

Lebenszyklus- management für Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 159

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly rounded and have a white outline, giving it a three-dimensional appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Lebenszyklus- management für Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur

**Entwicklung eines
verkehrsträgerübergreifenden,
indikatorgestützten Systems**

von

Anne Lehardt
David Seiler
Andreas Gerdes

KIT – Karlsruher Institut für Technologie
Institut für funktionelle Grenzflächen (IFG)

Alexander Bombeck
Kunibert Lennerts

KIT – Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Technologie und Management im Baubetrieb
(TMB)

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 159

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 Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, 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 Kommunikation.

Die Berichte der **Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 69.0002
Entwicklung eines verkehrsträgerübergreifenden indikatorgestützten Lebenszyklusmanagementsystems für Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur

Fachbetreuung

Ralph Holst

Referat

Grundsatzfragen der Bauwerkserhaltung

Herausgeber

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

Redaktion

Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
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 978-3-95606-542-2

Bergisch Gladbach, Dezember 2020

Kurzfassung – Abstract

Lebenszyklusmanagement für Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur – Entwicklung eines verkehrsträgerübergreifenden indikatorgestützten Systems

Die Leistungsfähigkeit der technischen Infrastruktur spielt für die Wettbewerbsfähigkeit und die gesellschaftliche Entwicklung von Ländern weltweit eine zentrale Rolle. Allerdings ist der Zustand der Infrastruktur in Deutschland unbefriedigend. Es besteht akuter Handlungsbedarf, welcher nicht nur durch höhere Investitionen zu bewältigen ist. Vielmehr braucht es innovative Ansätze im Lebenszyklusmanagement (LzM) der Verkehrsinfrastruktur. Im Rahmen dieses Projektes wurde für die Verkehrsträger Straße, Wasserstraße und Schiene ein verkehrsträgerübergreifendes Konzept für ein indikatorgestütztes LzM-System erarbeitet, wobei sich drei Teilprojekte (TP) unterscheiden lassen. Im TP Objekt wird das Einzelobjekt (z. B. Brücke oder Wehranlagen) als Bauwerk innerhalb eines Netzes und dessen zeitabhängige Zustandsentwicklung betrachtet. Im TP Netz wird die strategische Planung von Prävention-, Unterhalts- und Instandhaltungsmaßnahmen auf der übergeordneten Netzebene behandelt. Eine besondere Herausforderung stellt das TP Schnittstelle, d. h. die Verknüpfung der Netzebene mit der Objektebene dar. Diese Verknüpfung ist eine wichtige Voraussetzung für die Abstimmung strategischer und operativer Maßnahmen im Rahmen des LzM der Verkehrsinfrastrukturbauwerke. Für die Funktionalität des LzM-Systems ist ein einheitliches Bewertungssystem bzgl. des baulichen Zustands und der Verfügbarkeit der Verkehrsbauwerke unabdingbar. Große Herausforderungen stellen dabei der barrierefreie Austausch, die Verarbeitung und die Interpretation der erhobenen Daten von Objekt- auf Netzebene und vice versa dar. Es wurde hierfür ein modularer Prozess entwickelt, dessen Grundstruktur durch zusätzliche Module erweiterbar ist. Der kontinuierliche Verbesserungsprozess (KVP) ist in vier Phasen Plan, Do, Check und Act ausgestaltet (PDCA-Zyklus). Sie dienen der klaren Strukturierung und Trennung zwischen den Planungs- und Ausführungsebenen. In Plan wird festgelegt, welche Ziele verfolgt und wie sie erreicht werden können. Unter Do wird die Ausführung festgelegt. In Check wird die Zielerreichung überprüft und in Act wird auf die Ergebnisse reagiert.

Life cycle management system for transport infrastructure construction – development of an intermodal indicator-based system

The performance of the technical infrastructure plays an important role in the competitiveness and social development of countries worldwide. However, the state of infrastructure in Germany is unsatisfactory, so there is an acute need for action, which cannot only be overcome by higher investments. Rather, innovative approaches are needed in the life cycle management system (LCM) of transport infrastructure. Within the scope of this project, an intermodal concept for an indicator-based LCM-system has been developed for road, waterway and rail transport. Three subprojects (SP) can be distinguished: In SP Object, the individual object (e. g. bridge or weir) is regarded as a structure within a network and its time-dependent state development. The SP Network deals with the strategic planning of prevention, maintenance and repair measures at the higher network level. The Interface represents a special challenge, as it links the network level with the object level, which is an important prerequisite for the coordination of strategic and operational measures within the context of the LCM of transport infrastructure structures. For the functionality of the LCM-system, a uniform evaluation system regarding the structural condition and availability of the traffic structures is essential. Another major challenge is the barrier-free exchange, processing and interpretation of the collected data from object to network level and vice versa. Therefore, a modular process has been developed, consisting of a basic structure which can be extended by additional modules. The continuous improvement process (CIP) is divided into four phases: Plan, Do, Check and Act (PDCA cycle). They allow to clearly structure and separate the different levels of planning and execution. Plan defines which goals are to be pursued and how they can be achieved. The execution is defined under Do. In Check the achievement of objectives is reviewed and in Act the results are reacted to

Summary

Life cycle management system for transport infrastructure construction – development of an intermodal indicator-based system

Initial situation

The performance of the technical infrastructure plays a key role in the competitiveness and social development of an industrial nation like Germany. The technical infrastructure is more diverse than generally assumed. In addition to the transport segment, this also includes the energy, water, communal and industrial infrastructure segments. Restrictions in these different areas mean lower quality of life for individuals, reduced competitive capacity for the economy and reduced development opportunities for society. The question of the sustainability of infrastructure is therefore not a problem for individual interest groups, but a global challenge!

This is also illustrated by the "Agenda 2030 for Sustainable Development" of the United Nations (UN), in which many of the sustainability goals explicitly formulated the importance of infrastructure for achieving them (ROSA, 2017).

Analyzing the current global situation leads to the realization that considerable resources already have to be raised today in the industrialized countries in order to maintain only the status quo with regard to the condition of the buildings. In Switzerland, for example, with fixed assets currently amounting to CHF 830 billion, an investment requirement of CHF 177 billion is assumed for the period 2013-2030. (Zivilgesellschaftliche Plattform Agenda 2030, 2018). The situation in the United States is even more difficult. Here the investment requirement for the period 2013-2020 is estimated at \$ 3.6 trillion. These relations can be more or less transferred to all industrial countries.

In emerging and developing countries in Africa, South America, Asia and the Middle East, significant investments are being made, today and in the future, to build a functioning infrastructure. The durability and thus the sustainability of these constructions is of outstanding importance for these countries, because a greatly shortened service life

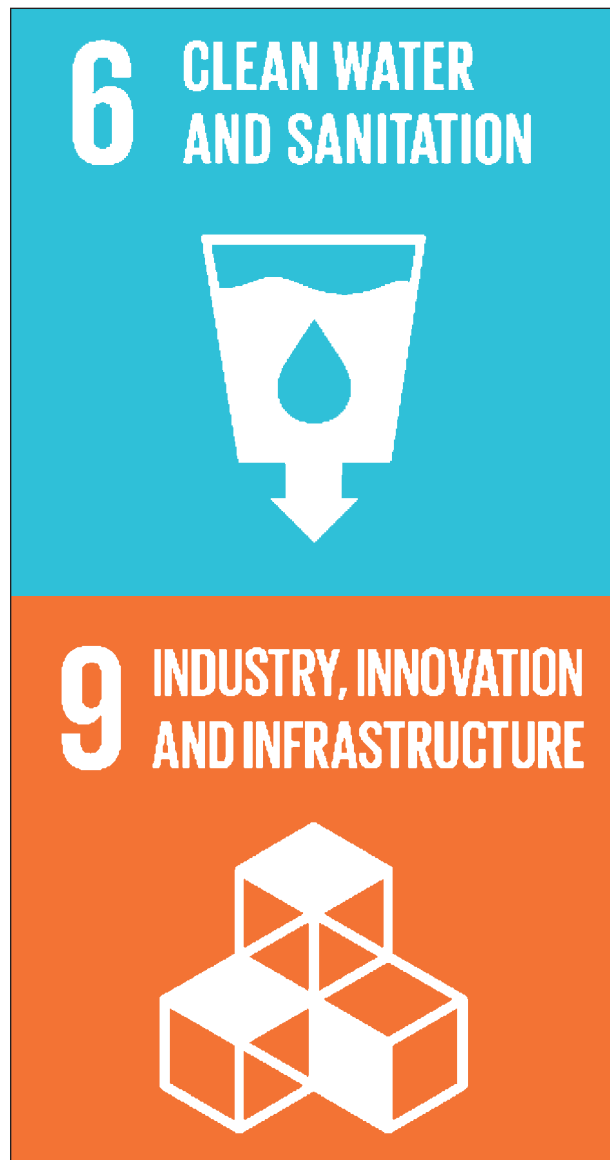


Fig. 1: Sustainable infrastructure is not only a goal of the 17 SDG of Agenda 2030, but also a prerequisite for achieving other goals

would at least greatly delay or even significantly set back the economic and social development of these countries. Since, however, many of these structures are being constructed based on the construction methods in the industrialised countries, it is to be expected that the future development of the structural condition will also be similar.

The national importance of the technical infrastructure

The state of the infrastructure in Germany is also unsatisfactory. Scientific studies, situation reports by the responsible federal offices, but also articles

in the daily press point to the limited functionality of the infrastructure in Germany. In 2014, for example, 1,594 of the 6,062 bridges in Baden-Württemberg had to be rehabilitated at short notice, while 448 required immediate repair or renewal. The greater part of these bridges has been built less than 25 years ago, so the planned maintenance-free service life of 80-100 years is far from being achieved.

These conditions are causing high, economically relevant costs in the federal budget and in the state budgets, as the already determined investment requirements for the period 2006-2020 for repair and renewal of more than 700 billion euros for the period 2006-2020 illustrate.

In Germany, municipalities play a special role in the development and maintenance of technical infrastructure, as around 60% of total German investment is in local infrastructure. Economies in the maintenance of buildings that may be financially necessary but technically unjustifiable in the past, an increasing shortage of specialists in public administration, high cost pressure and, last but not least, public tendering and award guidelines have all contributed to the fact that, despite increased municipal expenditure, the investment backlog is constantly increasing while the state of the infrastructure is deteriorating at the same time. Many of these municipalities are approaching or have already exceeded their limits despite flourishing income from taxpayers' money.

So, there is an acute need for action at the federal, state and local levels, which cannot be met solely by increasing public investment. Rather, innovation in the life cycle management of infrastructure in general and transport infrastructure in particular are necessary.

Goal setting

Based on the announcement of 26.09.2017 of the BMVI expert network, the KIT Innovation HUB Prevention in Construction was commissioned with the implementation of the project FE 69.0002/2017: "Development of an indicator-based life cycle management for transport infrastructure constructions" in a letter dated 18 December 2017. The Institute for Technology and Management in Construction Operations, Prof. Kunibert Lennerts,

was consulted as a partner institute for the practical implementation of the project.

Within the scope of this project, a cross-modal concept for an indicator-based life cycle management system (LCM-system) is being developed for road, waterway and railway transport, whereby three sub-projects can be distinguished in simplified terms.

The subproject Object deals with the specific object, i. e. the bridge, tunnel or weir as a structure within a subnetwork or the overall network and its time-dependent state development. With these data and with practicable prognosis models, prevention concepts are to be formulated and an object-specific maintenance management is to be established, with which the maintenance-free service life can be clearly extended.

The subproject Network deals with the strategic planning of prevention, maintenance and repair measures at the higher network level. Due to boundary conditions such as resource and time restrictions, it is not always possible to implement optimal maintenance strategies for the individual object at the desired time. In addition, any measures taken on the object always lead to functional disturbances, which can have far-reaching consequences for the network function of one or more traffic systems.

The subproject Interface, which links the network level with the object level, poses a specific challenge. This is an important prerequisite for the coordination of strategic and operational measures in the life cycle management of transport networks and individual transport structures.

However, requirements for the entire LCM-system can also be derived for the Total Project from the subprojects. Due to the claim "cross-modal", all buildings should ideally be managed in a preferably uniform LCM-system. Important characteristics of the LCM-system are the usability for all life cycle phases of the considered units, a simple and transparent connection of the object level with the network level, derivation of concrete actions for network and object level as well as the necessary involvement of all relevant stakeholders. Within the context of a continuous improvement process (CIP), the system should support the achievement of the set goals in LCM.

In summary, this project therefore aims to develop a cross-modal, indicator-based LCM-system that initiates a CIP at object and network level. However, the development is limited to the function of the information base and must be integrated into the processes of the respective organisations in order to develop its effect. I. e. the development presented here does not serve the automatic generation of decisions but is meant as support for the engineer in authority. The required work steps are designed to be as open as possible to methods so that proven working methods can be retained.

Challenges

Status indicators

Condition checks within the scope of maintenance management – e. g. those according to RI-ERH-KOR – are currently largely carried out visually. Here, crack widths are measured, and discolorations caused by corrosion are documented. Surfaces are tested with a hammer to detect possible cavities due to a changing sound. This means that critical parameters for damage mechanisms and thus for the structural condition are only recorded after damage has already occurred. In addition, this is a successive documentation of actual states. A goal-oriented life cycle management of the building conditions is not possible with these approaches.

Sustainability indicators

Sustainability and its implementation form a very broad field on which there are sometimes conflicting opinions. Also, the effort of different approaches to operationalization diverges greatly. In addition to simple indicators that describe qualitative characteristics, there are other indicators such as life cycle assessments, which place high demands on the quantity and quality of data, as well as on the expertise of the user. In this area of conflict, the development of a meaningful and practicable solution for the operationalization through indicators represents a great challenge.

Cross-modal considerations

None of the three modes of transport considered should be considered in isolation in decisions

affecting use. Diverse interdependencies of the transport networks mean that restrictions on the use of a route, regardless of its origin, can have cascade-like short and long-term effects within one of the transport system but also within other transport systems. For example, a study by Hanseatic Transport Consultancy found that rail freight traffic along the Karlsruhe-Basel railway line, which was interrupted by an accident in the Rastatt tunnel project, would be "partially lost in the long term" as a result of traffic relocation.¹ Conversely, this means that even medium-term usage restrictions on routes of one transport system – in the case described less than 2 months – have long-term consequences for routes of other transport systems that may already be heavily used, with all the consequences for people, the environment and infrastructure.

Cross-modal definitions and methods

Common, standardised definitions and methods are necessary for smooth communication between the different actors in all three transport systems under consideration. However, this is very difficult because of the different nomenclatures and approaches in maintenance management.

Information management

Aside from developing approaches to the above-mentioned topics, information procurement and information management pose cross-sectional problems. Transferring buildings from one management system to the next raises the question of the continuity of the data and the effort required to collect them. At the same time, the objective of the project requires uniform data bases across all modes of transport that have not been available up to now. There are also the general questions to be asked with each new definition of data requirements: Which data points actually provide long-term added value? How can the system be designed so that data maintenance is successful?

¹ HTC Hanseatic Transport Consultancy (2018): „Volkswirtschaftliche Schäden aus dem Rastatt-Unterbruch – Folgenabschätzung für die schienenbasierte Supply-Chain entlang des Rhine-Alpine Corridor 2017“, S. 64

Concept

Main idea of the developed concept is the collection, evaluation and tracking of material parameters, which allow general statements and prognoses about the condition of the structure. Therefore, visual inspections are supplement or partially replaced by analytical laboratory methods adapted to the material which are used as a basis for lifetime

prognoses, demand-oriented maintenance planning and cause analyses. In order to create a uniform information basis, selected material parameters are recorded and evaluated as indicators in criteria profiles. Nevertheless, this step is only one part of a much more wide-ranging quality assurance process which, in addition to material parameters, also includes other indicators (see figure 2). Designed in accordance with the PDCA cycle (Plan, Do, Check, Act),

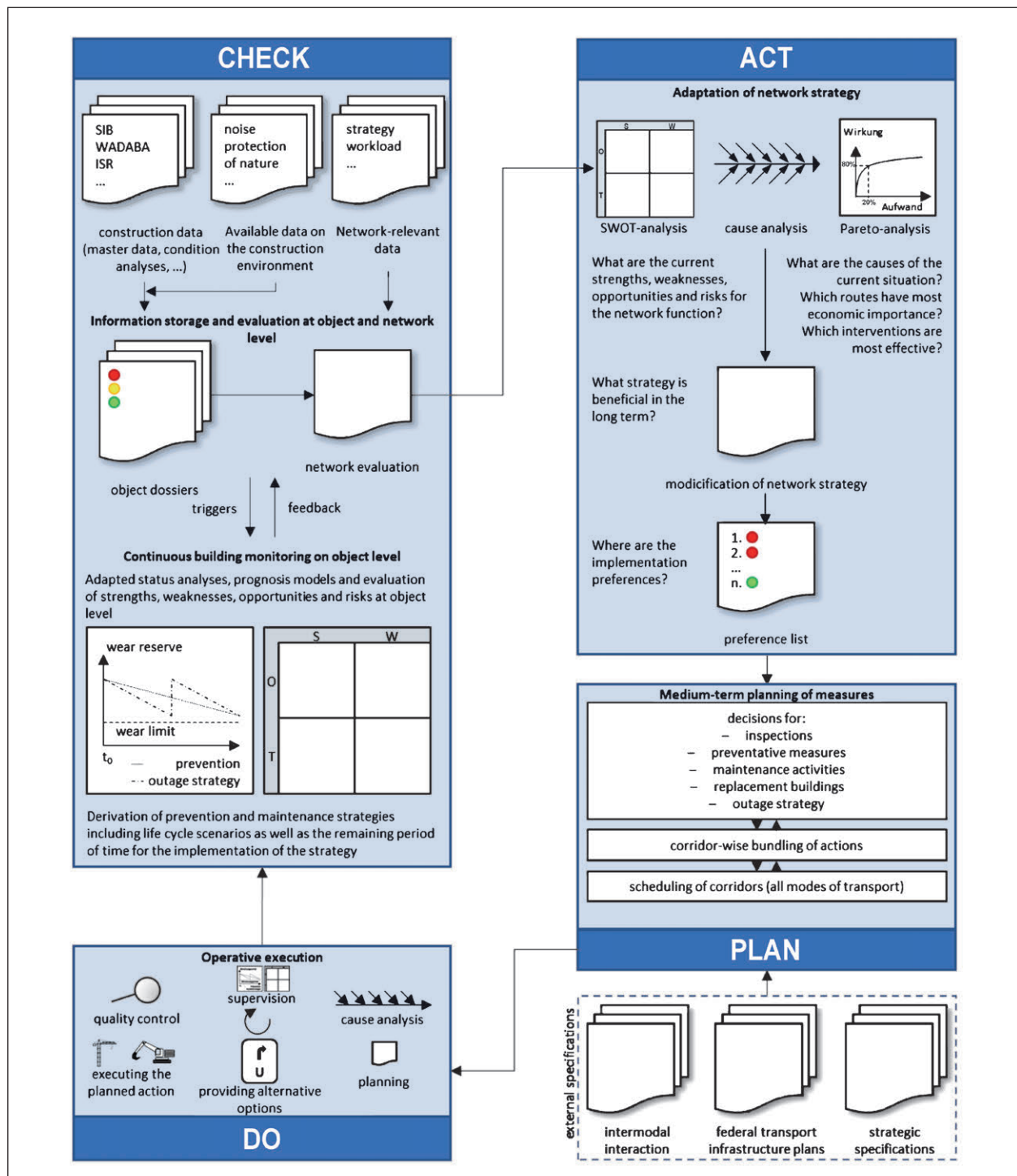


Fig. 2: Continuous improvement process for the life cycle management of transport infrastructure constructions

Act), the process serves to formulate individual objectives (Plan), execution (Do), verification of results (Check) and reaction to observed developments (Act).

During the Plan phase, it is assumed that an existing maintenance strategy must be implemented in a short- to medium-term action plan. Based on the available information, an optimal variant is sought at the strategic level and harmonized with the planning of adjacent administrative areas of the various transport systems.

Actions planned are executed in process step Do. Great importance is attached to a foresighted and sustainable execution. For this reason, the Do phase contains the usual steps of execution planning and execution as well as the explicit steps of cause analysis, provision of alternative routing options and quality control.

The process step Check includes data acquisition, storage and evaluation at object and network level. The key element of the process step is the collection and evaluation of laboratory analyses mentioned at the beginning. For strategy determination in maintenance at property level, the results of the analysis are evaluated using the indicators formulated in criteria and enriched by further criteria. The results of the continuous monitoring of the structure are included in the data management together with the other data that is stored for the construction.

Based on the data collected, the defined network strategy and other information, an evaluation at network level is carried out at the end of a period to check whether the improvements aimed for in the plan phase have been achieved.

The Act phase of the PDCA cycle adapts the existing network-wide strategy based on the object and network evaluation. For this purpose, the object and network evaluations are used to determine priorities for action. Under the condition that safety beats other concerns, the most effective projects are selected in accordance with the adapted strategy.

Inhalt

1	Einleitung – Ausgangssituation und Problemdarstellung	11	3.3.2	Maßnahmenbündelung	30
1.1	Die globale Bedeutung der technischen Infrastruktur	11	3.3.3	Zeitliche Abstimmung	30
1.2	Bedeutung und Zustand der nationalen technischen Infrastruktur	11	3.4	Phase Do	31
1.3	Projektbeschreibung und -ziele	12	3.4.1	Überwachung	31
2	Grundlagen und Definitionen	15	3.4.2	Ursachenanalyse	31
2.1	Lebenszyklusmanagement	15	3.4.3	Ausführungsplanung	32
2.1.1	Betrachtungsgegenstand und -ebenen	15	3.4.4	Bedeutung und Ausweichmöglichkeiten	32
2.1.2	Grundsätzliche Prinzipien für Lebenszyklusmanagement-Systeme	16	3.4.5	Ausführung der geplanten Maßnahmen	32
2.1.3	Kriterien und ihre Indikatoren	16	3.4.6	Qualitätskontrolle	32
2.2	Methoden	18	3.5	Phase Check	33
2.2.1	PDCA-Zyklus	18	3.5.1	Laufende Bauwerksüberwachung	33
2.2.2	Prognosemodelle	19	3.5.2	SWOT-Analyse auf Objektebene	33
2.2.3	SWOT-Analyse	19	3.5.3	Objektdossiers	35
2.2.4	Ishikawa-Diagramm	21	3.5.4	Netzbewertung	35
2.2.5	Pareto-Analyse	22	3.6	Phase Act	35
2.3	Kriterienkatalog	22	3.6.1	SWOT-Analyse auf Netzebene	35
2.3.1	Baulicher Objektzustand: Die wichtigsten chemischen Schädigungsmechanismen (siehe Appendix D) – Schädigungskriterien	22	3.6.2	Ursachenanalyse	36
2.3.2	Kriterien für die Netzebene	22	3.6.3	Pareto-Analyse	36
2.3.3	Nachhaltigkeitskriterien für ein Lebenszyklusmanagementsystem	24	3.6.4	Änderung der netzweiten Strategie	37
3	Vorstellung des entwickelten Lebenszyklusmanagement-Systems	26	3.6.5	Prioritätenliste	37
3.1	Grundkonzeption des Systems	26	4	Pilotprojekt	38
3.2	Übersicht über die Inhalte des Systems	27	4.1	Bauwerkstypen der einzelnen Verkehrsträger	38
3.3	Phase Plan	29	4.2	Validierung des LzM-Konzepts am Pilotprojekt „Brückenportfolio Autobahndirektion Süd-Bayern (ABDSB)“	38
3.3.1	Maßnahmenauswahl	30	4.2.1	Phase Do für das Beispiel „Brückenportfolio (ABDSB)“	38
			4.2.2	Phase Check für das Beispiel „Brückenportfolio (ABDSB)“	41

4.3	Übertragung des Konzepts auf die Bauwerke der Bundeswasserstraßen	45
4.3.1	Phase Do am Beispiel der WSV Neckar	45
4.3.2	Phase Check am Beispiel der WSV Neckar	45
4.4	Übertragung des Konzepts auf die Bauwerke des Bereichs Schiene	48
4.5	Zusammenfassung	48
5	Ausblick	48
	Literatur	50
	Bilder	52
	Tabellen	52

Der Appendix zum Bericht ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

1 Einleitung – Ausgangssituation und Problemdarstellung

1.1 Die globale Bedeutung der technischen Infrastruktur

Die Leistungsfähigkeit der technischen Infrastruktur spielt für die Wettbewerbsfähigkeit und die gesellschaftliche Entwicklung einer Industrienation wie Deutschland, aber auch für Schwellen- und Entwicklungsländer eine zentrale Rolle. Dabei ist die technische Infrastruktur vielfältiger als man auf den ersten Blick erwarten würde. Neben dem Segment Verkehr gehören dazu auch die Segmente Energie, Wasser, kommunale und industrielle Infrastruktur. Einschränkungen in diesen verschiedenen Bereichen bedeuten für den Einzelnen eine Absenkung der Lebensqualität, für die Wirtschaft Einschränkungen in der Wettbewerbsfähigkeit und für die Gesellschaft geringere Entwicklungsmöglichkeiten. Die Frage nach der Nachhaltigkeit der Infrastruktur ist daher nicht ein Problem einzelner Interessengruppen, sondern eine globale Herausforderung!

Das wird auch durch die „Agenda 2030 für eine nachhaltige Entwicklung“ der Vereinten Nationen (UN) verdeutlicht, in der in vielen der Nachhaltigkeitsziele explizit die Bedeutung der Infrastruktur für deren Erreichen formuliert wurde (ROSA, 2017).

Die Analyse der derzeitigen globalen Situation führt zu beunruhigenden Erkenntnissen. In den Industriestaaten müssen heute bereits erhebliche Mittel aufgebracht werden, um nur den Status quo beim Zustand der Bauwerke zu erhalten. So wird in der Schweiz bei einem Anlagevermögen von derzeit 830 Milliarden CHF von einem Investitionsbedarf von 177 Milliarden CHF im Zeitraum 2013–2030 ausgegangen (Zivilgesellschaftliche Plattform Agenda 2030, 2018). Noch schwieriger stellt sich die Situation in den Vereinigten Staaten dar. Hier wird der Investitionsbedarf bis 2025 auf \$ 4,5 Billionen beziffert¹. Diese Verhältnisse lassen sich mehr oder minder auf alle Industriestaaten übertragen.

In Schwellen- und Entwicklungsländern in Afrika, Südamerika, Asien und dem Mittleren Osten werden heute und auch zukünftig erhebliche Investitionen zum Aufbau einer funktionsfähigen Infrastruktur getätigt. Die Dauerhaftigkeit und damit die Nachhaltigkeit dieser Bauwerke hat für diese Länder eine herausragende Bedeutung, weil eine stark verkürzte Lebensdauer die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung dieser Länder zumindest stark

verzögern oder sogar deutlich zurückwerfen würde. Da aber viele dieser Bauwerke in Anlehnung an die Bauweisen in den Industriestaaten erstellt werden, ist zu erwarten, dass die zukünftige Entwicklung des Bauwerkszustandes auch ähnlich verlaufen wird.

1.2 Bedeutung und Zustand der nationalen technischen Infrastruktur

Der Zustand der Infrastruktur ist in Deutschland ebenfalls unbefriedigend. Wissenschaftliche Erhebungen, Lageberichte der zuständigen Bundesämter, aber auch Artikel in der Tagespresse, weisen auf die eingeschränkte Funktionsfähigkeit der Infrastruktur in Deutschland hin. So waren 2014 in Baden-Württemberg bei 1.594 der insgesamt 6.062 Brücken kurzfristig Instandsetzungen erforderlich und bei 448 Brücken war umgehend eine Instandsetzung oder Erneuerung notwendig (Betrachtet man die Flächen, so heißt das für Baden-Württemberg: 17 % der Brückenflächen im Bundesfernstraßennetz befinden sich in schlechten Zustand. Betrachtet man nur das Autobahnnetz, so ist die Situation noch gravierender 29 % der Brückenflächen sind in schlechtem Zustand und weitere 39 % in gerade ausreichendem Zustand)². Die überwiegende Zahl dieser Brücken ist nicht älter als 25 Jahre, die geplante instandsetzungsfreie Nutzungsdauer von 80–100 Jahren wird somit bei weitem nicht erreicht³.

Diese Verhältnisse sorgen im Bundeshaushalt und in den Landeshaushalten für hohe, volkswirtschaftlich relevante Belastungen, wie auch der bereits festgestellte Investitionsbedarf für den Zeitraum 2006–2020 für Instandsetzung und Erneuerung von über 700 Mrd. Euro verdeutlicht⁴.

Eine besondere Rolle für Entwicklung und Unterhalt der technischen Infrastruktur spielen in Deutschland die Kommunen, da ca. 60 % der deutschen Gesamtinvestitionen auf kommunaler Ebene getätigt werden. Finanziell vielleicht notwendige, technisch aber nicht zu rechtfertigende Einsparungen

¹ <https://www.businessinsider.de/asce-gives-us-infrastructure-a-d-2017-6?r=US&IR=T>

² ADAC: Brücken der Bundesfernstraßen

³ DIN EN 1990 – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002

⁴ Deutsches Institut für Urbanistik – Difu-Berichte 2/2008

beim Unterhalt der Bauwerke in der Vergangenheit, ein zunehmender Mangel an Fachleuten in der öffentlichen Verwaltung, hoher Kostendruck und nicht zuletzt die öffentlichen Ausschreibungs- und Vergaberichtlinien haben dazu beigetragen, dass trotz erhöhter kommunaler Aufwendungen der Investitionsstau bei gleichzeitiger Verschlechterung des Infrastrukturzustandes stetig zunimmt. Viele Kommunen nähern sich trotz florierender Einnahmen an Steuergeldern ihrer Belastungsgrenze oder haben sie bereits überschritten.

Es besteht also akuter Handlungsbedarf auf Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene, der nicht nur durch eine Steigerung der öffentlichen Investitionen bewältigt werden kann. Vielmehr braucht es innovative Ansätze für die Prüfung, Bewertung und Erhaltung unserer Infrastruktur im Allgemeinen und der Verkehrsinfrastruktur im Speziellen.

In Anbetracht der kostenintensiven Instandhaltung der Infrastruktur ist es von Nöten, ein nachhaltig effizientes Instandhaltungsmanagement zu betreiben. Der Fokus eines solchen Infrastrukturmanagements liegt auf der bestmöglichen Verfügbarkeit der Infrastruktur für alle Nutzer aus der Gesellschaft, der Industrie sowie der Wirtschaft, auf einem ökologisch und ökonomisch sinnvollen Einsatz von knapper werdenden Ressourcen und nicht zuletzt auf der langfristigen Planbarkeit von Investitionen der Kommunen in den Erhalt der errichteten Infrastrukturbauwerke. Für die Realisierung eines so beschriebenen Instandhaltungsmanagements wurde der Ansatz eines indikatorgestützten Lebenszyklusmanagementsystems gewählt. Das Lebenszyklusmanagement betreut und validiert bspw. ein Bauwerk während der gesamten Lebensdauer, von der Planungsphase über den Betrieb und die Instandhaltung bis zum eventuellen Abriss oder Neubau. Anhand einzelner Indikatoren (Kenngrößen) wird dabei der Zustand eines Bauwerks bestimmt und so die Wirkung von bereits erfolgten oder auszuführenden Maßnahmen bewertet sowie zukünftige notwendige Maßnahmen geplant.

1.3 Projektbeschreibung und -ziele

Basierend auf die Ausschreibung vom 26.09.2017 des BMVI-Expertenetzwerk wurde mit Schreiben vom 18. Dezember 2017 der KIT Innovation HUB Prävention im Bauwesen mit der Durchführung des Projektes FE 69.0002/2017: „Entwicklung eines Konzeptes für ein verkehrsträgerübergreifendes, in-

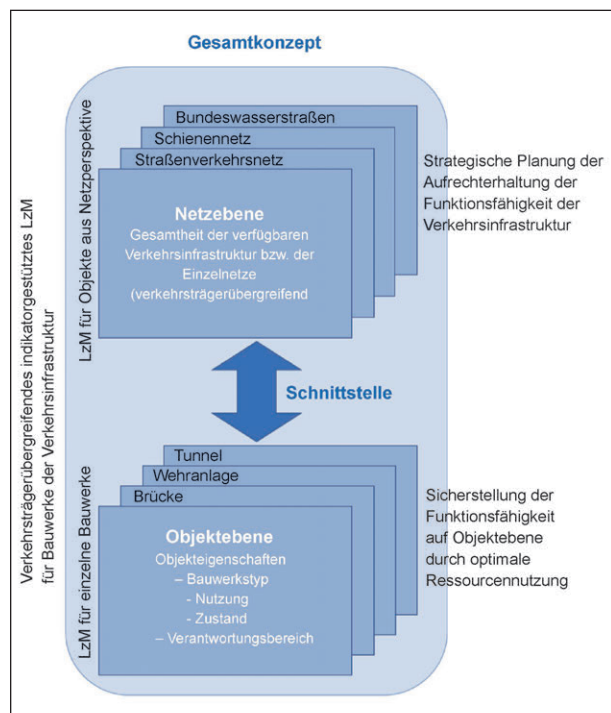


Bild 1: Schematische Darstellung des Projektkonzeptes

ikatorgestütztes Lebenszyklusmanagement für Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur“ beauftragt. Für die praktische Durchführung des Projektes wurde das Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, Prof. Dr. Kunibert LENNERTS, als Partner-Institut beigezogen.

Im Rahmen dieses Projektes wurde für die Verkehrsträger Straße, Wasserstraße und Schiene ein verkehrsträgerübergreifendes Konzept für ein modulares indikatorgestütztes Lebenszyklusmanagementsystem (LzM-System) erarbeitet. Das Vorhaben wurde in drei Teilprojekte untergliedert:

Objekt

In dem Teilprojekt Objekt ging es um das Einzelobjekt, d. h. die Brücke, der Tunnel oder die Schleuse als Bauwerk innerhalb eines Teil- bzw. des Gesamtnetzes und dessen zeitabhängige Zustandsentwicklung, welche durch gemessene Daten dokumentiert wird. Mit diesen Daten und mit praxistauglichen Prognosemodellen können Präventionskonzepte formuliert und ein objektspezifisches Instandhaltungsmanagement etabliert werden, wodurch die instandsetzungsfreie Lebensdauer deutlich zu verlängern ist.

Voraussetzung dafür ist die Charakterisierung des Bauwerkszustandes mit Verfahren und Technologi-

en, bei denen die Datenqualität ausreichend hoch ist. So kann nicht nur der aktuelle Zustand während der Erfassung realitätsnah abgebildet werden, sondern auch mithilfe praxistauglicher Prognosemodelle die zukünftige Zustandsentwicklung mit einer für die Praxis hinreichenden Genauigkeit abgeschätzt werden.

Dafür sind verkehrsträgerunabhängige Indikatoren auszuwählen, welche den Bauwerkszustand entlang des gesamten Lebenszyklus, d. h. schon während der Erstellung (Maßnahme: Qualitätskontrolle) über die Nutzungsdauer (Maßnahme: periodische Zustandsanalyse) bis zum Rückbau (Maßnahme: Bewertung Recyclingfähigkeit) objektiv und reproduzierbar erfassen. Die Untersuchungskonzepte zu einer wissenschaftlich abgesicherten Erfassung dieser Indikatoren müssen so ausgewählt werden, dass sich Synergieeffekte zwischen den unterschiedlichen Verkehrssystemen bei der Bauwerksbewertung (z. B. Verfahren und Auswertungsmethoden) realisieren lassen, insbesondere beim Austausch von Informationen, aber auch Fachwissen und Standardisierungen. Bei diesem Vorgehen sind die Informationen zum Langzeitverhalten und zur Dauerhaftigkeit der verwendeten Baustoffe bzw. Bauteile für unterschiedliche Belastungsszenarien allgemein gültig und auf die anderen Verkehrsträger übertragbar. Bewährte und bereits in die Praxis eingeführte, aber auch neue Verfahren für die zerstörungsfreie Bauwerksprüfung vor Ort sowie Methoden der Hochleistungsanalytik im Labor stehen für diese objekt- und nutzungsspezifischen Analysen an Einzelbauwerken zur Verfügung.

Mit diesen Kenntnissen können einerseits zum Zeitpunkt der Untersuchungen (IST-Zustand) präzise Aussagen zu Schadensrisiken, Instandsetzungsaufwand und korrespondierenden Kosten bzw. Umweltbelastungen getroffen werden. Der besondere Vorteil dieses Vorgehens ist jedoch, dass sich mithilfe dieser Informationen auch die Auswahl und der zeitlich optimierte Einsatz von Vermeidungsstrategien gegen ein frühzeitiges Bauwerksversagen als Teil des Instandhaltungsmanagements genau planen lassen. Zu diesen bereits erfolgreich in der Praxis eingesetzten Verfahren und Dienstleistungen, die sich auch mit dem Begriff „Prävention“ umschreiben lassen, zählt u. a. die Tiefenhydrophobierung. Dadurch lässt die Aufnahme von Tausalzen bei Neubauten und bei Bestandsbauwerken über einen Zeitraum von 20 Jahren vermeiden.⁵

Netz

Im Teilprojekt Netz wurde die strategische Planung von Prävention-, Unterhalts- und Instandhaltungsmaßnahmen auf der übergeordneten Netzebene behandelt. Aufgrund von Randbedingungen wie Ressourcen- und Zeitrestriktionen, können für das Einzelobjekt optimale Instandhaltungsstrategien nicht immer zum gewünschten Zeitpunkt umgesetzt werden. Darüber hinaus führen jegliche Maßnahmen am Objekt stets zu Funktionsbeeinträchtigungen, die im ungünstigsten Fall weitreichende Konsequenzen für die Netzfunktion eines oder mehrerer Verkehrsträger bedeuten können. Umfangreiche Funktionsbeeinträchtigungen an einer Straßenbrücke beispielsweise können zu Verkehrseinschränkungen in einer ganzen Region führen. Aktuell ist dies an der Rheinbrücke Leverkusen zu beobachten: Aufgrund von Schäden dürfen Fahrzeuge über 3,5 Tonnen die Autobahnbrücke nicht befahren, die Fahrzeuge müssen daher weiträumig Ausweichstrecken benutzen. Die betroffenen Abschnitte gehören zu den meist befahrenen Fernstraßen Europas. Die Verlagerungen bringen die betroffene Infrastruktur an die „Grenze ihrer Belastbarkeit“ und temporär darüber hinaus. Der Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen warnt daher vor einem Verkehrsinfarkt, der „die Lebensqualität und Wettbewerbsfähigkeit der Region“ bedroht (Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen, 2019).

Beim Lebenszyklusmanagement von Verkehrsinfrastruktur auf Netzebene handelt es sich folglich um ein multikriterielles Problem, bei dem der Bauwerkszustand nur eine von vielen Randbedingungen darstellt, wenn auch eine besonders bedeutsame. Um eine positive Wirkung zu erzielen, muss die strategische Planung von Präventions-, Unterhalts- und Instandhaltungsmaßnahmen auf Netzebene auch direkte und indirekte Effekte der Maßnahmen miteinbeziehen. Im Projekt werden daher Indikatoren zur Beurteilung deren volkswirtschaftlicher bzw. gesellschaftlicher Bedeutung und resultierender Konsequenzen aus Verkehrsbeeinträchtigungen vorgeschlagen. Die Indikatoren werden einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess unterzogen und mittels standardisierter Methoden der Strategieplanung analysiert. Auf Basis dieser Ana-

⁵ THIS 08/2012: Spezialsilane schützen Brückenpfeiler vor Salz – Tiefenhydrophobierung statt Vollsanierung

lyse werden Hilfestellungen zur Strategieformulierung gegeben. Eine wichtige Rolle im Prozess spielt auch die Kommunikation zwischen verschiedenen Verwaltungsebenen und Verkehrsträgern, die durch die Verwendung einheitlicher Indikatoren nicht nur stark vereinfacht, sondern auch effizienter wird.

Schnittstelle

Eine besondere Herausforderung stellt das Teilprojekt Schnittstelle dar, in dem die Verknüpfung der Netzebene mit der Objektebene erfolgt. Diese Verknüpfung ist eine wichtige Voraussetzung für die Abstimmung strategischer und operativer Maßnahmen im Rahmen des Lebenszyklusmanagements der Verkehrsnetze bzw. einzelner Verkehrsbauwerke. Für die Funktionalität eines verkehrsträgerübergreifenden LzM-Systems ist ein vereinheitlichtes Bewertungssystem bzgl. des baulichen Zustands und damit einhergehend der Verfügbarkeit der Verkehrsbauwerke unabdingbar. Besondere Herausforderungen stellt dabei der barrierefreie Austausch, die Verarbeitung und die Interpretation der erhobenen Daten von Objektebene auf Netzebene und vice versa dar.

Die Integration von Objekt- und Netzebene im kontinuierlichen Verbesserungsprozess und damit die Ausgestaltung der Schnittstelle sind daher flexibel und durchlässig zu gestalten. Ein Netz kann bedarfsgerecht aus einer Auswahl von Einzelobjekten definiert werden. Die Bewertung des Netzes erfolgt dabei auf Basis der aggregierten Einzelobjektdaten unter Hinzunahme weiterer netzrelevanter Informationen. Diese Ausgestaltung trägt auch den verschiedenartigen Netz- und Verwaltungsstrukturen der Verkehrsträger Rechnung.

Die anpassungsfähige Definition eines Netzes ermöglicht, dass jeder Nutzer des Systems seinen individuellen Verantwortungsbereich abbilden kann. Somit kann die Nutzerakzeptanz gesteigert und nicht so begrenzt werden, dass (über-)regionale Auswirkungen von Maßnahmen oder Ereignissen nicht in die strategische Analyse einfließen. Der Einbezug der volkswirtschaftlichen Bedeutung und resultierender Konsequenzen aus Verkehrsbeeinträchtigungen als Indikatoren, sowie die Verankerung netzübergreifender Kommunikation im kontinuierlichen Verbesserungsprozess verhindern solche Einschränkungen in der Betrachtung und somit einseitige Optimierungen.

Weitere wichtige Anforderungen an die Schnittstelle zwischen Objekt- und Netzebene ist die Optimierung des Einsatzes der finanziellen Mittel hinsichtlich Umfang und Zeitpunkt sowie die Realisierung der angestrebten Verlängerung der instandsetzungsfreien Lebensdauer.

Gesamtprojekt

Für das Gesamtprojekt lassen sich aus den Teilprojekten Anforderungen für das gesamte LzM-System ableiten. Durch den Anspruch „verkehrsträgerübergreifend“ sollten alle Bauwerke in einem einheitlichen LzM-System gemanagt werden. Wichtige Charakteristika des LzM-Systems sind die Anwendbarkeit für alle Lebenszyklusphasen der betrachteten Einheiten, eine einfache und transparente Verknüpfung der Objektebene mit der Netzebene, Ableitung konkreter Handlungen für Netz- und Objektebene sowie die dafür notwendige Einbeziehung aller relevanten Stakeholder. Im Einzelnen wären dies alle Prozessschritte, die während Konzeption, Planung und Errichtung notwendig sind, aber auch über das Management des Baubestands hinaus bis zum geplanten Rückbau. Das System sollte im Rahmen eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) die Erreichung der gesetzten Ziele im LzM unterstützen.

Die für die oben beschriebenen Anforderungen notwendigen technischen und organisatorischen Bedingungen sind bisher nicht gegeben. Einerseits ist das Building Information Modeling (BIM), welches in Zukunft die Informationsgrundlage und das Arbeitswerkzeug für alle Lebenszyklusphasen darstellen soll, noch nicht einmal im Neubau Stand der Technik. Andererseits bestehen nicht die organisatorischen Kapazitäten zur kurz- bis mittelfristigen Erfassung aller bestehenden Bauwerke und Infrastrukturen mit der erforderlichen Datenqualität. Zudem übersteigt der Umfang der potenziell in ein LzM-System einzubindenden Prozesse den Funktionsumfang von bisherigen Software-Lösungen bzw. diese Prozesse sind bis heute nicht standardisiert.

Zusammenfassend strebt dieses Projekt daher, ausgehend von den oben beschriebenen Anforderungen, die Entwicklung eines verkehrsträgerübergreifenden, indikatorgestützten LzM-Systems, welches einen KVP auf Objekt- und Netzebene anstößt, an. Die Entwicklung ist jedoch auf die Funktion der Informationsgrundlage für lebenszyklusphasenübergreifende Entscheidungen beschränkt und

muss zur Entfaltung seiner Wirkung von den entsprechenden Organisationen in ihre Prozesse eingebunden werden. D. h. die hier vorgestellte Entwicklung dient nicht der automatischen Generierung von Entscheidungen, sondern ist lediglich als Unterstützung für den bearbeitenden Ingenieur gedacht. Die geforderten Arbeitsschritte sind soweit wie möglich methodenoffen gestaltet, sodass bewährte Arbeitsweisen beibehalten werden können. Die Methodik ist in Kapitel 2.2 genauer beschrieben.

In Bezug auf die hier betrachteten Netze der unterschiedlichen Verkehrsträger (Schiene, Straße, Wasserstraße) und Bauwerke (wie Brücken, Wehr etc.) als Teil des Netzes ergeben sich eine Reihe gemeinsamer und individueller Ziele im LzM, die in einem modularen LzM-System mit einheitlicher Bewertungssystematik zusammengeführt werden.

2 Grundlagen und Definitionen

2.1 Lebenszyklusmanagement

Lebenszyklusmanagement (LzM) ist in Deutschland bisher ein nicht normativ gefasster Begriff. Die Interpretation des Begriffes ist dementsprechend sehr stark davon abhängig in welchen technischen Bereichen und Zusammenhängen er zur Anwendung kommt. Allen Definitionen inhaltlich gemein ist aber die Erweiterung des Entscheidungsraums von kurzfristigen Kosten-Nutzen-Betrachtungen, die ausgehend vom aktuellen Zustand auch mögliche zukünftige Ereignisse im Lebenszyklus der betrachteten Einheit mitberücksichtigen.

Im Rahmen des hier dokumentierten Projektes wird der Begriff Lebenszyklusmanagement in Anlehnung an die Definition von PELZETER (2017) und die Definition von Instandhaltung nach DIN 31051 (DIN 31051, 2018) wie folgt definiert:

„Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Einheit mit dem Ziel einer lebenszyklusphasen-übergreifenden Nutzungs-, Ressourcen- und Informations-Optimierung.“

Aus dieser Definition leiten sich für die Infrastrukturbauwerke die Ziele der Nutzungs-, Ressourcen- und Informationsoptimierung ab, die im Folgenden näher beschrieben werden.

Unter der Nutzungsoptimierung sind alle Aktivitäten zu verstehen, welche die geplante Nutzung des betrachteten Objekts ermöglichen und den Nutzen der Einheit darüber hinaus steigern. Oberste Ziele sind dabei Tragfähigkeit (auch Tragsicherheit) und Gebrauchstauglichkeit der Einheit. Weiterhin ist die Optimierung der Einheit hinsichtlich ihrer Eigenschaften wie Sicherheit im Betrieb, Zugänglichkeit, Ausstattung etc. anzustreben. Die Nutzungsoptimierung hat die höchste Priorität im LzM, da weitere Optimierungen in den anderen Bereichen bei mangelnder Tragfähigkeit bzw. Gebrauchstauglichkeit wertlos sind.

Die Ressourcenoptimierung beschreibt den verantwortungsvollen und wirtschaftlichen Umgang mit stofflichen, energetischen, finanziellen und sonstigen relevanten Ressourcen, wie beispielsweise dem zur Verfügung stehenden Carbon-Budget. Die Optimierung der in diesem Ziel subsumierten Ressourcen visiert grundsätzlich eine Reduktion deren Einsätze über den Lebenszyklus an.

Im Gegensatz dazu wird bei der Ressource Information bezüglich der Optimierung auf Verfügbarkeit, Aktualität und Strukturierung abgezielt. In dieser Hinsicht unterscheidet sich die Ressource Information von den anderen zuvor genannten Ressourcen.

Ein Lebenszyklusmanagement-System (LzM-System) hingegen ist ein integrierter Management-Rahmen, der z. T. verschiedene Konzepte, Verfahren und Maßnahmen beinhaltet. Daher verbindet ein LzM-System verschiedene operative Ansätze, Strategien, Methoden, Werkzeuge und Daten, integriert technologische, ökologische, ökonomische und soziale Aspekte und zeigt gleichzeitig, wie diese Aspekte miteinander verbunden sind und wie mit diesen umgegangen werden kann (siehe auch GEMECHU et al., 2015).

2.1.1 Betrachtungsgegenstand und -ebenen

Das Projekt umfasst drei unterschiedliche Verkehrssysteme: Straßenverkehr, Schiffsverkehr und Schienenverkehr. Betrachtungsgegenstand ist die bauliche Infrastruktur der Verkehrswege Bundesfernstraßen (Bundesautobahnen und Bundesstraßen), Bundeswasserstraßen und Eisenbahninfrastruktur. Im Folgenden werden die Verkehrssysteme vereinfacht als Straße, Wasserstraße und Schiene benannt.

Die Verkehrsinfrastruktur jedes Verkehrssystems besteht aus einer Vielzahl einzelner Bauwerke. Im Bericht werden verschiedene Begriffe genutzt, um unterschiedliche Betrachtungsebenen voneinander abzugrenzen. Aufgrund der sehr heterogenen Organisationsstruktur der zuständigen Behörden und zugrundeliegenden Infrastrukturen sind die Begriffe flexibel definiert:

- Die Objektebene bezieht sich auf individuelle Bauwerke jeglicher Art, z. B. Straße, Eisenbahntunnel oder Wehranlagen. Objekte sind ein Betrachtungsgegenstand des hier vorgeschlagenen LzM-Systems.
- Der Begriff Korridor bezieht sich auf die Gesamtheit aller Bauwerke eines definierten Verkehrsweges. Korridorweise Untersuchungen sind Teil der vorgeschlagenen Analysemethoden. Die Definition eines Korridors ist aufgabenabhängig, d. h. flexibel definiert.
- Die Netzebene bezieht sich auf die Gesamtheit aller Bauwerke eines definierten Verkehrssystems im Zuständigkeitsbereich des Anwenders, also beispielsweise des Zuständigkeitsbereiches einer Behörde oder Amtes. Netze sind ein Betrachtungsgegenstand des hier vorgeschlagenen LzM-Systems.
- Verkehrsträgerübergreifende Betrachtungen adressieren die Netze aller drei adressierten Verkehrssysteme. Verkehrsträgerübergreifende Betrachtungen sind Teil der vorgeschlagenen Analysemethoden.

2.1.2 Grundsätzliche Prinzipien für Lebenszyklusmanagement-Systeme

Die Literatur bietet zahlreiche Ansätze zur Ausgestaltung von LzM-Systemen, von denen einige im Appendix A und B kurz vorgestellt werden. An dieser Stelle werden lediglich ausgewählte Kernaussagen zu elementaren Prinzipien verschiedener Konzepte zusammengetragen:

- Durch eine zustandsbasierte Instandhaltung soll die Gebrauchstauglichkeit von Objekten bei geringeren Kosten zuverlässiger und langfristiger garantiert werden können (FRANGOPOL, 2011).
- Der Einfluss der Instandhaltung auf die statische Leistungsfähigkeit kann quantifiziert und in multikriteriellen Optimierungsproblemen integriert

werden (ALFRED et al., 2018; FRANGOPOL et al., 2017).

- Übliche Ziele auf Objektebene sind die Gewährleistung von Sicherheit, Minimierung der assoziierten Kosten und Qualitätskontrolle (ALFRED et al., 2018; FRANGOPOL and SOLIMAN, 2016; SÁNCHEZ-SILVA et al., 2016).
- Auf Netzebene besteht die Zielstellung, Faktoren wie die Zuverlässigkeit (Fahrzeit, Kapazität) und Reduktion der kumulierten internen und externen Kosten langfristig zu verbessern (FRANGOPOL and LIU, 2007; SÁNCHEZ-SILVA et al., 2016).

Diese grundsätzlichen Prinzipien und ihre Auswirkungen auf die Anforderungen an ein LzM-System werden im folgenden Abschnitt weiter ausgeführt.

2.1.3 Kriterien und ihre Indikatoren

Die systematische Bewertung von Sachverhalten erfordert definierte Regeln, welche das Bewertungsverfahren klar beschreiben. Zu diesem Zweck bedient sich der Bericht sogenannter Kriterien. Ein Kriterium adressiert dabei einen definierten Sachverhalt. Zu jedem Kriterium gehört ein Ziel, das den Nutzen der Bewertung formuliert. Ob ein Kriterium erfüllt wird oder nicht wird anhand von einem oder mehreren Indikatoren überprüft. Indikatoren sind also quantitative oder qualitative Größen, anhand deren die Einhaltung des Kriteriums überprüft werden kann. Kriterien sind im Sinne dieses Berichts stets nach demselben System aufgebaut und enthalten folgende grundlegenden Informationen (vgl. auch Bild 2):

- Ein Ziel erläutert welcher Nutzen mit der Überprüfung des Kriteriums erreicht werden soll. Ziele enthalten weiterhin einen zeitlichen Bezug zur Umsetzung und ein Zielausmaß, welches den Umfang der Zielerreichung wiedergibt.
- Ein Kriterium adressiert eine oder mehrere Fragestellungen, die die Zielerreichung beeinflussen. An dieser Stelle werden Modelle zur Beschreibung der Fragestellung sowie Methoden zur Bearbeitung vorgestellt.
- Indikator sind die Kennzahlen bzw. Messgrößen anhand derer die Bewertung stattfindet. Es handelt sich vornehmlich um quantitative Größen, es können aber auch qualitative Größen abgefragt werden.

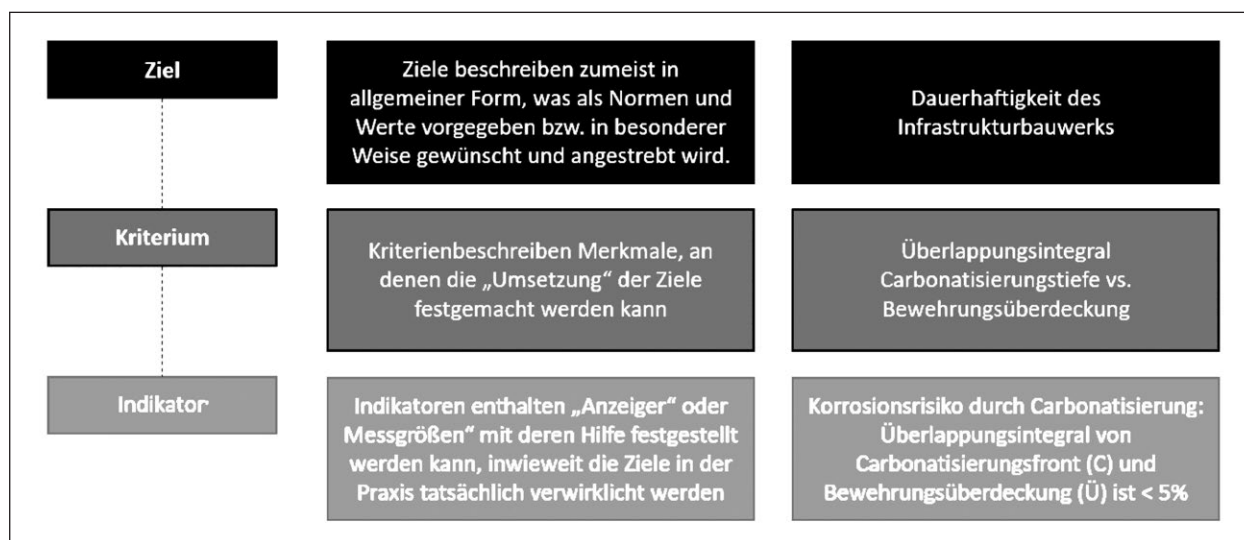


Bild 2: Hierarchische Ordnung und Beispiele zu den Begriffen „Ziel“, „Kriterium“ und „Indikator“

Die in den Kriterien abgefragten Indikatoren werden über die Lebensdauer der betrachteten Objekte systematisch erfasst. Das Vorgehen ist modular: Die Ziele des LzM werden in Kriteriensteckbriefen erfasst, die Erreichung der Ziele durch Indikatoren auf Basis von quantitativen bzw. qualitativen Kenngrößen gemessen. Auf Basis von Nutzung (Straße, Schiene, Wasserstraße) und Bauwerksart (Verkehrszeichenbrücke, Brücke, Wehr) erfolgt die Zuordnung der Kriterien bzw. Indikatoren. Die benötigten Informationen für ein erfolgreiches LzM sind in erster Linie werkstoff- und bauwerksspezifisch, es spielen aber auch ökonomische, ökologische, und soziale Komponenten eine wichtige Rolle. Daher müssen theoretisch alle Kriterien und Kenngrößen individuell bestimmt werden, häufig können aber in räumlich abgegrenzten Gebieten aufgrund von ähnlichen Anforderungsprofilen sowie ähnlichen Umwelt und klimatische Gegebenheiten „Cluster“-Eigenschaften angenommen werden. Für das System kommt daher die in Bild 3 dargestellte Matrixzuordnung von Kriterien zur Anwendung.

Je nach Nutzung werden unterschiedliche Kriterien zugeordnet. So unterscheiden sich beispielsweise Brücken im Netz Straße vom Netz Schiene in vielfacher Hinsicht. Aus unterschiedlichen Verkehrsträgern resultieren beispielsweise unterschiedliche externe Effekte bei vorübergehenden Nutzungseinschränkungen. So müssen bei Straße und Bahn jeweils Ausweichkorridore freigehalten werden, während bei den Wasserstraßen eine komplette Umlagerung der Transportwege vom Wasser auf Straße oder Schiene erfolgen muss. Aus Straßensperrungen resultieren die höhere Belastung von Ausweich-

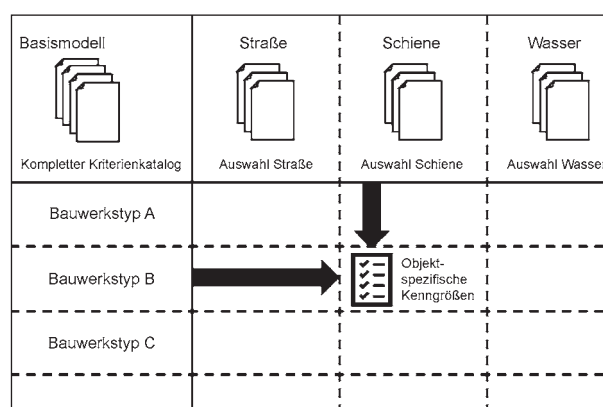


Bild 3: Sinnbild objekt- und nutzungsspezifischer Kriterienkatalog

strecken und dadurch verursachte Staus. Auf der Schiene führen Streckensperrungen zu Zugausfällen und Verspätungen durch Umleitungen.

Auf Objektebene erfolgt eine weitere Eingrenzung der Kriterien. Versinnbildlicht werden kann dies am Unterschied zwischen den Lebenszyklen von Stahl- und Stahlbetonbauten. Auf den Stahlbau treffen andere Lebensdauerprognose-Modelle zu als auf den Stahlbetonbau.

Aufgrund des wachsenden Bedarfs an Bewertungs- und LzM-Systemen finden sich in der Literatur für alle Betrachtungsebenen Dutzende von Vorschlägen für Kriterien und Indikatoren und deren Einbindung in Prozesse. Dabei besteht die Gefahr, dass die Anforderungen an das LzM-System so hoch sind, dass durch Überfrachtung mit abzubildenden Prozessabschnitten dieses unhandlich und wenig praxistauglich wird. Daher müssen Kriterien und In-

dikatoren im LzM-System verschiedenen Anforderungen gerecht werden, um im LzM-System berücksichtigt zu werden. So soll vermieden werden, dass das LzM-System durch zu hohe Anforderungen an Quantität und Qualität der Daten deren Erhebung und darauf basierende Entscheidungen verzögert oder durch den damit verbundenen Aufwand unwirtschaftlich werden.

Vielmehr sollen mithilfe praxisgerechter LzM-Systeme Entscheidungsprozesse durch die Formulierung technisch nachvollziehbarer Alternativen erleichtert werden.

Für den hier zu betrachtenden Fall eines verkehrsträgerübergreifenden, indikatorgestützten LzM-Systems heißt das konkret, dass bereits bei der Konzeptentwicklung ein besonderes Augenmerk auf die sorgfältige Auswahl technischer Kriterien und Indikatoren, – vor allem auch in Anbetracht der großen Anzahl der zu prüfenden Bauwerke, die unter verschiedenen äußeren Einflüssen betrieben werden – zu richten ist.

Dabei spielt das für alle LzM-Systeme anzustrebende Ziel, ausgehend von Betrachtungen auf der Netzebene Managemententscheidungen konkret auf der Objektebene für einzelne Bauwerke zu treffen und vice versa, eine bedeutende Rolle. Dies setzt aber die Entwicklung einer in beide Richtungen wirkenden Schnittstelle zwischen Netz- und Objektebene voraus, durch die technische Zusammenhänge für die jeweiligen Betrachtungen übersetzt werden.

Die Kriterien bzw. Indikatoren sollen hinsichtlich ihrer Relevanz, Qualität und Umsetzbarkeit anhand nachfolgender Punkte überprüft werden. So lässt sich die Praktikabilität einschätzen und sinnvolle von weniger sinnvollen Kriterien trennen. Die Relevanz, Qualität und Umsetzbarkeit ausgewählter Kriterien bzw. Indikatoren sollte anhand folgender Punkte überprüft werden:

1. Beitrag zum Leitbild der lebenszyklusübergreifenden
 - a. Nutzungsoptimierung,
 - b. Ressourcenoptimierung,
 - c. Informationsoptimierung.
2. Relevanz des Kriteriums für die technische Bewertung
3. Praktikabilität der Erhebung/Umsetzung

4. Eignung für die Funktion als Teil der Schnittstelle

Die erste Überprüfung gilt dem Beitrag des Kriteriums bzw. des Indikators zum jeweils dimensionspezifischen Leitbild. Neben der Frage, ob ein Kriterium (Indikator) zum Leitbild beiträgt, ist die Frage nach seiner Relevanz entscheidend, so wäre es bspw. wünschenswert, den CO₂-Ausstoß bei der Herstellung einer Brücke zu minimieren, allerdings ist i. A. der Ausstoß der darüberfahrenden Autos und Lkws um ein vielfaches höher, sodass eine solche Optimierung nicht zielführend wäre. Auch wenn nicht immer eine abschließende quantitative Analyse möglich sein wird, so ist doch eine, die Realität hinreichend genau abbildende, Abschätzung zu treffen. Aufgrund der hohen Anzahl der zu betrachtenden Bauwerke sollten aber nur Kriterien mit einem signifikanten Einfluss auf die Ziele im Leitbild, wie die Standsicherheit des Bauwerks, in die Betrachtung mit aufgenommen werden.

Abschließend ist die praktische Anwendbarkeit der Kriterien zu hinterfragen. Nicht jede Information über das Bauwerk und seinen Zustand muss ständig vorgehalten werden und lässt sich mit angemessenem Aufwand aktuell halten. Die Auswahl der Kriterien sollte beiden Umständen Rechnung tragen.

2.2 Methoden

2.2.1 PDCA-Zyklus

Für ein objektspezifisches und erfolgreiches LzM reicht eine generische Informationssammlung mit angeschlossener Bewertung nicht aus. Die Bewertung des Ist-Zustands ist lediglich ein einzelner Schritt im Managementprozess. Im Sinne des übergeordneten Ziels einer lebenszyklusphasenübergreifenden Nutzungs-, Ressourcen- und Informations-Optimierung liegt ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP) vor, der sich im LzM-System widerspiegeln muss.

In diesem Projekt wird hierfür auf den PDCA-Zyklus als konkrete Ausgestaltung des KVP⁶ zurückgegriffen.

⁶ Die Begriffe „KVP“ und „PDCA-Zyklus“ werden im Folgenden teilweise synonym verwendet.

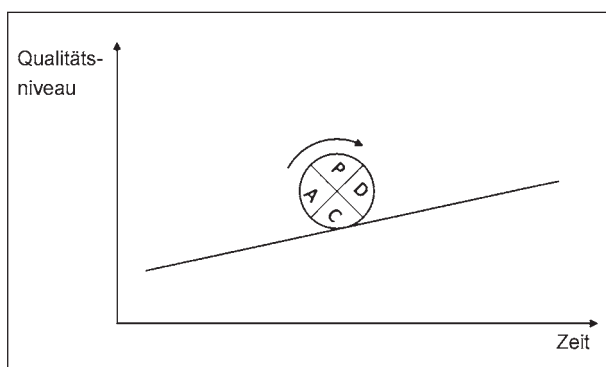


Bild 4: Sinnbild für den PDCA-Zyklus

fen. Der PDCA-Zyklus ist ein sich in den vier Phasen Plan, Do, Check und Act wiederholender, iterativer Kreisprozess. Jeder Zyklus beginnt mit der Phase Plan. In dieser wird festgelegt, welche Ziele im Zyklus verfolgt werden und welche Schritte dafür ausgeführt werden. Unter Do wird die Ausführung zusammengefasst. In der Phase Check wird die Zielerreichung überprüft und anschließend wird in der Phase Act auf die Ergebnisse durch Korrekturen der Strategie oder zusätzliche Aktionen reagiert (KOCH, 2011, S. 118–119).

Durch die zyklische Wiederholung des Prozesses soll das Qualitätsniveau des zugrunde liegenden Prozesses langfristig verbessert werden. In Bild 4 wird der Zusammenhang in einem Sinnbild verdeutlicht: Mit laufender Zeit werden die vier Schritte Plan, Do, Check und Act immer wieder durchlaufen. Durch die zyklische Ausrufung neuer Ziele, der Umsetzung von Maßnahmen zur Erreichung dieser, der Überprüfung des Ergebnisses und anschließender Ableitung von Maßnahmen zur Korrektur wird beständig ein höheres Qualitätsniveau erreicht.

2.2.2 Prognosemodelle

Die Kenntnis über die zukünftige Zustands- bzw. Schadensentwicklung von Bauwerken spielt eine zentrale Rolle im hier entwickelten LzM-System, um beispielsweise rechtzeitig geeignete Maßnahmen, seien es präventive oder Instandsetzungsmaßnahmen einsetzen zu können.

Diese Zustands- bzw. Schadensentwicklung kann mithilfe von Prognosemodellen simuliert werden. Die Aussagen der Prognoseergebnisse können direkt in die Lebenszyklusbetrachtung von Bestandsbauten der Verkehrsinfrastruktur einfließen. Die Prognose der Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken ist ein aktuelles Thema der Forschung. Dabei sind

zwei grundsätzliche Prognoseverfahren zu unterscheiden: Zum einen Ingenieurmodelle, die unter Nutzung von gut beobachtbaren Parametern eine Prognose für einen Schädigungsprozess ermöglichen, und zum anderen komplexere Transport-Reaktions-Modelle. In verschiedenen Arbeitsgruppen wurden mehr oder weniger aufwendige Vorhersagemodelle für verschiedene Schädigungsmechanismen entwickelt, mit welchen die Entwicklung des Schadens simuliert werden und damit vorhergesagt werden kann. Bspw. lässt sich die Carbonatisierung durch das 2. Fick'sche Gesetz (auch das Prinzip der Quadratwurzel genannt) beschreiben.

Diese Prognosemodelle benötigen eine belastbare Datengrundlage. Bei Neubauten sollen diese Daten erstmals bei der Qualitätssicherung, also während der Erstellungsphase und ein zweites Mal bei der Qualitätskontrolle vor Ablauf der Gewährleistungsfrist (ca. 4,5 Jahre nach Erstellung) bestimmt werden.

Bei Bestandsbauten muss eine andere Vorgehensweise gewählt werden. Die benötigten Bauwerks- und Werkstoffkenngrößen müssen in diesem Fall sukzessive für die Bestandsbauwerke erhoben werden, ggf. im Zuge von Instandsetzungsmaßnahmen.

In Appendix E werden Prognose- und Vorhersagemodelle aus der Literatur für die wichtigsten Schädigungsmechanismen vorgestellt.

2.2.3 SWOT-Analyse

Die SWOT-Analyse⁷ ist eine Methode aus der Managementpraxis zur Beurteilung und Positionierung eines Unternehmens, einer Organisation oder Gruppe allgemein. Der genaue geschichtliche Ursprung der SWOT-Analyse lässt sich nicht mehr eindeutig klären. In der modernen Fachliteratur wird die SWOT-Analyse verschiedenen Professoren der Stanford University (z. B. Albert HUMPHREY) und der Harvard Business School (z. B. Kenneth ANDREWS und Roland CHRISTENSEN) zugeschrieben (PELZ, 2004). Sie wird zur Strategieentwicklung herangezogen. Aber auch in anderen Bereichen wird die SWOT-Analyse angewendet. Beispielsweise in der Projektarbeit wird die Methode

⁷ Vom Englischen strengths (Stärken), weaknesses (Schwächen), opportunities (Chancen) und threats (Risiken).

dafür genutzt, die eigenen Stärken auszubauen, die eigenen Schwächen zu minimieren, sich ergebende Chancen zu nutzen sowie Bedrohungen/Schwierigkeiten und Probleme zu identifizieren (Harvard Business School, 2005).

Bei der SWOT-Analyse handelt es sich um eine Situationsanalyse, die auf die Erfassung der momentanen und künftigen Lage der Betrachtungseinheit abzielt. Dabei wird unterschieden zwischen der Analyse der einheitsinternen Gegebenheiten (Stärken und Schwächen) und den einheitsexternen Umweltbedingungen (Chancen, Risiken). Ziel der SWOT-Analyse ist die Sammlung von Faktoren und die Betrachtung ihrer Wechselwirkungen, die entscheidend für den Erfolg aller aus der SWOT-Analyse abgeleiteten Maßnahmen und Strategien sind.

Visualisiert wird die Analyse durch die Verortung der identifizierten Faktoren in einer zweidimensionalen Matrix (vgl. Bild 5) mit vier Quadranten, die sich aus den unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten der internen und externen Einstufungskategorien ergeben. Auf Basis der Verortung werden nachfolgend Strategien und Maßnahmen abgeleitet. Eine Vorlage zur Konsensfindung bieten die folgenden vier Standardstrategien, die jeweils einem der vier Quadranten zugeordnet sind:

- Matching-Strategie (S-O): Wie können Strengths (Stärken) genutzt werden, um von den Opportunities (Chancen) profitieren zu können?
- Neutralisierungsstrategie (S-T): Wie können Strengths (Stärken) genutzt werden, um vor Threats (Risiken) zu schützen?
- Umwandlungsstrategie (W-O): Wie können Weaknesses (Schwächen) durch die Nutzung von Opportunities (Chancen) überwunden werden?

Swot-Analyse		Interne Analyse	
		Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
Externe Analyse	Chancen (Opportunities)	S-O	W-O
	Risiken (Threats)	S-T	W-T

Bild 5: Grafische Darstellung der SWOT-Analyse

- Verteidigungsstrategie (W-T): Wodurch können Threats (Risiken) minimiert und gleichzeitig Weaknesses (Schwächen) überwunden werden?

So wird ein übersichtliches Gesamtbild des IST-Zustands erstellt, aus dem notwendige Maßnahmen abgeleitet werden können. Die konkreten Maßnahmen oder Strategien resultieren nicht automatisch aus der SWOT-Analyse; sie sind vielmehr eine kreative Leistung. Die Annahme, die SWOT-Analyse führe „automatisch“ zu geeigneten Maßnahmen ist ein weit verbreitetes Missverständnis (MINTZBERG, 1994).

SWOT-Analysen können in Einzelleistung oder auch als Teamleistung erstellt werden, wobei davon auszugehen ist, dass im Team aufgrund von unterschiedlichen Sichtweisen der einzelnen Beteiligten ein größerer Ideenpool zur Verfügung steht.

Zur Durchführung der Analyse bietet sich ein dreistufiges Verfahren an:

1. Erstellung eines Ressourcenprofils
2. Ermittlung der Stärken und Schwächen
3. Identifikation spezifischer Kompetenzen

Zusätzlich können praktische Fragen zur Hilfe herangezogen werden, wie in Tabelle 1 dargestellt.

Die Vorteile einer sachgerechten und sorgfältig durchgeführten SWOT-Analyse sind:

- Hoher Bekanntheitsgrad des Verfahrens und damit verbunden hohe Akzeptanz der Ergebnisse,
- sehr anschauliches und gut visualisierbares Instrument,
- einfache und vielseitige Anwendung der SWOT-Analyse,
- reduziert die Komplexität,
- mithilfe der SWOT-Analyse können vorangegangene Analysen auf den Punkt gebracht werden, sodass ein übersichtliches Gesamtbild entsteht, mit dem man sich einen Überblick verschaffen kann,
- anwendbar auf Positionierung, strategische Ausrichtung und weitere Entscheidungen,
- umfassende Analyse interner und externer Einflussfaktoren,

- durch die kreative Leistung der Beteiligten führt die SWOT-Analyse zu strategischen Optionen (und meist auch zu Hinweisen auf operativen Handlungsbedarf), aber jedoch nicht direkt zu konkreten Handlungsmaßnahmen.

Wird die SWOT-Analyse nicht sachgemäß und systematisch angewandt, birgt sie aber auch Risiken. So kann eine nicht oder zu wenig fundierte Analyse zu Fehlschlüssen und damit zu einer falschen Strategie führen. Dies kann vermieden werden, indem die wesentlichen Ergebnisse der Analyse des Umfelds und des Unternehmens in die SWOT-Analyse einfließen und die SWOT zum Fazit dieser Analyse gemacht wird. Des Weiteren führt das Vermischen der Dimensionen Stärken und Chancen sowie Schwächen und Risiken dazu, dass die strategische Positionierung des Unternehmens im Umfeld nicht richtig erfasst wird und somit nicht die richtigen Schlüsse für nachgeordnete Handlungen gezogen werden können. Die klare Unterscheidung zwischen Intern (Innendimension), Stärken und Schwächen, und Extern (Umfelddimension), Chancen und Risiken, ist essenziell.

Ein weiteres Handlungsfeld ist das Erarbeiten einer objektiven Einschätzung, da Selbstbild und Fremdbild häufig nicht deckungsgleich sind (Betriebsblindheit). Es kann sinnvoll sein, externe Experten in die Einschätzung der eigenen Ressourcen mit einzubeziehen, insbesondere bei smarten, immateriellen aber entscheidenden Ressourcen wie Engagement, Motivation, gesellschaftliche Akzeptanz oder Mitarbeiterzufriedenheit (KÜNZLI, 2012).

2.2.4 Ishikawa-Diagramm

Das Ishikawa-Diagramm ist eine Analyse- und Darstellungsmethode und wird zur Entwicklung der Ziel-Hierarchie angewendet. Zudem dient es der Wirkung-Ursachen-Analyse und erhöht damit das Verständnis und die Akzeptanz aller Stakeholder. Das Diagramm (Bild 6) besteht aus einem Hauptpfeil (von links nach rechts) und mehreren Seitenpfeilen (von oben und unten). Am Ende des Hauptpfeils steht die Wirkung, für die die Ursachen und Einflussfaktoren analysiert und an die Seitenpfeile geschrieben werden. Bei einer tieferen Ana-

<p>Stärken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Was lief in der Vergangenheit gut? • Welche Ursachen waren entscheidend für den bisherigen Erfolg? • Worauf kann das Unternehmen stolz sein? • Was kann das Unternehmen besser als seine Wettbewerber? 	<p>Chancen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Welche Möglichkeiten bieten sich? • Welche Zukunftschancen sind absehbar? • Welche Trends sind günstig? • Welche Veränderungen im Umfeld können vorteilhaft sein?
<p>Schwächen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wo ist das Unternehmen schwach? • Was fiel bislang schwer? • Was fehlt? • Warum gehen Aufträge an den Wettbewerber verloren? 	<p>Risiken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wo lauern Gefahren für das bisherige Geschäftsmodell? • Welche Umfeldentwicklungen könnten sich ungünstig auf die Geschäftsentwicklung oder die Wettbewerbsfähigkeit auswirken? • Welche Aktivitäten der Wettbewerber sind zu erwarten?

Tab. 1: Praktische Fragen zur erfolgreichen SWOT-Analyse

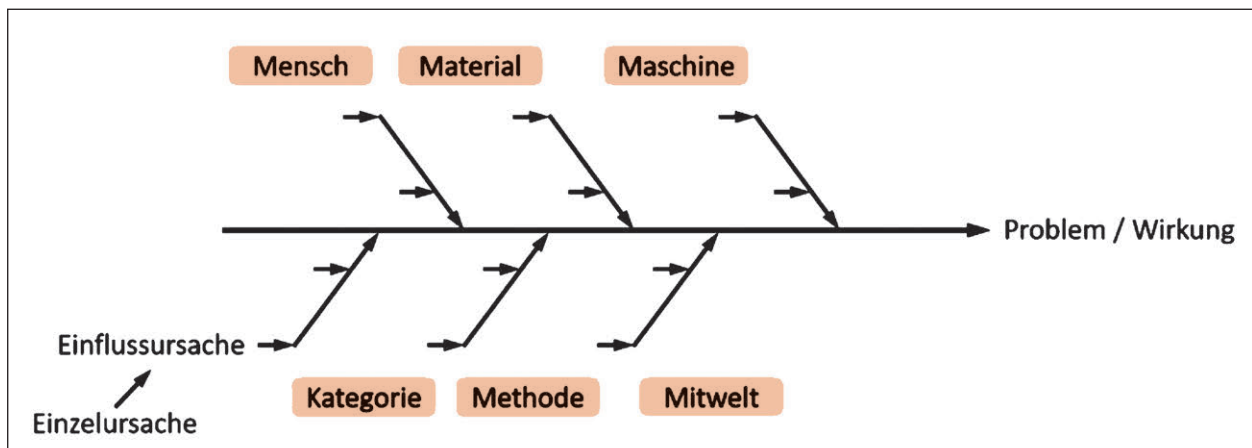


Bild 6: Sinnbild eines Ishikawa-Diagrammes mit den 5M-Kategorien (eigene Darstellung)

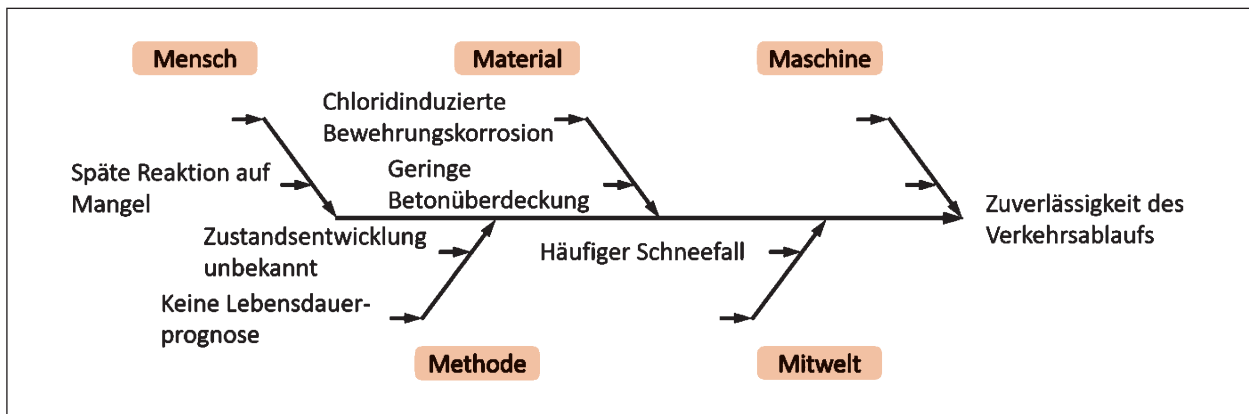


Bild 7: Beispielhaftes Ishikawa-Diagramm mit Bezug auf die Zuverlässigkeit eines Verkehrsweges

lyse werden weitere Pfeile an die Seitenpfeile angefügt.

Die Einflussfaktoren in einer positiven Formulierung können als Unterziele betrachtet werden. Ist beispielsweise einer der Einflussfaktoren für eine unzureichenden Zuverlässigkeit (Wirkung auf der Netzebene) die „Verspätete Reaktion auf Mangel“, wird das Unterziel so formuliert: „Schnelle Reaktion auf Mangel“ (Bild 7).

Die Einflussfaktoren werden normalerweise in die 5M Kategorien (Mensch, Maschine, Material, Methode und Umwelt bzw. Mitwelt) klassifiziert (es kann aber auch eine andere Klassifizierung angewendet werden), wobei die Einflussfaktoren mithilfe eines Brainstormings gesammelt werden (BERTAGNOLLI, 2018).

2.2.5 Pareto-Analyse

Die Pareto-Analyse baut auf dem empirisch begründeten Pareto-Prinzip auf. Dieses Prinzip besagt, dass nur wenige Ursachen ein Problem maßgeblich beeinflussen (KLEPZIG, 2014). In erster Näherung bedeutet dies, dass ein kleiner Anteil von Ursachen „A“ (z. B. 20 % des Ursachenanteils) einen großen Beitrag zu einem Ergebnis (z. B. 80 % des Ergebnisanteils) verursacht (siehe Bild 8). Umgekehrt haben demnach 80 % und damit der weit größere Teil der Ursachen einen vergleichsweise geringen Einfluss auf das Gesamtergebnis von nur 20 % (Ursachenteil B). Aus diesem Prinzip lassen sich Ursachen hinsichtlich ihrer Relevanz in unterschiedliche Klassen einteilen und so die wichtigste Klasse von Ursachen ableiten. Dadurch kann die Pareto-Analyse als Entscheidungshilfe für die Priorisierung einzelner Schritte in einem Gesamtprozess dienen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Pa-

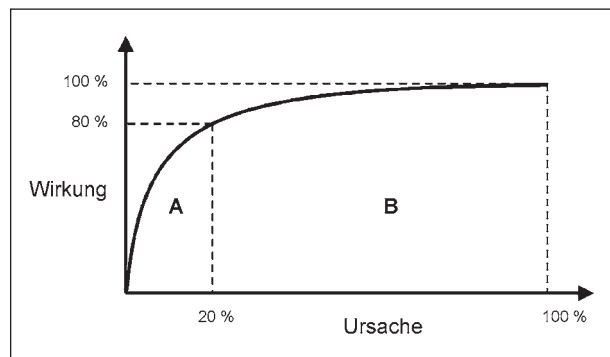


Bild 8: Grafische Darstellung der Pareto-Regel

lette der wesentlichen Ursachen möglichst vollständig erfasst wird und deren Beitrag zur Wirkung quantifiziert werden kann.

2.3 Kriterienkatalog

2.3.1 Baulicher Objektzustand: Die wichtigsten chemischen Schädigungsmechanismen (siehe Appendix D) – Schädigungskriterien

2.3.2 Kriterien für die Netzebene

Tabelle 3 enthält Vorschläge für Kriterien zur Funktions- und Leistungsfähigkeit eines betrachteten Netzes. Aufgrund von Schwierigkeiten bei der Datenbeschaffung konnten die Kriterien nicht wie geplant nach dem Muster in Kapitel 2.1.3 geprüft werden (siehe hierzu Appendix H.5.3, Kapitel Datenquellen und Methodik). Es wird daher ausdrücklich auf weiteren Forschungsbedarf hingewiesen. Wie zuvor erwähnt enthält die Literatur unzählige Vorschläge für Bewertungskriterien von Infrastrukturbauwerken, deren Relevanz zumeist aber nur deduktiv begründet ist. Da diese Kriterien in der

Dauerhaftigkeitskriterium	Indikator(en)	Messgröße(n)	Messmethode(n)
Korrosionswiderstand gegen Carbonatisierung	Überschneidung Integral Carbonatisierungstiefe/Bewehrungsüberdeckung	<ul style="list-style-type: none"> Carbonatisierungstiefe (Abstand von der Betonoberfläche) Bewehrungsüberdeckung Porosität/Permeabilität 	<ul style="list-style-type: none"> Phenolphthaleintest FerroScan Thermogravimetrie Röntgendiffraktometrie
Korrosionswiderstand gegen Chloride	Überschneidung Integral Chlorideindringtiefe/Bewehrungsüberdeckung	<ul style="list-style-type: none"> Chlorideindringtiefe (Abstand der nachweisbaren Chloride von der Betonoberfläche) Bewehrungsüberdeckung 	<ul style="list-style-type: none"> Ionenchromatografie Ionenselektive Elektrode FerroScan Porosität/Permeabilität
Sulfatwiderstand lösender Angriff	lokaler Festigkeitsverlust	Druckfestigkeit	Schmidthammer
Sulfatwiderstand treibender Angriff	Rissbildung	Anteil Sulfathaltiger Minerale in der Zementmatrix	Röntgendiffraktometrie
Widerstand gegen Auslaugung	Auslaugungsgrad	Calciumhydroxid-/Calciumcarbonatgehalt	<ul style="list-style-type: none"> Thermogravimetrie Röntgendiffraktometrie
Widerstand gegen Frost-Tau-Angriffe	Luftporenanteil	<ul style="list-style-type: none"> Porosität (Porengrößenverteilung), Kapillarporenanteil Betonfeuchte Niederschlagsmenge 	<ul style="list-style-type: none"> Quecksilberdruckporosimetrie Elektronenmikroskopie
AKR ¹ -Risiko	Gefügeveränderungen (Rissbildung, Ausblühungen und Gelausscheidungen)	<ul style="list-style-type: none"> Charakteristische Reaktionsränder an der Gesteinskörnung Innere Gelbildung (in Poren und Mikrorissen) 	Werkstoff- und Zuschlagsuntersuchungen mittels Dünnschliffmikroskopie

¹ Alkali-Kieselsäure-Reaktion

Tab. 2: Kriterienkatalog – baulicher Objektzustand

Kriterium	Ziel	Indikator(en)	Datenquelle(n)
Zustandsnote	Bewertung des baulichen Zustands bei fehlender Dauerhaftigkeitsbewertung	Quantilwerte der festgestellten Zustandsnoten	Bestehende Systeme, bspw. ASB-ING oder WADABA
Dauerhaftigkeit	Einstufung der baulichen Zustandsbewertung auf Objektebene für das Netz	Quantilwerte der prognostizierten Restlebensdauer aller Objekte	Ergebnisse der Objektkriterien
Engpässe	Engpasswirkungen reduzieren	Zahl der Engpässe gemäß der im BVWP 2030 festgelegten Kriterien, siehe Kapitel 3.1.3	Behördeninterne Statistik
Verbindungszuverlässigkeit ¹	Externe Kosten (ökonomisch, sozial, ökologisch) durch Funktionsbeeinträchtigungen reduzieren	Standardabweichung der Reise- bzw. Fahrzeit auf der Route	
Sperrungen	Funktionsbeeinträchtigungen durch Sperrungen reduzieren	Sperrungen pro Jahr	Behördeninterne Statistik

¹ Gemäß Methodenhandbuch wird unter „[...] Zuverlässigkeit bzw. Unzuverlässigkeit wird in erster Näherung die Abweichung von einem erwarteten Mittelwert der Reise- oder Transportzeit bzw. einem Abweichen von der erwarteten Ankunftszeit verstanden“ (DAHL et al., 2016, S. 343–344)

Tab. 3: Vorschläge für Bewertungskriterien auf Netzebene

Datenerfassung sehr aufwendig sein können (SCHMIDT-THROE et al., 2016, S. 24–25), wird empfohlen außerhalb von Pilotprojekten nur auf empirisch geprüfte, praktikable Kriterien zurückzugreifen.

Die Zielgrößen für die Bewertung werden individuell festgelegt, siehe hierzu Kapitel 3. Da die Auswertung großer Datenmengen, insbesondere die Auswertung von Geoinformationen, manuell sehr aufwendig ist, wird empfohlen, automatische Auswertungsmöglichkeiten bereitzustellen.

Für Nachhaltigkeitsindikatoren wird empfohlen auf die Kriterien des BVWP 2030 zurückzugreifen, da diese bereits ausformuliert und validiert sind. Kapitel 2.3.3 gibt eine grobe Übersicht.

2.3.3 Nachhaltigkeitskriterien für ein Lebenszyklusmanagementsystem

Nachhaltigkeit spielt in allen Belangen des alltäglichen Lebens eine immer größere Rolle, so ist sie auch im Bauwesen und somit in einem auf die Zukunft ausgerichteten LzM-System nicht zu vernachlässigen. Die „Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie“ der Bundesregierung legt das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung für Deutschland dar. Die Strategie ist das vorläufige Ergebnis eines lang andauernden Prozesses internationaler und nationaler Konsensfindung. Aufgrund des sehr breit gefächerten Dialogs können an dieser Stelle nur Ausschnitte wiedergegeben werden.

Als Beginn der modernen Nachhaltigkeitsdebatte in der internationalen Politik kann ohne Zweifel die Vorlage des Abschlussberichts „Our Common Future“ der Brundtland-Kommission im Jahr 1987 gesehen werden. 1992 wurde das formulierte Prinzip einer nachhaltigen Entwicklung auf der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro als globales Leitbild verankert (Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, 2016, S. 16).

Die Definition einer nachhaltigen Entwicklung lautet demnach wie folgt: „Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen“. Zentral sind hier die Aspekte der intra- und intergenerativen Gerechtigkeit, die es erforderlich machen ökologische, ökonomische und soziale Belange langfristig zu betrachten.

Bei der Bewertung von Infrastrukturbauten bezüglich ihrer Nachhaltigkeit gilt es den bestehenden Wertekanon in technischer, ökologischer, ökonomischer und nicht zuletzt in sozialer Hinsicht neu zu überdenken.

In Bezug auf die Nachhaltigkeit von Infrastrukturbauwerken als Teil des Straßennetzes haben bereits die Arbeiten von HAAG Ende der neunziger Jahre deutlich gemacht, dass durch vermeidbare Instandsetzungen, welche deutlich vor Ablauf der geplanten Nutzungsdauer erforderlich werden, er-

hebliche Belastungen für die Umwelt entstehen. Die Zahlen zeigen, dass durch eine klassische Betoninstandsetzung Umweltbelastungen entstehen, die bis zum Dreifachen höher sind als die Umwelteinwirkungen, die bei der Herstellung der Bauteile, wie zum Beispiel einem Pfeiler einer Brücke, entstanden sind. Auch die Kosten einer Instandsetzung sind deutlich höher, verglichen mit den ursprünglichen Baukosten (HAAG et al., 2014, 1997). Das zeigen nicht nur die Berechnungen aus diesen wissenschaftlichen Studien, sondern auch die praktischen Erfahrungen, die durch öffentliche Bauherren seit deren Veröffentlichung gemacht wurden. Ursächlich ist in den meisten Fällen der Umstand, dass unter Verkehr instandgesetzt werden muss. Das ist mit zusätzlichen Sperrungen, einem eingeschränkten Maschineneinsatz und einem hohen Anteil an handwerklicher Leistung verbunden. So betragen die Instandsetzungskosten für die 35 Jahre alte und 1,3 km lange Hardbrücke in Zürich bei einer Bauzeit von 2 Jahren ca. 105 Mio. CHF (AF Toscano, n. d.). Diese Kostentreiber finden bisher noch keine hinreichende Berücksichtigung in den grundsätzlichen Überlegungen zur Konzeption der Verkehrsinfrastruktur als Ganzes.

Das BMVBS (heute BMVI) stellt in seiner „Grundkonzeption für den Bundesverkehrswegeplan 2015“ klar, dass Infrastrukturmaßnahmen primär nach verkehrspolitischen Zielen geplant werden. Weitere abgeleitete Ziele, wie auch solche, die sich aus Nachhaltigkeitsbetrachtungen ergeben, werden als Randbedingungen behandelt. Maxime ist der Fokus auf Ziele, die sich durch Infrastrukturmaßnahmen tatsächlich signifikant beeinflussen lassen. Die Leitlinie des BMVBS entspricht somit der oben geschilderten Prämisse, dass Nutzungsoptimierung als vorrangiges Ziel behandelt werden muss, da Optimierungen an einem funktional obsoleten Bauwerk ins Leere laufen. Tabelle 4 zeigt die vom BMVBS abgeleiteten Ziele für den Bundesverkehrswegeplan 2030 (Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur, 2014, S. 17–23).

Der „Umweltbericht zum Bundesverkehrswegeplan“ (Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur, 2016) stellt wesentliche Umweltauswirkungen durch Verkehrswegeinfrastruktur detailliert dar, zeigt Datengrundlagen auf und erläutert die Methodik⁸, die zur Bewertung von Bauprojekten im BVWP

⁸ Siehe auch (DAHL et al., 2016)

Ziele	Abgeleitete Ziele und Lösungsstrategien für den BVWP 2030
Mobilität im Personenverkehr ermöglichen	<ul style="list-style-type: none"> • Erhaltung und Modernisierung der Substanz • Verbesserung Verkehrsfluss/Engpassbeseitigung (inkl. Verkehrsmanagement) • Verbesserung von Erreichbarkeiten/Anbindungsqualität
Sicherstellung der Güterversorgung, Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> • Erhaltung und Modernisierung der Substanz • Transportkostensenkungen • Verbesserung Verkehrsfluss/Engpassbeseitigung (inkl. Verkehrsmanagement) • Erhöhung der Zuverlässigkeit von Transporten • Verbesserung der Anbindungen von intermodalen Drehkreuzen (z. B. Flughäfen, Seehäfen, KV-Terminals)
Erhöhung der Verkehrssicherheit	<ul style="list-style-type: none"> • Erhaltung und Modernisierung der Substanz • Verlagerung auf Teilnetze und Verkehrswege mit höherer Verkehrssicherheit
Reduktion der Emissionen von Schadstoffen und Klimagasen	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung Verkehrsfluss/Engpassbeseitigung (inkl. Verkehrsmanagement) • Verkehrsverlagerung auf emissionsarme Verkehrsträger • Erhaltung und Modernisierung der Substanz
Begrenzung der Inanspruchnahme von Natur und Landschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Begrenzung des zusätzlichen Flächenverbrauchs • Vermeidung von weiterem Verlust unzerschnittener Räume
Verbesserung der Lebensqualität einschließlich der Lärm-situation in Regionen und Städten	<ul style="list-style-type: none"> • Lärmvermeidung und Lärminderung • Entlastung von Orten und Menschen/Erschließung städtebaulicher Potenziale

Tab. 4: Ziele und Lösungsstrategien für den Bundesverkehrswegeplan 2030

2030 eingesetzt wurden. Aus den Erläuterungen, die auf extensiven vorausgegangenen Forschungsarbeiten basieren, lassen sich Kriterien sowie dazugehörige Indikatoren zur Bewertung auf Netz- und Bauwerksebene entnehmen. Tabelle 5 zeigt die Kriterien, die bei den hier im Fokus stehenden Bestandsbauwerken Anwendung fanden. Es ist ersichtlich, dass sich das Modul B vorwiegend auf die umwelt- und naturschutzrechtliche Beurteilung der direkten Umgebung bezieht oder verdeutlicht mithilfe eines Beispiels, inwiefern nach dem Bau bzw. der Instandsetzung natürliche Wildwege wieder herzustellen sind. Emissionen und die sich daraus ergebenden Folgen für Mensch und Umwelt (Immissionen), die sich während des Lebenszyklus aus vermeidbaren Mängeln am Bauwerk ergeben, werden nicht berücksichtigt.

Diese Betrachtungen zur umwelt- und naturschutzrechtlichen Beurteilung, die sich unter anderem in den in Tabelle 5 aufgeführten Kriterien und Indikatoren niederschlagen, sind Basis für die im Bericht folgenden Ausführungen. Die Kriterien und Indikatoren werden für das Pilotprojekt ohne Änderungen als Vorlage für Netz-Kriterien und -Indikatoren über-

nommen. Es ist aber offensichtlich, dass hier weiterer Handlungsbedarf besteht, der im Rahmen dieses Projektes aber nur am Rand betrachtet werden kann.

Detaillierte Studien zu den allgemeinen Auswirkungen einer eingeschränkt funktionsfähigen technischen Infrastruktur finden sich derzeit nicht oder sind nur am Rande Gegenstand von Studien gewesen (LIBBE et al., 2010). Veröffentlichungen zum Einfluss sozialer Entwicklungen, wie zum Beispiel die Auswirkungen des demografischen Wandels beziehen sich auf die Auswirkungen auf die soziale Infrastruktur, zu der z. B. das Bildungssystem, das Gesundheitssystem, kulturelle Einrichtungen oder Sporteinrichtungen gezählt werden. Hier besteht noch Forschungsbedarf, da unzweifelhaft eine fehlende oder nur eingeschränkt funktionsfähige technische Infrastruktur im Allgemeinen, aber auch eine eingeschränkt verfügbare Verkehrsinfrastruktur im Speziellen Auswirkungen auf das soziale Gefüge und dessen Stabilität haben wird. Im Rahmen dieses Projektes werden diese Aspekte nicht näher verfolgt, eine wissenschaftliche Analyse der daraus erwachsenden Fragestellungen aber angeregt.

Herkunft	Kriterium	Beschreibung	Indikator
Modul A: Nutzen-Kosten-Analyse	<ul style="list-style-type: none"> Nutzen-Kosten-Analyse Beitrag zur Beseitigung von Engpässen 	<ul style="list-style-type: none"> Gegenüberstellung von monetarisierten Nutzen und Kosten Priorisierung von Projekten, die der Beseitigung von Engpässen dienen 	<ul style="list-style-type: none"> Verhältnis von Nutzen zu Kosten Stunden pro Jahr mit hoher kapazitätsbedingter Stau- gefahr (Straße) Verhältnis Summe Züge SPFV, SPNV und SGV¹ zu Nennleistungsfähigkeit (Schiene) nichtzutreffend für Wasser- straßenprojekte
Modul B: Umwelt- und Naturschutz- rechtliche Beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> Natura-2000-Verträglichkeits- einschätzung Wiedervernetzung von Lebensraumnetzwerken bei Ausbauprojekten 	<ul style="list-style-type: none"> Überprüfung ob Natura-2000- Gebiete betroffen Überprüfung ob Wieder- vernetzung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Anzahl betroffene Gebiete Ja/Nein
Modul C: Raumordnerische Beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> Raumwirksamkeit 	<ul style="list-style-type: none"> Defizitanalyse von An- und Verbindungsqualität und Erreichbarkeit, Abschätzung der Projektwirkung 	<ul style="list-style-type: none"> Formales Verfahren mit Wertungspunkten (Straße und Schiene) nichtzutreffend für Wasser- straßenprojekte
Modul D: Städtebauliche Beurteilung	<ul style="list-style-type: none"> Städtebauliche Beurteilung 	<ul style="list-style-type: none"> Bewertung von Straßenraum, Sanierungs-, Erneuerungs-, Flächen- und Erschließungs- Effekten 	<ul style="list-style-type: none"> Formales Verfahren mit Wertungspunkten (Straße) nichtzutreffend für Wasser- straßen- und Schienen- projekte

¹ Schienenpersonenfernverkehr (SPFV), Schienenpersonennahverkehr (SPNV) bzw. Schienengüterverkehr

Tab. 5: Kriterien in der Projektbewertung des Bundesverkehrswegeplans 2030

3 Vorstellung des entwickelten Lebenszyklusmanagement- Systems

3.1 Grundkonzeption des Systems

Das entwickelte Lebenszyklusmanagement-System für Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur kombiniert verschiedene Managementmethoden und -Werkzeuge, die im Detail beschrieben werden. Für eine erste Einführung wird an dieser Stelle jedoch auf eine genauere Erläuterung zunächst verzichtet, vielmehr werden die Grundzüge und Prinzipien des LzM-Systems erläutert (Begriffserklärungen und während der Entwicklung des LzM-Systems gefass- te Definitionen befinden sich im Appendix C).

Durch die hohe Zahl an Bestandsbauwerken, aber auch den vielen Erneuerungs- bzw. Neubauwerken muss es das allgemeine Ziel der Betreiber aller Verkehrsträger sein, den Zustand der Einzelobjekte und in Summe auch des Netzes deutlich zu verbessern. Dies ist kein kurzfristig zu erreichendes Ziel, sondern kann nur durch eine mittel- bis langfristig

angelegte Strategie realisiert werden. Für diese Strategie ist der Dreh- und Angelpunkt des Systems ein flexibel auf den Verantwortungsbereich anpass- barer, kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP) in Gestalt eines PDCA-Zyklus, siehe auch Kapitel 2.2.1). Eine grundlegende Eigenschaft die- ses Prozesses ist ein modularer Aufbau, welcher von einer Grundstruktur ausgehend durch zusätzli- che Module erweitert werden kann. Der KVP ist in den vier sich zyklisch wiederholenden Phasen Plan, Do, Check und Act ausgestaltet (PDCA-Zyklus), siehe Bild 9. Die vier einzelnen Phasen dienen der klaren Strukturierung und Trennung zwischen ver- schiedenen Planungs- und Ausführungsebenen. Jeder Zyklus beginnt mit der Phase Plan. In dieser wird festgelegt, welche Ziele im Zyklus verfolgt wer- den und wie diese Ziele erreicht werden können. Unter Do wird die Ausführung festgelegt. In der Phase Check wird die Zielerreichung überprüft und anschließend wird in der Phase Act auf die Ergeb- nisse reagiert.

Bereiche, in denen mit diesem Prozess Verbesse- rungen erzielt werden sollen, sind der bauliche Zu-

stand der betrachteten Objekte, die Leistungsfähigkeit der Infrastruktur auf Netzebene sowie die verkehrsträgerübergreifende Koordination bei der Planung von Maßnahmen. Die Messung des IST-Zustands sowie die Definition von Zielen werden durch prozessübergreifend einheitlich definierte Untersuchungs- und Bewertungsmethoden vereinfacht. Zum Beispiel wird zur Ableitung von Instandhaltungsstrategien für Einzelobjekte in der Phase Check dieselbe Methode und Darstellungsform verwendet, wie bei der Betrachtung der Netzebene in der Phase Act (siehe Kapitel 3.5.2 bzw. Kapitel 3.6.1).

Das Rückgrat der eingesetzten Methoden bildet dabei ein Kriterienkatalog, der objekt- und nutzungsspezifische Indikatoren zur Quantifizierung der IST- und SOLL-Werte bereitstellt. In den Kriterien ist weiterhin festgehalten, wie die benötigten Werte erhoben werden. Bei Betrachtungen eines Objekts bzw. des Netzes eines Verkehrsträgers ist also aus dem Kriterienkatalog zunächst zu bestimmen, welche Kriterien Anwendung finden, und danach ein geeignetes Verfahren zur Erhebung des Bauwerkszustandes, beschrieben durch eine Kombination von Messwerten, zu wählen. Beispielgebend seien hier die objekt- und nutzungsspezifischen Unterschiede zwischen einem massivem Wasserbauwerk und einer Stahlbrücke genannt. Um diesen Einflussfaktoren gerecht zu werden müssen unterschiedliche Kriterien zur Bewertung und damit auch andere Verfahren für die Zustandserfassung herangezogen werden.

Im folgenden Kapitel werden die vier Phasen des ausgestalteten Prozesses konkretisiert, bevor in den Kapiteln 3.3 bis 3.6 diese detailliert beleuchtet und die enthaltenen Methoden im Einzelnen beschrieben werden.

3.2 Übersicht über die Inhalte des Systems

Bild 9 zeigt den entwickelten Prozess. Jeder der vier Prozessschritte ist durch einen blauen Kasten dargestellt, die sich in einer der vier Ecken des Schaubilds befindet. Angefangen von Plan (siehe unten-rechts) entfaltet sich der Prozess über Do, (siehe unten-links), und Check, (siehe oben-links), bis Act, (siehe oben-rechts). Anhand dieser Verortung der Schritte kann das Diagramm wie folgt unterteilt werden: Je näher ein Prozessschritt an der

oberen rechten Ecke liegt, desto mehr bezieht sich dieser auf die Netzebene. D. h. Act ist der Prozessschritt mit dem größten Bezug auf die Netzebene. Je näher ein Prozessschritt an der unteren linken Ecke liegt, desto mehr bezieht sich dieser auf die Objektebene. D. h. Do, die Umsetzung von geplanten Maßnahmen, ist der Prozessschritt mit dem größten Bezug zur Objektebene. Die verbliebenen beiden Prozessschritte, Plan und Check, stellen in der Hinsicht die Schnittstelle zwischen Objekt- und Netzebene dar.

An dieser Stelle steigen wir unter folgenden Annahmen in den Prozess ein:

- Strategische Vorgaben und Ziele sind für den laufenden Zyklus ausformuliert.
- Es müssen teilweise Annahmen für nicht vorliegende Daten getroffen werden, die im Rahmen des vorgestellten LzM-Systems erhoben werden müssen.

Im ersten Schritt – Plan – wird davon ausgegangen, dass eine existierende Instandhaltungsstrategie in einem kurz- bis mittelfristigen Maßnahmenplan umzusetzen ist. Auf Basis der verfügbaren Informationen ist ein Bündel aus möglichen bedarfsgerechten Maßnahmen der Instandhaltung vorzuschlagen. Die Maßnahmen leiten sich hierbei aus Notwendigkeit (baulicher Zustand), strategischen Vorgaben (z. B. Präventionsmaßnahmen), Netzbelangen (z. B. Engpässe) oder externen Vorgaben (z. B. Bundesverkehrswegeplan) ab.

Die proponierten Maßnahmen sind auf mögliche synergetische Effekte durch eine (bspw.) korridorweise Zusammenfassung von Einzelbauwerken in unterschiedlichen Erhaltungszuständen hin zu untersuchen. Ebenso ist ein Abgleich der geplanten Maßnahmen mit benachbarten Netzen anderer Verkehrsträger durchzuführen, um doppelte Nutzungseinschränkungen zu verhindern.

Im Prozessschritt Do werden die geplanten Maßnahmen ausgeführt. Hierbei wird großer Wert auf eine vorausschauende und nachhaltige Ausführung gelegt. Deshalb enthält diese Phase neben den üblichen Schritten Ausführungsplanung und Ausführung explizit die Schritte Ursachenanalyse, repräsentiert durch ein angedeutetes Ishikawa-Diagramm (siehe auch Kapitel 2.2.4), Bereitstellung von Ausweichmöglichkeiten und Qualitätskontrolle.

Die Ursachenanalyse untersucht den Auslöser für die festgestellten Bauwerksschäden. Anhand des Ishikawa-Diagramms wird in mehreren Schritten analysiert, wieso die Bauwerksschädigung aufgetreten ist und ob es Möglichkeiten zur Prävention bzw. zur Verbesserung des Langzeitverhaltens gibt.

Der Punkt „Ausweichmöglichkeiten bereitstellen“ soll dazu anregen, Instandhaltungsmaßnahmen Netz weit und soweit möglich verkehrsträgerübergreifend besser abzustimmen. Eingriffe in das Verkehrsinfrastrukturnetz gehen immer mit externen Effekten in Form von Verkehrsumlagerungen und Verspätungen einher. Um die Funktion der Verkehrsinfrastruktur bestmöglich zu erfüllen und ne-

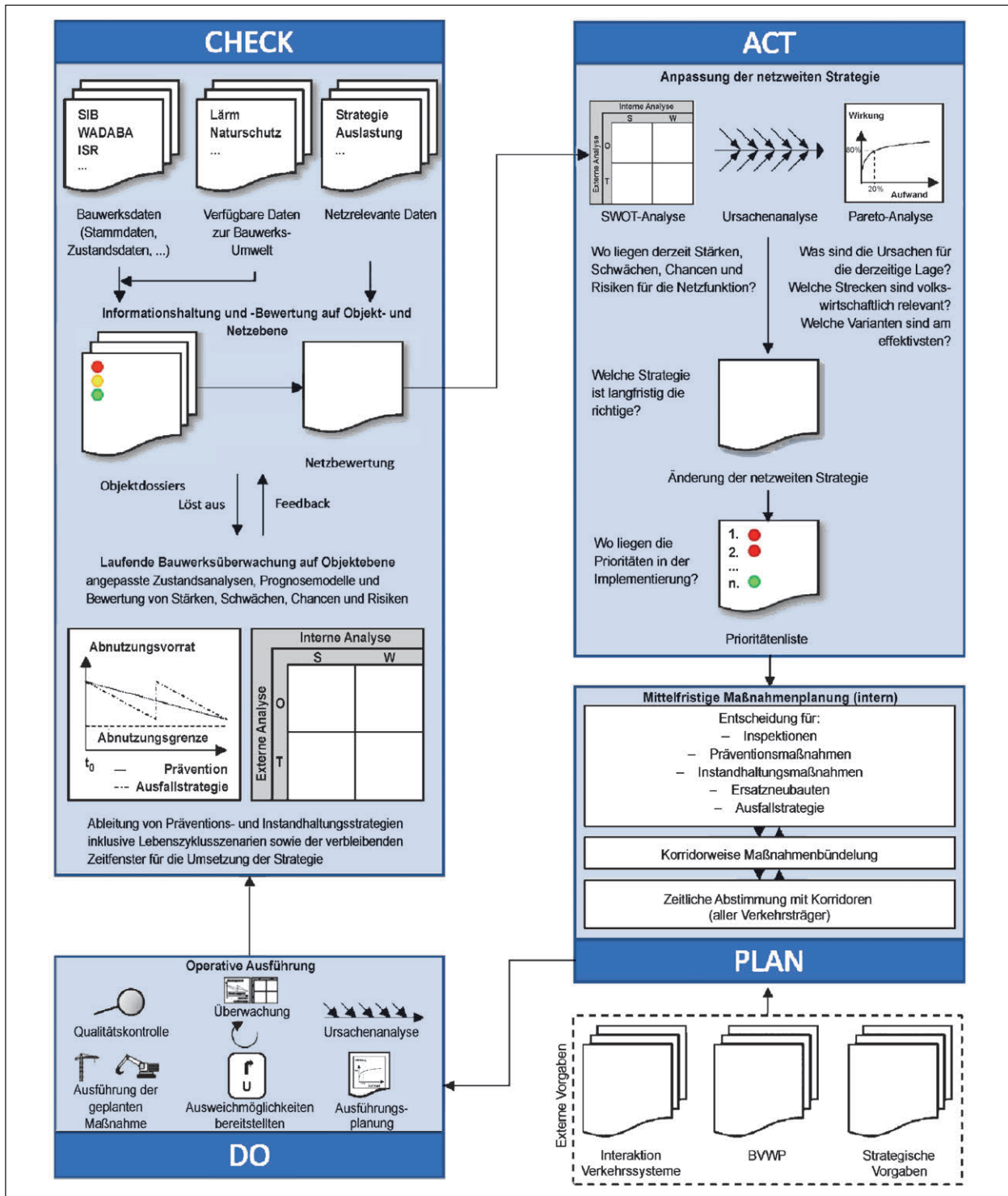


Bild 9: Ablaufdiagramm zum entwickelten KVP

gative Effekte für Nutzer des Netzes zu minimieren, sollte in der Planung und Ausführung von Instandhaltungsmaßnahmen soweit wie möglich auf dieses Problem eingegangen werden. Im besten Fall ist eine Ausführung unter laufendem Betrieb möglich. Falls nicht sollten sinnvolle Ausweichmöglichkeiten bereitgestellt werden.

Die Qualitätskontrolle des ausgeführten Werkes ist integraler Bestandteil der vorgestellten Methode. Durch die Einführung einer professionellen Analytik können für die Beurteilung und Prognose von Alterungs- und Schädigungsmechanismen erforderliche Werkstoffparameter erhoben werden. Je früher die Daten vorliegen und in der laufenden Bauwerksüberwachung bereitstehen, desto höher ist die Chance proaktiv kosten- und störungsminimale Präventionsmaßnahmen veranlassen zu können, anstatt reaktiv mit Schäden umgehen zu müssen.

Der Prozessschritt Check umfasst die Datenerfassung, -haltung und Bewertung auf Objekt- und Netzebene. Kernstück der vorgeschlagenen laufenden Objektüberwachung ist der Wechsel von visuellen Inspektionen hin zu aussagekräftigeren Untersuchungsmethoden und ggf. zur Laboranalytik, die, wie oben beschrieben, ein proaktives Instandhaltungsmanagement durch die Prognose von Bauwerkszuständen ermöglicht.

Zur Strategiefindung in der Instandhaltung auf Objektebene werden die Ergebnisse der Analytik anhand der Kriteriensteckbriefe bzw. Indikatoren bewertet und durch weitere Kriterien angereichert. So können verschiedene Bauwerksmerkmale in das SWOT-Diagramm (Erläuterung in Kapitel 3.5.2) eingetragen und für die Erstellung von Lebenszyklusszenarien interpretiert werden.

Die Ergebnisse der laufenden Bauwerksüberwachung gehen mit den sonstigen Daten, die zum Bauwerk vorgehalten werden, in die Datenhaltung ein. Die Gesamtheit der verfügbaren Daten wird als Objektdossier bezeichnet. Die grüne, gelbe und rote Markierung im Diagramm stellen dabei die in der Erstellung der Lebenszyklusszenarien festgelegte Dringlichkeit für Instandhaltungsmaßnahmen dar.

Auf Basis der Objektdossiers, der festgelegten Netzstrategie und weiteren erforderlichen Daten erfolgt zum Abschluss einer Periode eine Bewertung auf Netzebene, die überprüft ob die angestrebten Verbesserungen erreicht wurden.

In der Act-Phase des PDCA-Zyklus wird auf Basis der Objekt- und Netzbewertung die vorhandene netzweite Strategie angepasst. Zu diesem Zweck werden anhand der Objekt- und Netzbewertungen Prioritäten im Handlungsbedarf festgestellt. Da davon auszugehen ist, dass im Zeitrahmen der strategischen Planung nicht alle Bedarfsanmeldungen abgedeckt werden können, ist eine weitere Selektion notwendig. Gemäß dem Pareto-Prinzip wird davon ausgegangen, dass mit Ausführung eines kleinen Anteils der Projekte ein Großteil der Ziele zu erreichen ist. Unter der Randbedingung, dass Sicherheit sonstige Belange schlägt, erfolgt eine Auswahl der effektivsten Projekte gemäß Strategie.

3.3 Phase Plan

Der PDCA-Zyklus beginnt im Standardfall mit der Phase Plan. Voraussetzungen sind:

1. Es muss eine ausreichende Datenbasis zur Bewertung ausgewählter Kriterien vorliegen. Falls dies nicht der Fall ist, wird mit der Datenerhebung in Kapitel 3.5 (Phase Check) begonnen.
2. Und es muss eine ausformulierte Strategie für den PDCA-Zyklus vorliegen. Liegen genügend Daten, aber keine Strategie vor, wird mit der Ableitung einer Strategie in Kapitel 3.6 (Phase Act) begonnen.

In dieser Phase Plan werden die Ziele für alle Kriterien formuliert, die im aktuellen Zyklus erreicht werden sollen. Dies setzt eine belastbare Datenbasis voraus. Da in jedem PDCA-Zyklus die Veränderung der festgestellten Indikatorwerte bzw. der eigene Erfolg in der Verfolgung der Zielwerte festgestellt wird, müssen bereits zu Beginn Daten zum IST-Zustand vorliegen. Die Phase Plan dient weiterhin der Grobplanung für den aktuellen PDCA-Zyklus. In dieser Phase werden Maßnahmen bestimmt und terminiert. D. h. es werden für den aktuellen Zyklus alle turnusgemäßen und zusätzlichen Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen schriftlich festgehalten und mit Zeitfenstern versehen. Die Maßnahmen in dieser Phase bilden die Grundlage für das Handeln in der Phase Do.

Gleichzeitig bildet die Phase Plan die Schnittstelle zu anderen Verkehrsträgern und angrenzenden Netzen. Um räumlich-zeitliche Überschneidungen in der Funktionsbeeinträchtigung durch Maßnahmen des Infrastrukturmanagements zu verhindern,

ist die externe Kommunikation der eigenen Planungen ein zentraler Ankerpunkt in dieser Phase.

3.3.1 Maßnahmenauswahl

Ziel

In Act identifizierte Handlungsfelder bedarfsgerecht für die kommende Planungsperiode in Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen umsetzen.

Inhalt

Im ersten Prozessschritt werden Maßnahmen ausgewählt, um strategischen Vorgaben umzusetzen. Diese Maßnahmen können bauliche Maßnahmen wie Instandsetzungen oder ggf. Neubau, aber auch Präventionsmaßnahmen oder zusätzliche angepasste Untersuchungen des bauwerklichen Zustands sein. Der Prozessschritt Maßnahmenauswahl umfasst:

- Die Identifizierung von Informationsdefiziten und die Planung von Inspektionen zum Abbau der Defizite.
- Operationalisierung der formulierten Strategien in Form von bedarfsgerechten Präventions- und Instandhaltungsmaßnahmen.
- Übersetzung des akuten Handlungsbedarfs aus der laufenden Überwachung in konkrete Instandhaltungsmaßnahmen.
- Umsetzung externer Vorgaben, z. B. Handlungsanweisung aus übergeordneten Stellen.

Ergebnis

Das Ergebnis stellt ein Katalog notwendiger und nicht notwendiger, aber wünschenswerter Maßnahmen da, aus denen in den folgenden Prozessschritten unter Berücksichtigung möglicher Synergieeffekte und den Planungen weiterer Stakeholder bedarfsgerecht gewählt wird.

3.3.2 Maßnahmenbündelung

Ziel

Synergieeffekte identifizieren und heben.

Durch die räumlich-zeitliche Bündelung von Maßnahmen können häufig Effizienzpotenziale in der Durchführung von Präventions- und Instandhal-

tungsmaßnahmen gehoben werden. Werden ähnliche Arbeiten an benachbarten Bauwerken verrichtet, ist es sinnvoll diese im selben Zeitraum durchzuführen, um durch die zeitliche Bündelung Personal, Werkzeug und Material effektiver einzusetzen. Sollen beispielsweise an zwei benachbarten Autobahnbrücken Bohrkerne gezogen werden, entfallen doppelte Anfahrtswege, wenn die Maßnahmen unmittelbar nacheinander ausgeführt werden.

Inhalt

Deshalb wird im Schritt Maßnahmenbündelung der unter Maßnahmenauswahl erstellte Katalog an Maßnahmen auf mögliche Synergieeffekte untersucht. Es gilt abzuwägen ob durch die Zusammenfassung nicht kausal zusammenhängender Maßnahmen insgesamt Einsparungen erzielt oder ein höherer Gesamtnutzen erzielt werden kann. Mögliche Taktiken beinhalten:

- Nicht vordringliche Maßnahmen vorziehen, um Einsparpotenziale zu realisieren,
- Maßnahmen verzögern bzw. Verzicht auf Maßnahmen, um Sie in eine Linienbaustelle einzugliedern,
- Verbesserungs- bzw. Präventionsmaßnahmen umsetzen.

Ergebnis

Im Ergebnis sind die im vorherigen Prozessschritt ausgewählten Maßnahmen so gruppiert, dass sich je nach gewählter Taktik langfristig wirkende Synergiepotenziale ergeben. Durch die gemeinsame Umsetzung der Maßnahmen kann die Effizienz und Effektivität von Eingriffen in das Verkehrsnetz erhöht werden.

3.3.3 Zeitliche Abstimmung

Ziel

Räumlich/zeitliche Überlappung von Maßnahmen und ihren Wirkungen unterschiedlicher Verkehrsträger verhindern.

Inhalt

- Gegenseitige Information über geplante Maßnahmen und Auswirkungen,
- Koordination von Maßnahmen.

Die Koordination der eigenen Tätigkeiten mit benachbarten Netzen aller Verkehrsträger ist ebenso wichtig wie die organisationsinterne Koordination. Eingriffe in Verkehrsnetze können verwaltebeneübergreifende Effekte haben. Lokale Funktionsbeeinträchtigungen können dabei entlang eines Verkehrswegs wie einer Wasserstraße zu Nutzungseinschränkungen führen oder durch Verkehrsumlagerungen zu unerwarteten Verkehrsströmen führen.

Der Schritt „Zeitliche Abstimmung“ in der Phase Plan ist daher als Schnittstelle zwischen den relevanten Stakeholdern vorgesehen. In diesem Schritt werden von der ausführenden Organisation die Ansprechpartner der entsprechenden Verkehrsnetze der übrigen Verkehrsträger im eigenen Verwaltungsbereich sowie die Ansprechpartner aller Verkehrsträger in angrenzenden Netzen über die Änderungen der Strategie und abgeleiteten Maßnahmenbündel informiert.

Ziel der gegenseitigen Information ist zum einen die Abwendung von zeitlichen Überlappungen von Eingriffen in die Netzfunktion, die gekoppelt zu übermäßigen Nutzungseinschränkungen führen würden. Zum anderen werden wie im Schritt zuvor Synergiepotenziale untersucht.

Ergebnis

Im Ergebnis kann die Grobplanung anhand der gewonnenen Informationen verfeinert werden. Die Schritte „Maßnahmenauswahl“, „Maßnahmenbündelung“ und „Zeitliche Abstimmung“ werden wiederholt, bis die mittelfristige Maßnahmenplanung abgeschlossen ist.

Aufgrund unterschiedlicher Planungszeiträume bei den beteiligten Stakeholdern im Koordinationsprozess ist davon auszugehen, dass die externen Ansprechpartner nicht zeitgleich an der mittelfristigen Maßnahmenplanung arbeiten. Deshalb sollte in jeder Organisation auf Ebene des strategischen Managements eine für die Koordination verantwortliche Person/Personenkreis als Ansprechpartner benannt werden.

3.4 Phase Do

Die Phase Do beginnt mit der Fertigstellung des Maßnahmenplans (diese können bspw. sein: Bau-, Instandsetzungs- oder Präventionsmaßnahmen)

aus der Phase Plan und bezieht sich ausschließlich auf Einzelobjekte. Die Phase Do umfasst die Ausführung des Maßnahmenplans von der Konzeption über die Ausführung bis zur abschließenden Qualitätskontrolle.

Aufgrund der Tatsache, dass Bestandsbauwerke verglichen mit Neubauprojekten in Summe den weitaus größeren Anteil an den im Prozess zu betrachtenden Bauwerken haben, ist die Reihenfolge der folgenden Handlungsschritte der Objektebene auf die Anwendung für Bestandsbauwerke ausgerichtet. Bei der Prozessbetrachtung von Neubauten ist die Reihenfolge der Handlungsschritte wie folgt: Ausführungsplanung, Bedeutung von Ausweichmöglichkeiten, Ausführen der geplanten Maßnahmen, Qualitätskontrolle, Überwachung sowie Ursachenanalyse.

3.4.1 Überwachung

Dieser Punkt bildet den Übergang von der Phase Do in die laufende Bauwerksüberwachung ab und dient bei der Bearbeitung von Bestandsbauwerken als Schnittstelle zum übergeordneten Punkt Check.

Ziel

Erfassung des Bauwerkszustands.

Inhalt

- Angepasste Zustandsanalyse,
- Prognosemodelle,
- Bewertung des Bauwerks durch die SWOT-Analyse.

Ergebnis

Eine auf individuelle Randbedingungen angepasste Zustandsbeschreibung und damit dann auch die Zustandsbewertung des Bauwerks.

3.4.2 Ursachenanalyse

Ziel

Identifikation von Ursachen des erfassten Bauwerkszustands.

Inhalt

- Anwendung des Ishikawa-Diagramms: Ursachenidentifikation und Analyse der Abhängigkeiten zwischen den Ursachen,
- Ableitung von Präventionsmaßnahmen bzw. Möglichkeiten für die Verbesserung der Instandhaltbarkeit.

Ergebnis

Detaillierte Informationen darüber, welche Wirkung verschiedene Ursachen mit möglichen Abhängigkeiten auf den Bauwerkszustand haben.

Für den Fall, dass es sich bei dem zu bearbeitenden Objekt um einen Neubau handelt, ist die Ursachenanalyse die Schnittstelle zum übergeordneten Punkt Check.

3.4.3 Ausführungsplanung**Ziel**

Ausführungsplanung der Maßnahmen in Plan definierten Maßnahmenplanung.

Inhalt

- Abgleich der Ergebnisse aus Überwachung und Ursachenanalyse mit den geplanten Maßnahmen aus Plan,
- Implementierung der Ergebnisse der Ursachenanalyse in die Maßnahmenplanung.

Ergebnis

Eine an das Einzelobjekt angepasste Planung zur Umsetzung der Maßnahmen, welche strategisch auf der Netzebene entwickelt wurden.

3.4.4 Bedeutung und Ausweichmöglichkeiten**Ziel**

Aufrechterhaltung des Verkehrs.

Inhalt

- Bewertung der Bedeutung des Bauwerks für die daran gekoppelte Infrastruktur,
- Klärung, ob geplante Maßnahmen während des laufenden Betriebs möglich sind,

- Klärung, welche Einschränkungen damit verbunden sind,
- Bereitstellung einer sinnvollen Ausweichmöglichkeit mit möglichst geringen Umlagerungseffekten, unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit der Ausweichstrecken.

Ergebnis

Netzweite Abstimmung bei der Planung der Maßnahmenausführung.

3.4.5 Ausführung der geplanten Maßnahmen

Auch die Ausführung der geplanten Maßnahmen ist als Teil des Gesamtkonzepts im Prozess zu berücksichtigen. Die Ausführung der in der Plan-Phase definierten Maßnahmen werden unter diesem Prozessschritt zusammengefasst.

Ziel

Planmäßige und zielgerichtete Ausführung der geplanten Maßnahmen.

Inhalt

- Ausführung der geplanten Maßnahmen auf Basis der vorangegangenen Handlungsschritte.

Die termin-, kosten- und qualitätsgerechte Ausführung von Bau- und Instandhaltungsarbeiten ist wesentlich für den Lebenszyklus einer Einheit. Der Prozessschritt wird jedoch in diesem Projekt nicht betrachtet.

Ergebnis

Maßnahmen sind in Abstimmung mit den Netzbetreibern durchgeführt und abgeschlossen.

3.4.6 Qualitätskontrolle**Ziel**

Sicherstellung der Anforderungen und der geforderten Performance auf Objektebene nach Neubau oder Instandsetzung.

Inhalt

- Analyse der während des Baus bzw. der Instandhaltung oder -setzung erzielten Werkstoffparameter,

- Abgleich der Analyseergebnisse mit den geforderten Werkstoffparametern,
- Aufbereitung der erhobenen Daten für die Anwendung in der laufenden Bauwerksüberwachung,
- Überprüfung der Planung von Maßnahmen oder Bauvorhaben.

Ergebnis

Datenkatalog der Werkstoffparameter einzelner Bauteile oder ganzer Bauwerke nach der Ausführung von Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungsmaßnahmen oder nach Fertigstellung eines Neubaus.

Neben der Qualitätskontrolle der Werkstoffperformance sind für einen reibungslosen Ablauf auch die Planungsparameter zu überprüfen, wie bspw. der gesamte Bauablauf (Wurden Zeit- und Kostenplanung eingehalten?) aber auch der Ablauf der gesamten Planung. Hierbei muss ein besonderes Augenmerk auf die Kommunikation zwischen Bauherrn, Planer und Materiallieferanten in Bezug auf die gewünschte Performance des Bauwerks und die vertraglich vereinbarten Leistungen gelegt werden.

3.5 Phase Check

3.5.1 Laufende Bauwerksüberwachung

Ziel

Erfassung der in den Kriterien definierten Messgrößen zur indikatorbasierten Bewertung des Objektzustands von Bestandsbauten.

Inhalt

- Mit etablierten Verfahren werden die Bauwerkskennzahlen bestimmt und die Schadensindikatoren ermittelt,
- Prognose der Schadensentwicklung mithilfe von wissenschaftlichen und etablierten praktischen Prognosemodellen (siehe Kapitel 2.2.2),
- Bewertung mittels Kriterien anhand festgelegter Indikatoren.

Ergebnis

Feststellung des individuellen Bauwerkszustand anhand einer angepassten Zustandsanalyse und Bestimmung des zukünftigen Schadenspotenzials.

3.5.2 SWOT-Analyse auf Objektebene

Ziel

Ableitung von Präventions- und Instandhaltungsstrategien auf Objektebene.

Inhalt

- Übertrag der Ergebnisse aus Abgleich laufende Bauwerksüberwachung mit Indikatoren in SWOT-Matrix (Beispiele finden sich in den Kapiteln 4.2 ff.),
- Bewertung von Stärken und Schwächen des Bauwerks sowie resultierenden Chancen und Risiken bzgl. der Bauwerksumwelt,
- Ableitung von Präventions- und Instandhaltungsstrategien (welche Methoden zur Prävention bzw. Instandhaltung sind unter den gegebenen Umständen zielführend), inklusive Lebenszyklusszenarien (wie könnte sich das Bauwerk unter den gegebenen und dem zukünftigen, veränderlichen Randbedingungen entwickeln, sowie das verbliebenen Zeitfenster für die Umsetzung der Strategie).

Ergebnis

Eintrag der Präventions- bzw. Instandhaltungsstrategien in Objektdossier mit Bewertung.

Detaillierte Beschreibung SWOT-Analyse

Für die Beurteilung des Zustandes eines Bauwerks bzw. Bauteils und um einschätzen zu können, welchen Risiken ein Bauwerk, in Hinblick auf Schäden, ausgesetzt ist und wie groß dieses Risiko ist, müssen vor allem seine Stärken und Schwächen sowie die generellen Umwelteinflüsse, denen das Bauwerk ausgesetzt ist, identifiziert werden.

1. Stärken – STRENGTHS sind im Kontext der Infrastrukturbawerke Fähigkeiten/Eigenschaften eines Bauwerks, die für eine möglichst hohe Lebensdauer/Dauerhaftigkeit unter den gegebenen Umwelteinflüssen verantwortlich sind. Welches sind also die vorteilhaften Eigenschaften bzw. Stärken des Bauwerks?
2. Schwächen – WEAKNESSES eines Bauwerks sind bspw. diejenigen Bauteile, welche anfällig für Schäden sind und bei deren Ausfall die Funktionsfähigkeit des Bauwerks nicht gewährleistet

werden kann. Also Charakteristika oder Materialeigenschaften, die Schäden begünstigen. Diese müssen in den Fokus gerückt werden, um gravierende Fehlentscheidungen zu vermeiden.

- 3. Chancen – OPPORTUNITIES sind bei Infrastrukturbauwerken (neue) Möglichkeiten, Trends, Ereignisse und Ideen aus dem technologischen Umfeld, die in positivem Sinne genutzt werden können. Dies sind beispielsweise Präventionsmaßnahmen, Monitoring oder Nachbehandlungsmaßnahmen, die das Bauwerk schützen.
- 4. Risiken – THREATS sind bei Infrastrukturbauwerken, wie auch bei der klassischen SWOT-Analyse, Umwelteinflüsse (standortabhängige Faktoren wie Klima, Wetterereignisse oder wirkende Kräfte), die nicht direkt beeinflussbar sind. Auf diese muss man sich einstellen und versuchen, Risiken abzuschwächen, um die Funktionsfähigkeit nicht zu gefährden.

Beispiele für die einzelnen Kategorien sind – die Listen lassen sich ohne weiteres erweitern – in Tabelle 6 aufgeführt.

Ziel ist es, aus der Zustandsbewertung des Bauwerks einen Maßnahmenkatalog zu entwickeln, mit dessen Hilfe angepasste Maßnahmen für die Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit des Infrastrukturbauwerks ausgewählt werden können. Hierfür werden

- Stärken und Chancen,
- Stärken und Risiken/Gefahren,
- Schwächen und Chancen,
- Schwächen und Risiken/Gefahren

des Bauwerks jeweils miteinander kombiniert und analysiert. Die größte Herausforderung ist es, wenn Schwächen auf Gefahren (W-T) treffen. Hier muss eruiert werden, wie die Gefahr mit möglichst geringem Aufwand abzuwenden ist. Trifft beispielsweise bei einem Bauwerk ein hoher Wert für die Porosität auf niedrige Bewehrungsüberdeckung, so hat dieses Bauwerk ein sehr hohes Korrosionspotenzial. Kommt dann noch eine hohe Streusalzbelastung hinzu, so liegt nahe, dass der vorherrschende und wichtigste Schädigungsmechanismus in diesem Fall die chloridinduzierte Korrosion ist. Bei der Kombination von niedriger Porosität und hoher Beweh-

Kategorie	Beispiele
Stärken (Strengths)	<ul style="list-style-type: none"> • niedrige Porosität • niedrige Carbonisierungstiefe (in Abhängigkeit vom Alter) • ausgeführte konstruktive Schutzmaßnahmen • hohe Bewehrungsüberdeckung • hoher Abstand zur Fahrbahn (Eintrag von Schadstoffen durch Spritzwasser und Sprühnebel ist reduziert oder nicht vorhanden) • Die Bauwerksoberfläche ist ständig oder nie in Kontakt mit Wasser (ständig: z. B. Wehr, Kaimauer; nie: z. B. freistehende Brückenpfeiler oder Widerlager)
Schwächen (Weaknesses)	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Porosität • hohe Carbonisierungstiefe (in Abhängigkeit vom Alter) • niedrige Bewehrungsüberdeckung • geringe Ausführungsqualität (Kiesnester etc.) • mangelnder Lärmschutz • wechselnder, intensiver Kontakt der Bauwerksoberfläche mit Wasser (z. B. Schleuse; Brückenpfeiler in Gewässern, die Ebbe und Flut ausgesetzt sind)
Chancen (Opportunities)	<ul style="list-style-type: none"> • positive Umwelteinflüsse, z. B. seltenere Frost-Tau-Wechsel • abnehmende durchschnittliche Verkehrsstärke prognostiziert • Ausweichstrecken vorhanden • niedriger Streusalzeinsatz (wenig Chloride) • Präventionsmaßnahmen • ...
Risiken/Gefahren (Threats)	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzungsänderung im umliegenden Raum geplant • hoher Streusalzeinsatz • Schadstoffe bspw. Landwirtschaft • ...

Tab. 6: Beispiele für Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken in der SWOT-Analyse

rungsüberdeckung ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine Bauwerksschädigung aufgrund von Korrosion stattfindet hingegen sehr gering.

3.5.3 Objektdossiers

Ziel

Ableitung eines Handlungszeitraums durch die Zusammenführung und die Interpretation der schon vorhandenen und der gemessenen Bauwerksdaten.

Inhalt

- Übertrag der bisher erfassten Daten,
- Übertrag der Ergebnisse der bauwerksspezifischen SWOT-Analyse,
- Markierung gemäß Ampelsystem:
 - Rot: Eingriff ist kurzfristig notwendig,
 - Gelb: Eingriff ist mittelfristig notwendig,
 - Grün: langfristig kein Eingriff notwendig.

Ergebnis

Beurteilung und Gruppierung des Bauwerksbestands.

3.5.4 Netzbewertung

Ziel

Bewertung der Netzebene im Zuständigkeitsbereich anhand der ausformulierten Kriterien.

Inhalt

- Aggregation der Objektdaten für Betrachtungen auf der Netzebene,
- Bearbeitung der Kriterien und Hinzunahme netzrelevanter Daten.

Auf Basis der Objektdaten und weiterer in den Kriterien definierter netzrelevanter Daten wird die Funktion auf Netzebene bewertet. Im Gegensatz zum Objekt werden neben objektbezogenen Größen auch Daten zur Nutzung und Umwelt erhoben und ausgewertet, wie beispielsweise die aus der Nutzung resultierende Lärmbelastung.

Ergebnis

Auswertung der Netzkriterien zum Abschluss der Check-Phase. Dies ermöglicht eine anschließende Analyse der eigenen Strategie in der anschließenden Phase Act.

3.6 Phase Act

In der Act-Phase werden die Objekt- und Netzbewertung evaluiert und es werden Beschlüsse zur strategischen Ausrichtung auf Netzebene im nächsten Zyklus gefasst. Ziel ist nicht nur auf Ereignisse oder negative Trends zu reagieren, sondern auch proaktiv durch nachvollziehbare strategische Entscheidungen quantitative und qualitative Zielstellungen zu erreichen.

Grundlage der Act-Phase ist die umfängliche Evaluation der Ausgangslage durch SWOT-, Ursachen- und Pareto-Analyse. Als zentrales Ergebnis wird nach erfolgter Untersuchung die netzweite Strategie neu formuliert oder (evtl. mit Änderungen) aus dem letzten Zyklus übernommen.

3.6.1 SWOT-Analyse auf Netzebene

Die SWOT-Analyse dient, wie zuvor schon für das Objekt beschrieben und genauer erläutert, der strategischen Positionsbestimmung. Auf Basis der relevanten Netzkriterien werden Stärken und Schwächen (interne Analyse) sowie Chancen und Risiken (externe Analyse) bereits in der Check-Phase bestimmt. In der Act-Phase evaluiert das strategische Management die Ergebnisse und legt auf Basis der vier Standardstrategien, siehe Kapitel 2.2.3, mögliche Strategien fest.

Ziel

Strategische Positionsbestimmung im Lebenszyklusmanagement des Verkehrsnetzes.

Inhalt

- Übertrag der Ergebnisse der Netzbewertung in SWOT-Analyse,
- Erweiterung der Ergebnisse um interne und externe Faktoren,
- Interpretation der Ergebnisse und Ableitung von Strategien.

Ergebnis dieses Prozessschrittes ist die grafische Darstellung der SWOT-Analyse und die festgehaltenen möglichen Strategien. Mit der SWOT-Analyse werden schwer zu interpretierende Ergebnisse der Netzbewertung in einfach verständlich strategische Überlegungen übersetzt. Die Ergebnisse der SWOT-Analyse gehen in den nächsten Prozessschritt – Ursachenanalyse – mit ein.

3.6.2 Ursachenanalyse

Ziel

Ursachen für die derzeitige strategische Position auf Netzebene bestimmen.

Die alleinige Bestimmung von Stärken und Schwächen kann ohne gründliche Analyse der Ursachen, die zu Stärken und Schwächen (Wirkungen) führen, falsche Lösungen nach sich ziehen. Daher ist die Bestimmung der Ursachen essenziell für ein vorausschauendes und proaktives Management.

Inhalt

- Anwendung des Ishikawa-Diagramms auf die Ergebnisse der SWOT-Analyse,
- Rückführung der derzeitigen Position auf strategische Ausrichtung,
- Kategorisierung der Ursachen (5M).

Methode für die Ursachenanalyse ist das Ursache-Wirkungs-Diagramm. Wie in Kapitel 2.2.4 beschrieben, handelt es sich hierbei um ein Qualitätsmanagementwerkzeug, das grundsätzlich zur Erörterung jeglicher Problemstellungen geeignet ist.

In der Phase Act werden die Stärken und Schwächen auf Netzebene, wie zuvor in der SWOT-Analyse bestimmt, untersucht. Zu diesem Zweck werden einzelne Stärken bzw. Schwächen in jeweils ein Ishikawa-Diagramm eingetragen. Die an der Analyse Beteiligten äußern ihre Auffassungen zu Ursachen, die zu einer Stärke bzw. Schwäche beitragen, frei. Die so ermittelten Einflussgrößen werden kategorisiert, z. B. nach den 5M-Kategorien (Mensch, Maschine, Material, Methode und Umwelt bzw. Mitwelt) in das Diagramm eingeteilt. Durch wiederholtes Hinterfragen wird versucht, Einzelursachen zu bestimmen, die in Zukunft vermieden werden können.

Bei der Ermittlung und Bewertung von Ursachen sollten alle Beteiligten in geeigneter Form miteinbezogen werden. Es muss klar kommuniziert werden, dass es auch bei der Rückverfolgung von Ursachen nicht Zweck der Untersuchung ist einen Schuldigen zu finden, sondern System- und Prozessfehler aufzudecken. Eine falsche Kommunikation kann dazu führen, dass Daten verfälscht werden und die abgeleiteten Ergebnisse sich als nicht gültig herausstellen bzw. von den Beteiligten nicht akzeptiert werden.

Ergebnis der Ursachenanalyse ist eine qualitative Bestimmung von Problemursachen, ihren Wirkungen und ihre Kategorisierung. Die Ursachenanalyse sollte bei ausreichender Datenbasis zum Anlass genommen werden quantitative Untersuchungen auszuführen bzw. bei mangelnder Datenbasis diese zu veranlassen. Stellen sich identifizierte Ursachen als besonders relevant heraus, sollte dieser Umstand zum Anlass genommen werden, um ein eigenes Kriterium zu formulieren, dass die Ursache anspricht. Wird für den eigenen Zuständigkeitsbereich beispielsweise festgestellt, dass alkaliempfindliche Zuschlagstoffe zu Häufungen von Alkali-Kieselsäure-Reaktionen führen, sollte dies in einem Kriterium formuliert und in die Betrachtungen auf Objektebene aufgenommen werden.

3.6.3 Pareto-Analyse

Ziel

Vordringlichen Bedarf für die Änderung der Strategie identifizieren.

Inhalt

- Abschätzung der Wirkung identifizierter Ursachen,
- Einschätzung des Aufwands zur Behebung von Ursachen,
- Ordnen nach Wirkung/Aufwand.

Nach der Bestimmung der strategischen Lage und der zu diesen ermittelten Ursachen, wird in diesem Schritt eine Rangfolge der bestimmten Ursachen gemäß Ihrer Wirkung erstellt. Sollten quantitative Daten vorliegen so werden diese bevorzugt, andernfalls erfolgt die Reihung anhand qualitativer Merkmale. Gemäß dem Pareto-Prinzip lassen sich 80 % der Wirkungen auf 20 % der Ursachen zurück-

führen. Durch die Reihung der Ursachen nach Wirkung können Prioritäten in der Strategieplanung gelegt werden. Die Pareto-Analyse wird in Kapitel 2.2.5 genauer erläutert.

Liegen keine quantitativen Daten zur Abschätzung der Wirkungen vor bzw. ist der Aufwand zu hoch, kann eine interne qualitative Abschätzung mittels geeigneter Methoden wie der Delphi-Methode⁹ erfolgen.

Es folgt die Reihung der Ursachen nach Wirkung. Ziel ist die Bestimmung des vordringlichen Bedarfs für Anpassungen in der netzweiten Strategie. Es gilt Ursachen zu identifizieren, die durch mittelbare oder unmittelbare Zusammenhänge ein besonderes Maß an Wirkungen auf das Netz haben. Als Beispiele für mögliche einzelne Gegebenheiten, die ein breites und bedeutendes Wirkspektrum haben können, sind mangelnde Datenverfügbarkeit und unzulängliche Prozesse zu nennen.

Ergebnis

Sortierte Reihung von Ursachen und Wirkungen.

3.6.4 Änderung der netzweiten Strategie

Ziel

Identifizierte Handlungsfelder durch angepasste Strategien ansprechen. Positive Entwicklungen verstärken.

Inhalt

Die Änderung der netzweiten Strategie stellt das zentrale Ergebnis der Act-Phase dar. Identifizierte Handlungsfelder können nun durch neue strategische Vorgaben formell adressiert werden. An dieser Stelle wird also entschieden, welche Ansätze im Management der Verkehrsinfrastruktur verfolgt werden; ob beispielsweise eine breit angelegte Präventionskampagne einem weitverbreiteten Missstand bei der Materialkorrosion entgegenwirken soll oder ob durch Nachtbaustellen und weitere Maßnahmen

Funktionsbeeinträchtigungen in einem ohnehin stark belasteten Netz verhindert werden sollen.

Die Änderungen der Strategie sollten mindestens folgende Punkte enthalten:

- (Durchschnittliche) Zielwerte auf Objekt- und Netzebene für die Bewertung mittels der definierten Kriterien,
- Benennung der Haupthandlungsfelder mit Vorgabe angepasster strategischer Leitlinien,
- interne Vorgaben zu identifizierten Schwachstellen in den eigenen Prozessen.

Weiterhin ist es wünschenswert positive Entwicklungen durch die Anerkennung und Stärkung der zugrundeliegenden Prozesse bzw. Methoden zu bekräftigen. Erweist sich eine bisher nicht standardisierte Vorgehensweise, beispielweise eine neue Art der Prävention als wirkungsvoll, kostengünstig und relevant, sollte dies in der neuen Strategie aufgenommen werden.

3.6.5 Prioritätenliste

Ziel

Prioritäten gemäß baulichem Zustand und strategischer Untersuchung schriftlich festhalten.

Inhalt

Die Umsetzung neuer Strategien innerhalb einer Organisation erfordert die Kommunikation der Vision sowie den Abbau von Hemmnissen und das Sichtbarmachen von erreichbaren Erfolgen. Zu diesem Zweck wird flankierend zur Formulierung der strategischen Vorgaben in der Act-Phase noch eine Prioritätenliste aufgestellt, die den vordringlichen Bedarf konkretisiert.

In der Prioritätenliste sollten mindestens folgende Punkte festgehalten werden:

- Identifikation Handlungsbedarf an Einzelobjekten im Netz aus der laufenden Überwachung,
- Abwägung der Prioritäten der festgehaltenen strategischen Leitlinien,
- grobe zeitliche Ordnung streckenbezogener Maßnahmen.

Ziel ist einerseits das schriftliche Festhalten von Prioritäten gemäß baulichem Zustand und strategi-

⁹ Die Delphi-Methode ist ein Verfahren bei dem iterativ Expertenurteile zu einer bestimmten Fragestellung ermittelt werden. Ziel ist es Konsens und Dissens in den Expertenurteilen zu erfassen und zu begründen (NIEDERBERGER and RENN, 2018, S. 7–8).

scher Untersuchung. Andererseits ist es von starker Bedeutung, dass sich das strategische Management durch die Vorlage der Prioritätenliste in die Einführung der neuen Strategie und somit in den Veränderungsprozess einbindet.

4 Pilotprojekt

4.1 Bauwerkstypen der einzelnen Verkehrsträger

Zur Identifikation der kritischen Infrastrukturbauwerke in den drei Verkehrsbereichen wurde eine Aufstellung aller Bauwerkstypen, die in den Verantwortungsbereichen Straße, Schiene und Wasserstraße liegen, aufgeführt. Diese Aufstellung ist unter Appendix G dokumentiert.

Brücken spielen in der Infrastruktur aller drei Verkehrsbereiche eine Rolle. Insbesondere im Bereich Schiene und Straßen sind Brücken ein kritischer Teil der Verkehrsinfrastruktur. Aus diesem Grund liegt der Fokus der Betrachtungen in diesem Projekt auf Brücken als essenziellem Teil der Verkehrsinfrastruktur für die Verantwortungsbereiche Straße und Schiene liegen. Im Bereich Wasserstraßen spielen Brücken für die Funktionsfähigkeit der Infrastruktur eine eher untergeordnete Rolle. Daher wurden für diesen Bereich Wehranlagen als Vergleichsbauwerke auf Grund ihrer Relevanz für die Funktionsfähigkeit der Wasserstraßen identifiziert.

4.2 Validierung des LzM-Konzepts am Pilotprojekt „Brückenportfolio Autobahndirektion Süd-Bayern (ABDSB)“

4.2.1 Phase Do für das Beispiel „Brückenportfolio ABDSB“

Einstieg in den Konzeptprozess in Abschnitt Do für Bestandsbauwerke. Für die einzelnen Bauwerke werden in Anlehnung an die Brückenbücher sogenannte Datenblätter angelegt (siehe Bild 10, Datenblatt Appendix H, H.1 Datenblatt).

In diese Datenblätter werden die Daten aus den Brückenbüchern übernommen: Baujahr, Standort, Bauart etc. sowie die Prüfungsdaten der einfachen und Hauptprüfungen (siehe Bild 11).

Datenblatt Autobahnbrücke A7 BW 122-1	
Bauwerksnummer	8429655 1
Bauwerksname	Brücke A7 über KrOAL2 Füssen-Hopferau
Teilbauwerksname	Brücke A7 über KrOAL2 Füssen-Hopferau (122-1)
Nachtgelegener Ort	Hopfen
Verwaltung/Gemarkung	Füssen
Bemerkung	Teilbauwerk 1 = „östlicher Überbau“ Richtungsfahrbahn Kempten Teilbauwerk 2 = „westlicher Überbau“ Richtungsfahrbahn Füssen





Bild 10: Beispiel Deckblatt Datenblatt Pilotprojekt Autobahnbrücke

Übersichtsblatt			
Art	Plattenbalkenbrücke		
Baujahr	1999		
Zustandsnote	1,7		
Konstruktion	Spannbeton-Platte ü. 1 Feld		
Stadium	Bauwerk unter Verkehr		
Stat. Sys. L:	Einfeldrig freiauflegend		
Stat. Sys. -Q:	Echte Platte quer biegesteif, Flächentragwerk		
Amt	ABD Südbayern	SM:	AM Sulzberg
HP	02.04.2014	Prüfjahr	2014
EP	07.04.2011	Prüfjahr	2011
Ges.länge	14,17 m	Breite	14,73 m
Br. Fläche	209 m ²	Winkel	73,9 Rechts gon
Bst. Ubb.	Spannbeton	Q.UBB	Einstiegender Überbau als Vollquerschnitt
Q.HTW	Mit Querschnitt des Überbaus identisch	Felder	1
Baulast	Bund		

Bild 11: Beispiel Übersichtsblatt-Datenblatt Pilotprojekt LzM Autobahnbrücke

Konkret wird in diesem Piloten im Punkt „Überwachung“ in den Prozess eingestiegen. An den Bauwerken wird zur Qualitätskontrolle die Bewehrungsüberdeckung als einer der wichtigsten Bauwerkskennwerte bspw. mittels Pulsinduktionsverfahren (FerroScan) bestimmt (siehe Bild 11, Datenblatt Appendix H, H.1 Datenblatt)

Aus der Verteilung der Bewehrungsüberdeckung, welche durch die Dichtefunktion der schiefen „Neville“-Verteilung (DBV-Merkblatt) bestimmt werden kann, lassen sich schon Schlußes zur Bauwerks-

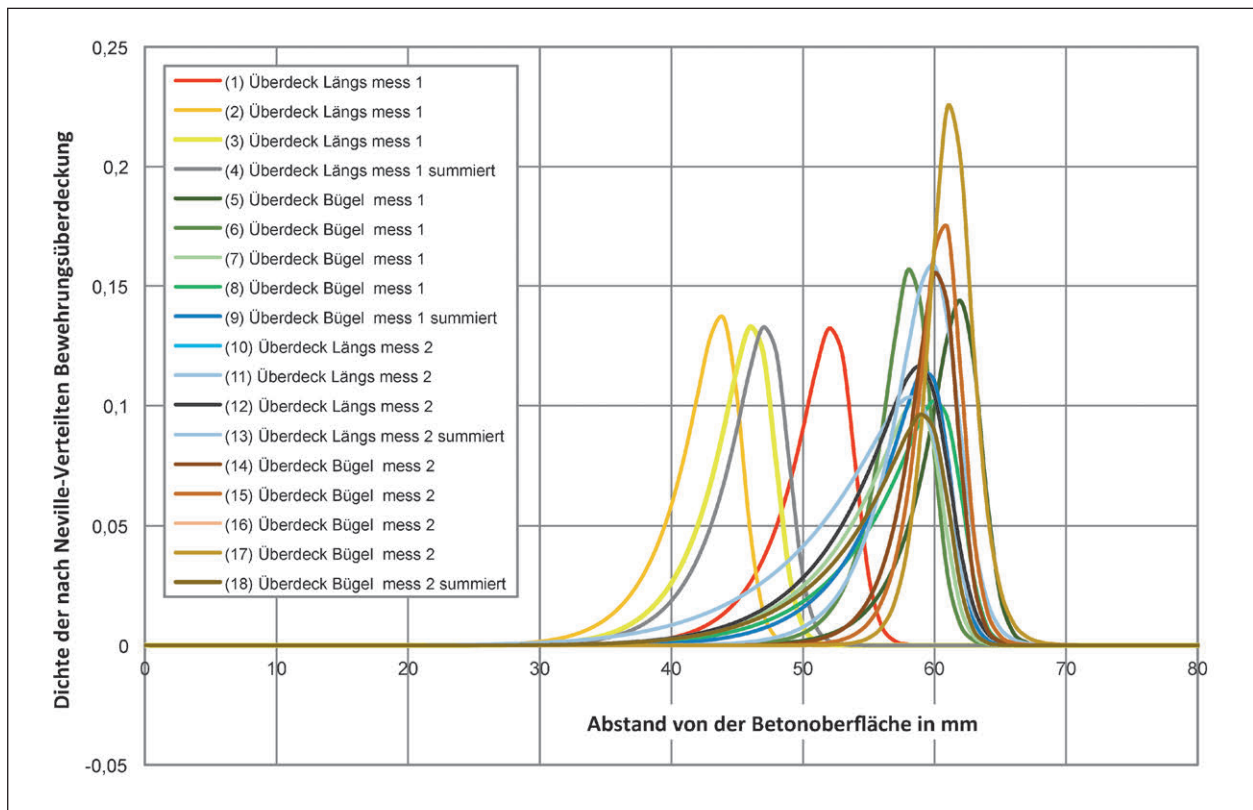


Bild 12: Gesamtübersicht Bewehrungsüberdeckung

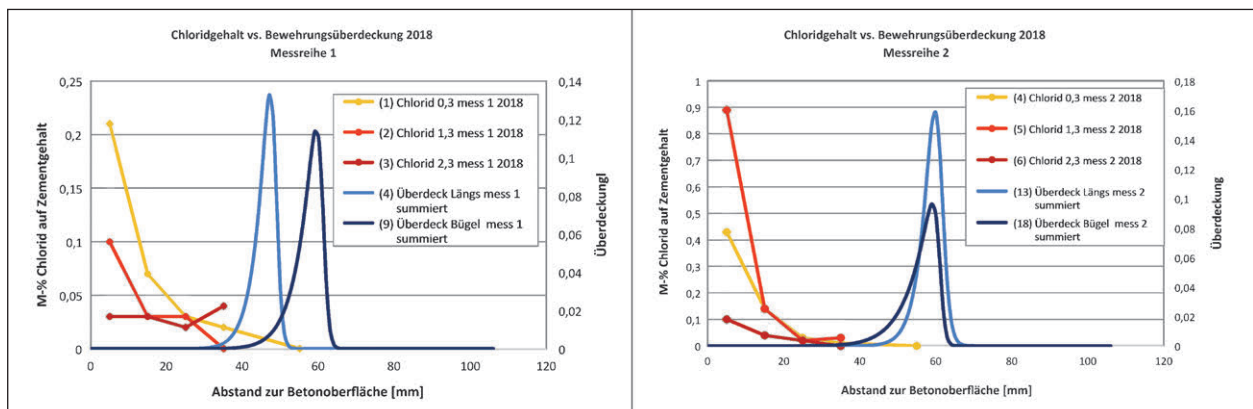


Bild 13: Darstellung der Chlorideindringtiefe und der Bewehrungsüberdeckung (Messreihen 2018)

qualität bzw. zur Qualität der Bauausführung, aber auch zum Korrosionswiderstand ziehen.

Anhand der Umweltbedingungen werden die wahrscheinlichsten Schädigungsmechanismen identifiziert bzw. die bereits sichtbaren Schäden analysiert (Ursachenanalyse).

Im Allgemeinen sind die wahrscheinlichsten Schädigungsmechanismen bei Stahlbetonbauwerken, durch Korrosion, entweder aufgrund der Carbonatisierung oder auch Chlorid induziert.

Die gemessenen Werte für Chlorideindringtiefe (Bilder 13, 14) bzw. die Verteilung der Carbonatisierungstiefe (Bilder 15, 16) werden der Verteilung der Bewehrungsüberdeckung als Funktion des Abstands zur Betonoberfläche gegenübergestellt. Es wurden jeweils zwei Messreihen an unterschiedlichen Messpunkten gemessen, die Bezeichnungen 0,3, 1,3 und 2,3 bezeichnen die Höhe (in m) in der gemessen, bzw. in der die Probe genommen wurde. So kann das Korrosionsrisiko durch diese beiden Mechanismen abgelesen werden (siehe Appendix H Abschnitt H.4.2 Schlussfolgerungen).

An den Graphen in den Bildern 13 und 14 lässt sich das Korrosionsrisiko zum aktuellen Zeitpunkt beinahe direkt ablesen. Das Risiko wird dann signifikant, wenn Chlorid bzw. die Carbonatisierung die Beweh-

rung erreicht. Im dargestellten Falle liegt die Chlorideindringtiefe noch nicht im Bereich der Bewehrungsüberdeckung, sodass zurzeit kein Korrosionsrisiko besteht.

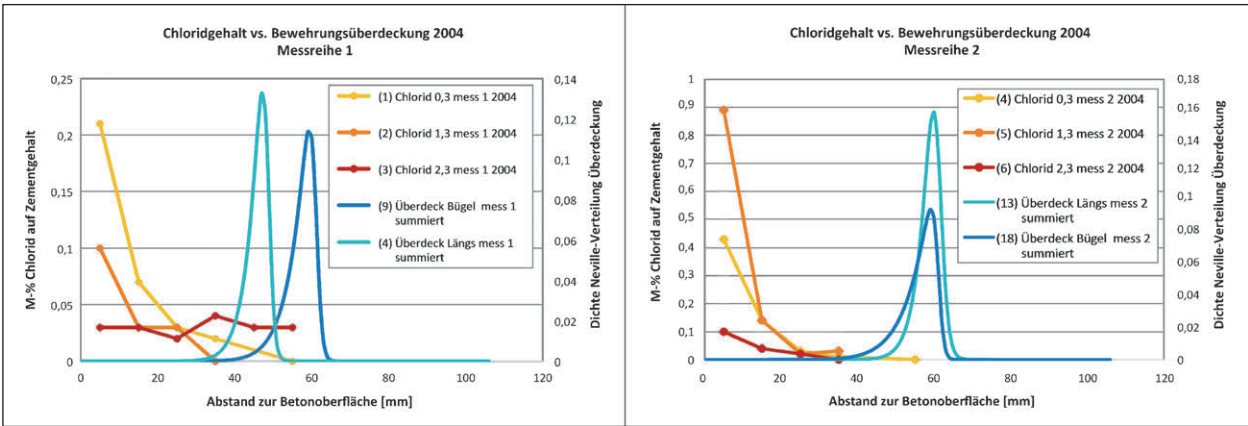


Bild 14: Darstellung der Chlorideindringtiefe und der Bewehrungsüberdeckung (Messreihen 2004)

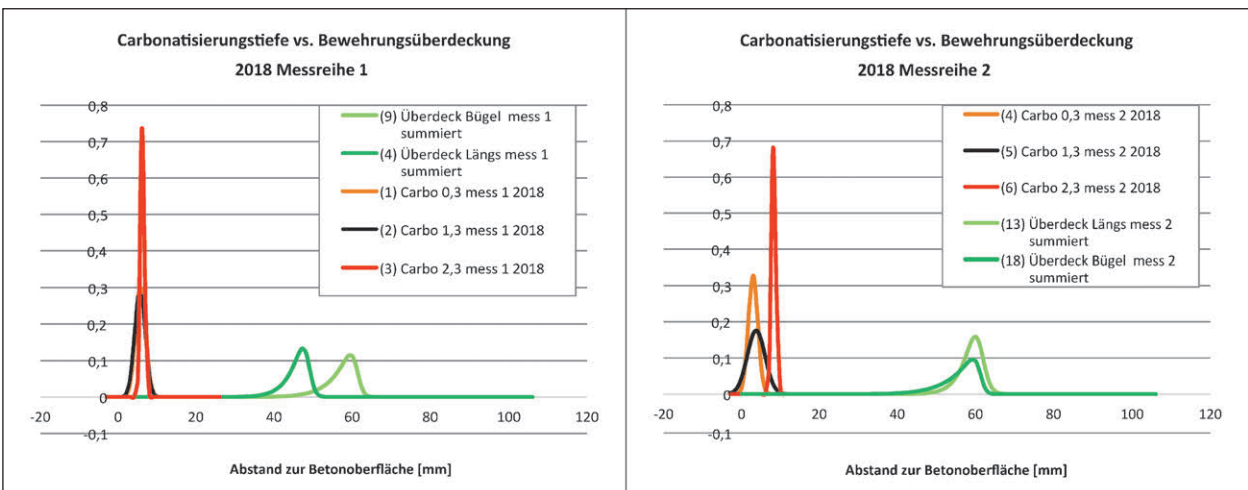


Bild 15: Darstellung der Verteilung der Carbonatisierungstiefe und der Bewehrungsüberdeckung (Messung 2018)

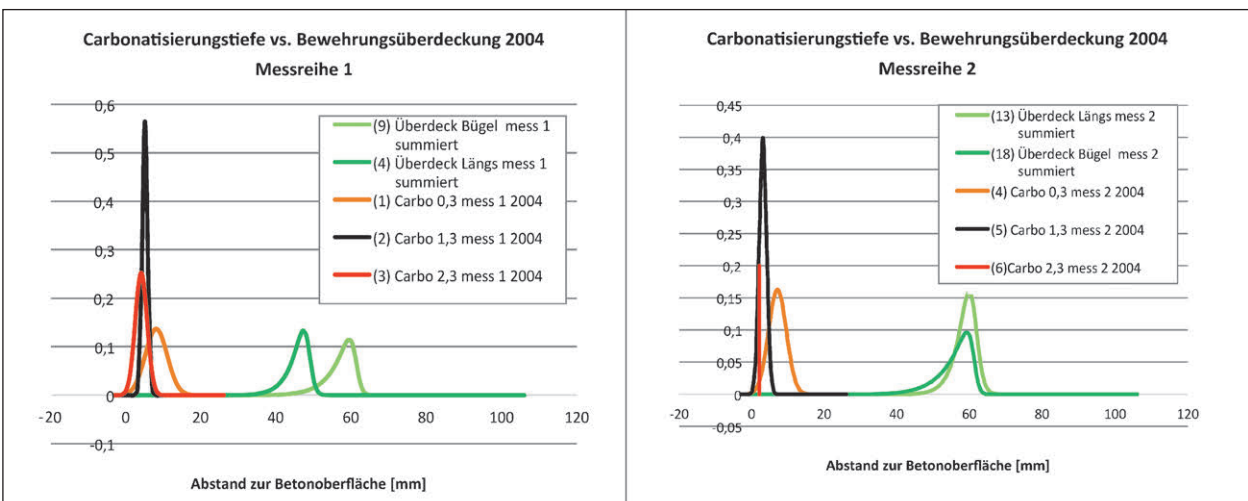


Bild 16: Darstellung der Verteilung der Carbonatisierungstiefe und der Bewehrungsüberdeckung (Messung 2004)

Stellt man diesen Messreihen zu einem früheren Zeitpunkt gemessene Daten gegenüber, so kann eine erste Risikoabschätzung zum betreffenden Schädigungsmechanismus gemacht werden bzw. das verwendete Prognosemodell mit diesen Daten validiert werden.

4.2.2 Phase Check für das Beispiel „Brückenportfolio ABDSB“

4.2.2.1 SWOT-Analyse für Brückenbauwerke

Hier findet der Übergang zum Abschnitt Check, Unterpunkt „Laufende Bauwerksüberwachung auf Objektebene“ statt. Als Beispiel für eine SWOT-Analyse dient eine Brücke aus dem Brückenportfolio der ABDSB. Die durchgeführte SWOT-Analyse bezieht die, in Kapitel 4.2.1 aufgeführten, Messwerte mit ein. Im Folgenden werden interne Einflüsse des Bauwerks und externe Einflüsse aus der Bauwerksumgebung aufgeführt. Daraufhin werden zunächst die Stärken den Chancen und den Risiken und dann die Schwächen den Chancen und Risiken gegenübergestellt und analysiert. Die Analyseergebnisse werden dann in einer SWOT-Matrix dargestellt.

Interne Einflüsse

- Stärken (Strengths)
 - Hohe Überdeckung der Bewehrung,
 - durchgeführte wirksame Präventionsmaßnahmen,
 - Prognosemodelle zur Entwicklung von Bauwerksschädigungen vorhanden,

- hoher Abstand der Widerlager zur Fahrbahn, wodurch diese in vernachlässigbarem Maß Spritzwasser und Sprühnebel ausgesetzt sind.

- Schwächen (Weaknesses)

- Materialkennwerte wie Porosität zum Zeitpunkt der Erstellung des Bauwerks unbekannt,
- Änderung der Materialkennwerte über die Zeit nicht dokumentiert: Modellierung der Bauwerksentwicklung nur auf Basis des Ist-Zustands möglich,
- Teile des Bauwerks (Überbau, Pfeiler) sind dem Spritzwasser bzw. dem Sprühnebel durch den Verkehr ausgesetzt.

Externe Einflüsse

- Chancen (Opportunities)

- Präventive Maßnahmen können erneuert werden (unter minimale Verkehrseingriffen),
- allgemeiner Trend der Verringerung von Frost und Eistagen durch Klimawandel: Reduktion von ausgebrachten Tausalzen.

- Risiken (Threats)

- Relativ hohe Anzahl von Frost- und Eistagen pro Jahr (106/14) → hohe Menge an Tausalzen,
- stetige Zunahme des Verkehrsaufkommens (BW 122: 16.878 Kfz/24h, 1.181 SLV/24h).

SWOT Analyse		INTERNE ANALYSE	
		Stärken (STRENGTHS)	Schwächen (WEAKNESSES)
EXTERNE ANALYSE	Chancen (OPPORTUNITIES)	<ul style="list-style-type: none"> • Präventive Maßnahmen zur Verhinderung der zwei Hauptschadensmechanismen (Korrosion durch Carbonatisierung/Cl-Eintrag) funktionieren und können erneuert werden • Maßnahmen können mit geringer Verkehrsbeeinflussung durchgeführt werden • Hohe Bewehrungsüberdeckung bietet Puffereigenschaften bis weitere Maßnahmen durchgeführt werden müssen 	<ul style="list-style-type: none"> • Prognosemodelle zur Bauwerksentwicklung benötigen Kenntnis über die Entwicklung von Materialkennwerten • Prognosemodelle für die Planung der zukünftigen Präventionsmaßnahmen können nur auf Basis von Ist-Zuständen erstellt werden
	Risiken (THREATS)	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Bewehrungsüberdeckung und wirksame Präventionsmaßnahmen verhindern die Hauptschadensmechanismen • Puffereigenschaften des Materials auch gegenüber einem steigenden Verkehrsaufkommen 	<ul style="list-style-type: none"> • Prognose der Auswirkungen der klimatischen Veränderungen und der gleichzeitig veränderten Verkehrsbelastung auf das Bauwerk kaum möglich

Tab. 7: Beispiel der Anwendung einer SWOT-Analyse am konkreten Beispiel einer Autobahnbrücke der ABDSB

4.2.2.2 Netzbewertung

In diesem Kapitel wird die Auswertung folgender Kriterien pilotiert:

- Baulicher Zustand als nicht ausformuliertes Kriterium,
- Wiedervernetzung von Lebensraumnetzwerken, in Anlehnung zum Kriterium 2.4.2, „Wiedervernetzung von Lebensraumnetzwerken bei Ausbauprojekten“ gemäß BVWP 2030 (DAHL et al., 2016, S. 273),
- Lärmbelastung als nicht ausformuliertes Kriterium.

Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise findet sich im Appendix H.5. Ein großes Hindernis bei der Pilotierung ist die mangelnde Datenverfügbarkeit (vgl. auch Appendix H.5.3 Datenquellen und Methodik). Für das Pilotprojekt stehen Auszüge aus den Datenbanken der ASB-ING bereit. Diese enthält allerdings keine unmittelbaren Informationen zum Standort der Bauwerke. Daher wird auf eine Vielzahl öffentlicher Datenquellen zurückgegriffen.

Netzbewertung ABDSB: Baulicher Zustand

Inhalt einer Bewertung des baulichen Zustands auf Netzebene ist die Erfassung und Analyse räumlicher Zusammenhänge. Ziel ist eine Bewertung der Leistungsfähigkeit des Netzes. Da es sich um ein komplexes Problem handelt dessen Lösung keineswegs trivial ist, wird eine Mischung aus quantitativen Indikatoren mit begleitenden Untersuchungen empfohlen.

Die Funktions- und Leistungsfähigkeit des Netzes ist von der Funktions- und Leistungsfähigkeit der zugrundeliegenden Verbindungen bzw. „Korridore“ abhängig. Im Sinne der Netzbewertung ist daher eine korridorbezogene Auswertung unter Einbezug von Alternativstrecken interessant. Quantitative Indikatoren wie Durchschnittswerte oder Perzentile sind zwar in dieser Hinsicht informativ, verschleiern jedoch räumliche Zusammenhänge. Diese können nur mit adäquaten Methoden behandelt werden. Die wohl eingängigste Methode ist die Visualisierung auf einer Karte. Durch die Geokodierung von Daten lassen sich aber auch automatische Auswertungen durchführen.

In die Netzbewertung fließen gemäß Konzept die Ergebnisse der laboranalytischen Untersuchungen

sowie weitere netzrelevante Daten ein. Da im Pilotprojekt – wie auch bei einer hypothetischen Einführung des Systems – die Ergebnisse der laboranalytischen Bewertung noch nicht (flächendeckend) vorliegen, wird hier stattdessen auf den Auszug der ASB-ING unter Berücksichtigung recherchierter Geodaten zurückgegriffen.

In einem ersten Schritt werden die erfassten Daten zum baulichen Zustand der Brückenbauwerke auf einer interaktiven Karte visualisiert. Hierfür werden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt:

1. Darstellung der erfassten Objekte durch einen individuellen Marker, dessen Farbe den Zustand des Objektes widerspiegelt.
2. Berechnung der durchschnittlichen Zustandsnote für einzelne Sektorsequenzen¹⁰, die wiederum entsprechend farblich markiert wurden.

Anhand der Visualisierungen kann man sich in kurzer Zeit einen Überblick über die räumliche Verteilung der Zustandsnoten verschaffen. Bild 17 zeigt Screenshots der ersten beschriebenen Darstellungsvariante. Auf der rechten Seite sind u. a. individuelle Marker zu sehen. Die Farbe des Markers gibt einen groben Aufschluss über den Zustand des Bauwerks; in diesem Fall ist der angeklickte Marker grün, was gemäß Tabelle 8 bedeutet, dass die Zustandsnote im Bereich $\leq 2,3$ liegt. Durch das Anklicken können weitere Informationen abgerufen werden. Auf der linken Seite ist eine Karte in größerem Maßstab zu erkennen. Die Einzelobjekte wurden automatisch zu Clustern zusammengefasst, deren Farbe wiederum die schlechteste Zustandsnote der Einzelobjekte wiedergibt.

Zustandsnote	Farbe
$Z \leq 2,3$	Grün
$2,3 < Z \leq 3,3$	Orange
$3,3 < Z > 3,0$	Rot
unbekannt	Weiß

Tab. 8: Verwendete Farbcodierung für Zustandsnoten

¹⁰ Der Begriff „Sektorsequenz“ stammt aus dem Bundesinformationssystem Straße und bezeichnet einzelne Straßenabschnitte mit Längen von 2 m bis 32 km. Im Durchschnitt ist eine Sektorsequenz ca. 1 km lang. Die Zusammenfassung nach Sektorsequenz wurde als Alternative zur korridorweisen Betrachtung gewählt.

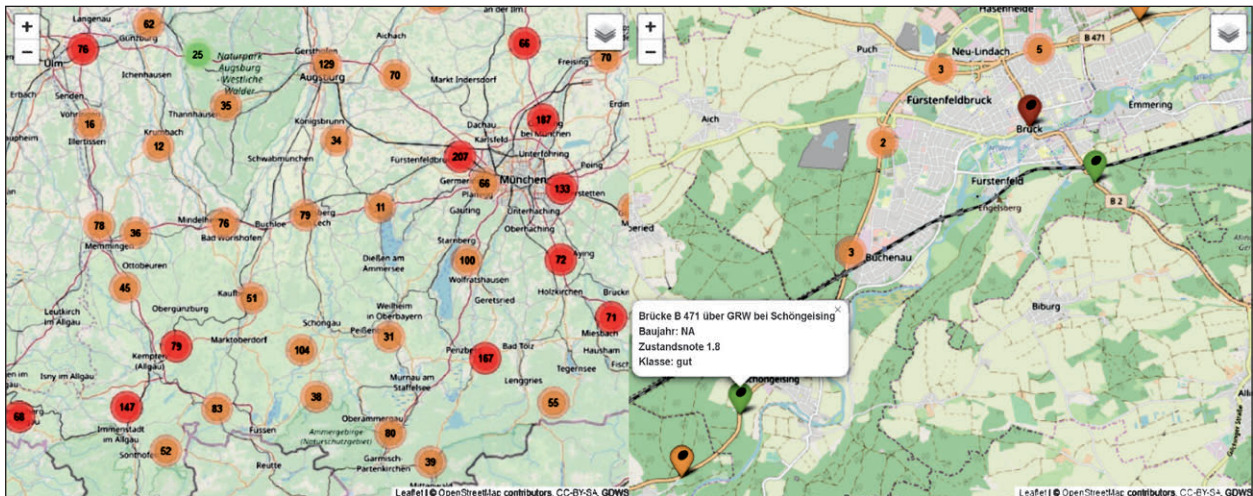


Bild 17: Objektweise Darstellung der Zustandsnote; links: automatische Clustering bei größeren Kartenausschnitt; rechts: einzelner Marker mit PopUp für ein Objekt neben weiteren Clustern bei kleinerem Kartenausschnitt (Quelle: OpenStreetMap contributors, CC-BY-SA, GDWS)

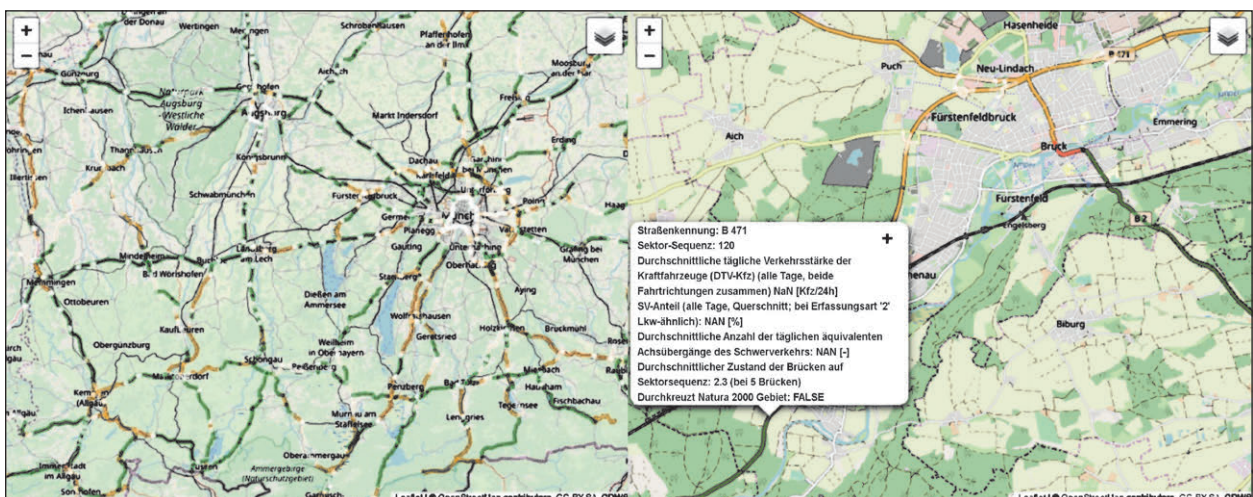


Bild 18: Sektorsequenzweise Darstellung der Zustandsnoten von Brücken; links: Übersicht über einen größeren Kartenausschnitt; rechts: Pop-Up beim Anklicken einer Sektorsequenz (Quelle: OpenStreetMap, CC-BY-SA, GDWS)

Der zweite Visualisierungsansatz ist in Bild 18 zu sehen. Es wurden ähnliche Kartenausschnitte gewählt. Anstelle von Markern, die Objekte und ihren Zustand anzeigen, wurden die Sektorsequenzen der Bundesfernstraßen entsprechend des mittleren Zustands der Bauwerke entlang der Straße demselben Schema entsprechend (siehe Tabelle 8) eingefärbt. Die rechte Hälfte von Bild 18 zeigt wieder zusätzliche Informationen, die durch Anklicken der entsprechenden Sequenz abgerufen werden können.

Die Bilder wurden mit der freien JavaScript-Bibliothek Leaflet als interaktive Karten in R erstellt (CHENG et al., 2018). Leaflet ist eine der am weitest verbreiteten Bibliotheken zur Erstellung von WebGIS-Anwendungen und eignet sich zum Erstellen von interaktiven Dashboards zur Umsetzung

des hier vorgestellten Konzepts. Neben reinem Text lassen sich auch HTML-Codes inklusive Links zu weiterführenden Informationen bzw. Tools in die Pop-Ups der Karte einpflegen.

Im zweiten Schritt werden die Daten in aggregierter Form ausgewertet. Tabelle 9 zeigt die zehn Streckenabschnitte mit der schlechtesten mittleren Zustandsnote für Brücken, für die Daten aus den automatischen Zählstellen vorliegen.

In der Phase Act kann die Priorisierung der Maßnahmen beispielsweise anhand der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke als Kennziffer für die volkswirtschaftliche Bedeutung erfolgen. Eine mögliche Alternative ist Höhe des Schwerverkehrs als indirekter Bezug zur Belastung.

Straßen- kennung	Sektor- Sequenz	Ort	Zustandsnote ¹	DTV ^{1, 2} [Kfz/24 h]	pSV ^{1, 3} [%]	Länge [km]
A 3	2.620	Regensburg	3	74.278	18	2,484
A 3	2.580	Regensburg	2,9	79.535	18,1	6,42
A 3	2.520	Nittendorf/Regensburg	2,8	43.656	21,9	17,66
A 3	2.540		2,8	59.157	17,8	15,138
A 9	2.380	AK Garching-Nord	2,8	138.117	nV	8,332
A 92	340	Landshut	2,8	44.075	13,1	6,24
A 99	360	Hohenbrunn	2,8	96.523	nV	7,098
B 304	120	Karlsfeld	2,8	28.349	6,9	2,813
A 93	700	Schwandorf	2,7	45.958	15,1	6,64
A 93	840	Regensburg	2,7	70.397	nV	4,292
A 93	920	Regensburg	2,7	66.507	10,8	2,082
B 471	440	Bergkirchen	2,7	27.365	10,1	0,562

¹ Bei den Angaben handelt es sich um das arithmetische Mittel der Datenpunkte entlang der angegebenen Strecke
² Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke der Kraftfahrzeuge (alle Tage, beide Fahrtrichtungen zusammen)
³ SV-Anteil (alle Tage; Querschnitt; bei Erfassungsart „2“: Lkw-ähnlich)

Tab. 9: Auszug der zehn Sektorsequenzen mit der schlechtesten mittleren Zustandsnote für die eine durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke vorliegt

Ohne Zielvorgabe ist eine abschließende Bewertung des baulichen Zustands nicht möglich. Gemäß RI-EBW-PRÜF 2017 sind Bauwerke ab einer Zustandsnote $\geq 3,0$ umgehend instand zu setzen. Dies trifft auf 244 von 5.958 ($\approx 4\%$) Bauwerken bzw. bei Betrachtung der mittleren Zustandsnote auf 32 von 7.231 ($\approx 0,4\%$) Sektor-Sequenzen zu.

Netzbewertung ABDSB: Lärmschutz

Bild 19 zeigt wieder zwei Kartenausschnitte, die die bezogenen Daten visualisieren. Die linke Bildhälfte zeigt Memmingen. Die Isophone für Hauptverkehrsstraßen und Hauptstrecken der Bahn sind eingezeichnet. Die Daten werden jeweils durch das LfU Bayern bzw. das EBA als WMS-Dienst bereitgestellt.

Netzbewertung ABDSB: Wiedervernetzung von Lebensraumnetzwerken

Das Kriterium „Wiedervernetzung von Lebensraumnetzwerken“ wird gemäß BVWP 2030 anhand der Ergebnisse der F+E-Vorhabens 3507 82 090 des Bundesamtes für Naturschutz überprüft (DAHL et al., 2016, S. 268). Mangels Veröffentlichung der Geodaten wird die Überprüfung anhand der Natura 2000 Gebiete simuliert, die für die sonstigen Kriterien der strategischen Umweltprüfung des BVWP eine hervorgehobene Rolle spielen.

Die rechte Hälfte von Bild 19 zeigt Füssen-West. In Grün eingezeichnet sind Natura-2000-Gebiete, deren Umrisse als Polygone vom LfU Bayern bereitgestellt werden. Wie auf der Karte zu sehen ist, durchkreuzt hier die A 7 eines der beiden eingezeichneten Naturschutzhabitate. Im speziellen Fall ist das Habitat untertunnelt, sodass eine Durchlässigkeit bereits gegeben ist.

Im Gegensatz zu den Daten des LfU Bayern eignet sich der Auszug der ASB-ING nicht zur automatischen Auswertung der Sachlage. Die übermittelten Auszüge eignen sich nicht zur Prüfung, ob bei vorliegender Zerschneidung eines Naturschutzgebietes die Durchlässigkeit trotzdem gegeben ist. Hinweise darauf, ob es sich bei Bauwerken entlang einer Bundesfernstraße um einen Tunnel, eine Wild- bzw. Grünbrücke handelt oder ob das Gebiet mittels einer Talbrücke überquert wird, finden sich nur in der Namensbezeichnung. Die Namensbezeichnung ist jedoch ein nicht standardisiertes Textfeld. Daher muss bei einem Abgleich nach Stichwörtern zur Identifizierung von Wildbrücken davon ausgegangen werden, dass nicht alle entsprechenden Bauwerke identifiziert werden können. Bei Talbrücken kommt das Problem hinzu, dass zwar die Standorte durch eine Internetrecherche bezogen werden konnten und die Länge der Bauwerke in der ASB-ING benannt werden, jedoch unklar ist, welche relative Position die Bauwerke zu den bezogenen Koor-

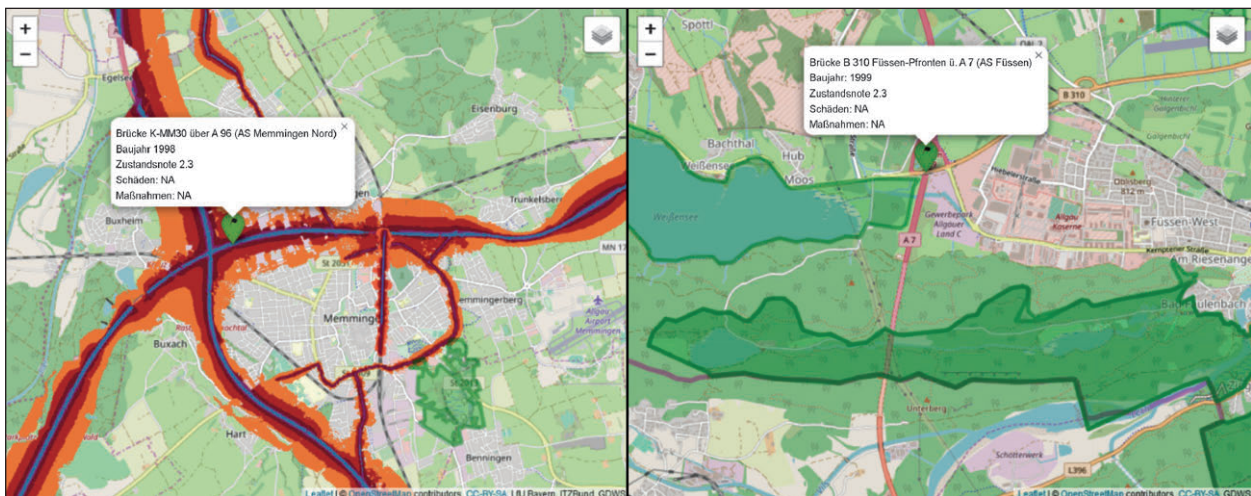


Bild 19: Widget-Ausschnitte zu den Themen Lärm (links) und Naturschutzgebiete (rechts)

dinaten haben. Deshalb entfällt die Auswertung zur Wiedervernetzung von Lebensraumnetzwerken.

4.3 Übertragung des Konzepts auf die Bauwerke der Bundeswasserstraßen

4.3.1 Phase Do am Beispiel der WSV Neckar

Für den Bereich Wasserstraße standen leider keine konkreten Bauwerksdaten analog zu den Daten der Autobahndirektion Süd-Bayern zur Verfügung. Allerdings lässt sich der Prozess bzw. die Vorgehensweise im Abschnitt Do prinzipiell auf alle Infrastrukturbauwerke, seien es Wasserbauwerke oder auch Bauwerke im Verantwortungsbereich Schiene übertragen. Hierbei sind insbesondere die abweichenden relevanten Schädigungsmechanismen und andere Umwelt und Nutzungsbedingungen zu berücksichtigen. Große Teile von Wehr- und Schleusenanlagen sind bspw. in ständigem Kontakt mit Wasser. Für die Ermittlung der relevanten Schädigungsmechanismen sind bei diesen Bauwerken drei Bereiche zu unterscheiden:

- Bauteile, die ständig in Kontakt mit Wasser sind,
- Bauteile, die durch wechselnde Pegelstände (regelmäßige Feuchte/Trocknungszyklen) beeinflusst sind,
- Bauteile, die kaum mit Wasser in Berührung kommen (ausgenommen Niederschlag).

In jedem dieser Bereiche finden unterschiedliche Schädigungen statt.

Für Bauteile, die sich in ständigem Kontakt mit Wasser befinden, ist Auslaugung das größte Problem. Bauteile, die wechselnden Pegelständen ausgesetzt sind, sind anfällig für Korrosion, da Feuchte und Sauerstoff vorhanden sind. Bauteile, die kaum mit Wasser in Berührung kommen, unterliegen ähnlichen Schädigungsmechanismen wie bspw. Brücken- oder Tunnelbauwerke, sprich der Betonalterung durch Carbonatisierung und der damit ggf. verbundenen Korrosion.

4.3.2 Phase Check am Beispiel der WSV Neckar

4.3.2.1 SWOT-Analyse anhand einer beispielhaften Schleusenanlage aus der WSV Neckar

Hier findet der Übergang zum Abschnitt Check, Unterpunkt „Laufende Bauwerksüberwachung auf Objektebene“ statt. Als Beispiel dient die sich in Betrieb befindliche Schiffsschleusenanlage Feudenheim (Obj.ID: 3116516002, Wasserstraßennummer 3301, Baujahr 1927) aus der WSV Neckar. Deren Zustand wird laut einem von der BAW zur Verfügung gestellten Bauwerksverzeichnis mit der Note 4 bewertet. Die Bewertungen bezüglich Konstruktion und Stahlbau werden ebenfalls mit der Note 4 beziffert. Unter dem Punkt Korrosion wurde für die genannte Schiffsschleusenanlage kein Eintrag vorgenommen. Nach bisherigem Kenntnisstand wird davon ausgegangen, dass innerhalb der Betriebszeit keine Instandsetzungsmaßnahmen (Instandhaltung expl. ausgenommen) vorgenommen wurden. Die linke Schleusenkammer soll grundlegend instandgesetzt werden und sie wird von 105 m auf

140 m Länge ausgebaut. Im Folgenden werden interne Einflüsse des Bauwerks und externe Einflüsse aus der Bauwerksumgebung aufgeführt. Daraufhin werden zunächst die Stärken den Chancen und den Risiken und dann die Schwächen den Chancen und Risiken gegenübergestellt und analysiert. Die Analyseergebnisse werden dann in einer SWOT-Matrix dargestellt.

Interne Einflüsse

- Stärken (Strengths)
 - Präventionsmaßnahmen wie die Tiefenhydrophobierung des Betons sind möglich.
- Schwächen (Weaknesses)
 - Die Schiffsschleusenammern sind regelmäßig wechselnd verschiedenen Wasserpegeln ausgesetzt. Diese Tatsache beschleunigt Schädigungsprozesse wie Korrosion infolge von Carbonatisierung massiv.
 - Die Funktion des Bauwerks und damit die Verfügbarkeit der Wasserstraße innerhalb des Verkehrsnetzes sind abhängig von der funktionierenden Steuerungselektronik.
 - Materialkennwerte wie die Porosität des Betons zum Zeitpunkt der Erstellung des Bauwerks und die Bewehrungsüberdeckung sind unbekannt.

- Die Änderung der Materialkennwerte über die Zeit sind nicht dokumentiert: Eine Modellierung der Bauwerkentwicklung nur auf Basis des Ist-Zustands möglich.

Externe Einflüsse

- Chancen (Opportunities)
 - Präventive Maßnahmen wie eine Oberflächenhydrophobierung können in bestimmten Zeitintervallen (ca. 15 Jahre) aufgebracht bzw. erneuert werden (kurzzeitige und planbare Trockenlegung einer einzelnen Kammer – restliche Kammern weiter in Betrieb).
- CO₂-Emissionen und CO₂-Äquivalente der Lebenszyklusemissionen des Bauwerks sowie der Energieverbrauch während des Betriebs wurden von der WSV Neckar für den Ausbau der Schleusenanlagen auf dem Neckar bestimmt und berechnet. Zusätzlich gibt es eine umfassende quantitative Bewertung der Verkehrsbelastung des Neckars sowie potenzieller Verkehrsumlagerungen bei einem Betriebsausfall der Schleusenanlage. Auf dieser Basis können Entscheidungsprozesse innerhalb eines zukünftigen Lebenszyklusmanagement-Systems wesentlich effizienter gestaltet werden.

SWOT Analyse		Interne Analyse	
		Stärken (STRENGTHS)	Schwächen (WEAKNESSES)
Externe Analyse	Chancen (OPPORTUNITIES)	<ul style="list-style-type: none"> • Präventive Maßnahmen zur Verhinderung der zwei Hauptschadensmechanismen (Korrosion durch Carbonatisierung/Feuchtigkeitseintrag) funktionieren und können erneuert werden • Maßnahmen können mit geringer Verkehrsbeeinflussung durchgeführt werden • Eine hohe Bewehrungsüberdeckung ist von konstruktiver Seite aus möglich und diese bietet Puffereigenschaften bis weitere Maßnahmen durchgeführt werden müssen 	<ul style="list-style-type: none"> • Prognosemodelle zur Bauwerkentwicklung benötigen Kenntnis über die Entwicklung von Materialkennwerten • Prognosemodelle für die Planung der zukünftigen Präventionsmaßnahmen können aktuell nur auf Basis von Ist-Zuständen erstellt werden
	Risiken (THREATS)	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Bewehrungsüberdeckung und wirksame Präventionsmaßnahmen verhindern die Hauptschadensmechanismen • Zukünftig erreichbare (oder schon bestehende) Puffereigenschaften des Betons auch gegenüber einem, an veränderte Pegelstände angepassten, Betrieb 	<ul style="list-style-type: none"> • Prognose der Auswirkungen der klimatischen Veränderungen und des gleichzeitig veränderten Anlagenbetriebs auf das Bauwerk kaum möglich • Die Funktion der Steuerungselektronik und deren Energieversorgung sind betriebskritische Einheiten. Eine Reduzierung des Ausfallrisikos kann, durch räumlich voneinander getrennte, redundante Sicherheitssysteme erreicht werden

Tab. 10: Beispiel der Anwendung einer SWOT-Analyse am konkreten Beispiel einer Schleusenanlage

- Risiken (Threats)
 - Aufgrund der durch den Klimawandel induzierten langen Trockenperiode im Sommer 2018 und den damit verbundenen niedrigen Pegelständen wurden auf dem Neckar 17 % weniger Frachtgüter als jeweils 2016 und 2017 transportiert. Es ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht mit ausreichender Sicherheit prognostizierbar, welche Auswirkungen der Betrieb einer Schiffsschleusenanlage hat, der an lange Niedrigwasserperioden angepasst werden muss.
 - Ein Ausfall von Teilen der Steuerungselektronik und ein Ausfall der Energieversorgung führen zum Ausfall des Bauwerksbetriebs und damit zum Ausfall der Verfügbarkeit der Wasserstraße innerhalb des Verkehrsnetzes.

4.3.2.2 Netzbewertung für das Zuständigkeitsbereich der WSV Neckar

- Netzbewertung WSV Neckar: Baulicher Zustand

Die Ausgangssituation bei der Netzbewertung für die WSV Neckar ist ähnlich zu der bei der ABDSB. Zwar liegen Auszüge aus der Bauwerksdatenbank vor, jedoch fehlen in diesen die Geoinformationen. Wesentliche Unterschiede ergeben sich jedoch in der Verfügbarkeit der Geodaten.

Wie in Appendix H.5.3 „Datenquellen und Methodik“ beschrieben stellt die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) zahlreiche Geodaten-

dienste im Internet zur Verfügung, die auch in eigenen Clients für Mobil- und Desktopgeräte eingesehen werden können. In diesen Clients lassen sich auch per Click Informationen aus der Wasserstraßenverkehrsdatenbank der WSV (WADABA) beziehen. Jedoch war es im Laufe des Pilotprojekts nicht möglich die Daten über die definierten Schnittstellen für eine automatische Auswertung abzufragen. Daher wurde ein manueller Ansatz zur Beschaffung von Geoinformationen gewählt.

Lediglich für 58 der 120 im Bauwerksverzeichnis gelisteten Objekte liegen Zustandsnoten vor. 54 dieser 58 Bauwerke fallen in die Kategorie Wehr- oder Schiffsschleusenanlagen. Daher wurden diese 54 Bauwerke im WMS Client gesucht. Äquivalent werden zur Netzbewertung bei der Autobahndirektion die Daten zur Visualisierung wieder in ein Leaflet Widget geladen und gemäß dem Farbschema aus eingefärbt. Screenshots der Ergebnisse sind in Bild 20 dargestellt.

Im Gegensatz zum Bundesfernstraßennetz der ABDSB handelt es sich beim Neckar um eine „einzelne Strecke“ ohne Alternativrouten im selben Verkehrssystem.

- Netzbewertung WSV Neckar: Lärmschutz und Wiedervernetzung von Lebensraumnetzwerken

Gemäß dem Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan entfällt die Überprüfung des Kriteriums „Veränderung der Geräuschbelastung“ bei der Überprüfung von Wasserstraßen (DAHL et al., 2016, S. 232–251). Das Kriterium „Wiedervernet-

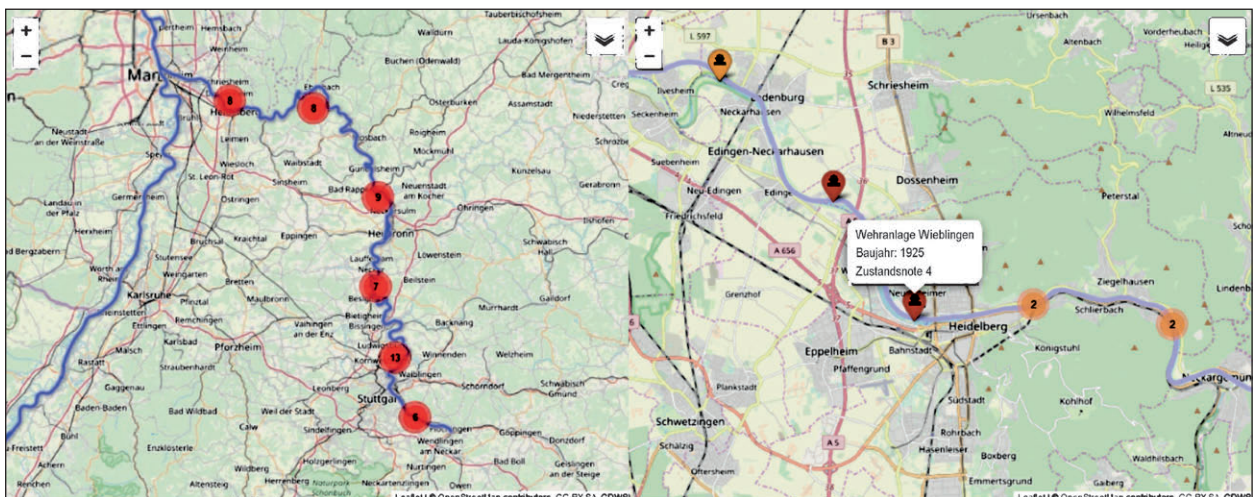


Bild 20: Objektweise Darstellung der Zustandsnoten für Wehr- und Schiffsschleusenanlagen der WSV Neckar; links: Zusammenfassung in Clustern bei großem Kartenausschnitt, rechts: Einzelobjekte bei kleinerem Kartenausschnitt (Quelle:OpenStreet-Map, CC-BY-SA, GDWS)

zung von Lebensraumnetzwerken“ wird grundsätzlich bei Wasserstraßenprojekten geprüft (DAHL et al., 2016, S. 259). Die Umsetzung wurde an dieser Stelle unterlassen, da für Wasserstraßenprojekte grundsätzlich andere Gebiete als die Natura-2000-Gebiete von Interesse sind.

4.4 Übertragung des Konzepts auf die Bauwerke des Bereichs Schiene

Während der Bearbeitungsdauer standen keine Daten zur Auswertung zur Verfügung. Eine Validierung des Konzepts im Verkehrssystem Schiene entfällt daher.

4.5 Zusammenfassung

Die Vorgehensweise bei der Anwendung des entwickelten Prozesses wird für alle Verkehrsträger gleich sein. Ziel war es einen Prozess zu schaffen, der an sich auf alle Bereiche der Verkehrsinfrastruktur übertragen lässt. Der größte Unterschied zwischen den einzelnen Verkehrsträgern besteht in den unterschiedlichen Umwelt- und Nutzungsbedingungen und den damit verbundenen unterschiedlichen potenziellen Risikofaktoren für die verschiedenen Bauwerke.

Straßenbauwerke wie Brücken oder Tunnel sind selten schwankenden Wasserständen ausgesetzt, im Gegensatz zu Wehr- und Schleusenanlagen. Somit sind die potenziell riskanten Schädigungsmechanismen bei den Wasserbauwerken hauptsächlich Auslaugungsprozesse, wohin gegen dies im Bereich Straße recht selten auftritt. Hier treten die Hauptschäden vor allem durch Korrosion des Bewehrungsstahls auf.

Es konnte aufgezeigt werden, dass die Aggregation von Objektdaten auf Netzebene unter Berücksichtigung weiterer netzrelevanter Daten möglich ist. Dies erlaubt die Visualisierung von in Zahlenwerten schwer erfassbarer Zusammenhänge und die Abfrage von Daten in räumlichen Zusammenhängen. Die unterschiedlichen Systeme der Behörden bieten eine Datentiefe, die nicht im vollen Umfang ausgeschöpft werden könnte. Größtes Hindernis hierbei ist die Verteilung der Daten in verschiedene Systeme, mit unterschiedlichen Definitionen und Formaten. Eine zentrale Bereitstellung der Daten, einheitliche Schnittstellen und eine vollständige Dokumentation sind erste wichtige

Schritte für verkehrsträgerübergreifende Betrachtungen.

5 Ausblick

Ein aktives Lebenszyklusmanagement erfordert Daten, Methoden und Prozesse, die dieses ermöglichen. Mit diesem Bericht werden alle drei Themenfelder innerhalb einer zielorientierten Lösung adressiert. Es wird ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess vorgeschlagen, der auf Entscheidungsebene standardisierte und weit verbreitete Methoden beinhaltet. Gleichzeitig wird die Hinwendung zur Erfassung und Analyse von Werkstoffgrößen gefordert, welche eine verkehrsträgerunabhängige Datenhaltung und Interpretation erlauben.

Diese Neuerungen ermöglichen die Anwendung von Zustandsprognosemodellen in der Instandhaltung, darauf basierende bedarfsgerechte Planungen und durch gemeinsame Kommunikationswerkzeuge eine verbesserte verkehrsträgerübergreifende Koordination und Kooperation. Ein besseres Verständnis für den Zustand der Bauwerke, die effizientere und effektivere Mittelverwendung in der Instandhaltung durch angepasste Prävention, weniger Funktionsbeeinträchtigungen durch häufige Baustellen und Synergieeffekte durch Koordination sind Teil der Auswirkungen.

Dennoch, die Einführung eines neuen verkehrsträgerübergreifenden indikatorgestützten Lebenszyklusmanagement-Systems, wie es hier vorgestellt wird, ist ein langwieriger Prozess. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass das System erst nach der Erhebung aller notwendigen Daten sein volles Potenzial entfalten kann. Nur mit einer belastbaren und flächendeckenden Datenbasis lässt sich das zugrundeliegende Bauwerksportfolio steuern.

Die Erhebung der notwendigen Daten selbst stellt eine Herausforderung dar. Dies liegt nicht zuletzt an der hohen Zahl von zu erfassenden Bauwerken. Im Verkehrssystem Bundesfernstraßen sind ca. 40.000 Bestandsbrücken zu erfassen (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2018). Im Bereich der Schiene kommen noch etwa weitere 25.000 Eisenbahnbrücken hinzu (Deutsche Bahn AG, n. d.). Weitere Bauwerkstypen wie Tunnel und ca. 3.000 Wasserstraßen-Bauwerke im Verantwortungsbereich der WSV (Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, n. d.) ergänzen das Portfolio. Für Neubau-

ten lässt sich die Erhebung der benötigten Daten durch die Qualitätssicherung direkt in die Bauphase integrieren, wie es auch das Konzept vorsieht. Aber das Gros des Aufwandes entsteht im oben genannten Bestand.

Die Integration der Datenanforderungen des LZM-Systems in die regelmäßigen Bauwerksprüfungen aller Verkehrsträger aber bietet die Möglichkeit, alle notwendigen Daten systematisch zu erheben und neue Methoden der Bauwerksanalyse etappenweise zu pilotieren, zu evaluieren und zu standardisieren. Perspektivisch ist so eine Ausrichtung des Bauwerksmanagement hin zu einem Lebenszyklusmanagement bei gleichzeitiger verkehrsträgerübergreifender Angleichung der Prozesse, Nomenklaturen und Datengrundlagen möglich.

Nächster Schritt in der Prozessetablierung ist die Durchführung weiterer Pilotprojekte, zur Verbesserung und Validierung des Konzepts nicht nur im Bereich Straße, sondern auch in den Bereichen Schiene und Wasserstraße. Speziell im Hinblick auf die Kontinuität von Prozessen und Datenhaltung sind differenzierte Analysen durchzuführen. Die flexible Definition des hier vorgestellten PDCA-Zyklus erlaubt eine Anpassung auf verschiedene Betriebsabläufe. Eine je Behörde individuelle Adaption mit eigenen Definitionen und Interpretationen würde jedoch den Zweck des Projektes ad absurdum führen.

Weiterhin sind zur Unterstützung des Ausbaus und Verbesserung der Kommunikation verschiedene Workshops und Seminare auszurichten. Zweck ist für die Verantwortlichen, sowohl aus den administrativen Bereichen als auch aus der operativen Ebene eine Kommunikationsplattform zu schaffen, auf der sowohl ein fachlicher Austausch als auch ein Ebenen übergreifender Austausch möglich ist.

Unabhängig von der Etablierung der hier vorgestellten kontinuierlichen Verbesserungsprozesses sind weitere effiziente Maßnahmen zur Etablierung verkehrsträgerübergreifender Arbeitsweisen zu nennen. Ein großes Hindernis bei der Durchführung verkehrsträgerübergreifender Recherchen und Auswertungen ist die Beschaffung von Daten. Bisher sind die Daten, die zur freien Verfügung veröffentlicht werden, nicht zentral verzeichnet. Stattdessen werden Downloads, Geo- und Geodatendienste meist nicht nur getrennt nach Verkehrsträgern, sondern auch getrennt nach den internen Zuständigkeitsbereichen auf den Webseiten der jeweiligen

Abteilungen veröffentlicht. Es ist somit nicht nur äußerst aufwendig Daten zusammenzutragen, im Zweifel bleiben bei der Recherche wertvolle Datensätze im Verborgenen. Ein Positivbeispiel bietet hier die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, die alle Geodatendienste auf einer Homepage bündelt. Eine sehr viel weitergehende Zentralisierung ist jedoch mit geringem Aufwand möglich. Hierzu bieten sich die Webseite des Expertennetzwerks, die eine Plattform für verkehrsträgerübergreifende Recherchen bietet, und Datenportale des Bundes und der Länder an.

Eine solche zentrale Bereitstellung bietet viele Vorteile und eröffnet neue Chancen:

- Das Interesse der Öffentlichkeit am Thema Bestandsmanagement kann durch nun einfachere mediale Berichterstattung gesteigert werden.
- Impulse durch Auswertungen der Forschungsgemeinschaft sind durch die gesteigerte Zugänglichkeit zu erwarten.
- Die Datenbasis für Untersuchungen, intern und extern, wird verbessert. Methoden, die auf mehrere Quellen zurückgreifen, werden weniger aufwendig und somit eher Stand der Technik.
- Unterschiede zwischen den Datenbanken, Möglichkeiten zur Verknüpfung sowie allgemeine Vor- und Nachteile einzelner Systeme könnten öffentlich adressiert und diskutiert werden. Somit kann neue Software schneller und günstiger entwickelt werden.
- Insbesondere durch die Bekanntmachung der Datenquellen beispielsweise bei den Hackathons des BMVI können Innovationen gefördert und Talente rekrutiert werden.

Mit dieser Vorgehensweise können viele der hier vorgebrachten Ideen mit wenig Aufwand und in kurzer Zeit evaluiert und validiert werden.

Literatur

- AF Toscano, n. d. Hardbrücke Zürich: Instandsetzung, Verstärkung
- ALFRED, S.; MANDIC', I. A.; LISA, M.; KONRAD, B. C.; M. J.; R., C. J. (2018): Performance-Indikatoren für die Bewertung von Strukturen aus Konstruktionsbeton auf europäischer Ebene nach COST TU1406. Bautechnik 95, 123–138. <https://doi.org/10.1002/bate.201700104>
- BERTAGNOLLI, F. (2018): Lean Management: Einführung und Vertiefung in die japanische Management-Philosophie, Lehrbuch. Springer Gabler, Wiesbaden
- Bundesanstalt für Straßenwesen (2018): Brücken an Budensfernstraßen – Brückenstatistik 09/2018
- Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2016): Strategische Umweltprüfung zum Bundesverkehrswegeplan 2030: Umweltbericht, Stand: März 2016
- Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2014): Grundkonzeption für den Bundesverkehrswegeplan 2015: bedarfsgerecht, transparent, herausfordernd, Stand 2014. Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur, Bonn
- CHENG, J.; KARAMBELKAR, B.; XIE, Y. (2018): Leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript „Leaflet“ Library
- DAHL, A.; KINDL, A.; WALTHER, C.; PAUFLERMANN, D.; ROOS, A.; WAßMUTH, V.; WEINSTOCK, F.; RÖHLING, W.; MANN, H.-U. (2016): Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030
- Deutsche Bahn AG, n. d. Deutschlands Eisenbahnbrücken | DB Netze Brückenportal [WWW Document]. URL <https://bruecken.deutschebahn.com/> (accessed 6.21.19)
- Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Neuauflage, Stand: 01. Oktober 2016; Kabinettsbeschluss vom 11. Januar 2017. ed, 2016. Die Bundesregierung, Berlin
- DIN 31051 (2018): Grundlagen der Instandhaltung
- FRANGOPOL, D. M. (2011): Life-cycle performance, management, and optimisation of structural systems under uncertainty: accomplishments and challenges¹. Structure and Infrastructure Engineering 7, pp.389–413. <https://doi.org/10.1080/15732471003594427>
- FRANGOPOL, D. M.; DONG, Y.; SABATINO, S. (2017): Bridge life-cycle performance and cost: analysis, prediction, optimisation and decision-making. Structure and Infrastructure Engineering 13, 1239–1257. <https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1267772>
- FRANGOPOL, D. M.; LIU, M. (2007): Maintenance and management of civil infrastructure based on condition, safety, optimization, and life-cycle cost*. Structure and Infrastructure Engineering 3, pp. 29–41. <https://doi.org/10.1080/15732470500253164>
- FRANGOPOL, D. M.; SOLIMAN, M. (2016): Life-cycle of structural systems: recent achievements and future directions. Structure and Infrastructure Engineering 12, pp. 1–20. <https://doi.org/10.1080/15732479.2014.999794>
- GEMECHU, E. D.; SONNEMANN, G.; REMMEN, A.; FRYDENTAL, J.; JENSEN, A. A. (2015): How to Implement Life Cycle Management in Business? In: Life Cycle Management. Springer, pp. 35–50
- HAAG, C.; GERDES, A.; KÜNNIGER, T.; RICHTER, K.; WITTMANN, F. H. (1997): Ökologische Betrachtungen zur Dauerhaftigkeit eines Stahlbetonbauteils. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen 3, 26
- HAAG, C.; GERDES, A.; WITTMANN, F. H. (2014): Hydrophobierung des Betons – Ökologische und ökonomische Aspekte/Water Repellent Treatment of Concrete – ecological and economical aspects. Restoration of Buildings and Monuments 3, pp. 293–314. <https://doi.org/10.1515/rbm-1997-5183>
- Harvard Business School (ed.) (2005): Strategy: create and implement the best strategy for your business, Harvard business essentials. Harvard Business School Press, Boston, Mass
- KLEPZIG, H.-J. (2014): Working Capital und Cash Flow: Finanzströme durch Prozessmanagement optimieren, 3. überarb. Aufl. ed. Springer Gabler, Wiesbaden

- KOCH, S. (2011): Einführung in das Management von Geschäftsprozessen: Six Sigma, Kaizen und TQM. Springer, Berlin
- KÜNZLI, B. (2012): SWOT-Analyse: Ein klassisches Instrument der Strategieentwicklung mit viel ungenutztem Potenzial. ZfO 81, S.126–129
- Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen, 2019. Autobahnausbau bei Leverkusen | Straßen.NRW [WWW Document]. URL <https://www.strassen.nrw.de/de/projekte/autobahnausbau-bei-leverkusen.html> (accessed 4.24.19)
- LIBBE, J.; KÖHLER, H.; BECKMANN, K. J. (2010): Infrastruktur und Stadtentwicklung
- MINTZBERG, H. (1994): The rise and fall of strategic planning: reconceiving roles for planning, plans, planners. Free Press; Maxwell Macmillan Canada, New York; Toronto
- NIEDERBERGER, M.; RENN, O. (2018): Das Gruppendelphi-Verfahren: vom Konzept bis zur Anwendung, 1. Auflage. ed. Springer VS, Wiesbaden
- PELZ, W. (2004): Strategisches und operatives Marketing in Übersichtsdarstellungen: Ein Leitfaden für die Erstellung eines professionellen Marketing-Plans. Books on Demand GmbH, Norderstedt
- PELZETER, A. (2017): Lebenszyklus-Management von Immobilien: Ressourcen- und Umweltschonung in Gebäudekonzeption und -betrieb, 1. Auflage. ed, Beuth Praxis. Beuth Verlag GmbH, Berlin Wien Zürich
- ROSA, W. (ed.) (2017): Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. In: A New Era in Global Health. Springer Publishing Company, New York, NY. <https://doi.org/10.1891/9780826190123.ap02>
- SÁNCHEZ-SILVA, M.; FRANGOPOL, D. M.; PADGETT, J.; SOLIMAN, M. (2016): Maintenance and Operation of Infrastructure Systems: Review. Journal of Structural Engineering 142, F4016004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001543](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001543)
- SCHMIDT-THROE, G.; MIELECKE, T.; JUNG-WIRTH, J.; GRAUBNER, C. A.; FISCHER, O.; KUHLMANN, U.; HAUF, G. (2016): Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Brücken-und Ingenieurbau
- Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, n. d. GDWS – Bauwerke und Anlagen [WWW Document]. WSV.de Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. URL <https://www.gdws.wsv.bund.de/webcode/1214316> (accessed 6.21.19)
- Zivilgesellschaftliche Plattform Agenda 2030 (2018): Wie nachhaltig ist die Schweiz? – Die Umsetzung der Agenda 2030 aus Sicht der Zivilgesellschaft

Bilder

- Bild 1: Schematische Darstellung der Projektkonzepts
- Bild 2: Hierarchische Ordnung und Beispiele zu den Begriffen „Ziel“, Kriterium“ und „Indikator“
- Bild 3: Sinnbild objekt- und nutzungsspezifischer Kriterienkatalog
- Bild 4: Sinnbild für den PDCA-Zyklus
- Bild 5: Grafische Darstellung der SWOT-Analyse
- Bild 6: Sinnbild eines Ishikawa-Diagrammes mit den 5M-Kategorien (eigene Darstellung)
- Bild 7: Beispielhaftes Ishikawa-Diagramm mit Bezug auf die Zuverlässigkeit eines Verkehrsweges
- Bild 8: Grafische Darstellung der Pareto-Regel
- Bild 9: Ablaufdiagramm zum entwickelten KVP
- Bild 10: Beispiel Deckblatt Datenblatt Pilotprojekt Autobahnbrücke
- Bild 11: Beispiel Übersichtsblatt-Datenblatt Pilotprojekt LzM Autobahnbrücken
- Bild 12: Gesamtübersicht Bewehrungsüberdeckung
- Bild 13: Darstellung der Chlorideindringtiefe und der Bewehrungsüberdeckung (Messreihen (Messung 2018))
- Bild 14: Darstellung der Chlorideindringtiefe und der Bewehrungsüberdeckung (Messreihen 2004)
- Bild 15: Darstellung der Verteilung der Carbonatisierungstiefe und der Bewehrungsüberdeckung (Messung 2018)
- Bild 16: Darstellung der Verteilung der Carbonatisierungstiefe und der Bewehrungsüberdeckung (Messung 2004)
- Bild 17: Objektweise Darstellung der Zustandsnote; links: automatische Clusterung bei größeren Kartenausschnitt; rechts: einzelner Marker mit PopUp für ein Objekt neben weiteren Clustern bei kleinerem

Kartenausschnitt (Quelle: OpenStreet Map contributors, CC-BY-SA, GDWS)

- Bild 18: Sektorsequenzweise Darstellung der Zustandsnoten von Brücken; links: Übersicht über einen größeren Kartenausschnitt; rechts: Pop-Up beim Anklicken einer Sektorsequenz (Quelle: Open StreetMap, CC-BY-SA, GDWS)
- Bild 19: Widget-Ausschnitte zu den Themen Lärm (links) und Naturschutzgebiete (rechts)
- Bild 20: Objektweise Darstellung der Zustandsnoten für Wehr- und Schiffsschleusenanlagen der WSV Neckar; links: Zusammenfassung in Clustern bei großem Kartenausschnitt, rechts: Einzelobjekte bei kleinerem Kartenausschnitt

Tabellen

- Tab. 1: Praktische Fragen zur erfolgreichen SWOT-Analyse
- Tab. 2: Kriterienkatalog – baulicher Objektzustand
- Tab. 3: Vorschläge für Bewertungskriterien auf Netzebene
- Tab. 4: Ziele und Lösungsstrategien für den Bundesverkehrswegeplan 2030
- Tab. 5: Kriterien in der Projektbewertung des Bundesverkehrswegeplans 2030
- Tab. 6: Beispiele für Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken in der SWOT-Analyse
- Tab. 7: Beispiel der Anwendung einer SWOT-Analyse am konkreten Beispiel einer Autobahnbrücke der ABDSB
- Tab. 8: Verwendete Farbcodierung für Zustandsnoten
- Tab. 9: Auszug der zehn Sektorsequenzen mit der schlechtesten mittleren Zustandsnote für die eine durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke vorliegt
- Tab. 10: Beispiel der Anwendung einer SWOT-Analyse am konkreten Beispiel einer Schleusenanlage

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

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 <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 114: Intelligente Bauwerke – Anforderungen an die Aufbereitung von Messgrößen und ihrer Darstellungsform

Sawo, Klumpp, Beutler

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

B 115: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln

Mayer, Brennberger, Großmann

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

B 118: Überwachungskonzepte für Bestandsbauwerke aus Beton als Kompensationsmaßnahme zur Sicherstellung von Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Siegert, Holst, Empelmann, Budelmann

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

B 127: Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-2-Schäden

Kuhlmann, Hubmann

€ 21,50

B 128: Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-3-Schäden

Ungermann, Brune, Giese

€ 21,00

B 129: Weiterentwicklung von Verfahren zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Verkehrsinfrastrukturen

Schmellekamp

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

B 134: Nachhaltigkeitsbewertung für Erhaltungs- und Erhaltungskonzepte von Straßenbrücken

Gehrlein, Lingemann, Jungwirth

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

2017

B 135: Wirksamkeit automatischer Brandbekämpfungsanlagen in Straßentunneln

Kohl, Kammerer, Leucker, Leismann, Mühlberger, Gast

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

B 136: HANV als Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-1-Schäden

Stranghöner, Lorenz, Raake, Straube †, Knauff
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 137: Verstärkung von Stahlbrücken mit hochfestem Beton

Mansperger, Lehmann, Hofmann, Krüger, Lehmann € 14,50

B 138: Rückhaltesysteme auf Brücken – Einwirkungen aus Fahrzeuganprall und Einsatz von Schutzeinrichtungen auf Bauwerken

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

B 139: Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovative digitale Bildauswertung – Pilotstudie

Sperber, Gößmann, Reget, Müller, Nolden, Köhler, Kremkau € 16,50

B 140: Untersuchungen zum Beulnachweis nach DIN EN 1993-1-5

U. Kuhlmann, Chr. Schmidt-Rasche, J. Frickel, V. Pourostad
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 141: Entwurf von hydrogeothermischen Anlagen an deutschen Straßentunneln

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

B 142: Einsatz von offenporigen Belägen in Einhausungs- und Tunnelbauwerken

Baltzer, Riepe, Zimmermann, Meyer, Brungsberg, Mayer, Brenberger, Jung, Oeser, Meyer, Koch, Wienecke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2018**B 143: Analyse des menschlichen Verhaltens bei Aktivierung von stationären Brandbekämpfungsanlagen in Straßentunneln**

Mühlberger, Gast, Plab, Probst € 15,50

B 144: Nachrechnung von Stahl- und Verbundbrücken – Systematische Datenauswertung nachgerechneter Bauwerke

Neumann, Brauer € 16,50

B 145: 8. BAST-Tunnelsymposium vom 6. Juni 2018 in der Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach – Tagungsband

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

2019**B 147: Vorbereitung von Großversuchen an Stützkonstruktionen aus Gabionen**

Blosfeld, Schreck, Decker, Wawrzyniak
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2020**B 146: Beurteilung der Ermüdungssicherheit von vollverschlossenen Seilen mit Korrosionsschäden**

Paschen, Dürrer, Gronau, Rentmeister
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 148: Übergreifungslängen von Betonstahlbewehrung Maßgebende Einflussparameter in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

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

B 149: Untersuchungen zum Einfluss von Modellparametern auf die Lebensdauerprognose für Brückenbauwerke

Keßler, Gehlen € 16,00

B 150: Beurteilung der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit von Brücken im Bestand – erweiterte Bemessungsansätze

Hegger, Herbrand, Adam, Maurer, Gleich, Stuppak, Fischer, Schramm, Scheuffler, Zilch, Tecusan
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 151: Verfahren und Modelle zur Quantifizierung der Zuverlässigkeit von dauerüberwachten Bestandsbrücken

Ralbovsky, Prammer, Lachinger, Vorwagner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 152: Bemessung von Kopfbolzendübeln in Randlage unter Vermeidung eines Versagens infolge Herausziehens

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

B 153: Kanalbrücke Berkenthin mit temperierter Fahrbahn – Pilotprojekt

Eilers, Friedrich, Quaas, Rogalski € 15,00

B 154: Korrosionsschutz von Brückenseilen – Wickelverfahren mit Korrosionsschutzbändern

Friedrich € 9,00

B 155: Innovativer und nachhaltiger Ersatzneubau von Betonbrücken

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

B 156: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Monitoringmaßnahmen – Entwicklung eines Konzepts für die Analyse von Nutzen und Kosten

Schubert, Faber, Betz, Straub, Niemeier, Ziegler, Walther, Majka
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 157: 9. BAST-Tunnelsymposium – Tagungsband

in Vorbereitung

B 158: Beanspruchung orthotroper Fahrbahnplatten infolge der Erneuerung des Brückenbelags

Friedrich, Eilers, Quaas, Robrecht, Schamne, Staack
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 159: Lebenszyklusmanagement für Bauwerke der Verkehrsinfrastruktur – Entwicklung eines verkehrsträgerübergreifenden, indikatorgestützten Systems

Lehhardt, Seiler, Gerdes € 15,50

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Webseite finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.