzten Planungsstand beziehen.

Im Bereich dieses Kriteriums wird einerseits ein großes Lenkungspotenzial erwartet, da sich die Wahl unterschiedlicher Komponentenqualitäten unmittelbar auf das Bewertungsergebnis niederschlägt. Andererseits besteht hier eine gewisse Manipulationsgefahr, wenn die in der Planung zugrunde gelegten Annahmen und Absichtserklärungen hinsichtlich der Qualitätsstandards bei der späteren Bauausführung nicht umgesetzt werden. Insofern spielt hier der Vergleich der Pre-Check-Bewertung mit der Bewertung des fertiggestellten Bauwerks eine besonders wichtige Rolle.

4.5.2 Konstruktive Qualität (Kriterium 4.2)

Von den Checklistenfragen des Kriterienblocks A können die Fragen zu „Geometrie und Anordnung der Bauteile“, „Formgebung“ und „Statischem System“ weitestgehend unverändert für die Pre-Check-Bewertung zur Anwendung kommen. Da die tatsächliche Ausnutzung der Querschnitte noch nicht beurteilt werden kann, muss die Frage nach der Ausnutzung der Querschnitte (Frage 3) dahingehend umformuliert werden, dass das Hauptaugenmerk auf die Orientierung am Kraftfluss und auf die Flexibilität der Querschnitte des Vorentwurfs zur Anpassung an die letztendlichen Lasten gelenkt wird. Die Frage nach der Abstimmung des Bauwerks auf den Untergrund kann entfallen, da voraussichtlich zum Zeitpunkt der Pre-Check-Bewertung die Informationen noch nicht in ausreichender Detaillierungstiefe vorliegen.

Die Fragen des Kriterienblocks B können für die Pre-Check Anwendung übernommen werden, sie sind lediglich hinsichtlich der Abfragung einer Absichtserklärung umzuformulieren. Bei der Frage nach dem Widerstand der Baustoffe ist jedoch eine geplante Nichterfüllung der normativen Anforderungen als Antwortmöglichkeit nicht zuzulassen.

Die Fragen aus Kriterienblock C nach der Note der ersten Hauptuntersuchung und der Schadensdokumentation können nur am fertiggestellten Bauwerk

angewendet werden. Eine Umformulierung hinsichtlich einer Absichtserklärung ist hier nicht zielführend. Diese Fragen entfallen im Pre-Check-System.

Stattdessen werden für das Pre-Check-System folgende Fragestellungen aufgegriffen, die im ursprünglichen Systementwurf (Stand 2010) vorgesehen waren, im Zuge der Überarbeitung für die Bewertung des fertiggestellten Bauwerks aber nicht übernommen wurden:

- **Komplexität des Bauverfahrens:** Hier ist eine einfache Abschätzung leicht möglich. Ein komplexes Bauvorhaben ist an sich nicht negativ zu bewerten, es birgt aber erfahrungsgemäß einige Risiken (längere Bauzeit, höhere Kosten, gesteigerter Materialverbrauch etc.). Je komplexer das Bauverfahren ist, desto größer ist das Risiko solcher Unwägbarkeiten und dementsprechend schlechter ist das Bauwerk im Pre-Check zu bewerten. Für die Bewertung des fertigen Bauwerks spielt die Komplexität des Bauverfahrens hingegen keine Rolle mehr, da sich die Risiken, sofern sie sich negativ ausgewirkt haben, an den entsprechenden anderen Stellen in der Bewertung niederschlagen (z. B. durch gestiegene Herstellkosten).
- **Reserven der Konstruktion im Bauzustand:** Wie bei der Komplexität des Bauverfahrens spielen die Reserven im Bauzustand keine Rolle, wenn der Bauablauf planmäßig verläuft. Mit sinkenden Reserven im Bauzustand bzw. sinkenden Redundanzen steigt aber das Risiko, dass es aufgrund von unerwarteten Zwischenfällen zu Bauzeitverlängerungen, höheren Kosten oder einem gestiegenen Materialverbrauch kommt und ggf. Menschen zu Schaden kommen (soziokulturelle Komponente). In der Pre-Check-Bewertung ist daher ein Bauwerk umso besser zu bewerten, je mehr Reserven im Bauzustand nachweisbar sind.
- **Anforderungen an die Herstelltoleranzen:** Auch bei den Herstelltoleranzen besteht ein Risiko von ungeplantem Mehraufwand. Je schärfer die Anforderungen an die Herstelltoleranzen sind, umso größer ist das Risiko von Mehraufwand durch Nichteinhaltung der geforderten Genauigkeit, dementsprechend schlechter ist das Bauwerk bei der Pre-Check-Bewertung zu beurteilen.

4.5.3 Erhaltung und Betriebsoptimierung (Kriterium 4.3)

Ein Teil der Fragen des Kriteriensteckbriefs zur Bewertung des fertiggestellten Bauwerks kann für die Pre-Check Anwendung im Sinne einer Absichtserklärung nach einer leichten Adjustierung der Formulierung übernommen werden. Dies betrifft die Aspekte „Bauwerksüberwachung und -prüfung“ (Frage 1), „Unterstützung des Winterdienstes“ (Frage 3), „Anti-Graffiti-Prophylaxe“ (Frage 4) und „Wartungs- und Pflegeaufwand für zusätzliche Ausrüstungskomponenten“ (Frage 5).

Frage 2 zur Fahrstreifensperrung bei der Durchführung von Maßnahmen zur Instandsetzung und zur baulichen Unterhaltung ist relativ stark auf das individuelle Bauwerk fokussiert und hängt in hohem Maße von der tatsächlichen Ausführung ab. Gleiches gilt für die Frage nach der Bauwerksbeleuchtung (Frage 8). Da die zur Bewertung notwendige Informationstiefe zum Zeitpunkt der Pre-Check-Bewertung nicht vorausgesetzt werden kann, sollten diese Fragen nicht in das Pre-Check-System übernommen werden.

Die Fragen nach dem Hohlraumgehalt der Fahrbahn (Frage 6) und nach den Pressenansatzpunkten (Frage 7) befassen sich mit tatsächlich ausgeführten Ist-Zuständen. Da zum Zeitpunkt der Pre-Check-Bewertung die optimale Erfüllung bzw. Umsetzung der geltenden Regeln (ZTV-BEL-B, RIZ-ING) Planungsziel sein muss, ist hier eine Abfragung im Sinne einer Absichtserklärung nicht zielführend. Die Fragen finden daher im Pre-Check keine Berücksichtigung.

4.5.4 Verkehrsentwicklung/Verstärkung und Erweiterbarkeit (Kriterium 4.4)

Die Fragen nach der Berücksichtigung der zukünftiger Verkehrsentwicklung und -planung (Frage 1) und nach dem Vorliegen eines Erweiterungskonzeptes (Frage 2) können gegenüber dem Steckbrief für die Bewertung des fertiggestellten Bauwerks inhaltlich unverändert für die Pre-Check-Bewertung übernommen werden.

Da zum Zeitpunkt der Pre-Check-Bewertung noch keine endgültig ausgearbeitete statische Berechnung vorliegt, kann die Frage nach der Möglichkeit einer nachträglichen Lasterhöhung bzw. nach vorhandenen Lastreserven (Frage 3) nur im Sinne einer Absichtserklärung gestellt werden. Wie bei

den meisten Fragen, die im Pre-Check-System nur als Absichtserklärung bewertet werden, kommt hier dem Vergleich der Pre-Check-Bewertung mit der Bewertung des fertiggestellten Bauwerks eine besondere Bedeutung zu. Da ein gezieltes Verhalten von Lastreserven in der Regel mit höheren Kosten und höheren Materialverbräuchen, aus denen wiederum zusätzliche Umweltwirkungen resultieren, einhergeht, scheint es aber in jedem Fall sinnvoll, die Frage nach geplanten Lastreserven bei der Pre-Check-Bewertung zu stellen. Nur so kann bei entsprechender Planung den beschriebenen negativen Wirkungen ein positiver Aspekt entgegengesetzt und in der Bewertung berücksichtigt werden. Um eine positive Bewertung zu erreichen, muss die Einplanung der zu bewertenden Lastreserven jedoch über eine rein verbale Absichtserklärung hinaus aus den Planungsunterlagen nachvollziehbar hervorgehen.

Die Frage nach der Möglichkeit einer nachträglichen Erweiterung (Frage 4) sollte ebenfalls im Sinne einer Absichtserklärung ins Pre-Check-System übernommen werden. Hier ist jedoch eine zusätzliche Antwortmöglichkeit vorzusehen: Für den Fall, dass keine Daten in der zur Beantwortung der Frage notwendigen Detaillierungstiefe vorliegen, sollte die Frage mit 0 Punkten bewertet werden.

4.5.5 Rückbaubarkeit (Kriterium 4.5)

Die Fragen nach dem Vorliegen eines plausiblen Rückbaukonzeptes (Frage 1) sowie nach der Komplexität des Rückbauverfahrens (Frage 2) sollten im Rahmen der Pre-Check-Bewertung auch gestellt werden. Hier ist jedoch die Forderung dahingehend abzuschwächen, dass das Rückbaukonzept zum Zeitpunkt der Pre-Check-Anwendung noch nicht vollständig ausgearbeitet sein muss. Für die Pre-Check-Bewertung reicht es aus, wenn plausible und nachvollziehbare Konzeptansätze vorliegen.

Die Frage nach der Möglichkeit der sortenreinen Trennung der Bauteile bzw. Baustoffe sollte im Pre-Check-System nicht gestellt werden. Hier ist davon auszugehen, dass in den meisten Fällen die zur Beantwortung der Frage nötige Detaillierungstiefe der Informationen zum Bewertungszeitpunkt noch nicht vorliegt.

4.6 Berücksichtigte Kriterien der Prozessqualität

Die Prozessqualität findet keine Berücksichtigung im Pre-Check-System. Einerseits ist dies damit zu begründen, dass es sich bei den Aussagen zu vielen der Fragestellungen, die im überarbeiteten System jetzt hinsichtlich der Prozessqualität gestellt werden, zum Zeitpunkt des Pre-Checks nur um Absichtserklärungen handeln kann. Andererseits sollen die Fragestellungen der Prozessqualität in der Planungsphase generell an einer anderen Stelle im Gesamtsystem behandelt werden, nämlich im Modul „Ausschreibung und Vergabe“.

Die Konsequenzen, die sich aus dem Verzicht auf eine gesamte Hauptkriteriengruppe für den Vergleich der Pre-Check-Bewertung als Prognose mit der Bewertung des fertiggestellten Bauwerkes als tatsächlich erreichtem Wert ergeben, wurden bereits in Kapitel 4.1 erläutert.

4.7 Fazit Pre-Check-System

In Anlage A5 zu diesem Bericht sind die ausgearbeiteten Steckbriefe (subsystemspezifische Anlagen) für die Pre-Check-Bewertung wiedergegeben. Für die Bewertung im Pre-Check-System kommen die folgenden Kriterien zum Einsatz:

- Ökologische Qualität:
Kriterien 1.1 bis 1.8 sowie 1.10 bis 1.14,
- Ökonomische Qualität:
Kriterien 2.1 bis 2.2,
- Soziokulturelle und funktionale Qualität:
Kriterien 3.1 bis 3.6,
- Technische Qualität: Kriterien 4.1 bis 4.5.

In gewissen Bereichen entspricht die Pre-Check-Bewertung der des fertiggestellten Bauwerks, wie z. B. bei den ökobilanziellen Kriterien und dem Kriterium Lebenszykluskosten. Fragen, deren Verwendung sowohl bei der Bewertung des fertiggestellten Bauwerks als auch im Rahmen des Pre-Checks sinnvoll sind, wurden beibehalten. Bei allen anderen Kriterien unterscheiden sich die Fragen der Checklisten im Pre-Check-System in der Regel von denen des Systems für die fertiggestellten Bauwerke. Teilweise wurden Fragen des Systems für fertiggestellte Bauwerke lediglich umformuliert, sodass ein Planungsstand abgefragt wird, während

bei der Bewertung des fertiggestellten Bauwerks die tatsächliche Ausführung abgefragt wird. Für das Pre-Check-Bewertungssystem wurden jedoch auch gänzlich neue Fragen erarbeitet (z. B. in Kriterium 4.2).

Der größte Unterschied zwischen dem Pre-Check-System und dem Bewertungssystem für das fertiggestellte Bauwerk liegt in der Hauptkriteriengruppe 5 „Prozessqualität“ (vgl. Tabelle 3). Im Pre-Check-System wird die Hauptkriteriengruppe 5 nicht berücksichtigt, während für das fertiggestellte Bauwerk die Kriterien 5.3 und 5.5 behandelt werden. Hier gibt es also keine Überschneidung zwischen dem Pre-Check-System und dem System für das fertiggestellte Bauwerk. Bei fast allen anderen Kriterien kann ein direkter Vergleich der Pre-Check-Bewertung mit der Bewertung des fertiggestellten Bauwerks durchgeführt werden. Damit ist es möglich festzustellen, wie gut die Planung der Brücke bei der Ausführung umgesetzt wurde. In der Hauptkriteriengruppe 5 „Prozessqualität“ ist dieses Vorgehen so nicht möglich, da sie nur für das fertiggestellte Bauwerk bewertet wird. Bei einem Vergleich der Pre-Check-Bewertung mit der Bewertung des fertiggestellten Bauwerks dürfen auf der Seite des fertiggestellten Bauwerks folglich auch nur die Hauptkriteriengruppen 1 bis 4 herangezogen werden.

Besonders im Hinblick auf die Vergleichbarkeit der Pre-Check-Bewertung eines Bauwerks mit der späteren Bewertung des fertiggestellten Bauwerks ist eine Pilotstudie zu empfehlen. In einer Pilotstudie sollte beispielsweise auch die Frage geklärt werden, ob die Prognose der Umweltwirkungen und der Lebenszykluskosten systematisch zu gut ausfällt und ob daher an dieser Stelle für das die Referenzwerte des Pre-Check-System noch ein entsprechender Korrekturfaktor einzuführen ist.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde das aus dem Jahre 2010 stammende Bewertungssystem für Brückenbauwerke grundlegend überarbeitet. Der Anpassungsbedarf wurde dabei hauptsächlich aus den Ergebnissen der folgenden Projekte abgeleitet:

- FE 15.0522/2011/FRB Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus,

- FE 09.0162/2011/LRB Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur,
- FE 09.0164/2011/LRB Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel,
- FE 09.0179/2011/MRB Grundlagen für einen Leitfaden „Nachhaltige Straßeninfrastrukturen“ – Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit.

Des Weiteren wurde ein neuer Pre-Check-Systembaustein zur Komplettierung des Bewertungssystems für Brücken erarbeitet. Mit Abschluss des vorliegenden Projekts liegt nun ein Systempaket für die Bewertung von Brücken in verschiedenen Leistungsphasen vor. Nun kann sowohl eine Pre-Check-Bewertung in der Leistungsphase 2 durchgeführt werden, als auch ein fertiggestelltes Bauwerk am Ende der Leistungsphase 8 bewertet werden. Der wichtigste Aspekt liegt jedoch darin, dass das Nachhaltigkeitsbewertungssystem auch als Leitfaden im Rahmen der gesamten Planung und Ausführung des Bauwerks herangezogen werden kann. Vor der endgültigen Praxiseinführung des Systems müssen die Referenzwerte für die einzelnen Brückenklassen, die sowohl für die Pre-Check-Bewertung als auch für die Bewertung des fertiggestellten Bauwerks benötigt werden, festgelegt werden. Diese Erarbeitung der Referenzwerte im Rahmen einer vorlaufenden Einführungsphase (siehe Kapitel 3.3.4 und Kapitel 3.5) des Systems wird eine gewisse Zeit in Anspruch nehmen. Abschließend steht allerdings eine vollständige und praxistaugliche Bewertungssystematik zur Verfügung. Mit dem Pre-Check kann die Nachhaltigkeitsqualität der Brücke prognostiziert werden. Diese Bewertung kann beispielsweise bei der Entscheidungsfindung für die Festlegung einer Vorzugsvariante herangezogen werden. Nach Fertigstellung der Brücke kann dann die Pre-Check-Bewertung mit der des fertiggestellten Bauwerks verglichen werden. Hierbei ist besonders die Prognosequalität des Pre-Checks in Bezug auf das fertiggestellte Bauwerk interessant. Im Zuge der Systemfortschreibung ist zu überlegen, ob für das Erreichen oder Übertreffen des Pre-Check-Bewertungsergebnisses bei der Bewertung des fertiggestellten Bauwerks zusätzlich noch Pluspunkte für die Gesamtbewertung vergeben werden sollen.

Hierzu sind jedoch zuerst die Ergebnisse der Praxisanwendung abzuwarten. Durch die klare Trennung der Bewertung des Ist-Zustands (fertiggestelltes Bauwerk) und der Prognose der Nachhaltigkeitsqualität im Rahmen des Pre-Check ist die Bewertung logischer und transparenter geworden, zudem hat das System an Konsistenz gewonnen. Die Abgrenzung zwischen einer Pre-Check-Bewertung in der Planungsphase und der Bewertung des fertiggestellten Bauwerks sollte auch für die anderen Subsysteme analog übernommen werden. Bei der zukünftigen Erarbeitung des Subsystems „Streckenzüge“ sollte diese Trennung von vorne herein vorgesehen werden.

6 Literatur

- AKS: Anweisung zur Kostenberechnung für Straßenbaumaßnahmen (AKS 85). BMV-ARS Nr. 24/1984 vom 12.12.1984 – StB 24/38.45.00/24023 Va 84 (VkB1 1985 s. 92) in Verbindung mit dem BMV-ARS Nr. 13/1990 vom 01.08.1990 – StB 24/38.46.00/31 Va 90, Verkehrsblatt (VkB1-)Verlag, 1985
- BASt: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING, Ausgabe 2013
- BASt a: Nutzungsdauern der Bauteile nach Angabe der Bundesanstalt für Straßenwesen im Rahmen des Forschungsprojekts FE 15.0494/2010/FRB
- BASt b: Dauer und Szenarien der Erhaltungsmaßnahmen der Bauteile/des Bauwerks nach Angabe der Bundesanstalt für Straßenwesen im Rahmen des Forschungsprojekts FE 15.0494/2010/FRB
- BASt c: Kosten für unregelmäßige Erhaltungsmaßnahmen der Bauteile/des Bauwerks nach Angabe der Bundesanstalt für Straßenwesen im Rahmen des Forschungsprojekts FE 15.0494/2010/FRB
- BMU: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26.08.1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503), Veröffentlicht im WWW. Auf: <http://www.umweltbundesamt.de/laermprob>
- leme/publikationen/talaerm.pdf, Überprüfungsdatum: 29.01.2013
- BMU: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24.07.2002 (GMBI.2002, Heft 25 – 29, S.511 – 605), Veröffentlicht im WWW. Auf: http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ta_luft.pdf, Überprüfungsdatum: 29.01.2013
- BMU: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Klimaagenda 2020: Klimapolitik der Bundesregierung nach den Beschlüssen des Europäischen Rates vom 26.04.2007. Veröffentlicht im WWW. Auf: http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_klimaagenda.pdf, Überprüfungsdatum: 29.01.2013
- BECKMANN, A.; ZACKOR, H.: Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 808, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Bonn, 2001
- BMVBS: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr: Richtlinien für das Aufstellen von Bauwerksentwürfen für Ingenieurbauten (RAB-ING). Verkehrsblatt (VkB1-)Verlag, Dortmund, 1995
- BMVBS: Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Hrsg.: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 2001
- BMVBS: Leitfaden Nachhaltiges Bauen. überarbeitete und erweiterte 2. Auflage. Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Bonn, 2011
- BMVBS: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Ökobau.dat 2011. Stand September 2012, Veröffentlicht im WWW. Auf: www.nachhaltigesbauen.de, Überprüfungsdatum: 29.01.2013
- BMVBS: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Ökobau.dat 2014. Stand

- Januar 2015, Veröffentlicht im WWW. Auf: www.nachhaltigesbauen.de
- Deutsches Institut für Normung: Schallschutz im Städtebau – DIN 18005. Beuth, Berlin 2002
- FGSV Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA 95). FGSV-Verlag, Köln, 1995
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Gestaltung von einheitlichen Entwurfsunterlagen im Straßenbau (RE 85). FGSV-Verlag, Köln, 1985
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen (RPE-Stra 01). FGSV Nr. 988, FGSV-Verlag, Köln, 2001
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Entwässerung (RAS-Ew 05). FGSV Nr. 539, FGSV-Verlag, Köln, 2005
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinie für die Ausstattung und der Betrieb von Straßentunneln (RABT 06). FGSV Nr. 339, FGSV-Verlag, Köln, 2006
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinie für die Anlage von Autobahnen (RAA 08). FGSV Nr. 202, FGSV-Verlag, Köln, 2008
- FGSVa: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt 09). FGSV-Verlag, Köln, 2009
- FGSVb: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen (RDO Beton 09). FGSV-Verlag, Köln, 2009
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL Entwurf). Stand 24.08.2011
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12). FGSV-Verlag, Köln, 2012
- FGSV: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt – ZTV Asphalt-StB 07/13, Ausgabe 2007, Fassung 2013. FGSV-Verlag, Köln, 2013
- FISCHER, O. et al.: Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel (FE 09.0164/2011/LRB). Schlussbericht, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 2013
- KUHLMANN U.: Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit (NABRÜ) (IGF-Vorhaben 353ZN) Schlussbericht, im Auftrag der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (FOSTA), Düsseldorf, 2014
- GRAUBNER, C.-A.; KNAUFF, A.: Nachhaltiges Bauen – Ökobilanzierung und Lebenszykluskosten von vier Straßenbrücken, Forschungsbericht F15-10-2010 FG Massivbau, TU Darmstadt. Schlussbericht, im Auftrag des Hessischen Landesamtes für Straßen und Verkehrswesen Wiesbaden Darmstadt, 2010
- GRAUBNER, C.-A.; KNAUFF, A.; PELKE E.: Lebenszyklusbetrachtungen als Grundlage für die Nachhaltigkeitsbewertung von Straßenbrücken, Stahlbau Jg. 80 (2011) Heft 3, Ernst & Sohn, Berlin, 2011
- GRAUBNER, C.-A. et al.: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturprojekte im Hinblick auf Nachhaltigkeit (FE 15.0494/2010/FRB). Schlussbericht, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 2010
- GRAUBNER, C.-A. et al.: Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur (FE 09.0162/2011/HRB). Schlussbericht, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 2012
- GRAUBNER, C.-A. et al.: Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus (FE 15.0522/2011/FRB). Schlussbericht, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, 2012

- HELLMANN, L.; RÜBENSAM, J.: Erarbeitung eines Verfahrens zur Minimierung der baustellenbedingten Nutzerkosten für das Erhaltungsmanagement (PMS). Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 988, Wirtschaftsverlag N. W., Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, 2008
- HOAI: Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen, Ausgabe 2013
- MIELECKE, T. et al.: Grundlagen für einen Leitfaden „Nachhaltige Straßeninfrastrukturen“ – Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit (FE 09.0179/2011/ MRB). Entwurf des Schlussberichtes, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Darmstadt, 2014
- SCHMUCK, A.; BECKER, H.: Untersuchungen über Einflüsse auf baustellenbedingte geschwindigkeitsabhängige Anteile an den Straßennutzerkosten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 421, Bundesministerium für Verkehr, Bonn, 1984
- STAADT, H.: Untersuchung des Verkehrsablaufs an Engstellen mit Lichtsignalanlage. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 268, Bundesministerium für Verkehr, Bonn, 1979
- Statistisches Bundesamt: Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht, 2006
- Statistisches Bundesamt: Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht, 2014
- Vereinte Nationen: Rahmenabkommen der Vereinten Nationen zum Klimaschutz: Protokoll von Kyoto. 1997. Veröffentlicht im WWW. Auf: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpger.pdf>, Überprüfungsdatum: 23.01.2013
- Vereinte Nationen: The 1999 Gothenburg Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone. 1999. Veröffentlicht im WWW. Auf: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/full_text/1999_Multi.E.Amended.2005.pdf, Überprüfungsdatum 27.01.2013
- Vereinte Nationen: Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. 2000. Veröffentlicht im WWW. Auf: <http://ozone.unep.org/pdfs/Montreal-Protocol2000.pdf>, Überprüfungsdatum: 23.01.2013
- ZINKE, T.; SCHMIDT-THRÖ, G.; UMMENDORFER, T.: Entwicklung und Verwendung von externen Kosten für die Nachhaltigkeitsbewertung von Verkehrsinfrastruktur, Beton- und Stahlbetonbau, Jg. 107 (2012) Heft 8, Ernst & Sohn, Berlin, 2012

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2011

- B 80: Lautsprecheranlagen und akustische Signalisierung in Straßentunneln
Mayer, Reimann, Löwer, Brettschneider, Los € 16,00
- B 81: Quantifizierung der Lebensdauer von Betonbrücken mit den Methoden der Systemanalyse
Müller, Vogel, Neumann € 14,50
- B 82: Verkehrslastmodelle für die Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand
Freundt, Böning € 16,00
- B 83: Konzeption zur Nachrechnung bestehender Straßenbrücken
Maurer, Kolodziejczyk, Zilch, Dunkelberg € 16,00
- B 84: Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton mit dem modifizierten CDF-Verfahren (XF2)
Gehlen, Lowke, Milachowski € 15,00
- B 85: Entwicklung von Verfahren einer zuverlässigkeitsbasierten Bauwerksprüfung
Zilch, Straub, Dier, Fischer € 19,50
- B 86: Untersuchungen an Bauwerken aus hochfesten Beton
Nguyen, Freitag € 13,50

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, Staack € 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, Reißer € 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, Brennerberger, 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 Standortsicherheit 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 vorgespannten 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 Temperierung 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.

2016

B 123: **Nachrechnung bestehender Stahl- und Verbundbrücken – Restnutzung**

Geißler, Krohn € 15,50

B 124: **Nachrechnung von Betonbrücken – Systematische Datenauswertung 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 Infrastrukturbauwerke 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-Modelle 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 131: **Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus**

Schmidt-Thrö, Mielecke, Jungwirth, Graubner, Fischer, Kuhlmann, Hauf

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 Brückenbauwerke**

Graubner, Ramge, Hess, Ditter, Lohmeier

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

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