

Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 133

bast

Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit

von

Torsten Mielecke

Life Cycle Engineering Experts GmbH
Darmstadt

Carl-Alexander Graubner
Peter Ramge

Technische Universität Darmstadt
Institut für Massivbau, Fachgebiet Massivbau

Rainer Hess
Verena Pola

Durth Roos Consulting GmbH
Darmstadt

Wilfried Caspari

Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH
Düsseldorf

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 133

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 09.0179/2011/MRB:
Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit

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 978-3-95606-257-5

Bergisch Gladbach, Juni 2016

Kurzfassung – Abstract

Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit

Im Forschungsprojekt „Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastruktur im Hinblick auf die Nachhaltigkeit“ wurde erarbeitet, mit welchen Einzelmaßnahmen die Nachhaltigkeitsqualität eines Straßeninfrastrukturbauwerkes gesteigert werden kann.

Grundlage für die Analyse bilden die einheitlichen Bewertungskriterien der Nachhaltigkeit für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur, die im Rahmen der BAST Forschungsprojekte FE 15.494/2010/FRB und FE 09.0164/2011/LRB entwickelt wurden.

Im Rahmen der Bearbeitung dieses Forschungsprojektes wurden die Infrastrukturelemente Brücke, Strecke und Tunnel unterschieden. Für jedes Infrastrukturelement wurde im ersten Schritt ermittelt, wie sensitiv die einzelnen Nachhaltigkeitskriterien auf die Veränderung des Bauwerkes reagieren und welche Potenziale sich aus der Variation für die Steigerung der Nachhaltigkeitsqualität ergeben. Hierzu wurden verschiedenen Szenarien gebildet, die jeweils unterschiedliche Lösungen für eine Bauwerksausführung darstellen. Soweit technisch sinnvoll wurden Varianten für die eingesetzten Baustoffe, für die Konstruktionsweise und die Bauprozesse gebildet.

Die ermittelten Optimierungspotenziale der Nachhaltigkeit wurden im zweiten Schritt beschrieben und zu Maßnahmensteckbriefen zusammengefasst. Diese Maßnahmensteckbriefe sollen dem späteren Anwender des Leitfadens „Nachhaltige Straßeninfrastruktur“ die Möglichkeit geben, in einem Art Baukastensystem, mit geringem Aufwand die nachhaltigste Lösung für seine Bauaufgabe zu ermitteln.

Die Maßnahmensteckbriefe wurden in das Gliederungskonzept des Leitfadens „Nachhaltige Straßeninfrastruktur“ übertragen und bilden damit die Grundlage für die weitere Ausgestaltung des Leitfadens.

Requirements of materials, constructions and realization processes of road infrastructure regarding to sustainability

In the research project “requirements for construction materials, buildings and realization processes of the road infrastructure in view of sustainability“ was developed, which measures can optimize the quality of sustainability of the road infrastructure.

The basis for the analysis is the standard criteria for the sustainability of road infrastructure, which developed in the BAST research projects FE 15.494/2010/FRB and FE 09.0164/2011/LRB.

As part of the processing of this research project, the infrastructure elements bridge, track and tunnel were distinguished. For each infrastructure element was determined in the first step, how sensitive the individual sustainability criteria to the change of the structure react. And which potentials arise from the variation for increasing the sustainability quality. For this purpose, different scenarios were formed, each representing different solutions for building design. For this options were formed for the building materials, for the construction method and the construction processes.

The identified optimization potentials of sustainability were described and summarized to a project sheet. These measures are intended to give the profiles later users of the Guide “Sustainable Road Infrastructure” the ability to identify the most sustainable solution to its construction task with little effort.

The project sheets were transferred to the division concept of the Guide “Sustainable Road Infrastructure“ and thus form the basis for the further development of the guidelines.

Summary

Requirements of materials, constructions and realization processes of road infrastructure regarding to sustainability

1. Target

„Sustainability“ brings topic fields together from environmental, social and economic science. Goal thereby can it, an intermeal reconciliation between the different be attained partial contradictory defaults of the different subjects. Thus a holistic optimization is to be achieved, e.g. to an indulgence of natural resources, a generation justice, an increased quality of life and a positive economic development contributes.

For the building industry for the representation and measurement of the sustainability quality different national and international instruments were developed. To the above ground construction among other things 2009 the system of evaluation lasting building for federal building (BNB) were introduced by the Federal Ministry for traffic, building and town development (BMVBS) into Germany. This makes the illustration and optimization for the sustainability quality possible of a building. Contents and application rules of the BNB system are written down in the Guideline for Sustainable Building 2011 [BMVBS 2011].

For the road infrastructure instruments for a sustainability evaluation of the individual components become since the year 2010 in different subprojects, how e.g. bridge, road and tunnel of road infrastructures provide. These partial evaluations are present first as scientific elaboration with the Federal Highway Research Institute (BASt).

Goal of this research project is it to take up these research results and to compile on their basis practical action options, which contribute to the implementation and anchorage of the sustainability approach in practice. The description of the action options is to support the road construction managements to evaluate different alternatives regarding the sustainability measure and application orientated.

2. Potential analysis

For the determination of the possibilities for the increase of the sustainability quality a potential analysis is accomplished. In this different solution variants for the production of the buildings are examined. In order to structure the range of the possible variants, for the bridges and tunnels a classification was accomplished. Within the types technically meaningful variants were defined by building material choice, construction way and building process. For the range distance could be selected due to smaller dependence between building material choice and construction a modular structure. Thereby it is made possible to join after the unit construction system individual measures to a lasting distance.

As an example for the elaboration of the potential analysis the table 1 is added, which points for in each case the type of bridge 1 (small bridge passage) and the type of bridge 2 (transfer over a one-way highway or a double-railed railroad line) the possibilities of the sustainability optimization for each to criterion out.

On the basis the green deposited percentages is to be recognized, how strongly the sustainability in the respective criteria can be increased, if e.g. different construction ways for a bridge are selected. In sum the ecological effect can be improved with the type of bridge 1 around 4,03% e.g. by the change of the bridge construction.

In further elaboration from the recognized optimization potentials packages of measures were provided, which describe comprehensibly, how the respective sustainability increase can be converted. An example of a measure catalog is added as table 2. In it is descriptive, the conversion of a special measure for the sustainability quality has which pro and cons and which transverse relationship during the conversion to be considered to have.

Ergebnisse Potenzialanalyse:		Typ 1			Typ 2		
Kriterium		Konstr.	Baustoff	Bauprozess	Konstr.	Baustoff	Bauprozess
1. Ökologische Qualität		4,03%	0,00%	0,20%	5,35%	2,66%	0,20%
1.1	Treibhauspotenzial (GWP)	0,41%	0,00%	0,00%	1,09%	0,41%	0,00%
1.2	Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	0,35%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.3	Ozonbildungspotenzial (POCP)	0,86%	0,00%	0,00%	0,60%	0,40%	0,00%
1.4	Versauerungspotenzial (AP)	0,58%	0,00%	0,00%	0,60%	0,35%	0,00%
1.5	Überdüngungspotenzial (EP)	0,05%	0,00%	0,00%	0,43%	0,21%	0,00%
1.6	Risiken für die lokale Umwelt						
1.6a	Teil A: Fauna und Flora	0,00%	0,00%	0,16%	0,00%	0,00%	0,16%
1.6b	Teil B: Boden, Wasser und Luft	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%	0,04%
1.7	Sonstige Wirkungen auf die lokale Umwelt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.8a	Mehremissionen baubedingt (MBV)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.8b	Mehremissionen infolge Linienführung (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.9	Nicht erneuerb.Primärenergiebedarf (PEne)	1,65%	0,00%	0,00%	1,50%	0,79%	0,00%
1.10	Gesamtprimärenergiebedarf u. Anteil (PEe)	0,13%	0,00%	0,00%	0,26%	0,05%	0,00%
1.11	Wasserbedarf	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.12	Flächeninanspruchnahme	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.13	Abfall	0,00%	0,00%	0,00%	0,30%	0,09%	0,00%
1.14	Ressourcenschonung (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,58%	0,36%	0,00%
2. Ökonomische Qualität		0,00%	0,00%	0,00%	1,35%	3,65%	0,00%
2.1	Direkte Lebenszykluskosten	0,00%	0,00%	0,00%	1,35%	3,65%	0,00%
2.2	Externe Kosten baubedingt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2.3	Externe Kosten streckenbedingt (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3. Soziale/funktionale Qualität		3,21%	0,00%	0,42%	0,32%	0,00%	0,42%
3.1	Schutzgüter: Mensch, Landschaft, Kulturgut						
3.1a	Mensch, Gesundheit, insb. Lärm	0,00%	0,00%	0,42%	0,06%	0,00%	0,42%
3.1b	Landschaft	3,21%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.1c	Kulturgüter und sonstige Sachgüter	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.2	Komfort	0,00%	0,00%	0,00%	0,26%	0,00%	0,00%
3.3	Umnutzungsfähigkeit	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.4	Betriebsoptimierung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.5	Sicherheit, Störfallrisiken (Security)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.6	Verkehrssicherheit (Safety)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.7	Förderziele (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4. Technische Qualität		0,00%	0,00%	0,60%	1,38%	0,00%	0,75%
4.1	elektrische und mechanische Einrichtungen	0,00%	0,00%	0,00%	0,50%	0,00%	0,00%
4.2	Konstruktion, Dauerhaftigkeit, Robustheit	0,00%	0,00%	0,60%	0,68%	0,00%	0,75%
4.3	Betriebsoptimierung	0,00%	0,00%	0,00%	0,20%	0,00%	0,00%
4.4	Verstärkung und Erweiterbarkeit	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4.5	Rückbaubarkeit	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4.6	Herstellbarkeit (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5. Prozessqualität		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.1	Qualifikation des Planungsteams	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.2	Nachhaltigkeitsaspekte in Ausschreibung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.3	Baustelle/Bauprozess	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.4	Qualität der ausführenden Firmen	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.5	Qualitätssicherung der Bauausführung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tab. 1: Results of the potential analysis

	Choice of the design of the transition constructions
measure	Choice of transition constructions, which affect themselves due to their design noise and vibration-reducing (e.g. lamella transition constructions with welded on lozenge sheet metals).
advantage	Compared to transition construction of conventional design with noise-reducing design of the transition constructions with run over developing vibrations and noises clearly reduced. From this both an increase in value for the users of the bridge (e.g. more pleasant travelling comfort on the bridge) results and an increase in value for outsider (e.g. smaller noise disturbance for adjacent resident as well as fauna and flora). In individual cases can be done if necessary without additional noise protection measures.
disadvantage	Compared to transition constructions without noise-reducing characteristics higher costs of first creating and exchange can arise during the utilization phase. In individual cases higher environmental effects can develop due to higher materials consumption.
cross reference	This measure is applicable only with buildings, which contain transition constructions according to plan. The noise protection-technical requirements are to be inferred from the noise protection appraisal (lies either separately before or takes place with the environmental compatibility test). The conversion of the measure affects LCA and LCC.
recommendation	If noise protection is necessary, the advantages of noise-reducing transition constructions justify

Tab. 2: Example for the measure catalog bridge

3. Conclusion

The potential analysis shows, in which ranges of an execution planning possibilities exist regarding the sustainability optimization. A standard planning can be improved then with consideration of the identified criteria and factors of influence by the addressed measures. To select the relevant directions of attack on the basis their measures and potentials and their effect in the superordinate criteria of the ecological quality, economic quality, social functional quality is made possible for the user to measure technical quality and process quality. A basis exists to point the potentials out on the level of the execution planning and to extend the influencing control on the part of the user to the sustainability evaluation of a project. A standard planning can be adapted thus by purposeful influencing control in the directions of attack to a lasting planning and thus a lasting building.

The package of measures was transferred for simpler communication into the draft the guideline „sustainable road infrastructure“.

Inhalt

Vorwort	10	4.1.3 Abgrenzung der betrachteten Varianten	25
1 Einleitung	11	4.1.3.1 Konstruktionsweise	25
1.1 Zielsetzung	11	4.1.3.2 Baustoffe	25
1.2 Vorgehensweise	11	4.1.3.3 Bauprozess	26
2 Ausgangssituation	12	4.1.4 Übersicht der untersuchten Kombinationen	27
2.1 Nachhaltigkeit und das Bauwesen	12	4.2 Vorgehensweise	29
2.2 Systeme zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Infrastrukturbauwerken	12	4.2.1 Allgemeines Vorgehen	29
2.3 Bestehende nationale Bewertungssysteme	13	4.2.2 Brücken Typ 1	30
2.3.1 Brücken	13	4.2.3 Brücken Typ 2 und Typ 3	31
2.3.2 Strecke/Tunnel	13	4.2.4 Brücken Typ 4	31
2.4 Bestehende internationale Bewertungssysteme	14	4.3 Nachhaltigkeitspotenziale für das Subsystem Brücke	31
2.4.1 Greenroads™ (USA)	14	4.3.1 Quantifizierbare Potenziale	31
2.4.2 NISTRA (Schweiz)	15	4.3.1.1 Hauptkriteriengruppe 1 „Ökologische Qualität“	31
2.4.3 Entwurf ISO 21929-2	17	4.3.1.2 Hauptkriteriengruppe 2 „Ökonomische Qualität“	32
2.5 Einordnung des laufenden Projekts im Kontext des übergeordneten Gesamtsystems	18	4.3.1.3 Hauptkriteriengruppe 3 „Soziokulturelle und funktionale Qualität“	32
3 Sensitivitäts- und Potenzialanalyse	18	4.3.1.4 Hauptkriteriengruppe 4 „Technische Qualität“	33
3.1 Zielsetzung	18	4.3.1.5 Hauptkriteriengruppe 5 „Prozessqualität“	33
3.2 Sensitivitätsanalyse	18	4.3.2 Nicht quantifizierbare Potenziale und zusätzliche Potenziale durch besonders nachhaltige Planung	34
3.3 Auswirkung und Bedeutung für die weitere Bearbeitung	19	4.3.2.1 Bauprozess	34
3.4 Potenzialanalyse	19	4.3.2.2 Brückenlager	35
3.5 Zusammenfassung und Ausblick	22	4.3.2.3 Übergangskonstruktionen	35
4 Potenzialermittlung Brücken	22	4.3.2.4 Lärmschutzwände (LSW)	36
4.1 Systemgrenzen, Typenbildung, Clusterung	22	4.3.2.5 Sonstige Brückenausrüstung	36
4.1.1 Allgemeines	22	4.3.2.6 Sonstige planerische Entscheidungen	37
4.1.2 Definitionen der gewählten Brückentypen	24	4.3.3 Maßnahmen im Bestand	38
		4.3.4 Zusammenfassung Potenziale	38

5	Potenzialermittlung Strecke	41	5.3.3.4	Vliesstoff	53
5.1	Allgemeines	41	5.3.3.5	Deckschicht	54
5.1.1	Systemgrenzen Typenbildung Clusterung	41	5.3.4	Bauprozess	54
5.1.1.1	Konstruktion/Ausstattung	41	5.3.4.1	Einbau	54
5.1.1.2	Baustoffe	41	5.3.4.2	Betrieb	55
5.1.1.3	Bauprozess	42	5.3.4.3	Bauliche Erhaltung	55
5.1.1.4	Typenbildung	42	5.3.4.4	Abbruch	56
5.1.1.5	Modularer Aufbau	42	5.3.4.5	Recycling	57
5.1.2	Vorgehensweise	42	6	Potenzialermittlung Tunnel	57
5.1.2.1	Standardplanung	42	6.1	Allgemeines	57
5.1.2.2	Nachhaltigkeitsplanung	43	6.1.1	Systemgrenzen Typenbildung Clusterung	57
5.1.3	Grundlagen zur Bewertung	43	6.1.2	Vorgehensweise	57
5.1.3.1	Datenbanken	43	6.2	Darstellung der Potenziale nach Kriterien	58
5.1.3.2	Bewertungsmethoden	44	6.2.1	Hauptkriteriengruppe 1 „Ökologische Qualität“	58
5.1.4	Zusammenfassung	44	6.2.1.1	Umweltwirkungen (1.1 bis 1.5)	58
5.2	Bewertungsmethodik	45	6.2.1.2	Risiken für die lokale Umwelt – Teil A: Fauna und Flora (1.6a)	58
5.2.1	Grundlagen	45	6.2.1.3	Risiken für die lokale Umwelt – Teil B: Boden, Wasser und Luft (1.6b)	59
5.2.2	Vorgehen	45	6.2.1.4	Umwelteinwirkunge /Mehremis- sionen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung (MBV) (1.8a)	61
5.2.3	Anmerkung	47	6.2.1.5	Primärenergie (1.9 und 1.10)	62
5.3	Ausarbeitung der spezifischen Maßnahmen	48	6.2.1.6	Wasserbedarf (1.11)	62
5.3.1	Allgemeines	48	6.2.1.7	Flächeninanspruchnahme (1.12)	62
5.3.2	Ausstattungs-elemente	48	6.2.1.8	Abfall und Kreislaufwirtschaft (1.13)	63
5.3.2.1	Schutzeinrichtungen	48	6.2.1.9	Ressourcenschonung (1.14)	63
5.3.2.2	Leitpfosten	49	6.2.2	Hauptkriteriengruppe 2 „Ökonomische Qualität“	63
5.3.2.3	Blendschutz	49	6.2.2.1	Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus (2.1)	63
5.3.2.4	Tierschutzsysteme	50	6.2.2.2	Externe Kosten infolge bau- bedingter Verkehrsbeeinträch- tigung (2.2)	64
5.3.2.5	Lärmschutz	50			
5.3.2.6	Entwässerung	51			
5.3.2.7	Beleuchtung	52			
5.3.2.8	Lichtsignalanlagen	52			
5.3.2.9	Verkehrszeichen	52			
5.3.2.10	Fahrbahnmarkierung	52			
5.3.3	Konstruktionsaufbau	53			
5.3.3.1	Frostschutzschicht (FSS)	53			
5.3.3.2	Tragschicht (TS)	53			
5.3.3.3	Binderschicht (BS)	53			

6.2.3	Hauptkriteriengruppe 3 „Soziokulturelle und funktionale Qualität“	64	10	Fazit	87
6.2.3.1	Mensch, einschließlich Gesundheit, insbesondere Lärm (3.1a)	64	11	Leitfaden	88
6.2.3.2	Landschaft (3.1b)	65			
6.2.3.3	Kulturgüter und sonstige Sach- güter (3.1c)	65		Anhang	91
6.2.3.4	Komfort (3.2)	65		Anlage 1: Excel-Matrix zu AP1	91
6.2.3.5	Sicherheit gegenüber Störfall- risiken (Security) (3.5)	67		Anlage 2: Darstellung der Potenzialbewertung Brücken	98
6.2.3.6	Verkehrssicherheit (Safety) (3.6)	68		Anlage 3: Darstellung der Potenzialbewertung Strecke	114
6.2.4	Hauptkriteriengruppe 4 „Technische Qualität“	68		Anlage 4: Darstellung der Potenzialbewertung Tunnel	118
6.2.4.1	Elektrische und mechanische Einrichtungen (4.1)	68			
6.2.4.2	Konstruktive Qualität, Dauer- haftigkeit (4.2)	69		Der Leitfaden ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter: http://bast.opus.hbz-nrw.de abrufbar.	
6.2.4.3	Betriebsoptimierung (4.3)	72			
6.3	Quantifizierung der Potenziale	74			
6.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	75			
7	Vergleich der Bewertung eines optimierten und eines konven- tionellen geplanten Brücken- bauwerks	75			
7.1	Allgemeines	75			
7.2	Vorgehensweise	77			
7.3	Ergebnisse	79			
7.4	Fazit Ergebnisbewertung	83			
8	Zusammenfassung	84			
8.1	Subsystem Brücke	84			
8.2	Subsystem Strecke	85			
8.3	Subsystem Tunnel	86			
9	Empfehlungen	86			
9.1	Subsystem Brücke	86			
9.2	Subsystem Strecke	87			
9.3	Subsystem Tunnel	87			

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

„Nachhaltigkeit“ bringt Themenfelder aus Umwelt-, Sozial- und Wirtschaftswissenschaften zusammen. Zielstellung dabei ist es, einen Interessensausgleich zwischen den unterschiedlichen teilweise widersprüchlichen Vorgaben der verschiedenen Themenstellungen zu erreichen. Dadurch soll eine ganzheitliche Optimierung erreicht werden, die z. B. zu einer Schonung natürlicher Ressourcen, einer Generationengerechtigkeit, einer gesteigerten Lebensqualität und einer positiven wirtschaftlichen Entwicklung beiträgt.

Für das Bauwesen wurden zur Darstellung und Messung der Nachhaltigkeitsqualität unterschiedliche nationale und internationale Instrumente entwickelt. Im Hochbau ist unter anderem 2009 das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB) durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in Deutschland eingeführt worden. Dieses ermöglicht die Abbildung und Optimierung der Nachhaltigkeitsqualität eines Gebäudes. Die Inhalte und Anwendungsregeln des BNB-Systems sind im Leitfaden Nachhaltiges Bauen 2011 [BMVBS (Hrsg.) 2011] niedergeschrieben.

Für die Straßeninfrastruktur werden seit dem Jahr 2010 in unterschiedlichen Teilprojekten Instrumente für eine Nachhaltigkeitsbewertung der einzelnen Bestandteile, wie z. B. Brücke, Straße und Tunnel von Straßeninfrastrukturen erstellt. Diese Teilbewertungen liegen zunächst als wissenschaftliche Ausarbeitung bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) vor.

Zielstellung dieses Forschungsprojektes ist es, die vorliegenden Forschungsergebnisse aufzugreifen und auf deren Grundlage praxistaugliche Handlungsoptionen zu erarbeiten, die zur Implementierung und Verankerung des Nachhaltigkeitsansatzes in der Praxis beitragen. Die Beschreibung der Handlungsoptionen soll die Straßenbauverwaltungen unterstützen, verschiedene Alternativen im Hinblick auf die Nachhaltigkeit maßnahmen- und anwendungsorientiert zu bewerten.

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“,
- 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 09.0163/2011/LRB „Verfahren zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Ausschreibung von Elementen der Straßeninfrastruktur“.

Um das gestellte Ziel zu erreichen, wird für die Untersuchungsschwerpunkte „Baustoffe“, „Konstruktionsweisen“ und „Bauprozesse“ zunächst im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse untersucht, wo ein besonderer Einfluss auf die Nachhaltigkeitsqualität der Straßeninfrastruktur zu erwarten ist. Die ermittelten Einflussfaktoren werden im Weiteren hinsichtlich ihres Optimierungspotenzials analysiert. Hier sind insbesondere die Entwicklungsmöglichkeiten durch den Einsatz alternativer Baustoffe, Bauprozesse oder Konstruktionsweisen zu beleuchten und transparent darzustellen.

Anhand eines Praxisbeispiels wird verdeutlicht, welche Nachhaltigkeitspotenziale zwischen einem optimierten und einem konventionellen Bauwerk liegen. Die Ergebnisse des Praxisbeispiels können dabei sowohl in die Potenzialanalyse möglicher Maßnahmen zurückfließen, als auch als Kommunikationsinstrument für den Leitfaden dienen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen stehen für die Fortschreibung bestehender Regelwerke zur Gestaltung von Straßeninfrastrukturen zur Verfügung und werden in einen Entwurf des Leitfadens „Nachhaltige Straßeninfrastruktur“ überführt.

2 Ausgangssituation

2.1 Nachhaltigkeit und das Bauwesen

Der Begriff der Nachhaltigkeit ist seit langem in der öffentlichen Diskussion präsent. Entsprechend einer repräsentativen Umfrage des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2010 haben 42 % der Deutschen den Begriff „Nachhaltige Entwicklung“ gehört [Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (Hrsg.) 2010]. Dies entspricht einer Steigerung um 30 % seit dem Jahr 2000.

Im Duden der Deutschen Rechtschreibung wird der Begriff der Nachhaltigkeit als „längere Zeit anhaltende Wirkung“ beschrieben. Der Ursprung des Begriffes ist in der Forstwirtschaft zu finden. Hier wurde erstmals von Hannß Carl von CARLOWITZ beschrieben, dass in einer nachhaltigen Holzwirtschaft nur so viel Holz eingeschlagen werden darf, wie im gleichen Zeitraum nachwächst [CARLOWITZ, H.C. (1713)].

Internationale Verbreitung erfährt die Idee der Nachhaltigkeit durch den Abschlussbericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen 1987. In ihrem Abschlussbericht, dem sogenannten Brundtland-Bericht, wird nachhaltige Entwicklung beschrieben als: „Entwicklung zukunftsfähig zu machen, heißt, dass die gegenwärtige Generation ihre Bedürfnisse befriedigt, ohne die Fähigkeit der zukünftigen Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse befriedigen zu können“ [HAUFF, V. (1987) S.46].

Die politische Debatte um den Begriff der Nachhaltigkeit in Deutschland wurde durch die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages zum „Schutz des Menschen und der Umwelt. Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltigen zukunftsverträglichen Entwicklung“ 1995 verstärkt. Im Rahmen der Enquete-Kommission wurde festgehalten, dass der Begriff Nachhaltigkeit sich aus den drei Komponenten „ökologische“, „ökonomische“ und „soziale“ Nachhaltigkeit zusammensetzt [Deutscher Bundestag (Hrsg.) (1995)]. Diese Strukturierung der Nachhaltigkeit wird als Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit bezeichnet.

Durch das Statistische Bundesamt werden zwanzig Indikatoren ermittelt, die ein Bild der Nachhaltigkeitsentwicklung in Deutschland liefern sollen [Statistisches Bundesamt (2012)]. Die Indikatoren sind: Ressourcenschonung, Klimaschutz, erneuer-

bare Energien, Flächeninanspruchnahme, Artenvielfalt, Staatsverschuldung, wirtschaftliche Zukunftsvorsorge, Innovation, Bildung, wirtschaftlicher Wohlstand, Mobilität, Landbewirtschaftung, Luftqualität, Gesundheit und Ernährung, Kriminalität, Beschäftigung, Perspektiven für Familien, Gleichberechtigung, Integration, Entwicklungszusammenarbeit und Märkte öffnen. Das Bauwesen und die Straßeninfrastruktur haben auf eine Reihe der genannten Faktoren einen Einfluss. Hierzu zählen mit Sicherheit die Aspekte des Ressourcenverbrauchs, der Flächeninanspruchnahme, der Luftqualität und des wirtschaftlichen Wohlstands.

2.2 Systeme zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Infrastrukturbawerken

Während für die Nachhaltigkeitsbewertung im Hochbau national sowie international bereits seit mehreren Jahren einige anerkannte Systeme etabliert sind (z. B. BNB, DGNB, LEED, BREEAM, CASBEE und GreenStar), die durch ihre Praxisanwendung auch einem stetigen Optimierungsprozess unterliegen, befindet sich die Nachhaltigkeitsbewertung von Infrastrukturanlagen erst in der Pionierphase. In Deutschland befindet sich derzeit ein auf dem Bewertungssystem des BNB aufbauendes Bewertungssystem in der Entwicklung. Zunächst ist die Anwendung im Bereich der Straßeninfrastruktur vorgesehen. Das System soll aber für den gesamten Bereich der Verkehrsinfrastruktur (Straßen-, Bahn- und Wasserverkehr sowie – wo anwendbar – auch Flugverkehr) ausbaubar sein. International gibt es derzeit auch noch kein etabliertes System, welches zur Bewertung aller Nachhaltigkeitsaspekte der Verkehrsinfrastruktur geeignet ist. Es gibt jedoch Teilsysteme, die entweder nur ausgewählte Aspekte der Nachhaltigkeit betrachten (z. B. nur „Ökologische Qualität“ oder nur „Ökonomische Qualität“) oder nur für bestimmte Subsysteme anwendbar sind (z. B. nur für den Bereich Strecke im Straßenverkehr).

Nachfolgend werden die bestehenden Systeme und ihre Relevanz für das laufende Projekt kurz erläutert.

2.3 Bestehende nationale Bewertungssysteme

2.3.1 Brücken

Im Forschungsvorhaben FE-Nr. 15.0494/2010/FRB wurde der Entwurf für ein Bewertungssystem der Nachhaltigkeit von Straßenbrücken entwickelt. Der Systementwurf, im Folgenden „Bewertungssystem Brücke“ genannt, wurde bereits in einer Pilotphase erprobt (Forschungsvorhaben FE-Nr. 15.0522/2011/FRB). Das System orientiert sich am Bewertungssystem für Büro- und Verwaltungsgebäude des BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) bzw. des DGNB e. V. (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen). Die Struktur und die Verfahrensweise wurden weitestgehend beibehalten. Inhaltlich ergab sich aber naturgemäß die Notwendigkeit für Abweichungen, da sich Brücken sowohl in der Konstruktion als auch in der Nutzungsweise deutlich von Gebäuden unterscheiden. Die aus dem BNB-System übernehmbaren Bewertungskriterien wurden um brücken-spezifische Kriterien ergänzt.

In der Pilotphase fiel unter anderem auf, dass die Bewertung von Umweltmehrbelastung und volkswirtschaftlichen Mehrkosten, die aus baustellenbedingter Sperrung der Brücke während durchzuführender Instandsetzungsmaßnahmen herrühren, kritisch zu betrachten ist. Unter gewissen Randbedingungen können sich durch baustellenbedingte Staus und Umleitungen während der Nutzungsphase Mehrkosten bzw. Umweltmehrbelastungen ergeben, die die Herstellungskosten bzw. die Umweltbelastungen aus der Herstellphase um ein Vielfaches übersteigen. Der maßgebliche Einfluss auf das Entstehen der hohen Belastungen bzw. Kosten liegt aber in externen, von der Brücke primär unabhängigen, Ursachen (Entwicklung des Verkehrsaufkommens, Ausbau des umgebenden Verkehrsnetzes etc.). Hier besteht Nachbesserungsbedarf, um eine Verzerrung der Bewertung zu vermeiden. Entweder sollte dem Schaden, der bei einer Sperrung entsteht auch der Nutzen, der im Regelbetrieb vorliegt, entgegengestellt werden, oder es sollte ein Weg der Bewertung gefunden werden, der unabhängig von externen Einflüssen ist.

Parallel zur Entwicklung des Bewertungssystems Brücke wurden in einem weiteren Forschungsvorhaben (FE-Nr. 09.0162/2011/LRB) grundlegende konzeptionelle Gesichtspunkte der Gliederung eines Gesamtsystems zur Nachhaltigkeitsbewer-

tung von Verkehrsinfrastrukturanlagen erarbeitet. Unter anderem werden dort sinnvolle Abgrenzungen bezüglich der Anwendungsbereiche der einzelnen Teilsysteme getroffen. Durch den angestrebten modularen Aufbau des Gesamtsystems wird versucht eine Unterteilung in verschiedene Realisierungsphasen zu etablieren. Die Systemgrenzen, die im Bewertungssystem Brücke an sich noch nicht konkretisiert sind, werden dadurch gesetzt. Demnach ist das Bewertungssystem Brücke in Modul 3 nach erfolgter Linienbestimmung und Planfeststellung anzuwenden. Alle nachhaltigkeitsrelevanten Entscheidungen im Planungs- und Realisierungsprozess, die vor diesem Zeitpunkt zu treffen sind (z. B. Wahl der Trassenführung, Entscheidung, dass eine Brücke zu bauen ist, Örtlichkeit der zu bauenden Brücke etc.) sollen demnach nicht Bewertungsgegenstand des eigentlichen Bewertungssystems Brücke sein.

2.3.2 Strecke/Tunnel

Analog zum Bewertungssystem „Brücken“ wurde im Forschungsvorhaben FE-Nr. 09.0164/2011/LRB ein Bewertungssystem für die Subsysteme „Strecke“ und „Tunnel“ erarbeitet. Der Aufbau des Systems basiert auf der gleichen Grundlage und orientiert sich am Bewertungssystem Brücke. Die Systemstruktur wurde zur besseren Übersichtlichkeit jedoch angepasst. Zur Vermeidung häufiger Wiederholung gleicher Formulierungen wurden die Steckbriefe in mehrere Ebenen unterteilt. Die erste Ebene ist das Steckbriefdeckblatt, die zweite Ebene bilden die Methodensteckbriefe und die dritte Ebene bilden die systemspezifischen Anlagen. Die fünfte Kriteriengruppe „Prozessqualität“ wurde mit der Begründung, dass die eigentlichen Prozesse zum Zeitpunkt der Systemanwendung noch nicht ausreichend beurteilt werden können, aus dem Bewertungssystem „Strecke/Tunnel“ herausgelöst. Zudem ist die Prozessqualität in anderen Bereichen des Gesamtsystems, z. B. bei den im Forschungsvorhaben FE-Nr. 09.0163/2011/LRB behandelten Aspekten von Ausschreibung und Vergabe maßgeblich relevant.

Das Bewertungssystem Strecke/Tunnel ist derart aufgebaut, dass es beliebig erweitert werden kann. Es wäre z. B. möglich im Zuge einer Harmonisierung die Steckbriefe des Systems Brücke ebenfalls in das 3-Ebenen-Konzept zu überführen und zu einem Gesamtsystem Straße zusammenzufassen.

2.4 Bestehende internationale Bewertungssysteme

2.4.1 Greenroads™ (USA)

Das 2010 veröffentlichte „Greenroads™ Rating System“ ist ein System, das der Nachhaltigkeitsbewertung für den Entwurf und Bau von Straßen dient. Es wurde über vier Jahre entwickelt und kann auf alle Straßenbauprojekte einschließlich der Erhaltung und Erneuerung angewendet werden. Die Anwendung von Greenroads™ ist im Gegensatz zur deutschen Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) bzw. Strategischen Umweltprüfung (SUP) freiwillig und ersetzt keine gesetzlich vorgeschriebenen Verfahren.

Das amerikanische Bewertungsverfahren basiert auf einer Nutzwertanalyse, bei der definierte Nachhaltigkeitskriterien nicht monetär, sondern durch Punktevergabe bewertet werden. Die zu bewertenden Kriterien sind in Steckbriefen definiert [University of Washington, (2011)], welche die Kriterien zum einen beschreiben und zum anderen angeben, mit welcher maximalen Punktzahl dieses Kriterium in die Gesamtbewertung einfließt. Die Anzahl der Punkte wird in Relation zu einem definierten Standard bzw. Stand der Technik vergeben. Anhand dieser Punkte wird eine Gesamtpunktzahl für das betrachtete Projekt hinsichtlich dessen Nachhaltigkeit durch Addition der einzelnen Punkte ermittelt.

Voraussetzung für eine Nachhaltigkeitsbetrachtung ist die eingehende Prüfung und Erfüllung von 11 verpflichtenden Anforderungen (Project Requirements, PR). Wird auch nur eine der Anforderungen nicht erfüllt, so erfolgt keine weiterführende Betrachtung des Projektes. Kann die Erfüllung aller Anforderungen jedoch gewährleistet werden, sind im zweiten Schritt optionale Indikatoren (Voluntary Credits) zu betrachten die sich in die folgenden Bereiche gliedern:

- Umwelt und Wasser (Environment and Water, EW),
- Widerstände (Access and Equity, AE),
- Bauablauf (Construction Activities, CA),
- Material- und Ressourcenverbrauch (Materials and Resources, MR),
- Bauweisen (Pavement Technologies, PT).

Ein zusätzliches Kriterium Bonuspunkte (Custom Credits, CC) dient der Abbildung von besonderen Innovationen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit

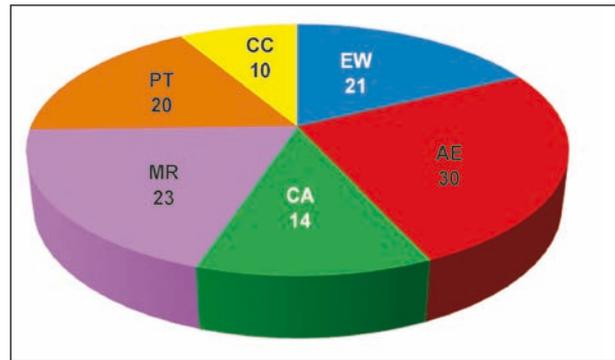


Bild 1: Kriterien und maximale Punktevergabe

des betrachteten Projektes, die jedoch individuell einzutragen sind. Hier können bis zu drei Maßnahmen ergänzt und mit insgesamt bis zu 10 Punkten bewertet werden. Anhand dieser Gliederung kann der Schwerpunkt in der Projektentwicklung selbst gewählt werden.

Die Kennwertbildung erfolgt durch Addition der optionalen Indikatoren und den Bonuspunkten. Hierbei können maximal 118 Punkte erreicht werden, maximal 108 Punkte durch Kriterien der optionalen Indikatoren und maximal 10 Punkte durch Bonuspunkte (siehe Bild 1).

Die Gesamtpunktezahl wird als Anteil der erreichbaren Punkte ausgewiesen. Die ermittelte Prozentzahl stellt somit einen Indikator für die Nachhaltigkeit des entsprechenden Projektes dar.

Es bestehen fünf Level der Zertifizierung:

- Kein Siegel: nicht alle verpflichtenden Anforderungen (PR) wurden erfüllt oder die erreichte Punktezahl liegt unter 30 %,
- Bronze: 30-40 %,
- Silber: 40-50 %,
- Gold: 50-60 %,
- Evergreen: > 60 %.

Insgesamt werden damit die Ökologie, die Ökonomie, die Bürgerbeteiligung, die Dauerhaftigkeit der Bauweisen und die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus abgedeckt und im Einzelnen betrachtet. Kritisch ist zu sehen, dass infolge der reinen Punkteaddition die Zertifizierung „Evergreen“ vergeben werden kann, obwohl eine ganze Kriteriengruppe keine Punkte erhalten hat.

Greenroads™ bewertet dabei die gewählten Baustoffe, Bauweisen und den Realisierungsprozesse

aus unterschiedlichen Gesichtspunkten. Ein Requirement ist z. B. die Erarbeitung einer Lebenszykluskostenanalyse. In diese gehen Baustoffe mit unterschiedlichen Lebensdauern und Erneuerungsaufwendungen ein. Im Gegensatz zum deutschen Ansatz werden im Greenroads™ auch Planungskosten berücksichtigt. Ziel ist durch eine vergleichende Betrachtung mehrere Lösungsvarianten die Alternative mit den geringsten Lebenszykluskosten herauszuarbeiten. Ein weiteres Requirement ist die Erstellung einer Ökobilanz für die Indikatoren Treibhauspotenzial und Gesamtenergiebedarf der realisierten Brücke. In diese Bilanz gehen neben den Materialien und deren Recyclinganteil aber auch die Transportentfernungen zur Baustelle, das gewählte Transportmittel sowie die Lebensdauer der Materialien ein. Als Hilfsmittel für die Erarbeitung der Ökobilanz wird das Softwaretool „Roadprint“ der University of Washington vorgeschlagen. Um die Datenbasis für die Ökobilanz von Infrastrukturbauwerken weiter zu verbessern, wird es im Greenroads-System positiv bewertet, wenn neue LCA-Datensätze nach der DIN 14040 erzeugt werden und an Greenroads™ übermittelt werden.

In dem Bewertungskriterium „Traffic Emissions Reduction“ werden die Aufwendungen bewertet, die zu einer Verringerung der staubedingten Emissionen beitragen. Im Vergleich zum deutschen Bewertungsansatz werden jedoch nicht die Stausituationen aus Baumaßnahmen an der Straße bewertet, sondern Stausituationen aus Kapazitätsengpässen der Straße.

Aspekte, die den Bauprozess betreffen sind z. B. der Lärmvermeidungsplan, der Qualitätskontrollplan sowie der Plan zur Vermeidung von Erosion. In diesen Konzepten ist vorzudenken, wie die jeweiligen Aspekte bestmöglich umgesetzt werden können und welche Konsequenzen für einzelne Bauprozesse sich daraus ergeben. Ziel ist es, dass auf das Baufeld und die vorgesehene Bauweise abgestimmte Maßnahmen definiert und umgesetzt werden.

Positiv bewertet wird in Greenroads™ zudem, wenn das Baustellenpersonal im umweltfreundlichen Verhalten geschult wurde und dadurch Best-Practice-Methoden zur Minimierung der Umweltwirkungen weitergegeben werden. Entsprechende Maßnahmen sind ähnlich wie das Recyclingkonzept auf der Baustelle in die Baustellenorganisation einzuplanen. Ein weiterer Punkt, der die Bauaus-

führung betrifft ist die positive Bewertung des Einsatzes von Biokraftstoff in Baumaschinen bzw. des Einsatzes von Baumaschinen mit Abgasfiltersystemen.

Eine auf die Baustoffe ausgerichtete Bewertung vergibt Punkte, wenn Materialien oder Bauteile aus bestehenden Bauvorhaben wiederverwendet werden oder wenn recycelte Materialien zum Einsatz kommen. In einer eigenen Kriteriengruppe befasst sich das Greenroads-System mit dem Fahrbahnaufbau. Positiv bewertet wird, wenn eine LCA für den Fahrbahnaufbau erstellt wird. Des Weiteren wird bewertet, ob wasserdurchlässige oder geräuscharme oder helle Fahrbahnbeläge verwendet werden.

Einordnung

Durch eine Lebenszyklus- und Sicherheitsbetrachtung sind einige Elemente der Nachhaltigkeit bei Greenroads™ enthalten. Zudem enthält Greenroads™ die wesentlichen Elemente der deutschen SUP/UVP, wie beispielsweise baubedingte Schadstoffe, Bodenbeeinflussung, Bauablauf und Kosten. Die dritte Säule „Gesellschaft“ spielt jedoch eine untergeordnete Rolle.

Die drei Säulen der Nachhaltigkeit Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft sind bei dem schweizer System NISTRA deutlicher abgebildet. Im Vergleich zu NISTRA und der SUP/UVP ist das System Greenroads™ intransparenter, da eine Zusammenfassung aller Bewertungskriterien zu einer gesamten Prozentzahl erfolgt und auch nur diese veröffentlicht wird. Somit kann kein Rückschluss auf die Punkte der einzelnen Kriteriengruppen gezogen werden, sodass aus dem Zertifikat nicht mehr auf den Schwerpunkt der nachhaltigen Ausgestaltung geschlossen werden kann.

2.4.2 NISTRA (Schweiz)

Mit dem System NISTRA gibt es in der Schweiz ein Bewertungssystem für die Nachhaltigkeit von Straßenbauprojekten, welches als Entscheidungshilfe im Planungsprozess vorgesehen ist. NISTRA ist dabei als ein Unterbestandteil der Zweckmäßighkeitsbeurteilung im Rahmen des politischen Entscheidungsprozesses angesiedelt.

Das System arbeitet nach dem Prinzip der erweiterten Kosten-Nutzen-Analyse, d. h. wo möglich wird die Bewertung der Kriterien monetarisiert und

aggregiert und in einer Kosten-Nutzen-Analyse ausgewertet. Zusätzlich dazu werden die nicht monetarisierbaren Kriterien in einem Punktesystem, getrennt nach den Bereichen „Gesellschaft“, „Wirtschaft“ und „Umwelt“ bewertet [ASTRA (2003)]. Die Punkte der drei Bereiche können nicht kumuliert werden, da sie nicht vergleichbar sind. Sie werden im Bewertungsergebnis als drei getrennte Werte ausgegeben. Darüber hinaus ist es vorgesehen, einige besondere Sachverhalte verbal zu formulieren. Das Ergebnis einer NISTRA Untersuchung wird nicht in einen einzigen messbaren Wert (z. B. eine Endnote) zusammengefasst. Dadurch bleibt es relativ komplex, gleichzeitig aber sehr transparent.

Damit unterscheidet sich die Bewertung verfahrensbedingt vom deutschen System. Ein direkter Vergleich der Bewertungsergebnisse ist somit nicht möglich. Da im NISTRA System keine festen Grenz- bzw. Referenzwerte hinterlegt sind, ist auch keine absolute Bewertung möglich, d. h. unterschiedliche Projekte lassen sich in der Bewertung nicht vergleichen, sondern lediglich unterschiedliche Realisierungsvarianten ein und desselben Projektes.

Auch inhaltlich gibt es Unterschiede zum deutschen Ansatz. Verglichen mit dem in Deutschland in der Entwicklung befindlichen System ist NISTRATA nicht durch einen modularen Aufbau gegliedert. Das Zielsystem von NISTRA umfasst daher viele Ziele, die im deutschen System in Modul 1 anzusiedeln wären, oder sogar noch darüber hinausgehen und in den Bereich allgemeiner politischer Entscheidungen fallen. Viele Kriterien von NISTRA können also gar nicht mit denen des deutschen Systems verglichen werden. Mit Ausnahme des NISTRA Unterziels W12 „Direkte Nutzen des Vorhabens maximieren (Jahresnutzen)“ gibt es bei den Zielen, die verglichen werden können auf den ersten Blick keine essenziellen Unterschiede. Werden jedoch die gewählten Indikatoren genauer betrachtet und insbesondere deren Umfang, dessen was in die Bewertung einfließt, ergeben sich wieder erhebliche Unterschiede. NISTRA betrachtet nicht den gesamten Lebenszyklus. Das „End-of-life-Szenario“ wird nicht berücksichtigt und die Errichtungsphase wird nur in wenigen Ausnahmen komplett erfasst. Insbesondere zeigt sich dies bei den Umweltkriterien: NISTRA beurteilt hier die Umweltwirkung bzw. den Schadstoffausstoß des Verkehrs, der auf der Straßeninfrastruktur abgewickelt wird. Die Umweltwirkungen aus dem Bauwerk selbst d. h. aus dem Bau-

prozess und aus der Herstellung und Verarbeitung der Baumaterialien wird nicht erhoben und bewertet. Dadurch unterscheidet sich NISTRA grundlegend vom deutschen System.

Ebenso fällt auf, dass NISTRA Doppelbewertungen kategorisch ablehnt, daher wird beispielsweise im gesellschaftlichen Bereich im Ziel G21 „Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen schützen“ die Lärmbelastung nicht berücksichtigt, da sie im Bereich Umwelt bereits Eingang findet.

Das NISTRA Kriterium W12 umfasst den „direkten Nutzen des Vorhabens“. Hier werden Verbesserungen aus Fahrzeitgewinnen im Personen-, Güter- und Geschäftsverkehr ermittelt und monetarisiert. Der sich ergebende Nutzen wird wie ein Gewinn betrachtet, der durch die betreffende Straße „erwirtschaftet“ wird, und kann den entstehenden Kosten direkt gegenübergestellt werden. Die Veränderung des vorhandenen Staubbildungspotenzials durch das geplante Vorhaben findet auch Berücksichtigung.

Der Einfluss von Baustoffen, Bauweise und Realisierungsprozess auf das NISTRA-Ergebnis ist gering. Dies begründet sich daraus, dass NISTRA überwiegend die Wirkung des Infrastrukturbauwerkes auf die Umgebung abbildet und nicht den Prozess der Planung und Erstellung des Bauwerkes an sich. So findet sich in der Kategorie „Gesellschaft“ kein Ansatzpunkt für die Bewertung der Baustoffe oder Bauweise. In der Kategorie „Wirtschaft“ wird im Unterkriterium W11 „Direkte Kosten des Vorhabens minimieren (Jahreskosten)“ eine Lebenszykluskostenrechnung für das Bauwerk durchgeführt und Vergleichsvarianten gegenübergestellt. Hierbei werden die Baustoffe mit ihren unterschiedlichen Lebensdauern und den Herstellkosten berücksichtigt.

Ein Kriterium, welches stark durch die Baustoffwahl und die Bauweise beeinflusst wird, ist W13 „Vorhaben optimal umsetzen“. In diesem Kriterium werden Aspekte wie Realisierungszeit, Risiko der Kostenüberschreitung, Bautechnisches Risiko und die Möglichkeit der Aufteilung in Etappen für eine Ausführungsvariante bewertet.

Ebenso werden Aspekte der Baustoffe und Bauweise in der Kategorie der Ökologie bewertet. So werden Lärmemissionen aus dem Bauprozess im Kriterium U12 „Lärmbelastung senken“ bewertet. Gleiches gilt für den Flächenverbrauch, der im Kriterium U13 „Bodenversiegelung“ auch den Flächenbedarf

der Baumaßnahmen bewertet. Eine eingeschränkte Einbeziehung der Bauweise erfolgt im Kriterium U31 „Energieverbrauch“. Hier werden z. B. Tunnelbauwerke mit der zugehörigen Ausstattung bewertet. Die Bewertung der CO₂-Emissionen betrachtet nicht das Bauwerk. Hier werden ausschließlich die Effekte aus der Neugestaltung der Straße und dem veränderten Emissionsverhalten des Straßenverkehrs abgebildet. Ein rein auf das Baumaterial ausgerichteter Aspekt ist das Kriterium U32 „Verbrauch von Rundkies“. Dieser Indikator misst den Einsatz von natürlichem Kies. Recyclingmaterial wird nicht betrachtet und wirkt sich dadurch positiv auf die Bewertung aus.

Obwohl NISTRA auf den ersten Blick sehr ähnlich erscheint, unterscheidet es sich im Detail grundlegend vom deutschen Ansatz. Bezogen auf das was betrachtet wird, beinhaltet NISTRA nur im Ziel W12 Neuerungen, die (ggf. mit angepassten Betrachtungshorizont) in den deutschen Systementwurf übernommen werden könnten. Die unterlassene Gegenrechnung der Vorzüge bzw. des Nutzens ist aber ein grundlegendes „Problem“ des deutschen Systems und muss an anderer Stelle geklärt werden. Daher wird dieser, an sich sinnvolle Aspekt von NISTRA im weiteren Verlauf des laufenden Projekts nicht betrachtet werden.

2.4.3 Entwurf ISO 21929-2

Im Rahmen der internationalen Normung soll das Gesamtsystem zum Nachhaltigen Bauen um den Teil der Ingenieurbauwerke ergänzt werden. Hierzu sollen in der ISO 21929-2 zunächst Kriterien definiert werden, die die Nachhaltigkeitsbewertung von Infrastrukturbauwerken ermöglichen. Die ISO 21929-2 ergänzt damit die ISO 21929-1, welche Nachhaltigkeitsindikatoren für Gebäude festlegt.

Die Bewertungsmethoden für die Nachhaltigkeitsindikatoren werden in der ISO 21929 nicht festgeschrieben. Diese werden gesondert in einem eigenen Normendokument geregelt. Für den Hochbau ist dies die ISO 21931-1 „Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works – Part 1 Buildings“. Für die Ingenieurbauwerke besteht noch keine entsprechende Regelung. Diese ist nach Fertigstellung der ISO 21929-2 zu erarbeiten.

Im Rahmen des Entwurfs der ISO 21929-2 sind zunächst die Themen definiert, die durch die Nachhaltigkeitskriterien abgedeckt werden sollen. Die 18

beschriebenen Anforderungen beeinflussen die Drei-Säulen der Nachhaltigkeit – Ökonomie, Ökologie und Soziales – unterschiedlich stark.

Zunächst wurden folgende Aspekte als Indikatoren der Nachhaltigkeit bei Ingenieurbauwerken aufgenommen:

- Einsatz von Energie,
- Einsatz von Materialressourcen,
- Einsatz von Wasser,
- Landverbrauch,
- Emissionen in die Luft,
- Lärm und Vibrationen,
- Emissionen ins Wasser,
- Emissionen in den Boden,
- Erhalt der Biodiversität,
- Erhalt des Landschaftsbildes,
- externe Kosten,
- Lebenszykluskosten,
- regionale Gemeinschaft,
- Entstehung neuer Arbeitsplätze,
- Schutz von Kulturgütern,
- soziale Einbindung und Akzeptanz,
- Risiko und Ausfallsicherheit,
- Gesundheit und Komfort.

Eine Gegenüberstellung mit den Indikatoren aus den aktuellen Forschungsprojekten zeigt, dass eine weitest gehende Übereinstimmung vorhanden ist. Ausnahme bilden volkswirtschaftliche Aspekte, wie z. B. die Errichtung von verbesserten Infrastrukturen zur Schaffung neuer Arbeitsplätze, welche im deutschen Ansatz zurzeit nicht bewertet werden. Im Normenentwurf wird hier das Beispiel genannt, dass eine neue Brücke auf eine Insel mehr Touristen auf die Insel bringt und damit einen positiven Effekt auf den lokalen Arbeitsmarkt hat. Diese Bewertung geht deutlich über die im deutschen Ansatz gezogene Systemgrenze des Bauwerkes als solches hinaus. Andere Aspekte werden im deutschen Ansatz aktuell noch nicht in allen Bewertungssystemen abgeprüft. Z. B. wird die Akzeptanz der Nachbarschaft durch Ersatzkriterien, wie z. B. die Lärmemissionen im System der Brücken abgebildet. Eine direkte Bewertung der Nachbarschaft oder der regionalen Wirtschaftsräume findet im Brückensystem nicht statt. Im System für Strecke/Tunnel wurden diese Aspekte aufgegriffen und in das Bewertungssystem integriert.

2.5 Einordnung des laufenden Projekts im Kontext des übergeordneten Gesamtsystems

Wie oben angesprochen wurde im Projekt FE-Nr. 09.0162/2011/LRB ein Konzept für ein modulares Gesamtsystem entwickelt. Die in Kapitel 2.2 erläuterten Bewertungssysteme sind in Modul 2 und Modul 3 dieses Gesamtkonzeptes anzusiedeln. Damit fällt die Zuständigkeit des laufenden Projektes ebenfalls in die Module 2 für Strecke bzw. Modul 3 für die Ingenieurbauwerke Brücke und Tunnel. Zudem sind wichtige Aspekte für das Thema Ausschreibung und Vergabe (Modul 4c) aus dem laufenden Projekt FE 09.0163/2011/LRB zu beachten. Das Subsystem Knotenpunkt wird in diesem Projekt nicht gesondert betrachtet, da sich ein Knotenpunkt – zumindest für die Bewertung der Einflusspotenziale der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte – immer in Elemente zerlegen lässt, die den anderen drei Subsystemen zugeordnet werden können. Plangleiche Knotenpunkte könne vollständig dem Subsystem Strecke zugeordnet werden während sich bei planfreien Knotenpunkten enthaltene Brücken oder Tunnel herauslösen und in ihren eigenen Subsystemen behandeln lassen.

Die Bearbeitung des laufenden Projektes geschieht auf Grundlage der nationalen Systeme, wobei die Erweiterung durch weitere Kriterien oder Unterkriterien (z. B. abgeleitet aus den genannten internationalen Systemen) nicht ausgeschlossen ist, wenn sich dies im Laufe des Projektes als sinnvoll und notwendig erweist.

3 Sensitivitäts- und Potenzialanalyse

3.1 Zielsetzung

Das Ziel der Sensitivitätsanalyse ist es herauszustellen, auf welche der Kriterien des Bewertungssystems die zu Untersuchungsschwerpunkte (Baustoffe, Bauprozesse und Konstruktionsweise) einen Einfluss haben. Dabei muss dieser Einfluss noch nicht quantifiziert werden. Die Quantifizierung des Einflusses und damit verbundene Feststellung von Optimierungspotenzialen erfolgen im Zuge der Aufstellung der Potenzialmatrix.

Die Potenzialanalyse bildet neben der Erstellung des eigentlichen Leitfadens den zweiten Arbeitsschwerpunkt des laufenden Projekts. Die Ergebnisse der Potenzialanalyse stellen unmittelbar die Datenbasis, auf Grundlage derer in Arbeitspaket 5 der Leitfaden zu erstellen ist. In Abgrenzung zur Sensitivitätsanalyse aus Arbeitspaket 1 ist es Ziel der Potenzialanalyse die besehenden Einflüsse der Untersuchungsschwerpunkte auf nachhaltigkeitsrelevante Eigenschaften der Bauwerke nicht nur zu erkennen sondern auch zu quantifizieren, um die Möglichkeit zu schaffen negative und positive Wirkungen im Sinne einer Bewertung gegeneinander abwägen bzw. aufrechnen zu können.

3.2 Sensitivitätsanalyse

Die Bewertung des Einflusses der Untersuchungsschwerpunkte geschieht in einer Matrix getrennt für die Subsysteme „Brücke“, „Strecke“ und „Tunnel“. Als Basis für die Bewertung dienen die in Kapitel 2.2 dieses Berichts beschriebenen Bewertungssysteme „Brücke“ und „Strecke/Tunnel“. Zur Vereinheitlichung der Bewertung werden zunächst die Unterkriterien und Indikatoren aus allen drei Subsystemen in einer Matrix zusammengestellt. Dabei wird der Ansatz verfolgt, alle sinngemäß gleichen Punkte zusammenzufassen und für die drei Subsysteme zu verallgemeinern. Bei Kriterien, die nur in einem der Bewertungssysteme genannt werden, deren Relevanz aber übergreifend gesehen wird, ist vorgesehen, sie auch für die anderen Subsysteme zu übertragen. Es verbleiben jedoch einige Kriterien, die exklusiv nur für bestimmte Subsysteme relevant sind und daher für andere nicht bewertet werden können. Die Bewertung, ob ein Einfluss besteht, erfolgte auf Basis einer augenscheinlichen Plausibilitätsprüfung. Aufgrund der Auswirkungen für die folgenden Arbeitspakete (siehe Kapitel 3.4) wird im Zweifelsfall auf genaueren Untersuchungsbedarf hingewiesen.

Die Ergebnismatrix wurde in Form einer Excel-Tabelle erstellt und ist in Anlage 1 wiedergegeben. In den Bereichen Strecke und Tunnel wird teilweise auf eine Unterscheidung der einzelnen Unterpunkte eines Kriteriums verzichtet und übergeordnet eine Einschätzung für den gesamten Nachhaltigkeitsaspekt vorgenommen.

3.3 Auswirkung und Bedeutung für die weitere Bearbeitung

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse stellen die Basis für die Quantifizierung der Einflüsse dar. Nur diejenigen Kriterien, für die in der Sensitivitätsanalyse ein Einfluss der Untersuchungsschwerpunkte festgestellt wurde, werden bei der Quantifizierung der Einflusspotenziale untersucht. Die Beurteilung ist demnach im Rahmen der Sensitivitätsanalyse auf der sicheren Seite liegend durchzuführen. Es ist zu gewährleisten, dass nur solche Kriterien mit „nein“ beurteilt werden, bei denen mit Gewissheit kein Einfluss besteht. Im Zweifelsfall ist das entsprechende Kriterium mit „unklar“ zu beurteilen. Selbst bei vermutlich vernachlässigbar geringem Einfluss ist mit „ja“ zu beurteilen. Eine Prüfung, ob der Einfluss wirklich besteht bzw. ob er auf Grund seiner geringen Größe tatsächlich vernachlässigt werden kann, wird sich nach der Quantifizierung seiner Wirkung beurteilen lassen. Eine fehlerhafte Beurteilung mit „nein“ in der Sensitivitätsanalyse, lässt sich nicht korrigieren, da die mit „nein“ beurteilten Kriterien nicht weiter betrachtet werden.

3.4 Potenzialanalyse

Das Potenzial eines Untersuchungsschwerpunkts (z. B. Baustoffe) lässt sich als Einfluss auf die „Endnote“ der Nachhaltigkeitsbewertung beschreiben, der sich durch überlegte Variantenwahl (z. B. Wahl des Baustoffs) erzielen lässt. Die „Endnote“ ist dabei als der Gesamterfüllungsgrad definiert der zwischen 0 und 100 % liegen kann. Für die Potenzialanalyse werden die Potenziale auf der Ebene der Einzelkriterien betrachtet. Quantifizieren lässt sich das Potenzial eines Untersuchungsschwerpunkts bezogen auf ein bestimmtes Einzelkriterium dann als der Anteil an der Endnote, um den sie sich durch die Veränderung von Parametern innerhalb des betrachteten Untersuchungsschwerpunkts (z. B. Veränderung der Baustoffwahl) verbessern lässt. Ein Gesamterfüllungsgrad von 100 % ist das beste Ergebnis, dass per Definition des Bewertungssystems erreicht werden kann. Hierzu muss jedes Einzelkriterium mit 10 Punkten bewertet werden. Grundsätzlich ist darüber hinaus noch eine weitere Steigerung nachhaltigkeitsrelevanter Eigenschaften möglich, z. B. eine weitere Reduktion des CO₂-Ausstoßes.

Ab dem Erreichen der 10-Punkte-Marke ist aber die Übererfüllung in einem Einzelkriterium innerhalb des Bewertungssystems weder qualitativ noch quantitativ erfassbar und steht somit zur Erfassung und Beschreibung der Potenziale nicht zur Verfügung. Gleiches gilt analog für Verschlechterungen unterhalb der unteren 0-Punkte-Grenze. Bei den Kriterien, die nach der Methode der messbaren Kriterien bewertet werden ist also die Wahl des Referenzwertes und der Faktoren zur Ermittlung von Grenz- und Zielwert von entscheidender Wichtigkeit. Potenziale lassen sich nur dann sicher quantifizieren, wenn die Ergebniswerte der untersuchten Messgröße für alle untersuchten Varianten für das betrachtete Kriterium innerhalb des definierten Bereiches zwischen Grenzwert und Zielwert liegen.

Zur Ermittlung der Potenziale ist zunächst der Anteil jedes Kriteriums an der Endnote zu bestimmen. Dazu gibt es prinzipiell zwei Ansätze:

- a) streng nach dem „alten“ Bewertungssystem (Bewertungssystem Brücke, Stand 2010) und
- b) im Gedankenraum eines angepassten Bewertungssystems, in das die Erkenntnisse aus dem Bewertungssystem „Straße/Tunnel“ sowie im Arbeitspaket 1 erkannte Verbesserungsnotwendigkeiten eingeflossen sind.

Aufgrund der häufig unvollständigen Bewertungsskalen in den Teilsystemen Straße und Tunnel kann nur die Variante b) zu nutzbaren Ergebnissen führen. Die dazu notwendigen Anpassungen der Bedeutungszahlen erfolgt einheitlich für alle drei Teilsysteme und wird für die weitere Bearbeitung innerhalb des Projekts festgelegt, ohne dabei eine Allgemeingültigkeit dieser Bedeutungszahlen zu unterstellen. Für den Eingang in ein allgemeines weiterentwickeltes Bewertungssystem müssen diese Bedeutungszahlen erneut kritisch hinterfragt und neu festgelegt werden. Die Gewichtung der Hauptkriteriengruppen bleibt unverändert. Jedes neu Einbringen oder Löschen eines Kriteriums in einer Hauptkriteriengruppe bedeutet daher für die bestehenden Kriterien eine Verschiebung ihrer vorherigen Gewichtung, bzw. ihres Anteils an der Endnote. Da beispielsweise die Kriterien 3.3 und 3.4 aufgelöst wurden und deren Inhalte, die zuvor auf die Hauptkriteriengruppen 3 und 4 verteilt waren, nun gänzlich den Kriterien 4.3 und 4.4 zugeordnet

sind, ergibt sich zwangsläufig eine Verschiebung der Gewichtung. In Tabelle 1 sind die, die sich aus den neu festgelegten Bedeutungszahlen ergebenden Anteile an der Endnote im Vergleich zum alten Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) dargestellt. Diese Anteile an der Endnote gelten für Strecke, Tunnel und Brücke gleichermaßen, unabhängig davon, ob das eine oder andere Kriterium für eine Infrastrukturart nicht relevant ist, und/oder aus systemspezifischen Gründen aus der Potenzialanalyse ausgeklammert ist.

Ein zu quantifizierendes Potenzial könnte für Kriterium 1.1 (Treibhauspotenzial GWP) also maximal 3,75%-Punkte betragen während es für die Kriterien 1.2 bis 1.5 nur jeweils maximal 1,25%-Punkte betragen kann. Diese Margen bei der Potenzialermittlung zu erreichen ist aber höchst unwahrscheinlich. Es würde voraussetzen, dass eine der betrachteten Varianten im entsprechenden Kriterium 0 Punkte erreicht und eine andere Variante volle 10 Bewertungspunkte.

Besonders im den Hauptkriteriengruppen 3 und 4 gibt es einige Kriterien und Indikatoren, die unabhängig von Konstruktionsweise, Baustoff und Bauprozess sind und ausschließlich auf planerischen Entscheidungen basieren, z. B. die Frage ob Tragreserven eingeplant, Mindestabstände eingehalten oder ein Rückbaukonzept erstellt wurde. Im Rahmen des Variantenvergleichs und der Potenzialanalyse werden daher folgende beiden Planungsvarianten unterscheiden:

- a) „Standardplanung“: Berücksichtigung aller gesetzlich/normativen Anforderungen, jedoch keine zusätzlich Mehrleistungen,
- b) „Nachhaltigkeitsplanung“: Berücksichtigung aller gesetzlich/normativen Anforderungen und zusätzlich Erbringung von Mehrleistungen zur Optimierung der Nachhaltigkeitsbewertung.

Zur Ermittlung der Potenziale der Untersuchungsschwerpunkte Konstruktionsweise, Baustoffe und Bauprozess wird immer von der Standardplanung ausgegangen. Darüber hinaus ist es sinnvoll modulare Maßnahmenpakete zu definieren, mit denen die Nachhaltigkeit auch über den Einflussbereich von Konstruktionsweise, Baustoffen und Bauprozessen hinaus gesteigert werden kann. Die sich auf diese Weise ergebenden Potenziale sind nicht eigentlicher Inhalt des laufenden Vorhabens, können aber im Rahmen der laufenden Projektbearbeitung hilfreich sein, um die ermittelten Potenziale

des betrachteten Untersuchungsschwerpunkts in eine Relation zu anderen, in diesem Falle planerischen, Potenzialen zu setzen. Somit würde eine Möglichkeit gegeben die generelle Praxisrelevanz der ermittelten Potenziale einschätzen zu können. Des Weiteren können durch das systematische Abprüfen von Möglichkeiten zur Bewertungsverbesserung auch Schwachstellen im Bewertungssystem identifiziert werden, insbesondere solche, bei denen dahingehend Manipulations- und Missbrauchsgefahr besteht, dass durch formales Erfüllen eines Kriteriums oder einer Checklistenfrage Bewertungspunkte in einer Größenordnung erreicht werden können, die nicht im Verhältnis zur tatsächlich erreichten Nachhaltigkeit der Maßnahme steht.

In der Variante „Standardplanung“ müssen, wie oben erwähnt alle gesetzlichen Mindestanforderungen erfüllt sein. In der Variante „besonders nachhaltige Planung“ sollten alle darüberhinausgehenden Übererfüllungen berücksichtigt werden, sofern sich dadurch die Nachhaltigkeit erhöhen lässt. Dort fallen also Sachverhalte hinein wie z. B. besonders lärmintensive Bauverfahren, besonders hohe Dauerhaftigkeit der Materialien, Überdimensionierung der Konstruktion, Vorhalten eines zusätzlichen Fahrstreifens. Bewertet werden muss zu jeder Extramaßnahme die Gesamtwirkung auf die Nachhaltigkeit. Wenn z. B. eine Maßnahme im Bereich Ökologie 0,8%-Punkte Verbesserung bringt und dafür im Bereich Ökonomie 0,5%-Punkte Verschlechterung, so ist sie insgesamt nachhaltiger, da sie in Summe 0,3%-Punkte Verbesserung brachte. Maßnahmen, die sich innerhalb eines Kriteriums ausgleichen müssen demnach nicht betrachtet werden, da sie keine Verbesserung der Nachhaltigkeit bedeuten. Maßnahmen die sich über die Summe aller Kriterien ausgleichen, sollten jedoch trotzdem untersucht werden, da jede Anpassung der Bedeutungszahlen zu einer Gewichtungverschiebung zwischen den Kriterien führen kann. Ebenso kann und wird es aufgrund der Dynamik volatiler Rohstoffpreise und stetiger Weiterentwicklung von Produktionstechnologien bezüglich der ökonomischen und ökologischen Wirkung einzelner Materialien über längere Zeiträume immer zu Gewichtungverschiebungen kommen.

Zusätzliche modulare Maßnahmenpakete müssen aber nur für die Fälle definiert werden, bei denen sich bewusst für etwas Zusätzliches entschieden werden muss. Z. B. wenn die bewusste Entscheidung getroffen wird bei gleicher Funktionalität Bauteile mit einer höheren Dauerhaftigkeit einzusetzen.

Kriterium Nr.	Bezeichnung	Anteil an der Endnote	
		alt	neu
1.	Ökologische Qualität		
1.1	Treibhauspotenzial (GWP)	4,50%	3,75%
1.2	Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	1,50%	1,25%
1.3	Ozonbildungspotenzial (POCP)	1,50%	1,25%
1.4	Versauerungspotenzial (AP)	1,50%	1,25%
1.5	Überdüngungspotenzial (EP)	1,50%	1,25%
1.6	Risiken für die lokale Umwelt (Aufteilung s.u.)	1,50%	
1.6a	Risiken für die lokale Umwelt Teil A: Fauna und Flora		0,63%
1.6b	Risiken für die lokale Umwelt Teil B: Boden, Wasser und Luft		0,63%
1.7	Sonstige Wirkungen auf die lokale Umwelt	0,00%	0,00%
1.8a	Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	4,50%	3,75%
1.8b	Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge Linienführung		0,00%
1.9	Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PEne)	4,50%	3,75%
1.10	Gesamprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie (PEe)	1,50%	1,25%
1.11	Wasserbedarf (war für Brücken zurückgestellt)	0,00%	0,00%
1.12	Flächeninanspruchnahme (war für Brücken zurückgestellt)	0,00%	1,25%
1.13	Abfall und Kreislaufwirtschaft (war für Brücken zurückgestellt)	0,00%	1,25%
1.14	Ressourcenschonung (neu)		1,25%
2.	Ökonomische Qualität		
2.1	Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus	13,50%	13,50%
2.2	Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	9,00%	9,00%
2.3	Externe Kosten infolge streckenbedingter Verkehrsbeeinträchtigung (neu)		0,00%
3.	Soziale/funktionale Qualität		
3.1	Schutzgüter: Mensch, Landschaft, Kulturgut	5,63%	
3.1a	Mensch, einschließlich Gesundheit, insbesondere Lärm		3,21%
3.1b	Landschaft		3,21%
3.1c	Kulturgüter und sonstige Sachgüter		3,21%
3.2	Komfort	5,63%	3,21%
3.3	Umnutzungsfähigkeit	5,63%	
3.4	Betrieboptimierung	5,63%	
3.5	Sicherheit gegenüber Störfallrisiken (Security) (war für Brücken zurückgestellt)	0,00%	3,21%
3.6	Verkehrssicherheit (Safety) (war für Brücken zurückgestellt)	0,00%	3,21%
3.7	Förderziele (neu)		3,21%
4.	Technische Qualität		
4.1	elektrische und mechanische Einrichtungen	3,00%	2,50%
4.2	Konstruktive Qualität, Dauerhaftigkeit, Robustheit	9,00%	7,50%
4.3	Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit	6,00%	5,00%
4.4	Verstärkung und Erweiterbarkeit	1,50%	5,00%
4.5	Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit, Demontagefreundlichkeit	3,00%	2,50%
4.6	Herstellbarkeit (neu)		0,00%
5.	Prozessqualität		
5.1	Qualifikation des Planungsteams	3,75%	3,00%
5.2	Nachweis der Nachhaltigkeitsaspekte in Ausschreibung und Vergabe	2,50%	2,00%
5.3	Baustelle/ Bauprozess (war bei Brücke zurückgestellt)	0,00%	1,00%
5.4	Qualität der ausführenden Firmen / Präqualifikation (war bei Brücke zurückgestellt)	0,00%	1,00%
5.5	Qualitätssicherung der Bauausführung	3,75%	3,00%

Tab. 1: Anteile der Einzelkriterien an der Endnote (Gesamterfüllungsgrad)

Oder wenn sich bewusst dafür entschieden wird, das Bauwerk für höhere Lasten zu dimensionieren als das nach den aktuell gültigen Bemessungsregeln erforderlich wäre. Für alle anderen Fälle, bei denen die Übererfüllung aus der Wahl der Alternative innerhalb eines Untersuchungsschwerpunkts selbst herrührt sind die Potenziale auch direkt bei den entsprechenden Untersuchungsschwerpunkten zu berücksichtigen.

Im Rahmen der Potenzialanalyse der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte muss im Umkehrschluss darauf geachtet werden, dass nicht ein Potenzial, das sich lediglich aufgrund einer planerischen Entscheidung ergibt, fälschlicherweise einer der Untersuchungsschwerpunkte Konstruktionsweise, Baustoffe oder Bauprozess zugeordnet wird. In einigen Fällen wird es hier fließende Übergänge geben, die schwer gegeneinander abgrenzbar sind.

Im Rahmen der Potenzialanalyse des laufenden Projekts werden alle Maßnahmen, die mit der Linienführung verbunden sind, nicht betrachtet. Es sollen nur Maßnahmen betrachtet werden, die am Bauwerk vor Ort beeinflusst werden können. Dabei sollen explizit auch Varianten für solche Maßnahmen betrachtet werden, die in der Praxis vom Planer nicht frei wählbar sind, da sie im Planfeststellungsbeschluss oder vergleichbaren Schriftstücken festgelegt bzw. vorgeschrieben werden. Auch innovative Ideen sollten angesprochen werden, auch wenn das Potenzial noch nicht genau bestimmt werden kann.

3.5 Zusammenfassung und Ausblick

Es zeigt sich, dass aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen für Brücke, Strecke und Tunnel unterschiedliche Vorgehensweisen zur Bewertung der Nachhaltigkeitspotenziale notwendig sind. Im Subsystem Brücke konnte auf die Bewertungsmaßstäbe des bestehenden Bewertungssystems zurückgegriffen werden, wodurch sich die Potenziale quantifizieren lassen. In den Subsystemen Strecke und Tunnel fehlt ein Bewertungsmaßstab bis jetzt. Aber auch für das Subsystem Brücke zeichnet sich weiterer Handlungsbedarf bezüglich des Bewertungssystems ab. So sind z. B. für die ursprünglich zurückgestellten Kriterien sowie für die aus den Subsystemen Strecke und Tunnel übertragenen, neu eingeführten Kriterien Bewertungsmaßstäbe zu erarbeiten. Ebenso sind einige Referenzwerte zu hinterfragen und Checklistenfragen neu zu formulieren.

Sämtliche Aktualisierungen oder Anpassungen der Bewertungssysteme werden direkten Einfluss auf die Potenzialanalysen haben. Aktualisierungen in der Datenbank Ökobau.dat werden sich auf die Ökobilanz abhängigen Potenziale auswirken können und Änderungen der Bau- und Rohstoffpreise werden die Potenziale im Bereich der Lebenszykluskosten beeinflussen. Für den Leitfaden wird das bedeuten, dass er regelmäßig aktualisiert werden muss um aussagekräftig zu bleiben.

Bei der Bearbeitung wurde ebenfalls deutlich, dass sich nicht alle Einflüsse, die in Arbeitspaket 1 bei der Sensitivitätsanalyse ermittelt wurden in ein quantifizierbares Potenzial überführen lassen.

Eine umfassendere Bewertung der Potenziale wird nach weiterer Bearbeitung der laufenden Analysen möglich sein.

4 Potenzialermittlung Brücken

4.1 Systemgrenzen, Typenbildung, Clusterung

4.1.1 Allgemeines

Wird das Ziel angestrebt ein Potenzial, welches sich aus der Wahl von Baustoffen, Bauprozessen und Konstruktionsweise ergibt, zu erfassen und zu quantifizieren, so setzt dies voraus,

- a) dass Alternativen ohne gegenseitige Beeinflussung frei wählbar sind,
- b) dass keiner der Parameter, die nicht Gegenstand der alternativen Betrachtung sind, das Ergebnis der Bewertung beeinflusst.

Bei allen untersuchten alternativen Baustoff-, Bauprozess und Konstruktionskombinationen muss es sich also um technisch umsetzbare, praxisübliche Bauweisen handeln und es können immer nur „ähnliche“ Brücken verglichen werden. Ein Vergleich der Golden Gate Bridge mit der Göltzschtalbrücke oder dem Viaduc de Millau hinsichtlich der Nachhaltigkeit der Materialwahl würde keinerlei Aussage generieren können. Notwendig ist es, diese Brücken jeweils im Kontext ihrer Zeit, Funktion, Konstruktion und örtlichen Lage sehen. Für z. B. die Golden Gate Bridge kann nicht einfach gedanklich den Baustoff ausgetauscht werden, um zu prüfen ob sie in Betonbauweise eine bessere Nachhaltigkeitsbewertung erreichen würde. Ihre Konstruktionsweise

als Hängebrücke legt den Baustoff Stahl bereits fest.

Daraus ergibt sich, dass nur Brücken mit gleichen Randbedingungen miteinander verglichen werden können. Am einfachsten ist dies im Zuge eines Variantenvergleichs für den Bau einer Brücke an einem festgelegten Standort möglich. Sobald sich durch den Standort, die örtlichen Randbedingungen und die konkrete Funktion der Brücke unikale Merkmale ergeben, lassen sich die untereinander vergleichbaren Varianten nicht mehr uneingeschränkt mit anderen Brücken vergleichen.

In einer ersten Überlegung hat sich daher gezeigt, dass einzelne Brücken unter definierten Randbedingungen zu Brückentypen zusammengefasst werden müssen.

Zur Unterscheidung und Einordnung der Brücken in Brückentypen eignen sich „Eigenschaftsklassen“, die z. B. jeweils 3 bis 5 unterschiedliche Klassen in den folgenden Kategorien bilden:

- Höhe,
- Spannweite,
- Straßenquerschnitt auf der Brücke,
- Situation, die überquert wird (Verkehrsfläche, Gewässer, freie Landschaft etc.).

Werden jeweils drei Eigenschaftsklassen für Höhe, Spannweite, Straßenquerschnitt und Überquerungssituation definiert, so ergeben sich $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ mögliche Kombinationen. Von diesen theoretischen Kombinationsmöglichkeiten sind jedoch nicht alle möglichen praxisrelevant. Daher wird für die Potenzialanalyse im Rahmen dieses Projektes auf wenige, aber in der Praxis sehr verbreitete Brückentypen fokussiert. Gewählt wurde die Reduktion auf die folgenden vier Brückentypen:

- 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.

Bei allen Typen wird von einer Verkehrssituation „außerorts“ ausgegangen.

Bei der Definition der Brückentypen wird ein Kompromiss aus Übersichtlichkeit und Vollständigkeit eingegangen. Sonderlösungen und Großbrücken sind aus der Betrachtung ausgeschlossen. Durch die gewählten Varianten ist aber ein zahlenmäßiger Großteil der in der Praxis vorkommenden Brücken berücksichtigt.

Alle darüberhinausgehenden oder abweichenden Brücken sind gesondert als Unikate zu betrachten. Für solche Brücken bleibt nur der individuelle Variantenvergleich zur Ermittlung von Nachhaltigkeitspotenzialen. Universelle Potenziale können hier nicht ermittelt werden. Die an den vier Standardbrückentypen ermittelten Potenziale können, und sollten, aber immer als Anhaltspunkt herangezogen werden, die es dann im Einzelfall zu verifizieren gilt. Der Übergang von den Standardbrücken zu den Unikaten ist jedoch fließend. Es wird viele Brücken geben, die den Standardbrückentypen sehr ähnlich sind aber in einzelnen Punkten abweichen. Bis auf diese Abweichenden Punkte (z. B. Einschränkung der Konstruktionshöhe aufgrund der Lage im Bestand) können die Brücken wie die Standardbrückentypen betrachtet werden.

Wie bereits angesprochen ist es bezüglich der Baustoff-, Bauprozess, und Konstruktionswahl erforderlich die technische Umsetzbarkeit zu gewährleisten (Also keine Hängebrücke aus Beton oder keine integrale Brücke in Taktschiebverfahren herstellen). Für die Potenzialanalyse im laufenden Projekt sollte neben der reinen technischen Umsetzbarkeit auch die Praxisrelevanz sichergestellt sein, womit sich die Bandbreite der Baustoff-, Bauprozess und Konstruktionskombinationen weiter reduziert. Des Weiteren ist zu bemerken, dass im laufenden Projekt bei der Potenzialanalyse nur Straßenbrücken der Kategoriegruppe LS nach RIN (Richtlinien für integrierte Netzgestaltung) [FGSV(Hrsg.) (2008b)] untersucht werden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die gefundenen Potenziale unmittelbar auch auf Straßen der Kategoriegruppe AS und VS übertragbar sind und für die Kategoriegruppen HS und ES zumindest sinngemäß anwendbar sind.

Zur Ermittlung der Potenziale werden nur Kombinationen aus Baustoff, Bauprozess und Konstruktionsweise betrachtet, die nach dem heutigen Stand der Technik im Bereich von Bundesfernstraßenbrücken baupraktisch üblich und relevant sind, also für einen Neubau in Frage kommen. Das Bewertungssystem selbst bleibt jedoch auch für Bestandsbrücken offen, die heute nicht mehr praxis-

relevante Konstruktionsweisen und Baustoffe aufweisen. Hierdurch fallen einige grundsätzlich mögliche Variationen, die im Einzelfall vielleicht berechnete Alternativen darstellen, wie beispielsweise reine Stahlüberbauten bei kleinen und mittleren Brücken, aus der Betrachtung der Potenzialanalyse heraus. Die gewonnenen Erkenntnisse können aber unter Berücksichtigung der individuellen Abweichungen auch auf beliebige andere Brücken übertragen werden.

4.1.2 Definitionen der gewählten Brückentypen

Für die vier gewählten Brückentypen wurden folgenden Definitionen bzw. Randbedingungen festgelegt:

Typ 1: Kleine Brücke/Durchlass (für Fuß- und Radwege oder kleine Bäche):

Für die Vergleichsbetrachtungen der Potenzialanalyse wird die Unterführung eines Fuß- und Radweges unter einer auf Dammlage geführten Straße betrachtet.

Annahmen:

- Kreuzung eines Fuß- und Radweges mit einem Straßendamm,
- erforderliches Lichtraumprofil des überbrückten Weges: 2,5 m x 2,5 m,
- Erdüberdeckung oberhalb des Bauwerks: 1,5-2 m.

Neben einem integralen Rahmenbauwerk aus Stahlbeton ist eine Ausführung als elastisch gebettetes Wellstahlrohr möglich. Jedoch besteht aufgrund der lokalen Randbedingungen (Bodenbeschaffenheit, Höhe der Überdeckung etc.) in der Praxis nicht immer die freie Wahl zwischen den beiden Konstruktionsvarianten. Für beide Konstruktionsvarianten geeignete Bodenverhältnisse und Überdeckungshöhen werden im Rahmen der Potenzialanalyse angenommen.

Typ 2: Überführung über eine einbahnige Landstraße oder zweigleisige Bahnstrecke

Annahmen:

- Stützweite der Brücke 15-20 m,
- Lichte Durchfahrtshöhe der Brücke: 7,0 m (ab OK Planum) wegen Bahn mit Oberleitung (sonst

wären es 4,5 m ab OK Straßenbelag, also ca. 5,0-5,40 m ab OK Planum).

Die sich ergebenden betrachteten Varianten für Konstruktionsweise, Baustoffe und Bauprozesse sind unter Kapitel 4.3.1.4 in Tabelle 2 genannt. Weitere Alternativen werden wegen mangelnder Praxisrelevanz vorerst nicht mit berücksichtigt

Typ 3: Autobahnüberführung

Gilt analog auch für die Überbrückung mehrgleisiger Bahnanlagen und sonstiger Situationen, bei denen eine Mittelstütze in der Hälfte grundsätzlich möglich ist.

Annahme:

- Überbrückung einer bis zu 8-streifigen Autobahn (RQ 43,5), Schiefe bis zu 75 gon,
- Stützweite der Brücke ca. 56 m (bzw. $2 \cdot 28$ m),
- lichte Durchfahrtshöhe ca. 5 m.

Die sich ergebenden betrachteten Varianten für Konstruktionsweise, Baustoffe und Bauprozesse sind unter Kapitel 4.3.1.4 in Tabelle 3 genannt. Weitere Alternativen (z. B. Hohlkasten) werden wegen mangelnder Relevanz vorerst nicht mit berücksichtigt.

Typ 4: Flussbrücke

Annahmen:

- lichte Durchfahrtshöhe 6 m über Regelwasserstand,
- Durchfahrtsbreite 50-60 m,
- Länge Brücke ca. 500 m,
- davon Breite des Flusses ca. 200-300 m,
- entweder Stropfeiler, oder eine freie Spannweite von mindestens 300 m.

Bei diesem Brückentyp ergeben sich wesentlich mehr mögliche und auch praxisübliche Konstruktionsweisen. Z. B. kann aufgrund der möglichen Ausführung als Hängebrücke oder Bogenbrücke mit abgehängter Fahrbahn die ansonsten für Straßenbrücken unübliche Fahrbahnplattenausführung als orthotrophe Platte in Stahlbauweise nicht mehr von vorne herein ausgeschlossen werden.

4.1.3 Abgrenzung der betrachteten Varianten

Im Folgenden werden die Konstruktionsweisen, Baustoffe und Bauprozesse, die in der Potenzialanalyse berücksichtigt wurden, erläutert.

4.1.3.1 Konstruktionsweise

Hinsichtlich der Konstruktionsweise kann in integrale Tragwerke (Rahmen) und Balkentragwerken (Träger gelenkig auf Stützen gelagert) unterschieden werden. Für Typ 1 wird nur eine integrale Bauweise untersucht. Eine Besonderheit, in der sich die für Typ 1 betrachteten Brücken von den anderen Brückentypen unterscheiden, ist die Tatsache, dass zwischen der primären Tragstruktur der Brücke und dem Planum des über die Brücke geführten Verkehrsweges eine Erdüberdeckung liegt. Der Straßen- oder Schienenoberbau unterscheidet sich also in keiner Weise vom Oberbau der angrenzenden Strecke. Im Oberbau ist der Übergang von Strecke zu Brücke nicht lokalisierbar. Für alle anderen Brückentypen ist der Überbau gleichzeitig der unmittelbare Träger des über die Brücke geführten Verkehrsweges.

Für Typ 2 wird immer von einer einfeldrigen Konstruktion ausgegangen. Für Typ 3 kann jeweils eine Mittelstütze vorgesehen werden. In den Fällen der Balkenbrücke wird dies aus statischen Sicht immer notwendig sein, für die Intergrale Brücke besteht für Typ 3 die Möglichkeit der Ausführung grundsätzlich mit und ohne Mittelstütze

Bei der Ausführung des Überbauquerschnitts kann für Typ 2 und Typ 3 konstruktiv in Massivplatte, Plattenbalken und Hohlkasten unterschieden werden. In der weiteren Betrachtung der Potenzialanalyse wird der Hohlkasten für Typ 2 und Typ 3 jedoch nicht berücksichtigt, da sein vergleichsweise hoher Herstellungsaufwand für die kleineren Brücken von Typ 2 und 3 nur in Sonderfällen (z. B. starke Kurvigkeit auf der Brücke) zu rechtfertigen ist.

Für Typ 4 kann keine der heutzutage technisch möglichen Konstruktionsweisen von vorne herein ausgeschlossen werden. Über das Spektrum der bei Typ 2 und 3 genannten Konstruktionen sind beispielsweise auch Hängebrücken, Bogenbrücken mit abgehängter Fahrbahn oder Schrägseilbrücken möglich. Im Rahmen der Potenzialermittlung werden die unterschiedlichen Konstruktionsvarianten für den Brückentyp 4 jedoch nicht explizit untersucht.

4.1.3.2 Baustoffe

Für Brückentyp 1 kommen entsprechend der beiden betrachteten Konstruktionsweisen (Wellstahlrohr und Stahlbetonrahmen) die Baustoffe Baustahl bzw. Stahlbeton als primäre Baustoffe in Frage.

Für die weiteren Brückentypen kommt als Baustoff für Gründung und Wiederlager nur Stahlbeton in Frage. Echte Baustoffalternativen ergeben sich für die Brückentypen 2 bis 4 nur für den Überbau. Für Typ 2 und 3 ist hier die Ausführung in Stahlbeton-, Spannbeton- oder Stahlverbundbauweise möglich. Reine Stahlbau Überbauten sind im Bereich von Straßenbrücken unüblich. Die Ausbildung der Fahrbahnplatte als orthotrophe Platte in Stahlbauweise ist im Bereich von Straßenbrücken nach heutigem Stand unüblich und wird nur dort ausgeführt wo die Vorteile des geringeren Eigengewichtes unbedingt erforderlich sind. Üblicherweise werden die Fahrbahnplatten von Straßenbrücken, auch bei Stahlbau Überbauten, aus Beton ausgebildet. Da die Stahlbetonplatten in der Regel auch bei der statischen Berechnung angesetzt werden handelt es sich dann um Verbundbautragwerke.

Bei den Brücken des Typs 4 kann aber, wie bereits erwähnt, aufgrund der größeren Vielfalt praxisüblicher Konstruktionsvarianten dem Baustoff Stahl im Einzelfall durchaus eine signifikantere Rolle zukommen als, bei den Brücken Typ 2 und Typ 3.

Die gewählte Untergliederung in die „Baustoffe“

- Stahlbeton,
- Spannbeton,
- Verbundbau,
- (reiner Stahlbau)

stellt streng genommen eine Untergliederung in Bauweisen dar. Die eigentlichen Baustoffe sind Beton und Stahl (Betonstahl, Spannstahl und Baustahl). Die sinnvolle Verwendung der Baustoffe ist aber nur in gewissen Kombinationen möglich, daher ergibt sich die Notwendigkeit die oben genannten Bauweisen zu definieren, die im Zuge der Potenzialanalyse aber als „Baustoffe“ bezeichnet werden.

Der Baustoff des eigentlichen Fahrbahnbelags wird im Rahmen der Potenzialanalyse im Bereich „Brücke“ nicht betrachtet. Hier wird einheitlich für alle Brückenvarianten von je einer bituminösen Trag- und Deckschicht von je 4 cm Stärke ausgegangen. Eine Untersuchung der Nachhaltigkeitspotenziale des Straßenbelags findet im Bereich „Strecke“ statt.

4.1.3.3 Bauprozess

Für Gründung, Widerlager und Pfeiler kommt als praxisrelevante Bauweise nur eine Erstellung in Ortbeton in Frage.

Für die verschiedenen Überbauvarianten kann grundsätzlich in Ortbetonbauweise und Halbfertigteilbauweise mit Ortbetonergänzung unterschieden werden. Eine reine Fertigteilbauweise, bei der die Bauteile des Überbaus keine Ortbetonergänzung benötigen wird für die Brücken des Typs 2 und 3 nicht betrachtet. Für Brücken des Typs 1 ist eine reine Fertigteilösung hingegen denkbar.

Wird als Überbauquerschnitt eine Massivplatte gewählt, so bietet sich nur die Erstellung in Ortbeton an. Anders als im Hochbau wird im Brückenbau bei Massivplatten die Halbfertigteilbauweise nicht angewandt, da es hier aufgrund der häufigen Lastwechsel zu Problemen in der Verbundfuge kommen kann. Prinzipiell könnte bei einer Bauweise in Ortbeton noch unterschieden werden, ob die Schalung auf einem schweren oder leichten Traggerüst erstellt wird. Bei der Wahl eines leichten Traggerüsts wäre aber der Raum unter der Brücke über den gesamten Zeitraum der Bauarbeiten blockiert, was bei einer Brücke über einen Verkehrsweg die Sperrung desselben für die Dauer der Bauarbeiten bedeuten würde. Daher wird diese Variante für Brückentyp 2 und 3 nicht weiter betrachtet. Bei der Verwendung eines schweren Traggerüsts werden nur kurzzeitige Sperrpausen benötigt.

Bei der Verwendung eines Plattenbalkenquerschnitts besteht die Möglichkeit sowohl in Ortbetonbauweise als auch in Halbfertigteilbauweise zu bauen. Aufgrund der im Vergleich zur Massivplatte veränderten Lage der Verbundfuge im Querschnitt bestehen beim Plattenbalken keine Probleme bezüglich der Dauerhaftigkeit bei nicht ruhenden Lasten. Bei der Halbfertigteilbauweise werden die Stege mit anbetonierten Plattenteilen als Fertigteile auf die Baustelle geliefert, sodass in der Regel kleinflächige Schalung für die Ortbetonergänzung notwendig ist. Die gilt gleichermaßen für Stahlbeton-, Spannbeton- oder Verbundbauweise. Bei einer Ausführung in Spannbeton können die Halbfertigteile entweder mit sofortigem Verbund oder mit nachträglichem Verbund hergestellt werden. Eine Kombination ist ebenfalls möglich.

Bei einer reinen Ortbetonbauweise ist für Spannbeton nur die Vorspannung mit nachträglichem Verbund möglich.

Für Brücken des Typs 4 ergeben sich, entsprechend der möglichen Konstruktionsweisen, eine Vielzahl weiterer Bauprozesse, die jedoch nicht explizit untersucht werden

Prinzipiell ist es möglich den Bauprozess auf baubetriebliche Ebenen noch weiter zu unterteilen, z. B. zu unterscheiden wie betoniert wird, mit Kran und Kübel oder mit Betonpumpe, ob ein ortsfester Kran zum Einsatz kommt oder mit einem Autokran gearbeitet wird, usw.

Im derzeitigen Bewertungssystem wird der Bauprozess aber nur sehr marginal erfasst. In der Ökobilanz geht der Bauprozess immer durch einen pauschalen Faktor ein mit dem die Umweltwirkungen der Baustoffdatensätze zu multiplizieren sind. D. h. selbst wenn zwischen dem Betonieren mit Kran und Kübel und dem betonieren mit Betonpumpe ein Unterschied in der Umweltbelastung bestehen würde, könnte dieser im derzeitigen System nicht erfasst werden.

Für die Wirkung des Bauprozesses im Bereich der Hauptkriteriengruppe 2, d. h. sein Einfluss auf die Lebenszykluskosten, gilt ähnliches. Intern wird ein ausführender Bauunternehmer immer prüfen, welche Variante zum Betoneinbau für ihn die wirtschaftlichste ist, nach außen hin wird er im Angebot aber nur einen Einzelpreis für „1 m³ Beton liefern und einbauen“ nennen. Aus diesem Einzelpreis sind keine Rückschlüsse auf einen Kostenvergleich unterschiedlicher Bauprozesse möglich.

Auf eine genauere Untersuchung der Bauprozesse auf baubetrieblicher Ebene wurde daher im Rahmen der Potenzialanalyse im laufenden Projekt verzichtet.

Um das Potenzial, welches die Bauprozesse tatsächlich beinhalten nicht völlig unbeachtet zu lassen wurde neben den Bauprozessvarianten „Ortbeton“ und „Halbfertigteilbauweise“ noch ein dritter Bauprozess eingeführt. Hierbei handelt es sich um einen fiktiven „besonders schonenden“ bzw. „besonders optimierten“ Bauprozess.

Ähnlich wie beim allgemeinen Vorgehen, bei dem von einer „Standardplanung“ ausgegangen wird, die über die Einhaltung der gesetzlich/normativen Anforderungen hinaus keine Mehrleistungen berücksichtigt wird beim Bauprozess im Allgemeinen davon ausgegangen, dass der günstigste Bauprozess der alle gesetzlich/normativen Mindestanforderungen erfüllt zum Einsatz kommt. Bei dem für die Potenzialanalyse eingeführten fiktiven beson-

ders schonenden Bauprozess wird davon ausgegangen dass immer das technisch mögliche Optimum zur Schonung von Mensch und Umwelt umgesetzt wird (besonders lärmarm, besondere erschütterungsarm etc.). Durch dieses Vorgehen werden mögliche Potenziale im Bereich Bauprozess aufgezeigt. Ob, und wie, diese tatsächlich realisiert werden können ist gesondert, im Rahmen einer genaueren Untersuchung der Nachhaltigkeit von Baustellenprozessen zu prüfen.

4.1.4 Übersicht der untersuchten Kombinationen

Für Brückentyp 1 werden die Varianten Wellstahlrohr und Stahlbetonrahmen betrachtet. Zur Ermittlung der Potenziale werden dazu nur die Bereiche genauer untersucht, die sich bei beiden Varianten signifikant unterscheiden.

Für die Abschätzung der ökobilanzabhängigen Kriterien wird nur die primäre Tragstruktur in Brückenmitte unterscheiden.

Aufgrund der angenommenen ausreichenden Erdüberdeckung wird der Verkehrsweg oberhalb der Brücke als nicht signifikant beeinflusst angenommen. Ebenso wird davon ausgegangen dass bei beiden Varianten die notwendigen Maßnahmen zur Gestaltung der Rand- und Böschungsbereiche (Flügelwände, Geländer etc.) vergleichbar sind und sich daher in ihren Kosten und Umweltwirkungen nicht signifikant unterscheiden.

Die sich aus den obengenannten Überlegungen für Brückentyp 2 und 3 ergebenden, in der Potenzialanalyse behandelten, Kombinationen der Untersuchungsschwerpunkte sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellt.

Nr.	Konstruktionsweise	Baustoff	Bauprozess	
1	Integral, Einfeldrahmen, Massivplatte	Stahlbeton	Ortbetonbauweise	
2			besonders schonender Bauprozess	
3		Spannbeton	Ortbetonbauweise	
4			besonders schonender Bauprozess	
5	Integral, Einfeldrahmen, Plattenbalken	Stahlbeton	Ortbetonbauweise	
6			Halbfertigteilbauweise	
7			besonders schonender Bauprozess	
8			Spannbeton	Ortbetonbauweise
9		Halbfertigteilbauweise		
10		besonders schonender Bauprozess		
11		Verbundbau		Ortbetonbauweise
12			Halbfertigteilbauweise	
13			besonders schonender Bauprozess	
14			Balkenbrücke, Einfeldträger, Massivplatte	Stahlbeton
15		besonders schonender Bauprozess		
16		Spannbeton		Ortbetonbauweise
17	besonders schonender Bauprozess			
18	Balkenbrücke, Einfeldträger, Plattenbalken	Stahlbeton	Ortbetonbauweise	
19			Halbfertigteilbauweise	
20			besonders schonender Bauprozess	
21			Spannbeton	Ortbetonbauweise
22		Halbfertigteilbauweise		
23		besonders schonender Bauprozess		
24		Verbundbau		Ortbetonbauweise
25			Halbfertigteilbauweise	
26			besonders schonender Bauprozess	

Tab. 2: Kombinationen von Untersuchungsschwerpunkten für Brückentyp 2

Nr.	Konstruktionsweise	Baustoff	Bauprozess	
1	Integral, Einfeldrahmen, Plattenbalken	Stahlbeton	Ortbetonbauweise	
2			Halbfertigteilbauweise	
3			besonders schonender Bauprozess	
4		Spannbeton	Ortbetonbauweise	
5			Halbfertigteilbauweise	
6			besonders schonender Bauprozess	
7		Verbundbau	Ortbetonbauweise	
8			Halbfertigteilbauweise	
9			besonders schonender Bauprozess	
10	Integral, 2-Feld-Rahmen, Massivplatte	Stahlbeton	Ortbetonbauweise	
11			besonders schonender Bauprozess	
12		Spannbeton	Ortbetonbauweise	
13			besonders schonender Bauprozess	
14	Integral, 2-Feld-Rahmen, Plattenbalken	Stahlbeton	Ortbetonbauweise	
15			Halbfertigteilbauweise	
16			besonders schonender Bauprozess	
17		Spannbeton	Ortbetonbauweise	
18			Halbfertigteilbauweise	
19			besonders schonender Bauprozess	
20		Verbundbau	Ortbetonbauweise	
21			Halbfertigteilbauweise	
22			besonders schonender Bauprozess	
23		Balkenbrücke, 2-Feld-Träger, Massivplatte	Stahlbeton	Ortbetonbauweise
24				besonders schonender Bauprozess
25			Spannbeton	Ortbetonbauweise
26	besonders schonender Bauprozess			
27	Balkenbrücke, 2-Feld-Träger, Plattenbalken		Stahlbeton	Ortbetonbauweise
28				Halbfertigteilbauweise
29		besonders schonender Bauprozess		
30		Spannbeton	Ortbetonbauweise	
31			Halbfertigteilbauweise	
32			besonders schonender Bauprozess	
33		Verbundbau	Ortbetonbauweise	
34			Halbfertigteilbauweise	
35			besonders schonender Bauprozess	

Tab. 3: Kombinationen von Untersuchungsschwerpunkten für Brückentyp 3

Aufgrund der Vielzahl praxisüblicher möglicher Kombinationsvarianten, die ein Vielfaches der Varianten von Typ 2 und Typ 3 ergeben würden, wird zur Potenzialermittlung bei Typ 4 auf die diskrete Untersuchung einzelner konkret definierter Kombinationen verzichtet. Bei der Bestimmung

der Potenziale wird jeweils die gesamte Bandbreite der möglichen Bewertungen berücksichtigt, das heißt die beste und die schlechteste Bewertung die sich in einem Kriterium für eine Brücke des Typs 4 nach der Standardplanung jeweils ergeben kann.

4.2 Vorgehensweise

4.2.1 Allgemeines Vorgehen

Das Vorgehen bei der Potenzialermittlung ist prinzipiell für alle 4 Brückentypen identisch. Besonders für Typ 1 und Typ 4 ergibt sich jedoch aufgrund der im Rahmen der Untersuchungen gewählten Randbedingungen, die Notwendigkeit für individuelle Abweichungen und Sonderregelungen. Nach der Erläuterung des Grundprinzips der Potenzialermittlung wird daher im Anschluss auf die Abweichungen bei den einzelnen Brückentypen gesondert eingegangen.

Bereits bei der Erläuterung der Typenbildung wurde deutlich gezeigt, dass sich Baustoff, Bauprozess und Konstruktionsweise nicht willkürlich unabhängig kombinieren lassen. Da nur bestimmte Kombinationen dieser Untersuchungsschwerpunkte sinnvoll betrachtet werden können, besteht die Schwierigkeit darin, das ermittelte Potenzial den einzelnen Untersuchungsschwerpunkte zuzuordnen. Um sicherzustellen, dass sich bei der Ermittlung die Potenziale nach Baustoffen, Bauprozessen und Konstruktionsweise trennen lassen wird in der Bewertung folgendes Vorgehen gewählt.

Die Untersuchungsschwerpunkte werden in 3 Ebenen betrachtet.

1. Konstruktionsweisen,
2. Baustoffe,
3. Bauprozesse.

Damit soll dem Vorgehen in der Praxis Rechnung getragen werden, dass in der Regel zuerst eine Konstruktionsweise gewählt wird, dann eine Entscheidung für den Baustoff fällt und erst dann im Nachgang der Bauprozess geplant wird. Auch wenn sich diese Trennung des Ablaufes in der Praxis oft nicht so klar darstellt und es Überschneidungen und Schleifen gibt, besteht die prinzipielle Reihenfolge erst Konstruktion, dann Baustoff, dann Bauprozess.

Für die Bewertung der Potenziale folgt daraus, dass für die Betrachtung des Bauprozesses Konstruktion und Baustoff jeweils als feststehend angenommen werden. Das heißt für jede Konstruktions-Baustoff-Kombination werden die unterschiedlichen Bauprozesse betrachtet. Nur wenn sich hinsichtlich der Nachhaltigkeitsbewertung innerhalb einer Konstruktions-Baustoff-Kombination durch die Variation

der Bauprozesse Unterschiede ergeben lässt sich dieses Potenzial dem Bauprozess zuschreiben.

Bei der Untersuchung der Baustoffalternativen wird die Konstruktionsweise jeweils als feststehend angesehen und der Bauprozess als „Ohne Einfluss“ betrachtet. Dazu muss für die Ermittlung des Gesamtzieleerfüllungsgrades im Rahmen der Potenzialanalyse immer der Bauprozess herangezogen werden der für die gerade betrachtete Konstruktions-Baustoff-Kombination zur besten Gesamtnote führt. Nur so ist sichergestellt, dass das sich bei der Betrachtung ergebende Potenzial tatsächlich aus der Wahl des Baustoffs stammt und nicht durch den Bauprozess beeinflusst ist.

Ebenso ist beim Vergleich der unterschiedlichen Konstruktionsweisen in der Bewertung immer die Baustoff-Bauprozess-Kombination zu berücksichtigen, die für diese Konstruktionsweise das beste Ergebnis in der Nachhaltigkeitsbewertung ermöglicht.

Zur Ermittlung der Potenziale werden alle Brückenvarianten komplett anhand des Bewertungssystems bewertet. Die Potenziale lassen sich dann durch den Vergleich der Varianten auf Ebene der Kriterien bzw. der Unterkriterien ermitteln. Sind die Teilnoten eines Kriteriums oder Unterkriteriums für die untersuchten Varianten gleich, so besteht kein Potenzial des variierten Untersuchungsschwerpunkts auf dieses Kriterium, unabhängig davon ob die Teilnote schlecht oder gut ist. Bestehen jedoch Unterschiede deutet das auf ein Potenzial des variierten Untersuchungsschwerpunkts hin.

In Kapitel 3.4 wurde bereits die Anteile der einzelnen Kriterien an der Endnote bzw. dem Gesamterfüllungsgrad dargestellt. Zur Quantifizierung eines Potenzials muss nun der Einfluss unterschiedlicher Varianten von Baustoff, Bauprozess und Konstruktionsweise innerhalb der einzelnen Kriterien betrachtet werden. Dazu muss jeweils innerhalb des Kriteriums betrachtet werden, wie sich die Zielerreichung verändert, d. h. wie viele der maximal erreichbaren 10 Bewertungspunkte im Kriterium erreicht werden. Aus der Punktedifferenz unersichtlich bewerteter Varianten und den zuvor bestimmten Anteilen der einzelnen Kriterien an der Endnote kann dann der Einfluss bzw. das Potenzial einer bestimmten Maßnahme auf die Endnote berechnet werden. Der Wert des Potenzials wird dabei in %-Punkten angegeben bezogen auf die Endnote bzw. den Gesamterfüllungsgrad, der Werte zwischen 0%- und 100%-Punkten annehmen kann.

Die Berechnungsweise wird nachfolgend am Beispiel des Kriteriums Treibhauspotenzial (GWP) erläutert: Angenommen bei einem Variantenvergleich hinsichtlich der Baustoffwahl werden für die Variante mit dem geringsten GWP-Wert im Kriterium Treibhauspotenzial beispielsweise 7 Bewertungspunkte erreicht werden, während für die Variante mit dem höchsten GWP-Wert nur 2 Bewertungspunkte erreicht werden. 7 Punkte entsprechen 70 % der erreichbaren Punkte des Kriteriums. Bezogen auf den Gesamterfüllungsgrad wurden also 70 % vom Anteil dieses Kriteriums an der Endnote, also 70 % von 3,75 % erreicht. Das entspricht 2,625%-Punkten. Die nominelle Größe des Referenzwerts spielt bei der Potenzialermittlung eine untergeordnete Rolle. Ausschlaggebend ist jeweils der Vergleich der besten Variante mit der schlechtesten Variante des betrachteten Kriteriums. 2 Punkte entsprechen einem Zielerfüllungsgrad von 20 %. Es ergibt sich also ein Anteil an der Endnote von 0,75 %. Die Differenz liegt bei 1,875 %. Für den untersuchten Sachverhalt (z. B. Variation des Baustoffes) lässt sich also ein „Potenzial“ von 1,875%-Punkten auf die Beeinflussung der Endnote ermitteln.

Bei der Angabe dieses Potenzials ist es notwendig, die untersuchten Varianten anzugeben. Ein hohes Potenzial kann sich immer dann ergeben, wenn die Ergebnisse der untersuchten Varianten weit auseinander liegen (gleichmäßig verteilt) es wird sich aber genauso ergeben, wenn alle Varianten, bis auf eine, eng beieinander liegen und z. B. ein gutes Ergebnis erzielen und nur eine Variante aus der Reihe fällt, weil sie z. B. einfach ungeeignet ist und dadurch ein besonders schlechtes Ergebnis liefert. Bei der abschließenden Bewertung ist zu prüfen, dass solche Fälle nicht die Regel werden. Das heißt ggf. ist dann eine Variante (mit Begründung) auszuschließen, um ein realistisches Bild zu erlangen. Der hier dargelegte Sachverhalt unterstreicht nochmals die Notwendigkeit, nur realistische und praxisübliche Bauwerksvarianten zu betrachten. Insgesamt ist in der Bewertung das „Potenzial“ noch ergänzend zu beschreiben, sodass ersichtlich wird welche Varianten gute Ergebnisse liefern und welche schlechte. Auch bei Kriterien, bei denen kein Potenzial ermittelt wurde (weil alle Varianten das gleiche Resultat auf das Bewertungspunkte-Ergebnis des jeweiligen Kriteriums geliefert haben), muss dokumentiert werden welche Varianten untersucht wurden und welche ggf. wegen unrealistischer Randbedingungen ausgeschlossen wurden. Zu der Aussage, dass beispielsweise die Wahl des

Baustoffs keinen Einfluss auf ein gewisses Kriterium hat muss immer angegeben werden, für welche Baustoffe dies untersucht wurde. Die Aussage „hat keinen Einfluss“ kann nicht auf Baustoffe übertragen werden, die nicht Gegenstand der Untersuchung waren.

In Anlage 2 werden alle Kriterien des Bewertungssystems im Einzelnen erörtert, wo es erforderlich ist, wird dabei auf Besonderheiten des Subsystems Brücke sowie auf Abweichungen vom ursprünglichen Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) eingegangen.

4.2.2 Brücken Typ 1

Viele der im bestehenden Bewertungssystem abgefragten Kriterien lassen sich nicht auf die Brücken des Typs 1 anwenden. In der durchgeführten Vergleichsbetrachtung zur Potenzialermittlung müssen relativ viele Fragen als „neutral“ betrachtet werden. Die bei Typ 1 betrachteten Varianten enthalten allesamt weder Lager noch Übergangskonstruktionen. Da der auf der Brücke geführte Verkehrsweg weitestgehend unabhängig vom eigentlichen Brückenbauwerk ist, erübrigen sich auch alle Fragen die sich mit dessen Ausführung befassen. Die Benchmarks für Lebenszykluskosten und ökobilanzabhängige Werte lassen sich ebenfalls nicht ohne Anpassung anwenden, da bereits die Definition der sonst üblichen Bezugsfläche für die Brücken des Typs 1 nicht mehr sinnvoll anwendbar ist.

Zur Bewertung der ökobilanzabhängigen Fragen wurde nur die jeweils unterschiedliche primäre Tragstruktur bilanziert. Betrachtet wurde hierzu ein Brückensegment von 1 m Breite. Als Längenbezug wurde die Breite des erforderlichen Lichtraumprofils unter der Brücke von 2,5 m gewählt. Die sich damit ergebenden Werte pro Quadratmeter und Jahr liegen alle weit unterhalb der Zielwerte des bestehenden Bewertungssystems. Im Rahmen der durchgeführten Potenzialermittlung wurden relative Grenzen für die Werte derart gewählt, dass alle Bewertungsergebnisse im signifikanten Bereich, also zwischen 0 und 10 Bewertungspunkten liegen.

Eine Bewertung der Lebenszykluskosten wurde für die Brücken des Typs 1 nicht durchgeführt. Eine Abschätzung der Kosten durch einen Vergleich mit den Brückentypen 2 und 3 anhand der verbauten Materialmassen ist nicht sinnvoll. Der Anteil an bauprozessbedingten Kosten, der sich nicht über die Massenbilanz der Primärstruktur erfassen lässt be-

stimmen lässt, ist bei den kleinen Brücken des Typs 1 wesentlich größer als bei den Brücken des Typs 2 und 3. Die Ermittlung der Lebenszykluskostenpotenziale muss durch den Vergleich realer Bauwerke des Typs 1 abgeschätzt werden.

Eine Besonderheit bei der Bewertung stellt Kriterium 3.1b „Landschaft“ dar. Dieses Kriterium wurde stellvertretend für die mögliche subjektive Nichtakzeptanz des Erscheinungsbildes von Wellstahlrohren herangezogen. Das Kriterium Schutz des Landschaftsbildes ist streng genommen nicht das richtige, es wird aber stellvertretend herangezogen, da im bestehenden Bewertungssystem ein Kriterium zur Erfassung der subjektiven Akzeptanz bzw. Präferenz von Gestaltung, Erscheinungsbild und Wahrnehmung des Bauwerks durch Entscheidungsträger und Betroffenen fehlt. Mit der durchgeführten Bewertung soll keine Aussage über die tatsächliche Qualität von Wellstahlrohren in Bezug auf das Landschaftsbild und das Erscheinungsbild der Brücke gemacht werden, sondern lediglich ein Potenzial aufgezeigt werden, welches ggf. als Konfliktpotenzial vorhanden ist.

4.2.3 Brücken Typ 2 und Typ 3

Typ 2 und Typ 3 bilden den Teil der zu untersuchenden Brücken, für den sich aufgrund der vorhandenen aber dennoch auf eine übersichtliche Anzahl beschränkten Variationsvielfalt am besten Potenziale ermitteln lassen. Die unter Kapitel 4.2.1 beschriebene Vorgehensweise lässt sich hier für alle zu untersuchenden Kriterien gut anwenden. Aufgrund des gewählten Untersuchungsumfanges und der gewählten Randbedingungen sind für die Brückentypen 2 und 3 keine Sonderregelungen bei der Potenzialermittlung erforderlich.

4.2.4 Brücken Typ 4

Bei Typ 4 kann die Potenzialermittlung ebenfalls nach dem in Kapitel 4.2.1 beschriebenen Prinzip erfolgen. Die Bewertung muss aber weiter abstrahiert werden, da die konkrete Betrachtung aller möglichen Kombinationsvarianten den Rahmen einer solchen Untersuchung sprengen würde. Für jedes Kriterium wird nur noch erfasst welche Ausprägungen extremal möglich sind ohne dabei auf konkrete Beispiele einzugehen.

Bezüglich LCA und LCC ist es bei den Brücken dieses Typs nicht a-priori auszuschließen, dass auch bei praxisüblichen Konstruktionen die vorgegebenen

Grenzwerte überschritten werden. Eine Brücke, die in allen LCC und LCA Kriterien die Zielwerte erreicht bzw. unterschreitet und damit die höchste Bewertung erzielt ist ebenso denkbar. Daher wird für alle LCA und LCC abhängigen Kriterien der volle Potenzialspielraum von 10 Bewertungspunkten angesetzt. Es ergibt sich also immer das volle Potenzial.

Verfahrensbedingt sind durch diese Betrachtungsweise für Brückentyp 4 größere Potenziale zu erwarten als für die anderen Brückentypen, da nicht jede sich theoretisch ergebende Maßnahmenkombination im Vorfeld auf ihr tatsächliches Vorkommen überprüft wurde. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass sich für Brücken des Typs 4 jedoch wesentlich mehr Gestaltungsspielraum hinsichtlich unterschiedlicher Konstruktionen, Baustoffkombinationen und Bauprozesse ergibt, als für die anderen Brückentypen, wird der hierdurch gemachte Fehler als hinnehmbar klein erachtet.

4.3 Nachhaltigkeitspotenziale für das Subsystem Brücke

4.3.1 Quantifizierbare Potenziale

Viele der grundsätzlich vorhandenen Potenziale lassen sich im Rahmen der Potenzialanalyse nicht quantifizieren, da sie entweder keinem der Untersuchungsschwerpunkte eindeutig zuzuordnen sind oder da sie von äußeren Randbedingungen abhängen die für die untersuchten Brückenvarianten nicht variiert wurden. Bei einer vergleichenden Bewertung ist bei einigen Kriterien jedoch eine Quantifizierung explizit möglich.

Nachfolgend wird für jede Hauptkriteriengruppe auf die quantifizierbaren Potenziale genauer eingegangen. Die quantifizierbaren Ergebnisse der Potenzialermittlung sind für alle Brückentypen in Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellt.

4.3.1.1 Hauptkriteriengruppe 1 „Ökologische Qualität“

Innerhalb der Hauptkriteriengruppe „Ökologische Qualität“ lassen sich für alle Kriterien, die auf Basis einer Ökobilanz bewertet werden Potenziale quantifizieren. Nach dem Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) sind das die folgenden Kriterien:

- 1.1 Treibhauspotenzial (GWP),
- 1.2 Ozonschichtabbaupotenzial (ODP),

- 1.3 Ozonbildungspotenzial (POCP),
- 1.4 Versauerungspotenzial (AP),
- 1.5 Überdüngungspotenzial (EP),
- 1.9 nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PEne),
- 1.10 Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie (PEe).

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde darüber hinaus für folgende neu eingeführten bzw. zuvor zurückgestellten Kriterien ebenfalls eine vergleichende Bewertung auf Basis einer Ökobilanz durchgeführt:

- 1.13 Abfall und Kreislaufwirtschaft,
- 1.14 Ressourcenschonung.

Es besteht insofern auch für diese beiden Kriterien die Möglichkeit einer Quantifizierung der Potenziale.

Neben den ökobilanzabhängigen Potenzialen besteht innerhalb des Kriteriums 1.6a „Risiken für die lokale Umwelt Teil A: Fauna und Flora“ für die Indikatoren „Sukzessionslenkung: Behinderung von Wildwechsel während der Herstellung“ und „Lärmbeeinträchtigung der Fauna während der Herstellung“ ein quantifizierbares Potenzial. Dieses lässt sich dem Untersuchungsschwerpunkt Bauprozess zuordnen. Innerhalb des Kriteriums 1.6b „Risiken für die lokale Umwelt Teil B: Boden, Wasser und Luft“ lassen sich ebenfalls Potenziale quantifizieren. Der Indikator „Erschütterungen“ birgt ein Potenzial hinsichtlich des Untersuchungsschwerpunkts Bauprozess. Der Indikator „Bodenaushub, Erdbewegungen“ birgt für den Brückentyp 4 theoretisch ein Potenzial hinsichtlich des Untersuchungsschwerpunkts Konstruktionsweise. Für die Brückentypen 1 bis 3 besteht hier kein quantifizierbares Potenzial. In der Praxis wird sich dieses Potenzial bei Brückentyp 4 jedoch oft nicht nutzen lassen, da aufgrund der individuellen Randbedingungen im Einzelfall oft keine freien Wahlmöglichkeiten bzw. Alternativen bestehen. Die gleiche Einschränkung gilt auch für Kriterium 1.12 „Flächeninanspruchnahme“ bei dem sich theoretisch im Rahmen der Potenzialanalyse auch ein Potenzial für Brückentyp 4 quantifizieren lässt.

4.3.1.2 Hauptkriteriengruppe 2 „Ökonomische Qualität“

In der zweiten Hauptkriteriengruppe lässt sich für Kriterium 2.2 „Direkte bauwerksbezogenen Le-

benszykluskosten“ ein Potenzial bei den Brückentypen 2 und 3 quantifizieren. Um die Bewertung zu ermöglichen mussten jedoch die Referenzwerte angepasst werden, sodass alle untersuchten Brückenvarianten in einem bewertbaren Bereich zwischen Grenzwert und Zielwert liegen. Unter Verwendung der Referenzwerte aus dem Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) wären alle Brückenvarianten der Brücken 2 und 3 in diesem Kriterium mit 10 Bewertungspunkten zu bewerten gewesen, womit eine Quantifizierung des jeweiligen Potenzials nicht mehr möglich gewesen wäre. Für Brückentyp 1 und Brückentyp 4 wurde keine explizite Betrachtung der Lebenszykluskosten durchgeführt. Das quantifizierte Potenzial bei Brückentyp 4 ergibt sich aus einer Grenzfallbetrachtung. Für das Kriterium 2.3 „Externe Kosten infolge streckenbedingter Verkehrsbeeinträchtigung“ wurden keine quantifizierbaren Potenziale ermittelt, da dieses Kriterium in hohem Maße von Randbedingungen beeinflusst wird, die im Rahmen der Potenzialanalyse nicht untersucht wurden, wie beispielsweise der Ausbauzustand und die Auslastung des umliegenden Streckennetzes oder die tatsächlich vorhandene Verkehrsstärke auf der betrachteten Brücke.

4.3.1.3 Hauptkriteriengruppe 3 „Soziokulturelle und funktionale Qualität“

Im Gegensatz zu den beiden ersten Hauptkriteriengruppen findet in der dritten Hauptkriteriengruppe keine Bewertung mit messbaren Kriterien statt, sondern nur eine Bewertung mittels Checklistenfragen. Dadurch ergeben sich nur wenige Möglichkeiten hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte Potenziale differenzieren zu können. Ein Großteil der Potenziale innerhalb dieser Hauptkriteriengruppe sind Potenziale im Rahmen einer „besonders nachhaltigen Planung“. Quantifizieren lässt sich im Kriterium 3.1a „Mensch, einschließlich menschliche Gesundheit insbesondere Lärm“ ein Potenzial anhand des Teilkriteriums „Lärmbeeinträchtigung des Menschen während der Herstellung“. Dieses lässt sich dem Untersuchungsschwerpunkt Bauprozess zuordnen. Weiterhin besteht ein quantifizierbares Potenzial bei dem Indikator „Anzahl der Übergangskonstruktionen auf der primären Verkehrsstrecke“ welches sich dem Untersuchungsschwerpunkt Konstruktionsweise zuordnen lässt. In der Praxis lässt sich dieses Potenzial jedoch bei längeren Brücken u. U. nicht ausschöpfen, da ab einer gewissen Bauwerkslänge auch bei Rahmenbauwerken Übergangskonstruk-

tionen zum Anschluss der Fahrbahn der freien Stracke an den Brückenüberbau notwendig sind. Bei Kriterium 3.1b „Landschaft“ wurde im Sinne einer Grenzfallbetrachtung für den Brückentyp 1 ein Potenzial festgestellt und dem Untersuchungsschwerpunkt Konstruktionsweise zugeordnet. Dieses Potenzial betrifft nicht die Wirkung auf das eigentliche Landschaftsbild (Fernwirkung) sondern nur die sinnlich wahrnehmbare Wirkung im Nahbereich des Bauwerks. Im Gegensatz zu den größeren Brücken der Brückentypen 2 bis 4 spielt die durch Konstruktionsweise und Gestaltung beeinflusste wahrnehmbare Wirkung im unmittelbaren Nahbereich bei Rad- und Fußwegunterführungen eine größere Rolle für das subjektive Sicherheits- und Behaglichkeitsempfinden der Nutzer. Somit besteht hier ein Potenzial von Konstruktionsweise und Gestaltung hinsichtlich der Akzeptanz des Bauwerks durch die Nutzer der sekundären Verkehrsstrecke (Radfahrer und Fußgänger). Bei Durchlässen, die als Querungshilfen für Wildtiere genutzt werden, besteht diese Potenzial ebenfalls, da auch hier die Konstruktionsweise und die Gestaltung für die Funktionalität der Querungshilfe und für ihre Akzeptanz durch die Tierwelt entscheidend sind. Dieses Potenzial könnte prinzipiell den Indikatoren „Optische Empfindung des vorhandenen Verkehrsraums“ und „Subjektives Sicherheitsgefühl“ im Teilkriterium „Optische Führung“ im Kriterium 3.2 „Komfort“ zugeordnet werden. Da diese Indikatoren jedoch für die Potenzialanalyse bei Brücken ausgeblendet wurden, wurde das Potenzial an dieser Stelle im Kriterium 3.1b „Landschaft“ quantifiziert. Im Kriterium 3.2 lassen sich zu den Indikatoren „Anzahl der Übergangskonstruktionen auf der primären Verkehrsstrecke und „Anschluss Fahrbahnbelag der primären Verkehrsstrecke“ Potenziale quantifizieren und dem Untersuchungsschwerpunkt Konstruktionsweise zuordnen.

4.3.1.4 Hauptkriteriengruppe 4 „Technische Qualität“

In der vierten Hauptkriteriengruppe lassen sich im Kriterium 4.1 „Elektrische und mechanische Einrichtungen“ Potenziale hinsichtlich der Konstruktionsweise bestimmen, da bei integralen Brücken prinzipiell keine Wartungs- und Austauscharbeiten an Lagern und Übergangskonstruktionen durchzuführen sind. In Kriterium 4.2 „Konstruktive Qualität, Dauerhaftigkeit, Robustheit“ lässt sich anhand des Indikators „statisches System“ und „Widerstand der Konstruktion“ ebenfalls Potenziale hinsichtlich

des Untersuchungsschwerpunkts Konstruktionsweise bestimmen. Weiter lässt sich in diesem Kriterium anhand des Indikators „Komplexität des Bauverfahrens“ Potenziale sowohl hinsichtlich des Untersuchungsschwerpunkts Konstruktionsweise als auch hinsichtlich des Untersuchungsschwerpunkts Bauprozess quantifizieren. Anhand des Indikators „Reserven der Konstruktion im Bauzustand“ lässt sich ein Potenzial hinsichtlich des Untersuchungsschwerpunkts Bauprozess bestimmen. Weiterhin bestehen für die Brücken des Typs 3 und 4 ein Potenzial das sich anhand des Indikators Robustheit quantifizieren lässt und dem Untersuchungsschwerpunkt Konstruktionsweise zuzuordnen ist. Dieses Potenzial besteht für alle Brücken, die anprallgefährdete Bauteile aufweisen. Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde hier der Anprall von Fahrzeugen der sekundären Verkehrsstrecke an Brückenpfeiler betrachtet. Ein Anprall an Widerlager wurde nicht als schadensrelevant erachtet. Ein Anprall an den Überbau durch Verkehr auf der sekundären Strecke, der die üblichen Höhenbeschränkungen überschreitet wurde im Rahmen der Potenzialanalyse ebenfalls nicht untersucht, ggf. ergeben sich hier weitere Potenziale. Innerhalb des Kriteriums 4.3 „Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit“ lässt sich lediglich anhand des Indikators „Bauart der Brücke“ ein Potenzial hinsichtlich des Untersuchungsschwerpunkts Konstruktionsweise quantifizieren. Bei allen anderen Indikatoren dieses Kriteriums (z. B. Anti-Graffiti-Prophylaxe oder Unterstützung des Winterdienstes) werden Sachverhalte abgefragt, die von den betrachteten Untersuchungsschwerpunkten unabhängig sind, deren Potenziale sich also nicht in quantifizierter Form einem der Untersuchungsschwerpunkte zuordnen lassen. Zu einigen Indikatoren lassen sich jedoch nicht quantifizierbare Potenziale beschreiben (siehe Kapitel 4.3.2)

4.3.1.5 Hauptkriteriengruppe 5 „Prozessqualität“

Innerhalb der Kriterien 5.1 „Qualifikation des Planungsteams“, 5.2 „Nachhaltigkeitsaspekte in der Ausschreibung“ und 5.5 „Qualitätssicherung in der Bauausführung“ besteht bei keinem der abgefragten Indikatoren eine direkte Beeinflussung durch die Wahl der Baustoffe, Bauprozesse oder der Konstruktionsweise. Daher ergeben sich keine quantifizierbaren Potenziale hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte. Das Kriterium 5.3 „Baustelle/Bauprozess“ bietet sicherlich einige

Potenziale hinsichtlich des Untersuchungsschwerpunkts „Bauprozess“. Da es jedoch im derzeitigen Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) zurückgestellt ist und keine Inhalte oder Indikatoren hinterlegt sind lassen sich auch keine Potenziale quantifizieren.

4.3.2 Nicht quantifizierbare Potenziale und zusätzliche Potenziale durch besonders nachhaltige Planung

Wie in Kapitel 3.4 erläutert muss zwischen Potenzialen unterschieden werden, die sich aus der Variantenwahl des Untersuchungsschwerpunkts selbst ergeben und solchen, die sich aus planerischen Entscheidungen unabhängig von den betrachteten Untersuchungsschwerpunkte ergeben

Im Falle des Bauprozesses sind derartige Potenziale aus Übererfüllung direkt in der Potenzialanalyse berücksichtigt, da sich die dort berücksichtigten Maßnahmen eindeutig dem Untersuchungsschwerpunkt Bauprozess zuordnen lassen. In anderen Fällen ist dies nicht möglich, sodass zur Erfassung dieser Potenziale modulare Maßnahmenpakete definiert werden müssen, die zusätzlich ergriffen werden können. Hierbei sind neben der primären Wirkung der Maßnahme (in der Regel eine gezielte Verbesserung in einem bestimmten Kriterium) die sonstigen Wirkungen (Verschlechterung oder Verbesserung in anderen Kriterien) zu beachten. Wichtig ist, dass dabei für alle Kriterien geprüft wird, ob die Maßnahme eine Auswirkung auf die Bewertung in dem jeweiligen Kriterium bewirkt. Alle Bewertungsveränderungen müssen aufsummiert werden um die Gesamtwirkung zu bestimmen. Erst dann kann festgestellt werden ob, und in wieweit, sich die Nachhaltigkeit durch die Maßnahme verbessert. Eine Bewertung bzw. Potenzialquantifizierung ist daher nur am individuellen Einzelfall möglich.

Ein weiterer Fall der zu berücksichtigen ist, ist die Frage nach der Qualität von Einbauteilen wie Lagern und Übergangskonstruktionen. Obwohl hier in erster Linie Baustoffeigenschaften betrachtet (nämlich die der betreffenden Einbauteile) kann die Wahl unabhängig vom gewählten Primärbaustoff der Brücke geschehen. Ein Potenzial welches sich aus der Wahl höherwertiger oder belastbarer Lager ergibt, darf also nicht dem Untersuchungsschwerpunkt „Baustoffe“ zugerechnet werden. Es muss vielmehr einem zu definierenden Untersuchungsschwerpunkt „Brückenausstattung und

Lager“ zugeordnet werden. Ein solcher Untersuchungsschwerpunkt war jedoch nicht Gegenstand der Potenzialanalyse. Ein solches Potenzial muss auch als Potenzial einer unabhängigen planerischen Entscheidung betrachtet werden, in dem natürlich auch die höheren Kosten und die ggf. vorhandenen höheren Umweltwirkungen berücksichtigt werden müssen.

Ein weiteres Potenzial stellt sich für die Eigenschaften des eigentlichen Brückenbaustoffes dar. Um hier ein Potenzial quantifizieren zu können, welches dann dem Untersuchungsschwerpunkt Baustoffe zuzuordnen wäre, müsste eine Brückenvariante mit einem entsprechend definierten höherwertigen Baustoff untersucht und konsequent in allen Einzelkriterien bewertet werden. Insbesondere wären natürlich Mehrkosten und Umweltbelastungen mit zu berücksichtigen. Im Rahmen der durchgeführten Potenzialanalyse wurden jedoch nur die normativen Mindestqualitäten berücksichtigt.

Im Folgenden sind die nicht quantifizierbaren Potenziale im Einzelnen dargestellt.

4.3.2.1 Bauprozess

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde bezüglich des Bauprozesses ein „fiktiver besonders optimierter Bauprozess“ berücksichtigt. Hiermit sollte gezeigt werden an welchen Stellen sich durch eine gezielte Optimierung bzw. Ausrichtung des Bauprozesses Nachhaltigkeitspotenziale generieren lassen. Dabei wird jedoch nicht auf konkrete Bauprozesse oder Maßnahmen eingegangen. Die Maßnahmen zur Optimierung des Bauprozesses können unterschiedlich sein. Eine Optimierung des Bauprozesses hinsichtlich der Lärmemission hat beispielsweise Auswirkungen auf die Lärmbeeinträchtigung von Fauna und Menschen (Kriterium 1.6a und 3.1a), während sich eine Optimierung des Bauprozesses hinsichtlich einfacher, sicher handhabbare Abläufe auf die Indikatoren „Bauverfahrensbedingte Risiken zur Verunreinigung der lokalen Umwelt“ und „Komplexität des Bauverfahrens“ auswirken (Kriterien 1.6b und 4.2). Die dazu jeweils zu treffenden Einzelmaßnahmen sind weitestgehend unabhängig voneinander. In einzelnen Fällen besteht auch eine gegenseitige Beeinflussung der Optimierungsziele. Eine Optimierungsmaßnahme hinsichtlich der Vermeidung von Erschütterungen (Indikator Erschütterungen im Kriterium 1.6b) wirkt sich beispielsweise in der Regel durch eine einher-

gehende Reduzierung von Lärmemissionen auch positiv auf die Indikatoren zur Beurteilung der Lärmbeeinträchtigung von Fauna und Menschen aus.

Neben den bereits genannten Fällen besteht ein Einfluss des „fiktiven besonders optimierten Bauprozesses“ auf die Bewertung der Indikatoren „Sukzessionslenkung: Behinderung von Wildwechsel während der Herstellung“ (Kriterium 1.6a) und „Reserven der Konstruktion im Bauzustand“ (Kriterium 4.2).

Darüber hinaus besteht grundsätzlich ein Potenzial bei Bauprozessen von Instandsetzungs- und Erneuerungsarbeiten, wenn diese hinsichtlich einer Minimierung der Verkehrsbeeinträchtigung optimiert werden. Wenn sich dadurch Zeitverluste und Mehrkilometer reduzieren lassen, wirkt sich dieses Potenzial positiv in den Kriterien 1.8a „Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung (MBV)“ und 2.2 „Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung“ aus. Inwieweit sich dieses Potenzial für die Nachhaltigkeitsbewertung tatsächlich ausschöpfen lässt, hängt von den individuellen Randbedingungen (Stärke des DTV, Länge möglicher Umleitungsstrecken) ab.

Alle hier genannten Potenziale des Untersuchungsschwerpunkts Bauprozess sind Potenziale im Rahmen einer besonders nachhaltigen Planung zu betrachten zu deren Aktivierung eine bewusste planerische Entscheidung notwendig ist. In der Regel werden alle Maßnahmen Auswirkungen auf die Baukosten haben, die innerhalb der Lebenszykluskosten zu berücksichtigen sind.

4.3.2.2 Brückenlager

Durch die Wahl qualitativ hochwertiger Lager mit erhöhter Dauerhaftigkeit und Robustheit lassen sich Potenziale im Kriterium 4.1 „Elektrische und mechanische Einrichtungen“ generieren. Hier findet jedoch eine Wechselwirkung mit den lebenszykluskosten statt. Auf der einen Seite sind hochwertigere Lager in der Regel in der Herstellung mit höheren Kosten verbunden. Auf der anderen Seite reduzieren sich die Kosten während der Nutzungsphase wenn durch eine höhere Lebensdauer der Lager die Austauschintervalle verlängert werden können. Ob hier bezogen auf den Barwert der Lebenszykluskosten ein Vorteil oder ein Nachteil entsteht kann nur im Einzelfall am konkreten Bauwerk bestimmt werden. Eine Verlängerung der Erhaltungs-

intervalle wirkt sich prinzipiell auch positiv auf die Kriterien 1.8a und 2.2 aus. Ob hieraus ein nutzbares Potenzial entsteht hängt jedoch von den individuellen Randbedingungen hinsichtlich Ermittlung von Staustunden und Mehrkilometern ab. Die Einplanung von Lastreserven bei den Brückenlagern hat eine Auswirkung innerhalb des Kriteriums 4.4 „Verstärkung und Erweiterbarkeit, Umnutzungsfähigkeit“. Bis zu welchem Maß das Vorhalten von zunächst nicht benötigten Reserven nachhaltig ist, ist jedoch gesondert zu prüfen. Eine unbegründete Überdimensionierung entspricht jedenfalls nicht den Grundsätzen der Nachhaltigkeit. Unter Umständen lässt sich daher an dieser Stelle in der Praxis gar kein Potenzial nutzen. Ein Vorhalten von Reserven ist in der Regel mit Auswirkungen auf die Ökobilanz (betrifft die Kriterien 1.1-1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14) und auf die Lebenszykluskosten (Kriterium 2.1) verbunden. Hinsichtlich der Betriebsoptimierung (Kriterium 4.3) ist das markieren der Pressenansatzpunkte für den Lagerwechsel am Bauwerk als Maßnahme zur Steigerung der Nachhaltigkeit zu nennen.

4.3.2.3 Übergangskonstruktionen

Bezüglich der Wahl qualitativ hochwertiger Ausführungsvarianten und deren Auswirkungen auf das Kriterium 4.1 „Elektrische und mechanische Einrichtungen“ sowie die Wechselwirkungen mit den Lebenszykluskosten (Kriterium 2.1) und den Kriterien 1.8a und 2.2 gelten die gleichen Bedingungen wie für Brückenlager (s. o.). Darüber hinaus haben die Übergangskonstruktionen eine Auswirkung auf die Lärmemission (Kriterium 1.6a und 3.1a) und den Fahrkomfort (Kriterium 3.2). Hierbei ist nicht nur die Bauart der Übergangskonstruktionen entscheidend sondern auch die Einbausituation im Bauwerk. Nachhaltigkeitspotenziale lassen sich hier im Einzelnen durch die Wahl lärmindernder Bauarten, durch die Reduktionen des Höhenversatzes an der Einbaustelle durch Belagsaussteifung und durch den Einbau in einem möglichst schiefen Schnittwinkel zur Achse des primären Verkehrswegs generieren. Das letztgenannte Potenzial lässt sich in vielen Fällen in der Praxis nicht wirklich ausnutzen, da der Schnittwinkel mit der Achse des Verkehrsweges aufgrund anderer Randbedingungen häufig nicht frei wählbar ist, oder die bewusste Wahl eines schiefen Schnittwinkels erhebliche Auswirkungen auf das gesamte sonstige Bauwerk hat. Da sich die Lage der Übergangskonstruktionen in der Regel am Verlauf der Widerlagerwänden

orientiert, wirkt sich eine Veränderung des Schnittwinkels insbesondere auf die Abmessungen (Länge des Überbaus, Länge der Widerlagerwände) und damit auf die Massenbilanz des Bauwerks aus. Infolgedessen besteht eine Wechselwirkung zur Ökobilanz (betrifft die Kriterien 1.1-1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14) und zu den Lebenszykluskosten (Kriterium 2.1).

4.3.2.4 Lärmschutzwände (LSW)

Lärmschutzwände beeinflussen die Nachhaltigkeitsbewertung der Brücke in vielerlei Hinsicht. In erster Linie durch ihre primäre Funktion als Lärmschutz. Zum anderen durch ihre Gestaltung bzw. ihre optisch wahrnehmbare Erscheinung und schließlich durch ihre Eigenschaften hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und der Wartungsfreundlichkeit.

Hinsichtlich der Lärmbeeinträchtigung der Fauna (Kriterium 1.6a) und des Menschen (3.1a) besteht aufgrund der primären Funktion von Lärmschutzwänden ein direktes Beeinflussungspotenzial. Da im Zuge von Neubaumaßnahmen die gesetzlich/normativen Lärmschutzgrenzwerte zwingend einzuhalten sind, kann dieses Potenzial hinsichtlich der Nachhaltigkeitsbewertung nur durch eine Übererfüllung im Rahmen einer besonders nachhaltigen Planung ausgeschöpft werden.

Die Gestaltung der Lärmschutzwände wirkt sich im Kriterium 3.2 „Komfort“ bei den folgenden Indikatoren aus:

- Blendung durch Reflexion der Scheinwerfer durch transparente Lärmschutzwände,
- Einsatz von transparenten Lärmschutzwandelementen,
- Farbgestaltung der Lärmschutzwand,
- abwechslungsreiche Gestaltung bei LSW mit einer Länge von min. 50 m,
- transparente LSW als Gefahr für Vögel.

Hier lassen sich in Abhängigkeit der örtlichen Randbedingungen und Erfordernisse im Einzelfall für ein konkretes Projekt durch die Wahl der Ausführungsart (transparent oder blickdicht) und der Gestaltung Nachhaltigkeitspotenziale nutzen.

Durch die Wahl einer entsprechenden Ausführungsqualität (Dauerhaftigkeit, Robustheit und Wartungsfreundlichkeit) ergeben sich Potenziale im

Kriterium 4.1 „Elektrische und mechanische Einrichtungen“ und Kriterium 4.3 „Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit“.

Bei allen genannten Aspekten besteht eine Wechselwirkung zu Kosten und Umweltwirkungen, die im Einzelfall berücksichtigt werden muss. Unabhängig von den genannten Maßnahmen besteht prinzipiell die Möglichkeit bei gleicher Funktionalität die Wahl der eingesetzten Lärmschutzwände und deren Anordnung bezüglich des Materialeinsatzes und der Herstellkosten zu optimieren und damit ein direktes Potenzial bei der Ökobilanz (betrifft die Kriterien 1.1-1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14) und bei den Lebenszykluskosten (Kriterium 2.1) zu nutzen.

4.3.2.5 Sonstige Brückenausrüstung

Durch die folgenden Elemente der sonstigen Brückenausrüstung ergeben sich im Einzelfall Potenziale im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung:

- Taumittelsprühanlage (Kriterien 1.6b, 3.2, 4.3),
- Fahrbahnbeheizung (Kriterium 3.2, 4.3),
- Glättemeldeanlage (Kriterien 3.2, 4.3),
- Schutzplanken (Kriterium 3.2),
- Blendschutz (Kriterium 3.2),
- baulicher Windschutz (Kriterium 3.2),
- Besichtigungsgerät (Kriterium 4.3),
- Anti-Graffiti-System (Kriterium 4.3),
- Bauwerksbeleuchtung (Kriterium 4.3).

Taumittelsprühanlage, Fahrbahnbeheizung (durch Geothermie) und Glättemeldeanlage dienen alle sowohl zur Optimierung bzw. Unterstützung des betrieblichen Winterdienstes als auch zur Minderung der Gefahr plötzlicher Eisglätte an potenziell gefährdeten Stellen. Bei den Indikatoren „Unterstützung des Winterdienstes“ (Kriterium 4.3) und „Gefahr von Eisglätte“ (Kriterium 3.2) ergeben sich somit Potenziale hinsichtlich der Nachhaltigkeitsbewertung. Dabei ist zu beachten, dass das Potenzial zur Minderung der Gefahr plötzlicher Eisglätte nur dann ausgeschöpft werden kann, wenn überhaupt aufgrund der Lage der Brücke im Gelände und der sonstigen Randbedingungen eine besondere Gefahr durch plötzliche Eisglätte besteht. Bezüglich des Einsatzes von Taumittelsprühanlagen ist zu beachten, dass eine Wechselwirkung zum Indikator „Taumittelsprühanlage“ im Kriterium 1.6a „Risiken für die lokale Umwelt Teil A: Fauna und Flora“ besteht.

Der Einbau von Schutzplanken wirkt sich beim Indikator „Räumliche Trennung verschiedener Nutzer“ (Kriterium 3.2) aus. Das Potenzial kommt jedoch nur zum Tragen, wenn grundsätzlich eine Mischnutzung auf der Brücke stattfindet. Die Einsetzbarkeit von Schutzplanken und Schutzwänden, und damit die Ausschöpfbarkeit dieses Potenzials, hängt, besonders im innerörtlichen Bereich, von den individuellen Randbedingungen (z. B. Platzverhältnisse, Wegbeziehungen, Gestaltungskonzept etc.) ab.

Bauliche Blendschutzmaßnahmen betreffen die Indikatoren „Blendung durch entgegenkommenden Verkehr“ und „Blendfreiheit der anliegenden Bebauung“ (beide Kriterium 3.2). Das sich ergebende Potenzial hängt von der technischen Machbarkeit im konkreten Fall ab. Ein Blendschutz zur Vermeidung der Blendung durch Gegenverkehr setzt baulich getrennte Richtungsfahrbahnen voraus. Das Potenzial der Blendfreiheit der anliegenden Bebauung ergibt sich nur dort, wo potenziell blendgefährdete Bebauung ansteht und kann aufgrund der technischen Randbedingungen u. U. im Einzelfall nicht ausgeführt werden. Die Wirkung beider Potenziale auf die Nachhaltigkeitsbewertung kann daher nur im individuellen Einzelfall entschieden werden.

Ein baulicher Windschutz kann an Stellen, an denen aufgrund der Lage der Brücke im Gelände eine erhöhte Gefahr durch Seitenwind besteht, die Sicherheit für den Verkehr erhöhen. Ob sich das Potenzial, welches sich aus dem Indikator „Gefahr durch Seitenwind“ (Kriterium 3.2) ergibt ausschöpfen lässt, hängt zum einen von der tatsächlichen Gefährdung und zum anderen von der technischen Machbarkeit ab. Beides kann nur am realen Bauwerk unter den individuellen Randbedingungen ermittelt werden.

Durch stationäre Besichtigungsgräte, und Anti-Graffiti-Systeme ergeben sich im Kriterium 4.3 bei den Indikatoren „Besichtigungsgeräte“ und „Anti-Graffiti-Profilaxe“ Potenziale. Für beide Maßnahmen gilt, dass sie nur unter bestimmten Randbedingungen benötigt werden. Ihr sinnvoller Einsatz kann daher auch nur am konkreten Objekt ermittelt werden. Im Fällen wo ein Einsatz dieser Maßnahmen nicht erforderlich ist ergibt sich folglich kein ausnutzbares Potenzial.

Hinsichtlich der Bauwerksbeleuchtung und der Wahl der Leuchtmittel kann die Nachhaltigkeit durch leichte Zugänglichkeit der Leuchten und durch die Wahl langlebiger energiesparender

Leuchtmittel gesteigert werden. Diese Potenziale ergeben sich nur an Bauwerken die mit einer Bauwerksbeleuchtung ausgestattet sind.

Darüber hinaus besteht prinzipiell die Möglichkeit durch die Wahl qualitativ hochwertiger Komponenten der Brückenausstattung in Kriterium 4.1 die Ergebnisse bei der Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern. Dabei sind die bereits bei den Brückenschichten beschriebenen Wechselwirkungen zu anderen Kriterien zu beachten (s. o.).

Zur Quantifizierung der Potenziale der genannten Maßnahmen der sonstigen Brückenausstattung sind im Einzelfall am konkreten Bauwerk die Kosten (Anschaffungs- bzw. Herstellkosten und Betriebskosten) zu ermitteln und bei der Lebenszykluskostenberechnung in Kriterium 2.1 zu berücksichtigen. Erst dann kann eine Aussage getroffen werden ob durch die Maßnahme die Nachhaltigkeitsbewertung verbessert werden kann.

4.3.2.6 Sonstige planerische Entscheidungen

Durch eine vorausschauende Planung, die auf die örtlichen Randbedingungen abgestimmt ist, können ggf. bei den folgenden Kriterien bzw. Indikatoren Potenziale ausgeschöpft werden.

Hinsichtlich des Indikators „Grundwasser“ im Kriterium 1.6a kann ggf. in Einzelfällen, wenn die Randbedingungen eine Wahl alternativer Gründungsarten zulassen, die Beeinträchtigung der Grundwassersituation durch eine vorausschauende Planung minimiert werden.

Wenn sich durch die Wahl besonders hochwertiger langlebiger Baustoffe und Bauteile die Erhaltungs- bzw. Erneuerungsintervalle gegenüber dem üblichen Durchschnitt verlängern lassen, kann sich dies in den Kriterien 1.8a „Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung (MBV)“ und 2.2 „Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung“ grundsätzlich positiv auswirken. Inwieweit sich dieses Potenzial für die Nachhaltigkeitsbewertung tatsächlich ausschöpfen lässt hängt von die individuellen Randbedingungen (Stärke des DTV, Länge möglicher Umleitungsstrecken) ab.

Bei den Kriterien 3.1b „Landschaft“ und 3.1c „Kulturgüter und sonstige Sachgüter“ kann durch eine frühzeitige Analyse des Umfeldes und des Istzustands und die Einbeziehung der Analyseergebnisse in die Planung die Beeinträchtigung minimiert

werden. Der Erfolg und die Umsetzbarkeit der Maßnahme hängen jeweils von den individuellen Randbedingungen des konkreten Projekts ab.

In Kriterium 3.2 „Komfort“ kann durch planerische Entscheidungen hinsichtlich der Sichtverbindungen, der Überquerbarkeit, der Barrierefreiheit und der Schaffung von Aufenthaltsräumen bei den entsprechenden Indikatoren ein Potenzial ausgeschöpft werden.

Wenn das Bauwerk von fachkundigen Planern unter Beachtung der anerkannten Regeln der Technik geplant wird, soll es bei den Indikatoren „Geometrie und Anordnung der Bauteile“, „Formgebung“, und „Ausnutzung der Querschnitte“ in Kriterium 4.2 generell bereits gute Bewertungen erreichen. Das Potenzial, hier noch bessere Bewertungen zu erzielen ist daher relativ gering. Auf der anderen Seite besteht hier die Gefahr durch eine schlechte Planung die Qualität des Bauwerks und damit die Nachhaltigkeitsbewertung zu verschlechtern. Somit besteht hier ein negatives Potenzial. Bezüglich des Indikators „Herstelltoleranzen“ (Kriterium 4.2) besteht ein Potenzial zur Verbesserung der Nachhaltigkeitsbewertung, wenn durch eine entsprechende Planung bei gleichbleibender Endqualität die Herstelltoleranzen erhöht und ein hoher Vorfertigungsgrad ermöglicht werden. Das Potenzial hinsichtlich des Indikators „Widersand der Baustoffe“ kann durch eine bewusste planerische Entscheidung zu höherwertigen Baustoffen umgesetzt werden. Bis zu welchem Grad die Steigerung der Baustoffqualitäten sinnvoll und nachhaltig ist, ist gesondert zu klären.

Durch die Planung eines entsprechenden Korrosionsschutzkonzeptes und die Planung der Zugänglichkeit von revisionsbedürftigen Fugen können Potenziale hinsichtlich der Indikatoren „Erhaltung des Korrosionsschutzes“ und „Zugänglichkeit der Fugen“ im Kriterium 4.3 genutzt werden.

Im Kriterium 4.4 „Verstärkung und Erweiterbarkeit, Umnutzungsfähigkeit“ können bei allen Indikatoren durch bewusste planerische Entscheidungen Potenziale ausgeschöpft werden. Inwieweit das im Einzelnen sinnvoll ist und bis zu welchem Maß ein Vorhalten von Reserven tatsächlich nachhaltig ist, muss im Einzelfall entschieden werden.

Im Kriterium 4.5 „Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit, Demontagefreundlichkeit“ können durch das Planen und Ausarbeiten eines bzw. mehrerer alternativer Rückbaukonzepte und eines geeigneten

Konzeptes zur Sortenreinen Trennung der Rückbaumassen die Ergebnisse bei der Nachhaltigkeitsbewertung verbessert werden.

Wie bei allen anderen Maßnahmen zur Verbesserung der Nachhaltigkeitsbewertung im Zuge einer besonders nachhaltigen Planung sind auch bei den sonstigen planerischen Entscheidungen die jeweiligen Wechselwirkungen der Maßnahmen mit anderen Kriterien zu berücksichtigen. Insbesondere sind hier die Zusatzkosten zu nennen. Erst dann kann im Einzelfall unter den individuellen Randbedingungen das Potenzial quantifiziert werden.

4.3.3 Maßnahmen im Bestand

Grundsätzlich ist das Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) auf Neubauprojekte ausgelegt. Es lässt sich aber auch auf Maßnahmen des Bauens im Bestand anwenden. Bei einer Bestandsmaßnahme gelten grundsätzlich die gleichen Potenziale wie für einen Neubau. In Einzelfällen werden aber nicht alle Potenziale ausgenutzt werden können, wenn z. B. die Konstruktionshöhe des Überbaus durch gegebene Zwangspunkte beschränkt ist, kommen ggf. nicht mehr alle sonst möglichen Kombinationen aus Konstruktionsweise und Baustoff in Frage.

Was als Entscheidungshilfe für Maßnahmen im Bestand noch sinnvoll wäre, ist ein Bewertungssystem der Nachhaltigkeit für Instandsetzungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen. Bei Brücken wird im Bestand häufig die Frage im Raum stehen, ob eine Sanierung oder ein Neubau nachhaltiger ist. Auch ein Teilneubau, z. B. ein neuer Überbau auf einem saniertem Unterbau, ist vorstellbar. Dazu muss die Möglichkeit geschaffen werden, die Wirkungen von Sanierungsmaßnahmen in der gleichen Systematik zu bewerten damit die Nachhaltigkeitswirkung der Sanierungsmaßnahme mit der eines Neubaus oder Teilneubaus verglichen werden kann. Ein derartiges Bewertungssystem ist außerhalb des laufenden Projekts zu erarbeiten.

4.3.4 Zusammenfassung Potenziale

In Tabelle 4 und Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Potenzialanalyse dargestellt. Für Typ 1 lassen sich, abgesehen von den Lebenszykluskosten, die vorerst nicht bewertet wurden, die wenigsten Potenziale ermitteln, was daran liegt, dass hier ein wesentlich größerer Anteil der Checklistenfragen nicht relevant ist, also als neutral behandelt wird, als bei den anderen Brückentypen.

Die größten Potenziale lassen sich bei Typ 4 ermitteln, da hier insbesondere bei den LCC und LCA abhängigen Kriterien jeweils der volle Bewertungsumfang ausgeschöpft wurde. Generell lässt sich feststellen, dass sich mit steigender Bandbreite der Realisierungsvarianten mehr Möglichkeiten erge-

ben, das Ergebnis der Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

Für die Brücken Typ 2 und Typ 3 ist bei der Betrachtung die sogenannte Standardplanung berücksichtigt worden. Sofern sie sich nicht dem „fiktiven

Ergebnisse Potenzialanalyse:		Typ 1			Typ 2		
Kriterium		Konstr.	Baustoff	Bauprozess	Konstr.	Baustoff	Bauprozess
1. Ökologische Qualität		4,03%	0,00%	0,20%	5,35%	2,66%	0,20%
1.1	Treibhauspotenzial (GWP)	0,41%	0,00%	0,00%	1,09%	0,41%	0,00%
1.2	Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	0,35%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.3	Ozonbildungspotenzial (POCP)	0,86%	0,00%	0,00%	0,60%	0,40%	0,00%
1.4	Versauerungspotenzial (AP)	0,58%	0,00%	0,00%	0,60%	0,35%	0,00%
1.5	Überdüngungspotenzial (EP)	0,05%	0,00%	0,00%	0,43%	0,21%	0,00%
1.6	Risiken für die lokale Umwelt						
1.6a	Teil A: Fauna und Flora	0,00%	0,00%	0,16%	0,00%	0,00%	0,16%
1.6b	Teil B: Boden, Wasser und Luft	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%	0,04%
1.7	Sonstige Wirkungen auf die lokale Umwelt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.8a	Mehremissionen baubedingt (MBV)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.8b	Mehremissionen infolge Linienführung (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.9	Nicht erneuerb. Primärenergiebedarf (PEne)	1,65%	0,00%	0,00%	1,50%	0,79%	0,00%
1.10	Gesamtprimärenergiebedarf u. Anteil (PEe)	0,13%	0,00%	0,00%	0,26%	0,05%	0,00%
1.11	Wasserbedarf	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.12	Flächeninanspruchnahme	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.13	Abfall	0,00%	0,00%	0,00%	0,30%	0,09%	0,00%
1.14	Ressourcenschonung (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,58%	0,36%	0,00%
2. Ökonomische Qualität		0,00%	0,00%	0,00%	1,35%	3,65%	0,00%
2.1	Direkte Lebenszykluskosten	0,00%	0,00%	0,00%	1,35%	3,65%	0,00%
2.2	Externe Kosten baubedingt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2.3	Externe Kosten streckenbedingt (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3. Soziale/funktionale Qualität		3,21%	0,00%	0,42%	0,32%	0,00%	0,42%
3.1	Schutzgüter: Mensch, Landschaft, Kulturgut						
3.1a	Mensch, Gesundheit, insb. Lärm	0,00%	0,00%	0,42%	0,06%	0,00%	0,42%
3.1b	Landschaft	3,21%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.1c	Kulturgüter und sonstige Sachgüter	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.2	Komfort	0,00%	0,00%	0,00%	0,26%	0,00%	0,00%
3.3	Umnutzungsfähigkeit	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.4	Betriebsoptimierung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.5	Sicherheit, Störfallrisiken (Security)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.6	Verkehrssicherheit (Safety)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.7	Förderziele (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4. Technische Qualität		0,00%	0,00%	0,60%	1,38%	0,00%	0,75%
4.1	elektrische und mechanische Einrichtungen	0,00%	0,00%	0,00%	0,50%	0,00%	0,00%
4.2	Konstruktion, Dauerhaftigkeit, Robustheit	0,00%	0,00%	0,60%	0,68%	0,00%	0,75%
4.3	Betriebsoptimierung	0,00%	0,00%	0,00%	0,20%	0,00%	0,00%
4.4	Verstärkung und Erweiterbarkeit	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4.5	Rückbaubarkeit	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4.6	Herstellbarkeit (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5. Prozessqualität		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.1	Qualifikation des Planungsteams	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.2	Nachhaltigkeitsaspekte in Ausschreibung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.3	Baustelle/Bauprozess	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.4	Qualität der ausführenden Firmen	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.5	Qualitätssicherung der Bauausführung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tab. 4: Ergebnisse der Potenzialanalyse für die Standardplanung (Typ 1 und Typ 2)

besonders optimierten Bauprozess“ zuordnen lassen, ist die Quantifizierung der Potenziale, die sich aus Maßnahmen der besonders nachhaltigen Planung ergeben also nicht enthalten. In Kapitel 4.3.2 wird im Einzelnen auf diese gesondert zu betrachtenden Potenziale eingegangen.

Auch für Typ 2 und Typ 3 zeigt sich, dass die meisten der quantifizierbaren Potenziale im Bereich der Ökobilanz- und Lebenszykluskosten abhängigen Kriterien zu finden sind. Das größte Einzelpotenzial stellen hier die Baustoffe bezüglich der Lebenszykluskosten dar.

Ergebnisse Potenzialanalyse:		Typ 3			Typ 4		
Kriterium		Konstr.	Baustoff	Bauprozess	Konstr.	Baustoff	Bauprozess
1. Ökologische Qualität		3,38%	5,10%	0,19%	17,50%	16,25%	0,51%
1.1	Treibhauspotenzial (GWP)	0,26%	0,79%	0,00%	3,75%	3,75%	0,00%
1.2	Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	0,00%	0,00%	0,00%	1,25%	1,25%	0,00%
1.3	Ozonbildungspotenzial (POCP)	0,49%	0,75%	0,00%	1,25%	1,25%	0,00%
1.4	Versauerungspotenzial (AP)	0,40%	0,64%	0,00%	1,25%	1,25%	0,00%
1.5	Überdüngungspotenzial (EP)	0,18%	0,36%	0,00%	1,25%	1,25%	0,00%
1.6	Risiken für die lokale Umwelt						
1.6a	Teil A: Fauna und Flora	0,00%	0,00%	0,16%	0,23%	0,00%	0,16%
1.6b	Teil B: Boden, Wasser und Luft	0,00%	0,00%	0,04%	0,08%	0,00%	0,04%
1.7	Sonstige Wirkungen auf die lokale Umwelt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.8a	Mehremissionen baubedingt (MBV)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.8b	Mehremissionen infolge Linienführung (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.9	Nicht erneuerb.Primärenergiebedarf (PEne)	1,01%	1,50%	0,00%	3,75%	3,75%	0,00%
1.10	Gesamtprimärenergiebedarf u. Anteil (PEe)	0,35%	0,11%	0,00%	1,25%	1,25%	0,00%
1.11	Wasserbedarf	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.12	Flächeninanspruchnahme	0,00%	0,00%	0,00%	0,94%	0,00%	0,31%
1.13	Abfall	0,30%	0,26%	0,00%	1,25%	1,25%	0,00%
1.14	Ressourcenschonung (neu)	0,39%	0,69%	0,00%	1,25%	1,25%	0,00%
2. Ökonomische Qualität		2,03%	5,67%	0,00%	13,50%	13,50%	13,50%
2.1	Direkte Lebenszykluskosten	2,03%	5,67%	0,00%	13,50%	13,50%	13,50%
2.2	Externe Kosten baubedingt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2.3	Externe Kosten streckenbedingt (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3. Soziale/funktionale Qualität		0,32%	0,00%	0,42%	0,84%	0,00%	0,42%
3.1	Schutzgüter: Mensch, Landschaft, Kulturgut						
3.1a	Mensch, Gesundheit, insb. Lärm	0,06%	0,00%	0,42%	0,58%	0,00%	0,42%
3.1b	Landschaft	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.1c	Kulturgüter und sonstige Sachgüter	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.2	Komfort	0,26%	0,00%	0,00%	0,26%	0,00%	0,00%
3.3	Umnutzungsfähigkeit	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.4	Betriebsoptimierung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.5	Sicherheit, Störfallrisiken (Security)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.6	Verkehrssicherheit (Safety)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3.7	Förderziele (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4. Technische Qualität		1,38%	0,00%	0,75%	2,65%	0,00%	0,95%
4.1	elektrische und mechanische Einrichtungen	0,50%	0,00%	0,00%	0,50%	0,00%	0,00%
4.2	Konstruktion, Dauerhaftigkeit, Robustheit	0,68%	0,00%	0,75%	1,80%	0,00%	0,75%
4.3	Betriebsoptimierung	0,20%	0,00%	0,00%	0,35%	0,00%	0,20%
4.4	Verstärkung und Erweiterbarkeit	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4.5	Rückbaubarkeit	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4.6	Herstellbarkeit (neu)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5. Prozessqualität		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.1	Qualifikation des Planungsteams	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.2	Nachhaltigkeitsaspekte in Ausschreibung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.3	Baustelle/Bauprozess	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.4	Qualität der ausführenden Firmen	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5.5	Qualitätssicherung der Bauausführung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tab. 5: Ergebnisse der Potenzialanalyse für die Standardplanung (Typ 3 und Typ 4)

5 Potenzialermittlung Strecke

Wie auch für das System Brücke, wird im Anschluss an das Arbeitspaket 1 „Sensitivitätsanalyse“ eine Potenzialmatrix für das System „Strecke“ aufgestellt.

5.1 Allgemeines

5.1.1 Systemgrenzen Typenbildung Clustering

Für die Beurteilung der Potenziale werden die Untersuchungsschwerpunkte weiter untergliedert. Elemente, Varianten und Phasen, deren Ausprägung für die Potenzialanalyse als relevant erachtet wird, sind im Folgenden als „Maßnahmen“ bezeichnet.

Im Hinblick auf die Konzeption eines Leitfadens erscheint es zweckmäßig, eine feinere Aufgliederung der Untersuchungsschwerpunkte vorzunehmen, um daraus einen Maßnahmenkatalog ableiten zu können (siehe Anlage 3: Darstellung Potenzialanalyse Strecke). Eine Übersicht der Untersuchungsschwerpunkte und der Maßnahmen wird nachfolgend gegeben.

5.1.1.1 Konstruktion/Ausstattung

Bei der Konstruktion stehen für die freie Strecke sowie Knotenpunkte unterschiedliche Ausstattungsvarianten zur Verfügung. Die verschiedenen Elemente der Straßenausstattung lassen sich in Gruppen zusammenfassen:

- passive Schutzeinrichtungen zum Fahrbahnrand,
- passive Schutzeinrichtungen am Mittelstreifen,
- Lärmschutz,
- Entwässerung,
- Verkehrszeichen und Lichtsignalanlagen.

Bei den Schutzeinrichtungen ist in Abhängigkeit der Linienführung, Standortgegebenheiten und dem geforderten Sicherheitsniveau zwischen Schutzplanken, Leitpfosten oder auch Betonschutzwänden zu wählen. Hierbei können Potenziale beispielsweise durch einen schnelleren Einbau oder der Material-/Baustoffwahl erreicht werden.

Die Maßnahmen im Bereich des Lärmschutzes (z. B. Lärmschutzwand, Lärmschutzwahl, Gelände-einschnitt) weisen ebenfalls Potenziale auf. Hier

muss zum einen das verwendete Material in Betracht gezogen werden (Glas, Holz, anstehender Boden/Aushub etc.) und zum anderen der erforderliche Flächenbedarf (Lärmschutzwand/-wall).

Im Falle der Entwässerung ist anzumerken, dass zunächst eine offene Entwässerung angestrebt wird. Kann das Oberflächenwasser beispielsweise aufgrund einer zum Mittelstreifen hin gerichteten Neigung nicht abgeführt werden oder muss das Oberflächenwasser aufgrund von Auflagen des Wasserschutzes gesammelt werden, ist eine geschlossene Entwässerung über Rohrleitungen o. Ä. vorzusehen. Daher besteht hier nur in eingeschränktem Maß Entscheidungsfreiheit über die Ausführungsvariante und somit ein eingeschränktes Potenzial.

5.1.1.2 Baustoffe

Grundsätzlich gelten die Anforderungen an die Mischgutart und -sorte für Asphalt im Straßenbau in den „TL Asphalt-StB 07“ [FGSV (Hrsg.) 2007a] und den „ZTV Asphalt-StB 07“ [FGSV (Hrsg.) 2007c]. Bei Beton finden maßgeblich die Regelwerke „TL Beton-StB 07“ [FGSV (Hrsg.) 2007b] und „ZTV Beton-StB 07“ [FGSV (Hrsg.) 2007d] Anwendung. Ergänzend sind jeweils die Technischen Prüfvorschriften und entsprechenden Merkblätter heranzuziehen.

Die verschiedenen Ausführungsvarianten werden anhand des Baustoffes der gebundenen Decke einer Fahrbahnbefestigung wie folgt gegliedert:

- Asphalt,
- Beton.

Mit den „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen“ [FGSV (Hrsg.) 2012] steht ein Regelwerk zur Verfügung, welches entsprechend der Belastungsklasse einer Strecke unterschiedliche Bauweisen als Standardaufbauten vorschlägt. Zwar sind die vorgegebenen Bauweisen für Asphalt und Beton hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit als gleichwertig zu betrachten, sie weisen jedoch neben einem unterschiedlichen Baustoff auch Unterschiede in Bezug auf die Schichtenfolge der Straßenbefestigung auf. Entsprechend der Wahl einer Asphalt- oder Betonbauweise resultieren zudem unterschiedliche Herstellungs- und Erhaltungsmaßnahmen, die es in der Bauprozessbeurteilung zu berücksichtigen gilt.

5.1.1.3 Bauprozess

Bei einer Bewertung der Potenziale der Bauprozesse sind die Prozesse von der „Wiege bis zur Bahre“ in die Betrachtung einzubeziehen. Die aufgeführten Prozessphasen sind getrennt für die Baustoffe Asphalt und Beton zu betrachten.

- Einbau,
- Betrieb,
- Instandhaltung,
- Instandsetzung,
- Erneuerung,
- Abbruch/Entsorgung,
- Recycling.

Der Prozess Transport wiederum muss nicht Baustoff spezifisch betrachtet werden, jedoch ist es hier von Relevanz, welches Transportmittel gewählt wird und welche Entfernung zwischen Baustelle und Mischanlage besteht.

Weiter erfordert die Wahl der Bauweise verschiedene Einbauverfahren und Maßnahmen der baulichen Erhaltung, Instandhaltung, Instandsetzung und Erneuerung. Auch der Abbruch, die Entsorgung und die Recyclingfähigkeit sind für die Untersuchung der Potenziale zu betrachten.

5.1.1.4 Typenbildung

Eine Typenbildung wie für das Subsystem Brücke wird nicht vorgenommen. Für die Potenzialauswertung scheint es nicht zielführend kombinierte Varianten aus den betrachteten Maßnahmen zu bilden, da zu viele Kombinationen der Maßnahmen untereinander möglich sind und häufig örtliche Gegebenheiten bestimmen, welche Variante zur Ausführung kommt. Die tatsächliche Eignung einer Maßnahme kann erst durch die Betrachtung der örtlichen Gegebenheiten festgestellt werden und folglich bleiben nur bestimmte Maßnahmen in der Auswahl, die wiederum andere Baustoffe und Bauprozesse bedingen. Daraus resultiert eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten, die eine Definition allgemein gültiger Standardvarianten unmöglich macht. Somit erweist sich eine Typenbildung für das Subsystem Strecke als ungeeignet für die nachfolgende Potenzialbewertung.

5.1.1.5 Modularer Aufbau

Aufgrund dieser Tatsache wird ein modularer Aufbau der Matrix gewählt, der es dem Anwender des

Leitfadens ermöglicht, nicht nur Neubaustrecken zu bewerten, sondern auch bestehende Bauwerke durch gezielte Einzelmaßnahmen zu verbessern und das Potenziale solcher Einzelmaßnahmen abzuwägen. Dem Anwender steht ein Maßnahmenkatalog zur Verfügung, der ihm die Wahl lässt, welche Aspekte einer Strecke und welche Maßnahmen ggf. in Kombination auf ihr Potenzial untersucht werden.

Im Rahmen der Bearbeitung gilt es, Maßnahmenkombinationen aufzuzeigen, die sich in ihrer Anwendung ausschließen. Da sie folglich in der Praxis keine Anwendung finden, werden sie für die Potenzialbetrachtung ausgeschlossen.

5.1.2 Vorgehensweise

Die Matrix aus dem Arbeitspaket 1 wird um die Einzelmaßnahmen je Untersuchungsschwerpunkt erweitert. Für jede Maßnahme wird die erforderliche Detaillierung geprüft und entsprechend ausgearbeitet. Somit ergibt sich eine Potenzialmatrix über alle Kriterien und Maßnahmen, für die Werte ermittelt bzw. berechnet werden müssen, um einzelne Potenziale abbilden zu können.

Um die Potenziale der einzelnen Untersuchungsschwerpunkte und deren Maßnahmen quantifizieren zu können, sind Kennwerte für die entsprechenden Maßnahmen erforderlich. Anhand einer Analyse bestehender Literatur und Verfahren sollen Aussagen zu den Potenzialen der einzelnen Maßnahmen gewonnen werden. Sofern konkrete Werte bekannt sind oder mittels vorhandener Berechnungsverfahren ermittelt werden können, werden diese direkt in die Potenzialmatrix übernommen. Falls für die Maßnahmen keine absoluten oder relativen Werte ermittelt werden können, müssen Werte anhand eines Vergleichs der Maßnahmen untereinander definiert werden. Diese können jedoch nur eine erste Einschätzung des Forschungsnehmers sein und sollten im Anschluss an das vorliegende FE-Vorhaben weiter ergänzt und diskutiert werden.

5.1.2.1 Standardplanung

Zur Identifizierung eines Nachhaltigkeitspotenzials ist eine Betrachtung mindestens zweier Planungsvarianten erforderlich; einer nachhaltigen Planung und einer Referenzplanung. Als Referenzplanung wird eine Standardplanung gemäß den technischen Regelwerken angesehen. Bei der Potenzialanalyse einer Standardplanung handelt es sich um die Betrachtung einer unter Berücksichtigung aller gesetz-

lichen/normativen Anforderungen vorgenommenen Planung ohne jegliche Mehrleistungen hinsichtlich der Nachhaltigkeitsaspekte. Es wird davon ausgegangen, dass alle Arbeiten gemäß den rechtlichen, technischen und finanziellen Vorgaben ausgeführt werden und keine Qualitätseinschränkung infolge schlechter Ausführung und Planung gegeben ist.

5.1.2.2 Nachhaltigkeitsplanung

Im Gegensatz zu der Standardplanung werden bei der Nachhaltigkeitsplanung zusätzlich nachhaltigkeitsverbessernde Maßnahmen in Betracht gezogen, die gegenüber der Standardvariante ein größeres Potenzial aufweisen.

Wie genau eine Bewertung einer Standardplanung gegenüber einer Nachhaltigkeitsplanung vorzunehmen ist und inwieweit diese in diesem Projekt durchgeführt werden kann, muss nach Abschluss einer weiterführenden Untersuchung der bestehenden Bewertungsverfahren und Literatur geprüft werden.

5.1.3 Grundlagen zur Bewertung

5.1.3.1 Datenbanken

Die untersuchten Datenbanken, wie beispielsweise die Ökobau.dat (im Rahmen eines Forschungsprojektes durch die PE International GmbH mit Unterstützung der Deutschen Baustoffindustrie entwickelt) oder das WINGIS Informationssystem (Informationen der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft), liefern bislang sehr ausführliche Datensätze für den Bereich des Hochbaus (Gebäudebau). Je-

doch können die in den Datenbanken enthaltenen Informationen nicht uneingeschränkt auf das Subsystem Strecke adaptiert werden. Die bestehenden Datensätze enthalten nur vereinzelt Informationen zu Baustoffen, die auch im Bereich der Strecke von Relevanz sind. Zudem sind die Quellen und die Repräsentativität der Daten nicht einheitlich, sondern werden aus unterschiedlichen Quellen (Datenbanken, Personen, Literatur etc.) bezogen.

Für die in der Ökobau.dat enthaltenen Baustoffe sind nur Angaben zu folgende Umweltindikatoren zu finden:

- Inputs
 - Primärenergie nicht regenerierbar,
 - Primärenergie regenerierbar,
 - Sekundärbrennstoffe,
 - Wassernutzung.
- Outputs
 - Abraum und Erzaufbereitungsrückstände,
 - Hausmüll und Gewerbeabfälle,
 - Sonderabfälle.
- Indikatoren der Wirkbilanz
 - abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP),
 - Eutrophierungspotenzial (EP),
 - Ozonabbaupotenzial (ODP),
 - fotochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP),
 - Treibhauspotenzial (GWP 100),
 - Versauerungspotenzial (AP).

Beispielhaft wird hier ein Auszug aus der Ökobau.dat gezeigt, der für Splittmastixasphalt (SMA) hinterlegt ist (Bild 2). Diese Angaben können für

Umweltindikatoren					
Indikatoren der Sachbilanz					
	Indikator	Richtung	Wert	Einheit	Anteil
Inputs					
	Primärenergie nicht regenerierbar	Input	3777 MJ		
	- Braunkohle				1 %
	- Steinkohle				1 %
	- Erdgas				6 %
	- Erdöl				90 %
	- Uran				1 %
	Primärenergie regenerierbar	Input	31,05 MJ		
	- Wasserkraft				19 %
	- Windkraft				33 %
	- Sonnennutzung (Solarenergie)				48 %
	- Sonnennutzung (Biomasse)				0 %
	Sekundärbrennstoffe	Input	0,367 MJ		
	Wassernutzung	Input	30014 kg		
Outputs					
	Abraum und Erzaufbereitungsrückstände	Output	359 kg		
	Hausmüll und Gewerbeabfälle	Output	0 kg		
	Sonderabfälle	Output	0,0181 kg		
Indikatoren der Wirkbilanz					
	Indikator		Wert	Einheit	
	Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP)	Input	1,8 kg	Sb-Aqv.	
	Eutrophierungspotenzial (EP)	Output	0,0192 kg	Phosphat-Aqv.	
	Ozonabbaupotenzial (ODP)	Output	4,91E-8 kg	R11-Aqv.	
	Photochem. Oxidantienbildungspot. (POCP)	Output	0,17 kg	Ethen-Aqv.	
	Treibhauspotenzial (GWP 100)	Output	69,09 kg	CO2-Aqv.	
	Versauerungspotenzial (AP)	Output	0,207 kg	SO2-Aqv.	

Bild 2: Auszug des Datensatzes für Splittmastixasphalt aus der Ökobau.dat [BMVBS (Hrsg.) 2011b]

eine Potenzialanalyse herangezogen werden, sind aber nicht für alle Baustoffe/Materialien bzw. Prozesse in dieser Form hinterlegt und beziehen sich darüber hinaus nur auf die Kriteriengruppe „Ökologische Qualität“.

Für die weiteren Kriteriengruppen „Ökonomische Qualität“, „Soziokulturelle und funktionale Qualität“, „Technische Qualität“ und „Prozessqualität“ müssen andere Verfahren bzw. Datenquellen erschlossen werden.

5.1.3.2 Bewertungsmethoden

Wesentliche Grundlage der Zusammenstellung bestehender Bewertungsverfahren sind die unterschiedlichen Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).

Das Forschungsvorhaben FE 15.0494/2010/FRB „Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke in Hinblick auf Nachhaltigkeit“ [BMVBS (Hrsg.) 2010] stellt ein Bewertungssystem zur Beurteilung von bestehenden und neu gebauten Brückenbauwerken zur Verfügung. In diesem Vorhaben werden Kriterien zurückgestellt, für deren Messung und/oder Beurteilung zum Zeitpunkt der Erarbeitung keine anerkannten Methoden vorlagen.

Mit dem FE-Vorhaben 09.0162/2011/LRB „Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur“ [BMVBS (Hrsg.) 2012a] wird das Beurteilungskonzept zu einer Gesamtstruktur für den Bewertungsablauf in den einzelnen Lebenszyklusphasen einer Straßeninfrastruktur und für die einzelnen Elemente (Brücke, Strecke, Tunnel) erweitert. Hierbei werden Kriterien der Nachhaltigkeit identifiziert und ihre Bedeutung in den einzelnen Planungs- und Lebensphasen eines Elementes eingeordnet. Die konkrete Ausgestaltung der Bewertungsverfahren wird in den beiden FE-Vorhaben 09.0163/2011/LRB „Verfahren zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Ausschreibung von Elementen der Straßeninfrastruktur“ [BMVBS (Hrsg.) 2012b] und FE 09.0164/2011/LRB „Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel“ [BMVBS (Hrsg.) 2013] vorgenommen. In letzterem Vorhaben werden darüber hinaus als Element und Kriterien übergreifend identifizierte Bewertungsverfahren in eigenen Anlagensteckbriefen beschrieben:

- Ökobilanz,
- Umweltwirkung infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung,
- externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung,
- Ermittlung von Zeitverlusten und Mehrkilometern,
- Lebenszykluskostenrechnung.

Bestehende Bewertungsverfahren, wie beispielsweise eine einfache Lebenszykluskostenrechnung, werden für das vorliegende Projekt herangezogen. Hier ist es beispielsweise denkbar ein Potenzial der unterschiedlichen Erhaltungsmaßnahmen anhand deren Nutzungsdauer und den Herstellungskosten zu definieren. Dennoch muss auch hier eine Überführung der absoluten Werte anhand eines Bewertungsmaßstabes zu einer Potenzialziffer erfolgen, der bislang nur bei wenigen Kriterien gegeben ist.

Für die verbleibenden Kriterien werden die nicht messbaren Kriterien anhand von Erläuterungsberichten oder Checklisten bewertet. Infolgedessen sind ggf. umfangreiche Annahmen erforderlich, um die Methodik für diese Kriterien auf das vorliegende Projekt übertragen zu können.

5.1.4 Zusammenfassung

Die eingehenden Literaturrecherche verdeutlicht, dass für das Subsystem Strecke bislang eine unzureichende Grundlage an Bewertungsverfahren und Bewertungsmaßstäben vorliegt. Im ersten Schritt wird daher eine Ausarbeitung der spezifischen Maßnahmen je Untersuchungsschwerpunkt in Anlehnung an die Literatur und geltende Regelwerke vorgenommen.

Im zweiten Schritt werden bestehende Literatur und abgeschlossene FE-Vorhaben hinsichtlich Angaben zu geeigneten Bewertungsverfahren und -maßstäben untersucht. Hierbei zeigt sich, dass die Inhalte hierzu für eine Potenzialanalyse nicht ausreichend beschrieben sind bzw. nicht adaptiert werden können. Die dargestellten Ergebnisse und Bearbeitungsstände zeigen, dass für das Subsystem der Strecke ein erhöhter Arbeitsaufwand auf die Recherche hinsichtlich Bewertungsverfahren und Datengrundlagen verwendet werden muss.

Auf Grundlage dieser Erkenntnis wird im weiteren Vorgehen versucht für die Maßnahmen des einzel-

nen Untersuchungsschwerpunkts anwendbare Systeme zu finden, oder eigene Werte entsprechend den Erfahrungen anzunehmen.

Im Rahmen dieses Projektes werden jedoch keine neuen Bewertungsverfahren oder -maßstäbe entwickelt, mit denen die Potenziale quantifiziert werden können. Somit wird es im Anschluss an eine mögliche Weiterentwicklung der Bewertungssysteme und insbesondere Bewertungsmaßstäbe erforderlich sein, die Potenzialmatrix für das Subsystem Strecke zu ergänzen und zu aktualisieren.

5.2 Bewertungsmethodik

5.2.1 Grundlagen

Wie das Kapitel 4.4.4 zeigt, liegt das Hauptaugenmerk der Potenzialanalyse Strecke auf der Identifizierung der Einzelmaßnahmen, der Relevanz innerhalb der Kriterien und des dafür anzuwendenden Bewertungsverfahrens bzw. der Bewertungsmethode.

Mittels einer Analyse der bisherigen FE-Vorhaben konnten die folgenden Bewertungsverfahren für einzelne Kriterien zusammengestellt werden. Die Tabelle 6 zeigt, welche Bewertungsverfahren für die einzelnen Kriterien vorliegen und welchen Kriterien bislang noch keine Bewertungsverfahren zugeordnet wurden („k. A.“).

Bestimmte Verfahren (u. a. Erläuterungsberichte und Checklisten) erfordern für ihre Anwendung ein konkretes Bauwerk bzw. eine konkrete Strecke und stehen folglich nur bedingt für die vorliegende Auswertung zur Verfügung. Da die Bewertungsverfahren und -maßstäbe vorliegen, können die betroffenen Kriterien jedoch bei einer Nachhaltigkeitsbewertung für ein konkretes Bauvorhaben herangezogen werden.

5.2.2 Vorgehen

In der Sensitivitätsanalyse gilt es die Einflüsse eines Untersuchungsschwerpunkts auf die definierten Kriterien zu identifizieren. Auf Grundlage dieser Analyse werden die Untersuchungsschwerpunkte um die in Kapitel 5.3 erläuterten Maßnahmen erweitert und hinsichtlich ihrer Potenziale in den Nachhaltigkeitskriterien betrachtet. Sofern die Betrachtung eine Wirkungsrelevanz einer Maßnahmenvariante innerhalb eines Kriteriums ergibt, gilt

es das dafür vorhandene Potenzial darzustellen und ggf. zu bewerten.

Die Bewertung erfolgt auf Grundlage der bestehenden Bewertungsmaßstäbe und – sofern solche nicht zugeordnet oder nicht ausgearbeitet sind – anhand eigener Annahmen, basierend auf absoluten Werten, die den Einfluss der Maßnahme auf das Kriterium abbilden.

Sofern keine konkreten Annahmen getroffen werden können, werden die Potenziale durch eine farbliche Codierung aufgezeigt. Eine Darstellung der Potenzialbewertung wird wie folgt vorgenommen:

- Gelb: Kriterien, auf die aufgrund der Voruntersuchung in der Potenzialanalyse kein Einfluss der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte erwartet wird.
- Rot und „k. P.“: Das Kriterium weist kein Potenzial auf, oder es wurde wider Erwarten kein Potenzial festgestellt.
- Grün und „k. B.“: In diesen Kriterien sind Potenziale zu sehen. Auf Grundlage absoluter Werte oder gegebener Bewertungsmaßstäbe ist das Potenzial am konkreten Bauvorhaben zu bewerten.
- Grün und „Zahlenwert“: In dem Kriterium ist ein Potenzial generierbar und wurde quantifiziert.

Die Übersicht der vorgenommenen Potenzialbewertung ist in der Anlage 3 gegeben. Die Tabelle in der Anlage 3 zeigt die Potenziale der einzelnen Maßnahmen eines Untersuchungsschwerpunkts auf.

Dem Umstand geschuldet, dass nur für eine geringe Zahl an Kriterien Bewertungsverfahren bestehen (siehe Tabelle 6), erscheint es zum aktuellen Zeitpunkt zielführend, die Spannweiten der erreichbaren Punkte einer Maßnahme innerhalb der Kriterien abzubilden. Ziel ist es, einen direkten Vergleich innerhalb eines Kriteriums für unterschiedliche Varianten einer Maßnahme vorzunehmen, da sich erst durch einen Variantenvergleich von Maßnahmen ein Potenzial erkennen lässt. Zudem kann im weiteren Verlauf innerhalb einer Maßnahme ein Eindruck gewonnen werden, welche Hauptkriterien-Gruppe („Ökologische Qualität“, „Ökonomische Qualität“, „Soziokulturelle und funktionale Qualität“, „Technische Qualität“ oder „Prozessqualität“) den größten Nutzen hinsichtlich der Nachhaltigkeit verspricht.

Nr.	Kriterium	Bewertungsverfahren
1. Ökologische Qualität		
1.1	Treibhauspotenzial (GWP)	Ökobilanz
1.2	Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	Ökobilanz
1.3	Ozonbildungspotenzial (POCP)	Ökobilanz
1.4	Versauerungspotenzial (AP)	Ökobilanz
1.5	Überdüngungspotenzial (EP)	Ökobilanz
1.6a	Risiken für die lokale Umwelt Teil A: Fauna und Flora	Erläuterungsbericht auf Grundlage der UVP
1.6b	Risiken für die lokale Umwelt Teil B: Boden, Wasser und Luft	Erläuterungsbericht auf Grundlage der UVP
1.7	Sonstige Wirkungen auf die lokale Umwelt	k. A.
1.8a	Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung (MBV)	Ökobilanz der treibhausrelevanten Mehremissionen infolge von Zeitverlusten und Mehrkilometern
1.8b	Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge Linienführung	k. A.
1.9	Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PENRT)	Ökobilanz
1.10	Gesamprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie (PERT)	Ökobilanz
1.11	Wasserbedarf (war für Brücken zurückgestellt) und enthielt ursprünglich noch den Aspekt „Abwasseraufkommen“)	k. A.
1.12	Flächeninanspruchnahme	Erläuterungsbericht auf Grundlage einer Flächenbilanz
1.13	Abfall und Kreislaufwirtschaft, Ausbruchmaterial (HWD, NHWD, RWD)	Erläuterungsbericht auf Grundlage eines Entsorgungskonzeptes
1.14	Ressourcenschonung (ADPE) (neu)	Erläuterungsbericht auf Grundlage einer Ressourcenbilanz
2. Ökonomische Qualität		
2.1	Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus	Ermittlung von Lebenszykluskosten (Kapitalwert)
2.2	Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	Ermittlung externer Kosten infolge Zeitverlusten und Mehrkilometer
2.3	Externe Kosten infolge streckenbedingter Verkehrsbeeinträchtigung (neu)	k. A.
3. Soziokulturelle und funktionale Qualität		
3.1a	Mensch, einschließlich Gesundheit, insbesondere Lärm	Erläuterungsbericht auf Grundlage der UVP
3.1b	Landschaft	Erläuterungsbericht auf Grundlage der UVP
3.1c	Kulturgüter und sonstige Sachgüter	Erläuterungsbericht auf Grundlage der UVP
3.2	Komfort	Erläuterungsbericht auf Grundlage von objektiven Nutzerkriterien
3.3	Umnutzungsfähigkeit	Gestrichen, Inhalte vollständig in 4.4 erfasst
3.4	Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit, Betriebsoptimierung	Erläuterungsbericht auf Grundlage eines Betriebskonzeptes
3.5	Sicherheit gegenüber Störfallrisiken (Security) (war für Brücken zurückgestellt)	Erläuterungsbericht aufgrund einer Risikoprofils
3.6	Verkehrssicherheit (Safety) (war für Brücken zurückgestellt)	Erläuterungsbericht auf Grundlage eines Sicherheitsaudits
3.7	Förderziele (neu)	Erläuterungsbericht auf Grundlage von Zielerreichungsgraden
4. Technische Qualität		
4.1	Elektrische und mechanische Einrichtungen	Erläuterungsbericht → Bewertungsmaßstab aus FE 09.0164/2011/LRB
4.2	Konstruktive Qualität, Dauerhaftigkeit, Robustheit	Erläuterungsbericht auf Grundlage der RE 85/2012
4.3	<i>Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit</i>	Gestrichen , Inhalte vollständig in 3.4 erfasst
4.4	Verstärkung und Erweiterbarkeit, Umnutzungsfähigkeit	Erläuterungsbericht → Bewertungsmaßstab aus FE 09.0164/2011/LRB
4.5	Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit, Demontagefreundlichkeit	Erläuterungsbericht → Bewertungsmaßstab aus FE 09.0164/2011/LRB
5. Prozessqualität		
5.1	Qualifikation des Planungsteams	k. A.
5.2	Nachweis der Nachhaltigkeitsaspekte in Ausschreibung und Vergabe	k. A.
5.3	Baustelle/Bauprozess	k. A.
5.4	Qualität der ausführenden Firmen/Präqualifikation	k. A.
5.5	Qualitätssicherung der Bauausführung	k. A.

Tab. 6: Bekannte Bewertungsverfahren aus dem FE 09.0164/2011/LRB

5.2.3 Anmerkung

Für die Kriterien, welche anhand einer Ökobilanz zu bewerten sind, sind absolute Werte aus der Ökobau.dat und ergänzend hierzu aus der bestehenden Literatur sowie Regelwerken heranzuziehen. Die Angaben der Ökobau.dat können zwar in der Regel auf eine gemeinsame Einheit umgerechnet werden (Emission in Kilogramm je Kilogramm Baustoff), jedoch bildet dieser Wert nicht direkt das Potenzial ab. Werden beispielsweise die Varianten Betonschutzwand und Stahlplanke betrachtet, so kann der CO₂-Ausstoß (Kriterium 1.1) bei der Schutzplanke je kg höher liegen als bei einer Betonschutzwand. Da dieser Wert aber in Abhängigkeit der erforderlichen Menge eines Baustoffes zu betrachten ist, kann erst nach der Gesamtbetrachtung ein Potenzial ausgewiesen werden. Folglich können die absoluten Werte ein Potenzial suggerieren, welches nicht vorhanden ist oder sogar zu einer falschen Einschätzung führen.

Beispielhaft wird in Tabelle 7 für Schutzplanken sowie Betonschutzwände (in lfm) Teile der ökologi-

schen Qualität unter Anwendung einer vereinfachten Massenrechnung dargestellt.

Zwar kann weiterhin ein ökologischer Nachteil der Stahlschutzplanken aufgrund der Emissionswerte aufgezeigt werden, jedoch ist dieser, bei ausschließlicher Betrachtung der Ökobau.dat-Werte, um ein vielfaches höher. Das Kriterium Treibhausgaspotenzial (GWP) beispielsweise beträgt für Stahlschutzplanken ohne hinterlegte Massenberechnung das 15-fache. Unter Berücksichtigung der Massen ergibt sich jedoch nur das 1,3-fache an Emission gegenüber Betonschutzwänden (vergleiche Zeile 1.1 in Bild 3).

Diese Tatsache begründet die Entscheidung bei den betreffenden Kriterien der „Ökologischen Qualität“ die gegebenen absoluten Werte beizubehalten und keinen Punktemaßstab zu vergeben und anzuwenden. Sofern dieses Kriterium bei einer projektspezifischen Planung zu bewerten ist, kann in Form einer Massenumrechnung das Potenzial ermittelt werden. Somit stehen diese Informationen trotzdem für die Nachhaltigkeitsbewertungen zur Verfügung.

Nr.	Kriterium ¹	Schutzplanke Stahl				Betonschutzwand			
		Werte		Masse		Werte		Masse	
		Ökobau.dat		70,6	[kg/m]	Ökobau.dat		866,9	[kg/m]
1.1	GWP	2,55	kg/kg	180,03	kg/m	0,166	kg/kg	143,90	kg/m
1.2	ODP	3,14E-09	kg/kg	0,00	kg/m	-8,81E-10	kg/kg	-0,00	kg/m
1.3	POCP	0,00121	kg/kg	0,09	kg/m	2,48E-05	kg/kg	0,02	kg/m
1.4	AP	8,80E-03	kg/kg	0,62	kg/m	3,14E-04	kg/kg	0,27	kg/m
1.5	EP	7,62E-04	kg/kg	0,05	kg/m	4,41E-05	kg/kg	0,04	kg/m
1.9	PENRT	30,4	MJ/kg	2.146,24	MJ/m	1,156	MJ/kg	1.002,09	MJ/m
1.10	PERT	1,6	MJ/kg	112,96	MJ/m	0,048	MJ/kg	41,61	MJ/m
1.13	HWD	0	kg/kg	-	kg/m	3,14E-07	kg/kg	0,00	kg/m
	NHWD	14,2	kg/kg	1.002,52	kg/m	5,89E-01	kg/kg	510,58	kg/m
	RWD	0,00079	kg/kg	0,06	kg/m	2,57E-05	kg/kg	0,02	kg/m
1.14	ADPE	1,74E-07	kg/kg	0,00	kg/m	3,34E-07	kg/kg	0,00	kg/m

¹ Abkürzungen der Ökobilanzkriterien:

- GWP = Globales Erwärmungspotenzial;
- ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht;
- POCP = Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon;
- AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser;
- EP = Eutrophierungspotenzial;
- PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie;
- PERT = Total erneuerbare Primärenergie;
- HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie;
- NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall;
- RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall;
- ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressource

Tab. 7: Ökologischer Vergleich der Schutzeinrichtungen (Schutzplanke Stahl und Betonschutzwand)

5.3 Ausarbeitung der spezifischen Maßnahmen

5.3.1 Allgemeines

Bei der Definition der spezifischen Maßnahmen der drei Untersuchungsschwerpunkte wurden die in den Regelwerken benannten und in der Praxis üblichen Verfahren und Ausführungsvarianten für die Bewertung herangezogen. Die Darstellung der Maßnahmen der einzelnen Untersuchungsschwerpunkte hat hier nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, sondern stellt zum aktuellen Forschungszeitpunkt eine erste Analyse der relevanten Maßnahmen und Varianten dar. Dieser Stand ist durch weitere Forschungsvorhaben und auf Grundlage technologischer Entwicklungen fortzuschreiben, zu verifizieren und anzupassen.

Die Konstruktion einer Strecke wird für die vorliegende Untersuchung in deren Oberbau und deren Ausstattungselemente unterteilt. Da für einen i. d. R. nach RStO 2012 [FGSV (Hrsg.) 2012] oder RDO [FGSV (Hrsg.) 2009e, 2009d] bemessenen Aufbau, gemäß den ZTV Asphalt-StB [FGSV (Hrsg.) 2007c] und ZTV Beton-StB [FGSV (Hrsg.) 2007d] unterschiedliche Baustoffe Anwendung finden können, wird der Straßenoberbau im Untersuchungsschwerpunkt „Baustoffe“ bewertet.

Folglich behandelt der Untersuchungsschwerpunkt „Konstruktion“ die relevanten Ausstattungs- bzw. Anlagenelemente einer Strecke:

- Schutzeinrichtungen (am Fahrbahnrand und Mittelstreifen),
- Leitpfosten,
- Blendschutz,
- Tierschutzsysteme,
- Lärmschutz,
- Entwässerungseinrichtung,
- Beleuchtung,
- Lichtsignalanlage,
- Verkehrszeichen,
- Fahrbahnmarkierung.

5.3.2 Ausstattungselemente

5.3.2.1 Schutzeinrichtungen

Schutzeinrichtungen sind nach den „Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für passive

Schutzeinrichtungen“ [FGSV (Hrsg.) 1998] und den „Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme“ [FGSV (Hrsg.) 2009c] zu planen und auszuführen.

Schutzeinrichtungen können am Fahrbahnrand oder bei getrennten Richtungsfahrbahnen auch im Mittelstreifen vorgesehen werden. Diese Maßnahmen dienen zum einen der Verringerung der Unfallfolgen, dem Schutz unbeteiligter Personen des Gegenverkehrs sowie der Fahrzeuginsassen. Bei der Betrachtung der Potenziale der Rückhaltesysteme werden die Varianten Schutzplanke und Betonschutzwände untersucht, da eine weitere Detaillierung hier als nicht zielführend angesehen wird.

Eine maßgebende Stellschraube im Hinblick auf Nachhaltigkeit stellt die Wahl der Konstruktionsweise dar. Für die passive Schutzeinrichtung am Fahrbahnrand gilt, dass die Auswahl einer Schutzeinrichtung nach der erforderlichen Aufhaltstufe, der Wirkungsbereichsklasse und der Anprallheftigkeitsstufe auszurichten ist. Die Konstruktionsweise der Schutzeinrichtung weist Potenziale in den Kriterien „Verkehrssicherheit“ (3.6.1) sowie „Wartungsfreundlichkeit und Zugänglichkeit“ (4.1.1.2) auf.

Die Wahl der Schutzeinrichtung bestimmt gleichzeitig das Material. Schutzplanken werden in der Regel aus Stahlblechen und Schutzwände aus Stahlbeton gefertigt. Das verwendete Material hat einen Einfluss auf die Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14 aufgrund der baustoffspezifischen Emissionen. Weiter unterscheiden sich die Materialkosten sowie die damit verbundenen Folgekosten bzgl. der Wartung, Reparatur, Erneuerung und des Rückbaus, welche bei der Betrachtung der direkten Kosten im Lebenszyklus (2.1) in Abhängigkeit der materialspezifischen Nutzungsdauern zu sehen sind. Ein Potenzial aufgrund des Materials ist im Kriterium 4.1.1.1 generierbar. Weiteres Potenzial aufgrund des Materials besteht in den Kriterien 4.1.1.2 „Wartungsfreundlichkeit, Zugänglichkeit“ und 4.5.2. „Konzept zur sortenreinen Trennung“.

Bedingt durch verschiedene Einbaumaschinen und Herstellungsverfahren sind Potenziale bei der Nachhaltigkeitsbewertung in den ökologischen Kriterien (1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14) sowie bei der „Lärmbeeinträchtigung der Fauna (1.6a.1b) und der Menschen (3.1a.1) während der Herstellung“ gegeben. Darüber hinaus zeigt sich Potenzial im Kriterium „Rückbaukonzept“ (4.5.1).

Unter Beachtung der projektspezifischen Randbedingungen ist somit ein Nachhaltigkeitspotenzial aufgrund der Konstruktionsweise, dem Material und dem Bauverfahren der Schutzeinrichtungen generierbar. Zwar sind Vor- und Nachteile der Schutzeinrichtungen gleichermaßen gegeben, bei einer Gesamtbetrachtung weisen Betonschutzwände jedoch Vorteile in wesentlichen Kriterien auf. Nur das höhere Gewicht könnte über die zugehörigen Emissionswerte das Gesamtergebnis ändern. Daher muss die Nachhaltigkeitsbewertung am konkreten Projekt beurteilt werden.

5.3.2.2 Leitpfosten

In der Bewertung werden die folgenden Ausstattungsvarianten betrachtet: Eingrab- und Abscher-Leitpfosten sowie sogenannte „Steh-auf“-Leitpfosten.

Potenziale im Bereich der Ökonomie aufgrund der verschiedenen Ausführungsvarianten ist im Kriterium 2.1 gegeben, in dem alle „direkten Kosten im Lebenszyklus“ (Herstellung, Reinigung etc.) zu berücksichtigen sind. Die Abscher-Leitpfosten und „Steh-auf“-Leitpfosten weisen aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften in der Regel einen geringeren Beschädigungsgrad nach Unfällen und somit ein Potenzial auf, das in dem Kriterium „Dauerhaftigkeit“ (4.1.1.1) erfasst wird. Zudem sind weitere Potenziale durch die Funktionen des Abscherens und des selbstständigen Aufrichtens in dem Kriterium 4.1.1.2 „Wartungsfreundlichkeit und Zugänglichkeit“ gegeben.

Ein Potenzial der Nachhaltigkeitsbewertung aufgrund unterschiedlicher Materialien besteht in den ökologischen Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14 durch die Verwendung von Recycling-Produkten, unterschiedliche Sockelvarianten oder Aussteifungen in den Leitpfosten.

Die erforderlichen Einbauverfahren und entsprechenden Geräte beeinflussen durch die entstehenden Schadstoffe die Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14. Aufgrund des Schadstoffausstoßes sind in diesen Kriterien Potenziale festzustellen. Weiter bedingen die Einbauverfahren die Potenziale in den Kriterien Lärmbeeinträchtigung der Fauna (1.6a.1b) und der Menschen (3.1a.1) während der Herstellung.

Unter Berücksichtigung der spezifischen Einflussfaktoren im konkreten Projekte sind Potenziale auf-

grund der Ausführungsvarianten, des Materials und des Einbauverfahrens für Leitpfosten gegeben. Die Nachhaltigkeitsbetrachtung lässt auf ein größtmögliches Potenzial der „Steh-auf“-Leitpfosten schließen, da bspw. trotz höherer Anfangskosten, Einsparungen durch einen geringeren Wartungsaufwand und Ersatzkosten infolge Beschädigungen anfallen. Weiteres Potenzial ist über die Materialwahl gegeben, das zusätzlich über einen emissionsarmen Baustoff erreicht werden kann.

5.3.2.3 Blendschutz

Die Anordnung eines Blendschutzes gilt nach RPS [FGSV (Hrsg.) 2009c] als Zusatzeinrichtung an Fahrzeug-Rückhaltesystemen und wird in eine Lamellenkonstruktion oder einen begrünten Mittelstreifen unterschieden. Der Blendschutz wird aufgrund seiner sich zum Rückhaltesystem unterscheidenden Aufgabe, die Blendung des Gegenverkehrs zu unterbinden oder mindestens zu mindern, getrennt betrachtet und bewertet.

Bedingt durch die unterschiedlichen Blendschutzvarianten bestehen Potenziale in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14. Weiter zeigt sich ein Potenzial in Abhängigkeit der Material-, Einbau-, Wartungs-, Reparatur- und Erneuerungskosten im Kriterium 2.1. Das Potenzial der „Dauerhaftigkeit“ (4.1.1.1) ergibt sich aus unterschiedlichen Nutzungsdauern, die beispielsweise bei einer Lamellenkonstruktion kürzer ausfällt als bei einem begrünten Mittelstreifen. Im Hinblick auf die „Wartungsfreundlichkeit“ (4.1.1.2) stellt sich die Bewertung genau entgegengesetzt dar. Das gleiche Potenzial ist in dem Kriterium „Rückbaukonzept“ (4.5.1) festzustellen.

Die angewendete Gerätetechnik für den Einbau, die Wartung etc. und das Einbauverfahren erzeugen Potenziale einer Nachhaltigkeit in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14 der „Ökologischen Qualität“ sowie in den Kriterien „Lärmbeeinträchtigung der Fauna und der Menschen während der Herstellung“ (1.6a.1b und 3.1a.1).

Entsprechend den standortspezifischen Gegebenheiten sind die maßgebenden Potenziale durch die Wahl der Blendschutzvariante und den anwendbaren Bauverfahren inklusive der Geräte zu erzielen. Nach Betrachtung der Potenziale der Varianten in den einzelnen Qualitätskriterien können keine offensichtlichen Vorteile gesehen werden. Das Potenzial ist da je nach Anforderungen und Vorgaben der individuellen Planung zu ermitteln.

5.3.2.4 Tierschutzsysteme

Eine artenspezifische Ausführung von Schutzsystemen für Tiere kann dem „Merkblatt zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen an Straßen“ [FGSV (Hrsg.) 2008c] entnommen werden. In dem vorliegenden Vorhaben werden Grünbrücken sowie Unterführungen und Zaunsysteme hinsichtlich ihrer Potenziale betrachtet, da sie in ihrer Ausführung und ihrer Wirkung markante Unterschiede aufweisen.

Ein Potenzial ergibt sich aufgrund der unterschiedlichen Tierschutzsystemen in den Kriterien „Flächeninanspruchnahme des fertiggestellten Bauwerkes“ (1.12.2), „Behinderung des Wildwechsels während der Nutzung“ (1.6a.1b) und den „direkten bauwerksbezogenen Kosten im Lebenszyklus“ (2.1). Das Risiko einer „unfallbedingten Beeinträchtigung der Nutzbarkeit der Verkehrsanlage“ (3.6.1) ist bei einem Bauwerk deutlich höher als bei einem Wildschutzzaun. Des Weiteren haben die unterschiedlichen Tierschutzsysteme eine Auswirkung auf das Potenzial im Kriterium „Wartungsfreundlichkeit und Zugänglichkeit“ (4.1.2).

Die Wahl des Tierschutzsystems (Zaun oder Bauwerk) begrenzt die Materialwahl. Potenziale aufgrund des Materials sind in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13, 1.14 sowie 4.1.1.1 („Dauerhaftigkeit“) gegeben. Aufgrund verschiedener Nutzungsdauer der Baustoffe kann hier ein Nachhaltigkeitspotenzial erzielt werden.

Der Baumaßnahmenumfang der Varianten unterscheidet sich wesentlich durch das Einbauverfahren, aufgrund dessen sind Potenziale in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13, 1.14. wie auch in den Kriterien 1.6a.1a „Behinderung von Wildwechsel während der Herstellung“ und „Lärmbeeinträchtigung der Fauna und der Menschen während der Herstellung“ (3.1a.1) zu generieren. Aufgrund der längeren Bauzeit sowie dem größeren maschinellen Aufwand sind Bauwerke schlechter als Zäune zu bewerten. Die Potenzialspanse ist für das Kriterium „Flächeninanspruchnahme während der Herstellung“ (1.12.2) weitgehend identisch.

Somit können unter Berücksichtigung der gegebenen Standortbedingungen Potenziale aufgrund der Konstruktionsweise, dem Material und dem Bauverfahren erzielt werden. Die Betrachtung der Potenziale lässt den Schluss zu, dass sich ein Tierschutzzaun in der Nachhaltigkeitsbewertung positiver darstellt. Die Nachhaltigkeitsqualität kann wei-

terführend durch eine zusätzliche Wildwarnanlage und gezielte Querungsstellen für Wild zugunsten der „Ökologischen Qualität“ erhöht werden.

5.3.2.5 Lärmschutz

Das Regelwerk „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen“ [FGSV (Hrsg.) 1990] verweist auf unterschiedliche Maßnahme zur Vermeidung oder Minderung von Lärm. Grundsätzlich gilt, dass die Lärmbildung bereits im Planungsprozess zu berücksichtigen und eine Lärmbelastung der Anlieger zu vermeiden ist. Sofern diese Lärmprävention nicht durch geeignete Routenwahl realisiert werden kann, sind bauliche Schutzmaßnahmen an der Straße auszuführen oder es „[...] sind Aufwendungen für erforderliche Lärmschutzmaßnahmen an der betroffenen baulichen Anlage zu erstatten“ [FGSV (Hrsg.) 1990. S.5, Abs.2 (III)].

Die bautechnischen Maßnahmen an einer Straße können in vier Varianten unterschieden werden:

1. Lärmschutzwände,
2. Lärmschutzwälle,
3. Einschnitts- und Troglagen, Hochlagen,
4. Teil- und Vollabdeckungen (Tunnel).

Die Punkte 3. und 4. werden hierbei nicht näher betrachtet, da sie im Vorfeld planerisch zu berücksichtigen bzw. in dem Bereich Tunnel abzuhandeln sind. Vorliegend werden deshalb Lärmschutzwände und -wälle in die Bewertung einbezogen.

Für die Maßnahme einer Lärmschutzwand kann das Nachhaltigkeitspotenzial durch eine unterschiedliche Materialwahl beeinflusst werden. Untersucht wurden die folgenden Materialien:

- Aluminium,
- Beton,
- Glas,
- Holz,
- Gabionen.

Sofern die Standortgegebenheiten und Flächenverfügbarkeit eine Wahl zwischen Lärmschutzwand und -wall ermöglichen, ist auch hier eine Potenzialbetrachtung sinnvoll. Deshalb wird im Punkt Lärmschutz das Potenzial zwischen Wand und Wall abgebildet sowie für die Lärmschutzwand die unterschiedliche Materialwahl berücksichtigt.

Ein Potenzial in Abhängigkeit der Lärmschutzmaßnahmen kann in den Kriterien 1.6a.1b „Behinderung von Wildwechsel während der Nutzung“ und 1.12.2 „Flächeninanspruchnahme für das fertiggestellte Bauwerk“ erzielt werden.

Neben der Konstruktion trägt die Auswahl geeigneter Baustoffe zum Potenzial einer Maßnahme in Bezug auf die Nachhaltigkeit bei. Maßgebenden Einfluss hat die Materialwahl auf die Potenziale in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14 sowie die „Lärmbeeinträchtigung der Fauna und der Menschen während der Nutzung“ (1.6a.2b und 3.1a.2). Das Potenzial der Lärmbeeinträchtigung (Minderung) ist anhand der materialspezifischen Kennwerte gegeben (bspw. Luftschalldämmung, Schallabsorptionsgrad). Bedingt durch die Materialvarianten lässt sich die Punktezah innerhalb des Kriteriums beeinflussen. Des Weiteren ist ein Potenzial bei den Lebenszykluskosten (2.1) zu erkennen. Darüber hinaus lassen sich bei der theoretischen Nutzungsdauer für die „Dauerhaftigkeit“ (4.1.1.1), den Wartungsintervallen im Kriterium „Wartungsfreundlichkeit, Zugänglichkeit“ (4.1.1.2) und dem Rückbaukonzept (4.5.1) Verbesserungen zu erzielen.

Wie in den beschriebenen Maßnahmen zuvor beeinflusst das Bauverfahren das Potenzial in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14. Ein Potenzial aufgrund des Einbauverfahrens ergibt sich ebenfalls für die Kriterien „Lärmbeeinträchtigung der Fauna und der Menschen während der Herstellung“ (1.6a.2a und 3.1a.1). Weiter wird der Wildwechsel während der Herstellung (1.6a.2a) durch den Einbauprozess behindert. Hierbei ergeben sich Potenziale aufgrund des Bauverfahrens durch die mit dem Einbau von Erdmassen (Wall) verbundenen „Erschütterungen“ (1.6b.2) und „Bodenbewegungen“ (1.6b.3) bei der Herstellung eines Walles. Der Einbauprozess erfordert zudem das Aufschütten von Erdmassen, was ein Potenzial in dem Kriterium „Umwelteinwirkungen durch Staubentwicklung während der Herstellung“ (1.6b.6) ausweist. Aufgrund des geringeren Flächenbedarfs einer Lärmschutzwand, sind Potenziale bei der „Flächeninanspruchnahme während der Herstellung“ (1.12.2) gegenüber einer Wallkonstruktion gegeben.

Wie auch bei den vorherigen Ausstattungselementen ist Potenzial durch die Konstruktion, das Material und das Bauverfahren zu generieren. Da sich die Auswahl der Maßnahmen an den planerischen

und aufgrund des Standorts vorgegebenen Anforderungen richtet, kann das individuelle Potenzial nur anhand der Projektumstände ermittelt werden.

5.3.2.6 Entwässerung

Die Auswahl einer Entwässerungseinrichtung kann nicht ohne Berücksichtigung der standortspezifischen Parameter getroffen und dementsprechend dimensioniert werden. Es können im Vorfeld bereits Einschränkungen und Vorgaben bestehen (naturschutzrechtliche Vorgaben oder ein unzureichende Fahrbahneigung), welche eine freie/offene Entwässerung nicht zulassen bzw. eine geschlossene Entwässerung fordern. Grundsätzlich ist eine freie Entwässerung der Fahrbahn zur Seite hin anzustreben, sodass keine weiteren baulichen Maßnahmen an der Strecke vorzunehmen sind. Entwässerungseinrichtungen sind gemäß den ZTV Ew-StB 91 [FGSV (Hrsg.) 1991] und dem Arbeitsblatt DWA-A 138 [DWA (Hrsg.) 2005] zu gestalten und zu dimensionieren. Bei Boden- und Felsuntersuchungen nach den ZTV E-StB [FGSV (Hrsg.) 2009b] sind mögliche Auswirkungen des Wassers und Bodens auf das Bauwerk bei der Festlegung der Entwässerungseinrichtung zu berücksichtigen.

Für die Potenzialbetrachtung wird deshalb eine Differenzierung in eine offene (Mulden/Gräben) und geschlossene Entwässerung (Rohrleitungssysteme) vorgenommen.

Die Wahl der Einrichtung (Konstruktion) beeinflusst die Wirkung der Kriterien „Flächeninanspruchnahme während der Nutzung“ (1.12.2) und „direkte bauwerksbezogene Lebenszykluskosten“ (2.1) im Hinblick auf die Nachhaltigkeit. Ein Potenzial, das die Nachhaltigkeit einer Maßnahme betrifft, ergibt sich in dem Kriterium 4.1.1 „Dauerhaftigkeit“ aufgrund der differierenden Nutzungsdauern. Zudem beeinflusst die Art der Entwässerungseinrichtung die „Wartungsfreundlichkeit und Zugänglichkeit“ (4.1.2) und das Kriterium 4.5.1 „Rückbaukonzept“.

Aufgrund unterschiedlicher Entwässerungsvarianten und deren individuellen Ausführung ergeben sich die geeigneten Baustoffe. Die unterschiedlichen Materialien bewirken aufgrund der Emissionen in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14 Nachhaltigkeitspotenziale.

Ein weiteres Potenzial in diesen Kriterien ist durch das Einbauverfahren zu sehen. Durch die Wahl des Einbauverfahrens können Potenziale bei der

„Lärmbeeinträchtigung der Fauna und der Menschen während der Herstellung“ (1.6a.2a, 3.1a.1) sowie der „Flächeninanspruchnahme während des Baus“ (1.12.1) erzielt werden.

Die Potenzialbetrachtung der Entwässerung weist den Baustoff als maßgebenden Potenzialträger für eine nachhaltige Bewertung aus, den es bei einer projektbezogenen Bewertung abzuwägen gilt. In der Regel ist eine offene Entwässerung anzustreben, vorausgesetzt die gegebenen Standortbedingungen lassen diese Konstruktionsweise zu. Sofern eine geschlossene Entwässerung vorzusehen ist, wird empfohlen emissionsarme Materialien zu verwenden um die Nachhaltigkeit der Maßnahme zu steigern. Aufgrund der projektspezifischen Vorgaben besteht bei der Wahl der Entwässerungsweise (offen, geschlossen) üblicherweise kein Potenzial, jedoch durch die Wahl innerhalb dieser Entwässerungsart über die verschiedenen Materialien und Systeme.

5.3.2.7 Beleuchtung

Die Potenziale der Nachhaltigkeit für die Beleuchtung werden unter anderem durch das Material (Leuchtmittel) der Lampe bestimmt. Es können Potenziale in den ökologischen Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14 sowie 1.6b.7 „Beeinflussung des Kleinklimas“ bspw. über eine Reduzierung des Stromverbrauchs und der Abwärme der unterschiedlichen Lampen erreicht werden. Weiteres Potenzial ergibt sich für die Nachhaltigkeitsbetrachtung bei den „direkten bauwerksbezogenen Lebenszykluskosten“ (2.1). Ein Potenzial durch das Leuchtmittel sowie die Lichtverteilung (Lichtlenkung) kann im Kriterium „optische Führung“ (3.2.3) erzielt werden. Weiter gibt die Materialwahl und die damit verbundene Nutzungsdauer die Möglichkeit ein Potenzial in den Kriterien 3.6.1, 4.1.1.1 und 4.1.1.2 zu erschließen. Einen großen Einfluss hat die Wahl des Leuchtmittels darüber hinaus auf die Bewertung der Nutzungsdauer im Rahmen der „Technischen Qualität“, da LED länger halten als Energiesparlampen und deutlich längere Lebensdauern aufweisen wie herkömmlichen Glühlampen.

Ein Potenzial in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14, 1.6a.2a und 3.1a.1 wird aufgrund der verschiedenen Einbauverfahren gesehen.

Ausschlaggebend für das Erreichen des maßgebenden Potenzials hinsichtlich Nachhaltigkeit ist bei der Beleuchtung das Leuchtmittel. Da sich wesent-

liche Vorteile und somit Potenziale bei der LED-Technik ergeben, die sich über die verschiedenen Kriterien und Gewichtungen hinweg im Gesamtergebnis der Nachhaltigkeitsbewertung positiv niederschlagen, sollte in der Regel LED-Technik für Beleuchtungen bei der projektspezifischen Planung vorgesehen werden.

5.3.2.8 Lichtsignalanlagen

Das Potenzial einer Lichtsignalanlage (LSA) in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13, 1.14, 1.6b.7, 2.1 sowie 4.1.1.1 und 4.1.1.2 ist durch die Wahl der Materialien gegeben. Die Kriterien 4.1.1.1 „Dauerhaftigkeit“ und 4.1.1.2 „Wartungsfreundlichkeit, Zugänglichkeit“ ergeben sich aus den Nutzungsdauern der Leuchtmittel.

Der Einbauprozesses der LSA bietet Potenziale in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14 sowie auch bei der Lärmbeeinträchtigung der Fauna und der Menschen während der Herstellung (1.6a.2a, 3.1a.1).

Die Potenziale aufgrund des Materials haben wesentlichen Einfluss auf die Nachhaltigkeitsbewertung der Maßnahme und sind unter Berücksichtigung der technischen und standortspezifischen Gegebenheiten zu wählen. Auch hier stellt sich die Anwendung eines LED-Leuchtmittels als die nachhaltigste Variante heraus und sollte folglich vorgesehen werden.

5.3.2.9 Verkehrszeichen

Ein Potenzial in den Kriterien der „Ökologischen Qualität“ (1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13 und 1.14) ergibt sich durch die Wahl unterschiedlicher Materialien. Die Materialauswahl für Schild und Konstruktion kann weitere Potenziale bei den „direkten Lebenszykluskosten“ (2.1) wie auch bei der „optischen Führung“ (3.2.3) erschließen.

Die Wahl eines nachhaltigeren Einbauprozesses kann die „Lärmbeeinträchtigung der Fauna und der Menschen während der Herstellung“ (1.6a.2a, 3.1a.1) verbessern und somit ist dort ebenfalls ein Potenzial zu sehen.

5.3.2.10 Fahrbahnmarkierung

Ausschlaggebend für die Potenziale einer Fahrbahnmarkierung unter Betrachtung der Nachhaltigkeitsbewertung liegen vorrangig in der Materialwahl

und den damit verbundenen Eigenschaften sowie der Ausführung.

Das Material kann Potenziale in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13, 1.14, 2.1 und 3.2.3 generieren. Hierbei sind die Zusammensetzung, Kosten, Nachsichtbarkeit u.a. Faktoren maßgebend für die Bewertung.

Ein Potenzial aufgrund einer unterschiedlichen Ausführung ist in der „Ökologischen Qualität“ (1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13, 1.14) wie auch bei der Lärmbeeinträchtigung während der Herstellung (1.6a.2a, 3.1a.1) gegeben.

5.3.3 Konstruktionsaufbau

Die Baustoffe werden wie eingehend erläutern in Asphalt- und Betonbauweise differenziert. Eine weitere Detailierung der verwendeten Baustoffe erfolgt anhand der geltenden Regelwerke ZTV Asphalt-StB [FGSV (Hrsg.) 2007c], ZTV Beton-StB [FGSV (Hrsg.) 2007d] und ZTV SoB-StB [FGSV (Hrsg.) 2004a]. Zweckmäßig erscheint die Betrachtung je auszuführender Schicht, da hier die Potenziale durch die Baustoffwahl für die entsprechende Schicht gesehen werden.

Der Untersuchungsschwerpunkt „Baustoff“ ist somit gleichbedeutend mit dem Straßenaufbau/-konstruktion zu sehen, da hier alle Schichten mit ihren Materialvarianten je Bauweise betrachtet werden.

5.3.3.1 Frostschuttschicht (FSS)

Die Wahl des zu verwendenden Materials für die Frostschuttschicht ist den ZTV SoB-StB [FGSV (Hrsg.) 2004a] sowie den TL SoB-StB [FGSV (Hrsg.) 2004b] zu entnehmen. Für Frostschuttschichten bzw. Schichten aus frostunempfindlichem Material sind Kies-Sand- oder Sand-Kies-Gemische vorzusehen. Durch die Materialwahl können z. B. die Umweltwirkungen und die Ressourceninanspruchnahme beeinflusst werden. Ausschlaggebend hierfür sind z. B. die Transportentfernungen und der Anteil an Recyclingmaterial.

5.3.3.2 Tragschicht (TS)

Die Wahl eines Baustoffes für Tragschichten erfolgt unter Anwendung der ZTV Asphalt-StB [FGSV (Hrsg.) 2007c], der TL Asphalt-StB [FGSV (Hrsg.) 2007a] bei Tragschichten unter Asphaltdeckschichten bzw. der ZTV Beton-StB [FGSV (Hrsg.) 2007d]

und TL Beton-StB [FGSV (Hrsg.) 2007b] bei Tragschichten unter Betondeckschichten. Kies- und Schottertragschichten finden bei einer Asphalt- wie auch bei Betonbauweise Anwendung und sind gemäß den ZTV SoB-StB [FGSV (Hrsg.) 2004a] und TL SoB-StB [FGSV (Hrsg.) 2004b] auszuführen.

Die Wahl der Materialien kann bei der Tragschicht ebenfalls die Ökobilanz der Streckenherstellung positiv beeinflussen. Der Einsatz von Recyclingmaterial reduziert z. B. den Ressourcenverbrauch. Das Material der Trag- und Frostschuttschicht kann Potenziale in der „Ökologischen Qualität“ in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13, 1.14 sowie bei der „Umweltwirkung durch Staubentwicklung“ 1.6b.6 generieren. Potenziale der „direkten Lebenszykluskosten“ (2.1) sind auch bei der „Ökonomischen Qualität“ gegeben, welche Maßnahmenbezogen zu ermitteln und zu berücksichtigen sind. In der „Technischen Qualität“ bestehen die Potenziale aufgrund unterschiedlicher Materialien bei der Rückbaubarkeit (4.5.1) sowie dem „Konzept zur sortenreinen Trennung“ (4.5.2).

Es lassen sich keine allgemeinen Aussagen treffen. Wesentlich für eine gute Nachhaltigkeitsbewertung sind die Beschaffungskosten und die Transportlogistik in der konkreten Baumaßnahme sowie die Möglichkeiten, Recyclingmaterial zu verwenden.

5.3.3.3 Binderschicht (BS)

Die Binderschicht findet nur Anwendung bei dem Bau einer Deckschicht aus Asphalt. Sie ist ebenfalls unter Berücksichtigung der ZTV Asphalt-StB [FGSV (Hrsg.) 2007c] und TL Asphalt-StB [FGSV (Hrsg.) 2007a] auszuführen.

Über die Zusammensetzung des Mischgutes für die Binderschicht wird ein Potenzial in den Kriterien 1.5, 1.9, 1.10, 1.13, 1.14 sowie 2.1 generiert, wobei hier zu berücksichtigen ist, dass sich dieses Potenzial, aufgrund des Einsatzbereiches einer Binderschicht, nur bei Asphaltbauweisen zeigt.

5.3.3.4 Vliesstoff

Die Verwendung eines Vliesstoffes ist bei dem Bau einer Betondecke auf einer hydraulisch gebundenen Tragschicht (HGT) vorzusehen. Dieser dient zum einen der Vermeidung von Reflexionsrissen durch die Tragschicht auf die Deckschicht und zum anderen übernimmt der Vliesstoff eine Dränfunk-

tion, bei der aufgrund einer Schädigungen eindringendes Wasser, welches nicht durch die dichte HGT durchsickern kann, abgeführt wird.

Es gilt hierbei die Inhalte der Regelwerke ZTV Beton-StB [FGSV (Hrsg.) 2007d], TL Beton-StB [FGSV (Hrsg.) 2007b] und das „Merkblatt für die Anwendung von Vliesstoffen unter Fahrbahndecken aus Beton“ [FGSV (Hrsg.) 2010a] zu beachten.

Im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung sind die Rückbaubarkeit und das Recyclingpotenzial der Gesamtkonstruktion zu betrachten. Durch das Vlies entsteht ein Materialmix, der im Vergleich zu rein mineralischen Aufbauten aufwendiger im Recyclingprozess ist.

Wie die Binderschicht ist die Anwendung eines Vliesstoffes Bauweisen bezogen anzuwenden (nur unter Betondeckschichten). Das Material des Vliesstoffes kann eine Verbesserung der Nachhaltigkeit bezüglich der Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13, 1.14 sowie 2.1 erreichen.

5.3.3.5 Deckschicht

Die Regelungen des zu verwendenden Mischgutes für Deckschichten sind den ZTV Asphalt-StB [FGSV (Hrsg.) 2007c] und den ZTV Beton-StB [FGSV (Hrsg.) 2007d] zu entnehmen. Hierbei wurden die folgenden Deckschichtmischgutsorten betrachtet:

- Splittmastixasphalt (SMA),
- Gussasphalt (MA),
- offenporiger Asphalt (PA),
- Asphaltbeton (AC D),
- Straßenbeton mit Portlandzement (CEM I),
- Straßenbeton mit Portlandkompositzement (CEM II).

Potenziale der Nachhaltigkeit der Baustoffe für Deckschichten ergeben sich für die Kriterien in der „Ökologischen Qualität“ (1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10, 1.13, 1.14) aufgrund einer unterschiedlichen Zusammensetzung der Baustoffe. Ein Potenzial der Deckschichtmaterialien ist zudem bei der „Lärmbeeinträchtigung der Fauna und der Menschen während der Nutzung“ (1.6a.2b, 3.1a.2) aufgrund unterschiedlicher Materialeigenschaften gegeben. Beispielsweise wird hier ein wesentliches Potenzial bei

den lärm mindernden Asphalten gesehen. Weitere Nachhaltigkeitspotenziale sind bei den baumaßnahmenspezifisch ermittelten Kosten (2.1) vorhanden. Zudem weist die Nachhaltigkeitsbewertung in den Kriterien „Fahrbahnbeschaffenheit“ (3.2.2), „optische Führung“ (3.2.3) und „witterungsbedingte Beeinträchtigung,“ (3.5.1) der „Soziokulturelle und funktionale Qualität“ Potenziale bspw. über die Ebenheit oder Helligkeit einer Deckschicht auf. Potenziale der Kriterien der Verstärkung, Erweiterbarkeit und Umnutzungsfähigkeit (4.4.2.2, 4.4.3.2, 4.5.1 und 4.5.2) können ebenfalls durch das Material bzw. den Baustoff erzielt werden.

Es zeigt sich, dass Vorteile lärm mindernder Beläge die höheren Kosten und Erhaltungsaufwand rechtfertigen, sofern Lärmschutz erforderlich ist. In allen anderen Fällen ergeben sich keine eindeutigen Tendenzen. Daher ist die Materialwahl unter Berücksichtigung der Anforderungen des konkreten Projektes zu treffen und zu bewerten.

5.3.4 Bauprozess

Um eine Potenzialanalyse von Bauprozessen vornehmen zu können, werden die relevanten Bauprozesse in einem Lebenszyklus einer Strecke betrachtet. Da die Prozesse der Herstellung, Lagerung und des Transportes schon in den Datensätzen der Ökobau.dat und somit bei der Materialwahl beinhaltet sind, werden in diesem Untersuchungsschwerpunkt die folgenden Bauprozesse betrachtet:

- Einbau,
- Betrieb,
- Instandhaltung,
- Instandsetzung,
- Erneuerung,
- Abbruch,
- Recycling.

5.3.4.1 Einbau

Bei der Potenzialbetrachtung des Einbauvorganges ist die unterschiedliche Gerätetechnik zu betrachten. Anzumerken ist hierbei, dass der Einbauprozess durch die Auswahl der Bauweise (Asphalt oder Beton) bestimmt wird. Für die Asphaltbauweise wurden zum einen ein praxisüblicher Straßen-

fertiger und zum anderen eine Kompaktbauweise betrachtet. Bei der Kompaktbauweise werden die Asphaltdeckschicht und die Asphaltbinderschicht „Heiß auf Heiß“ unmittelbar hintereinander eingebaut und beide Schichten werden in einem Arbeitsgang verdichtet. Demgegenüber steht der Einbau der Betonfahrbahn mit einem Gleitschalungsfertiger.

Der Einbauprozess und die damit verbundene Gerätetechnik (Straßenfertiger, Kompaktbauweise etc.) zeigt ein großes Potenzial in den Kriterien der „Ökologischen Qualität“. Hier nimmt der Prozess Einfluss auf die Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10 sowie die „Behinderung von Wildwechsel und Lärmbelastung während der Herstellung“ (1.6a.1a, 1.6a.2a). Weitere Potenziale sind in dem Kriterium „Risiken für die lokale Umwelt“ (1.6b.2, 1.6b.4, 1.6b.5a und 1.6b.7) generierbar. In dem Kriterium „Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung“ (1.8a) können weitere Potenziale aufgrund der verschiedenen Einbauprozesse erschlossen werden.

Baumaßnahmen im Verkehrswegebau sind so individuell, dass keine allgemein gültige Aussage getroffen werden kann. Maßgebend sind die Kosten und die Auswirkung der Gerätetechnik hinsichtlich Emissionen und lokaler Umwelt.

5.3.4.2 Betrieb

Unter Betrieb werden die Reinigung sowie der Winterdienst an einer Strecke verstanden.

Bei dem Prozess der Reinigung kann das „Merkblatt für den Unterhaltungs- und Betriebsdienst an Straßen- Teil: Reinigung von Straßen außerhalb von Ortsdurchfahrten“ [FGSV (Hrsg.) 1999] herangezogen werden. Das „Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen“ [FGSV (Hrsg.) 2010b] enthält zudem Empfehlungen für die praktische Durchführung des Winterdienstes (Vorbereitung, Ausführung und Dokumentation).

Entscheidend für diesen Betriebsprozess ist die Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche, weshalb die Potenziale in Abhängigkeit der unterschiedlichen Deckschichten der Straße zu betrachten sind.

Der Prozess der Reinigung und des Winterdienstes zählt zu dem Betriebsdienst einer Strecke. Die Potenzialzielung in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10 wird von der angewendeten Gerätetechnik des Verfahrens und der Häufigkeit des Betriebsdienstes

bestimmt. Die Gerätetechnik nimmt ebenfalls Einfluss auf das Potenzial sowohl in dem Kriterium 1.6b.1 wie auch 1.6b.4, 1.6b.5 und 1.6b.7 der „Ökologischen Qualität“. Die „Fahrbahnbeschaffenheit“ (3.2.2) und die „Komplexität des Bauverfahrens“ (4.2.3.1) bieten Potenziale durch die Betriebsverfahren.

Die „Soziokulturelle und funktionale Qualität“ weist weitere Potenziale in dem Kriterium „Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit, Betriebsoptimierung“ (3.4.1) auf, welche durch die Konstruktion bzw. das Material zu erzielen sind.

Relevant für die Erreichung eines Potenzials bei den „bauwerksbezogenen Lebenszykluskosten“ (2.1) sind die verwendeten Baustoffe. Diese bestimmen die Häufigkeit der notwendigen Einsätze und folglich die direkten Kosten sowie das Potenzial im Kriterium „externe Kosten infolge Verkehrsbeeinträchtigung“ (2.2).

Abgesehen von Fahrbahnbelägen aus offenporigen Asphaltbelägen zeigen sich zwischen den unterschiedlichen Belagsarten aus betrieblicher Sicht keine nennenswerten Unterschiede.

5.3.4.3 Bauliche Erhaltung

Die „Bauliche Erhaltung“ gemäß den ZTV BEA-StB [FGSV (Hrsg.) 2009a] und ZTV BEB-StB [FGSV (Hrsg.) 2002] beinhaltet die Instandsetzung, Instandhaltung und Erneuerung einer Verkehrsflächenbefestigung. Diesen Regelwerken und den zugehörigen Merkblättern sind auch die in Abhängigkeit der Bauweise zur Verfügung stehenden Verfahren zu entnehmen.

Instandhaltung

Die Instandhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen dient der Substanzerhaltung der selbigen durch Maßnahmen kleineren Umfangs. Aufgrund des geringen Aufwandes der Maßnahmen können diese meist direkt nach Auftreten des Schadens vor Ort maschinell oder von Hand umgesetzt werden.

Instandsetzung

Die Maßnahmen der Instandsetzung umfassen Maßnahmen zur Substanzerhaltung oder zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften einer Verkehrsflächenbefestigung. Sie sind großflächiger als Instandhaltungsverfahren und werden in der Regel fahrstreifenbreit ausgeführt.

Erneuerung

Die Erneuerung umfasst Maßnahmen die mehr als den Ersatz einer Deckschicht betreffen. Ziel hierbei ist die vollständige Wiederherstellung der Verkehrsflächenbefestigung durch Aufbringen neuer Schichten oder durch vollständigen Ersatz des Oberbaus (Tiefenbau) bzw. teilweisen Ersatz (Hocheinbau).

Die Wahl der Baustoffe und der Konstruktionsweise hat entscheidenden Einfluss darauf, wie oft im Lebenszyklus von gedachten 100 Jahren eine Instandhaltung, Instandsetzung oder Erneuerung an der Strecke erfolgen muss. Im Rahmen des Entscheidungsprozesses zum Streckenaufbau sind Nachhaltigkeitsaspekte bei der Herstellung und beim Betrieb gleichermaßen zu betrachten.

Nachhaltigkeitspotenziale in der baulichen Erhaltung sind in Abwägung der unterschiedlichen Bauverfahren in Abhängigkeit des Baustoffes zu generieren. Da die Wahl der Bauweise definierte Bauverfahren der Instandhaltung, Instandsetzung und Erneuerung bedingt, ist das Potenzial gleichermaßen von dem Baustoff und dem Bauverfahren abhängig.

Potenziale ergeben sich in den folgenden Kriterien der „Ökologischen Qualität“: 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10. Weiter bestehen Potenziale aufgrund des Umfangs der Bauverfahren in den Kriterien „Behinderung von Wildwechsel während der Herstellung“ (1.6a.1a1), „Lärmbeeinträchtigung der Fauna und der Menschen während der Herstellung“ (1.6a.2b, 3.1a.2), „Umweltwirkung infolge Staubbentwicklung während der Herstellung“ (1.6b.6), „Beeinflussung des Kleinklimas“ (1.6b.7 sowie „Umweltwirkung infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung“ (1.8a). Die „Flächeninanspruchnahme während des Baus“ (1.12.1) bietet Potenziale aufgrund der unterschiedlichen Ausführungsumfänge der Erhaltungsmaßnahmen durch die baulich betroffene Fläche sowie den Flächenbedarf der erforderlichen Geräte.

Die „Ökonomische Qualität“ ist für die Erhaltungsplanung ebenfalls ein maßgebender Parameter und weist Potenziale aufgrund der Bauverfahren in den Kriterien „direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus“ (2.1) und „externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung“ (2.2) auf. Ein Potenzial wird über die Herstellungskosten eines Verfahrens sowie der Auswirkung auf den Zustand einer Straße erreicht. Das Verfahren bestimmt zudem die Potenziale im Kriterium „Fahrbahnbeschaffenheit“ (3.2.2), „Komplexität des Bauverfahrens“

(4.2.3.1) wie auch den „Widerstand der Konstruktion“ (4.2.4.2).

Die Verfahren der baulichen Erhaltung ergeben sich im Regelfall direkt aus der Bauweise in Verbindung mit dem Material. Daher ist die Nachhaltigkeitsbewertung am konkreten Bauwerk als Gesamtpaket aus Herstellung und Erhaltung über den Lebenszyklus zu optimieren. Eine allgemein gültige Aussage zu den Tendenzen lässt sich nicht treffen.

5.3.4.4 Abbruch

Am Ende des Lebenszyklus einer Straße steht der Rückbau bzw. Abbruch der Befestigung. Dies erfolgt in der Regel mittels Aufbruch- (Schollenaufbruch, Fallgewicht) oder Fräsverfahren (Kalt-/Warmfräse).

Unterschiede ergeben sich einerseits durch die hierfür erforderlichen Gerätschaften (Hydraulikbagger, Fräse etc.) und den verfahrensbedingten Auswirkung auf die Umwelt (Staub, Lärm, Erschütterung) und andererseits durch die Beschaffenheit und weitere Verwertbarkeit des ausgebauten Baustoffes.

Der Abbruchprozess einer Straßenbefestigung weist durch die Wahl des Bauverfahrens (Aufbruch oder Fräsen) Potenziale auf. Diese sind in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9 und 1.10 in Abhängigkeit der gerätespezifischen Emissionen gegeben. Das Abbruchverfahren kann Potenziale in den Kriterien „Behinderung von Wildwechsel“ (1.6a.1a) und „Lärmbeeinträchtigung der Fauna und der Menschen während der Herstellung“ (1.6a.2b, 3.1a.2) generieren. Weitere Potenziale, welche einen Einfluss auf die Nachhaltigkeitsbewertung haben, sind in dem Kriterium „Risiken für die lokale Umwelt – Teil B: Boden, Wasser und Luft“ zu sehen (1.6b.2, 1.6b.6 und 1.6b.7). Die Nachhaltigkeit in der „Ökonomischen Qualität“ ist aufgrund der unterschiedlichen Verfahren in den „direkten Lebenszykluskosten“ (2.1) und den „externen Kosten infolge Verkehrsbeeinträchtigung“ (2.2) gegeben. Ein weiteres Potenzial ist aufgrund des Abbruchprozesses in der „Technischen Qualität“ bei der „Komplexität des Bauverfahrens“ (4.2.3.1) zu erzielen.

Somit werden alle Potenziale durch eine Variation der Verfahrenstechnik und die damit verbundene Gerätetechnik und den -einsatz generiert. Beides ergibt sich aus der vorliegenden Bauweise und beinhaltet daher keine wesentliche Einflussmöglichkeit.

5.3.4.5 Recycling

Das Recycling von Ausbaumaterial einer Straßenbefestigung ist inzwischen ein verbreitetes Vorgehen, um Baustoffe wieder zu verwenden und somit Material, Emissionen und Kosten einzusparen. Die Wiederverwendung von gewonnenen Ausbaustoffen wird durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz [KrWG 2012] geregelt und ist bereits in die entsprechenden Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien eingearbeitet worden.

Maßgebende und hier zu berücksichtigte Verfahren des Recyclings stellen das Zentral-(mixed-in-plant) und das Baumischverfahren (mixed-in-place) dar.

Die Recyclingmöglichkeit wird im Vorfeld durch den Baustoff bestimmt. Nach Feststellung der Eignung einer Recyclingfähigkeit des Materials, unter Beachtung der länderspezifischen Regelungen, sind die unterschiedlichen Verfahren für die Nachhaltigkeitsbewertung dieses Prozesses entscheidend. Potenziale sind in den Kriterien 1.1 bis 1.5, 1.9, 1.10 wie auch bei der „Wildwechselbehinderung“ (1.6a.1a) und der Lärmbeeinträchtigung der Fauna und Menschen während der Herstellung (1.6a.2b, 3.1a.2) bzw. Ausführung gegeben sowie in den Kriterien „Umweltwirkung infolge Verkehrsbeeinträchtigung“ (1.8a) und „Flächeninanspruchnahme während dem Bau“ (1.12.1) zu erkennen. Wie die Ökologische Qualität so werden auch die Potenziale in der „Ökonomischen Qualität“ durch den Recyclingprozess bestimmt. Diese Potenziale werden aufgrund der unterschiedlichen direkten und externen Kosten (2.1, 2.2) erzielt.

Da als wesentlicher Einfluss die Inhaltsstoffe und die mit ihnen verbundene Zulässigkeit der weiteren Verwendung besteht, ist die Recyclingfähigkeit am konkreten Projekt zu prüfen bzw. bereits bei der Erstellung zu berücksichtigen.

6 Potenzialermittlung Tunnel

6.1 Allgemeines

6.1.1 Systemgrenzen Typenbildung Clusterung

Bei den Tunnelbauwerken werden die üblichen Straßentunnelquerschnitte gemäß Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT) [FGSV (Hrsg.) 2006] betrachtet. Sonderbauarten wie Galerien werden nicht in die Betrachtungen einbezogen. Eine Clusterung ergibt

sich aus der Tunnelbauweise, die entweder offen oder geschlossen (untertägig) realisiert wird.

Bei der Untersuchung wird davon ausgegangen, dass die Planung von im Tunnelbau qualifizierten Planern auf der Grundlage der gültigen Normen und Regelwerke erfolgt. Hieraus leitet sich eine Normplanung ohne Übererfüllung von Anforderungen ab, auf die im Weiteren abgestellt wird.

6.1.2 Vorgehensweise

Bei der Potenzialanalyse wird auf die Sensitivitätsanalyse aufgebaut. Es werden die dort als Untersuchungswerte bzw. indirekte oder unklare Beziehungskombinationen detektierten Baustoffe/Bauprozesse/Konstruktionsweisen mit den jeweiligen Kriterien weitergehend betrachtet.

Dabei ist die Richtung der Betrachtung von Bedeutung. Es wird im Weiteren analysiert, welchen Einfluss, für sich betrachtet, der Baustoff/der Bauprozess/die Konstruktionsweise auf das jeweilige Kriterium besitzt und nicht umgekehrt! Anders ausgedrückt heißt dies: Kann überhaupt, z. B. mit der Konstruktionsweise, eine Veränderung (Verbesserung) bei einem Kriterium erzielt werden?

Erst anschließend ist die Frage der Beeinflussungsgröße zu beantworten. Dies entspricht einem stufenweisen Vorgehen, bei dem in der ersten Analysestufe die Beziehungskombinationen ausgeklammert werden, die keine Einflusspotenziale besitzen.

In der zweiten Analysestufe sind die jeweiligen Einflusspotenziale zu quantifizieren.

Sofern konkrete Bewertungsmaßstäbe (siehe Tabelle 7) aus den bisherigen Nachhaltigkeitsprojekten bekannt sind, werden diese übernommen bzw. zu Grunde gelegt. Sofern dies nicht der Fall sein sollte, sind nach Abschluss des vorliegenden FE-Vorhabens weitere Festlegungen zu erarbeiten.

Im Rahmen dieses Vorhabens werden jedoch keine neuen Bewertungsverfahren bzw. -maßstäbe entwickelt.

Das Ergebnis der Potenzialbewertung ist in der Anlage 4 dargestellt. Analog der Darstellung für die Potenzialermittlung Strecke sind:

- Gelb: Kriterien, auf die aufgrund der Voruntersuchung in der Potenzialanalyse kein Einfluss der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte erwartet wird.

- Rot und „k. P.“: Das Kriterium weist kein Potenzial auf, oder es wurde wider Erwarten kein Potenzial festgestellt.
- Grün und „k. B.“: In diesen Kriterien sind Potenziale zu sehen. Sie sind am konkreten Bauvorhaben zu bewerten.

6.2 Darstellung der Potenziale nach Kriterien

6.2.1 Hauptkriteriengruppe 1 „Ökologische Qualität“

6.2.1.1 Umweltwirkungen (1.1 bis 1.5)

Die Kriterien 1.1 Treibhauspotenzial (GWP), 1.2 Ozonschichtabbaupotenzial (ODP), 1.3 Ozonbildungspotenzial (POCP), 1.4 Versauerungspotenzial (AP) und 1.5 Überdüngungspotenzial (EP) bewerten die Umweltwirkungen der Herstellung, des Betriebs und des Rückbaus eines Tunnels. Die Ermittlung der Umweltwirkungen erfolgt mittels der Methode der Ökobilanz. Für die Kriterien sind die einheitlichen Systemgrenzen (z. B. zeitlicher Bezug, Betrachtungsgegenstand) zu wählen.

- **Baustoffe**
Grundsätzlich ist ein Einfluss vorhanden. Als Tunnelbaustoff kommt nur Beton zur Anwendung. Nach den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING) [BASt (Hrsg.) (2013)] ist Stabstahl einzubauen. Unbewehrter Beton bedarf der Zustimmung im Einzelfall. Wegen alternativer Vorgaben und keinem höheren Materialeinsatz als statisch-konstruktiv erforderlich ist kein Auswahlpotenzial vorhanden.
- **Bauprozess**
Ein grundsätzlicher Einfluss ist vorhanden. Der Bauprozess wird pauschal über Faktoren auf das Material erfasst. Daher kein eigenes Potenzial.
- **Konstruktionsweise**
Die Konstruktion bestimmt das Materialerfordernis. Grundsätzlich hat ein Rahmen in offener Bauweise einen höheren Stahlbedarf gegenüber einem Gewölbequerschnitt der geschlossenen Bauweise bzw. einem Bohrtunnel. Die Konstruktion ist aber in hohem Maße von der Geologie und der Überdeckungssituation abhängig und kann nicht frei gewählt werden. Hierdurch bestehen keine Auswahlpotenziale und sich ergeben-

de Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet (nachrangiges Kriterium).

6.2.1.2 Risiken für die lokale Umwelt – Teil A: Fauna und Flora (1.6a)

Behinderung von Wildwechsel während der Herstellung (1.6a-1.a)

- **Bauprozess**
Wenn Bauprozesse bekannte Wildwechsel behindern sollten, wird planerisch darauf eingegangen und ausschreibungsseitig darauf hingewiesen und eine Minimierung verlangt, z. B. Abschnittsbildung mit Querungsmöglichkeit. Da alle Bieter die Anforderung erfüllen müssen, besteht für den Untersuchungsschwerpunkt kein Potenzial.
- **Konstruktionsweise**
Die geschlossene Bauweise verursacht einen geringeren Eingriff in den Naturraum, als die offene Bauweise. Daher wird bei der geschlossenen Bauweise der Wildwechsel geringer gestört und ist potenziell günstiger als die offene Bauweise zu bewerten.

Die Konstruktion ist jedoch in hohem Maße von der Geologie und der Überdeckungssituation abhängig und kann daher nicht frei gewählt werden. Hierdurch bestehen keine Auswahlpotenziale und sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet (Nachrangiges Kriterium).

Lärmbeeinträchtigung der Fauna während der Herstellung (1.6a-2.a)

- **Bauprozess**
Der Beurteilungsmaßstab ist das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [BImSchG, 2013]. Alle Baumaschinen müssen die dort festgelegten Anforderungen erfüllen. Eine Übererfüllung ist nur vor einer anstehenden Gesetzesverschärfung oder bei ausländischen, höheren Anforderungen möglich, da die Gerätehersteller dann die höheren Anforderungen erfüllen können. Allgemein besteht kein Auswahlpotenzial.
- **Konstruktionsweise**
Die geschlossene Bauweise ist potenziell günstiger als die offene Bauweise. Unabhängig davon werden immer die gesetzlichen Anforderungen konstruktionsunabhängig erfüllt, vgl. Bauprozess.

Lärmbeeinträchtigung der Fauna während der Nutzung (1.6a-2.b)

- **Baustoffe**
Insbesondere die Portalzonen können die Umwelt positiv beeinflussen, z. B. durch eine Lärmschutzverkleidung der Wände/Decke statt Belassen der nackten Betonoberflächen oder durch lärmindernden Straßenbelag. Die positiven Maßnahmen sind bei allen Konstruktionen in gleicher Weise umsetzbar. Es ist daher bei der Planung darauf zu achten, welche Beeinflussung durch Lärm am jeweiligen Ort entstehen kann und ein abgestimmtes Lärmschutzkonzept zu erarbeiten. Maßnahmen an Wänden und Decken sind dabei lärmoptimierten Asphaltbelägen vorzuziehen, da diese geringere Betriebskosten verursachen. Das Thema lärmoptimierter Asphalt wird beim Element Straße behandelt.

- **Konstruktionsweise**
Die Portalform kann die Lärmabstrahlung beeinflussen (siehe Tunnel Wersten, Düsseldorf, mit Trompetenform). Derartige Effekte sind bei der Portalzone unabhängig von der Konstruktion des Tunnels auszuschließen und entsprechend bei der Planung zu untersuchen. Ebenso ist konstruktionsunabhängig der Einsatz einer Lärmschutzverkleidung planerisch festzulegen, vgl. Baustoffe.

Im Endergebnis werden die gesetzlichen Lärmschutzgrenzwerte bei der konkreten Planung einzuhalten sein, sodass keine Nachhaltigkeitsverbesserungen entstehen.

Verfolgt ein Bauherr jedoch eine Nachhaltigkeitssteigerung, so kann er dies nur durch eine Übererfüllung, z. B. durch eine Verlängerung des Tunnels mit entsprechend erhöhten Investitionen erreichen. Hierzu wird auf das Kriterium 3.1a-3 verwiesen.

6.2.1.3 Risiken für die lokale Umwelt – Teil B: Boden, Wasser und Luft (1.6b)

Grundwasser (Kluftwasser) (1.6b-1)

- **Baustoffe**
Baustoffe können grundsätzlich die Grundwasserqualität beeinflussen, z. B. pH-Wert bei Unterwasserbetonsohlen oder den allgemeinen Chemismus bei Weichgeldichtsohlen. Vor diesem Hintergrund müssen alternativlose genehmigungsfähige Baustoffe mit eventuellen Kompensationsmaßnahmen (UWB → Neutralisation mit Kostenfolgen) verwandt werden. Allgemein besteht kein oder nur ein untergeordnetes Auswahlpotenzial. Eventuelle Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

- **Bauprozess**
Bauprozesse können Grundwasserströmungen im Bau- und Endzustand beeinflussen (z. B. Grundwasserabsenkungen). Daher sind grundsätzlich Bauverfahren, die nicht in das Grundwasser eingreifen zu bevorzugen. Lässt sich der Eingriff in das Grundwasser nicht vermeiden, erstellen die Genehmigungsbehörden einen Maßnahmenplan zur Sicherung der Grundwasserqualität auf. Die im Maßnahmenplan definierten Anforderungen bzw. Vorgaben sind unveränderbar und bestimmen die Herstellungsmöglichkeiten maßgeblich. Somit besteht kein Auswahlpotenzial.

- **Konstruktionsweise**
Baukonstruktionen können grundsätzlich Grundwasserströmungen im Bau- und Endzustand beeinflussen, z. B. Schlitzwände bis in Wasserstauer, Tunneldränagen. Von den Genehmigungsbehörden werden entsprechende Anforderungen bzw. Vorgaben definiert, die keinen Spielraum lassen/unveränderbar sind und die Herstellungsmöglichkeiten maßgeblich bestimmen. Somit besteht kein Auswahlpotenzial.

Erschütterungen (1.6b-2)

- **Bauprozess**
Sprengen, rammen und meißeln sind die häufigsten Quellen von Erschütterungen. Beim Bau sind DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden sowie Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen einzuhalten. In der Ausschreibung sind diesbezügliche Anforderungen zu definieren. Grundsätzlich sind erschütterungsarme Bauverfahren, wie z. B. Fräsen, erschütterungsintensiven Bauverfahren, wie z. B. Sprengen, Meißeln vorzuziehen. Wesentlicher Entscheidungsparameter für die Wahl des Bauprozesses ist jedoch die Geologie im Bau Feld, da einzelnen Bauverfahren nur bei definierten Gesteinsformen anwendbar sind. Planerisch sind ggf. Schutzmaßnahmen (z. B. Geräteeinhausungen, Geräteaufstellung) vorzusehen, um die

Ausbreitung von Erschütterungen zu reduzieren. Wenn im Betrieb Erschütterungen zu befürchten sind (Konzertsaal neben Straßentunnel) sind konstruktive Sondermaßnahmen erforderlich, die dann alleinstehend sind.

- **Konstruktionsweise**

Bei geschlossener Bauweise ist geologisch bedingt ein Sprengvortrieb üblich. Beim Bau sind DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden sowie Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen einzuhalten. Sofern es geologisch zur Erfüllung der Normwerte möglich ist alternativ zum Sprengen zu fräsen, wird dies ausschreibungsseitig festzulegen sein. Wenn eine weichere Geologie ansteht, wird von vorne herein ausschreibungsseitig der erschütterungsarme Abbau mit Bagger oder Fräse gefordert und das Kriterium greift nicht.

Eine Überfüllung der Normanforderungen ist im Regelfall schwierig zu realisieren und daher nicht verallgemeinert möglich.

Bodenaushub, Erdbewegungen: größere Mengen an Bodenbewegungen (1.6b-3)

- **Bauprozess**

Bei geschlossener Bauweise ist geologisch bedingt beim Sprengvortrieb ein Überprofil möglich. Dies bedeutet, dass mehr Ausbruchmaterial entsteht, als für den Tunnelquerschnitt notwendig ist. Beim Räumen oder Meißeln sind die Bodenbewegungen immer anforderungsgemäß dem Tunnelprofil und erzeugen daher keine zusätzlichen Bodenbewegungen. Der Transport des Ausbruchs kann per Förderband, Lkw, Zug oder einer Kombination daraus erfolgen. Die Wahl des Transportmittels ist von den Platzverhältnissen im Tunnel und der Entfernung bis zum Lagerort abhängig.

- **Konstruktionsweise**

Das Ausbruchvolumen ist für gleiche Verkehrsraumanforderungen bei Rechteck- und Gewölbekonstruktionen unterschiedlich. Welche Konstruktion umgesetzt wird, entscheidet sich nicht nach dem vorliegenden Kriterium. Es besteht daher kein Auswahlpotenzial. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

Bauverfahrens- oder nutzungsbedingte Risiken zur Verunreinigung der lokalen Umwelt (1.6b-4)

- **Baustoffe**

Siehe oben Nr. 1.6b-1 – Grundwasser, kein Potenzial

- **Bauprozess**

Ein grundsätzlicher Einfluss ist vorhanden z. B. durch Tankleckagen. Da Vorkehrungen für Schadensfälle in der Ausschreibung gefordert werden, besteht kein Auswahlpotenzial.

Naturschutz- und Wasserschutzgebiete: Beeinträchtigungen (1.6b-5.a)

- **Baustoffe**

Siehe oben Nr. 1.6b-1 – Grundwasser, kein Potenzial.

- **Bauprozess**

Siehe oben Nr. 1.6b-1 – Grundwasser, kein Potenzial

- **Konstruktionsweise**

Siehe oben Nr. 1.6b-1 – Grundwasser, kein Potenzial

Naturschutz- und Wasserschutzgebiete: Ausgleichsmaßnahmen (1.6b-5.b)

- **Bauprozess**

Ausgleichsmaßnahmen infolge bauzeitlicher Inanspruchnahmen sind z. B. bei offener oder geschlossener Bauweise unterschiedlich. Bei der geschlossenen Bauweise kann der Eingriff in Schutzgebiete besser gesteuert werden, weil nur die Portale in der Linienführung definiert sind und z. B. die Ablagerung des Ausbruchmaterials variabel ist. Bei der offenen Bauweise ist dagegen entlang der gesamten Strecke ein Eingriff in den Naturraum notwendig. Daraus ergibt sich, dass abhängig vom gewählten Bauverfahren auch ein unterschiedlicher Umfang an Ausgleichsmaßnahmen notwendig ist. Im Vergleich zur oberirdischen Streckenführung kann ein Tunnel aber grundsätzlich erhebliche Vorteile beim Schutz von Naturräumen haben, weil z. B. Naturschutzgebiete nicht zerschnitten werden.

- **Konstruktionsweise**

Tunnelkonstruktionen haben unterschiedlichen Einfluss auf Ausgleichsmaßnahmen. Welche

Konstruktion umgesetzt wird, entscheidet sich nicht nach dem vorliegenden Kriterium. Es besteht daher kein Auswahlpotenzial. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

Umwelteinwirkungen durch Staubentwicklung während der Herstellung (1.6b-6)

- **Baustoffe**
Tunnel werden mittels Stahlbetonfertigteilen bzw. Spritzbeton bei geschlossener Bauweise hergestellt. Es besteht daher kein Auswahlpotenzial für die Baustoffe.
- **Bauprozess**
Es sind innerhalb der Baustelle zur Wahrung des Arbeitsschutzes die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen. Abhängig vom gewählten bzw. durch die örtliche Geologie vorgegebenen Bauverfahren ist eine unterschiedliche Staubbelastung zu erwarten. Bei geschlossener Bauweise ist der Staub, mit Ausnahme der portalnahen Arbeiten im Bauwerk gefangen. Bei offener Bauweise können größere Staubverwehungen insbesondere bei großer Trockenheit auftreten. Eine Staubbelastung außerhalb der Baustelle ist ausschreibungsseitig auf die gesetzlichen Anforderungen referenziert oder es werden spezifische Maßnahmen allgemeingültig (z. B. Reinigung der benutzten Straßen oder Befeuchten der Baustraßen) vorgesehen. Es besteht daher kein Auswahlpotenzial (Nachrangiges Kriterium).
- **Konstruktionsweise**
Aus der offenen und der geschlossenen Bauweise ergeben sich unterschiedliche Erzeugungspotenziale. Diese sind analog den Baustoffen bzw. Bauprozessen ausschreibungsseitig allgemeinverbindlich auszuschließen. Daher kein Auswahlpotenzial (Nachrangiges Kriterium).

Abwasseraufkommen: Abwässer während der Bauphase(1.6b-9.a)

- **Bauprozess**
Aus der offenen und der geschlossenen Bauweise ergeben sich unterschiedliche Erzeugungspotenziale. Welche Konstruktion/Bauweise umgesetzt wird, entscheidet sich nicht nach dem vorliegenden Kriterium. Es besteht daher kein Auswahlpotenzial. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

- **Konstruktionsweise**
Siehe Bauprozess.

Lokalisierter Ausstoß von Abgasen: Tunnellüftung (1.6b-10)

- **Bauprozess**
Während der Bauzeit werden bei der geschlossenen Bauweise Belüftungen (Bewetterung) durchgeführt, die die Abluft aus dem Portal drücken. Aus Gründen des Arbeitsschutzes werden im Tunnel abgasfreie/abgasarme Baugeräte in der Ausschreibung gefordert und eingesetzt. Bei der offenen Bauweise greift das Kriterium nicht. Welche Konstruktion/Bauweise umgesetzt wird, entscheidet sich nicht nach dem vorliegenden Kriterium. Es besteht daher kein Auswahlpotenzial. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.
- **Konstruktionsweise**
Der Ort und die Größe des Abgasausstoßes ergibt sich aus der spezifischen Situation und ist durch ein Fachgutachten darzulegen. Bei unzulässigen Konzentrationen sind bauliche Maßnahmen entsprechend den gutachterlichen Festlegungen (z. B. Luftfilter, Abluftkamine) zu ergreifen. Die Tunnelkonstruktion ändert nicht aktiv die Verhältnisse. Daher ergibt sich kein Auswahlpotenzial. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

6.2.1.4 Umwelteinwirkungen – mehr Emissionen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung (MBV) (1.8a)

- **Bauprozess**
Ein grundsätzlicher Einfluss ist nur für die Herstellung bei der offenen Bauweise vorhanden, für den Lebenszyklus nicht. Ansonsten siehe Konstruktion.
- **Konstruktionsweise**
Die Konstruktion beeinflusst grundsätzlich die Verkehrsbeeinträchtigung. Die geschlossene Bauweise beeinflusst sie während der Bauzeit nicht, die offene Bauweise von gering (Hilfsbrücken) bis schwer (Vollsperrung).

Im Lebenszyklus ergeben sich Beeinträchtigungen durch Instandhaltungen und Reparaturen infolge von Fahrstreifensperrungen. Das Maß der Beeinträchtigung hängt von den bestehenden

Querschnittsverhältnissen ab. Eine Mehrbreite durch einen zusätzlichen Seitenstreifen kann eine eingeschränkte Verkehrsführung mit einem Fahrstreifen im Wartungs-/Reparaturfall auf nur eine Fahrtrichtung begrenzen. Eine Überleitung auf die Nachbarröhre mit Beschränkung beider Fahrtrichtungen ließe sich vermeiden.

Zu beachten ist bei diesem Kriterium die tendenziell gegensätzliche Strategie der Minimierung der Tunnelquerschnitte entsprechend dem ARS 6/2000. Dort wird ein Verfahren für die Auswahl von Straßenquerschnitten in Tunneln festgelegt, mit dem die verkehrstechnische Notwendigkeit eines Standstreifens anhand einer Nutzen-Kosten-Analyse nachzuweisen ist.

6.2.1.5 Primärenergie (1.9 und 1.10)

Bezüglich der Bewertung und der Potenzialermittlung gelten für die Kriterien 1.9 „Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf“ (PEne) und 1.10 „Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie“ die gleichen Randbedingungen wie für die Kriterien 1.1 bis 1.5, die ebenfalls mittels der Methode Ökobilanz bewertet werden. (siehe Umweltwirkungen). Weder für Baustoffe noch für Bauprozess oder Konstruktionsweise besteht hier ein Auswahlpotenzial.

6.2.1.6 Wasserbedarf (1.11)

Das Kriterium „Wasserbedarf“ war für Brücken zurückgestellt und enthielt ursprünglich noch den Aspekt „Abwasseraufkommen“.

- Bauprozess
Aus der offenen und der geschlossenen Bauweise ergeben sich unterschiedliche Erzeugungspotenziale. Welche Konstruktion/Bauweise umgesetzt wird, entscheidet sich nicht nach dem vorliegenden Kriterium. Es besteht daher kein Auswahlpotenzial. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

6.2.1.7 Flächeninanspruchnahme (1.12)

Flächeninanspruchnahme während des Baus (1.12-1)

- Bauprozess
Bauzeitliche Inanspruchnahmen sind konstruktionsbedingt unterschiedlich. Welche Konstruk-

tion umgesetzt wird, entscheidet sich nicht nach dem vorliegenden Kriterium. Es besteht daher kein Auswahlpotenzial. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

- Konstruktionsweise
Aus der offenen und der geschlossenen Bauweise ergeben sich unterschiedliche bauzeitliche Flächenanforderungen. Gleichzeitig bestimmt die Flächenverfügbarkeit maßgeblich die Herstellungsmöglichkeiten und somit das Bauverfahren und die Konstruktion. Sind Flächen nicht verfügbar, so muss der Tunnel diese unterfahren und es folgt daraus eine geschlossene Bauweise in Abhängigkeit der geologischen Situation und der Überdeckung. Sind die Flächen hingegen bauzeitlich verfügbar, so kann bei entsprechender Geologie und Überdeckung eine offene Bauweise realisiert werden. Im Ergebnis führt das Kriterium zu einer möglichen Veränderung der Planungsparameter, die der Bauherr sicherstellen muss und anhand derer die Nachhaltigkeitsbetrachtung erfolgt. Er muss Grundstücke und u. U. Gebäude erwerben, was bezogen auf das Kriterium zunächst nachteilig ist. Die Öffnung hin zu einer möglichen offenen Bauweise anstatt der geschlossenen kann aber anderweitige, höher zu bewertende Vorteile und z. B. städtebauliche Verbesserungspotenziale bieten. Die Flächeninanspruchnahme bietet subsummiert je nach spezifischer Situation ein hohes Potenzial, welches aber bei der „Ökonomischen Qualität“ zu bilanzieren ist. Aus diesem Grund besteht hier kein relevantes Potenzial und die sich ergebenden Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

Flächeninanspruchnahme des fertiggestellten Bauwerks (1.12-2)

- Konstruktionsweise
Flächen über Tunnelstrecken sind grundsätzlich nach dem Bau nutzbar. In welcher Form, muss zur Planung definiert werden. Bei der offenen Bauweise ist eine nutzungsabhängige Belastung zu definieren (z. B. spätere Überbauung) und im Weiteren statisch zu berücksichtigen. Bei der geschlossenen Bauweise wird das darüber liegende Areal mit seiner Nutzung von vorne herein beim Entwurf/Vortriebskonzept berücksichtigt. Werden später höhere Belastungen in OKG gewünscht, sind diese wie bei der offenen Bauweise zu definieren und bei der Statik zu be-

rücksichtigen. Nach der Anforderungsdefinition zum Entwurf besteht kein Auswahlpotenzial.

6.2.1.8 Abfall und Kreislaufwirtschaft (1.13)

Das Kriterium 1.13 „Abfall und Kreislaufwirtschaft“ war für Brücken zurückgestellt, kann aber prinzipiell für Strecke, Brücken und Tunnel angewandt werden.

Abfall (1.13a)

- Bauprozess
Durch den Bauprozess ergeben sich grundsätzlich Abfälle, die entsorgt werden müssen. Diese sind baustoffspezifisch und werden pauschal über Faktoren auf das Material erfasst. Daher kein eigenes Potenzial (Nachrangiges Kriterium).

Ausbruchmaterial bei Tunnel (1.13b)

- Bauprozess
Der Bauprozess beeinflusst grundsätzlich die Qualität des Ausbruchmaterials, z. B. Befahren nasser bindiger Böden und somit deren Weiterverwendbarkeit. Da die Geologie projektspezifisch unveränderbar ist, muss im Geotechnischen Bericht ein entsprechender Hinweis erfolgen. Danach bestehen keine Auswahlpotenziale.
- Konstruktionsweise
Bei der offenen Bauweise entstehen durch Toleranzberücksichtigung beim Aushub unveränderliche geringe Mehrmassen. Bei der geschlossenen Bauweise entstehen geologisch bedingte unveränderliche Mehrausbrüche. Aus der Mengenthematik ergeben sich keine Auswahlpotenziale. Je nach Baugrund kann der überschüssige Aushub bei der offenen Bauweise von gar nicht (Deponierung) bis vollständig (Kies für die Betonherstellung) genutzt werden. Bei der geschlossenen Bauweise bestehen ähnliche Verhältnisse (Deponierung, Beton-/Straßenbauzuschlag). Bezogen auf den Verkehrsraum fallen bei der geschlossenen Bauweise mit den Hufeisen-/Kreisquerschnitten größere Massen als bei der offenen Bauweise mit Rechteckquerschnitten an. Die Konstruktionswahl erfolgt vornehmlich nach der Geologie und der Überdeckung. Hierdurch ergibt sich kein Auswahlpotenzial. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

6.2.1.9 Ressourcenschonung (1.14)

- Baustoffe
Baustoffe verzehren grundsätzlich Ressourcen. Da keine Materialalternativen für das endgültige Bauwerk bestehen und nur neue Baustoffe nach der ZTV-ING [BASt (Hrsg.) (2013)] verwendet werden dürfen (Ausnahme gebrauchte Materialien für Bauhilfsmaßnahmen), bestehen keine Auswahlpotenziale. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.
- Konstruktionsweise
Die Konstruktion wird nach den statisch-konstruktiven Anforderungen im Rahmen der ZTV-ING [BASt (Hrsg.) (2013)] nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten ausgeführt. Vor diesem Hintergrund gibt es kein Auswahlpotenzial.

Ein Potenzial besteht aber bei vorgelagerten Rampen-/Trogstrecken im Grundwasser. Dort sind entsprechend ZTV-ING [BASt (Hrsg.) (2013)] Teil 5, Abschnitt 2, Ziffer 7.2.2.(2) keine Auftriebsverankerungen zugelassen, sodass die Auftriebssicherheit durch Eigengewicht realisiert werden muss. In der Folge können sich teils meterdicke Sohlabmessungen mit erheblichem Ressourcenverbrauch ergeben.

6.2.2 Hauptkriteriengruppe 2 „Ökonomische Qualität“

6.2.2.1 Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus (2.1)

- Baustoffe
Ein grundsätzlicher Einfluss ist vorhanden. Für die Herstellung besteht ein geringer Baustoffeinfluss auf die Kosten (alternativlose Materialien). Im Hinblick auf die Lebenszykluskosten sind, wenn disponierbar, wartungsarme Materialien zu wählen. Es besteht daher ein eher geringes Auswahlpotenzial. Sich ergebende Kosten werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit anhand einer vereinfachten Lebenszyklus-Kostenberechnung bewertet.
- Bauprozess
Ein grundsätzlicher Einfluss ist vorhanden. Preisunterschiede aus Bauprozessen sind nicht bekannt (werden nicht eigenständig kalkulatorisch ausgeworfen), sodass kein eigenständiges Potenzial ableitbar ist.

- **Konstruktionsweise**
Die Investitionskosten ergeben sich aus der realisierbaren Konstruktion. Die Kosten der regelmäßigen Erhaltung für die offene und die ungedrängte geschlossene Bauweise sind entsprechend den Bewertungsansätzen gleich. Für die gedrängte geschlossene Bauweise sind die entsprechenden Kosten höher. Die unregelmäßige Erhaltung berechnet sich analog wie vor als Anteil der Herstellungskosten. Vor diesem Hintergrund ergibt sich kein eigenständiges Auswahlpotenzial. Sich ergebende Kosten werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit anhand einer vereinfachten Lebenszyklus-Kostenberechnung bewertet.

6.2.2.2 Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung (2.2)

- **Bauprozess**
Ein grundsätzlicher Einfluss ist nur für die Herstellung bei der offenen Bauweise vorhanden. Für den Lebenszyklus nicht. Ansonsten siehe Konstruktion.
- **Konstruktionsweise**
Die Konstruktion beeinflusst grundsätzlich die Verkehrsbeeinträchtigung. Die geschlossene Bauweise beeinflusst sie während der Bauzeit nicht, die offene Bauweise von gering (Hilfsbrücken) bis schwer (Vollsperrung).

Im Lebenszyklus ergeben sich Beeinträchtigungen durch Instandhaltungen und Reparaturen infolge von Fahrstreifensperrungen. Das Maß der Beeinträchtigung hängt von den bestehenden Querschnittsverhältnissen ab. Eine Mehrbreite durch einen zusätzlichen Seitenstreifen kann eine eingeschränkte Verkehrsführung mit einem Fahrstreifen im Wartungs-/Reparaturfall auf nur eine Fahrtrichtung begrenzen. Eine Überleitung auf die Nachbarröhre mit Beschränkung beider Fahrtrichtungen ließe sich vermeiden.

Zu beachten ist bei diesem Kriterium die tendenziell gegensätzliche Strategie der Minimierung der Tunnelquerschnitte entsprechend dem ARS 6/2000. Dort wird ein Verfahren für die Auswahl von Straßenquerschnitten in Tunneln festgelegt, mit dem die verkehrstechnische Notwendigkeit eines Standstreifens anhand einer Nutzen-Kosten-Analyse nachzuweisen ist.

6.2.3 Hauptkriteriengruppe 3 „Soziokulturelle und funktionale Qualität“

6.2.3.1 Mensch, einschließlich Gesundheit, insbesondere Lärm (3.1a)

Lärmbeeinträchtigung von Menschen während der Herstellung (3.1a-1)

- **Bauprozess**
Der Beurteilungsmaßstab ist das BimSchG. Alle Baumaschinen müssen die Anforderungen erfüllen. Eine Übererfüllung ist nur vor einer anstehenden Gesetzesverschärfung oder bei ausländischen höheren Anforderungen möglich, da die Gerätehersteller dann die höheren Anforderungen erfüllen können. Allgemein besteht kein Auswahlpotenzial.
- **Konstruktionsweise**
Die geschlossene Bauweise ist potenziell günstiger als die offene Bauweise. Unabhängig davon werden immer die gesetzlichen Anforderungen konstruktionsunabhängig erfüllt, vgl. Bauprozess.

Lärmbeeinträchtigung von Menschen während der Nutzung (3.1a-2)

- **Baustoffe**
Insbesondere die Portalzonen beeinflussen die Umwelt. Verbesserungen werden z. B. durch eine Lärmschutzverkleidung der Wände/Decke statt Belassen der nackten Betonoberflächen oder durch lärmindernden Straßenbelag erreicht. Die positiven Maßnahmen sind bei allen Konstruktionen in gleicher Weise umsetzbar. Es ergeben sich für den Tunnel keine Veränderungspotenziale. Das Thema lärmoptimierter Asphalt wird beim Element Straße behandelt.
- **Konstruktionsweise**
Die Portalform kann die Lärmabstrahlung beeinflussen (siehe Tunnel Wersten, Düsseldorf, mit Trompetenform). Derartige Effekte sind bei der Portalzone unabhängig von der Konstruktion auszuschließen. Ebenso ist konstruktionsunabhängig der Einsatz einer Lärmschutzverkleidung planerisch festzulegen, vgl. Baustoffe.

Im Endergebnis werden die gesetzlichen Lärmschutzgrenzwerte bei der konkreten Planung einzuhalten sein, sodass keine Nachhaltigkeitsverbesserungen entstehen.

Verfolgt ein Bauherr jedoch eine Nachhaltigkeitssteigerung, so kann er dies nur durch eine Übererfüllung, z. B. durch eine Verlängerung des Tunnels mit entsprechend erhöhten Investitionen erreichen. Hierzu wird auf das Kriterium 3.1a-3 verwiesen.

Weitere Beeinträchtigung von Menschen (3.1a-3)

- Konstruktionsweise
Grundsätzlich ist der Leitfaden für die Planungsentscheidung Einschnitt oder Tunnel des BMVBS (ARS 25/1998) bei diesem Kriterium zu berücksichtigen. Bei der Entscheidungsfindung sind die Beurteilungskriterien
 - 1) Kosten,
 - 2) Verkehr,
 - 3) Technik,
 - 4) Naturschutz und Landschaftspflege,
 - 5) Immissionsschutz,
 - 6) Gewässerschutz,
 - 7) Landwirtschaft und Forsten,
 - 8) Sonstige Kriterien, wie z. B. Städtebau, Denkmalschutz, Kurgelände

einzubeziehen und vergleichend für den Einschnitt/den Tunnel zu bewerten. Bei der Nachhaltigkeitsbewertung gehen die o. g. sonstigen Kriterien in die Bilanzierung ein.

Die Wohn- und Wohnumfeldsituation sowie die Erholungs- und Freizeitqualität werden maßgeblich durch einen Tunnel verbessert. Gegenüber einem Einschnitt besitzt er sehr große Vorteile. Als Beispiel sei der Tunnel Burgholz (L 418) in Wuppertal genannt, wo ein planfestgestellter Einschnitt in einem Erholungsgebiet zugunsten eines Tunnels aufgegeben wurde.

6.2.3.2 Landschaft (3.1b)

- Konstruktionsweise
Die Portal- und Voreinschnittssituation muss sich in die vorhandene Landschaft einpassen und darf kein Störelement darstellen. Die Anforderungen aus der Beleuchtungstechnik bzgl. der Annäherungsstrecke im Übergang an die Einsichtsstrecke gemäß RABT 2006, Ziffer 3.4 sind zu beachten. Bei einer möglichst dunklen Portalanzeige lassen sich in der Einsichtsstrecke

Energiekosten einsparen, die zusätzlich eine positive Nachhaltigkeitsbilanz erzeugen. Vor diesem Hintergrund wird eine gestalterische Begleitung durch einen Architekten/Landschaftsplaner empfohlen.

6.2.3.3 Kulturgüter und sonstige Sachgüter (3.1c)

- Konstruktionsweise
Aus der offenen und der geschlossenen Bauweise ergeben sich unterschiedliche Auswirkungen. Gleichzeitig bestimmt das Vorhandensein z. B. von Bodendenkmälern maßgeblich die Herstellungsmöglichkeiten und somit das Bauverfahren und die Konstruktion. Sind Tabubereiche vorhanden, muss der Tunnel diese unterfahren (z. B. Unterfahrung eines historischen Friedhofes im Zuge des U-Bahnbaues), und es folgt daraus eine geschlossene Bauweise in Abhängigkeit von der geologischen Situation und der Überdeckung. Sind die Bereiche hingegen bauzeitlich verfügbar, so kann bei entsprechender Geologie und Überdeckung eine offene Bauweise realisiert werden. Im Ergebnis führt das Kriterium zu einer möglichen Festlegung von Planungsparametern. Es sind Klärungen herbeizuführen, inwieweit die betroffenen Güter unantastbar bzw. (u. U. temporär) verlagerbar sind, was bezogen auf das Kriterium zunächst nachteilig ist. Die Öffnung hin zu einer möglichen offenen Bauweise anstatt der geschlossenen kann aber anderweitige höher zu bewertende Vorteile bieten. Aus diesem Grund besteht hier kein relevantes Potenzial und die sich ergebenden Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

6.2.3.4 Komfort (3.2)

Fahrbahnbeschaffenheit: Griffigkeit/Textur (3.2-2.1a)

- Baustoffe
Die Fahrbahn in Tunneln unterliegt geringeren Witterungseinflüssen als die der freien Strecke. Vor diesem Hintergrund ergeben sich bei Erfüllung der Streckenanforderungen keine eigenen weitergehenden Auswahlpotenziale. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.
- Bauprozess
Analog Baustoffe.

Fahrbahnbeschaffenheit: Helligkeit (3.2-2.1b)

- Baustoffe
Entsprechend der RABT 2006 [FGSV (Hrsg.) (2006)], Ziffer 3.4 sind im Hinblick auf die Beleuchtungskosten möglichst helle Beläge einzubauen. Vor diesem Hintergrund weisen Betonfahrbahnen gegenüber Schwarzdecken Vorteile auf.

Optische Empfindung des vorhandenen Verkehrsraums (3.2-3.a)

- Baustoffe
Der optische Eindruck auf den Nutzer wird in erster Linie durch helle Wandbeschichtungen und die Beleuchtung bestimmt. Beides ist Bestandteil der Tunnelausstattung. Je heller und farblich harmonischer (und später im Betrieb sauberer) die Wände erscheinen, desto größer ist der positive Gesamteindruck. Die Baustoffe der Konstruktion hingegen treten in den Hintergrund und sind vordergründig nicht erkennbar.
- Konstruktionsweise
Die lichte Querschnittsform ist im Betrieb grundsätzlich für den Nutzer wahrnehmbar. Dies resultiert aus der direkt unter der Deckenkonstruktion installierten Beleuchtung. Welchen Einfluss die Konstruktion mit Rechteck-, Gewölbe- oder Kreisquerschnitt hat, ist nicht bekannt und wird analog dem nachfolgenden Kriterium 3.2-3b) angesehen.

Subjektives Sicherheitsgefühl (3.2-3.b)

- Konstruktionsweise
Die Konstruktion mit ihrer spezifischen Querschnittsform (Rechteck, Gewölbe, Kreis) wurde bislang im Hinblick auf das subjektive Sicherheitsgefühl nicht wissenschaftlich untersucht. Es ist aber davon auszugehen, dass ein eher untergeordneter Einfluss besteht. Wesentlicher für das subjektive Sicherheitsempfinden sind die Fluchtwege/-abstände. Die Abstände richten sich nach der RABT [FGSV (Hrsg.) (2006)], eine Verringerung kann eine Verbesserung bedeuten. Einen weiteren Einfluss auf das Sicherheitsgefühl hat die betriebstechnische Tunnelausstattung mit Tunnelbeleuchtung sowie die weithin sichtbare Fluchtweg-Kennlichmachung gemäß RABT [FGSV (Hrsg.) (2006)]. Vor diesem Hintergrund ergibt sich kein eigenständiges Auswahlpotenzial.

Fahrbahn- und Tunnelbeleuchtung (3.2-3.f)

- Baustoffe
Die Beleuchtung ist Teil der betriebstechnischen Tunnelausstattung und nicht der Tunnelkonstruktion. Einen wesentlichen Einfluss auf die Tunnelbeleuchtung haben die Helligkeit und die Textur von Wand- und Fahrbahnflächen. Die Qualität der Ausleuchtung ist entsprechend der RABT [FGSV (Hrsg.) (2006)] definiert.
- Konstruktionsweise
Die Querschnittsform bestimmt die mögliche Lichtpunkthöhe über der Fahrbahn und damit die Leuchtenabstände. Bei Gewölbe- und Kreisquerschnitten ist diese höher als bei Rechteckquerschnitten und es sind tendenziell weniger Leuchten erforderlich. Die Konstruktion ist aber in hohem Maße von der Geologie und der Überdeckungssituation abhängig und kann nicht frei gewählt werden. Hierdurch bestehen keine Auswahlpotenziale und sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet (Nachrangiges Kriterium).

Bei dem Sonderfall eines Galeriebauwerkes, welches nach der RABT [FGSV (Hrsg.) (2006)] als Tunnel zu betrachten ist, lassen sich bei Erfüllung der Ausleuchtungsanforderungen signifikant Beleuchtungsaufwendungen einsparen. Aus dem Sonderfall ergibt sich aber kein allgemeingültiges Auswahlpotenzial.

Blendung durch entgegenkommenden Verkehr (3.2-4.1a)

- Konstruktionsweise
Tunnel weisen im Regelfall eine geschlossene Röhrenkontur auf, die Blendwirkungen auf den Gegenverkehr ausschließt. Bei den vorgelagerten Rampen sowie beim Sonderfall Galeriebauwerk liegen keine anderen Verhältnisse als bei der freien Strecke vor.

Tunnellüftung: wenig Geruch (3.2-6.a)

- Konstruktionsweise
Die Gerüche (Schadstoffe) und die Größe des Abgasausstoßes ergibt sich aus der spezifischen Situation und ist durch ein Fachgutachten darzulegen. Bei unzulässigen Konzentrationen sind bauliche Maßnahmen entsprechend den gutachterlichen Festlegungen (z. B. Luftfilter, Abluftkamine) zu ergreifen. Die Tunnelkonstruk-

tion ändert nicht aktiv die Verhältnisse. Daher ergibt sich kein Auswahlpotenzial. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

Tunnellüftung: klare Sicht (3.2-6.b)

- **Konstruktionsweise**
Die Querschnittsgeometrie des Tunnels hat einen Einfluss auf die Lüftungsauslegung für die Gewährleistung der klaren Sicht. Beispielhaft liegt bei einem Fahrbahnquerschnitt RQ 10,5 T und 1 km Tunnellänge die zu installierende Schubkraft in einem Gewölbequerschnitt ca. 20 % über der des Rechteckquerschnitts. Dies relativiert sich aber durch die zu installierende Schubkraft für den Ereignisfall, die viel höher liegt, und den Umstand, dass im Regelbetrieb die Ventilatoren für die Sichtverbesserung fast nie laufen. Zusammengefasst ist der Einfluss der Konstruktion eher vernachlässigbar.

Räumliche Trennung verschiedener Nutzer (von Brücke)/Bauliche Trennung der Richtungsfahrbahnen (von Tunnel) (3.2-6.e)

- **Konstruktionsweise**
Die Frage der räumlichen Trennung von Richtungsfahrbahnen ist vor der Festlegung der Konstruktion zu beantworten. Die Kriterien für Gegenverkehrs- und Richtungsbetriebstunnel ergeben sich in erster Linie aus dem Verkehrsaufkommen. Wann ein eigenständiger Rettungstollen erforderlich wird, ergibt sich nach der RABT [FGSV (Hrsg.) (2006)]. Die Art der Konstruktion entscheidet sich nicht nach dem vorliegenden Kriterium. Es besteht daher kein Auswahlpotenzial. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

6.2.3.5 Sicherheit gegenüber Störfallrisiken (Security) (3.5)

Witterungsbedingte Beeinträchtigung (Regen, Schnee, Eisglätte, Aquaplaning) (3.5-1)

- **Konstruktionsweise**
Die Portalzone bildet den Übergang zur freien Strecke. Sie ist, wenn überhaupt, eher weniger exponiert als die Strecke. Das Thema ist konstruktions- und bauweiseunabhängig. Es besteht daher kein Auswahlpotenzial. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

Lagebedingte Naturgefahren (Steinschlag, Verwehungen, Muren, Lawinen, Erdbeben) (3.5-2a)

- **Konstruktionsweise**
Im Portalbereich sind Einflüsse aus Naturgefahren grundsätzlich möglich. Sie besitzen aber keinen Einfluss auf die angrenzende Tunnelkonstruktion. Vor diesem Hintergrund wurden im Forschungsprojekt SKRIBT – Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen [BASt (Hrsg.) (2011)] – die Naturgefahren bei den maßgebenden Szenarien nicht weiter berücksichtigt.

Bei der Planung werden die potenziellen Gefahren stets beachtet, da geologische Aufschlüsse einen ersten Anhalt dazu liefern. Wenn eine Gefährdung bestehen sollte, wird dieser konstruktionsunabhängig durch geeignete Maßnahmen (z. B. Steinschlagnetze) begegnet. Es besteht kein Auswahlpotenzial (Nachrangiges Kriterium).

Erdbeben und stetige geologische Bewegungen (3.5-2.b)

- **Baustoffe**
Grundsätzlich sind für eine Erdbebenbeanspruchung duktile Baustoffe vorteilhaft. Die im Tunnelbau verwendeten Stahlbetone (vgl. Kriterium 1.1) erfüllen die Anforderung im Allgemeinen und bei entsprechender Dimensionierung im Besonderen.
- **Konstruktionsweise**
Tunnel sind bezüglich Erdbeben eher nicht gefährdet (siehe Japan). Ungeachtet dessen werden in Südwestdeutschland in einigen Regierungsbezirken Tunnel unabhängig von der Konstruktionsart und Bauweise für Erdbebenbeanspruchung bemessen. Bei geologischen Störstellen muss die jeweilige Konstruktion mit geeigneten Maßnahmen diese überwinden. Es bestehen keine Auswahlpotenziale und sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

Evakuierung bei Unfällen (3.5-4.b)

- **Konstruktionsweise**
Wesentlich für die Evakuierung/Selbstrettung sind die Fluchtwege bzw. -abstände. Die Abstände richten sich nach der RABT [FGSV

(Hrsg.) (2006)], eine Verringerung kann eine Verbesserung bedeuten und wird im Rahmen einer Gefährdungsabschätzung beurteilt. Die Fluchtwegabstände sind unabhängig von der gewählten Konstruktion realisierbar. Daher gibt es kein Auswahlpotenzial. Eventuelle Nachteile werden abschließend bzgl. der Nachhaltigkeit bewertet.

Entrauchung im Brandfall (3.5-4.c)

- **Konstruktionsweise**
Grundsätzlich beeinflusst die Querschnittsform (Rechteck, Gewölbe, Kreis) die Auslegung der Lüftung, die für den konkreten Fall lüftungstechnisch bemessen wird. Die Konstruktion ist aber in hohem Maße von der Geologie und der Überdeckungssituation abhängig und kann nicht frei gewählt werden. Hierdurch bestehen keine Auswahlpotenziale und sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet (Nachrangiges Kriterium).

6.2.3.6 Verkehrssicherheit (Safety) (3.6)

Anprall an Seitenwände von Tunnelnischen (3.6-4)

- **Konstruktionsweise**
Relevante Nischen sind Nothalte- und Pannbuchten bei Tunneln über 900 m Länge ohne Seitenstreifen. Zur Vermeidung von Unfällen sind die in Fahrtrichtung voraus liegenden Nischenflächen gemäß RABT [FGSV (Hrsg.) (2006)] schräg 1:3 auszubilden. Bei Gegenverkehrstunneln sind es beide Stirnflächen. Die Maßnahme ist konstruktionsunabhängig umzusetzen, wodurch kein Auswahlpotenzial existiert.

Trennung der Richtungsfahrbahnen (3.6-6)

- **Konstruktionsweise**
Die Frage der räumlichen Trennung von Richtungsfahrbahnen ist vor der Festlegung der Konstruktion zu beantworten. Die Kriterien für Gegenverkehrs- und Richtungsbetriebstunnel ergeben sich in erster Linie aus dem Verkehrsaufkommen. Die Art der Konstruktion hat keinen Einfluss auf das Kriterium. Es besteht daher kein Auswahlpotenzial. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

6.2.4 Hauptkriteriengruppe 4 „Technische Qualität“

6.2.4.1 Elektrische und mechanische Einrichtungen (4.1)

Dauerhaftigkeit der Komponenten (4.1-a/b)

- **Baustoffe**
Die Materialien der Elemente der betriebstechnischen Tunnelausstattung müssen den Anforderungen der ZTV-ING [BASt (Hrsg.) (2013)], Teil 5 Tunnelbau, Abschnitt 4 entsprechen. Die verlangten Qualitäten entstammen den betrieblichen Dauerhaftigkeitsanforderungen. Eine Übererfüllung ist eher auszuschließen, sodass keine Auswahlpotenziale gegeben sind.
- **Konstruktionsweise**
Die Konstruktion des Tunnels hat keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit von Ausstattungselementen, da diese in der Mehrzahl nachträglich daran befestigt/angebracht wird. Aufgrund negativer Erfahrungen sollten Leerrohre für die Ausstattung in der Tragkonstruktion vermieden werden. Entsprechend den Richtzeichnungen für Ingenieurbauten (RIZ-ING) [BASt (Hrsg.) (2013)] sind daher Kabeltrassen mit Leerrohren im Randwegaufbau zu platzieren.

Wartungsfreundlichkeit, Zugänglichkeit (4.1-c/d)

- **Konstruktionsweise**
Die Anforderungen der Wartungsfreundlichkeit/Zugänglichkeit definieren die Ausstattungselemente, die von der jeweiligen Tunnelkonstruktion sichergestellt werden muss. So sind Nischen und Durchbrüche planerisch zu definieren und baulich beim Betonbau umzusetzen. Veränderungspotenziale bestehen nicht.

Anordnung der Komponenten im Bauwerk (4.1-e/f)

- **Konstruktionsweise**
Wie vor.

Robustheit der restlichen Bauwerksausrüstung (Gruppe 2) (4.1-h)

- **Baustoffe**
Bezüglich der Robustheit der Materialien für die betriebstechnische Tunnelausstattung gelten

die Ausführungen für die Dauerhaftigkeit analog (Kriterium 4.1a).

- Konstruktionsweise
Wie Kriterium 4.1-a/b).

6.2.4.2 Konstruktive Qualität, Dauerhaftigkeit (4.2)

Geometrie und Anordnung der Bauteile bzw. Geometrie und Ausbildung des Tunnelquerschnittes (4.2-a)

- Baustoffe
Ein grundsätzlicher Einfluss des Tunnel-Baustoffes auf die Geometrie und Ausbildung des Tunnelquerschnittes ist vorhanden. Im Hinblick auf die Einbaubarkeit der Tunnelschale sind in den technischen Regelwerken Mindestabmessungen für die alternativlosen Baustoffe (vgl. Kriterium 1.1) Beton und Stahl vorgegeben.

Im Bauwesen stellt auch der vorhandene Boden einen Baustoff dar, der maßgeblich die Tunnelgeometrie beeinflusst. Dieser Baustoff ist aber objektspezifisch vorhanden und nicht austauschbar. Der Bauwerksentwurf muss die Bodenspezifika berücksichtigen. Eine Abweichung von den Tunnelbaustoffen ist ebenfalls nicht möglich, sodass keine Auswahlpotenziale gegeben sind.

- Konstruktionsweise
Die Mindestabmessungen sind in der ZTV-ING [BAST (Hrsg.) (2013)] vorgegeben. Die Tunnelgeometrie ist in hohem Maße von der Geologie und der Überdeckungssituation abhängig und kann nicht frei gewählt werden. Hierdurch bestehen im Regelfall keine Auswahlpotenziale und sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet (Nachrangiges Kriterium).

Objektspezifische Ausnahmen sind aber möglich. Z. B. wenn bei einer offenen Bauweise eine große Überdeckung vorliegt, dann kann es vorteilhaft sein, eine gewölbte Konstruktion statt einer rechteckigen umzusetzen.

Ausnutzung der Querschnitte (4.2-c)

- Baustoffe
Es besteht ein grundsätzlicher Einfluss des Tunnelbaustoffes auf die Querschnittsabmessung und deren Ausnutzung. Da, wie oben bereits

ausgeführt, nur Stahlbeton zum Einsatz kommen darf, ist bei diesem Kriterium nur die Betongüte eine beeinflussende Größe. Diese ist aber ein Ergebnis der statischen Berechnung der spezifischen Konstruktion. Vor diesem Hintergrund ist kein Auswahlpotenzial vorhanden.

- Konstruktionsweise
Das Ziel bei den Brücken lautet: Biegung wo nötig, keine zusätzliche Biegebeanspruchung (FE-Nr. 15.0494/2010/FBR, Anlage 2.1) [BMVBS (Hrsg.) (2010)]. Da die Belastung durch den Verkehr entsprechend der Lastmodelle für alle Brücken gleich ist, ist die Zielumsetzung durch eine entsprechende Konstruktion umsetzbar.

Bei Tunneln ist die Belastungssituation aber entsprechend der spezifischen Gegebenheiten sehr unterschiedlich. Die Biegebeanspruchung der Tunnelkonstruktion ist stark abhängig von der Bauweise. Diese wiederum ist in erster Linie abhängig von der Geologie und der Überdeckung. Gewölbte oder runde Konstruktionen der geschlossenen Bauweise sind weniger biegedafür mehr normalkraftbeansprucht. Sie sind im Normalfall einlagig bewehrt. Im Gegensatz dazu sind Rechteckquerschnitte der offenen Bauweise vornehmlich biegebeansprucht, was häufig zu mehrlagiger Bewehrung führt. Die Bemessung der Tunnel erfolgt nach EC 2 unter Beachtung der vorgeschriebenen Mindestabmessungen. Entsprechend der zu führenden Gebrauchstauglichkeitsnachweise werden die Querschnitte nur im zulässigen Rahmen ausgenutzt. Es ergeben sich somit keine Auswahlpotenziale.

Statisches System (nur offene BW) (4.2-d)

- Baustoffe
Der Tunnelbaustoff kann die Wahl des statischen Systems im Grundsatz beeinflussen. Eine gemauerte Konstruktion kann nur über Druck die Belastungen abtragen, woraus sich ein Bogensystem zwingend ableitet. Für die Straßentunnel sind aber die Baustoffe Beton und Stahl entsprechend den Regelwerken vorgeschrieben, sodass kein Einfluss des Baustoffes auf das statische System vorhanden ist.
- Konstruktionsweise
Das statische System des offen hergestellten Tunnels ist in hohem Maße von der Geologie

und der Überdeckungssituation abhängig und kann nicht frei gewählt werden. Das im Regelfall umgesetzte ebene Rahmensystem (oder das räumliche Platten-Rahmensystem) entspricht in hohem Maße der bei den Brücken angestrebten hohen statischen Unbestimmtheit. Im spezifischen Ausnahmefall kann diese noch gesteigert werden, indem eine gewölbte Deckenkontur mit Ansatz von stützenden Boden-Bettungsreaktionen gewählt wird. Im Regelfall bestehen aber konstruktiv keine Auswahlpotenziale.

Untergrund (4.2-e)

- **Baustoffe**
Im Bauwesen und speziell im Tunnelbau stellt der Untergrund einen vom Bauherrn beigestellten Baustoff mit all seinen Eigenschaften dar. Die beim konkreten Projekt vorhandenen geologischen und hydrologischen Gegebenheiten mit den entsprechenden Baustoff-(Boden-/Fels-) Kennwerten sind der entscheidende Faktor für die Entwurfslösung. Sie bestimmen neben der Tunnelüberdeckung maßgeblich die Konstruktion und das Maß des Beitrages am Lastabtrag.

Interaktion Boden-Tragwerk

- **Baustoffe**
Bei jedem Bauwerk gibt es Interaktionen mit dem anstehenden Boden/Fels. Diese sind bauwerksspezifisch zu betrachten und können nicht verallgemeinert werden.

Bei der offenen Bauweise ergibt sich die Interaktion aus der Bodenpressung und der Setzung im Lockergestein, bei der geschlossenen Bauweise aus den Bauwerkspressungen auf die Gebirgskontur und der Steifigkeit des anstehenden Festgesteins. Zusammengefasst ergibt sich kein Auswahlpotenzial.
- **Konstruktionsweise**
Die Bauwerkskonstruktion muss die Interaktionen, die entstehen, vollumfänglich berücksichtigen. Tut sie dies nicht, sind unweigerlich Schäden die Folge. Die Konstruktion kann die geologischen Gegebenheiten nicht verändern oder beeinflussen. Sie kann nur versuchen, die Gegebenheiten und Interaktionen optimal statisch-konstruktiv durch Steifigkeitsanpassungen zu nutzen. Dabei sind Parametervariationen zwingend durchzuführen um Unterschiede im Baugrund abzubilden. Vor diesem Hintergrund gibt es kein Auswahlpotenzial.

Anpassung an geologische Verhältnisse

- **Baustoffe**
Für das Nachhaltigkeitskriterium ist entsprechend dem Forschungsbericht FE-Nr. 09.0164/2011/LRB [BMVBS (Hrsg.) (2013)] zu beurteilen, ob die Tunnelösung des konkreten Bauwerkes an die geologischen Verhältnisse angepasst ist. Für den Teilaspekt Baustoffe heißt dies: Sind die Baustoffe an die geologischen Verhältnisse angepasst? Bauverfahrensbezogen ist die Frage im Allgemeinen zu bejahen. So werden für die erkundeten Verhältnisse z. B. bei der geschlossenen Bauweise zugehörige Vortriebsklassen mit entsprechenden Baustoffen (Anker, Ausbaubögen, Spritzbetonsicherung) festgelegt. Diese bereits im Entwurf getroffenen Festlegungen sind objektbezogene Ausführungsbedingungen. Vor diesem Hintergrund ist es unabdingbar, vor Planungsbeginn ausreichende geotechnische Erkundungen durchzuführen. Es sind alle vorkommenden Unterschiede aufzudecken und darauf abgestellte Vorgehensweisen mit entsprechenden Baustofffestlegungen zu treffen. Wenn anschließend beim Bau Abweichungen der Geologie angetroffen werden, kann begrenzt mit Materialanpassungen reagiert werden. Vielfach ergibt sich aber die Notwendigkeit nach ändern Materialien. Beispielhaft sind hier Bodenverbesserungsmaßnahmen bei der offenen Bauweise oder Spieße/Rohrschirme bei der geschlossenen Bauweise genannt. Vor diesem Hintergrund ist eine allgemeingültige Auswahlmöglichkeit nicht gegeben.
- **Konstruktionsweise**
Die Tunnelkonstruktion wird stets anhand der erkundeten geologischen Verhältnisse ausgerichtet (vgl. Baustoffe). Veränderliche Verhältnisse werden in der Entwurfsphase einschließlich Parametervariationen untersucht. Spezifische, bekannte Veränderungen können mit einer angepassten Konstruktion beherrscht werden. Z. B. können bei schlechten Bodenverhältnissen ein Bodenaustausch oder Rüttelstopfsäulen unterhalb der Tunnelsohle oder bei druckhaftem Gebirge kann bei der geschlossenen Bauweise ein weicher Primärausbau gewählt werden. In der umgekehrten Betrachtungsrichtung besteht keine Anpassungsmöglichkeit.

Angepasstes Verformungs-/Setzungsverhalten

- **Baustoffe**
Entsprechend der vorstehenden Ausführungen ist die Geologie objektspezifisch vorhanden und nur in Grenzen in Ihren Eigenschaften veränderbar. Die möglichen Verbesserungsmaßnahmen, z. B. zur Reduktion der Setzungen, können nicht verallgemeinert werden und sind im Einzelfall zusammen mit dem Geotechniker festzulegen. Eine allgemeine Auswahlmöglichkeit besteht nicht.
- **Bauprozess**
Der Bauprozess hat grundsätzlich einen Einfluss auf die entstehenden Verformungen und Setzungen. Sobald sie für das Bauumfeld unverträglich werden, sind Ausgleichsmaßnahmen oder Anpassungen am Herstellungsprozess entwerfsseitig vorzusehen (z. B. Hebungsinjektionen, Anpassen Vortriebsreihenfolge). Eine Auswahl ist nur objektspezifisch unter Abwägung aller Belange möglich. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.
- **Konstruktionsweise**
Wie bereits oben dargestellt, ist die Geologie zuerst da und das Bauwerk muss die spezifischen Randbedingungen berücksichtigen. Im Speziellen können konstruktive Maßnahmen zur Verformungsreduktion ergriffen werden. Beispielhaft wird hier auf die Deckelbauweise verwiesen, bei der endgültige Decken im Bauzustand als Baugrubenaussteifung herangezogen werden. Eine Verallgemeinerung ist nicht möglich. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

Angemessene Setzungserwartungen

- **Baustoffe**
Die Frage zur Beurteilung der Nachhaltigkeit ist: Sind die erwarteten Setzungen bei der objektspezifisch vorliegenden Geologie angemessen bestimmt und in Weiteren angemessen berücksichtigt? Wie beim vorhergehenden Kriterium besteht keine allgemeine Auswahlmöglichkeit.
- **Bauprozess**
Es gelten die Ausführungen analog dem vorherigen Kriterium.
- **Konstruktionsweise**
Es gelten die Ausführungen analog dem vorherigen Kriterium.

Querschnittsvarianten für unterschiedliche Bodentypen

- **Baustoffe**
Die Frage zur Beurteilung der Nachhaltigkeit ist: Sind projektspezifisch Querschnittsvarianten für unterschiedliche geologische Verhältnisse vorhanden und wurden sie zutreffend gewählt? Wie beim vorhergehenden Kriterium besteht keine allgemeine Auswahlmöglichkeit.
- **Bauprozess**
Der Bauprozess hat keinen Einfluss auf die Querschnittsvarianten.
- **Konstruktionsweise**
Es gelten die Ausführungen analog dem Kriterium „Anpassung an geologische Verhältnisse“.

Gestaltung Tunnelportal

- **Baustoffe**
Die Gestaltung des Tunnelportals im Hinblick auf die konstruktive Qualität hat keinen Bezug zum Untergrund. Das Kriterium ist im Zusammenhang mit den übrigen das Portal betreffenden Kriterien (1.6a-2b, 3.1a-2a, 3.1b, 3.5-1, 4.3-2c, 4.3-2t) zu betrachten.

Hieraus leitet sich die Frage ab: Ist das Portal bei Erfüllung obiger Anforderungen konstruktiv richtig im Kontext mit dem anschließenden Tunnel geplant? Das Material spielt dabei eine eher untergeordnete Rolle.
- **Konstruktionsweise**
Das Kriterium Gestaltung betrifft im Kontext mit der konstruktiven Qualität die Formgebung im architektonischen Sinn. Diese wird vielfach unter Mitwirkung von Architekten gefunden (siehe Kriterium 3.1b). Die Konstruktion hat im Sinne von Freiheitsgraden keinen Einfluss auf die Gestaltung der Portale. Umgekehrt muss die Konstruktion die Belange der Gestaltung berücksichtigen und es ist ein geeigneter Anschluss an die eigentliche Tunnelröhre zu finden. Das Kriterium ist nachrangig zu bewerten.

Widerstand der Baustoffe (4.2-i)

- **Baustoffe**
Grundsätzlich besitzen unterschiedliche Baustoffe unterschiedliche Widerstände in Bezug auf die Dauerhaftigkeit. Bei Tunneln sind entsprechend der Regelwerke nur Beton und Stahl

als Baustoffe zugelassen (vgl. Kriterium 1.1). Darüber hinaus sind in den Regelwerken die Dauerhaftigkeit steigernden Maßnahmen, wie etwa die Beton-Nachbehandlung, geregelt.

Eine Übererfüllung kann im Einzelfall durch besondere Oberflächenvergütungen (z. B. Drainagevlies zur Ableitung von überschüssigem Beton-Anmachwasser) erreicht werden. Die entstehenden Mehrkosten und Abfallmengen sind aber gegen zu bilanzieren.

Für besondere Bauwerke ist eine verlängerte Vollbrandphase vorzusehen (siehe ZTV-ING Teil 5, Abschnitt 1, Ziffer 10.2 (2)), woraus sich spezielle Baustoffzusätze ableiten können (z. B. spezielle Zuschlagstoffe, Polypropylenfasern). Diese Fragestellung ist objektspezifisch zu beantworten. Infolge der im Allgemeinen alternativen Materialvorgaben ist kein Auswahlpotenzial vorhanden.

Widerstand der Konstruktion (Detailausbildung) (4.2-j)

- Konstruktionsweise
Widerstand der Konstruktion bedeutet: Gibt es Bereiche, wo Schädigungen infolge der Nutzung entstehen können. Diese Bereiche liegen projektspezifisch z. B. bei Bergwasserdrainagen (Versinterungsproblematik) oder Nischen bzw. Ecken oder Trenninselspitzen an Ausfahrten (Fahrzeuganprall) vor. Infolge der zu berücksichtigenden Vorgaben in den Regelwerken, insbesondere der RABT [FGSV (Hrsg.) (2006)], sind aber die in Frage kommenden Problemfelder auf ein Mindestmaß reduziert. Ein weiteres, allgemeingültiges Thema ist die Begrenzung der Rissbreiten in Betonkonstruktionen. Diese sind in der ZTV-ING [BAST (Hrsg.) (2013)] mit ihren Obergrenzen festgelegt und haben ein möglichst rissearmes Bauwerk zum Ziel. Hier spiegelt sich die langjährige Erfahrung aus dem Betrieb sowie der Bauwerkserhaltung öffentlicher Bauherren wider. Zusammengefasst bestehen keine Auswahlpotenziale und sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. Nachhaltigkeit bewertet.

Robustheit (4.2-k)

- Baustoffe
Die Robustheit lässt sich baustoffseitig mit Zusatzmaßnahmen verbessern. Dazu wird auf die Konstruktion verwiesen.

- Konstruktionsweise
Unter Robustheit wird entsprechend den Definitionen bei den Brücken, die Redundanz des statischen Systems sowie die Eigenschaften der Tragwerkselemente bei außergewöhnlichen Belastungen verstanden. Außergewöhnliche Belastungen resultieren in diesem Zusammenhang aus Brand- und Explosionsereignissen.

Das statische System des Tunnels ist in hohem Maße von der Geologie und der Überdeckungssituation abhängig und kann nicht frei gewählt werden. Das im Regelfall umgesetzte gewölbte oder ebene Rahmensystem (oder das räumliche Schalen-/Platten-Rahmensystem) entspricht in hohem Maße der bei den Brücken angestrebten hohen statischen Unbestimmtheit; gleichzusetzen mit der inneren Redundanz. Wie im Forschungsprojekt SKRIBT [BAST (Hrsg.) (2011)] und SKRIBT plus dargestellt, kann die Robustheit nur mit Zusatzmaßnahmen gesteigert werden.

Dazu gehören z. B. die in der ZTV-ING [BAST (Hrsg.) (2013)] Teil 5, Abschnitt 1, Ziffer 10.2 (2) aufgeführte Verlängerung der Vollbrandphase und der Einsatz eines Konstruktionsbetons mit Zugabe von Polypropylen-Fasern zur Vermeidung von Betonabplatzungen infolge Brandereignissen entsprechend dem Hinweisblatt zur ZTV-ING [BAST (Hrsg.) (2013)] sowie die Definition eines Explosionsszenarios, für das der Tunnel bemessen werden soll.

6.2.4.3 Betriebsoptimierung (4.3)

Optimierung des Betriebs durch die Konstruktion – Bauart (4.3-1a)

- Konstruktionsweise
Die für die Optimierung des Betriebes kennzeichnenden Tunneldetails sind in den Zeichnungen für Ingenieurbauten (RIZ-ING [BAST (Hrsg.) (2013)]) dargestellt. Infolge der gesammelten Erfahrungen werden diese den Regelfall darstellenden Details stetig fortgeschrieben. Vor dem Hintergrund der fast doppelt so hohen Unterhaltungskosten sollten Bergwasser-Drainagen bei bergmännisch hergestellten (Gewölbe-)Tunneln nach Möglichkeit nicht realisiert werden.

Bei Verzicht auf eine Bergwasserdrainage muss die Tunnelschale auf den Gebirgswasserdruck bemessen werden, sofern dieser nicht zu groß

ist. Hieraus entstehen Mehraufwendungen bei der Tunnelinnenschale, die ggf. die Vorteile der entfallenden Drainage beim Betrieb über den gesamten Lebenszyklus übersteigen.

Optimierung des Betriebs durch die Konstruktion – Zugänglichkeit (4.3-1d)

- Konstruktionsweise
Die Zugänglichkeit zu Betriebspunkten ist für den Regelfall bei Berücksichtigung der bestehenden Richtzeichnungen (RIZ-ING) [BASt (Hrsg.) (2013)] erfüllt. Es besteht kein Auswahlpotenzial.

Optimierung des Betriebs durch Maßnahmen bei der Bauwerksausstattung – Anti-Graffiti-Prophylaxe (4.3-2b)

- Baustoffe
Die üblichen Tunnelbaustoffe weisen eine poröse Oberfläche auf. Die theoretisch erreichbaren Flächen, das sind nicht nur die Wandflächen, sollten daher eine Anti-Graffiti-Beschichtung erhalten. Diese ist kombinierbar mit farbigen Wandbeschichtungen gemäß RABT 2006 [FGSV (Hrsg.) (2006)], Ziffer 3.4, die zu Aufhellungszwecken angebracht werden.

Wartungs- und Pflegeaufwand für Lärmschutzwände (LSW) (4.3-2c)

- Baustoffe
Lärmschutzelemente kommen vielfach im Bereich der Portale sowie der vorgelagerten Rampenstrecken zum Einsatz. Für die von der Fahrbahn aus erreichbaren Flächen sollten dauerhafte und maschinell leicht zu reinigende Oberflächen vorgesehen werden. Für die nicht von der Fahrbahn aus erreichbaren Flächen, insbesondere der vorgelagerten Rampen, sollten dauerhafte und/oder begrünbare Flächen vorgesehen werden.
- Konstruktionsweise
Zur Sicherung der vorgelagerten Rampen werden häufig Stützwand- oder Trogkonstruktionen erforderlich. Im Kontext mit der Portalgestaltung ist eine trassennahe oder trassenferne Aufstellung möglich. Wegen der vielfältigen objektspezifischen Einflüsse ergeben sich im Regelfall keine Auswahlpotenziale. Sich ergebende Nachteile werden abschließend bzgl. der Nachhaltigkeit bewertet.

Dauerhafte Abriebfestigkeit und UV-Beständigkeit der Lärmschutzwand(4.3-2d)

- Baustoffe
siehe Kriterium 4.3-2c

Bauwerksbeleuchtung (4.3-2e)

- Baustoffe
Vor dem Hintergrund einer weitgehend realen Farbwiedergabe sind Natriumdampf-Hochdruckleuchten oder LED-Leuchten zu verwenden. Wirtschaftlich bestehen derzeit zwischen den beiden Typen keine großen Differenzen.

Die jährlichen Energiekosten stellen den größten Posten der Betriebskosten dar (ca. 40 bis 50 %). Bislang werden die Energiekosten nicht bei der Nachhaltigkeit berücksichtigt. Analog der Vorgehensweise bei den Hochbauten (Kriterium 2.1.1) sollten diese ggf. in Ergänzung zur Nachhaltigkeitsbewertung erfasst werden.

Derzeit existieren nur wenige Tunnelbauwerke, bei denen Solarenergie für die Tunnelbeleuchtung erzeugt wird. Gerade in den Zeiten, wo es besonders hell ist und die Sonne scheint, wird die meiste Beleuchtungsenergie für die Adaptionsstrecke benötigt. Vor diesem Hintergrund und zur Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeitskriterien sollte der Einsatz der Solarenergie bei der Tunnelbeleuchtung im Rahmen der Projektierung intensiv geprüft werden.

Leuchtmittel der Fahrbahn- bzw. der Brückenbeleuchtung (4.3-2f)

- Baustoffe
Bei den Leuchtmitteln bestehen derzeit keine signifikanten Unterschiede zwischen den Natriumdampf-Hochdrucklampen und der neuen LED-Technik. Zukünftig werden wirtschaftliche Vorteile bei der LED-Technik erwartet.

Zusatzausstattung am Bauwerk (4.3-2r)

- Konstruktionsweise
Für einen erhöhten (Bauwerks-)Schutz im Brandfall wurden Brandbekämpfungsanlagen wissenschaftlich untersucht. Die positive Wirkung bzgl. Brandverlauf, Rauchentwicklung und freigesetzte Temperaturen konnte im Vorhaben SOLIT2 [SOLIT² Forschungskonsortium (Hrsg.) (2012)] festgestellt werden. Das Erfordernis und die spezifischen Kosten sind im konkreten Ein-

zelfall zu klären und können nicht verallgemeinert werden.

Entwässerungssystem (4.3-2s)

- **Baustoffe**
Die Materialien für die Entwässerungssysteme sind in den Richtzeichnungen (RIZ-ING) [BASt (Hrsg.) (2013)] sowie der ZTV-ING [BASt (Hrsg.) (2013)] vorgegeben. Darüber hinaus enthält die Richtlinie für Bergwasserdränagesysteme von Straßentunneln (RI-BWD-TU) der BASt [BASt (Hrsg.) (2007)] weitergehende Angaben für Planung, Bau und Betrieb. Es besteht kein Auswahlpotenzial (Nachrangiges Kriterium).
- **Konstruktionsweise**
Wie bei den Materialien sind die Konstruktionsdetails in den RIZ-ING [BASt (Hrsg.) (2013)] sowie der ZTV-ING [BASt (Hrsg.) (2013)] vorgegeben. Es besteht kein Auswahlpotenzial.

Bepflanzung im Portalbereich (4.3-2t)

- **Konstruktionsweise**
Wenn im konkreten Fall eine Bepflanzung der Portalzone aus gestalterischen sowie beleuchtungstechnischen Gründen (Abdunkelung) angezeigt und realisierbar ist, dann kann dies grundsätzlich bei allen Tunnelkonstruktionen umgesetzt werden. Es besteht kein Auswahlpotenzial (Nachrangiges Kriterium).

6.3 Quantifizierung der Potenziale

Von den analysierten Beziehungskombinationen besitzen die in Tabelle 8 dargestellten Kriterien Einflusspotenziale, deren Größen im Weiteren untersucht werden.

Für die Quantifizierung der bestehenden Potenziale wird eine Grenzbetrachtung durchgeführt, da für viele der obigen Kriterien verallgemeinert keine Bepunktung entsprechend dem Bewertungsalgorithmus möglich ist. Beispielhaft sei hier das Kriterium 1.8a Umwelteinwirkungen/Mehremissionen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigungen (MBV) genannt, dass nur am konkreten Objekt benotet werden kann.

Infolge der in den FE-Projekten 15.0494/2010/FRB (Brücke) [BMVBS (Hrsg.) (2010)] und 09.0164/2011/LRB (Straße, Tunnel) [BMVBS (Hrsg.) (2011)] vorgenommenen Auffächerung der Kriterien in

Kriterium	Infolge
1.8a	Konstruktionsweise
1.14	Konstruktionsweise
2.2	Konstruktionsweise
3.1a-3	Konstruktionsweise
3.1.b	Konstruktionsweise
3.2-2.1b	Baustoffe
4.2-k)	Baustoffe, Konstruktionsweise
4.3-1.a)	Konstruktionsweise
4.3-2.b)	Baustoffe
4,3-2.c)	Baustoffe
4.3-2.d)	Baustoffe
4.3-2.e)	Baustoffe
4.3-2.f)	Baustoffe

Tab. 8: Kriterien mit Einflusspotenzial

Unterkriterien (siehe Anlage 1) erfolgte für die Ermittlung der möglichen Potenziale bei den Tunneln eine weitergehende Gewichtung. Diese ist in den Tabellen 1 und 8 wiedergegeben und als Vorschlag zu betrachten, der nach Abschluss des Projektes für alle Unterkriterien und alle Infrastrukturen geprüft werden muss.

Unterstellt man, dass alle obigen 13 Kriterien im ungünstigsten geplanten Fall mit 0 CP bewertet werden, ist bei optimaler Gestaltung entsprechend den oben genannten Vorschlägen die maximale Punktzahl möglich.

Die maximal realisierbaren Potenzialgrößen sind in der Tabelle 9 dargestellt. Es ist zu ersehen, dass das größte Potenzial beim Hauptkriterium 2. „Ökonomische Qualität“ besteht. Dort sind maximal 9 % Gewichtung optimierungsfähig.

Es folgen die Hauptkriterien 1. „Ökologische Qualität“ und 3. „Soziokulturelle und funktionale Qualität“ mit rd. 5 % und am Schluss die „Technische Qualität“ mit rd. 4 %.

Bei der Prozessqualität wird davon ausgegangen, dass diese im erforderlichen Umfang mit dem Bauauftrag sichergestellt wird, sodass hier keine Veränderungspotenziale identifiziert werden.

Die durchgeführte Grenzbetrachtung stellt die theoretischen Potenziale dar. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass durch die planerische Umsetzung des geltenden Regelwerkes im Einzelfall bereits Nachhaltigkeitskriterien beachtet bzw. berücksichtigt

Kriterium			angepasstes erweitertes System		Änderungs- potenzial	
Nr.	Unter- punkt	Bezeichnung	Bedeutungs- faktor	Gewichtung Haupt- kriterium	Anteilig	von Haupt- kriterium Maximal
1.		ökologische Qualität	18	22,500%		5,000%
1.8a		Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung (MBV)	3	3,750%	100%	3,750%
1.14		Ressourcenschonung (neu)	1	1,250%	100%	1,250%
2.		ökonomische Qualität	5	22,500%		9,000%
2.2		Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	2	9,000%	100%	9,000%
3.		soziale/funktionale Qualität	7	22,500%		4,532%
3.1		Schutzgüter: Mensch, Landschaft, Kulturgut				
3.1a		Mensch, einschließlich Gesundheit, insbesondere Lärm	1	3,214%		
	3.	Weitere Beeinträchtigung von Menschen			32%	1,029%
3.1b		Landschaft	1	3,214%	100%	3,214%
3.2		Komfort	1	3,214%		
	b)	Fahrbahnbeschaffenheit, Helligkeit			9%	0,289%
4.		technische Qualität	9	22,500%		3,925%
4.2		Konstruktive Qualität, Dauerhaftigkeit, Robustheit	3	7,500%		
	k)	5 Robustheit			15%	1,125%
4.3		Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit	2	5,000%		
	a)	1.1 Bauart der Brücke			13%	0,650%
	b)	2.1.2 Anti-Graffiti-Prophylaxe			13%	0,650%
	c)	2.1.3 Wartungs- und Pflegeaufwand für Lärmschutzwände (LSW)			6%	0,300%
	d)	2.1.4 Dauerhafte Abriebfestigkeit und UV-Beständigkeit der Lärmschutzwand			6%	0,300%
	e)	2.1.5 Bauwerksbeleuchtung			8%	0,400%
	f)	2.1.6 Leuchtmittel der Fahrbahn- bzw. der Brückenbeleuchtung			10%	0,500%
5.		Prozessqualität	10	10,000%		0,000%

Tab. 9: Maximale Potenzialgrößen

werden, welche die theoretischen Potenziale mindern.

Den ausgewiesenen Nachhaltigkeitskriterien mit Verbesserungspotenzialen sollte im Planungsprozess nachgegangen werden. Die bei den 13 detektierten Nachhaltigkeitskriterien dargestellten Verbesserungspotenziale können im Einzelfall aber nachteilige Auswirkungen auf andere Nachhaltigkeitskriterien besitzen. Beispielhaft sei auf das Kriterium 4.3-1a) Bauart des Tunnels mit dem Entfall der Bergwasserdrainage vs. zusätzliche Wasserdruckbelastung auf die Tunnelinnenschale mit den daraus entstehenden Investitionskosten (Kriterium 2.1 „Kosten im Lebenszyklus“) verwiesen. Aus diesem Grund muss für das konkrete Projekt stets eine Gesamtbeurteilung der Nachhaltigkeit über alle in Anlage 1 dargestellten Kriterien erfolgen, um die gegenseitigen Einflüsse umfassend zu berücksichtigen.

Aus einem Quervergleich zwischen verschiedenen Möglichkeiten zur Nachhaltigkeitsverbesserung, die alle für den gesamten Kriterienkatalog abgebildet werden müssen, lässt sich dann die optimalste Lösung unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten herausarbeiten.

Ergebnisneutral sind abschließend die Verbesserungsmöglichkeiten, die zum Teil über die Regelwerksanforderungen hinausgehen, als sogenannter Mitfall, der Regelwerkslösung (Ohnefall) gegenüber zu stellen und vergleichend zu bewerten. Diese

Nachhaltigkeitsbetrachtung kann als besondere Leistung im Rahmen der Vorplanung (Leistungsphase 2 HOAI) in Anlehnung oder als Ergänzung zum ohnehin anzustellenden Variantenvergleich (Synoptische Gegenüberstellung) erfolgen.

6.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Bei der Prüfung von Optimierungspotenzialen und deren möglicher Umsetzung sind auch die entstehenden Kosten in die Entscheidungsfindung einzubeziehen. Öffentliche Projekte sind entsprechend der haushalterischen Vorgaben mit geringstmöglichem Aufwand zu realisieren. Dabei werden in erster Linie die Investitionskosten und nicht die Lebenszykluskosten betrachtet. Weiterhin werden volkswirtschaftliche Kosten im Regelfall außer Acht gelassen. Die für öffentliche Auftraggeber übliche Ausschreibungsform ist die Leistungsbeschreibung mit Leistungsverzeichnis auf der Grundlage einer zuvor vom Auftraggeber erstellten Planung.

Vor diesem Hintergrund muss die Prüfung von Optimierungspotenzialen möglichst früh in der Planungsphase einsetzen, da später die grundlegenden Projektbedingungen unter Einbezug von Nachhaltigkeitsthemen nicht mehr oder nur mit Verzug im Planungsablauf berücksichtigt werden können.

Bei den detektierten Optimierungsthemen sind, insbesondere bei denen, wo es um eine Übererfüllung gegenüber den Regelwerks-Anforderungen geht, die durch die Übererfüllung entstehenden höheren Investitionskosten den Gewinnen, die aus der Nachhaltigkeitsbetrachtung entstehen, gegenüber zu stellen. Diese Wirtschaftlichkeitsbetrachtung stellt planerisch eine zusätzliche Leistung dar, die nicht mit den originären Planungshonoraren abgedeckt ist.

7 Vergleich der Bewertung eines optimierten und eines konventionellen geplanten Brückenbauwerks

7.1 Allgemeines

Im Rahmen von Arbeitspaket 3 wurden die identifizierten Nachhaltigkeitspotenziale an einem realen Beispiel verifiziert. Hierzu war ein bestehendes konventionelles Bauwerk mit einem hinsichtlich der

identifizierten Nachhaltigkeitspotenziale optimierten Bauwerk zu vergleichen. Um die Vergleichbarkeit bestmöglich zu gewährleisten wurde die Betrachtung nicht an zwei unabhängigen Bauwerken durchgeführt, sondern an einem bestehenden konventionell geplanten Bauwerk, welches zu Vergleichszwecken unter Ausschöpfung der Nachhaltigkeitspotenziale fiktiv neugeplant wurde. Der Vergleich wurde also an unterschiedlichen Varianten ein und desselben Bauwerkes durchgeführt, nämlich an der tatsächlich ausgeführten konventionell geplanten Variante, im weiteren V0 genannt, und der hinsichtlich der Nachhaltigkeitspotenziale optimierten fiktiven Variante V1. Im Zuge der Bearbeitung wurde zusätzlich eine Variante V2 betrachtet, die eine leichte Abwandlung zur Variante V1 darstellt. Die Varianten werden im Folgenden genauer erläutert. Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind die wichtigsten Daten der Unterschiede der Bauwerksvarianten in einer tabellarischen Übersicht in Tabelle 10 dargestellt.

Für die Vergleichsbetrachtung wurde das Überführungsbauwerk BW 119, das die Bundesstraße B 426 alt bei Pfungstadt über die BAB 67 führt ausgewählt. Dieses Bauwerk eignet sich in besonderem Maße als Praxisbeispiel, da die Brücke zum einen bereits Gegenstand von Nachhaltigkeitsuntersuchungen war (Forschungsvorhaben „Nachhaltiges Bauen – Ökobilanzierung und Lebenszykluskosten von vier Straßenbrücken“ Forschungsbericht F15-10-2010 FG Massivbau, TU Darmstadt, kurz: Projekt „Hessische Straßenbrücken“ und Forschungsprojekt FE 15.0522/2011/FRB „Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus“, kurz: Projekt „Pilotstudie“). Zum anderen, weil bei diesem Bauwerk eine Vielzahl von einschränkenden Randbedingungen besteht. Durch die Berücksichtigung der einschränkenden Randbedingungen wird es möglich, die Potenziale realitätsnah abzuschätzen. Erwartungsgemäß lassen sich bestehende Potenziale umso besser ausschöpfen, je mehr Freiheiten für Planung und Ausführung bestehen. Ebenso ist zu erwarten, dass die Ausschöpfbarkeit der theoretisch vorhandenen Potenziale abnimmt, je mehr Zwangspunkte bestehen, die bei Planung und Ausführung berücksichtigt werden müssen. Ein Beispiel mit vergleichsweise vielen einschränkenden Zwangspunkten, wie die Brücke im vorliegenden Fall, eignet sich daher in besonderem Maße zur Verdeutlichung der möglichen Differenz zwischen theoretisch vorhandenen und praktisch ausschöpfbaren Potenzialen.

Das Bestandsbauwerk ist ein im Jahre 2007 errichtetes Ersatzbauwerk für das ursprüngliche Überführungsbauwerk von 1934. Bei dem 2007 ausgeführten Bauwerk handelt es sich um eine Spannbeton Balkenbrücke in „konventioneller Bauweise“, d. h. mit Lagern und Übergangskonstruktionen. Der Überbau besteht aus einem 5-stegigen Plattenbalkenquerschnitt, der in Halbfertigteilbauweise realisiert wurde. Die Vorspannung der Plattenbalken erfolgte teilweise im Herstellwerk und teilweise nach Einbau der Halbfertigteile auf der Baustelle.

Bei der Neuerrichtung der Brücke im Jahre 2007 waren folgende besondere Randbedingungen zu beachten:

- Aufgrund der Lage der Baumaßnahme in einem Wasserschutzgebiet durften die Lage und die Abmessungen der Dammkörper nicht verändert werden.
- Die Linienführung der Trasse durfte nicht verändert werden, d. h. der spitze Kreuzungswinkel vom 56,7 gon musste beibehalten werden.
- Da die Dämme nicht verbreitert werden durften, konnte die Höhenlage der Fahrbahnoberkante nicht verändert werden.
- Der geplante 6-streifige Ausbau der A 67 war zu berücksichtigen. Sowohl die Höhe als auch die Breite des freizuhaltenden Lichtraumprofils haben sich gegenüber der alten Brücke vergrößert.
- Die Mindestspannweite der Brücke ist durch die Breite des 6-streifigen Ausbaus der A 67 bestimmt.
- Aus der Soll-Lage der Fahrbahnoberkante und der Höhenlage des freizuhaltenden Lichtraumprofils ergibt sich eine maximal mögliche Konstruktionshöhe des Überbaus von 1,25 m.

Nach der Clusterung gemäß Arbeitspaket 2 ist diese Brücke dem Brückentyp 3 zuzuordnen. Die Untersuchungen von AP 2 ergaben, dass hier eine integrale Rahmenbrücke mit Plattenbalkenquerschnitt aus Spannbeton die beste Nachhaltigkeitsbewertung erwarten lässt. Die Lösung mit Einfeldrahmen unterscheidet sich im Ergebnis der durchgeführten Potenzialanalyse dabei nicht signifikant von der Lösung mit Zweifeldrahmen, sodass beide Varianten (Einfeldrahmen und Zweifeldrahmen) für die Untersuchungen von Arbeitspaket 3 berücksichtigt werden sollten. Aufgrund der besonderen

Randbedingungen des vorliegenden Falls scheidet die einfeldrige Lösung jedoch aus, da hierfür eine größere Bauhöhe des Überbaus notwendig wäre als sie sich unter den gegebenen Randbedingungen realisieren lässt.

Als Planungsziel für die Variante V1 wurde eine integrale Spannbetonbrücke als Zweifeldrahmen mit Plattenbalkenquerschnitt gewählt. Wo möglich und sinnvoll wurden alle Ausführungsdetails der Bestandsbrücke V0 übernommen, wie z. B. die Anzahl der Plattenbalkenstege, um eine bestmögliche und transparente Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

7.2 Vorgehensweise

Für das bestehende Brückenbauwerk existiert eine Nachhaltigkeitsbewertung, die anhand des Bewertungssystems Brücke (Stand 2010) im Rahmen der Pilotstudie (FE 15.0522/2011/FRB) durchgeführt wurde. Diese Nachhaltigkeitsbewertung stellt die Basis für den Vergleich dar.

Für die Neuplanung der fiktiven Variante V1 wurde zunächst im Rahmen einer Masterarbeit am Institut für Massivbau der TU Darmstadt eine statische Berechnung für den integralen Zweifeldrahmen durchgeführt. Wie in der Bestandsstatik erfolgte auch die Bemessung der Variante V1 nach DIN Fachbericht 100 bis 102. Anschließend erfolgte die Massenermittlung. Alle Abmessungen und Detailausbildungen (z. B. konstruktive Bewehrung), die nicht unmittelbar von dem geänderten statischen System betroffen waren, wurden gegenüber der Bestandsituation (V0) dabei nicht verändert.

Mit einem Kreuzungswinkel zwischen Autobahn und überführter Straße von 56,7 gon handelt es sich um eine Brücke mit relativ großer Schiefe. Die Ausführung schiefer Brücken, d. h. Brücken bei denen der Schnittwinkel zwischen Überbauachse und Widerlagerwand weniger als 100 gon beträgt, kann bei integraler Bauweise zu erheblichen Zwängen führen. Die im Entwurf der RE-ING, Teil Ingenieurbau, Abschnitt integrale Bauwerke [BMVBS (Hrsg.) 2011c] vorgenommenen Einteilung in Schwierigkeitsklassen in Abhängigkeit der Gesamtstützweiten (vgl. Tabelle 5.1.1 RE-ING) gilt beispielsweise nur für Schiefen von 80-100 gon. Bei Schiefen zwischen 70 und 80 gon sind die Grenzwerte der Gesamtstützweiten zur Einteilung in die Schwierigkeitsklassen um jeweils 10 m zu verringern und bei Schiefen < 70 gon ist statt der Verrin-

gerung eine Einstufung in die nächsthöhere Schwierigkeitsklasse vorzunehmen. Im vorliegenden Fall wäre die Brücke als Spannbetonbrücke mit einer Gesamtspannweite von 66 m jedoch unabhängig von ihrer Schiefe ohnehin schon in die höchstmögliche Schwierigkeitsklasse 4 einzu-stufen.

Für die Variante V1 wurde daher als Kompromisslösung entschieden, die Widerlager gegenüber der Bestandsbrücke zu schwenken, um einen senkrechten Schnittwinkel zwischen Widerlagerwand und Überbauachse zu erhalten. Dadurch verlängert sich der Überbau, während sich die Widerlager selbst verkleinern. Den Vorteilen, die sich durch das „Geradestellen“ der Widerlager ergeben, steht also der Nachteil einer vergrößerten Spannweite entgegen. Im vorliegenden Fall hat sich die Gesamtspannweite der Brücke von 66,00 m um den Betrag von

$$\cot 56,7 \text{ gon} \cdot 11,55 \text{ m} = 9,34 \text{ m} \quad (1)$$

auf 75,34 m erhöht. Die Widerlagerwände haben sich dagegen von 14,85 m um 3,30 m auf 11,55 m verkürzt. Die Bezugsfläche nach der Definition des Bewertungssystems Brücke (Stand 2010) hat sich damit von 927 m² auf 1.037 m² vergrößert.

Eine Bemessung der integralen Brücke mit schiefen Widerlagern ist grundsätzlich auch möglich. Hierbei muss allen Problemen, die sich aus den ungleichmäßigen Zwängungen ergeben, mit den notwendigen statischen und konstruktiven Konsequenzen entsprechend dem Stand der Technik begegnet werden. Dem Vorteil der nicht vergrößerten Spannweite stehen in diesem Fall die Nachteile der wesentlich aufwendigeren (und auch fehleranfälligeren) Bemessung und konstruktiven Ausbildung entgegen. Je nach Größe der zu erwartenden Zwangsschnittgrößen können im Einzelfall zusätzliche Materialmengen (z. B. Bewehrung) und höhere Anforderungen an die Materialeigenschaften (z. B. Betonfestigkeitsklasse, Kriech- und Schwindverhalten des Betons etc.) entstehen, die bei der Ermittlung der Umweltwirkungen und der Kosten entsprechend zu berücksichtigen sind. In jedem Fall wäre die Lösung sehr projektspezifisch. Eine Übertragbarkeit auf andere Projekte wäre aufgrund des hohen Spezifizierungsgrades nicht a priori gegeben. Im vorliegenden Projekt wurde daher entschieden, den gewählten Weg mit der „Geradestellung“ der Widerlager zu gehen, weil dieser wesentlich einfacher zu verallgemeinern ist und unein-

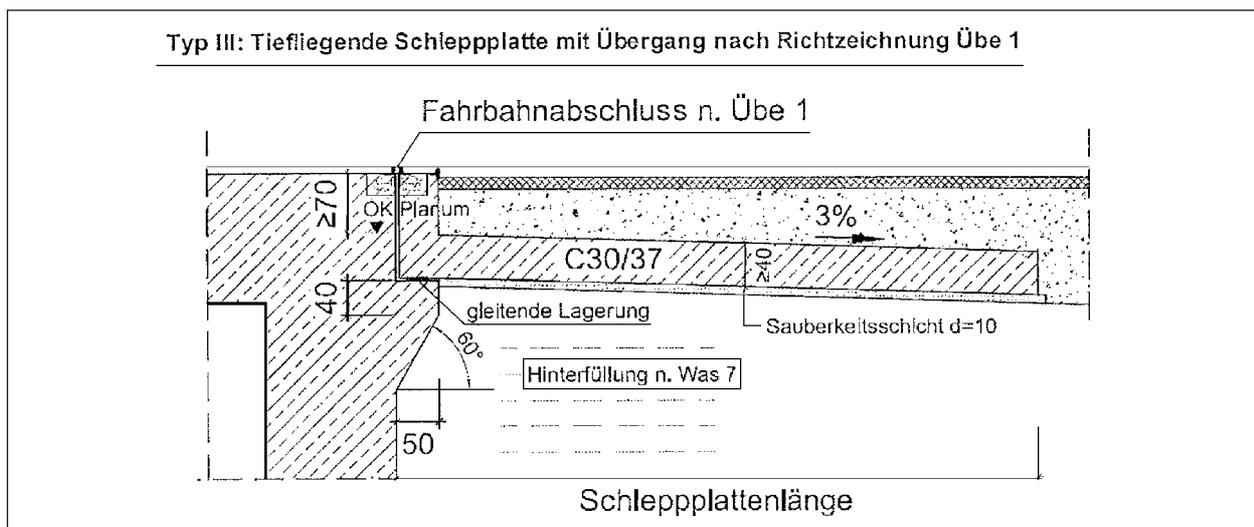


Bild 3: Schleppplattenanschluss Typ III nach Entwurf RE-ING [BMVBS (Hrsg.) 2011c]

geschränkt auf beliebige Fälle übertragen werden kann.

Mit einer Gesamtspannweite von 75,34 m ist die Spannbetonbrücke der Schwierigkeitsklasse 4 nach Entwurf RE-ING [BMVBS (Hrsg.) 2011c] zuzuordnen. Bei einer Länge von 75,34 m sind die zu erwartenden Verformungen aus den unterschiedlichen Lastfällen, insbesondere den Temperaturlastfällen, nicht unerheblich. Kapitel 6 des Entwurfs RE-ING [BMVBS (Hrsg.) 2011c] enthält Angaben, wie der Übergang zur Fahrbahn (freie Strecke) in Abhängigkeit von Konstruktionsart, Bauwerkslänge und zu erwartenden Verformungen zu gestalten ist. Für den vorliegenden Fall einer Spannbetonbrücke mit einer Gesamtlänge von 75,34 m ist die Fahrbahn mit einer Schleppplatte Typ III nach Entwurf RE-ING [BMVBS (Hrsg.) 2011c] anzuschließen (siehe Bild 3). Das heißt, obwohl es sich nach dem statischen System um ein integrales Rahmenbauwerk handelt, das ohne Lager konstruiert wird, kann das Bauwerk nicht ohne Übergangskonstruktionen realisiert werden. An beiden Enden sind Schleppplatten vorzusehen und die Bewegungsfuge ist mit Übergangskonstruktionen nach Übe 1 RIZ-ING [BASt (Hrsg.) 2012] zu überbrücken.

Die Ermittlung der Potenziale in AP 2 erfolgte unter der Annahme, dass integrale Brücken des Typs 2 und 3 immer ohne Übergangskonstruktionen realisiert werden können. Schleppplatten wurden bei der Potenzialermittlung für integrale Brücken des Typs 2 und 3 ebenfalls nicht berücksichtigt. Für die Vergleichsbetrachtung in AP 3 wird daher zusätzlich zur Variante V1 der Vergleich mit einer Variante V2 geführt, die sich von Variante V1

lediglich durch die Nichtberücksichtigung von Schleppplatten und Übergangskonstruktionen unterscheidet.

In Tabelle 11 sind die den weiteren Berechnungen von Ökobilanz und Lebenszykluskosten zugrunde gelegten Mengen gegenübergestellt, die für die Varianten V0, V1 und V2 ermittelt wurden. Die Mengen der Variante V0 entsprechen dabei im Allgemeinen den Werten, die bereits in der Pilotstudie ermittelt und angesetzt wurden. Nur in wenigen Einzelfällen, in denen die Werte der Pilotphase nicht anhand der Ausführungspläne nachvollzogen werden konnten, wurden die Mengen entsprechend neu ermittelt.

Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, erfolgte die Berechnung der ökobilanziellen Werte auf der gleichen Grundlage wie in der Pilotstudie, d. h. auf Grundlage der Ökoba.dat 2011. Für Baustoffe, zu denen keine Datensätze aus der Ökoba.dat vorlagen (z. B. Spannstahl) wurden die Ansätze aus der Pilotstudie übernommen, ohne diese Ansätze weiter zu hinterfragen. Bei der Ermittlung der Lebenszykluskosten wurden ebenfalls die Kostenansätze zugrunde gelegt, die für die Bestandsbrücke in der Pilotstudie angewendet wurden.

Aufgrund der unterschiedlichen Bezugsflächen (927 m² für Variante V0 und 1.037 m² für die Varianten V1 und V2) ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse wiederum nur eingeschränkt gegeben. Um die Bewertbarkeit der Ergebnisse transparenter zu gestalten wird für die Auswertung in die Untervarianten V1-a und V2-a sowie V1-b und V2-b unterschieden. Bei den Varianten V1-a und V2-a

Nr.	Variante	Bezugsgröße
V0	Brückenbauwerk wie ausgeführt, 2-feldrige Balkenbrücke mit Plattenbalkenquerschnitt, Spannbeton, 3 Lager je Lagerachse, Übergangskonstruktionen (nach Übe 1 RIZ-ING) an beiden Enden, Gesamtspannweite 66 m, Breite zwischen den Geländern 11,75 m	927 m ²
V1-a	2-feldriges Rahmenbauwerk mit Plattenbalkenquerschnitt, Spannbeton, keine Lager, Schleppplatten und Übergangskonstruktionen (nach Übe 1 RIZ-ING) an beiden Enden, Gesamtspannweite 75,34 m, Breite zwischen den Geländern 11,75 m	1.037 m ²
V1-b		927 m ²
V2-a	2-feldriges Rahmenbauwerk mit Plattenbalkenquerschnitt, Spannbeton, keine Lager, keine Schleppplatten, keine Übergangskonstruktionen, Gesamtspannweite 75,34 m, Breite zwischen den Geländern 11,75 m	1.037 m ²
V2-b		927 m ²

Tab. 10: Übersicht der in AP3 betrachteten Varianten

werden alle quantitativen Bewertungsgrößen auf die tatsächliche Bezugsflächen von 1037 m² bezogen, während für die Varianten V1-b und V2-b die quantitativen Bewertungsgrößen auf die Bezugsfläche der Ausgangsvariante V0 von 927 m² bezogen werden. Eine tabellarische Übersicht der betrachteten Varianten ist in Tabelle 10 dargestellt.

7.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse von Ökobilanz und Lebenszykluskostenberechnung sind in Tabelle 12 und Tabelle 13 dargestellt. In Tabelle 14 sind die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung dargestellt.

Bei der Bewertung der Lebenszykluskosten wurde nicht der Referenzwert aus dem bestehenden Bewertungssystem (Stand 2010) zugrunde gelegt, sondern der alternative Referenzwert, der auch in AP 2 ersatzweise genutzt wurde. Der Referenzwert beträgt bei einer Brückenfläche von ca. 1.000 m² 2.620 €/m² anstelle der 5.700 €/m², die im Bewertungssystem von 2010 vorgesehen waren.

Die Untersuchungen von AP 2 lassen für Brücken des Brückentyps 3 für den Vergleich einer Spannbetonbalkenbrücke mit Plattenbalkenquerschnitt mit einer integralen Zweifeldrahmenbrücke mit Plattenbalkenquerschnitt eine Verbesserung im Gesamterfüllungsgrad von 4,15%-Punkten erwarten. Die für die untersuchten Varianten tatsächliche realisierten Veränderungen am Gesamterfüllungsgrad stellen sich wie folgt dar:

V1-a: +2,5%-Punkte (Verbesserung),

V2-a: +6,2%-Punkte (Verbesserung),

V1-b: -1,3%-Punkte (Verslechterung),

V2-b: +1,7%-Punkte (Verbesserung).

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Varianten V1 und V2 in allen betrachtenden ökobilanziellen

Kriterien höhere Absolutwerte aufweisen als das bei der Variante V0 der Fall ist. Ebenso weisen beide Varianten (V1 und V2) in der ökonomischen Betrachtung höhere Absolutwerte für den Gesamtwert auf als Variante V0.

Bei der Betrachtung relativer Größen, wirkt sich die unterschiedliche Bezugsfläche jedoch auf das Ergebnis aus. In den bezogenen Umweltwirkungen und den bezogenen Lebenszykluskosten erzielen die Varianten V1-a und V2-a bessere Ergebnisse als die Variante V0. Nach dem aktuellen Stand des bestehenden Bewertungssystems wäre dies die korrekte Vorgehensweise in der vergleichenden Bewertung. D. h. obwohl die absoluten Umweltwirkungen und Kosten leicht höher sind würden die Varianten V1 und V2 in den betreffenden Kriterien als nachhaltiger bewertet werden.

Wird jedoch der Vergleich für zwei Brücken an einem festen Standort angestrebt, so ist es zielführender die absoluten Bewertungsgrößen zu vergleichen oder die Bewertungsgrößen auf eine identische Bezugseinheit zu beziehen (in diesem Fall die Bezugsfläche der Bestandsbrücke mit 927 m²). Bei Bezug der Umweltwirkungen und Kosten auf die einheitliche Bezugsfläche von 927 m² (Varianten V1-b und V2-b) kehrt sich das Ergebnis um. Die Veränderungen in den absoluten Werten schlagen sich bei identischer Bezugsfläche direkt linear auf die relativen Werte um. Bei der Betrachtung mit einer einheitlichen Bezugsfläche schneiden V1-b und V2-b schlechter ab als V0. Die Unterschiede, die sich ergeben, stammen aus den Mehrmassen der Varianten V1 und V2 durch die Verlängerung der Brücke.

Bei der Betrachtung der Massenbilanz zeigt sich, dass es Baustoffe gibt, deren Masse sich in der Gesamtbilanz kaum verändert (z. B. Beton), weil sich die benötigten Mengen für manche Bauteile (z. B. Überbau) erhöhen während sie sich für an-

KBK-Nr./STLK	Leistungsbeschreibung	Mengen- einheit	V0	V1	V2
44.2	Beton unbewehrt als Sauberkeitsschicht herstellen (Widerlager)	m ³	21,3	18	18
44.3	Beton unbewehrt als Sauberkeitsschicht herstellen (Pfeiler)	m ³	58	40	40
44.4	Stahlbeton für Fundamente herstellen (Widerlager)	m ²	246	183	183
44.5	Stahlbeton für Fundamente herstellen (Pfeiler)	m ³	82	64	64
44.6	Stahlbeton für aufgehende Teile der Widerlager herstellen	m ³	255	300	300
44.7	Stahlbeton für Pfeiler herstellen	m ³	36	37	37
44.8	Stahlbeton für Kappen herstellen	m ³	100	112	112
neu	Stahlbeton für Schleppplatten herstellen (C30/37)	m ³	-	33	-
44.9	Stahlbeton für Fertigteil herstellen	m ³	264	294	294
44.10	Stahlbeton für Ortbetonergänzung herstellen	m ³	220	192	192
44.12	Betonstahl BSt 500S für Fundamente einbauen	t	17,7	16,3	16,3
44.13	Betonstahl BSt 500S für Fundamente einbauen	t	11	4,6	4,6
44.14	Betonstahl BSt 500S für aufg. Teile Widerlager einbauen	t	32	34,4	34,4
44.15	Betonstahl BSt 500S für Pfeiler einbauen	t	6	6,2	6,2
44.16	Betonstahl BSt 500S für Kappen einbauen	t	12,7	14,2	14,2
44.9	Betonstahl BSt 500S für Fertigteile einbauen	t	33	41	41
neu	Betonstahl BDt 500S für Schleppplatte einbauen	t	-	2	-
44.10	Betonstahl BSt 500S für Ortbetonergänzung einbauen	t	47	58	58
44.11	Spannstahl St 1570/1770 einbauen, Spann. mit nachtr. Verbund	t	20	21,16	21,16
46.1	Verformungslager rechteckig, 518 [kg/St]	St	2	-	-
46.2	Verformungslager rechteckig, 215 [kg/St]	St	4	-	-
46.3	Verformungslager rund, 360 [kg/St]	St	3	-	-
46.4	Fahrbahnübergänge aus Stahl, wasserdicht, einb., 1-schläuchig	m	15,75	12,25	-
46.5	Fahrbahnübergänge aus Stahl, wasserdicht, einb., 1-schläuchig	m	14,87	12,55	-
46.6	Ankerschienen einbauen (Lagerwechsel)	St	12	-	-
46.7	Ankerschienen einbauen (Leitersicherung)	St	6	6	6
46.9	Stahlgeländer einbauen	m	152,3	171	171
46	Schutzeinrichtung	m	180	200	200
46	Schutzplanken-Verankerung einbauen	Stk	130	144	144
47.1	Beschichtung Hydrophobierung (Kappen)	m ²	380	434	434
47.2	Abdichtung Überbau, Fahrbahnbereich	m ²	429	490	490
47.3	Abdichtung Überbau, Kappenbereich	m ²	333	380,5	380,5
47.4	Schutzschicht Überbau, Dicke d = 3,50 cm	m ²	429	490	490
47.5	Deckschicht Überbau, Dicke d = 4,0 cm	m ²	429	490	490
47.6	Fugenverguss zw. Fahrbahn und Kappe	m	193	212	212
47.10	Fugeneinlage zwischen verschiedenen Bauteilen (Bitumen)	m	10,2	10,2	10,2
47.11	Erdseitiges Arbeitsfugenband einbauen	m	53	53	53
47.12	Fugenabschlussband einbauen	m	24	24	24
47.13	Beschichtung der Geländer	m	152,3	171	171
informativ	Bezugsfläche	m ²	927	1.037	1.037

Tab. 11: Massenermittlung für die Untersuchungen in AP 3

	Variante V0		Variante V1			Variante V2		
	absolut	bezogen	absolut	bezogen		absolut	bezogen	
				V1-a	V1-b		V2-a	V2-b
GWP [kgCO ₂ -Äqu.], [kgCO ₂ -Äqu./((m ² · a))]	10.338	11,15	10.734	10,35	11,58	10.505	10,13	11,33
ODP [kgR ₁₁ -Äqu.], [kgR ₁₁ -Äqu./((m ² · a))]	2,48 E-04	2,67 E-07	2,69 E-04	2,59 E-07	2,90 E-07	2,67 E-04	2,57 E-07	2,88 E-07
POCP [kgC ₂ H ₄ -Äqu.], [kg C ₂ H ₄ -Äqu./((m ² · a))]	5,24	0,0057	5,61	0,0054	0,0060	5,53	0,0053	0,0060
AP [kgSO ₂ -Äqu.], [kgSO ₂ -Äqu./((m ² · a))]	21,3	0,023	22,1	0,021	0,024	21,6	0,021	0,023
EP [kgPO ₄ -Äqu.], [kgPO ₄ -Äqu./((m ² · a))]	2,25	0,0024	2,31	0,0022	0,0025	2,26	0,0022	0,0024
PEne [MJ], [MJ/(m ² · a)]	97.777	105,5	103.139	99,5	111,3	100.974	97,4	108,9
PEe [MJ], [MJ/(m ² · a)]	3.840	4,14	4.097	3,95	4,42	4.022	3,88	4,34

Tab. 12: Ergebnisse Ökobilanz

	Variante V0		Variante V1			Variante V2		
	absolut	bezogen	absolut	bezogen		absolut	bezogen	
				V1-a	V1-b		V2-a	V2-b
Herstellkosten [€], [€/((m ² · a))]	1.172.323	1.264	1.205.308	1.163	1.300	1.168.124	1.127	1.260
regelmäßige Erhaltung [€], [€/((m ² · a))]	112.676	121	116.6869	113	126	112.143	108	121
unregelmäßige Erhaltung [€], [€/((m ² · a))]	723.102	780	784.815	757	847	609.514	588	658
Barwert gesamt [€], [€/((m ² · a))]	2.008.102	2.166	2.106.992	2.032	2.273	1.889.781	1.823	2.039

Tab. 13: Ergebnisse Lebenszykluskosten

dere Bauteile (z. B. Widerlager) reduzieren. Weiter gibt es Materialien, deren Massen annähernd proportional zur Verlängerung des Bauwerks zunehmen (z. B. Belag) und Materialien, deren Massen überproportional zunehmen (z. B. Bewehrung). Sowohl die Betrachtung mit der realen Bezugsfläche, als auch die Betrachtung mit der einheitlichen Bezugsfläche verzerren das Bewertungsergebnis und lassen keinen genauen Vergleich zu. Für eine genauere Betrachtung müsste die Strecke mitbilanziert werden, sodass den Mehraufwendungen für einen längeren Brückenüberbau die Ersparnis an einer entsprechend kürzeren freien Strecke auf Dammlage gegengerechnet werden kann. Die Wirkungen der bitumi-

nösen Fahrbahndecke würden sich dann beispielweise aufheben. Eine derartige Betrachtung ist aber im derzeitigen Bewertungssystem nicht vorgesehen.

Beim Vergleich der Varianten V1-a und V2-a untereinander fällt auf, dass die Auswirkungen der Schleppplatte und des Übergangprofils in der Ökobilanz und in der „Technischen Qualität“ nur einen kleinen Teil ausmachen. Die Hauptkriterien-Gruppe „Ökologische Qualität“ trägt nur mit einem Wert von 0,4%-Punkten zum Unterschied der Ergebnisse bei, die Hauptkriterien-Gruppe „Technische Qualität“ sogar nur mit 0,2%-Punkten. Dahingegen besteht in der Hauptkriterien-Gruppe „Ökonomische

Qualität“ ein Unterschied von 2,0%-Punkten zwischen den Varianten V1-a und V2-a, gefolgt von der Hauptkriteriengruppe „Soziokulturelle und funktionale Qualität“ mit 1,0%-Punkten. Den entscheidenden Anteil am Bewertungsunterschied leistet also nicht die Schleppplatte an sich, sondern die Übergangskonstruktion. Wobei der Materialaufwand (auch bei Berücksichtigung der mehrfachen Erneuerung während des Lebenszyklus) bezüglich der Umweltwirkungen zweitrangig ist, bei den Kosten allerdings direkt durchschlägt. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist jedoch der gewählte Ansatz der Kostenermittlung zu beachten. Gemäß dem Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) wurden die Kosten zur Erneuerung der Übergangskonstruktionen mit 90,00 € pro m² Bezugsfläche angesetzt, was im Falle der Variante V1-a mit 1.037 m² Brückenfläche einem Wert von 93.330 € entspricht. Demgegenüber beträgt der auf die Übergangskonstruktionen entfallende Anteil der Herstellkosten nur ca. 34.800 €. Einen ebenso entscheidenden Anteil am Bewertungsunterschied liegt in den soziokulturell-funktionalen Wirkungen der Übergangskonstruktion. Hier sind die Lärmemissionen und die komfortmindernden Erschütterungen beim Überfahren ausschlaggebend.

7.4 Fazit Ergebnisbewertung

Bei der Betrachtung der Varianten V0 und V1-a lässt sich bei strenger Vorgehensweise nach dem bestehenden Bewertungssystem (Stand 2010) ein Potenzial von 2,5%-Punkten feststellen. Im Vergleich dazu wurde nach AP 2 ein zu erwartendes Potenzial von 4,15 % Punkten ermittelt.

Hauptgrund für das Nichterreichen der vollen Prozentpunktespanne ist die nicht übergangskonstruktionsfreie Konstruktion und die dadurch bedingte schlechte Bewertung in den Hauptkriteriengruppen 2 und 3. Bei Nichtberücksichtigung von Übergangskonstruktion und Schleppplatte ließe sich ein Potenzial von 6,2%-Punkten erreichen (V2-a), womit die prognostizierten 4,15%-Punkte sogar überschritten wären.

Wie eingangs erwähnt, lässt sich durch den geführten Bewertungsvergleich durchaus belegen, dass die in AP 2 postulierten Potenziale vorhanden sind, sich aber nicht voll ausschöpfen lassen.

Sobald sich die Abmessungen und damit die Brückenfläche der betrachteten Varianten signifikant

unterscheiden, ist die Bewertung erschwert. Im bestehenden System werden alle quantitativen Messgrößen auf die Brückenfläche bezogen, während für die reale Fallentscheidung die absoluten Werte maßgebend sind. Allerdings müssten hierzu die absoluten Werte des gesamten Streckenzuges (oder eines repräsentativen Streckenzugabschnittes) herangezogen werden.

Unabhängig von der Frage der Bezugsgröße lässt sich feststellen, dass sich unter folgenden Bedingungen die Potenziale der integralen Bauweise optimal ausschöpfen lassen:

- Wenn aufgrund der örtlichen Randbedingungen die integrale Brücke annähernd die gleichen äußeren Abmessungen aufweisen kann wie eine alternative konventionelle Brücke. Für die integrale Brücke fallen dann in der Regel geringere Stoffmassen an, d. h. geringere ökobilanzielle Wirkungen und geringere Kosten für Baustoffe und -produkte.
- Wenn aufgrund der Abmessungen und der zu erwartenden Gesamtverformungen keine Schleppplatten mit Übergangskonstruktionen erforderlich sind. Nach Entwurf RE-ING würde das für Spannbetonbrücken beispielsweise eine Beschränkung der Spannweite auf maximal 50 m und der Gesamtverformungen auf maximal 37,5 mm bedeuten. Die eigentliche Schleppplatte wirkt sich dabei jedoch kaum negativ aus, wenn eine durchgängige Straßendeckschicht möglich ist (vgl. Schleppplatte Typ I und Typ II nach Entwurf RE-ING)
- Bei Brücken, bei denen es aufgrund der Randbedingungen bei den Kriterien 1.8 und 2.2 zu schlechten Bewertungsergebnissen, d. h. zu Stauereignissen und dadurch bedingt zu Umweltmehrbelastungen und volkswirtschaftlichen Mehrkosten kommt. Über den Vorteil, dass keine Sperrungen bzw. Teilsperren zum Austausch von Lagern und Übergangskonstruktionen erforderlich werden, wirkt sich die integrale Bauweise hier zusätzlich zu den Bewertungen in den Hauptkriteriengruppen 3 und 4 auch über die oben genannten Kriterien in den Hauptkriteriengruppen 1 und 2 positiv aus (bei dem durchgeführten Bewertungsvergleich kam es in keinem Fall zu negativen Wirkungen in den besagten Kriterien, insofern konnten hier auch keine Vorteile der integralen Bauweise erfasst werden).

Unter folgenden Randbedingungen wird die Ausschöpfung der Potenziale der integralen Bauweise beeinträchtigt:

- Wenn Übergangskonstruktionen eingebaut werden müssen (s. o.). Dies wirkt sich hauptsächlich in den Hauptkriteriengruppen 2 und 3 aus. Die Wirkung in den Hauptkriteriengruppen 1 und 4 ist geringer. Über das Kriterium 1.8 kann bei ungünstigen Randbedingungen die Hauptkriteriengruppe 1 an Bedeutung gewinnen.
- Bei einer großen Schiefe des Kreuzungswinkels. Hier muss entweder den entstehenden Zwangskräften mit geeigneten Maßnahmen begegnet werden, was mit Mehrmassen und Mehrkosten verbunden sein kann, oder die Zwangskräfte müssen durch „Geradstellen“ der Widerlager reduziert werden, wodurch sich die Spannweite gegenüber einer konventionellen Lösung vergrößert, was ebenfalls mit Mehrmassen und Mehrkosten verbunden sein kann.
- Wenn aufgrund der großen Baulänge nur eine semiintegrale Lösung realisiert werden kann, d. h. mindestens in einer Achse Lager benötigt werden. Die Vorteile aus den Hauptkriteriengruppen 3 und 4 sind dann weitestgehend aufgebraucht. Es verbleiben lediglich Potenziale aus geringeren LCC- und LCA-Werten in den Hauptkriteriengruppen 1 und 2. Aufgrund der Austauschkosten während der Nutzungsphase sind die Potenziale bezüglich der LCC jedoch gering.
- Jegliche Zwangspunkte oder begrenzenden Randbedingungen schränken die Ausschöpfung der Potenziale ein. Im vorliegenden Beispiel zeigt sich das besonders durch die Beschränkung der maximalen Überbauhöhe auf 1,25 m und die Unveränderbarkeit des schiefen Kreuzungswinkels von 56,7 gon.

Die Potenziale des Baustoffs Spannbeton ließen sich im durchgeführten Bewertungsvergleich nicht genauer verifizieren, da sowohl die Bestandsbrücke V0 als auch die Varianten V1 und V2 unter Verwendung eines Spannbetonüberbaus ausgeführt bzw. geplant sind. Grundsätzlich lässt sich aber bestätigen, dass in den Hauptkriteriengruppen 1 und 2 die Bewertungsergebnisse, und damit die Ausschöpfung der Potenziale, stark von den involvierten Stoffmassen und deren zugrunde gelegten Datensätzen der Ökobau.dat sowie den angesetzten Marktpreisen abhängen. Insofern ist das Potenzial

jedes Baustoffs hinsichtlich der ökologischen und ökonomischen Wirkung veränderlich. Bei der ökonomischen Wirkung sind dabei aufgrund der unterschiedlichen Entwicklung und Schwankung der Rohstoffpreise stärkere Veränderungen zu erwarten als bei den ökologischen Wirkungen. Veränderungen bei den ökologischen Wirkungen sind zum einen durch Weiterentwicklung der Herstelltechnologien und einer damit verbundenen Veränderung der tatsächlich auftretenden Umweltwirkungen möglich. Zum anderen ist dies durch eine genauere Berechnung bzw. Erfassung in den Datensätzen der Ökobau.dat (z. B. Verringerung des Sicherheitszuschlags bei generischen Datensätzen durch Erhöhung von Vollständigkeit und Repräsentativität) realisierbar.

Abschließend ist zu betonen, dass sämtliche Potenziale einzelner Baustoffe, Bauprozesse und Konstruktionsweisen immer von dem Bewertungssystem abhängig sind, mit dem jeweils die Nachhaltigkeit bewertet wird. Insbesondere werden sie durch die zugrunde gelegten Bezugsgrößen, die Gewichtung der Kriteriengruppen untereinander sowie die Auswahl der Kriterien und der zu berücksichtigenden Indikatoren beeinflusst.

8 Zusammenfassung

8.1 Subsystem Brücke

Für Brückenbauwerke ergeben sich die meisten quantifizierbaren Potenziale im Bereich der ökobilanziellen Umweltwirkungen und Ressourceninanspruchnahme sowie der Lebenszykluskosten. Diese Potenziale sind geprägt von Art und Menge der verwendeten Baustoffe und -produkte. Da durch die Wahl der Konstruktionsweise jedoch bereits gewisse Vorgaben hinsichtlich der verwendbaren Baustoffe gesetzt werden, teilen sich diese Potenziale auf die Untersuchungsschwerpunkte „Konstruktionsweise“ und „Baustoffe“ auf. Einerseits werden die Potenziale dabei direkt durch die Wahl der jeweiligen Konstruktionsweise und der Baustoffe beeinflusst. Andererseits sind die beschriebenen Potenziale von der verwendeten Datengrundlage abhängig. Für Umweltwirkungen und Ressourceninanspruchnahme sind das die in der Ökobau.dat hinterlegten Datensätze, die je nach Baustoff bzw. -produkt in unterschiedlicher Detaillierungstiefe vorliegen. Seitens der „Ökonomischen Qualität“ sind die Herstellkosten durch schwanken-

de Rohstoffpreise, die Konjunkturrentwicklung und Wettbewerbsinteressen der Anbieter beeinflusst. Die festgestellten Potenziale sind also zeitlich und regional durchaus veränderlich.

Grundsätzlich steigen die Potenziale je größer der Gestaltungsspielraum für eine Brücke ist. Für die Brücken des Typs 1 wurden als praxisrelevante Varianten nur die Alternativen „Stahlbetonrahmen“ und „elastisch gebettetes Wellstahlrohr“ untersucht. Für die Wahl der Baustoffe ergaben sich hier keine Potenziale, da die Baustoffe jeweils bereits durch die gewählte Konstruktion festgelegt sind. Für die Brücken des Typs 2 und 3 gibt es eine größere Anzahl praxisüblicher Ausführungsvarianten, die sich hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte unterscheiden. Somit spannt sich ein weiteres Feld unterschiedlicher ökologischer und ökonomischer Wirkungen auf, was in einem höheren quantifizierbaren Potenzial resultiert. Für die Brücken des Typs 4 gibt es ebenfalls viele denkbare Ausführungsvarianten, da hier auch zunehmend architektonische und gestalterische Interessen den Entwurf und die Materialwahl beeinflussen. Damit ist hier die Spanne möglicher Ergebnisse, und damit das Potenzial bezüglich der Konstruktionsweise und der Baustoffe noch größer. Die Höhe des quantifizierten Potenzials sagt jedoch nichts über die tatsächlich realisierbare Nachhaltigkeitsqualität der Bauwerke aus. Ein hohes Potenzial deutet lediglich darauf hin, dass es wichtig und lohnenswert ist, hier zur Optimierung der Nachhaltigkeit genauer hinzuschauen.

Weitere Potenziale stellen sich in der „Soziokulturell-funktionalen Qualität“ und der „Technischen Qualität“ dar. Dabei handelt es sich größtenteils um Vorteile die sich ergeben, wenn keine Übergangskonstruktionen und keine Lager verwendet werden. Hier zeichnet sich die integrale Konstruktionsweise als grundsätzlich vorteilhaft aus. Den Übergangskonstruktionen kommt dabei eine besondere Schlüsselrolle zu, da sie sowohl die Lärmemission als auch den Fahrkomfort negativ beeinflussen und einer regelmäßigen Wartung und Erneuerung bedürfen.

Für den Untersuchungsschwerpunkt „Bauprozess“ lassen sich nur wenige Potenziale quantifizieren. Hauptsächlich liegt das daran, dass im Bewertungssystem für Brücken (Stand 2010) der Bauprozess in der Ökobilanz über pauschale Faktoren erfasst wird. Die Umweltwirkungen lassen sich also nicht in quantifizierter Form dem Untersuchungs-

schwerpunkt „Bauprozess“ zuordnen, da sie an die Art und Menge der Baustoffe gekoppelt sind. Ebenso lassen sich aus Angebots- oder Abrechnungsunterlagen die auf den eigentlichen Bauprozess entfallenden Kosten im Nachhinein in der Regel nicht transparent extrahieren. Insofern können auch hinsichtlich der „Ökonomischen Qualität“ keine Potenziale quantifiziert werden. Die Potenziale, die sich hinsichtlich des Untersuchungsschwerpunktes „Bauprozess“ quantifizieren lassen, sind hauptsächlich der Anwendung eines besonders optimierten und schonenden (z. B. lärmarmen) Bauprozesses zuzuschreiben.

Neben den quantifizierbaren Potenzialen bestehen noch einige nicht quantifizierbare Potenziale. Diese Potenziale beruhen in der Regel auf bewussten planerischen Entscheidungen, wie z. B. das Vorhalten von Tragreserven oder die Wahl besonders langlebiger und hochwertiger Komponenten der Brückenausrüstung. Alle diese Potenziale stehen in Wechselwirkung mit den durch die Maßnahmen verursachten Umweltwirkungen, Ressourceninanspruchnahmen und Mehrkosten. Ob eine Maßnahme insgesamt zur Steigerung der Nachhaltigkeit beiträgt, muss also im Einzelfall unter den individuellen Randbedingungen untersucht werden.

8.2 Subsystem Strecke

Bei der Planung von Strecken bestehen eine Vielzahl von möglichen Maßnahmen zur Ausgestaltung dieser. Daher ist es nicht zielführend alle Gestaltungskombinationen auf deren Nachhaltigkeitsqualität zu untersuchen. Vielmehr sind einzelne Module einer Strecke auf deren nachhaltige Lösung zu bewerten. Diese Module können in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten zusammengestellt werden und ergeben für den Planer einen Maßnahmenkatalog zur nachhaltigen Streckengestaltung. Der Maßnahmenkatalog ist bei Neubauten, wie bei Sanierungsmaßnahmen anwendbar.

Die Analyse der Nachhaltigkeitspotenziale wurde in die Bereiche Konstruktion/Ausstattung, Baustoffe und Bauprozesse unterteilt. Die Potenzialanalyse hat dabei gezeigt, dass insbesondere in der „Ökologischen Qualität“ und der „Ökonomischen Qualität“ Optimierungsmöglichkeiten bestehen. Geringe Möglichkeiten bestehen in der „Technischen Qualität“ (z. B. Dauerhaftigkeit, Rückbaubarkeit) und der „Soziokulturellen-funktionalen Qualität“ (z. B. Lärm-schutz, Nutzungskomfort). Die Ergebnisse der

Analysen wurden in Modulkarten zusammengefasst und im Entwurf des Leitfadens dargestellt.

8.3 Subsystem Tunnel

Für die Bauwerkskategorie Tunnel wurden die Möglichkeiten der Beeinflussung der Nachhaltigkeit durch die Baustoffwahl, die Konstruktionsweise sowie die Bauprozesse untersucht. Die Analyse hat gezeigt, dass bei der Gestaltung eines Tunnels nur geringe Freiheitsgrade bestehen und daher auch die Einflussmöglichkeit auf die Nachhaltigkeitsqualität im Vergleich zu den Bauwerkskategorien Brücke und Strecke geringer ist. Dies begründet sich aus den technischen Randbedingungen, die bei der Gestaltung eines Tunnels zu beachten sind. Die Wahl der Konstruktion eines Tunnels wird durch die Geologie des zu durchdringenden Erdreichs sowie die Überdeckung des Tunnelbauwerkes maßgeblich geprägt. Die Konstruktion eines Tunnels wiederum erfordert zwingend den Einsatz definierter Baustoffe und Bauprozesse.

Trotz dieser Einschränkungen wurden Optimierungspotenziale für die Nachhaltigkeit bei Tunnelbauwerken identifiziert. Die größten Potenziale wurden bei der „Ökonomischen Qualität“ sowie der „Ökologischen Qualität“ und „Soziokulturellen-funktionalen Qualität“ ermittelt. Durch z. B. die Veränderung des Tunnelquerschnitts können Umweltwirkungen und externe Kosten reduziert werden.

Eine Verallgemeinerung von bestimmten zu bevorzugenden Konstruktionsweisen, Baustoffen oder Bauprozessen ist für Tunnel nicht möglich. Für die jeweilige Bauaufgabe ist projektbezogen zu untersuchen, welche Planungsalternativen möglich sind und welche Nachhaltigkeitsqualität mit der jeweiligen Maßnahme verbunden ist.

9 Empfehlungen

9.1 Subsystem Brücke

Im Rahmen der Untersuchungen zur Potenzialermittlung (Kapitel 4) wurde festgestellt, dass integrale Spannbetonbrücken mit Plattenbalkenquerschnitt für Bauwerke des Brückentyps 2 und 3 eine besonders nachhaltige Lösung darstellen. Diese Feststellung kann jedoch nur bedingt verallgemeinert werden. Im Praxisbeispiel in Kapitel 7 hat sich beispielsweise gezeigt, dass die Vorteile der inte-

gralen Rahmenbauweise weitestgehend verloren gehen, wenn aufgrund der Länge des Bauwerks Schleppplatten mit Übergangskonstruktionen nach Übe 1 RIZ-ING [BAST (Hrsg.) (2013)] erforderlich werden. Auch die Verwendung von Spannbeton und die Querschnittsform des Plattenbalkens sind nicht unter allen Randbedingungen optimal.

Grundsätzlich lässt sich jedoch auf jeden Fall festhalten, dass Bauwerke, bei denen auf Lager und Übergangskonstruktionen verzichtet werden kann, Vorteile hinsichtlich der Nachhaltigkeitsqualität aufweisen. Für kleine und mittlere Brückenbauwerke kann die integrale Bauweise daher im Allgemeinen empfohlen werden. Mit zunehmender Bauwerksgröße ist aber im Einzelfall immer zu prüfen, ob die auftretenden Verformungen und Zwangsschnittgrößen ohne Übergangskonstruktionen (bzw. ohne Schleppplatten) und mit vertretbarem Konstruktions- und Materialaufwand gehandhabt werden können. Grundsätzlich sind einfache Konstruktionen mit übersichtlichem, am Bauwerk nachvollziehbarem Kraftfluss und einfachem statischen System zu bevorzugen, auch wenn dadurch ggf. nicht immer die geringsten Bauwerksabmessungen erreicht werden können.

Grundsätzlich sollte aus Sicht der Nachhaltigkeit der Materialeinsatz so gering wie möglich gehalten werden, um Umweltwirkungen, Ressourcenanspruchnahme und Kosten gering zu halten. Das bedeutet, dass der Materialeinsatz auf das aus statisch-konstruktiver Hinsicht erforderliche Minimum reduziert werden sollte. Diese Forderung steht im Gegensatz zu einer anspruchsvollen Gestaltung und zum Vorhalten von Tragreserven. Hier muss also im Einzelfall unter Berücksichtigung aller Interessen und der vorliegenden Randbedingungen abgewogen und entschieden werden. Ausschlaggebend für die Nachhaltigkeitsqualität ist der bei der Nachhaltigkeitsbewertung erreichte Gesamterfüllungsgrad. Bei der Minimierung des Materialeinsatzes darf allerdings die technische Leistungsfähigkeit nicht beeinträchtigt werden.

Hinsichtlich der Lager, der Übergangskonstruktionen und der sonstigen Brückenausrüstung sind im Allgemeinen langlebige, wartungsarme Lösungen zu bevorzugen. Bei stark ausgelastetem Verkehr verursachen Bauarbeiten im Zuge der Bauwerkserhaltung oft erhebliche externe Kosten und Mehrmissionen, sodass es hier besonders wichtig ist, die Anzahl und die Gesamtzeit der baubedingten Verkehrsbeeinträchtigungen zu minimieren. Bei

geringer ausgelasteten Verkehrswegen haben die externen Kosten und Mehremissionen für baubedingten Verkehrsbeeinträchtigungen oft kaum eine Auswirkung auf den Gesamterfüllungsgrad, sodass hier Lösungen, die häufiger ausgetauscht werden müssen, sinnvolle Alternativen darstellen können. Letztlich muss immer im Einzelfall geprüft werden, ob der jeweilige Mehraufwand für besonders langlebige und wartungsarme Komponenten gerechtfertigt ist, oder ob es aus Sicht der Nachhaltigkeit besser ist, einfachere Komponenten zu verwenden, die im Laufe des Lebenszyklus dafür öfter ausgetauscht werden.

Darüber hinaus kann sich eine Vielzahl von planerischen Einzelentscheidungen in verschiedenen Kriterien positiv auf die Nachhaltigkeitsbewertung auswirken. Ob diese Maßnahmen insgesamt zu einer Steigerung der Nachhaltigkeitsqualität des Gesamtbauwerks beitragen, kann aufgrund der Wechselwirkungen zu anderen Kriterien wiederum nur über eine Betrachtung des Gesamterfüllungsgrades beurteilt werden. Häufig bestehen Wechselwirkungen zu Umweltwirkungen, Ressourceninanspruchnahme und Lebenszykluskosten, pauschale Empfehlungen können daher nicht gegeben werden. Es muss immer geprüft werden ob eine Einzelmaßnahme unter den gegebenen Randbedingungen grundsätzlich sinnvoll erscheint und ob sich die Maßnahme unter Berücksichtigung aller Wechselwirkungen positiv auf den Gesamterfüllungsgrad auswirkt.

9.2 Subsystem Strecke

Eine Strecke setzt sich aus vielen Einzelbausteinen zusammen. Diese lassen sich jeweils einzeln unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten bewerten und optimieren. Im Leitfaden werden die jeweiligen Nachhaltigkeitspotenziale der einzelnen Bausteine dargestellt. Die Planer können damit in vereinfachter Weise die optimale Lösung unter Beachtung der örtlichen Randbedingungen finden. Hierzu sollten die einzelnen Modulkarten im Leitfaden durch den Planer auf Anwendung im Projekt überprüft werden. Die Anwendung ist sowohl in Neubau als auch bei Baumaßnahmen im Bestand möglich.

9.3 Subsystem Tunnel

Die Konstruktion und Bauweise eines Tunnels wird wesentlich durch die technischen Randbedingun-

gen und örtlichen Gegebenheiten vorgegeben. Daher bestehen nur geringe Freiheitsgrade bei der nachhaltigen Optimierung von Tunnelbauwerken. Von hoher Bedeutung für die Nachhaltigkeitsqualität eines Tunnelbauwerkes ist der Straßenquerschnitt des Bauwerkes. Durch die Planung eines Querschnitts aus Fahrstreifen plus Standstreifen können im Lebenszyklus positive Wirkungen bei den Umweltwirkungen als auch bei den volkswirtschaftlichen Kosten erzielt werden. In Folge von baubedingten Verkehrsbeeinträchtigungen können sowohl Mehremissionen an klimaschädlichen Abgasen als auch externe Kosten bei einer Gestaltung eines Querschnittes mit Standstreifen vermindert werden.

Zur Steigerung der Nachhaltigkeitsqualität einer Tunnelbaumaßnahme sollte jeweils Projektbezogen untersucht werden, welche Alternativen zur Verfügung stehen und wie sich diese auf die ökologische, ökonomische, soziokulturelle und technische Qualität auswirken. Hierbei sind die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Wirkungsrichtungen zu beachten.

10 Fazit

In dem vorliegenden Forschungsbericht wurde analysiert, welchen Einfluss Baustoffe, Bauprozesse und Konstruktionsweisen auf die Nachhaltigkeit von Brücken, Strecken und Tunnel haben. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass in allen Nachhaltigkeitskategorien (Ökologie, Ökonomie, Soziokulturell-funktional, Technik, Prozess) Verbesserungsmöglichkeiten durch die Wahl der Baustoffe, Konstruktionsweise oder den Bauprozess bestehen. Die Analysen haben aber auch gezeigt, dass die Freiheitsgrade der Beeinflussung unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Bei den Strecken kann durch die Einteilung in Module eine große Bandbreite von möglichen Lösungen untersucht und bewertet werden. Bei den Tunnelbauwerken hingegen sind nur wenige Variationen möglich, da durch die äußeren Randbedingungen (z. B. Geologie, Überdeckung) vielen Ausführungslösungen vorgegeben sind. Für alle drei untersuchten Bauwerkstypen lässt sich festhalten, dass es keine allgemeingültige Lösung für das nachhaltige Bauen gibt. Es ist jeweils standort- und projektbezogen zu untersuchen, welche Lösung die Optimale ist und welche Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Kriterien der Nachhaltigkeit bestehen.

Mit dem Leitfadens für das Nachhaltige Bauen von Straßeninfrastruktur ist ein Dokument entstanden, das Empfehlungen für die Untersuchung der Nachhaltigkeit gibt. Die darin beschriebenen Maßnahmen geben dem Fachplaner Hinweise, welche Möglichkeiten der Nachhaltigkeitsoptimierung bestehen und welche Nachhaltigkeitsqualität durch die jeweilige Maßnahme beeinflusst werden. Der Leitfaden leistet damit einen wertvollen Beitrag zur lösungsorientierten Nachhaltigkeitsbeurteilung und -optimierung bei Infrastrukturbauwerken.

11 Leitfaden

Im Projekt „Konzepte“ (FE 09.0162/2011/LRB) wurde bereits die Gliederung eines Leitfadens „Nachhaltige Straßeninfrastruktur“ vorgeschlagen. Aufbauend auf dieser Gliederung und den Erkenntnissen des laufenden Projektes wurde ein Entwurf für einen derartigen Leitfaden erarbeitet. Der Entwurf des Leitfadens ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter: <http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar. Beim derzeitigen Arbeitsstand des Entwurfes sind noch nicht alle Gliederungspunkte mit Inhalt gefüllt. Hauptsächlich wurden Inhalte für die Gliederungspunkte B2 Straßenentwurf und B3 Planung der Ingenieurbauwerke (für Brücke und Tunnel) erarbeitet.

12 Literatur

ASTRA (Hrsg.) (2003): NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte. Bern 2003

BAST (Hrsg.) (2007): Richtlinie für Bergwasserdränagesysteme von Straßentunneln, Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Bergisch Gladbach 2007

BAST (Hrsg.) (2010): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten – ZTV-ING Teil 8: Bauwerksausstattung Abschnitt 1 Fahrbahnübergänge aus Stahl und aus Elastomer. Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Bergisch Gladbach 2010

BAST (Hrsg.) (2011): Projektberichte Verbundprojekt „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen – SKRIBT“, Bundesanstalt für

Straßenwesen (BAST – Konsortialführer), Bergisch Gladbach, 2011, unveröffentlicht

BAST (Hrsg.) (2012): Richtzeichnungen für Ingenieurbauten – RIZ-ING, Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Bergisch Gladbach 2012

BAST (Hrsg.) (2013): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Teil 5: Tunnelbau, Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), 2013

BImSchG (2013): Bundes-Immissionsschutzgesetz, Stand 07.10.2013

BImSchV 16 (1990/2006): Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) – Verkehrslärmschutzverordnung vom 12. Juni 1990 (BGBl. I S. 1036), die durch Artikel 3 des Gesetzes vom 19. September 2006 (BGBl. I S. 2146) geändert worden ist

BMVBS (Hrsg.) (2010): FE 15.0494/2010/FRB „Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke in Hinblick auf Nachhaltigkeit“. Schlussbericht. Berlin 2010

BMVBS (Hrsg.) (2011a): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Berlin 2011

BMVBS (Hrsg.) (2011b): Informationsportal Nachhaltiges Bauen. Online im Internet: <http://www.nachhaltigesbauen.de/oekobaodat/>. Stand: 12. 11.2011, Abruf: 11.12.2012, 15.04 Uhr

BMVBS (Hrsg.) (2011c): Richtlinie für den Entwurf und die Ausbildung von Ingenieurbauten RE-ING, Teil XX Ingenieurbau, Abschnitt XX Integrale Bauwerke, Entwurf vom 15.04.2011

BMVBS (Hrsg.) (2012a): FE 09.0162/2011/LRB „Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur“ Endbericht (unveröffentlicht). Berlin 2012

BMVBS (Hrsg.) (2012b): FE 09.0163/2011/LRB „Verfahren zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Ausschreibung von Elementen der Straßeninfrastruktur“. Zwischenbericht, Berlin 2012

BMVBS (Hrsg.) (2013): FE 09.0164/2011/LRB „Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der

- Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel“. Entwurf Schlussbericht (unveröffentlicht). Berlin 2013
- CARLOWITZ, H. C. (1713): Anweisung zur Wilden Baum-Zucht. Online im Internet. <http://umwelt.hs-pforzheim.de/sonstiges/historisches/carlowitz-titel-inhalt/>. Stand: o. S., Abruf: 22.06.2012, 0.49 Uhr
- Deutscher Bundestag (Hrsg.) (1995): Schlussbericht der Enquete-Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt. Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung. Berlin 1995
- DIN 18005: 2002: Schallschutz im Städtebau – Teil 1: Grundlagen und Hinweise für die Planung
- Entwurf ISO/FDIS 21929-2: Sustainability in buildings and civil engineering works – Sustainability indicators. Part 2: Framework for the development of indicators for civil engineering works
- FGSV (Hrsg.) (1990/1992): Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90) Ausgabe 1990, berichtigte Fassung 1992. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 1990/1992
- FGSV (Hrsg.) (1991): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Entwässerungseinrichtungen im Straßenbau – ZTV Ew-StB 91. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 1991
- FGSV (Hrsg.) (1998): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen – ZTV PS 98. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 1998
- FGSV (Hrsg.) (1999): Merkblatt für den Unterhaltungs- und Betriebsdienst an Straßen: Teil Reinigung an Straßen außerhalb von Ortsdurchfahrten. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 1999
- FGSV (Hrsg.) (2002): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen- Betonbauweisen – ZTV BEB-StB 09. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2002
- FGSV (Hrsg.) (2004a): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau – ZTV SoB-StB 04. Fassung 2007 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2004
- FGSV (Hrsg.) (2004b): Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau – TL SoB-StB 04. Fassung 2007. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2004
- FGSV (Hrsg.) (2006): Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln RABT, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2006
- FGSV (Hrsg.) (2007a): Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen – TL Asphalt-StB 07 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2007
- FGSV (Hrsg.) (2007b): Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton – TL Beton-StB 07. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2007
- FGSV (Hrsg.) (2007c): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächen aus Asphalt – ZTV Asphalt-StB 07. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2007
- FGSV (Hrsg.) (2007d): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton – ZTV Beton-StB 07. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2007
- FGSV (Hrsg.) (2008a): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen – RAA 08. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2008
- FGSV(Hrsg.) (2008b): Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2008

- FGSV (Hrsg.) (2009a): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Asphaltbauweisen – ZTV BEA-StB 09. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2009
- FGSV (Hrsg.) (2009b): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau – ZTV E-StB 09. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2009
- FGSV (Hrsg.) (2009c): Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme – RPS 09. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2009
- FGSV (Hrsg.) (2009d): Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht – RDO Asphalt 09. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2009
- FGSV (Hrsg.) (2009e): Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen – RDO Beton 09. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2009
- FGSV (Hrsg.) (2010a): Merkblatt für die Anwendung von Vliesstoffen unter Fahrbahndecken aus Beton. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Heft 416, Köln 2010
- FGSV (Hrsg.) (2010b): Merkblatt für den Straßenwinterdienst. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Heft 416, Köln 2010
- FGSV (Hrsg.) (2012): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen – RStO 12. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), Köln 2012
- HAUFF, V. (Hrsg.) (1987): Unsere gemeinsame Zukunft – Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Eggenkamp. Greven, 1987
- ISO 21929-1:2011: Sustainability in buildings and civil engineering works – Sustainability indicators. Part 1: Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings
- ISO 21931-1: 2010: Sustainability in building construction – Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works – Part 1: Building
- KrWG (2012): Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das durch § 44 Absatz 4 des Gesetzes vom 22. Mai 2013 (BGBl. I S. 1324) geändert worden ist
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (Hrsg.) (2012): Nationale Nachhaltigkeitsstrategie – Fortschrittsbericht 2012. Berlin 2012
- SOLIT² Forschungskonsortium (Hrsg.) (2012): Wissenschaftlicher Abschlussbericht zur SOLIT² Forschungsvorhaben, Förderkennzeichen BMVBS 1959008, Köln 2012
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2012): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2012. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2012
- University of Washington (Hrsg.) (2011): GreenroadsTM Abridgen Manual v1.5. Washington 2011

Anhang

Anlage 1: Excel-Matrix zu AP1

Tabelle A1.1: Sensitivitätsanalyse AP1 – Einfluss der Untersuchungsschwerpunkte

Kriterium Nr.	Unter- punkt	Bezeichnung	Brücke			Tunnel			Strecke		
			Bau- stoffe	Bau- prozess	Konstru- tions- weise	Bau- stoffe	Bau- prozess	Konstru- tions- weise	Bau- stoffe	Bau- prozess	Konstru- tions- weise
1.		ökologische Qualität									
1.1		Treibhauspotenzial (GWP)	ja	unklar	indirekt	ja	ja	indirekt	ja	ja	indirekt
1.2		Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	ja	unklar	indirekt	ja	ja	indirekt	ja	ja	indirekt
1.3		Ozonbildungspotenzial (POCP)	ja	unklar	indirekt	ja	ja	indirekt	ja	ja	indirekt
1.4		Versauerungspotenzial (AP)	ja	unklar	indirekt	ja	ja	indirekt	ja	ja	indirekt
1.5		Überdüngungspotenzial (EP)	ja	unklar	indirekt	ja	ja	indirekt	ja	ja	indirekt
1.6											
1.6a		Risiken für die lokale Umwelt Teil A: Fauna und Flora									
	1. a)	1. a) Sukzessionslenkung: Behinderung von Wildwechsel während der Herstellung	nein	ja	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein
	1. b)	1. b) Sukzessionslenkung: Behinderung von Wildwechsel während der Nutzung	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja
	2. a)	2. a) Lärmbeeinträchtigung der Fauna während der Herstellung	ja	ja	ja	nein	ja	indirekt	nein	ja	ja
	2. b)	2. b) Lärmbeeinträchtigung der Fauna während der Nutzung	ja	nein	ja	ja	nein	indirekt	unklar	nein	ja
1.6b		Risiken für die lokale Umwelt Teil B: Boden, Wasser und Luft									
	1.	1. Grundwasser (Kluftwasser)	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	2.	2. Erschütterungen:	indirekt	ja	ja	nein	ja	indirekt	indirekt	ja	indirekt
	3.	3. Bodenaushub, Erdbewegungen: größere Mengen an Bodenbewegungen	nein	ja	ja	nein	ja	ja	indirekt	ja	ja
	4.	4. Bauverfahrens- oder nutzungsbedingte Risiken zur Verunreinigungen der lokalen	ja	ja	ja	ja	ja	ja	indirekt	ja	indirekt
	5. a)	5. a) Naturschutz-/Wasserschutzgebiete: Beeinträchtigungen (= Nr. 4 bei Tunnel)	unklar	ja	ja	unklar	ja	ja	ja	ja	ja
	5. b)	5. b) Naturschutz-/Wasserschutzgebiete: Ausgleichsmaßnahmen (= Nr. 4 bei Tunnel)	nein	nein	nein	nein	unklar	nein	nein	nein	nein
	6.	6. Umwelteinwirkungen durch Staubeentwicklung während der Herstellung (= Nr. 5 bei Tunnel)	ja	ja	nein	ja	ja	indirekt	ja	ja	indirekt
	7.	7. Kleinklima: Beeinflussung des Kleinklimas im Bereich des Verkehrsweges	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	ja	ja
	8.	8. Behinderung des Hochwasserabflusses (Brückenspezifisch)	nein	nein	ja			für Tunnel nicht relevant	nein	nein	ja
	9. a)	9. a) Abwasseraufkommen: Abwässer während der Bauphase	nein	ja	nein	nein	ja	indirekt			für Straße nicht relevant
	9. b)	9. a) Abwasseraufkommen: "Regenwassermanagement"	nein	nein	ja			für Tunnel nicht relevant			für Straße nicht relevant
	10.	10. Lokalisierter Ausstoß von Abgasen: Tunnellüftung (= Nr. 6 bei Tunnel)			für Brücken nicht relevant	nein	ja	ja			für Straße nicht relevant
	11.	11. Taumittelsprühanlage	nein	nein	unklar			für Tunnel nicht relevant	nein	nein	unklar
1.7		Sonstige Wirkungen auf die lokale Umwelt			Kriterium entfällt			Kriterium entfällt			Kriterium entfällt
1.8a		Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung (MBV)	nein	nein	unklar	nein	ja	unklar	nein	ja	unklar
1.8b		Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge Linienführung			relevant in Modul 1 "Linienbestimmung"			relevant in Modul 1 "Linienbestimmung"	nein	nein	nein
1.9		Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PEne)	ja	unklar	indirekt	ja	ja	indirekt	ja	ja	indirekt
1.10		Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie (PEe)	ja	unklar	indirekt	ja	ja	indirekt	ja	ja	indirekt
1.11		Wasserbedarf (war für Brücken zurückgestellt und enthielt unrsprünglich noch den Aspekt "Abwasseraufkommen")	nein	unklar	nein	nein	unklar	nein	nein	nein	nein

Tabelle A1.1: Fortsetzung

Kriterium	Nr. Unter- punkt Bezeichnung		Brücke			Tunnel			Strecke			
			Bau- stoffe	Bau- prozess	Konstruk- tions- weise	Bau- stoffe	Bau- prozess	Konstruk- tions- weise	Bau- stoffe	Bau- prozess	Konstruk- tions- weise	
1.12	1.	Flächeninanspruchnahme										
		1. Flächeninanspruchnahme während des Baus (war für Brücken zurückgestellt)	nein	ja	indirekt	nein	ja	indirekt	nein	ja	ja	
1.13	2.	2. Aspekte für die Flächeninanspruchnahme für das fertiggestellte Bauwerk (war für Brücken zurückgestellt)	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein	nein	ja	
		Abfall	nein	ja	nein	nein	ja	nein	ja	nein	nein	
1.14	1.a)	Abfall und Kreislaufwirtschaft freier Indikator	nicht belegt			nicht belegt			nicht belegt			
	1.b)	Abraum und Erzaufbereitungsrückstände	nein	ja	nein	nein	ja	nein	ja	nein	nein	
	1.c)	Hausmüll und Gewerbeabfälle	nein	ja	nein	nein	ja	nein	ja	nein	nein	
	1.d)	Sonderabfälle	nein	ja	nein	nein	ja	nein	ja	nein	nein	
	2.	Asbruchmaterial (bei Tunnel)	für Brücken nicht relevant			nein	ja	indirekt	für Straße nicht relevant			
1.14		Ressourcenschonung (neu)	ja	nein	ja	ja	nein	unklar	ja	nein	ja	
	1.	Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP)	ja	nein	ja	ja	nein	unklar	ja	nein	ja	
	2.	freier Indikator Ressourcenschonung	nicht belegt			nicht belegt			nicht belegt			
2.		ökonomische Qualität										
2.1		Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
2.2		Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	nein	nein	unklar	nein	ja	ja	nein	ja	ja	
2.3		Externe Kosten infolge streckenbedingter Verkehrsbeeinträchtigung (neu)	relevant in Modul 1 "Linienbestimmung"			relevant in Modul 1 "Linienbestimmung"			nein	nein	nein	
3.		soziale/funktionale Qualität										
3.1												
3.1a	1.	Mensch, einschließlich Gesundheit, insbesondere Lärm										
		1. Lärmbeeinträchtigung von Menschen während der Herstellung	ja	ja	ja	nein	ja	indirekt	nein	ja	nein	
		2. Lärmbeeinträchtigung von Menschen während der Nutzung				nein	nein	unklar	unklar	nein	ja	
		a)	1.1.1 Mindestanforderungen	nein	nein	ja	nein	nein	unklar	nein	nein	nein
		b)	1.1.2 Übererfüllung der „Mindestabstände“, wenn keine Lärmschutzmaßnahmen ausgeführt worden sind.	nein	nein	ja	→ für Tunnel nicht relevant			→ für Straße nicht relevant		
		c)	1.2.1 Mindestanforderungen „Schallgrenzwerte“, wenn Lärmschutzmaßnahmen ausgeführt worden	ja	nein	ja	→ für Tunnel nicht relevant			→ für Straße nicht relevant		
		d)	1.2.2 Unterschreitung des Lärmpegels, wenn Lärmschutzmaßnahmen ausgeführt worden	ja	nein	ja	→ für Tunnel nicht relevant			→ für Straße nicht relevant		
		e)	2.1.1 Hohlräume	ja	nein	ja	→ für Tunnel nicht relevant			→ für Straße nicht relevant		
		f)	2.1.2 Ebenheit der Fahrbahn der primären Verkehrsstrecke (Quer)	nein	unklar	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
		g)	2.1.3 Ebenheit der Fahrbahn der primären Verkehrsstrecke (Längs)	nein	unklar	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
		h)	2.2.1 Anzahl der Übergangskonstruktionen auf der primären Verkehrsstrecke	nein	nein	ja	für Tunnel nicht relevant			für Straße nicht relevant		
		i)	2.2.2 Art der Übergangskonstruktion auf der primären Verkehrsstrecke	nein	nein	ja	für Tunnel nicht relevant			für Straße nicht relevant		
		j)	2.2.3 Lage der Übergangskonstruktion auf der primären Verkehrsstrecke	nein	nein	ja	für Tunnel nicht relevant			für Straße nicht relevant		
		k)	2.2.4 Anschluss Fahrbahnbelag der primären Verkehrsstrecke	nein	nein	ja	für Tunnel nicht relevant			für Straße nicht relevant		
		l)	2.2.5 Schallabstrahlung nach unten	unklar	nein	unklar	für Tunnel nicht relevant			für Straße nicht relevant		
		m)	2.3.1 Prognostizierte Entwicklung der Verkehrsbelastung	nein	nein	nein	für Tunnel nicht relevant			für Straße nicht relevant		
		3.1b		3. Weitere Beeinträchtigung von Menschen	unklar	unklar	unklar	unklar	unklar	unklar		
	Landschaft		ja	nein	ja	nein	nein	ja	nein	nein	nein	
	Kulturgüter und sonstige Sachgüter		ja	ja	ja	nein	nein	ja	nein	nein	nein	
3.2		Komfort										
3.2	1.	1. Trassierung				nein	nein	nein	nein	nein	nein	
		a) Trassierung: Kurvigkeit (gon/km) (bei Strecke)	nein	nein	unklar							

Tabelle A1.1: Fortsetzung

Kriterium				Brücke			Tunnel			Strecke		
	Nr.	Unterpunkt	Bezeichnung	Bau-stoffe	Bau-prozess	Konstruktions-weise	Bau-stoffe	Bau-prozess	Konstruktions-weise	Bau-stoffe	Bau-prozess	Konstruktions-weise
	b)		Trassierung: Anteil der Steigungsstrecken (> 4 % /km) (bei Strecke)	nein	nein	unklar						
	c)		Trassierung: Erwartete Qualität des Verkehrsablaufes (bei Strecke)	nein	nein	unklar						
	2.1		2.1 Fahrbahnbeschaffenheit							ja	ja	ja
	a)		Fahrbahnbeschaffenheit: Griffigkeit/Textur	ja	ja	nein	ja	ja	nein			
	b)		Fahrbahnbeschaffenheit: Helligkeit	ja	ja	nein	ja	nein	nein			
	c)		Fahrbahnbeschaffenheit: Ebenheit der Fahrbahn der primären Verkehrsstrecke (quer)	nein	ja	nein	nein	nein	nein			
	d)		Fahrbahnbeschaffenheit: Ebenheit der Fahrbahn der primären Verkehrsstrecke	nein	ja	nein	nein	nein	nein			
	2.2		2.2 Übergangskonstruktionen (nur bei Brücke)							für Tunnel nicht relevant für Straße nicht relevant		
	a)		1.3 Anzahl der Übergangskonstruktionen auf der primären Verkehrsstrecke (nur bei Strecke)	nein	nein	ja						
	b)		1.4 Art der Übergangskonstruktion (UKO) der primären Verkehrsstrecke (nur bei Brücke)	nein	nein	ja						
	c)		1.5 Anschluss Fahrbahnbelag der primären Verkehrsstrecke (nur bei Brücke)	nein	nein	ja						
	3.		3. Optische Führung							ja	nein	ja
	a)		Optische Empfindung des vorhandenen Verkehrsraums (von Tunnel)	ja	ja	ja	ja	nein	unklar			
	b)		Subjektives Sicherheitsgefühl (von Tunnel)	nein	nein	ja	nein	nein	ja			
	c)		Markierungen (von Strecke)	ja	nein	ja	für Tunnel nicht relevant					
	d)		Leiteinrichtungen (von Strecke)	nein	nein	ja	für Tunnel nicht relevant					
	e)		Nachtsichtbarkeit (von Strecke)	ja	nein	ja	für Tunnel nicht relevant					
	f)		Fahrbahn- und Tunnelbeleuchtung (war 2.3 bei Brücken)	nein	nein	nein	ja	nein	unklar			
	4.1		4a) Straßenausstattung: Blendschutz							nein	nein	ja
	a)		2.1 Blendung durch entgegenkommenden Verkehr	nein	nein	ja	nein	nein	unklar			
	b)		2.4 (außerorts) Blendung der Reflexion der Scheinwerfer durch transparenten Lärmschutzwände (LSW)	nein	nein	unklar	=> für Tunnel nicht relevant					
	c)		2.5 (innerorts) Blendfreiheit der anliegenden Bebauung	ja	nein	ja	für Tunnel nicht relevant					
	4.2		4b) Straßenausstattung: Gestaltung der Randbereiche/Lärmschutzwände							ja	nein	ja
	a)		2.5 (außerorts) Einsatz von transparenten Lärmschutzwandelementen	nein	nein	unklar						
	b)		4.1 (außerorts) Farbgestaltung der Lärmschutzwand (LSW)	ja	nein	nein						
	c)		4.2 (außerorts) Abwechslungsreiche Gestaltung bei LSW mit einer Länge von min.	ja	nein	nein						
	d)		4.3 (außerorts) Transparente LSW als Gefahr für Vögel	ja	nein	nein						
	5.		5. Sichtweite / Sichtverhältnisse							für Tunnel nicht relevant nein nein nein		
	a)		Überholsichtweite (bei Straße)	nein	nein	ja						
	b)		2.2 Beeinflussung der Sichtverhältnisse auf dem Brückenbauwerk in der Planung	nein	nein	ja						
	c)		2.4 (innerorts) Sichtverbindungen	nein	nein	ja						
	6.		6. Sonstiges									
	a)		Tunnellüftung: wenig Geruch (bei Tunnel)	für Brücken nicht relevant			nein	nein	ja	für Straße nicht relevant		
	b)		Tunnellüftung: klare Sicht (bei Tunnel)	für Brücken nicht relevant			nein	nein	unklar	für Straße nicht relevant		
	c)		3.1 Gefahr von Eisglätte (bei Brücke)	unklar	nein	unklar	für Tunnel nicht relevant			für Straße nicht relevant		
	d)		3.2 Entwässerung (bei Brücke)	nein	nein	unklar	für Tunnel nicht relevant			für Straße nicht relevant		
	e)		3.3 Räumliche Trennung verschiedener Nutzer (von Brücke) / Bauliche Trennung der Richtungsfahrbahnen (von Tunnel)	nein	nein	unklar	nein	nein	ja	=> für Straße nicht relevant		
	f)		3.4 (außerorts) Gefahr von Seitenwind (nur außerorts) (bei Brücke)	nein	nein	unklar	für Tunnel nicht relevant			für Straße nicht relevant		
	g)		3.4 (innerorts) Überquerbarkeit (bei Brücke)	nein	nein	ja	für Tunnel nicht relevant			für Straße nicht relevant		

Tabelle A1.1: Fortsetzung

Kriterium	Brücke		Tunnel			Strecke							
									Bau- stoffe	Bau- prozess	Konstruk- tions- weise	Bau- stoffe	Bau- prozess
Nr.	Unter- punkt	Bezeichnung											
3.3	h)	3.4(2) (innerorts) Barrierefreiheit (bei Brücke)	nein	nein	ja	für Tunnel nicht relevant			für Straße nicht relevant				
	i)	4.1 (innerorts) Aufenthaltsräume (bei Brücke)	nein	nein	ja	für Tunnel nicht relevant			für Straße nicht relevant				
3.4		Umnutzungsfähigkeit	gestrichen, Inhalte vollständig in Kriterium 4.4 erfasst										
3.5		Betriebsoptimierung	gestrichen, Inhalte vollständig in Kriterium 4.3 erfasst										
3.6		Sicherheit gegenüber Störfallrisiken (Security) (war für Brücken zurückgestellt)	unklar	unklar	unklar				ja	nein	unklar		
	1.	Witterungsbedingte Beeinträchtigung (Regen, Schnee, Einglätte, Aquaplaning; für Tunnel im Portalbereich; beinhaltet Unterpunkt 4. und 5. vom Steckbrief Tunnel)	ja	nein	ja	nein	nein	unklar					
	2.	Gefahren durch Naturgewalt											
	a)	Lagebedingte Naturgefahren (Steinschlag, Verwehungen, Muren, Lawinen, Erdbeben; für Tunnel im Portalbereich; entspricht Unterpunkt 3 vom Steckbrief Tunnel)	nein	nein	ja	nein	nein	ja					
	b)	Erdbeben und stetige geologische	ja	nein	ja	ja	nein	ja					
	3.	externe Sörungen	unklar	unklar	unklar	für Tunnel nicht relevant							
	4.	Störungsmanagement				für Tunnel nicht relevant							
	a)	Aktivierung von Umleitungen (von Straße)	nein	nein	nein	für Tunnel nicht relevant							
	b)	Evakuierung bei Unfällen (von Tunnel)	nein	nein	ja	nein	nein	ja					
	c)	Entrauchung im Brandfall (von Tunnel)	nur für Tunnel relevant			nein	nein	unklar	nur für Tunnel relevant				
3.7		Verkehrssicherheit (Safety) (war für Brücken zurückgestellt)	unklar	unklar	unklar				nein	nein	unklar		
	1.	Unfallbedingte Beeinträchtigung der Nutzbarkeit der Verkehrsanlage (von Strecke)	nein	nein	ja	für Tunnel nicht relevant							
	2.	Belastungsbedingte Beeinträchtigung der Nutzbarkeit der Verkehrsanlage (von Strecke)	nein	nein	ja	für Tunnel nicht relevant							
	3.	Sichtfelder (von Strecke)	nein	nein	ja	für Tunnel nicht relevant							
	4.	Anprall an Seitenwände von Tunnelnischen (1. von Tunnel)	nein	nein	ja	nein	nein	ja					
	5.	Verkehrsleit- und -wamsysteme (2. von Tunnel)	nein	nein	nein	nein	nein	nein					
	6.	Trennung der Richtungsfahrbahnen (3. von Tunnel)	nein	nein	ja	nein	nein	ja					
3.7		Förderziele (neu)	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
4.		technische Qualität											
4.1		elektrische und mechanische Einrichtungen							nein	nein	ja		
	a)	1.1 Dauerhaftigkeit der Komponenten (Gruppe 1: Lager, ÜKO's)	ja	nein	ja	ja	nein	unklar					
	b)	1.1 Dauerhaftigkeit der Komponenten (Gruppe 2: sonstiges)											
	c)	1.2 Wartungsfreundlichkeit, Zugänglichkeit (Gruppe 1: Lager, ÜKO's)	nein	nein	ja	nein	nein	unklar					
	d)	1.2 Wartungsfreundlichkeit, Zugänglichkeit (Gruppe 2: sonstiges)											
	e)	1.3 Anordnung der Komponenten im Bauwerk (Gruppe 1: Lager, ÜKO's)	nein	nein	ja	nein	nein	unklar					
	f)	1.3 Anordnung der Komponenten im Bauwerk (Gruppe 2: sonstiges)											
	g)	2.1 Reserven und Robustheit von Lagern und Übergangskonstruktionen (Gruppe 1)	ja	nein	ja	für Tunnel nicht relevant							
	h)	2.2 Robustheit der restlichen Brückenausrüstung (Gruppe 2)	ja	nein	ja	ja	nein	unklar					
	4.2		Konstruktive Qualität, Dauerhaftigkeit, Robustheit							ja	ja	ja	
a)		2.1 Geometrie und Anordnung der Bauteile	ja	nein	ja	ja	nein	ja					
b)		2.2 Formgebung	ja	nein	ja	für Tunnel nicht relevant							
c)		2.3 Ausnutzung der Querschnitte	ja	nein	ja	ja	nein	ja					
d)		2.4 Statisches System	nein	nein	ja	ja	nein	ja					

Tabelle A1.1: Fortsetzung

Kriterium			Brücke			Tunnel			Strecke		
Nr.	Unterpunkt	Bezeichnung	Bau- stoffe	Bau- prozess	Konstruk- tions- weise	Bau- stoffe	Bau- prozess	Konstruk- tions- weise	Bau- stoffe	Bau- prozess	Konstruk- tions- weise
	f)	2.3 Lager	ja	nein	ja						
	g)	2.4 Überbau	ja	nein	ja						
	h)	3.1 Gründung	unklar	nein	ja						
	i)	3.2 Unterbau	ja	nein	ja						
	j)	3.3 Lager	ja	nein	ja						
	k)	3.4 Überbau	ja	nein	ja						
	2.	für Strecke:							ja	nein	nein
	a)	1.1 Planung: Zukunftsplanung									
	b)	1.2 Planung: Konzept									
	c)	1.3 Planung: Zeithorizont (Restnutzbarkeit Bestandsbauwerke)									
	d)	2.1 Lasterhöhung: Baugrund/Gründung									
	e)	2.2 Lasterhöhung: Straßenoberbau									
	f)	3.1 Erweiterung: Gründung									
	g)	3.2 Erweiterung: Straßenoberbau									
	3.	für Tunnel									
	a)	1. Verstärkungsmöglichkeiten				ja	nein	ja			
	b)	2. Erweiterbarkeit				nein	nein	ja			
4.5		Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit, Demontagefreundlichkeit				ja	nein	indirekt	ja	nein	indirekt
	a)	1. Rückbaukonzept der Brücke/Straße:	ja	ja	ja						
	b)	2. Konzept zur sortenreinen Trennung	ja	ja	ja						
4.6		Herstellbarkeit (neu)	indirekt	ja	ja	ja	ja	ja	⇒ für Straße nicht relevant		
5.		Prozessqualität									
5.1		Qualifikation des Planungsteams				nein	nein	nein	nein	nein	nein
	a)	1. Integrales Planungsteam	nein	nein	nein						
	b)	2. Qualifikation des Planungsteams: Qualifikation des Planungsteams	nein	nein	nein						
	c)	2. Qualifikation des Planungsteams: Kompetenzen des Auftraggebers	nein	nein	nein						
	d)	3. Qualität der Planung: Grundlagenermittlung	nein	nein	ja						
	e)	3. Qualität der Planung: Qualität der Planung	nein	nein	nein						
	f)	4. Integraler Planungsprozess	nein	nein	nein						
5.2		Nachweis der Nachhaltigkeitsaspekte in Ausschreibung und Vergabe				nein	nein	nein	nein	nein	nein
	a)	1. Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in die Ausschreibung	nein	nein	nein						
	b)	2. Qualität der Ausschreibungsunterlagen	nein	nein	nein						
5.3		Baustelle/ Bauprozess (war bei Brücke zurückgestellt)	nein	ja	indirekt	nein	ja	indirekt	für Straße zurückgestellt		
5.4		Qualität der ausführenden Firmen / Präqualifikation (war bei Brücke zurückgestellt)	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
5.5		Qualitätssicherung der Bauausführung							indirekt	indirekt	ja
	a)	1. Dokumentation der verwendeten Materialien, Hilfsstoffe und der Sicherheitsdatenblätter	nein	nein	nein	nein	nein	nein			
	b)	2. Kompetenzen und Qualifikation der am Bau Beteiligten: Kompetenzen des Auftraggebers	nein	nein	nein	nein	nein	nein			
	c)	2. Kompetenzen und Qualifikation der am Bau Beteiligten: Qualifikation des Auftragnehmers	nein	nein	nein	nein	nein	nein			

Tabelle A1.1: Fortsetzung

Kriterium			Brücke			Tunnel			Strecke		
Nr.	Unter-punkt	Bezeichnung	Bau-stoffe	Bau-prozess	Konstruktions-weise	Bau-stoffe	Bau-prozess	Konstruktions-weise	Bau-stoffe	Bau-prozess	Konstruktions-weise
	d)	3. Qualitätssicherung: Untersuchung der Maßhaltigkeit in der Bauausführung	nein	nein	nein	nein	nein	nein			
	e)	3. Qualitätssicherung: Messung und Überprüfung der Betondeckung und des Korrosionsschutzes	unklar	unklar	unklar	nein	nein	nein			
	f)	3. Qualitätssicherung: Qualitätssicherung der Bauausführung bez. der Nachbehandlung von Beton	ja	ja	indirekt	ja	ja	nein			
	g)	3. Qualitätssicherung: Ausführung der Arbeitsfugen	unklar	ja	ja	nein	nein	ja			
	h)	4. Qualität der Zusammenarbeit: Auftraggeber	nein	nein	nein	nein	nein	nein			
	i)	4. Qualität der Zusammenarbeit: Auftragnehmer	nein	nein	nein	nein	nein	nein			
<p>ja Hier besteht augenscheinlich ein Einfluss, der in AP2 quantifiziert werden muss.</p> <p>nein Hier besteht augenscheinlich kein Einfluss. In AP2 wird diese Kriterien-Stoßrichtungs-Kombination nicht mehr berücksichtigt.</p> <p>indirekt Hier besteht ein indirekter Einfluss, der in AP2 in angemessener Weise berücksichtigt werden muss.</p> <p>unklar Hier ist der Einfluss nicht augenscheinlich festzustellen, da das Kriterium entweder zu komplex ist oder ungenau bzw. nicht eindeutig formuliert ist. In AP2 sind diese Kriterien-Stoßrichtungs-Kombinationen zu bearbeiten und genauer zu untersuchen ggf. weiter zu untergliedern oder zu spezifizieren um den Einfluss festzustellen zu können und, wenn vorhanden, zu quantifizieren.</p> <p>zurückgestellt zurückgestellt oder einem anderen Kriterium oder Modul zugeordnet oder für die betreffende Bauwerksart (Brücke, Tunnel, Strecke) nicht relevant.</p>											

Anlage 2: Darstellung der Potenzialbewertung Brücken

Nachfolgend wird im Einzelnen erläutert, wie die Kriterien bzw. Indikatoren in der vergleichenden Bewertung der unterschiedlichen Varianten der untersuchten Brückentypen im Rahmen der Potenzialanalyse behandelt bzw. berücksichtigt wurden.

1. Ökologische Qualität

1.1 – 1.5

Für die Kriterien Treibhauspotenzial (GWP), Ozonschichtabbaupotenzial (ODP), Ozonbildungspotenzial (POCP), Versauerungspotenzial (AP) und Überdüngungspotenzial (EP) geschieht die Bewertung auf Basis der Ökobilanz. Es gibt keine gesetzlich/normativen Grenzwerte. Referenz-, Ziel- und Grenzwerte werden im jeweiligen Steckbrief im Bewertungssystem selbst festgelegt.

Zur Berechnung der Ökobilanz wurden zunächst für alle zu untersuchenden Brückenvarianten Massenbilanzen aufgestellt. Um die größtmögliche Vergleichbarkeit zu gewährleisten handelt es sich dabei jeweils nicht um reale Bauwerke, sondern um von realen Bauwerken abgeleitete Prototypbrücken. So kann gewährleistet werden, dass jeweils von Variante zu Variante nur das wirklich wesentliche geändert wird, und alle anderen Parameter identisch bleiben. Diese Massenbilanzen stellen auch die Grundlage für die Berechnung der Lebenszykluskosten dar.

1.6 Risiken für die lokale Umwelt

1.6a Risiken für die lokale Umwelt Teil A: Fauna und Flora

Im Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) gibt es hierzu keine ausformulierten Checklistenfragen mit Maßstab zur Vergabe der Checklistenpunkten (CP). Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde angenommen das zu jedem Unterpunkt diese Kriteriums zwischen 0 und 2 CP erreichbar sind.

1. a) Sukzessionslenkung: Behinderung von Wildwechsel während der Herstellung

Bei den Brückentypen 1 bis 3 wird keine besondere Behinderung des Wildwechsels während der Bauphase erwartet, so dass alle Varianten dieser Brückentypen mit 2 CP bewert-

tet wurden. Bei Brückentyp 4 kann eine stärkere Behinderung nicht ausgeschlossen werden, daher wurde hier eine mögliche Bewertungsspanne zwischen 1 und 2 CP berücksichtigt.

1. b) Sukzessionslenkung: Behinderung von Wildwechsel während der Nutzung

Ein Wildwechsel wird bei Talbrücken in der Regel möglich sein, bei größeren Flussbrücken ggf. bedingt im Zuge der Vorlandbrücke, bei Autobahnbrücken und gedungenen Straßenbrücken in der Regel nicht, da der Raum unter der Brücke durch die Autobahn bzw. Straße weitestgehend ausgefüllt ist.

Für die Potenzialanalyse wurde hier für die Brückentypen 1 bis 3 immer 0 CP vergeben, für Brückentyp 4 wurde eine Bewertungsspanne zwischen 0 und 1 CP berücksichtigt.

2. a) Lärmbeeinträchtigung der Fauna während der Herstellung

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurden alle Brückenvarianten unter Berücksichtigung der Standortplanung jeweils mit 0 CP bewertet.

Durch die Berücksichtigung des „fiktiven besonders optimierten Bauverfahrens“ (Bewertung mit 2 CP) besteht ein Nachhaltigkeitspotenzial, welches dem Untersuchungsschwerpunkt Bauprozesse zuzuordnen ist.

2. b) Lärmbeeinträchtigung der Fauna während der Nutzung

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde für alle Brückentypen immer von einer Mittleren Lärmbeeinträchtigung ausgegangen und mit 1 von 2 CP bewertet. Ein Potenzial für die betrachteten Untersuchungsschwerpunkte bestehe nicht.

Hier besteht die Möglichkeit durch Übererfüllung des erforderlichen Lärmschutzes im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

1.6b Risiken für die lokale Umwelt Teil B: Boden, Wasser und Luft

1. Grundwasser (Kluftwasser)

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde für alle Brücken gleichermaßen angenommen, dass es zu keiner Beeinträchtigung kommt. Eine Beeinträchtigung von Grundwasserstrom und Grundwasserschichten hängt von den individuellen Randbedingungen ab, daher kann für keine der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte ein Potenzial ermittelt werden.

Ggf. besteht ein geringes Restpotenzial in Einzelfällen, wenn die Randbedingungen eine Wahl alternativer Gründungsarten zulassen und sich dadurch unterschiedlich starke Beeinträchtigungen der Grundwassersituation ergeben. Dieses Potenzial wird aber als sehr gering bzw. nicht praxisrelevant eingeschätzt.

2. Erschütterungen:

Da Erschütterungen nicht aufgrund von gesetzlich/normativen Regelungen ausgeschlossen werden können, werden hier bei Berücksichtigung der Standardplanung 0 CP vergeben. Bei Berücksichtigung des fiktiven „besonders optimierte Bauprozesses“ wird für die Bauphase 1 CP vergeben.

Hier besteht die Möglichkeit durch die Wahl eines besonders schonenden Bauprozesses, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

3. Bodenaushub, Erdbewegungen: größere Mengen an Bodenbewegungen

Alle Varianten der Brückentypen 1 bis 3 werden hier immer mit 2 CP bewertet. Für Brückentyp 4 wird ein Bewertungsspanne von 0 bis 2 CP berücksichtigt.

Theoretisch ergibt sich für die Brücken des Typs 4 daher ein Potenzial, welches aber praktisch kaum nutzbar sein wird.

4. Bauverfahrens- oder nutzungsbedingte Risiken zur Verunreinigungen der lokalen Umwelt

Im Rahmen der Standardplanung werden immer 0 CP vergeben, da ein gewisses Risiko trotz einzuhaltender gesetzlicher Regelungen zur Verhinderung von Umweltverunreinigungen

gen nicht a-priori ausgeschlossen werden kann.

Hier besteht die Möglichkeit, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

5. Naturschutz- und Wasserschutzgebiete

Weder bezüglich der Beeinträchtigung noch bezüglich möglicher Ausgleichsmaßnahmen besteht ein Potenzial hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte. Im Rahmen der Potenzialanalyse werden alle Brücken gleich bewertet.

6. Umwelteinwirkungen durch Staubentwicklung während der Herstellung

Es ist davon auszugehen, dass im Rahmen der Standardplanung immer Vorkehrungen getroffen werden müssen, um eine Gefährdung durch Stäube zu verhindern. Daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 1 CP bewertet.

7. Kleinklima: Beeinflussung des Kleinklimas im Bereich des Verkehrsweges

Bei der Betrachtung der Untersuchungsschwerpunkte im Rahmen der Potenzialanalyse kann hier kein Einfluss festgestellt werden, da das Kleinklima in erster Linie von den örtlichen Gegebenheiten abhängt, und nicht vom Brückenbauwerk selbst. Die Wahl der Trassierung hat hier einen viel entscheidenderen Einfluss. Daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 1 CP bewertet.

8. Behinderung des Hochwasserabflusses

Im Rahmen der Standardplanung darf der Hochwasserabfluss nicht beeinträchtigt werden. Daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 1 CP bewertet.

9. Abwasseraufkommen

Im Rahmen der Standardplanung bestehen hier keine Potenziale für die betrachteten Untersuchungsschwerpunkte. Im Rahmen der Potenzialanalyse werden alle Brücken gleich bewertet.

10. Lokalisierter Ausstoß von Abgasen: Tunnellüftung

Für Brücken nicht relevant

11. Taumittelsprühanlage

Im Rahmen der Standortplanung kann das Vorhandensein einer Taumittelsprühanlage nicht ausgeschlossen werden, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch Verzicht auf eine Taumittelsprühanlage im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

1.7 Sonstige Wirkungen auf die lokale Umwelt

Dieses Kriterium wurde offen gelassen, da alle möglichen Inhalte bereits in anderen Kriterien zur Genüge behandelt werden.

1.8a Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung (MBV)

Generell bestehen Potenziale durch alle Maßnahmen, durch die Instandsetzungs- bzw. Erneuerungsintervalle verlängert oder die Dauer von Instandsetzungsarbeiten selbst verkürzt werden können.

Ob sich dadurch bei der Bewertung für dieses Kriterium ein Vorteil generieren lässt hängt jedoch in großem Maße von äußeren Randbedingungen ab, sodass eine Quantifizierung von Potenzialen in Abhängigkeit der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte nicht möglich ist.

Im Rahmen der Potenzialanalyse werden daher für dieses Kriterium für alle Brückenvarianten 5 Bewertungspunkte vergeben.

1.9 -1.10

Für die Kriterien „nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PEne)“ und „Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie (PEe)“ geschieht die Bewertung auf Basis der Ökobilanz. Es gibt keine gesetzlich/normativen Grenzwerte. Referenz-, Ziel- und Grenzwerte werden im jeweiligen Steckbrief im Bewertungssystem selbst festgelegt.

1.11 Wasserbedarf

Dieses Kriterium wurde für die Betrachtungen im laufenden Projekt zurückgestellt, bzw. mit der Bedeutungszahl 0 versehen.

1.12 Flächeninanspruchnahme

Im Rahmen der Potenzialanalyse wird für die Standardplanung bei allen Varianten der Brückentypen 1 bis 3 von einer durchschnittlichen Flächeninanspruchnahme ausgegangen. Das Kriterium wird mit 5 Bewertungspunkten bewertet. Für Brückentyp 4 wurde die volle Bewertungsspanne zwischen 0 und 10 Bewertungspunkten berücksichtigt.

Das sich dadurch ergebende Potenzial kann aber ggf. aufgrund der im Einzelfall vorliegenden Randbedingungen nicht voll ausgeschöpft werden.

1.13 Abfall

Da dieses Kriterium im Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) zurückgestellt war, musste im Rahmen der Potenzialanalyse ein eigener Bewertungsmaßstab gewählt werden. Hierfür wurden die Outputs „Abraum und Erzaufbereitungsrückstände“, „Hausmüll und Gewerbeabfälle“ und „Sonderabfälle“ aus den Datensätzen der Ökobau.dat 2011 herangezogen. D.h. dieses Kriterium wird auf Grundlage einer Ökobilanz bewertet.

Für die Bewertung wurden folgende Referenzwerte gewählt:

Abraum und Erzaufbereitungsrückstände:

30 kg/(m²*a)

Hausmüll und Gewerbeabfälle:

0,0001 kg/(m²*a)

Sonderabfälle:

0,005 kg/(m²*a)

Die Referenzwerte wurden anhand der mittleren Ergebnisse der Brücken aus dem Forschungsvorhaben FE 15.0522/2011/FRB (Pilotstudie Brücken) abgeschätzt. Ziel und Grenzwert, sind jeweils durch Multiplikation des Referenzwerts mit den Faktoren 0,7 und 1,3 zu berechnen.

Im Rahmen der Potenzialanalyse erfolgt die Gesamtbewertung des Kriteriums auf Basis des Mittelwertes der drei Teilkriterien.

1.14 Ressourcenschonung

Analog zu Kriterium 1.13 wurde im Rahmen der Potenzialanalyse für dieses Kriterium ebenfalls eine Bewertung auf Ökobilanzbasis gewählt. Hierzu wurde der Indikator „Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP)“ aus den Ökobau.dat herangezogen und folgender Referenzwert gewählt.

Referenzwert:

0,04 kg Sb-Äqv/(m²*a)

2. Ökonomische Qualität

2.1 Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus

Für Brückentyp 2 und 3 wurden die Lebenszykluskosten anhand der Massenbilanzen der untersuchten Brückenvarianten unter Ansatz vereinheitlichter Kostendätze ermittelt. Für die Potenzialanalyse wurde die Referenzwertkurve gegenüber dem Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) jedoch dahingehend angepasst, dass die größtmögliche Differenzierung für die untersuchten Varianten gegeben ist.

Referenzwert Typ 2:

3.616 €/m²

Referenzwert Typ 3:

2.848 €/m²

Für Brückentyp 1 und Brückentyp 4 wurde keine explizite Ermittlung von Lebenszykluskosten durchgeführt. Bei Typ 1 wurden die Lebenszykluskosten im Rahmen der Potenzialanalyse nicht untersucht, bei Typ 4 wurde die volle Bewertungsspanne von 0 bis 10 Bewertungspunkten berücksichtigt.

2.2 Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung

Wie bei Kriterium 1.8a hängt die Generierung möglicher, latenter Potenziale in großem Maße von äußeren Randbedingungen ab, so dass eine Quantifizierung von Potenzialen in Abhängigkeit der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte nicht möglich ist.

Im Rahmen der Potenzialanalyse werden daher für dieses Kriterium für alle Brückenvarianten 5 Bewertungspunkte vergeben.

2.3 Externe Kosten infolge streckenbedingter Verkehrsbeeinträchtigung

Kriterium wurde nach Modul 1 verlegt.

3. Soziokulturelle und funktionale Qualität

3.1 Schutzgüter: Mensch, Landschaft, Kulturgut

3.1a Mensch, einschließlich Gesundheit, insbesondere Lärm

1. Lärmbeeinträchtigung von Menschen während der Herstellung

Für die Potenzialanalyse wird angenommen, dass bei der Standardplanung für alle Brücken „durchschnittlicher“ Lärm entsteht. D.h. alle Brückenvarianten werden „neutral“ behandelt und mit 5 Bewertungspunkten bewertet, außer die Varianten, bei denen das „fiktive, besonders schonende Bauverfahren“ berücksichtigt wird. Letztere Varianten werden jeweils mit 10 Bewertungspunkten bewertet.

2. Lärmbeeinträchtigung von Menschen während der Nutzung

- a) Mindestanforderungen „Mindestabstände“
- b) Übererfüllung der „Mindestabstände“, wenn keine Lärmschutzmaßnahmen ausgeführt worden sind.
- c) Mindestanforderungen „Schallgrenzwerte“, wenn Lärmschutzmaßnahmen ausgeführt worden sind.
- d) Unterschreitung des Lärmpegels, wenn Lärmschutzmaßnahmen ausgeführt worden sind.

Für die Potenzialanalyse wird davon ausgegangen, dass jeweils die Mindestanforderungen ohne Übererfüllung eingehalten sind, daher werden für alle Brücken aus den ersten 4 Checklistenfragen (a-d) in Summe 40 CP vergeben.

Die Frage nach Mindestabständen ist in erster Linie eine Frage der Lage des Bauwerks in der Landschaft und hat so gesehen nichts mit der eigentlichen Konstruktionsweise zu tun, auch wenn hier aus AP1 ein "Ja" für den Einfluss der Konstruktionsweise steht. Ebenso wenig wird die Ausführung der Schallschutzmaßnahmen durch die Brücke selbst beeinflusst. Wenn sie nötig sind, müssen Schall-

schutzmaßnahmen durchgeführt werden, unabhängig von der Konstruktionsweise der Brücke.

e) Hohlräume

Es gibt keine normative Regelung, die schallverstärkende Hohlräume grundsätzlich verbietet daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

f) Ebenheit der Fahrbahn der primären Verkehrsstrecke (quer)

Im Rahmen der Standardplanung wird davon ausgegangen, dass gesetzlich/normative Mindestanforderungen immer einzuhalten sind, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit jeweils 3 CP bewertet.

g) Ebenheit der Fahrbahn der primären Verkehrsstrecke (längs)

Im Rahmen der Standardplanung wird davon ausgegangen, dass gesetzlich/normative Mindestanforderungen immer einzuhalten sind, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit jeweils 3 CP bewertet.

h) Anzahl der Übergangskonstruktionen auf der primären Verkehrsstrecke

Im Rahmen der Potenzialanalyse wird dieses Kriterium anhand des bestehenden Bewertungssystems Brücke (Stand 2010) bewertet. Es ergibt sich ein Potenzial im Untersuchungsschwerpunkt Konstruktionsweise.

Dieses Potenzial ist jedoch für längere Brückenbauwerken u. U. in der Praxis nicht ausschöpfbar

i) Art der Übergangskonstruktion auf der primären Verkehrsstrecke

Für integrale Brücken wurde diese Frage ausgeblendet.

Da im Rahmen der Standardplanung immer nur die gesetzlich/normativen Mindestanforderungen einzuhalten sind, muss auch bei diesem Indikator, vom Pessimum ausgegangen werden, daher werden alle Brückenvarianten nach der Standardplanung mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch die Wahl geeigneter Übergangskonstruktionen mit lärmindernden Eigenschaften, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern. Dieses Potenzial ist der Brückenausrüstung zuzuschreiben.

j) Lage der Übergangskonstruktion auf der primären Verkehrsstrecke

Für integrale Brücken wurde diese Frage ausgeblendet.

Im Rahmen der Standardplanung kann die Anordnung von Übergangskonstruktionen senkrecht zur Brückenachse nicht aufgrund von gesetzlich/normativen Verpflichtungen ausgeschlossen werden, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Theoretisch besteht hier die Möglichkeit im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern, indem eine günstigere Lage der ÜKO in Bezug auf die Brückenachse geplant wird. In der Praxis lässt sich dieses Potenzial aber u. U. nicht ausschöpfen, da die Lage der ÜKO mit dem gesamten Bauwerksentwurf zusammenhängt und Änderungen der Planung des Entwurfs hinsichtlich der Optimierung des Schnittwinkels der ÜKO eventuell aufgrund anderer Zwangspunkte nicht möglich sind oder sich nur mit erheblichem Mehraufwand, Mehrkosten und höherem Materialverbrauch d.h. höheren Umweltwirkungen realisieren lassen, so dass bezüglich der Nachhaltigkeit trotz des Erreichens von 2 oder 4 CP bei diesem Indikator insgesamt kein Vorteil besteht.

k) Anschluss Fahrbahnbelag der primären Verkehrsstrecke

Für integrale Brücken wurde diese Frage ausgeblendet.

Im Rahmen der Standardplanung wird von einer Einhaltung der Grenzwerte nach ZTV-ING ausgegangen, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit Übergangskonstruktionen mit 2 CP bewertet.

- l) Schallabstrahlung nach unten
- Da diese Maßnahme nicht gesetzlich/normativ gefordert ist, kann ihr Vorhandensein nicht a-priori vorausgesetzt werden. Daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.
- m) Prognostizierte Entwicklung der Verkehrsbelastung
- Hier bestehen hier keine Potenziale hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte. Im Rahmen der Potenzialanalyse wird diese Frage daher für alle Brückenvarianten mit 2 CP bewertet.
3. Weitere Beeinträchtigung von Menschen
- Zu diesem Kriterium liegen keine genaueren Definitionen bzw. Spezifikationen vor. Im Rahmen der Potenzialanalyse wird das Kriterium daher als „neutral“ betrachtet und für alle Brückenvarianten mit 5 Bewertungspunkten bewertet.

3.1b Landschaft

Obwohl in AP1 zwei Felder mit „ja“ ausgefüllt wurden, gibt es für die Brückentypen 2 bis 4 faktisch keine Unterschiede für die betrachteten Aspekte der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte. Welche Konstruktion mit welchen Baustoffen (sichtbare Oberflächen) sich besser in das Landschaftsbild einpasst, muss in Wechselwirkung mit der jeweiligen örtlichen Gegebenheit ermittelt werden.

Für den Brückentyp 1 wurde im Sinne einer Grenzfallbetrachtung ein Potenzial festgestellt und dem Untersuchungsschwerpunkt Konstruktionsweise zugeordnet. Dieses Potenzial betrifft nicht die Wirkung auf das eigentliche Landschaftsbild (Fernwirkung) sondern nur die sinnlich wahrnehmbare Wirkung im Nahbereich des Bauwerks. Im Gegensatz zu den größeren Brücken der Brückentypen 2 bis 4 spielt die durch Konstruktionsweise und Gestaltung beeinflusste wahrnehmbare Wirkung im unmittelbaren Nahbereich bei Rad- und Fußwegunterführungen eine größere Rolle für das subjektive Sicherheits- und Behaglichkeitsempfinden der Nutzer. Somit besteht hier ein Potenzial von Konstruktionsweise und Gestaltung hinsichtlich der Akzeptanz des Bauwerks durch die Nutzer der sekundären

Verkehrsstrecke (Radfahrer und Fußgänger). Bei Durchlässen, die als Querungshilfen für Wildtiere genutzt werden, besteht dieses Potenzial ebenfalls, da auch hier die Konstruktionsweise und die Gestaltung für die Funktionalität der Querungshilfe und für ihre Akzeptanz durch die Tierwelt entscheidend sind.

Für die Brückentypen 2 bis 4 wurde dieses Kriterium daher im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 5 Bewertungspunkten bewertet. Für Brückentyp 1 wurde die volle Bewertungsspanne zwischen 0 und 10 Bewertungspunkten berücksichtigt.

Dieses Potenzial könnte auch den Indikatoren „Optische Empfindung des vorhandenen Verkehrsraums“ und „Subjektives Sicherheitsgefühl“ im Teilkriterium „Optische Führung“ im Kriterium 3.2 „Komfort“ zugeordnet werden. Da im Vorfeld aber entschieden wurde diese Indikatoren für die Potenzialanalyse bei Brücken auszublenden wurde es an dieser Stelle im Kriterium 3,1b „Landschaft“ berücksichtigt.

3.1c Kulturgüter und sonstige Sachgüter

Eine Bewertung ist nur in Wechselwirkung mit der örtlichen Gegebenheit möglich (s.o.), insofern bestehen hier keine Potenziale hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte. Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde dieses Kriterium daher für alle Brückenvarianten mit 5 Bewertungspunkten bewertet.

3.2 Komfort

1. Trassierung

Die Indikatoren zur Trassierung werden im Rahmen der Potenzialanalyse für Brücken nicht bewertet.

a) Fahrbahnbeschaffenheit: Griffigkeit/Textur

Diese Indikatoren hängen in erster Linie vom Fahrbahnbelag ab und werden im Rahmen der Potenzialanalyse für Brücken nicht bewertet.

b) Fahrbahnbeschaffenheit: Helligkeit

Dieser Indikator hängt in erster Linie vom Fahrbahnbelag ab und werden im Rahmen der Potenzialanalyse für Brücken nicht bewertet.

- c) Fahrbahnbeschaffenheit: Ebenheit der Fahrbahn der primären Verkehrsstrecke (quer)

Im Rahmen der Standardplanung wird davon ausgegangen, dass gesetzlich/normative Mindestanforderungen immer einzuhalten sind, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit jeweils 6 CP bewertet.

- d) Fahrbahnbeschaffenheit: Ebenheit der Fahrbahn der primären Verkehrsstrecke (längs)

Im Rahmen der Standardplanung wird davon ausgegangen, dass gesetzlich/normative Mindestanforderungen immer einzuhalten sind, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit jeweils 6 CP bewertet.

2.2 Übergangskonstruktionen

- a) Anzahl der Übergangskonstruktionen auf der primären Verkehrsstrecke

Hier besteht ein Potenzial hinsichtlich des Untersuchungsschwerpunkts Konstruktionsweise.

- b) Art der Übergangskonstruktionen der primären Verkehrsstrecke

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde angenommen, dass unter Berücksichtigung der Standardplanung für Neubauten keine Übergangskonstruktionen alten Bauart zum Einsatz kommen. Insofern besteht kein Potenzial für die betrachteten Untersuchungsschwerpunkte, da im Rahmen der Potenzialanalyse sowohl die integralen Brückenvarianten als auch alle nicht integralen Varianten mit 6 CP bewertet wurden.

Hier besteht prinzipiell die Möglichkeit durch die Wahl der Bauart der Übergangskonstruktionen, die Nachhaltigkeitsbewertung zu beeinflussen. Dieses Potenzial ist der Brückenausrüstung zuzuschreiben.

- c) Anschluss Fahrbahnbelag der primären Verkehrsstrecke

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurden für diese Frage integrale Brücken mit 8 CP bewertet während Brücken mit Übergangskonstruktionen unter Berücksichtigung der Standardplanung mit 4 CP bewertet wurden.

Bei Brücken mit Übergangskonstruktionen besteht hier die Möglichkeit durch die Wahl einer geeigneten Belagsaussteifung, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

3. Optische Führung

- a) Optische Empfindung des vorhandenen Verkehrsraums
- b) Subjektives Sicherheitsgefühl
- c) Markierungen
- d) Leiteinrichtungen
- e) Nachtsichtbarkeit

Bei den Fragen a) bis e) des Teilkriteriums „optische Führung“ besteht entweder kein Einfluss der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte oder es werden Sachverhalte behandelt, die nicht Gegenstand der durchgeführten Potenzialanalyse sind. Für die Bewertung aller Brückenvarianten im Rahmen der Potenzialanalyse wurden die Fragen a) bis e) zur „optischen Führung“ ausgeblendet.

- f) Fahrbahn- und Tunnelbeleuchtung

Da hierbei kein Einfluss der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte festzustellen ist, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit jeweils 0 CP bewertet.

Für Brücken bestehen im gesamten Teilkriterium „optische Führung“ somit keine Potenziale hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte

4.1 Straßenausstattung: Blendschutz

- a) Blendung durch entgegenkommenden Verkehr

Es besteht zwar grundsätzlich eine Abhängigkeit von der Konstruktionsweise, dies betrifft aber Aspekte, die für die untersuchten Varianten im Rahmen der Potenzialanalyse nicht unterschieden wurden.

Da auf einspurigen Straßen nie ein Blendschutzzaun in der Mittelachse gebaut werden kann, wurden alle Brückenvarianten im Rahmen der Potenzialanalyse mit 0 CP bewertet.

Bei Brücken mit getrennten Richtungsfahrbahnen besteht hier die Möglichkeit durch die Wahl einer geeigneten Blendschutzausstattung, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

- b) Blendung durch Reflexion der Scheinwerfer durch transparenten Lärmschutzwände (außerorts)

Da unter Berücksichtigung der Standartplanung eine Blendwirkung nicht ausgeschlossen werden kann, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch die Wahl geeigneter Vorkehrungen, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

- c) Blendfreiheit der anliegenden Bebauung (innerorts)

Da unter Berücksichtigung der Standartplanung eine Blendwirkung nicht ausgeschlossen werden kann, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch die Wahl geeigneter Vorkehrungen, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

4.2 Straßenausstattung: Gestaltung der Lärmschutzwände

- a) Einsatz von transparenten Lärmschutzwandelementen (außerorts)

Da unter Berücksichtigung der Standartplanung ein Verdecken von Orientierungspunkten durch Lärmschutzwände nicht ausgeschlossen werden kann, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch die Abstimmung der Bauart der Lärmschutzwände auf die örtlichen Randbedingungen, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

- b) Farbgestaltung der Lärmschutzwand (außerorts)

Da unter Berücksichtigung der Standartplanung eine unvorteilhafte Farbgestaltung der Lärmschutzwände nicht ausgeschlossen werden kann, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch eine geeignete Farbgestaltung der Lärmschutzwände, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

- c) Abwechslungsreiche Gestaltung bei Lärmschutzwänden mit einer Länge von mindestens 50 m (außerorts)

Da unter Berücksichtigung der Standartplanung monotone Gestaltung der Lärmschutzwände nicht ausgeschlossen werden kann, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch die Wahl einer abwechslungsreichen Gestaltung der Lärmschutzwände, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

- d) Transparente Lärmschutzwände als Gefahr für Vögel (außerorts)

Da unter Berücksichtigung der Standartplanung Gefahr für Vögel nicht ausgeschlossen werden kann, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch die Wahl geeigneter Vorkehrungen, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

5. Sichtweite / Sichtverhältnisse

- a) Überholsichtweite

Dieser Indikator hängt in erster Linie von der Linienführung ab und wurde für Brücken ausgeklammert.

b) Beeinflussung der Sichtverhältnisse auf dem Brückenbauwerk in der Planung

Dieser Indikator hängt von der Linienführung ab. Nach festgelegter Linienführung haben die an dieser Stelle untersuchten Varianten keinen Einfluss mehr auf das Ergebnis. Für die Bewertung im Rahmen der Potenzialanalyse werden daher alle Brückenvarianten nach der Standardplanung mit 0 CP bewertet.

c) Sichtverbindungen (innerorts)

Da keine gesetzlich/normative Regel bekannt ist, die eine Sichtverbindung vorschreibt, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die zwar prinzipiell die Möglichkeit, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern. Dieses Potenzial kann jedoch u.U. in der Praxis nicht ausgeschöpft werden.

6. Sonstiges

a) Tunnellüftung: wenig Geruch (bei Tunnel)

Dieser Indikator wird in der Potenzialanalyse für Brücken ausgeblendet, da er für Brücken nicht relevant ist.

b) Tunnellüftung: klare Sicht (bei Tunnel)

Dieser Indikator wird in der Potenzialanalyse für Brücken ausgeblendet, da er für Brücken nicht relevant ist.

c) Gefahr von Eisglätte

Im Rahmen der Potenzialanalyse wird angenommen, dass jede Konstruktionsweise, die eine Betonplatte als Fahrbahnplatte aufweist als hier als günstig zu betrachten ist. Da das für alle untersuchten Brückenvarianten zutreffend ist, lässt sich hier kein Potenzial quantifizieren.

theoretisch besteht hier ein Potenzial durch die geeignete Wahl der Konstruktion bzw. des Baustoffes der Fahrbahnplatte. Dieses Potenzial wird aber nur in den Fällen relevant, in denen die Brücke aufgrund ihrer Lage im Gelände prinzipiell gefährdet ist.

d) Entwässerung (bei Brücke)

Da eine ordnungsgemäße Entwässerung immer zu gewährleisten ist, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 6 CP bewertet.

e) Räumliche Trennung verschiedener Nutzer (bei Brücke)/Bauliche Trennung der Richtungsfahrbahnen (bei Tunnel)

Hier besteht kein Potenzial hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse unter Berücksichtigung der Standardplanung für alle Brückenvarianten mit 4 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit im Einzelfall durch geeignete Schutzausstattung, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

f) Gefahr von Seitenwind

Dieser Gefahr von Seitenwind wird hauptsächlich durch die Linienführung und die Lage der Brücke im Gelände beeinflusst.

Da eine Seitenwindgefahr nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden kann, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch geeignete bauliche Vorkehrungen, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

g) Überquerbarkeit (innerorts)

Hier besteht kein Potenzial hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse unter Berücksichtigung der Standardplanung für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch geeignete planerische Entscheidungen, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

h) Barrierefreiheit (innerorts)

Hier besteht kein Potenzial hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse unter Berücksichtigung der Standardplanung für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch geeignete planerische Entscheidungen, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

i) Aufenthaltsräume (innerorts)

Hier besteht kein Potenzial hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse unter Berücksichtigung der Standardplanung für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch geeignete planerische Entscheidungen, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

3.3 Umnutzungsfähigkeit

Die Inhalte des Kriteriums 3.3 aus dem Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) wurden vollständig in Kriterium 4.4 überführt

3.4 Betriebsoptimierung

Die Inhalte des Kriteriums 3.4 aus dem Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) wurden vollständig in Kriterium 4.3 überführt

3.5 Sicherheit gegenüber Störfallrisiken (Security)

Dieses Kriterium ist für die im Rahmen der Potenzialanalyse untersuchten Aspekte der Untersuchungsschwerpunkte für Brücken nicht relevant. Daher wird das Kriterium im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 5 Bewertungspunkten bewertet.

3.6 Verkehrssicherheit (Safety)

Siehe Kriterium 3.5

3.7 Förderziele

Siehe Kriterium 3.5

4. Technische Qualität

4.1 Elektrische und mechanische Einrichtungen

Hier besteht größtenteils kein Potenzial hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte, daher werden alle Fragen dieses Kriteriums im Rahmen der Potenzialanalyse unter Berücksichtigung der Standardplanung für alle Brückenvarianten in der Regel mit der Hälfte der erreichbaren CP bewertet.

Die einzige Ausnahme hiervon sind die Fälle, in denen bei integralen Brücken die Komponenten Lager und Übergangskonstruktionen abgefragt werden. Hier wird immer mit den maximal erreichbaren CP bewertet, da bei integralen Brücken niemals Wartungs- und Austauscharbeiten an Lagern und Übergangskonstruktionen notwendig werden.

Hier besteht die Möglichkeit durch die Wahl geeigneter hochwertiger Komponenten, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

4.2 Konstruktive Qualität, Dauerhaftigkeit, Robustheit

a) Geometrie und Anordnung der Bauteile

Für die untersuchten Aspekte der Untersuchungsschwerpunkte lässt sich kein pauschales Potenzial quantifizieren. Unter Berücksichtigung der Standardplanung wird von einer fachkundigen Planung nach dem allgemeinen anerkannten Regeln der Baukunst und Technik ausgegangen, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten jeweils mit 18 CP bewertet.

Grundsätzlich besteht jedoch im Einzelfall immer eine Gefahr zur negativen Beeinflussung der Nachhaltigkeitsbewertung durch eine schlechte Planung. Bei den Brückentypen 1 bis 3 wird diese Gefahr für die Praxis als gering eingeschätzt, bei Brückentyp 4 ist sie aufgrund des höheren Gestaltungsspielraums höher einzuschätzen.

b) Formgebung

Für die untersuchten Aspekte der Untersuchungsschwerpunkte lässt sich kein pauschales Potenzial quantifizieren. Unter Berücksichtigung der Standardplanung wird von einer

fachkundigen Planung nach dem allgemeinen anerkannten Regeln der Baukunst und Technik ausgegangen, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten jeweils mit 6 CP bewertet.

Grundsätzlich besteht jedoch im Einzelfall immer eine Gefahr zur negativen Beeinflussung der Nachhaltigkeitsbewertung durch eine schlechte Planung. Bei den Brückentypen 1 bis 3 wird diese Gefahr für die Praxis als gering eingeschätzt, bei Brückentyp 4 ist sie aufgrund des höheren Gestaltungsspielraums höher einzuschätzen.

c) Ausnutzung der Querschnitte

Für die untersuchten Aspekte der Untersuchungsschwerpunkte lässt sich kein pauschales Potenzial quantifizieren. Unter Berücksichtigung der Standardplanung wird von einer fachkundigen Planung nach dem allgemeinen anerkannten Regeln der Baukunst und Technik ausgegangen, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten jeweils mit 4 CP bewertet.

Grundsätzlich besteht jedoch im Einzelfall immer eine Gefahr zur negativen Beeinflussung der Nachhaltigkeitsbewertung durch eine schlechte Planung. Bei den Brückentypen 1 bis 3 wird diese Gefahr für die Praxis als gering eingeschätzt, bei Brückentyp 4 ist sie aufgrund des höheren Gestaltungsspielraums höher einzuschätzen.

d) Statisches System

Im Rahmen der Potenzialanalyse wird hier differenziert, integrale Brücken werden mit 4 CP bewertet, Durchlaufträger mit 2 CP und Einfeldträger mit 1 CP.

e) Untergrund

Da jedes Tragwerk auf den vorhandenen Baugrund abgestimmt werden muss, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 14 CP bewertet.

Grundsätzlich besteht hier ein Potenzial durch die gezielte Ausarbeitung des Gründungskonzeptes unter Berücksichtigung der individuellen Boden-Bauwerk-Interaktion die Gründung hinsichtlich Kosten und Materialaufwand zu optimieren. Im Bewertungssystem Brücke (Stand 2010) lässt sich dieses Potenzial je-

doch nicht in Kriterium 4.2 erfassen, sondern nur indirekt bei den ökobilanzabhängigen Kriterien und bei den Lebenszykluskosten.

f) Komplexität des Bauverfahrens

Hier besteht eine Abhängigkeit vom Bauverfahren, aber auch von Qualifikation und Schulung der Arbeiter, die nicht Gegenstand der Betrachtung im Rahmen der Potenzialanalyse sind.

Die Bewertung im Rahmen der Potenzialanalyse wurde wie folgt gewählt

Fiktiver besonders optimierter Bauprozess (unabhängig von der Konstruktion) = 8 CP

Balkenbrücke in Stahlbeton- oder Verbundbauweise = 4 CP

Balkenbrücke in Spannbetonbauweise = 3 CP

integrale Brücke in Stahlbeton- oder Verbundbauweise = 3 CP

integrale Brücke in Spannbetonbauweise = 2 CP

Durch die Wahl des „fiktiven besonders optimierten Bauprozesses“ besteht hier die Möglichkeit im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

g) Reserven der Konstruktion im Bauzustand

Unter Berücksichtigung der Standardplanung wird für alle Brückenvarianten grundsätzlich von einer durchschnittlichen Bewertung ausgegangen. Die Bewertung erfolgt daher jeweils mit 4 CP. Bei der Berücksichtigung des „fiktiven besonders optimierten Bauprozesses“ wird jeweils mit 8 CP bewertet.

Durch die Wahl des „fiktiven besonders optimierten Bauprozesses“ besteht hier die Möglichkeit im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

h) Herstelltoleranzen

Unter Berücksichtigung der Standardplanung wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch entsprechende Planung im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die

Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern. Dieses Potenzial kann jedoch u.U. in der Praxis nicht voll ausgeschöpft werden.

i) Widerstand der Baustoffe

Da gesetzlich/normative Mindestanforderungen immer einzuhalten sind wird diese Fragen im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten jeweils mit 5 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch Übererfüllung der Baustoffeigenschaften, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

j) Widerstand der Konstruktion

Die Bewertung im Rahmen der Potenzialanalyse wurde wie folgt gewählt

Integrale Brücke mit Massivplatte = 10 CP

Nichtintegrale Brücke mit Massivplatte = 9 CP

Integrale Brücke mit Plattenbalken = 5 CP

Nichtintegrale Brücke mit Plattenbalken = 4 CP

Bei Brückentyp 4 wurde die Bewertungsspanne im Zuge der Grenzfallbetrachtung bis 0 CP ausgeweitet.

k) Robustheit

Im Rahmen der Potenzialanalyse wird diese Frage für die Brückentypen 1 bis 3 immer mit 12 CP bewertet, wenn kein Mittelpfeiler vorhanden ist und mit 6 CP wenn ein Mittelpfeiler vorhanden ist. Für Brückentyp 4 wurde eine Bewertungsspanne zwischen 0 und 12 CP berücksichtigt.

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde ein Anprall an den Überbau durch Verkehr auf der sekundären Strecke, der die üblichen Höhenbeschränkungen überschreitet nicht berücksichtigt, ggf. ergeben sich hier weitere Potenziale.

4.3 Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit

1. Optimierung des Betriebs durch die Konstruktion

a) Bauart der Brücke

Hier kann differenziert bewertet werden. Für Brückentyp 4 wurde in Zuge der Grenzfall-

betrachtung die volle Bewertungsspanne zwischen 0 und 6 CP berücksichtigt.

b) Besichtigungsgeräte

Hier besteht kein Potenzial hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse unter Berücksichtigung der Standardplanung für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch die entsprechende Wahl der Brückenausstattung, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

c) Erhaltung des Korrosionsschutzes

Hier besteht kein Potenzial hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse unter Berücksichtigung der Standardplanung für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch entsprechende Planung des Korrosionsschutzkonzeptes im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern. Unter Umständen ...

d) Zugänglichkeit

Dieser Indikator ist für Brücken nicht relevant.

2. Optimierung des Betriebs durch Maßnahmen bei der Bauwerksausstattung

a) Unterstützung des Winterdienstes

Diese Frage behandeln Elemente der Brückenausstattung, die nicht Gegenstand der Potenzialanalyse sind. Da es keine gesetzlich/normativen Mindestanforderungen hierzu gibt, wird diese im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten jeweils mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch die Wahl geeigneter Zusatzausstattung, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

b) Anti-Graffiti-Prophylaxe

Diese Frage behandeln Elemente der Brückenausstattung, die nicht Gegenstand der Potenzialanalyse sind. Da es keine gesetzlich/normativen Mindestanforderungen hierzu gibt, wird diese im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten jeweils mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch die Wahl eines geeigneten Anti-Graffiti-Systems, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

c) Wartungs- und Pflegeaufwand für Lärmschutzwände

Diese Frage behandeln Elemente der Brückenausstattung, die nicht Gegenstand der Potenzialanalyse sind. Da es keine gesetzlich/normativen Mindestanforderungen hierzu gibt, wird diese im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten jeweils mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch die Wahl geeigneter Lärmschutzwände, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

d) Dauerhafte Abriebfestigkeit und UV-Beständigkeit der Lärmschutzwand

Diese Frage behandeln Elemente der Brückenausstattung, die nicht Gegenstand der Potenzialanalyse sind. Da es keine gesetzlich/normativen Mindestanforderungen hierzu gibt, wird diese im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten jeweils mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch die Wahl geeigneter Lärmschutzwände, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

e) Bauwerksbeleuchtung

Bei dieser Frage wird im Bewertungssystem für Brücken (Stand 2010) nicht nach der Bauwerksbeleuchtung sondern nach der Fahrbahnbeleuchtung gefragt. Die Notwendigkeit eine Fahrbahnbeleuchtung vorzusehen wird

jedoch nicht durch das eigentliche Brückenbauwerk beeinflusst. Unter Berücksichtigung der Standortplanung wird daher davon ausgegangen dass eine Fahrbahnbeleuchtung immer vorhanden ist, wenn sie erforderlich ist. Daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 4 CP bewertet.

Eventuelle Potenziale durch Übererfüllung in der Ausführung der Fahrbahnbeleuchtung wären im Subsystem Strecke zu bewerten.

f) Leuchtmittel der Fahrbahn- bzw. der Brückenbeleuchtung

Diese Frage behandeln Elemente der Brückenausstattung, die nicht Gegenstand der Potenzialanalyse sind. Da es keine gesetzlich/normativen Mindestanforderungen hierzu gibt, wird diese im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten jeweils mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch die Wahl geeigneter Leuchtmittel, im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.

g) Wasserdichte Übergangskonstruktion

Da unter Berücksichtigung der Standortplanung davon ausgegangen wird, dass eine sachgerechte Planung nach dem anerkannten Stand der Technik den Schutz vor eindringendem Wasser sicherstellt, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 5 CP bewertet.

h) Art der Bauwerksabdichtung

Da unter Berücksichtigung der Standortplanung für Neubauten immer von einer flächig verklebten Dichtungsbahn ausgegangen wird, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 5 CP bewertet.

i) Tropfüllen bei Walzasphalt

Da unter Berücksichtigung der Standortplanung davon ausgegangen wird, dass Tropfüllen dort wo sie technisch erforderlich sind eingebaut werden, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 4 CP bewertet.

- j) Bauart des Fahrbahnübergangs
Hier besteht kein Potenzial hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse unter Berücksichtigung der Standardplanung für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.
- k) Gestaltung der Fugen
Hier besteht kein Potenzial hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse unter Berücksichtigung der Standardplanung für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.
- l) Zugänglichkeit der Fugen
Hier besteht kein Potenzial hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte, daher werden beide Fragen im Rahmen der Potenzialanalyse unter Berücksichtigung der Standardplanung für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.
Hier besteht die Möglichkeit durch entsprechende planerische Berücksichtigung im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.
- m) Hohlraumgehalt der Fahrbahn
Da gesetzlich/normative Mindestanforderungen immer einzuhalten sind, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten jeweils mit 5 CP bewertet.
- n) Pressenansatzpunkte für den Lagerwechsel
Da gesetzlich/normative Mindestanforderungen immer einzuhalten sind, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten jeweils mit 6 CP bewertet.
- o) Erhaltung der Bauwerksbeleuchtung
Da unter Berücksichtigung der Standardplanung eine leichte Zugänglichkeit nicht a-priori vorausgesetzt werden kann, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.
Hier besteht die Möglichkeit durch entsprechende planerische Berücksichtigung im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.
- p) Schadensdokumentation und
Diese Frage ist für Neubauten nicht relevant und wurde daher im Rahmen der Potenzialanalyse nicht berücksichtigt.
- q) Note der letzten Bauwerksprüfung
Diese Frage ist für Neubauten nicht relevant und wurde daher im Rahmen der Potenzialanalyse nicht berücksichtigt.
- 4.4 Verstärkung und Erweiterbarkeit, Umnutzungsfähigkeit
- a) Zukunftsplanung
Hier besteht kein Potenzial hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse unter Berücksichtigung der Standardplanung für alle Brückenvarianten jeweils mit 0 CP bewertet.
Hier besteht die Möglichkeit durch entsprechende planerische Berücksichtigung im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.
- b) Konzept
Hier besteht kein Potenzial hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse unter Berücksichtigung der Standardplanung für alle Brückenvarianten jeweils mit 0 CP bewertet.
Hier besteht die Möglichkeit durch entsprechende planerische Berücksichtigung im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern.
- c) Zeithorizont (Restnutzbarkeit)
Für Neubauten ist eine Lebensdauer von 100 Jahren anzunehmen, daher wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 6 CP bewertet.
Lasterhöhung und Fahrstreifenerweiterung
- d) Gründung, Lasterhöhung
- e) Unterbau, Lasterhöhung

- f) Lager, Lasterhöhung
- g) Überbau, Lasterhöhung
- h) Gründung, Fahrstreifenerweiterung
- i) Unterbau, Fahrstreifenerweiterung
- j) Lager, Fahrstreifenerweiterung
- k) Überbau, Fahrstreifenerweiterung

Im Rahmen der Potenzialanalyse wird unter Berücksichtigung der Standortplanung immer angenommen, dass keine überschüssigen Reserven eingeplant wurden, daher werden die Fragen d) bis k) im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten jeweils mit 0 CP bewertet.

Hier besteht die Möglichkeit durch die planerische Entscheidung Reserven vorzuhalten im Rahmen von Maßnahmen zur besonders nachhaltigen Planung die Nachhaltigkeitsbewertung zu verbessern. Bis zu welchem Maß ein Vorhalten von Reserven nachhaltig ist, ist gesondert zu prüfen. Dieses Potenzial lässt sich u.U. im Einzelfall in der Praxis nicht ausschöpfen.

4.5 Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit, Demontagefreundlichkeit

- a) Rückbaukonzept der Brücke/Straße:

Da unter Berücksichtigung der Standortplanung die Ausarbeitung eines Rückbaukonzeptes nicht a-priori vorausgesetzt werden können, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

- b) Konzept zur sortenreinen Trennung

Da unter Berücksichtigung der Standortplanung die Ausarbeitung eines Konzeptes zur sortenreinen Trennung nicht a-priori vorausgesetzt werden können, wird diese Frage im Rahmen der Potenzialanalyse für alle Brückenvarianten mit 0 CP bewertet.

4.6 Herstellbarkeit

Im laufenden Projekt wurde dieses Kriterium durch die Festlegung der Bedeutungszahl „0“ aus der Bewertung ausgeblendet.

5. Prozessqualität

5.1 Qualifikation des Planungsteams und Qualität der Planung

Hinsichtlich der betrachteten Untersuchungsschwerpunkte ergeben sich keine Potenziale. Im Rahmen der Potenzialanalyse wird dieses Kriterium für alle untersuchten Brückenvarianten jeweils mit 5 Bewertungspunkten bewertet.

5.2 Nachweis der Nachhaltigkeitsaspekte in der Ausschreibung

Siehe Kriterium 5.1, Bewertung mit jeweils 5 Bewertungspunkten.

5.3 Baustelle / Bauprozess

Dieses Kriterium ist derzeit zurückgestellt und wird im Rahmen der Potenzialanalyse nicht berücksichtigt

5.4 Qualität der ausführenden Firmen / Präqualifikation

Dieses Kriterium ist derzeit zurückgestellt und wird im Rahmen der Potenzialanalyse nicht berücksichtigt

5.5 Qualitätssicherungen der Bauausführung

Siehe Kriterium 5.1, Bewertung mit jeweils 5 Bewertungspunkten.

Tabelle A2.1: Auszug aus der Potenzialermittlungsmatrix für Brückentyp 2

Kriterium		Typ 2: Überführung einfacher Straße (RQ 10,5) oder zweigleisiger Bahnstrecke						
Nr.	punkt	Bezeichnung	1.) integrale Brücke Massivplattenquerschnitt					
			1.) Stahlbeton			2.) Spannbeton		
			1.) Ortbeton	2.) Ortbeton	3.) Besonder	1.) Ortbeton	2.)Ortbeton	3.) Besonder
		Nr.	2.1.1.1	2.1.1.2	2.1.1.3	2.1.2.1	2.1.2.2	2.1.2.3
		<i>Datenaktivierung</i>						
		<i>Note neu Mittelwert</i>	57,74%	57,74%	59,03%	59,72%	59,72%	61,09%
		<i>Bester Bauprozess</i>			x			x
		<i>Bester Baustoff</i>						
1.		ökologische Qualität						
1.1		Treibhauspotenzial (GWP)	9,7	9,7	9,7	10	10	10
1.2		Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	10	10	10	10	10	10
1.3		Ozonbildungspotenzial (POCP)	8,7	8,7	8,7	9	9	9
1.4		Versauerungspotenzial (AP)	8	8	8	8,5	8,5	8,5
1.5		Überdüngungspotenzial (EP)	8,9	8,9	8,9	9,3	9,3	9,3
1.6		Risiken für die lokale Umwelt (Aufteilung s.u.)	0	0	0	0	0	0
1.6a		Risiken für die lokale Umwelt Teil A: Fauna und Flora	3,8	3,8	6,3	3,8	3,8	6,3
1. a)	1. a)	1. a) Sukzessionslenkung: Behinderung von Wildwechsel	2	2	2	2	2	2
1. b)	1. b)	1. b) Sukzessionslenkung: Behinderung von Wildwechsel	0	0	0	0	0	0
2. a)	2. a)	2. a) Lärmbeeinträchtigung der Fauna während der Herstellung	0	0	2	0	0	2
2. b)	2. b)	2. b) Lärmbeeinträchtigung der Fauna während der Nutzung	1	1	1	1	1	1
1.6b		Risiken für die lokale Umwelt Teil B: Boden, Wasser und Luft	7,3	7,3	8	7,3	7,3	8
1.	1.	1. Grundwasser (Kluftwasser)	2	2	2	2	2	2
2.	2.	2. Erschütterungen:	0	0	1	0	0	1
3.	3.	3. Bodenaushub, Erdbewegungen: größere Mengen an	2	2	2	2	2	2
4.	4.	4. Bauverfahrens- oder nutzungsbedingte Risiken zur	0	0	0	0	0	0
5. a)	5. a)	5. a) Naturschutz-/Wasserschutzgebiete: Beeinträchtigungen (=	2	2	2	2	2	2
5. b)	5. b)	5. b) Naturschutz-/Wasserschutzgebiete:	0	0	0	0	0	0
6.	6.	6. Umwelteinwirkungen durch Staubentwicklung während der	1	1	1	1	1	1
7.	7.	7. Kleinklima: Beeinflussung des Kleinklimas im Bereich des	1	1	1	1	1	1
8.	8.	8. Behinderung des Hochwasserabflusses (Brückenspezifisch)	1	1	1	1	1	1
9. a)	9. a)	9. a) Abwasseraufkommen: Abwässer während der Bauphase	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
9. b)	9. b)	9. a) Abwasseraufkommen: "Regenwasseranagement"	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
10.	10.	10. Lokalisierter Ausstoß von Abgasen: Tunnellüftung (= Nr. 6 bei	0	0	0	0	0	0
11.	11.	11. Taumittelsprühanlage	1	1	1	1	1	1
1.7		Sonstige Wirkungen auf die lokale Umwelt	0	0	0	0	0	0
1.8a		Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge baubedingter	5	5	5	5	5	5
1.8b		Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge Linienführung (neu)	0	0	0	0	0	0
1.9		Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PEne)	9,4	9,4	9,4	9,7	9,7	9,7
1.10		Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer	4	4	4	4,2	4,2	4,2
1.11		Wasserbedarf	0	0	0	5	5	5
1.12		Flächeninanspruchnahme	5	5	5	5	5	5
1.	1.	1. Flächeninanspruchnahme während des Baus (war für	1	1	1	1	1	1
2.	2.	2. Aspekte für die Flächeninanspruchnahme für das	3	3	3	3	3	3
1.13		Abfall	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3
1.a)	1.a)	1.a) Abfall und Kreislaufwirtschaft freier Indikator	0	0	0	0	0	0
1.b)	1.b)	1.b) Abraum und Erzaufbereitungsrückstände	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3
1.c)	1.c)	1.c) Hausmüll und Gewerbeabfälle	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3
1.d)	1.d)	1.d) Sonderabfälle	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3
2.	2.	2. Asbruchmaterial bei Tunnel (freier Indikator für Tunnel)	0	0	0	0	0	0
1.14		Ressourcenschonung (neu)	8,6	8,6	8,6	8,8	8,8	8,8
1.	1.	1. Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP)	8,6	8,6	8,6	8,8	8,8	8,8
2.	2.	2. freier Indikator Ressourcenschonung	0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0
2.		ökonomische Qualität	0	0	0	0	0	0
2.1		Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus	7,4	7,4	7,4	8,6	8,6	8,6
2.2		Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung	5	5	5	5	5	5
2.3		Externe Kosten infolge streckenbedingter	0	0	0	0	0	0

Anlage 4: Darstellung der Potenzialbewertung Tunnel

Nr.	Kriterium	BAUSTOFF	BAUPROZESS	KONSTRUKTION
1.	ökologische Qualität			
1.1	Treibhauspotenzial (GWP)			k.P.
1.2	Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)			k.P.
1.3	Ozonbildungspotenzial (POCP)			k.P.
1.4	Versauerungspotenzial (AP)			k.P.
1.5	Überdüngungspotenzial (EP)			k.P.
1.6a	Risiken für die lokale Umwelt Teil A: Fauna und Flora			
	1. a) Sukzessionslenkung: Behinderung von Wildwechsel während der Herstellung		k.P.	k.P.
	1. b) Sukzessionslenkung: Behinderung von Wildwechsel während der Nutzung			
	2. a) Lärmbeeinträchtigung der Fauna während der Herstellung		k.P.	k.P.
	2. b) Lärmbeeinträchtigung der Fauna während der Nutzung	k.P.		k.P.
1.6b	Risiken für die lokale Umwelt Teil B: Boden, Wasser und Luft			
	1. Grundwasser (Kluftwasser)	k.P.	k.P.	k.P.
	2. Erschütterungen:		k.P.	k.P.
	3. Bodenaushub, Erdbewegungen: größere Mengen an Bodenbewegungen		k.P.	k.P.
	4. Bauverfahrens- oder nutzungsbedingte Risiken zur Verunreinigungen der lokalen Umwelt (= Nr.3 bei Tunnel)	k.P.	k.P.	
	5. a) Naturschutz-/Wasserschutzgebiete: Beeinträchtigungen (= Nr. 4 bei Tunnel)	k.P.	k.P.	k.P.
	5. b) Naturschutz-/Wasserschutzgebiete: Ausgleichsmaßnahmen (= Nr. 4 bei Tunnel)		k.P.	k.P.
	6. Umwelteinwirkungen durch Staubentwicklung während der Herstellung (= Nr. 5 bei Tunnel)	k.P.	k.P.	k.P.
	7. Kleinklima: Beeinflussung des Kleinklimas im Bereich des Verkehrsweges			
	8. Behinderung des Hochwasserabflusses (Brückenspezifisch)		⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant	
	9. a) Abwasseraufkommen: Abwässer während der Bauphase		k.P.	k.P.
	9. a) Abwasseraufkommen: "Regenwassermanagement"		⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant	
	10. Lokalisierter Ausstoß von Abgasen: Tunnellüftung (= Nr. 6 bei Tunnel)		k.P.	k.P.
	11. Taumittelsprühanlage		⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant	
1.7	Sonstige Wirkungen auf die lokale Umwelt		⇒ Kriterium entfällt	
1.8a	Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung (MBV)		k.P.	k.B.
1.8b	Umweltwirkungen/Mehremissionen infolge Linienführung		⇒ relevant in Modul 1 "Linienbestimmung"	
1.9	Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PEne)	k.P.	k.P.	k.P.
1.10	Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie (PEe)	k.P.	k.P.	k.P.
1.11	Wasserbedarf (war für Brücken zurückgestellt) und enthielt ursprünglich noch den Aspekt "Abwasseraufkommen")		k.P.	
1.12	1. Flächeninanspruchnahme während des Baus		k.P.	k.P.
	2. Aspekte für die Flächeninanspruchnahme für das fertiggestellte Bauwerk			k.P.
1.13	a) Abfall und Kreislaufwirtschaft (HWD, NHWD, RWD)		k.P.	
	b) Abbruchmaterial (bei Tunnel)		k.P.	k.P.
1.14	Ressourcenschonung (ADP) (neu)		k.P.	k.B.
2.	ökonomische Qualität			
2.1	Direkte bauwerksbezogene Kosten im Lebenszyklus	k.P.	k.P.	k.P.
2.2	Externe Kosten infolge baubedingter Verkehrsbeeinträchtigung		k.P.	k.B.
2.3	Externe Kosten infolge streckenbedingter Verkehrsbeeinträchtigung (neu)		⇒ relevant in Modul 1 "Linienbestimmung"	
3.	soziale/funktionale Qualität			
3.1a	Mensch, einschließlich Gesundheit, insbesondere Lärm			
	1. Lärmbeeinträchtigung von Menschen während der Herstellung		k.P.	k.P.
	2. Lärmbeeinträchtigung von Menschen während der Nutzung			
	a) 1.1.1 Mindestanforderungen „Mindestabstände“	k.P.		k.P.
	b) 1.1.2 Übererfüllung der „Mindestabstände“, wenn keine		⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant	
	c) 1.2.1 Mindestanforderungen „Schallgrenzwerte“, wenn		⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant	
	d) 1.2.2 Unterschreitung des Lärmpegels, wenn Lärmschutzmaßnahmen		⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant	
	e) 2.1.1 Hohlräume		⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant	
	f) 2.1.2 Ebenheit der Fahrbahn der primären Verkehrsstrecke (Quer)			
	g) 2.1.3 Ebenheit der Fahrbahn der primären Verkehrsstrecke (Längs)			
	h) 2.2.1 Anzahl der Übergangskonstruktionen auf der primären Verkehrsstrecke		⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant	
	i) 2.2.2 Art der Übergangskonstruktion auf der primären Verkehrsstrecke		⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant	
	j) 2.2.3 Lage der Übergangskonstruktion auf der primären Verkehrsstrecke		⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant	
	k) 2.2.4 Anschluss Fahrbahnbelag der primären Verkehrsstrecke		⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant	
	l) 2.2.5 Schallabstrahlung nach unten		⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant	

Nr.	Kriterium	BAUSTOFF	BAUPROZESS	KONSTRUKTION
	m) 2.3.1 Prognostizierte Entwicklung der Verkehrsbelastung	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	3. Weitere Beeinträchtigung von Menschen			k.B.
3.1b	Landschaft			k.B.
3.1c	Kulturgüter und sonstige Sachgüter			k.P.
3.2	Komfort			
	1. Trassierung			
	2.1 Fahrbahnbeschaffenheit			
	a) Fahrbahnbeschaffenheit: Griffigkeit/Textur	k.P.	k.P.	
	b) Fahrbahnbeschaffenheit: Helligkeit	k.B.		
	c) Fahrbahnbeschaffenheit: Ebenheit der Fahrbahn der primären Verkehrsstrecke (quer)			
	d) Fahrbahnbeschaffenheit: Ebenheit der Fahrbahn der primären Verkehrsstrecke (längs)			
	2. 2 Übergangskonstruktionen (nur bei Brücke)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	3. Optische Führung			
	a) Optische Empfindung des vorhandenen Verkehrsraums (von Tunnel)	k.P.		k.P.
	b) Subjektives Sicherheitsgefühl (von Tunnel)			k.P.
	c) Markierungen (von Strecke)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	d) Leiteinrichtungen (von Strecke)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	e) Nachsichtbarkeit (von Strecke)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	f) Fahrbahn- und Tunnelbeleuchtung (war 2.3 bei Brücken)	k.P.		k.P.
	4.1 Straßenausstattung: Blendschutz, Gestaltung der Randbereiche /Lärmschutzwände			
	a) 2.1 Blendung durch entgegenkommenden Verkehr			k.P.
	b) 2.4 (außerorts) Blendung der Reflexion der Scheinwerfer durch transparenten Lärmschutzwände (LSW)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	c) 2.5 (innerorts) Blendfreiheit der anliegenden Bebauung	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	4.2 Straßenausstattung: Gestaltung der Randbereiche/Lärmschutzwände	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	5. Sichtweite / Sichtverhältnisse	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	6. Sonstiges			
	a) Tunnellüftung: wenig Geruch (bei Tunnel)			k.P.
	b) Tunnellüftung: klare Sicht (bei Tunnel)			k.P.
	c) 3.1 Gefahr von Eisglätte (bei Brücke)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	d) 3.2 Entwässerung (bei Brücke)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	e) 3.3 Räumliche Trennung verschiedener Nutzer (von Brücke) / Bauliche Trennung der Richtungsfahrbahnen (von Tunnel)			k.P.
	f) 3.4 (außerorts) Gefahr von Seitenwind (nur außerorts) (bei Brücke)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	g) 3.4 (innerorts) Überquerbarkeit (bei Brücke)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	h) 3.4(2) (innerorts) Barrierefreiheit (bei Brücke)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	i)4.1 (innerorts) Aufenthaltsräume (bei Brücke)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
3.3	Umnutzungsfähigkeit	⇒ Kriterium 3.3 gestrichen, Inhalte in Kriterium 4.4 integriert		
3.4	Betriebsoptimierung	⇒ Kriterium 3.4 gestrichen, Inhalte in Kriterium 4.3 integriert		
3.5	Sicherheit gegenüber Störfallrisiken (Security)			
	1. Witterungsbedingte Beeinträchtigung (Regen, Schnee, Eisglätte, Aquaplaning)			k.P.
	2. Gefahr durch Naturgewalt			
	a) Lagebedingte Naturgefahren (Steinschlag, Verwehungen, Muren, Lawinen, Erdbeben)			k.P.
	b) Erdbeben und stetige geologische Bewegungen	k.P.		k.P.
	3. externe Sörungen	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	4. Störungsmanagement			
	a) Aktivierung von Umleitungen (von Straße)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	b) Evakuierung bei Unfällen (von Tunnel)			k.P.
	c) Entrauchung im Brandfall (von Tunnel)			k.P.
3.6	Verkehrssicherheit (Safety)			
	1. Unfallbedingte Beeinträchtigung der Nutzbarkeit der Verkehrsanlage (von Strecke)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	2. Belastungsbedingte Beeinträchtigung der Nutzbarkeit der Verkehrsanlage (von Strecke)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	3. Sichtfelder (von Strecke)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	4. Anprall an Seitenwände von Tunnelnischen (1. von Tunnel)			k.P.
	5. Verkehrsleit- und -warnsysteme (2. von Tunnel)			
	6. Trennung der Richtungsfahrbahnen (3. von Tunnel)			k.P.
3.7	Förderziele (neu)			

Nr.	Kriterium	BAUSTOFF	BAUPROZESS	KONSTRUKTION
4.	technische Qualität			
4.1	elektrische und mechanische Einrichtungen			
	a) 1.1 Dauerhaftigkeit der Komponenten	k.P.		k.P.
	c) 1.2 Wartungsfreundlichkeit, Zugänglichkeit			k.P.
	e) 1.3 Anordnung der Komponenten im Bauwerk			k.P.
	g) 2.1 Reserven und Robustheit von Lagern und Übergangskonstruktionen (Gruppe 1)	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	h) 2.2 Robustheit der restlichen Brückenausrüstung (Gruppe 2)	k.P.		k.P.
4.2	Konstruktive Qualität, Dauerhaftigkeit, Robustheit			
	a) 2.1 Geometrie und Anordnung der Bauteile Für Tunnel: Geometrie und Ausbildung des Tunnelquerschnittes	k.P.		k.P.
	b) 2.2 Formgebung	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	c) 2.3 Ausnutzung der Querschnitte	k.P.		k.P.
	d) 2.4 Statisches System (nur offene BW)	k.P.		k.P.
	e) 2.5 Untergrund			
	Tunnel: Interaktion Boden-Tragwerk	k.P.		k.P.
	Tunnel: Anpassung an geol. Verhältnisse	k.P.		k.P.
	Tunnel: Angepasstes Verformungs-/Setzungsverhalten	k.P.	k.P.	k.P.
	Tunnel: Angemessene Setzungserwartungen	k.P.	k.P.	k.P.
	Tunnel: Querschnittsvarianten für unterschiedl. Bodentypen	k.P.	k.P.	k.P.
	Tunnel: Gestaltung Tunnelportal	k.P.		k.P.
	f) 3.1 Komplexität des Bauverfahrens	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	g) 3.2 Reserven der Konstruktion im Bauzustand	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	h) 3.3 Herstelltoleranzen	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	i) 4.1 Widerstand der Baustoffe	k.P.		
	j) 4.2 Widerstand der Konstruktion (Detailausbildung)			k.P.
	k) 5. Robustheit	k.P.		k.B.
4.3	Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit, Betriebsoptimierung	⇒ Inhalt aus dem gestrichenen Kriterium 3.4 integriert		
	1. Optimierung des Betriebs durch die Konstruktion			
	a) 1.1 Bauart der Brücke			k.B.
	b) 1.2 Besichtigungsgeräte	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	c) 1.3 Erhaltung des Korrosionsschutzes	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	d) Zugänglichkeit (von Tunnel)			k.P.
	2. Optimierung des Betriebs durch die Bauwerksausrüstung			
	a) 2.1.1 Unterstützung des Winterdienstes	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	b) 2.1.2 Anti-Graffiti-Prophylaxe	k.B.		
	c) 2.1.3 Wartungs- und Pflegeaufwand für Lärmschutzwände (LSW)	k.B.		k.P.
	d) 2.1.4 Dauerhafte Abriebfestigkeit und UV-Beständigkeit der Lärmschutzwand	k.B.		
	e) 2.1.5 Bauwerksbeleuchtung	k.B.		
	f) 2.1.6 Leuchtmittel der Fahrbahn- bzw. der Brückenbeleuchtung	k.B.		
	g) 2.2.1 Wasserdichte Übergangskonstruktion	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	h) 2.2.2 Art der Bauwerksabdichtung	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	i) 2.2.3 Tropftüllen bei Walzasphalt	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	j) 2.2.4 Bauart des Fahrbahnübergangs	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	k) 2.2.5 Gestaltung der Fugen	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	l) 2.2.6 Zugängigkeit der Fugen	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	m) 2.2.7 Hohlraumgehalt der Fahrbahn	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	n) 2.3.1 Pressenansatzpunkte für den Lagerwechsel	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	o) 2.3.2 Erhaltung der Bauwerksbeleuchtung	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	p) 2.3.3 Schadensdokumentation	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	q) 2.3.4 Note der letzten Bauwerksprüfung	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	r) Zusatzausrüstung am Bauwerk (von Tunnel)			k.P.
	s) Entwässerungssystem (von Tunnel)	k.P.		k.P.
	t) Bepflanzung im Portalbereich (von Tunnel)			k.P.
4.4	Verstärkung und Erweiterbarkeit, Umnutzungsfähigkeit	⇒ Inhalt aus dem gestrichenen Kriterium 3.3 integriert		
	1. für Brücke	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	2. für Strecke	⇒ Kriterium für Tunnel nicht relevant		
	3. für Tunnel			
	a) 1. Verstärkungsmöglichkeiten	k.P.		k.P.
	b) 2. Erweiterbarkeit			k.P.
4.5	Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit, Demontagefreundlichkeit	k.P.		k.P.
4.6	Herstellbarkeit (neu)	k.P.	k.P.	k.P.

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2012

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

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

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

B 90: Fugenbewegung an der Ruhrtalbrücke Mintard
Eilers, Quaas, 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, Reißen € 17,50

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

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

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

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

2014

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

B 99: Intelligente Brücke – Zuverlässigkeitsbasierte Bewertung von Brückenbauwerken unter Berücksichtigung von Inspektions- und Überwachungsergebnissen

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2015

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

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

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

- B 115: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln**
Mayer, Brenninger, Großmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 116: Überwachungskonzepte im Rahmen der tragfähigkeitsrelevanten Verstärkung von Brückenbauwerken aus Beton**
Schnellenbach-Held, Peeters, Brylka, Fickler, Schmidt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 117: Intelligente Bauwerke – Prototyp zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells**
Thöns, Borrmann, Straub, Schneider, Fischer, Bügler
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 118: Überwachungskonzepte für Bestandsbauwerke aus Beton als Kompensationsmaßnahme zur Sicherstellung von Stand- sicherheit und Gebrauchstauglichkeit**
Siegert, Holst, Empelmann, Budelmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- B 119: Untersuchungen zum Brandüberschlag in Straßentunneln**
Schmidt, Simon, Guder, Juknat,
Hegemann, Dehn € 16,00
- B 120: Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit an einem 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, Staack
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- 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.
- B 133: Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit**
Mielecke, Graubner, Ramge, Hess, Pola, Caspari
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

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
-
- 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