



**Universität für Bodenkultur Wien**

Department für Bautechnik und Naturgefahren

Institut für Konstruktiven Ingenieurbau

Peter-Jordanstraße 82, 1190 WIEN

# Masterarbeit

„Performance basierte Bewertung von  
bestehenden Infrastrukturanlagen“

*Konrad Ciempiel, B.Sc.*

Wien, November 2018

---

universität des lebens

Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplom Ingenieur der  
Studienrichtung Kulturtechnik und Wasserwirtschaft an der Universität für  
Bodenkultur Wien

Betreuung:

*Assoc. Prof. Dr. Alfred Strauss*

eingereicht von

*Konrad Ciempiel, B.Sc.*

Matr. Nr.: 1026572

# Eidesstaatliche Erklärung zur Masterarbeit

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet beziehungsweise mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher noch nicht im Rahmen eines anderen Prüfungsverfahrens eingereicht.

Wien, am 15.November 2018

.....

Konrad Ciempiel *B.Sc.*

# Danksagung

Sehr gerne möchte mich an dieser Stelle bei meinem Betreuer Herrn Assoc. Professor Dr. Alfred Strauss bedanken. Gemeinsam haben wir das Thema dieser Arbeit entwickelt und standen in einem regelmäßigen und sehr hilfreichen Austausch. Herr Professor Strauss hat mich während des gesamten Prozesses im richtigen Ausmaß unterstützt und motiviert, Kontakte zu Projektmitwirkenden hergestellt und die Organisation der hier einfließenden Umfrage übernommen. Seine fachliche Unterstützung und vor allem seine fortlaufende Motivation waren für mich unverzichtbar.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei meinen Eltern, Marek und Beate Ciempiel bedanken. Trotz ihrer eigenen privaten und wirtschaftlichen Höhen und Tiefen haben sie immer zu mir gestanden und mich nach ihren Kräften unterstützt.

Meine Schwester Julia hat mich von Graz aus, in langen Telefonaten mehrmals bekräftigt durchzuhalten, meine Ziele nicht aus den Augen zu verlieren und diese Arbeit fertigzustellen.

Meine Freundin Kristina hat mich in den letzten Phasen dieser Arbeit mental begleitet, mich aufgebaut und mir die nötige Motivation verliehen um durchzuhalten und fertigzustellen. Sie war mir eine wichtige Stütze und ein Anker, wenn einmal der Antrieb schwächer wurde.

# Gender Erklärung

Der Verfasser möchte an dieser Stelle darauf hinweisen, dass aus Gründen der leichteren Lesbarkeit in dieser Arbeit die Sprachform des generischen Maskulinums verwendet wird. Besonders bei Informationen aus technischen Literaturquellen erweist sich die Verwendung von geschlechtsspezifischer Wortwahl als schwierig. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form nicht als Unachtsamkeit, sondern als geschlechtsunabhängig zu verstehen ist.

# Kurzfassung

Um eine Vereinheitlichung im Bereich von Qualitätsmanagement von Straßenbrücken, aus Stahl- und Spannbeton, im europäischen Raum zu schaffen, wurde das Projekt COST Action TU 1406 ins Leben gerufen. Das Ziel dieses Projektkonzepts ist es die großen Schwankungsbereiche, die zwischen den Ländern existieren, hinsichtlich der Entscheidungsfindung und der Instandhaltungsmaßnahmen auf einen gemeinsamen europäischen Standard zu bringen und allgemeingültige Richtlinien für Qualitätskontrollpläne zu entwickeln.

Die vorliegende Arbeit wurde im Zuge der Entwicklung dieses Projektes erstellt. Sie beschreibt die Vorgehensweise in der erstellten Umfrage bezüglich der homogenisierten Performance Indikatoren und zeigt die Verfahrensweise, des Bewertungsschemas zu den Key Performance Indikatoren anhand von bestehenden Straßenbrücken auf.

Ein zentraler Teil dieser Arbeit widmet sich der Dokumentation, sowie der Auswertung der gesammelten Ergebnisse aus der Umfrage.

Auf Grundlage dieser Recherchearbeiten wurde ein Bewertungsschema erprobt, indem eine Zustandsbeurteilung von bestehenden Straßenbrücken, vorwiegend von Stahlbetonbrücken durchgeführt wurde.

Die Ergebnisse und die Vorgehensweisen der verschiedenen Arbeitsgruppen, der sogenannten WG 1, 2 und 3 werden zusammengefasst und in einer anschließenden inhaltlichen Diskussion und Interpretation dargestellt.

Die Arbeitsabschnitte bilden einen Anhaltspunkt zur Entwicklung der standardisierten Richtlinie zur Erstellung von Qualitätskontrollplänen für Straßenbrücken und werden in dieser Arbeit schrittweise erläutert. Letztendlich soll diese Arbeit die wesentlichen Inhalte und die Vorgehensweise der Working-Gruppen aufzeigen und danach die Ergebnisse in einem Vergleich gegenüberstellen.

# Abstract

The COST Action TU 1406 project was launched in order to standardise the quality management of road bridges made of reinforced and prestressed concrete in Europe. The purpose of this project concept is to bring the large fluctuation areas that exist between the countries to a common European standard with reference to their decision-making and maintenance measures and to develop generally applicable directives for quality control plans.

The present work has been prepared in the course of the elaboration of this project. It describes the procedure in the survey concerning the homogenised performance indicators and shows the methodology of the evaluation scheme for the key performance indicators on the level of existing road bridges.

A major part of this thesis is dedicated to the documentation and evaluation of the collected results of the survey.

On the results of this research, an evaluation scheme was tested by carrying out an assessment of the condition of existing road bridges, mainly reinforced concrete bridges.

The results and procedures of the various working groups, the so called WG 1, 2 and 3, are summarised and presented in a subsequent discussion and interpretation of the content.

The work sections form a point of reference for the development of the uniform guideline for the preparation of quality control plans for road bridges and are explained step by step in this work. Ultimately, this work is designed to show the main contents and the individual work steps of the working groups and then compare the results in a benchmark.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>II</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Definitionen</b> .....	<b>VII</b>
<b>1 Grundlagen und Einführung in die Thematik</b> .....	<b>1</b>
1.1 Einleitung und Problemstellung.....	1
1.2 Relevanz des Themas.....	3
<b>2 Allgemeine Grundlagen</b> .....	<b>4</b>
2.1 Lebensdauer von Straßenbrücken.....	4
2.2 Maßnahmen der Erhaltung .....	6
2.2.1 Zustandserhebung, Finite Elemente-Modellierung, Untersuchung und Inspektion .....	7
2.2.2 Zustandsbewertung.....	8
2.3 COST Action TU 1406.....	8
2.3.1 Projektentstehung.....	8
2.3.2 COST Action TU 1406 Zielsetzung .....	10
2.3.3 Strategie der COST Action TU 1406.....	11
2.4 Kriterien zur Bewertung von Brücken in Österreich.....	13
2.4.1 ONR 24008 .....	13
2.4.2 Vorgaben für Bauten aus Beton und Stahlbeton .....	14
2.4.3 ÖNORM B 4706.....	14
2.4.4 RVS 02.02.33 Verkehrsplanung, Verkehrssicherheit, allgemeines Sachverständigenwesen, Road Safety Audit .....	15
2.4.5 RVS 02.02.34 Road Safety Inspection, Durchführung von Inspektionen von Straßen mit öffentlichem Verkehr .....	17
2.4.6 RVS 13.03.01 Monitoring von Brücken und anderen Ingenieurbauten .....	17
2.4.7 RVS 13.03.11 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten .....	18

---

2.4.8	RVS 13.05.11 Lebenszykluskostenermittlung für Brücken .....	19
2.4.9	RVS 15.02.11 Vorkehrungen zur Brückenprüfung und Brückenerhaltung .....	20
2.5	Zusammenfassung .....	20
<b>3</b>	<b>Performance Indikatoren als Bewertungsgrundlage.....</b>	<b>22</b>
3.1	Kategorisierung der Performance Indikatoren .....	23
3.1.1	Performance Indikatoren auf Komponentenebene.....	24
3.1.2	Technische Aspekte.....	25
3.1.3	Sozioökonomische Aspekte.....	27
3.1.4	Kriterien technischer Art.....	28
3.1.5	Systemebene.....	29
3.1.6	Aspekte der Nachhaltigkeit .....	30
3.1.7	Sozioökonomische Aspekte.....	31
3.1.8	Performance Indikatoren auf Netzwerkebene.....	32
3.1.9	Performance Indikatoren vs. Performance Goals.....	35
3.2	Zusammenfassung .....	38
<b>4</b>	<b>Umfragen zu Performance Indikatoren .....</b>	<b>42</b>
4.1	Einleitung.....	42
4.2	Schematische Darstellung der Umfragephasen.....	44
4.3	Vorgehensweise der Umfrage .....	44
4.4	Ablauf der Umfrage.....	46
4.5	Anleitung (Konzept) der Umfrage .....	48
4.5.1	Skalare Bewertungsskala .....	50
4.5.2	Spider Matrix .....	50
4.6	Umfrageergebnisse .....	50
4.6.1	Zusammenstellung inhaltlicher Aspekte der WG 1 und WG 3.	55
4.6.2	Tätigkeitsbereiche der COST Action TU 1406 und deren Inhalte .....	55
4.6.3	Hauptergebnisse und inhaltliche Interpretation der Untersuchung.....	57
4.4.5	Ablaufschema der Untersuchung und kritische Anhaltspunkte in der Datenerhebung.....	57
4.7	Auswertung und Ergebnisdarstellung .....	59

---

4.8	Erwartungen der Ergebnisse für weitere Forschungszwecke .....	65
4.9	Theoretische Grundlagen zur praktischen Anwendung .....	65
4.10	Erkenntnisse aus der Umfrage.....	66
4.10.1	Theoretische Grundlagen der WG 3 .....	70
4.10.2	Methodik der WG 3 .....	74
4.10.3	Empfehlung der WG 3 zur Vorbereitung Qualitätskontrollen...	75
4.10.4	Graphische Zusammenstellung aller Komponenten für die Erstellung eines Protokolls für Qualitätskontrollen .....	86
4.11	Studien und Ergebnisse die den Ergebnissen dieser Arbeit widersprechen.....	89
4.12	Resümee und Ausblick .....	89
<b>Literaturverzeichnis .....</b>		<b>i</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>		<b>v</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>		<b>vi</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>		<b>ix</b>
<b>Anhang .....</b>		<b>x</b>



Abbildung 0.1: Brücke zwischen Cádiz und Puerto Real  
(<https://www.strandgazette.com/2015/09/24/die-neue-bruecke-zwischen-cadiz-und-puerto-rreal-ist-eroeffnet/> 02.09.2018)

*„Tag und Nacht wächst der Schatz guter Taten bei denen, welche Gärten und Haine anlegen, Brücken errichten, Brunnen und Wasserleitungen bauen.“*

Buddha (Siddharta Gautama in etwa um 368 v. Chr.)

# Definitionen

Die einzelnen, in der Arbeit erwähnten Definitionen werden hier zum besseren Verständnis gesammelt angeführt.

**Asset Management:** Der englische Begriff bezeichnet die gebündelten und koordinierten Aktivitäten in der Schnittstelle zwischen Eigentümer/Betreiber, Nutzer und Dienstleistern, um Vermögenswerte festzustellen. Dabei wird zwischen Kosten, Risiken, Wirtschaftlichkeit, Ressourcen und der Optimierung von Leistung der bestmögliche Weg vorgeschlagen.

**Gebrauchstauglichkeit:** Im Bauwesen beschreibt dieser Begriff die Eigenschaft eines Bauwerkes in der uneingeschränkten Nutzung für den vom Eigentümer/Betreiber vorgesehenen Zweck.

**Lebensdauer:** Das betrifft den Zeitraum nachdem ein Bauwerk (auch die einzelnen Teile) errichtet wurde, bis zum Zeitpunkt der Annäherung oder der Erreichung/Annäherung an die erforderte Lebensleistung.

**Lebenszykluskosten:** Das sind die Ausgaben für einen Vermögensgegenstand, gerechnet über die gesamte Lebensdauer für die Erbringung der Anforderungen an die Leistung.

**Messbar/prüfbar Parameter:** Diese beschreiben die objektiven Kriterien von Materialien. Sie sind die quantitative Erfassung eines Performance Aspektes.

**Performance Assessment:** Das sind Gewährleistungsüberprüfungen zur Überprüfung der Zuverlässigkeit einer Konstruktion in der bevorstehenden Verwendung.

**Performance Kriterien:** Das sind quantitative Grenzwerte, die einem Performance Indikator zugeordnet sind. Sie zeigen auf, wann die Grenze im Anspruch auf Qualität, Zustand, Lebensdauer und andere Kriterien erreicht ist.

**Performance Goal:** Ein definiertes Ziel – ein Leistungsanspruch an die Eigenschaften eines Bauwerkes. Es ist aufbauend auf der Beurteilung durch verschiedene Performance Indikatoren.

**Performance Index:** Ein Leistungsparameter, Leistungstest, einer Brückenkonstruktion, als dimensionslose Zahl oder durch einen Buchstaben bezeichnet, die/der den Parameter auf einer Skala (von-bis; von sehr gut, bis schlechter Zustand) darstellt.

**Performance Indikator:** Diese Indikatoren sind Eigenschaftsbeschreibungen und beschreiben den Zustand einer Brücke. Sie können als dimensionale Performance Parameter oder dimensionslos dargestellt sein.

**Performance Level:** Das sind Kriterien, die sicherheitsbezogene Teile eines Bauwerks, gemessen an dessen Leistungsanforderungen bewerten helfen. Je höher der PL (Performance Level) ausfällt, desto zuverlässiger ist dieses Bauwerk. Der PL des bewerteten Bauteils sollte mindestens so hoch sein wie der Risikowert der betrachteten Funktion. Das bedeutet etwa, wenn sich für eine Funktion ein Risikowert  $c$  ergibt, darf der PL des Bauteils auch nur bei  $c$  oder höher ( $d$  oder  $e$ ) liegen.

**Performance Threshold:** Ein Grenzwert, der zur Evaluierung, Überwachung und zur Unterstützung in der Entscheidungsfindung dient.

**Risiko:** Erfassung von Risikoarten, Gefahren und der Möglichkeit von direkten/indirekten Schäden und Folgeschäden. Definiert sich als

Ergebnis/Konsequenz eines Versagens und der Voraussage wann dieser Schaden eintreten wird.

**Schaden:** Die Verschlechterung eines Zustandes von einzelnen Komponenten oder des gesamten Bauwerkes infolge äußerer, schädigender Faktoren. Gesamt kann er als Minderung oder Nachteil im Leistungsanspruch des gegenwärtigen oder zukünftigen Zustandes gesehen werden. Wobei die Verschlechterung die mechanischen Eigenschaften der Materialien, aber auch die geometrischen Eigenschaften einer Baukonstruktion insgesamt betreffen können.

**Sicherheit:** Beschreibt das Gegenteil des Risikos und bedeutet, dass sich der Zustand eines Bauwerkes in einer voraussichtlich störungsfreien und gefahrenfreien Funktion befindet.

**Zuverlässigkeit:** Ein Merkmal, dass die Zuverlässigkeit eines Systems oder einer Komponente unter den gegebenen Voraussetzungen auf die Dauer der angegebenen Lebensdauer beschreibt.

(vgl. Strauss et. al. 2016)

# 1 Grundlagen und Einführung in die Thematik

## 1.1 Einleitung und Problemstellung

Straßenbrücken zählen als Teil der technischen Infrastruktur zum Gesamtstadtbild jeder europäischen Stadt. Sie sind Ausdruck für den Gestaltungswillen der Techniker, zeigen im Idealfall den Umgang im Einklang mit der Natur und stellen einen essentiellen Anteil im städtischen Gesamtbild dar. Eine gut geglückte Konstruktion sollte eine Symbiose zwischen der Wirtschaftlichkeit, der technischen Funktionalität und der Sicherstellung der Belastbarkeit durch das Straßennetz und den unterschiedlichen Umwelteinflüssen darstellen. Gerade die Funktionalität von Straßenbrücken mit der täglichen Belastung durch Verkehr und insbesondere dem Schwerverkehr stellt eine große Herausforderung an Erhaltung, Sicherheit und Funktionsfähigkeit von Brücken und deren Überprüfungsverfahren durch das Fachpersonal. Bei den Kosten für Investitionen und Folgekosten der Erhaltung des Gesamtstraßennetzes entfällt auf die Straßenbrücken der höchste Anteil des städtischen Budgets. Die Erhaltung, die Sicherheit und die Funktionsfähigkeit der Brücken stehen nicht nur im Interesse der verantwortlichen Errichter und Brückenerhalter, sondern letztendlich auch der Benutzer dieser Konstruktionen. Aus diesen Gründen sind bei solchen Ingenieurswerken die zuverlässige und sicherheitsorientierte Ausführung von allergrößter Wichtigkeit. In diesem Spannungsfeld zwischen Errichtung, laufendem Erhalt und Benützung der Brückenbauten stehen alle involvierten Beteiligten. Wie jedes andere Bauwerk auch, zeigen diese Konstruktionswerke, nach einer gewissen Nutzungsdauer, infolge von natürlicher Alterung und Steigerung des Verkehrsaufkommens, speziell durch den Schwerverkehr, einen zunehmend schlechteren Zustand. Der Prozess der Schädigung kann durch Einwirkung physikalischer, chemischer oder

mechanischer Einflüsse entstehen. Daher müssen sie im Interesse der Sicherheit kontinuierlich überwacht und instandgehalten werden. Mittels eingehender Überprüfung sollen Schäden rechtzeitig erkannt und Instandhaltungsprioritäten sichtbar gemacht werden. Das ist mit laufendem Aufwand und Kosten verbunden. Kosteneinsparung an falscher Stelle können bei diesen Bauten zu einer Zunahme von Bestandsschäden führen. Das zeigt die Notwendigkeit der regelmäßigen Kontrolle und Untersuchung und allenfalls des Ergreifens von zielführenden Maßnahmen, um die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Brücken zu gewährleisten und um deren geplante Lebensdauer zu sichern, beziehungsweise zu erweitern.

Um zu einer verlässlichen Gewährleistung in der Qualitätskontrolle zu gelangen, wurden Qualitätskontrollpläne verfasst. Sie regeln die zeitlichen Kontrollabstände und im Schadensfall die adäquaten Anordnungen zur Schadensbehebung. Um den Zustand und allenfalls den Umfang von Schäden zu erfassen wurden die sogenannten Performance Indikatoren entwickelt. Sie sind ein Instrument, um die Schäden qualitativ und quantitativ zu beschreiben. Diese Performance Indikatoren können durch visuelle Inspektionen, eine zerstörungsfreie Prüfung, oder durch ein zeitlich limitiertes, beziehungsweise mittels dauerhaften Monitoringsystemen gewonnen werden. Auf diese Performance Indikatoren, in Bezug auf Bewertung, wird innerhalb dieser Arbeit, ab Kapitel 3. noch genau eingegangen.

Da innerhalb Europas die Qualitätskontrollen standardisiert ablaufen sollten, wurde ein Verfahren dafür entwickelt. Das Projekt dazu nennt sich COST Action TU 1406. Dieses Projekt hat es sich als Ziel gesetzt Qualifikationsspezifikationen für Ingenieurbauwerke zu entwerfen und in Hinsicht auf Europa zu normieren. Auf der wissenschaftlichen Ebene geht es um die Erforschung von Managementstrategien zur Erhaltung von Infrastrukturbauwerken, besonders jener von Straßenbrücken.

Für Österreich werden Normen und Richtlinien als Bildung der Grundlage in der Zustandsüberprüfung und für die Erhaltungspläne angewendet. Diese

Richtlinien werden im Kapitel der Kriterien zur Bewertung von Brücken noch einmal im Detail anhand eines Beispiels vorgestellt.

Im ersten Teil der Arbeit wird das Thema der Erhaltung von Brücken dargestellt und anhand der Vorgehensweisen der COST Action TU 1406 erklärt.

## **1.2 Relevanz des Themas**

Die Relevanz dieser Thematik ergibt sich aus mehreren Gründen. Erstens kommen die Brückenbauten aus den vergangenen Jahrzehnten und auch noch ältere Konstruktionen in „die Jahre“ und bedürfen technischer Adaptionen, Erneuerungen, Kontrollen und allenfalls eines Abrisses und Neubaus nach heutigen Standards. Das beinhaltet auf die Lebensdauer gesehen sämtliche Prozesse der Abnutzung, als auch der Alterung. Diese hängen im Wesentlichen von der baulichen Beschaffenheit, der eingesetzten Materialien, der Umwelt- und Wetterbedingungen und zusammenhängend damit mit auch der Leistungsfähigkeit insgesamt ab.

Als relativ aktueller Exkurs und in Bezug auf die Themenrelevanz kann an dieser Stelle die Tragödie in Genua 2018 angeführt werden. Bei diesem Unglück ist die Autobahnbrücke über einem Industriegebiet kollabiert und zahlreiche Menschen sind dabei gestorben oder schwer verletzt worden. Da bereits Sanierungsarbeiten für diese Brücke ausgeschrieben waren, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Brücke bereits in einem maroden Zustand befand (vgl. o. V. Focus online 2018). Aus genau diesen Gründen ist es das erklärte Ziel der COST Action TU 1406 solchen Tragödien zuvorzukommen, um Schäden rechtzeitig schon im Vorfeld zu erkennen und um entsprechende Maßnahmen ergreifen zu können.

## **2 Allgemeine Grundlagen**

### **2.1 Lebensdauer von Straßenbrücken**

Wie bereits erwähnt unterliegt die Lebensdauer aller Bauteile und besonders jene der Straßenbrücken, einem Abnutzungs- und Alterungsprozess, der durch mechanische, naturbedingte, sowie chemische Einflüsse verursacht wird und zu einer allmählichen Bauwerksdegradation führt. Das können externe Faktoren, wie witterungsbedingte Einflüsse, Umwelteinflüsse, temperaturbedingte Einflüsse, nutzungsbedingte Einflüsse wie: Verkehrsbelastung, Abgasbelastung, Belastungen durch das Eigengewicht, oder auch der Einfluss durch chemische Mittel, wie jene der Abtausalze während der Wintermonate sein. Jedoch auch interne Faktoren, wie die Auswahl der Baumaterialien und letztendlich die Qualität der Bauausführung der Konstruktion haben Einwirkung auf die Nutzungsdauer. Natürlich sind von Menschen erbaute Konstruktionen leider nicht immer fehlerfrei und es können immer Planungsfehler, Materialfehler und Ausführungsfehler eine Rolle in der Dauerhaftigkeit des Bauwerkes spielen. Entstehen durch diese erwähnten Einflüsse ausgelöste Schäden, so verliert das Bauwerk an Lebensdauer. Nach der Errichtung dieser Bauwerke müssen Zuverlässigkeitsniveau, die planmäßige Nutzungsfähigkeit und die geplante Nutzungsdauer regelmäßig einer Prüfung unterzogen werden. Diese Überprüfungsmaßnahmen betreffen die technischen und administrativen Handlungsschritte, sowie das Management zur Erhaltung einer verlässlichen Funktionsfähigkeit oder der notwendigen Schritte im Anspruch auf den vollen Zuverlässigkeitszustand und der Erhalt der planmäßigen Lebensdauer. Die Erhaltung von Bauwerken hat als Ziel die Sicherheit der Tragfähigkeit (Zuverlässigkeit), die Funktionalität, die Gebrauchstauglichkeit und natürlich auch die Kostenoptimierung im Sinne des zuständigen Erhalters zu gewährleisten. Zur Verständlichkeit folgt hier exemplarisch eine Darstellung der Erhaltungsmaßnahmen-Strategien.

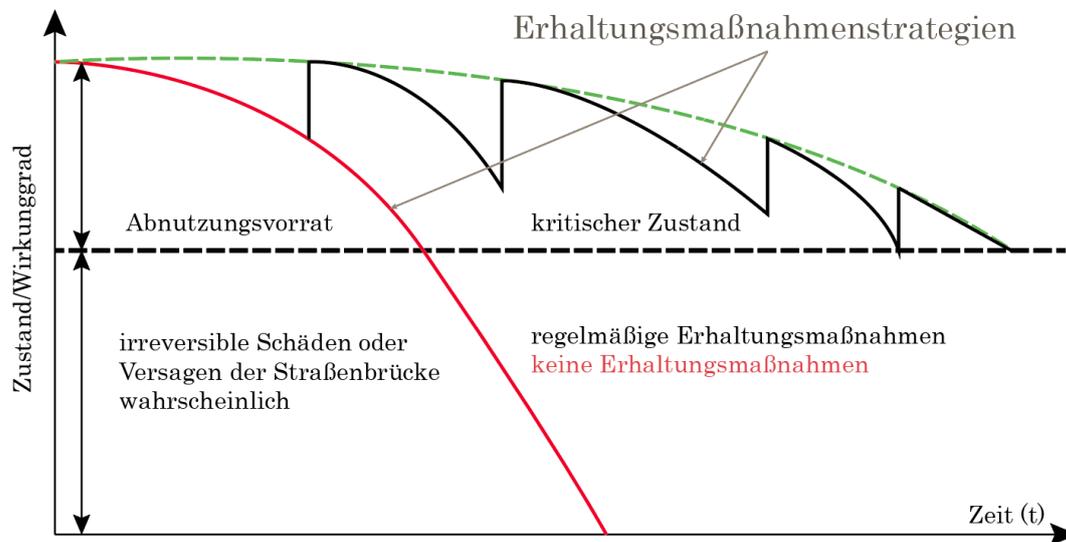


Abbildung 2.1: Erhaltungsstrategien (Eigene Darstellung, angelehnt an Strauss et al., 2016, S. 3)

Bezüglich der Bauwerkserhaltung von Straßenbrücken kann in zwei wesentliche Maßnahmenkategorien unterschieden werden:

- Maßnahmen, die einen derartigen Bau dabei unterstützen seine geplante Lebensdauer einzuhalten,
- Und Maßnahmen, die helfen eine errechnete Lebensdauer zu überschreiten und darüber hinaus das Leistungsspektrum noch weiter erhöhen können.

Gemäß den Anforderungen an das jeweilige Bauwerk werden bereits in der Planungsphase, das zu erwartende Verhalten des Bauteils unter Einbeziehung des möglichen Verhaltensverlaufes festgesetzt und entsprechend der zu erwartenden Lebensdauer die bauwerkserhaltenden Zustandskontrollmaßnahmen gesetzt. Inspektionen und Prüfungen, die auf die Langlebigkeit und Verlässlichkeit in der Leistungsanforderung oder um neuen Nutzungsprofilen gerecht zu werden hinarbeiten, werden bei der Neugestaltung einer Baukonstruktion berücksichtigt. Der Istzustand erlaubt es Prognosen über das Verhalten des Bauwerkes in der Zukunft zu stellen (vgl. Fédération internationale du béton/International Federation for Structural Concrete (*fib*), 2013, S. 367).

So sind in den Erhaltungsplänen Zustands-Kontrollmaßnahmen enthalten, die eine prognostizierte Lebensdauer einhalten und sogar überschreiten helfen können.

## **2.2 Maßnahmen der Erhaltung**

Die Erhaltungspläne für die Konstruktionstechnologie dienen der Organisation und der Lebenserhaltung von Bauwerken. Inhaltlich schlagen sie die Inspektionsart, und die Überwachung des Zustandes vor. Sie enthalten Vorschläge, welche die Konstruktionsteile überprüfen und sie beinhalten einen Anhaltspunkt für die Häufigkeit, beziehungsweise die Abstände der Inspektionen. Viele der heute bestehenden Konstruktionen sind ohne Erhaltungspläne gebaut worden. Sie sollten ein essentieller Inhalt des Lebenszyklusmanagements werden und daher in das Lebenszyklen-denken integriert sein (vgl. Bergmeister, et. al., Beton Kalender 2016, S. 977).

Wesentliche Inhalte der Erhaltungspläne und Maßnahmen beziehungsweise Methoden betreffend die

- Inspektions- und Zustandsüberwachungen
- Bestimmung von Abnutzungs- und Alterungsgraden
- Evaluierungen bezüglich der Leistungsfähigkeit eines Bauwerkes, der Leistungsfähigkeit gegenübergestellt
- Geeignete Maßnahmen, bei Nichterreichung der Leistungsfähigkeit
- Dokumentation der Zustandskontrolle

Die Inhalte dieser Erhaltungspläne sind die maßgeblichen Punkte in den Erhebungen zur Sicherung der Standards im Qualitätsmanagement.

### **2.2.1 Zustandserhebung, Finite Elemente-Modellierung, Untersuchung und Inspektion**

Zustandserfassungen geben Aufschluss über Form, Bauart, Abnutzung, beziehungsweise Altersanzeichen und Leistungspotenzial. Eine Zustandserhebung ist ein entscheidender Teil der Lebenszyklus-Analyse eines Bauwerkes. Sie kann in visueller oder messtechnischer Form stattfinden. Ein anderes Verfahren wäre die Entnahme von Proben und eine Finite Elemente-Modellierung, bei der die Einwirkungskombination präziser erfasst wird. In Österreich unterliegen die Brücken der regelmäßigen Bauwerksprüfung gemäß den Richtlinien der RVS vom 13.03.2011 für Straßenbrücken. Die dafür zuständige Behörde in Wien, ist die Magistratsabteilung 29 Brückenmanagement.<sup>1</sup> Diese Bauwerksüberwachung wird auf Basis der „Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS), insbesondere die RVS 13.71- Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten, Straßenbrücken“ durchgeführt. Bei Brücken wird die „laufende Überwachung zumindest alle vier Monate durch einen internen Streckenwartedienst des Betreibers und Erhalters, also einer Befahrung durch einen Werkmeister, beziehungsweise Werkmeisterin durchgeführt. Dabei werden die „Funktionstüchtigkeit und die Verkehrssicherheit der Fahrbahn und der Brückenausrüstung“ (o.V. Kontrollamt der Stadt Wien, 2018) überprüft. Alle zwei Jahre werden Brücken einer Prüfung durch ein entsprechend geschultes Fachpersonal auf Erhaltungszustand und Funktionstüchtigkeit aller Brückenbauteile unterzogen. Die Holztrageteile werden laut der QM-Arbeitsanweisung jährlich geprüft.<sup>2</sup> Das österreichische Erhaltungsmanagement von Ingenieurbauten wird im Sinne einer „Präventiven Erhaltung“, also im Sinne einer vorausschauenden „Erhaltungsphilosophie“ (Weninger-Vycudil et. al., 2013, S. 50) interpretiert.

---

1 Anm.: Diese Magistratsabteilung hat dem Verfasser, dankeswerterweise Bildmaterial von Bestandsbrückenschäden für diese Arbeit zur Verfügung gestellt.

2 Anm.: Dabei handelt es sich meist um visuelle Inspektionen.

## **2.2.2 Zustandsbewertung**

Baukonstruktionen unterliegen während der Nutzungsdauer einer Palette von Schädigungsmechanismen. Ohne die entsprechenden Gegenmaßnahmen verkürzen diese Mechanismen den Lebenszyklus dieser Bauten. Besonders die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit dürfen durch Schäden und Mängel am Bauwerk, die im Laufe der Lebensdauer entstehen, nicht unzulässig eingeschränkt werden. Die Dauerhaftigkeit einer Baukonstruktion muss über die gesamte Nutzungsdauer gewährleistet sein (vgl. Zilch/Zehetmaier 2010, S. 22-25). Die Abnahme der Leistungsfähigkeit eines Bauwerkes wird durch eine Bewertung mittels vorhandenen Planungsunterlagen, den laufenden Inspektionsergebnissen, möglichen Monitoring-Auswertungen und Kontrollen festgestellt. Diese Untersuchungsergebnisse und prognostischen Aussagen beeinflussen die Entscheidungen bezüglich des Managements dieses Bauwerkes und der allenfalls notwendigerweise zu setzenden Maßnahmen.

Bereits in der Planungsphase wird der erforderte Leistungsanspruch von Baukonstruktionen in Schwellenwerten festgehalten. Diese Werte stellen eine Mindestanforderung an das Bauwerk in Hinsicht auf die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit und auch im Hinblick auf das optische Gesamterscheinungsbild eines Bauwerkes dar (vgl. Fédération internationale du béton/International Federation for Structural Concrete (*fib*), 2013, S. 378).

## **2.3 COST Action TU 1406**

### **2.3.1 Projektentstehung**

Die Anforderungen an das Asset-Management von Straßen sind vielfältig. Ein intaktes Straßenverkehrsnetz stellt Transporte auf dem Straßenweg sicher, es verbindet die Menschen und ermöglicht Ihnen Distanzen zu Arbeitsplatz, Bildungseinrichtungen, medizinischen Versorgungseinrichtungen und vieles mehr zu erreichen. So stellt diese technische Infrastruktur in wirtschaftlichem,

## *ALLGEMEINE GRUNDLAGEN*

---

gesellschaftlichem und ökologischem Hinblick einen wichtigen Stellenwert für die immer weiter ansteigende Mobilität in der heutigen modernen Gesellschaft dar. Diese Tatsache stellt entsprechende Anforderungen an die Betreiber und Erhalter von Straßen, das Management der Bauwerke, einerseits ökonomisch und andererseits in den vorgeschriebenen technischen Standards zu erhalten, zu warten und allenfalls rückzuführen, um letztendlich einen Abbruch zu vermeiden.

Die COST TU 1406 oder COST Action TU (European Cooperation in Science & Technology) ist ein Projekt zur Beurteilung des Zustandes von Straßenbrücken. Sie bildet seit 1971 einen europäischen Rahmen zur Unterstützung, der transnationalen Zusammenarbeit zwischen Forschung und Ingenieuren in Europa. Dabei sollen Forscher aus verschiedensten Wissenschaftszweigen innerhalb Europas vernetzt und zu gemeinsam Forschungsaktivitäten aufgefordert werden. Forscher und praxisnahe Gruppierungen sollen in diesem Projekt zusammengebracht werden um die Erstellung der europäischen Richtlinien zu forcieren (vgl. Cost Action TU 1416 o.J.b).

Im Qualitätsmanagement der Stahl- und Spannbetonbauten und besonders jener der Straßenbrücken, die gemeinsam mit Tunnel, besonders aufmerksamkeitsintensive Anteile des Straßennetzwerkes darstellen, unterscheiden sich die Staaten innerhalb Europas. Um ein erwünschtes Leistungsniveau zu erbringen sind daher gerade im Asset-Management von Straßenbauten Strategien zur Erhaltung, Wartung und Instandsetzung erforderlich. Bei diesen Bauwerken sind, wie schon angeführt, regelmäßige Maßnahmen zur Instandhaltung notwendig, um ihre lange Lebensdauer zu ermöglichen. Die Kosten dafür fallen in der Regel dem Betreiber und Erhalter zu. Um eine erträgliche Kosten- Nutzenrechnung zu ermöglichen und dabei den Nutzen möglichst hoch zu halten, sollte eine Optimierung über die Auswahl eines adäquaten Managementsystems laufen.

Ein derart gelungenes Managementsystem macht im Vorfeld die Erstellung eines Asset-Management-Planes seitens der Verantwortlichen notwendig. Dieser

Plan sollte vorweg die Ziele der Nutzung und in einer Prognose den finanziellen Aufwand für Erreichung und Erhaltung der Lebensdauer festlegen. Dabei ist eine Zustandsüberwachung im Rahmen der finanziellen Aufwendung für die Lebenserhaltung notwendig. Sie minimieren das Abnutzungsrisiko durch frühzeitige Alterungsschäden und reduzieren damit die Kosten der Erhaltung insgesamt.

Da sich wie erwähnt innerhalb Europas die Straßenmanagementsysteme unterscheiden wird hier im Rahmen des COST Action TU 1406 versucht und daran gearbeitet Standardrichtlinien festzulegen, um Differenzen bezüglich der Erhaltungsmaßnahmen anzugleichen und einen gemeinsamen standardisierten Ansatz zu erlangen.

Für die Bestimmung des Erhaltungszustandes der Brückenbauteile wurden nun die sogenannten Performance-Indikatoren entwickelt. Sie beschreiben die festgelegten Indikatoren in qualitativer oder quantitativer Form und werden entweder bei visuellen Inspektionen, anhand von Monitoringsystemen, oder anderen zerstörungsfreien Überprüfungsverfahren erhoben. Diese gesammelten Indikatoren werden den Performance Goals (Performance-Zielen) gegenübergestellt und geben Rückschluss auf die Einhaltung der Richtlinien zur Erhaltung.

### **2.3.2 COST Action TU 1406 Zielsetzung**

Dieses Projekt hat als Ziel die Vorgehensweisen und Richtlinien in der Qualitätskontrolle von Straßenbrücken europaweit zu standardisieren und allgemein gültige Qualitätskontrollpläne zu entwickeln. Die COST Action TU 1406 befasst sich aus diesem Grund mit der Erhebung der Leistungsindikatoren, den „Performance-Indicators.“ Das sind jene relevanten Leistungsindikatoren, die bei der Zustandsbeurteilung von Straßenbrücken angewendet werden. Dafür werden sämtliche Informationen, Richtlinien und Normen, sowie Daten, welche die Performance-Indikatoren betreffen und die bereits in Verwendung sind gesammelt. Das gesammelte Wissen der laufenden Überwachungsprozesse und

die Ziele in der Erhaltung fließen in eine Art Datenbank ein. Die Erhebung und Dokumentation dieser Daten werden evaluiert. Diese Richtlinie richtet sich in Bezug auf die Überwachung von Brücken und den jeweiligen Anforderungen an das Bauwerk, umgelegt auf die Lebensdauer an die zwei Ebenen der Performance Indikatoren (Zustandsbeurteilung) in Verbindung mit den Performance Goals (Leistungsziele). Die Erhebung dieser Performance Indikatoren und die Standardisierung der gewonnenen Daten haben es zum Ziel weitere Performance-Indikatoren herauszuarbeiten und diese dann entsprechend den Key-Performance-Indikatoren zuzuordnen. Diese Datenerhebungen legen den Grundstein zur Entwicklung einer standardisierten Richtlinie der Qualitätskontrollpläne für Straßenbrücken in Europa (vgl. Strauss. et. al. 2018).

### **2.3.3 Strategie der COST Action TU 1406**

Bisher sind 37 europäische Länder in der COST Action TU 1406 integriert. Das festgelegte Ziel der Entwicklung eines europäisch standardisierten Qualitätskontrollplanes soll mithilfe der folgenden Kriterien erreicht werden:

- Erfassung von ausführlichen Beispielen für Konstrukteure und deren Erhebung und Ermittlung der Performance Indikatoren und der Definition der Performance Goals
- Aktuelles Wissen über Qualitätskontrollpläne für Brücken soll systematisch gesammelt werden und in einen zeitgemäßen aktuellen Bericht der Performance Indikatoren und Performance Goals einfließen
- Dieses aktuelle Wissen über die Performance Indikatoren wird mit ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Indikatoren verbunden und ergibt einen Indikatoren-Datenpool
- Die Performance Goals werden definiert. Diese Definition stellt den einheitlichen, beziehungsweise standardisierten Leistungsanspruch dar, der damit gesichert werden soll
- Alle von den Mitgliedstaaten ermittelten Performance Indikatoren und Performance Goals münden in einer übergeordneten Datenbank

## *ALLGEMEINE GRUNDLAGEN*

---

Um dieses Ziel der Entwicklung eines europäisch standardisierten Qualitätskontrollplanes zu erreichen ist das COST Action Projekt in verschiedene Phasen, der Working Groups (WG) eingeteilt worden. Die Ziele dieser verschiedenen WG mit jeweils anderen wissenschaftlichen Schwerpunkten werden hier kurz vorgestellt:

**WG 1/Performance-Indikatoren:** Im Rahmen einer internationalen Forschungskoooperation sollen die Performance-Indikatoren, in diesem Fall für Brückenleistungsindikatoren definiert werden. Dabei beschreiben diese die mechanischen und technischen Eigenschaften, aber auch das Altern, also das Abnutzungsverhalten von Brücken. Andere Indikatoren wurden durch Nachhaltigkeit, ökonomische und gesellschaftliche Parameter gestellt. Ziel ist es die so erhobenen Indikatoren in einer Datenbank zu sammeln und zu einer Leistungs-Indikatoren-Datenbank zusammenzuführen.

**WG 2 / Performance-Goals:** Die WG 2 soll auf Grund der ermittelten Performance-Indikatoren die Performance-Goals definieren. Diese unterscheiden sich in technischen, ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Aspekten.

**WG 3 / Entwicklung Qualitätskontrollplan:** Hier ist es Ziel einen Bericht auszuarbeiten, der die notwendigen Aktionen in der Entwicklung des geforderten Qualitätskontrollplanes für die verschiedenen Brückenarten möglich macht.

**WG 4 / Fallstudie:** Diese Arbeitsgruppe untersucht und vergleicht Brücken gleicher Art in Europa/den Mitgliedstaaten der COST Action TU 1406. Dazu werden die bereits ermittelten Performance Indikatoren und Performance Goals herangezogen und vergleichend ausgewertet. Mit diesen Werten wird danach ein Qualitätskontrollplan erstellt.

**WG 5 / Richtlinien:** An dieser Stelle werden die Ergebnisse miteinander in Verbindung gebracht und diese dienen als Grundlage für den Entwurf einer Richtlinie für die Entwicklung eines Qualitätskontrollplanes.

**WG 6 / Verbreitung/Empfehlungen:** Um die Umsetzung der Ergebnisse aus diesem Projekt in der Praxis zu ermöglichen, sollten diese anwendungsfreundlich

und leicht zugänglich zur Verfügung gestellt werden (vgl. Carvalho/Casas 2016, S. 938-939)

## **2.4 Kriterien zur Bewertung von Brücken in Österreich**

Nun von den angestrebten europäischen Standards ein Blick auf die Lage der österreichischen Verhältnisse und den Kriterien in technischer und administrativer Hinsicht. Um die Sicherheit und Zuverlässigkeit, aber auch die Einhaltung von Standards in technischen Details gewährleisten zu können sind in Österreich Normen und Richtlinien als Vorlage entworfen worden. Sie gelten für die Dokumentation der Instandhaltung und das Monitoring von Baukonstruktionen. Die wichtigsten Richtlinien werden hier aufgelistet.

### **2.4.1 ONR 24008**

Sie bewertet die Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken. In Bezug auf die Instandhaltung handelt es sich um die „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Einheit, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dient, sodass sie die geforderte Funktion erfüllen kann“ (Petraschek/Horvatits 2011, S.18). Unter Ertüchtigung fallen „alle baulichen Maßnahmen, die zu einer Tragfähigkeitsverbesserung über den ursprünglichen Sollzustand hinausgehen“ (ebenda). Bei der Erneuerung handelt es bei dieser Norm um „Abbruch oder Ersatztausch von wesentlichen Bauwerksteilen (z.B. Überbau) oder der gesamten Anlage“ (ebenda). Damit regelt diese Norm die Evaluierung der Tragfähigkeit von Brückenbauten und Erkennung von Schäden, die zur Beeinträchtigung in der Zuverlässigkeit führen. Diese Norm definiert wann eine solche Bewertung der Tragfähigkeit durchgeführt werden muss. Die wesentlichen Punkte in der Bestandsaufnahme, wie der Materialkennwert und

Untersuchungen der verwendeten Werkstoffe (Werkstoffparameter) und die jeweilige Herangehensweise sind hier bestimmt. Zusätzlich können mathematische und qualitative Beurteilungskriterien herangezogen werden. Wichtig ist bei einer Tragfähigkeitsbeurteilung allen voran die schriftliche Dokumentation mit den festgestellten Fakten und eine Abgrenzung zwischen den aktuellen Normen und den damaligen zugrundeliegenden Richtlinien bei der Erbauung (vgl. Stern, Johannes 2014, o.S.)

### **2.4.2 Vorgaben für Bauten aus Beton und Stahlbeton**

Die ÖBV, die Bautechnik-Vereinigung hat für die „Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton“ im Jahre 2014 Richtlinien herausgegeben. Sie sind maßgeblich für die Durchführung der Inspektionen und dem Monitoring an Brückenkonstruktionen. Die Richtlinien für die Erhaltung sind 2017 adaptiert worden. Demnach dürfen Gefährdungen weder durch das Bauwerk selbst oder durch dessen Bauteile entstehen. Diese Gewährleistung lässt sich nur durch die Ergänzungen ÖNORM B 1300 beziehungsweise die ÖNORM B 1301 bewerkstelligen. Sie sind Ergänzungen der Instandhaltungsregeln (vgl. Pauser, Michael Road Safety Inspections ÖBV 2014 und 2017, S. 4). Auch in diesen Richtlinien werden die notwendigen Schritte zur Zustandserhebung und Beurteilung von Schäden an Baukonstruktionen festgehalten (vgl. ebenda 2014, S. 4).

### **2.4.3 ÖNORM B 4706**

In dieser ÖNORM geht es hauptsächlich um die Wartung und Instandhaltung von Betonkonstruktionen. Dabei wird der Bauzustand ermittelt. Das geschieht durch Untersuchungsmethoden für Beton. Diese Methoden können durch Augenschein, Abklopfen oder durch Rissaufnahmen und ähnliche umgesetzt werden. In dieser ÖNORM werden die Planung und Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen gesetzt. Ab welchem Zeitpunkt Maßnahmen gesetzt werden müssen kann über Grenzwerte wie jene in der Karbonatisierung und

Rissbildung erkannt werden. Eine Karbonatisierung ist die chemische Reaktion im Beton, die mit Kohlendioxid und Feuchtigkeit zusammenhängt. Dabei werden die alkalischen Bestandteile im Zement durch CO<sub>2</sub> in Calciumcarbonat umgewandelt (vgl. Stark/Wicht 2001, S. 188ff.). Infolge der Aushärtung kann es zu Rissbildungen (Mikrorisse) im Frischbeton kommen. Dem kann mit einer geeigneten Betonrezeptur oder einer Nachbehandlung entgegengewirkt werden. Sie können aber auch durch Zwangs- und Eigenspannung und infolge von Hydrationswärme oder unterschiedlicher Schwindmaße von Bauteilen in unterschiedlicher Stärke, beziehungsweise Alters entstehen. Bei Spannbetonbrücken können Risse durch Temperaturschwankungen zwischen Ober- und Unterseite des Überbaus entstehen (vgl. Mehlhorn/Curbach 2014, S. 1168).

### **2.4.4 RVS 02.02.33 Verkehrsplanung, Verkehrssicherheit, allgemeines Sachverständigenwesen, Road Safety Audit**

Die Richtlinie der RVS dient der Durchführung und Umsetzung von Sicherheitsaudits im Straßenverkehr. Diese sollen sich um die sicherheitsrelevante Neu- und Umplanung von Straßen mit öffentlichem Verkehr sorgen. Die Entscheidung zur Durchführung eines solchen Audits obliegt jedoch dem Straßenerhalter. Diese RSA (Verkehrssicherheits-Audits) können auch bei allen zu setzenden Maßnahmen im Verkehrsmanagement, bei umfangreichen Sanierungsmaßnahmen, bei der Planung von Baustellen, Raumplanungsfragen oder Flächenwidmungen, die eine ungünstige Auswirkung auf die Verkehrssicherheit erwarten lassen umgelegt werden. Diese RSA – Audits sind standardisierte Verfahren zur Prüfung von Sicherheitsaspekten. Zielsetzung ist die systematische Berücksichtigung der Verkehrssicherheit mittels RSA und Road Safety Monitoring zur optimalen Sicherung und Gewährleistung für alle Verkehrsteilnehmer. (vgl. o. V. Road Safety Inspection 2012, 02.02.33, S. 2). Die wichtigsten prozessorientierten und inhaltsorientierten Grundsätze sind:

## *ALLGEMEINE GRUNDLAGEN*

---

- RSA ist Entscheidungsgrundlage für Managementprozesse und Maßnahmen
- Fixer Bestandteil im Planungsprozess
- Auftrag des auditierenden Projektes muss klar definiert sein
- Für Auditierung und Mängelbehebung muss genug Zeit eingeplant werden
- Die RSA muss anhand definierter Punkte des Planungsprozesses Programmgemäß ablaufen
- Die RS-Auditoren sind vom Planungsteam unabhängig und bei der Erstellung ihres Berichtes weisungsfrei
- RSA muss nachvollziehbar und dokumentierbar sein (Feedbackschleifen, öffentliche Anfragen, Rechtsstreitigkeiten und ähnliches)
- Vom RS-Auditor vorgeschlagene Maßnahmen sind in einem Ausnahmebericht zu begründen
- Inhaltsorientiert müssen RSA umfassend und detailliert durchgeführt werden
- RSA ist eine Sicherheitsprüfung die Sicherheitsmängel offenlegt und Maßnahmen der Behebung vorschlägt
- Basis für effiziente und erfolgreiche Auditierung ist das Fachwissen und die Erfahrung der RS-Auditoren
- Falls zweckmäßig, ist der Einsatz neuer Methoden und Technologie (Fahr Simulator, Blickforschung, Unfallrekonstruktion, und andere) erwünscht
- Sicherheitsbeurteilungen sollen schwächere Verkehrsteilnehmer, ungünstige Verhältnisse in Bezug auf Luft, Witterung, Bewässerung oder Bepflanzung berücksichtigen (vgl. o. V. Road Safety Inspection 02.02.33, 2012, S. 2-3).

#### **2.4.5 RVS 02.02.34 Road Safety Inspection, Durchführung von Inspektionen von Straßen mit öffentlichem Verkehr**

Diese Richtlinie soll bereits in der Planungsphase von neuen Straßenanlagen und Umplanungen von Straßenanlagen ein Sicherheitsaudit erstellen helfen. Die standardisierte Überprüfung umfasst die Offenlegung von Sicherheitsmängeln, Erkennung der Gefahrenpotentiale und Vorschläge zur Beseitigung der Mängel. Schon in der Planung der Straßenanlagen soll ganzheitlich und aus dem Blickwinkel aller Verkehrsteilnehmer vorgegangen werden. Ein Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Sanierung von Unfallhäufungsstellen, gemäß des § 96 StVO, der österreichischen Straßenverkehrsordnung. Daher wird im Rahmen dieser Road Safety Inspection das aktuelle Straßennetz in regelmäßigen Abschnitten auf Mängel im Bereich der Sicherheit überprüft. Dieser Maßnahmenkatalog dient der Prävention und der Verringerung von Unfällen (vgl. o. V. Road Safety Inspection 02.02.34, 2012, S. 2-4).

#### **2.4.6 RVS 13.03.01 Monitoring von Brücken und anderen Ingenieurbauten**

Mittels eines Monitorings kann eine Optimierung bei der Instandhaltung und der Wirtschaftlichkeit von Bauwerken erzielt werden. Daraus wird der Vorteil Monitoring in die Planung des Lebenszyklen-Managements einzubauen ersichtlich. Darin werden der Verfahrensablauf und die verschiedenen Zugänge des Monitorings mit Zeit und Ort genauestens erklärt. Mess-Systeme, Messungen, Planungen für Messungen und die verschiedenen Messgrößen werden definiert. Exemplarisch sind Anwendungsfälle des Monitorings dargestellt. In diesen Beispielen werden die Messgrößen, Planungsdetails, die Art des Sensors, das Messungsverfahren und die Art der Messung selbst und die Grenzen in der Anwendung beschrieben. Die Beispiele aus der Praxis erfassen Rissbreiten, Verformungsverhalten, Schwingungsmessungen, Materialermüdungen und vieles mehr (vgl. o. V. Road Safety Inspection 13.03.11, 2011, S. 2).

### **2.4.7 RVS 13.03.11 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten**

Diese Richtlinie gibt die Kriterien der Art und Weise der Überprüfung von Brücken und Straßen vor, die auf Zuverlässigkeit und Verkehrssicherheit überwacht und kontrolliert werden müssen. Diese Überwachungen sind in Abständen von vier Monaten und die Kontrollen in zwei-Jahresabständen und Überprüfungen alle sechs Jahre zu wiederholen.

Infolge jeder Kontrolle werden Veränderungen im Erhaltungszustand mit den letzten aufgenommenen Werten verglichen und einer Evaluierung unterzogen. Zusätzlich werden in der RVS die Bauteile, die zu untersuchen sind aufgelistet. Allfällige Schäden, Veränderungen und Mängel an diesen Bauteilen, wie dem Unterbau, dem Überbau oder der Brückenausrüstung werden vermerkt. Die auf den Erhaltungszustand, der zu überprüfenden Bauteile gliedern sich in:

- Abdichtungen und Entwässerung
- Deckschicht
- Lager
- Unterbau
- Überbau
- Randbalken
- Sonstige Ausrüstungen

Die Ergebnisse der Prüfung müssen dokumentiert werden:

Zustand des Bauwerkes mit Notensystem jeweils für Objekt beziehungsweise Bauteile

- Nutzbarkeit/Brauchbarkeit der Verkehrswege
- Mängel und Schadensliste
- Maßnahmenkatalog
- Bei Unsicherheiten in der Feststellung von Mängeln und Schäden nochmalige Überprüfung
- Hinweise auf die Kontrolltermine

- Sonderprüfungen und statische Nachberechnungen

Bei diesen Objektbewertungen wird mit einem Schulnotensystem von 1-5 bewertet. 1-steht dabei für sehr guten Zustand; 2-für leichte und geringe Schäden, keine Einschränkungen in der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit des Bauwerkes; 3-steht für einen ausreichenden Zustand, mit mittelschweren Schäden, die keine Einschränkung der Tragfähigkeit bedeuten; 4-ist ein mangelhafter Zustand, schwere Schäden, aber noch keine Einschränkung in der Tragfähigkeit; 5-schlechter Zustand bedeutet schwere Schäden, bereits Einschränkung der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit (vgl. o. V. Road Safety Inspection 13.05.11, 2017, S. 2-10).

### **2.4.8 RVS 13.05.11 Lebenszykluskostenermittlung für Brücken**

Diese Richtlinie beschreibt ein mathematisches Prognosemodell der zu erwartenden Lebenszykluskosten von Brücken (Straßen und Eisenbahnbrücken). Sie soll mithelfen notwendige bauliche Investitionen entscheiden zu können. Dieses Rechenmodell kann in leicht modifizierter Form auch für andere Bauwerke angewendet werden. Es dient der Budgeterstellung für Instandhaltung, Erneuerungen und ermöglicht die völlige Offenlegung sämtlicher Kosten über die Lebensdauer des Bauwerkes. Darunter ist die Zeitspanne von Anfang der Errichtung bis zum Ende des Abbruches zu verstehen. Unter Lebenszykluskosten (LZK) sind die gesamten verzinsten Kosten eines Bauwerkes über dessen Lebenszyklus zu verstehen. In der Richtlinie werden von der Erneuerung, Ertüchtigung, Inspektion, Instandhaltung, Instandsetzung bis zum erwarteten Lebenszyklus in Bezug auf die Kosten behandelt.

Die Lebenszykluskosten lassen sich in drei wesentliche Gruppen beschreiben.

- Errichtungskosten
- Betriebskosten
- Abbruchkosten (vgl. o. V. Road Safety Inspection 13.05.11, 2017, S. 3-5).

### **2.4.9 RVS 15.02.11 Vorkehrungen zur Brückenprüfung und Brückenerhaltung**

Die RVS 15.02.11 ist eine Richtlinie für Brücken im Zusammenhang mit Straßen und Wegen. Dabei gelten Bauwerke mit einer senkrechten lichten Weite von mehr als zwei Metern als Brücken. Kunstbauten, wie Tunnelbauwerke in offener Bauweise, Lawinen- und Steinschlaggalerien und ähnliche ohne eigene Richtlinie fallen in der Behandlung unter diese RVS Richtlinie.

Derartige Infrastrukturbauwerke werden in langen Intervallen einer Inspektion unterzogen. Die Angaben dieser RVS basieren auf Erfahrungswerten und haben sich als praktikable Mindestwerte in der Inspektions- und Wartungsdurchführung erwiesen.

Allgemeine Grundsätze:

- Überwachung, Kontrolle und Prüfung erfolgt gemäß den Richtlinien der RVS
- Die erforderlichen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten in kleinem Umfang müssen jederzeit sicher, einfach und wirtschaftlich erfolgen.
- Bei den Inspektionen sind Brückenbesichtigungsgeräte (auf der Fahrbahn der Brücke), Leitern und Hubbühnen im umliegenden Gelände hilfreich. (vgl. o. V. Road Safety Inspection 15.02.11, 2017, S. 2).

## **2.5 Zusammenfassung**

In diesem Kapitel wurden die erklärten Ziele der COST Action TU 1406 und deren Arbeitsweisen und Ziele vorgestellt. Diese Einführung dient aufbauend dazu, die weiteren Kapitel zu untermauern. Hier wurden die wesentlichen Ziele der Lebenszykluspläne und die entsprechenden Maßnahmen wie die Brückenüberprüfungen, Brückenerhaltung, die laufenden Kontrollen, samt der Richtlinien der RVS dazu vorgestellt. Die nun folgenden Abschnitte widmen sich aufbauend der praktischen Umsetzung und der Ziele der COST Action TU 1406. Auf die Performance Indikatoren, deren Kategorisierung, die technischen und die

## *ALLGEMEINE GRUNDLAGEN*

---

sozioökonomischen Kriterien und die genaue Definition im Unterschied zu den Performance Goals wird eingegangen. Ein weiterer Abschnitt befasst sich mit den Performance Indikatoren als Basis für Bewertungen der Brücken. Die Netzwerkebene und die Systemebene werden erklärt und auch Augenmerk auf das Thema der Nachhaltigkeit gelegt.

## **3 Performance Indikatoren als Bewertungsgrundlage**

Der Begriff der Performance-Indikatoren stammt ursprünglich aus der Betriebswirtschaft und beschreibt betriebswirtschaftliche Kennzahlen, an welchen ein Fortschritt oder die Erfüllung von gesteckten Zielen gemessen werden kann. Diese Performance Indikatoren sollen Risiken und Leistungspotenziale erkennen und werden zwischenzeitlich in unterschiedlichen Fachrichtungen zur Leistungsfeststellung und Leistungsbewertung verwendet. So auch in der Zustandsbewertung von Straßenbrücken und in der Leistungsbestimmung im Lebenszyklus von Brückenkonstruktionen. Performance Indikatoren sind relevante Leistungsindikatoren, die bei der Zustandsbeurteilung von Straßenbrücken Anwendung finden. Durch das Messen beziehungsweise charakterisieren der Performance werden bestehende Brücken überwacht und aus den Erkenntnissen Instandhaltungsstrategien entwickelt. Dies basiert auf zuvor festgelegten Modellen zur Leistungsvorhersage, also dem zukünftigen Verhalten. Die einzelnen Modelle stellen den Zusammenhang zwischen dem aktuellen Zustand, dem Alter und den physischen, chemischen oder thermischen Prozessen her und beschreiben damit die Leistungsvorhersagen beziehungsweise prognostizieren das zukünftige Verhalten.

Um solche Verhaltens- und Lebenszeit-Prognosen stellen zu können werden Qualitätskontrollpläne entworfen, die ihrerseits auf den Performance-Indikatoren basieren. Diese Indikatoren beschreiben die Eigenschaften des Bauwerkes und ermöglichen dadurch den Rückschluss auf den Istzustand und erlauben darüber hinaus ein Festlegen der zu erwartenden Qualität und deren Einhaltung. Resultierend beschreiben Indikatoren die gegebenen und möglichen zukünftigen Verhaltensweisen einer Brückenkonstruktion.

Für die Errechnung der Lebenserwartung eines solchen Bauwerkes wird die Methode der Lebenszyklusanalyse herangezogen. Sie wird bei der Kontrolle und in der Evaluierung der zu ermittelnden Instandhaltungsvorschlägen eingesetzt. Einen geläufigen Methodenmix gibt es in der Feststellung des Alterungsverhaltens eines Bauwerkes. Die methodenübergreifenden Verfahren sind die Methoden, die den Alterungsfortschritt mit der Methode der Lebenszyklusanalyse verbinden.

Wie bereits erläutert hat die WG 1 die Aufgabe, solche Performance Indikatoren allgemein zu beschreiben. Um die Modelle in der Praxis anwenden zu können, bedarf es nun um ein genaues Vorwissen in Bezug auf die einzelnen Variablen. Das war die definierte Aufgabe der WG 1. Sie soll die Performance Indikatoren allgemein beschreiben, den Vorgang der Indikatoren-Ermittlung aufzeigen, die Indikatoren-Beurteilung darlegen, die Abstände der Erhebung selbst festhalten, die Art der Werte, die erhoben wurden nachvollziehbar machen und den Vorgang der Quantifizierung beschreiben.

Grundsätzlich können unterschiedliche Performance Indikatoren auch unterschiedlich kategorisiert werden. Für diese Arbeit soll jedoch die Kategorisierung der Indikatoren in technische, nachhaltige und sozioökonomische und auf System- oder Komponentenebene erfasst werden. Das erlaubt die Darstellung der Methoden, die sich mit der Quantifizierung von Performance Indikatoren auseinandersetzen und ihren unmittelbaren Einfluss auf das Erreichen der Performance Goals, also der gesteckten Ziele und geforderten Leistungen.

### **3.1 Kategorisierung der Performance Indikatoren**

Die Working Group 1, der COST Action TU 1406 hatte wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben die Aufgabe, die Performance Indikatoren aus den bereits bestehenden Europäischen Inspektions- und Bewertungsdokumenten zu erheben, die Verfahren zu deren Ermittlung und

Beurteilung zu beschreiben, die Erhebungsmethode offenzulegen und die Erhebungsfrequenz anzugeben. Bei den Indikatoren wurde bei der Erhebung in technische, nachhaltige, sozioökonomische Indikatoren unterschieden und in Material-, Querschnitts-, Komponenten-, System und Netzebenen differenziert (vgl. Strauss et. al. 2016, S. 26) sind.

Schlagworte des Managements von Straßenbrücken sind: effizientes und koordiniertes Vorgehen um möglichst optimale Wertschöpfung aus einer Infrastrukturanlage realisieren zu können. Bei diesem Management müssen die Kosten, Risiken und Möglichkeit und die Performance Goals gegenübergestellt werden. Wobei das Performance Goal im Bereich Brückenbau als die Eigenschaft, beziehungsweise das Verhalten des Bauwerkes im Laufe von dessen Lebenszyklus, welches es zu erfüllen gilt angesehen werden kann. Dieser Teil gehört zu einer wirksamen und nachhaltigen Strategie der Bauwerksüberwachung.

### **3.1.1 Performance Indikatoren auf Komponentenebene**

Auf der Komponentenebene können die Performance Goals zum Beispiel für die Stabilität Widerlagers oder die zugelassene Durchbiegung eines Hauptträgers stehen. Auf der System- oder der Netzebene können diese die seismische Leistungsfähigkeit angeben (vgl. Strauss et. al. 2016, S. 26).

Die Einhaltung der Performance Goals kann mittels Evaluierung der einzelnen verschiedenen Performance Indikatoren und den ihnen zugeschriebenen Grenzwerten oder Schwellenwerte (Performance Thresholds PT) festgestellt werden. Die Brücken-Performance-Indikatoren können als Zustandsindikatoren gelten und Brückeneigenschaften beschreiben helfen. So ein Indikator ist eine Art dimensionaler oder dimensionsloser Leistungsindikator, der durch Verdichtung komplizierte Sachverhalte in Zahlen und in einfacher Weise abbilden sollen. Wobei der dimensionale überprüfbar und messbar ist und der quantitative eine Leistungseigenschaft (zum Beispiel die zulässige Rissbreite bei Stahlbetonbauteilen) beschreibt. Der dimensionslose Leistungsindikator

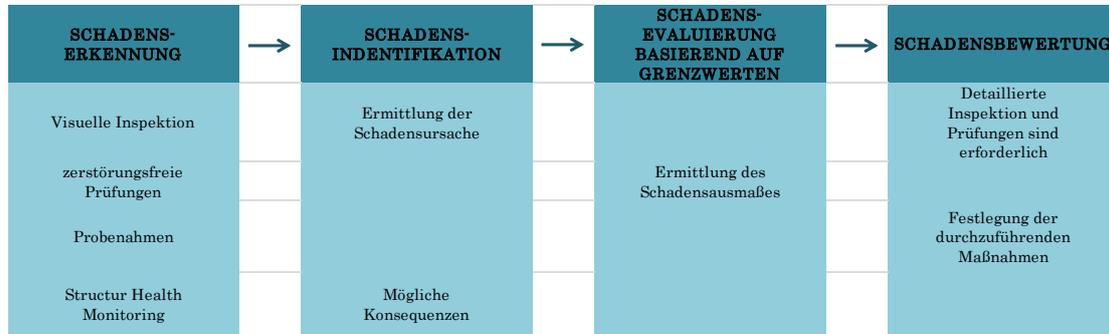
beschreibt eine qualitative Leistungseigenschaft eines Messobjektes (zum Beispiel die maximalen Widerlagerverschiebung, Interaktion Boden Tragwerk, in Betrachtung der Zuverlässigkeit) (vgl. Strauss/Reiterer 2011, S. 193). Die Wahl der zuverlässigen Performance Indikatoren ist dabei neben dem eigentlichen Vorgang der Messung die grundlegende Voraussetzung.

### **3.1.2 Technische Aspekte**

Wie schon angeschnitten, ist die Überwachung und Erhebung von Bauwerksschäden und der Verlauf von Schadenprozessen einer der wichtigsten Performance Goals. Dabei sind Brücken im Allgemeinen in die einzelnen Bestandteile: Unterbau, Tragwerk, Fahrbahn und Ausrüstung eingeteilt. Als Kriterium in der Beurteilung von Schäden gelten die Identifikation und die Evaluierung gemessen an vorgegebenen Schwellenwerten. Änderungen des Zustandes im Laufe des Lebenszyklus einer Brückenkonstruktion beeinflussen die Lebensdauer im Bereich der gegenwärtigen, der zukünftigen und der erwarteten Lebensleistung. Meist betrifft das lokale physikalische Störungen eines Brückenteiles, der auf äußere Einwirkungen zurückzuführen ist (vgl. Strauss et. al. 2016, S. 27). Auf dieser folgenden Graphik werden die Vorgehensweisen der visuellen Inspektion, der zerstörungsfreien Überprüfungen, Probenentnahmen und des Structural Health Monitoring (Bauwerksmonitoring) dargestellt. Unter dem Begriff Bauwerksmonitoring versteht man die kontinuierliche beziehungsweise periodische und automatisierte Überwachung des Tragwerkszustandes, sowie die unterschiedlichen Einwirkungen und Umwelteinflüsse auf ein Bauwerk (vgl. Siegert et. al. 2015, S. 36). Anhand der Grenzwerte erfolgt die Identifikation der Schäden, Feststellung der Schadensursache, Evaluierung der Schäden und letztendlich die Feststellung des Schadenausmaßes, beziehungsweise die daraus resultierende Tragweite. Die Bewertung der Schäden ist der letzte Punkt im Verlauf des Prozesses und führt dazu, um in der Folge die entsprechenden Maßnahmen setzen zu können. Häufig sind dafür noch weitere gründliche Inspektionen notwendig.

## PERFORMANCE INDIKATOREN ALS BEWERTUNGSGRUNDLAGE

Tabelle 3.1: Bewertungsprozess von Schäden und Schadensprozessen an Systemkomponenten  
(Strauss et al. 2018, S. 125)



Im Bewertungsprozess werden Größen wie die Dauer einer Schadensphase und Schadenprozess-Verlaufes (Schadensprozess-Geschwindigkeit) dazu einbezogen. Sie machen die Einstufung des Schadenausmaßes möglich und zeigen den notwendigen Instandsetzungsaufwand auf. In der hier abgebildeten Tabelle sind die Schadenindikatoren und die Bewertungsabläufe den Schadensarten zuerkannt. Wie schnell ein Schadensverlauf abläuft, der Schadenprozess und das Schadenausmaß sind Faktoren, die insgesamt in die Bewertung des Schadenszustandes einfließen. Betreffen die Schäden Bewehrungen (besonders bei freigelegten Bewehrungen, die verfahrensmäßig nicht vollständig von Beton umschlossen sind, freiliegende Betonabplatzungen und andere mehr), wie etwa durch Korrosion, so wird von einem Schadensprozess gesprochen. Hier wird über die betroffene Fläche der Komponente [m<sup>2</sup>] oder einem prozentuellen Anteil des Querschnittes der schadenhaften Bewehrung [%] bewertet. Durch die Messung des Chloridgehaltes (infolge des Einsatzes von Tausalzen, die in kalten Jahreszeiten von außen in den Beton eindringen) oder der Karbonatisierungstiefe kann der Korrosionsgrad bewertet werden (vgl. Strauss et. al. 2016, S. 27) Nicht nur Brückenelemente werden auf Schäden überwacht, sondern auch das Ausmaß der Funktionalität ist ein wichtiger Bestandteil für die Dauerhaftigkeit der Konstruktion. Die Elemente werden Zustandsbewertet in: „bestem Zustand“ – gleichbedeutend für keine Schäden, „funktionstüchtig“ – die Schäden sind einleitend vorhanden und die Gewährleistung in der Funktion

## PERFORMANCE INDIKATOREN ALS BEWERTUNGSGRUNDLAGE

ist noch nicht eingeschränkt und „außer Funktion“ bedeutet, dass die Schäden bereits fortgeschritten sind (vgl. Strauss et. al. 2016, S. 27).

Tabelle 3.2: Kategorisierung von Performance-Indikatoren und Bewertungsprozessen von Schäden an Brückentragwerken (Strauss et. al. 2018, S. 126)

SCHADENSART	SCHADENS-INDIKATOR	SCHADENS-ERHEBUNG	SCHADENSGRENZE	SCHADENS-EVALUIERUNG
Abplatzungen	Betroffene Fläche [m <sup>2</sup> ] + Tiefe [cm]	Visuelle Inspektion + Direkte Messung	Klassen/Maximalwert	Noten gemäß Schadenshandbuch
Korrosion	Betroffene Fläche [m <sup>2</sup> ]	Visuelle Inspektion + Direkte Messung	Klassen	Noten gemäß Schadenshandbuch
	Chloridgehalt [%]	Laboruntersuchung von Betonproben	kritischer Wert	Quantitative Analyse
	Prozentanteil des beschädigten Querschnitts der Bewehrung [%]	spezielle, detaillierte Inspektion	Obere Grenzwerte der Phase + Dauer der Schadensphasen	Noten gemäß Handbuch für Überwachung
Risse	Rissweite [mm]	Visuelle Inspektion + Direkte Messung	Klassen/Maximalwert	Noten gemäß Schadenshandbuch
Druchbiegung	langfristige Durchbiegung	Visuelle Inspektion + Direkte Messung	obere Grenze	Überwachung der Entwicklung der Durchbiegung
unzureichende Betondeckung	Betroffene Fläche [m <sup>2</sup> ]	Visuelle Inspektion + Direkte Messung	Klassen	Noten gemäß Schadenshandbuch
unzureichende Betonqualität	Physikalische Parameter	Probenahme		Probenanalyse
Ermüdung	Schadensgrad	Visuelle Inspektion	Klassen	Schadenskatalog

### 3.1.3 Sozioökonomische Aspekte

Hier ist wirtschaftliches Handeln im sozialen Zusammenhang zu sehen und steht in Beziehungszusammenhang zu gesellschaftlichen, politischen, räumlichen, demographischen und ökologischen Prozessen. Die Summe der Reparaturen und der allfällige materielle Einsatz für ein neues Element werden gegenübergestellt und weisen den Indikator für den Gesamtzustand eines Elementes aus. Legt man diesen Wert in eine quantitative Bewertungsskala um, so kann diese anhand der eingetragenen Werte den Zustand des Konstruktes in Abstufungen aufzeigen. Dabei gilt, dass bei allen Elementen, die einen höheren Wert größer 1,0 aufweisen die Empfehlung dahingehend ausgesprochen wird, das Element zu erneuern (vgl. Strauss et. al. 2016, S. 27).

### **3.1.4 Kriterien technischer Art**

In Bezug auf die technischen Aspekte haben die Performance Indikatoren die Aufgabe der Sicherung der Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit, die Verkehrssicherheit und Funktionalität über die gesamte geplante Lebenszeit des Bauwerkes im Sinne der primären Performance Goals zu gewährleisten. Sie sind Inhalt der Inspektions- und Evaluierungsunterlagen. In der hier abgebildeten Tabelle sind qualitative PI – Werteskalen zu sehen, die über die systematische Betrachtung der Versagensfolgen der Komponenten beruht. Die Bewertung der oben erwähnten Ansprüche in der qualitativen Werteskala kann über Monitoring und eine numerische Modellbildung des dynamischen und statischen Verhaltens aufgrund einer zuverlässigkeitsbasierenden Bewertungsmethode durchgeführt werden. Diese bewertenden Indikatoren lassen dann den Schluss zu, inwieweit das Versagen eines Bauteiles Einfluss auf einen Teil der Konstruktion hat oder ob dadurch die Gesamtsicherheit des Bauwerkes gefährdet ist (vgl. Strauss et. al. 2016, S. 29).

## PERFORMANCE INDIKATOREN ALS BEWERTUNGSGRUNDLAGE

Tabelle 3.3: Qualitatives PI-Bewertungssystem auf Systemebene für die Performance-Bewertung der Tragfähigkeit (T), der Gebrauchstauglichkeit (G), der Dauerhaftigkeit (D) und somit der Verkehrssicherheit (V) und Funktionalität (F) (Strauss et. al. 2018, S. 127)

KRITERIUM DER STRUKTURELLEN SICHERHEIT	KRITERIUM DER VERKEHRSSICHERHEIT	KRITERIUM DER DAUERHAFTIGKEIT
Das Versagen eines bestimmten Elements...		
hat keinen Einfluss auf die Sicherheit.	hat Einfluss auf den Verkehrsfluss.	hat keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit von anderen Komponenten.
hat Einfluss auf einen Teil des Brückentragwerks.	verursacht Geschwindigkeitsbeschränkungen.	wird eine geringere Dauerhaftigkeit der anderen Komponenten verursachen.
hat Einfluss auf das gesamte Brückentragwerk.	verursacht lokale Verkehrsumleitungen.	
	verursacht eine komplette Sperre des Verkehrs.	

### 3.1.5 Systemebene

Schäden, welche die Funktionalität einer Konstruktion im Gesamten betreffen, müssen im Gesamtausmaß bewertet werden. Daher wird bewertet, welche Bedeutung dieses Element für den gesamten Bau und welche Bedeutung ein allfälliger Schaden auf das gesamte Konstrukt hat. Die Evaluierung erfolgt über die: Tragsicherheit der Konstruktion, Standsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit den Anforderungen entsprechend, die Erfüllung der Verkehrssicherheit und die Dauerhaftigkeit in Bezug auf den Bestand des Bauwerkes. Die Einteilung der Bewertung in qualitativen Skalen ergibt den Nachweis der Auswirkung bei einem Ausfall eines Elementes.

Im Rahmen des COST Action TU 1406 Projektes wurden auch Indikatoren über den wissenschaftlichen Zugang der Prüfung, des Monitorings, des dynamischen Verhaltens und der Zuverlässigkeit von Brückenbauten einbezogen. Die Identifizierung der Indikatoren erfolgte über eine Umfrage, beruhend auf forschungsbasierenden Performance Indikatoren. Hinsichtlich der Zuverlässigkeitsprüfung sind als Beispiel Indikatoren der Verkehrsbelastung (lokal) und Veränderung in der Steifigkeit des Tragwerkes. Sie machen fortlaufende Überprüfungen, Inspektionen. Monitoring und aufwendige Techniken der Modellierung erforderlich. Diese erhobenen Daten müssen ständig erneuert und auf den neuesten Stand gebracht in Bezug auf Belastbarkeit und Haltbarkeit aktualisiert werden.

Die erwähnten wissenschaftlich hergeleiteten Indikatoren sind die Grundlage, um fußend auf der Idee der COST Action TU 1406 die heute bestehenden Methoden der in der strukturellen Leistungsüberwachung und die Managementmethoden für die Überwachung von Straßenbrücken auf Europaebene einem verbesserten Standard zuzuführen (vgl. Strauss et. al. 2016, S. 29).

### **3.1.6 Aspekte der Nachhaltigkeit**

Bei Ingenieurbauwerken gewinnen Nachhaltigkeitsaspekte aufgrund der immer wieder neuen Herausforderungen zunehmend an Bedeutung. In der Nachhaltigkeit geht es die Nutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen als baupolitische Zielfestlegung. Die Vergabep Praxis durch Auftraggeber ist stark determiniert durch die Diskussion über die Erstellungskosten und die laufenden Investitionskosten. Der Grund liegt in den begrenzten finanziellen Ressourcen. Um Brückenkonstruktionen sowohl ökonomisch als auch ökologisch, und auch funktional und soziokulturell passend erstellen zu können, sind weiterentwickelte Bewertungskriterien notwendig. Die Erfüllung der Evaluierung von Leistungsanforderungen über einen gewissen Zeitraum und zu den gegebenen Bedingungen stellt damit eine Herausforderung in Hinblick auf

die Nachhaltigkeitsproblematik. Das übergeordnete nachhaltige Leistungsziel ist dabei die Dauerhaftigkeit. Das ist das Hauptanliegen bei Zustandsbewertungen von Brückensubsystemen, die aus Fahrbahn, Unterbau und Überbau bestehen und in der Brückenzustandsbeurteilung für den Gesamtzustand berücksichtigt werden müssen. Die Grundlage dafür sind die Haltbarkeitskriterien, die mitentscheiden ob das Kollabieren eines bestimmten partikularen Elementes Einfluss oder keinen Einfluss auf die Haltbarkeit von anderen Bauteilen oder das gesamte Bauwerk hat (vgl. Strauss et.al. 2016, S. 29).

Genau hier liegt die Möglichkeit für die Bauwirtschaft, ihre gesamte Kompetenz im Bauwesen zu erfüllen und ein qualitätsvolles und ökonomisch gestaltetes Baukonzept mit dem Lebenszyklus zu vereinen.

### **3.1.7 Sozioökonomische Aspekte**

Verkehrssicherheit ist ein wichtiges gesellschaftliches Anliegen und betrifft in der Folge auch sozioökonomische Bereiche. Allein im Jahre 2009 sind auf den Straßen in der Europäischen Union mehr als 35.000 Menschen an verkehrsbedingten Unfällen gestorben (vgl. Leitlinien Straßenverkehrssicherheit 2001-2020, S. 2). Einer der wichtigsten sozioökonomischen Performance Goals ist jener der Verkehrssicherheit und des Verkehrsflusses. Das sind Kriterien, die im Weißbuch zur Verkehrspolitik 2010-2010 festgehalten worden sind (vgl. ebenda)

Die Kriterien der Zustandsüberwachung sind zwar sozioökonomische Aspekte, die aber auch Verbindungen auf der Netzwerkebene aufweisen. Sie sind eingeteilt in die Bereiche:

Das Versagen eines bestimmten Elementes hat

- a) Keinen Einfluss auf den Verkehrsfluss und somit auch keinen Einfluss auf soziale Kosten aus Verkehrsbehinderung
- b) Verursacht Einschränkungen der Geschwindigkeit und damit auch soziale Kosten aus der resultierenden Behinderung
- c) Verursacht lokale Umleitungen oder den völligen Verkehrsstillstand und damit Verkehrsumwegkosten

### **3.1.8 Performance Indikatoren auf Netzwerkebene**

Auf der Netzwerkebene geht es einmal vorweg um eine Art Prioritätenliste für die zu erledigenden Instandhaltungsarbeiten. Das Ziel dieser Reihenfolge nach Prioritäten ist möglichst zufriedenstellende Lösung durch das Management von Systemen und der Bewertungsprozess auf der Komponentenebene. Eine Aufstellung der Prioritätenliste kann aufgrund der Brückenzustandskontrollen durchgeführt werden. Diese Listen können durch die Ergebnisse der Standardinspektionen und der Bedeutung des Brückenbauwerkes im Brückennetzwerk oder im Straßennetzwerk insgesamt, gereiht werden. Die Reihung erfolgt aber auch nach der betreffenden Straßenkategorie mit jährlichem durchschnittlichen Tagesverkehr (JDTV), die Umleitungsdistanz, die größte Brückenspannweite, und der Gesamtlänge der Brücke.

Vier Hauptkriterien sind für die Reihung ausschlaggebend:

- Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit
- Dauerhaftigkeit
- Verkehrssicherheit
- Der allgemeine Brückenzustand

Welche Bedeutung die jeweilige Brücke im Gesamtnetz hat wird anhand von fünf ausschlaggebenden Kriterien bewertet und hat die folgende Gewichtung:

- in der Straßenkategorie
- für den jährlichen durchschnittlichen Tagesverkehr (JDTV)
- für die Umleitungsdistanz
- für die längste Brückenspannweite
- für die Gesamtlänge

Dabei entfallen in der Praxis des Brückenmanagements eine Gewichtung für die Instandhaltung, 75% auf die Brückenüberwachung und 25% mit der Bedeutung der Brücke im zusammenhängenden Straßennetzwerk.

### Praxisorientierte Gewichtung Brückenmanagement für die Instandhaltung

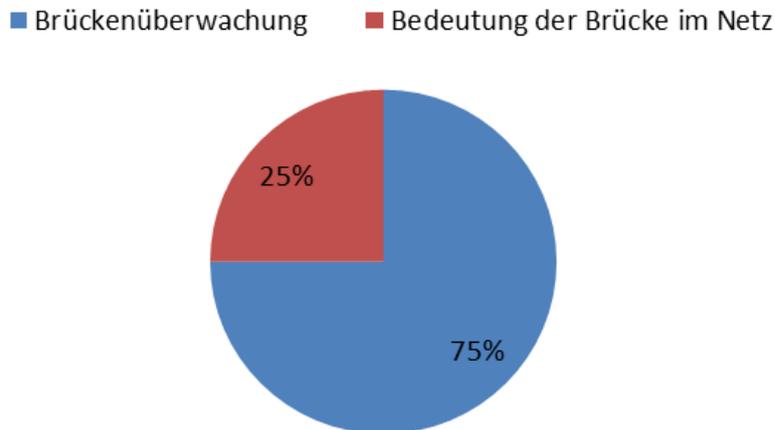


Abbildung 3.1: Gewichtung Brückenmanagement für die Instandhaltung (eigene Darstellung, angelehnt an Strauss et.al. 2016, S. 30).

- 75% für die Brückenüberwachung
- 25% für die Bedeutung der Brücke im Netz

Die Auswahl der Kriterien im Zuge der Schadensüberwachungsprozesse werden mittels der Zustandsbewertung auf den Ergebnissen der bereits erstellten Inspektionen und Evaluierungsdokumenten erstellt. Dabei wird nach Erfahrungen aus der Praxis platziert und es entfallen:

- 30% auf die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit
- 10% auf die Dauerhaftigkeit
- 30% für die Verkehrssicherheit
- 30% für den allgemeinen Brückenzustand

### Kriterien im Schadensüberwachungsprozess

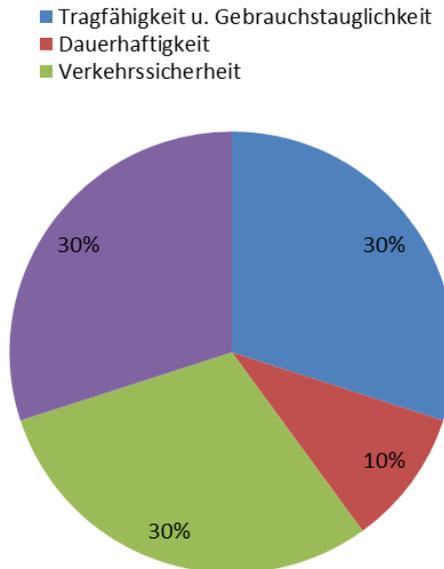


Abbildung 3.2: Kriterien im Schadensüberwachungsprozess (eigene Darstellung, angelehnt an Strauss et. al. 2016, S. 30).

Wichtig für die Bewertung der Wichtigkeit des Bauwerkes im Netz sind Straßenkategorie, JDTV und die Umleitungsdistanz. Sie sind jeweils voneinander unabhängig. Wogegen die Spannweite und die Gesamtlänge die eher allgemeinen Ansprüche an Tragwerk und den Eigentumswert stellen und somit gleichwertig zu den anderen Kriterien stehen. Daraus erfolgt eine Gewichtung der Reihung der Instandhaltungsmaßnahmen auf der Systemebene:

- 25% in der Straßenkategorie
- 25% für den jährlichen durchschnittlichen Tagesverkehr
- 25 % für die Umleitungsdistanz
- 12,5 % für die längste Spannweite
- 12,5 % für die Gesamtlänge (vgl. Strauss et. al. 2016, S. 30).

### Anteil Ranking Instandhaltungsmaßnahmen

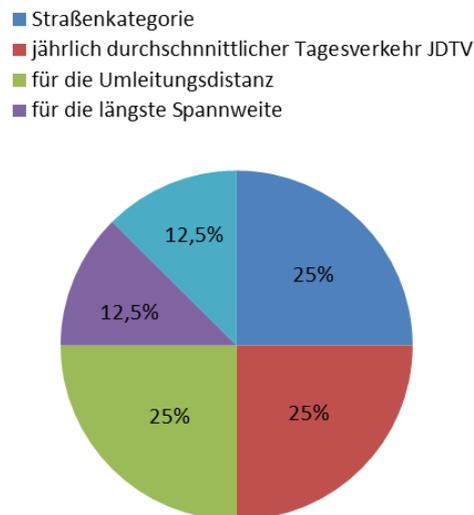


Abbildung 3.3: Anteil Ranking Instandhaltungsmaßnahmen Systemebene (Eigene Darstellung angelehnt Strauss et. al. 2016, S. 30).

#### 3.1.9 Performance Indikatoren vs. Performance Goals

Das nun folgende Systemdiagramm zeigt die unterschiedlichen Bewertungsebenen, Performance Indikatoren und Performance Goals, die soeben beschrieben wurden. In der Komponentenebene (Komponenten Level) wird zu allererst durch technische und sozioökonomische Indikatoren der erste Schritt gesetzt. Die Summe der Kosten für Reparaturen wird den Erneuerungskosten der Komponente gegenübergestellt und ist damit ein sozioökonomischer Performance Indikator (PI), beziehungsweise ein Performance Goal (PG), der auch gleichzeitig allgemein den Zustand der Komponente beschreibt. Diese Abbildung zeigt auch die Bewertungsprozesse auf Systemebene, Netzwerkebene und die PIs und PGs Kategorien sind dargestellt.

## PERFORMANCE INDIKATOREN ALS BEWERTUNGSGRUNDLAGE

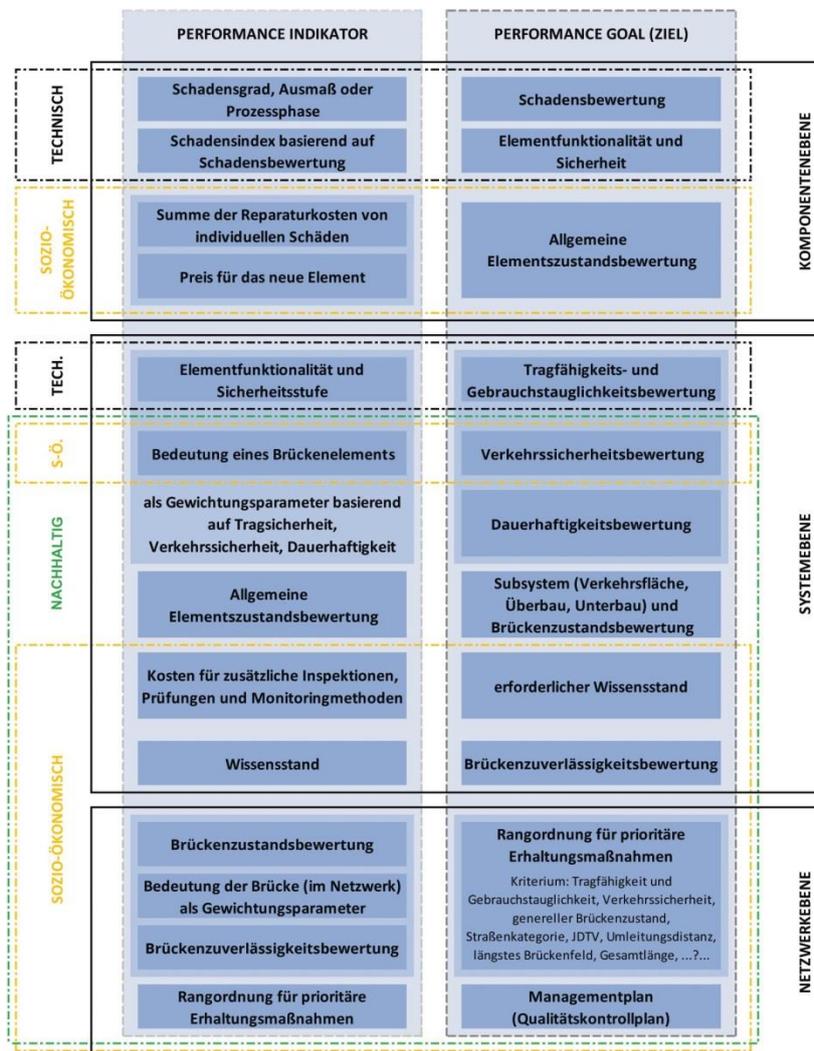


Abbildung 3.4: Gesamtheitlicher PI- und PG-basierter Bewertungsprozess unter Beachtung technischer, sozioökonomischer und nachhaltiger Aspekte (Strauss et. al. 2018, S. 128)

Weitere Kriterien dienen dazu die Tragweite, welches ein beschädigtes Element auf die gesamte Struktur ausübt zu bestimmen. Dabei wird der Stellenwert des Elementes für die Gesamtstruktur festgehalten. Das bedeutet, dass jedes einzelne Element eine Gewichtung in der Gesamtbedeutung erfährt, weil damit der auf Komponentenebene eruierte Istzustand des/der Elemente auf der Systemebene seinen Niederschlag findet. Diese Wechselwirkung zwischen Performance Indikatoren und die Gewichtungparameter werden in der hier angeführten Abbildung dargestellt.

## PERFORMANCE INDIKATOREN ALS BEWERTUNGSGRUNDLAGE

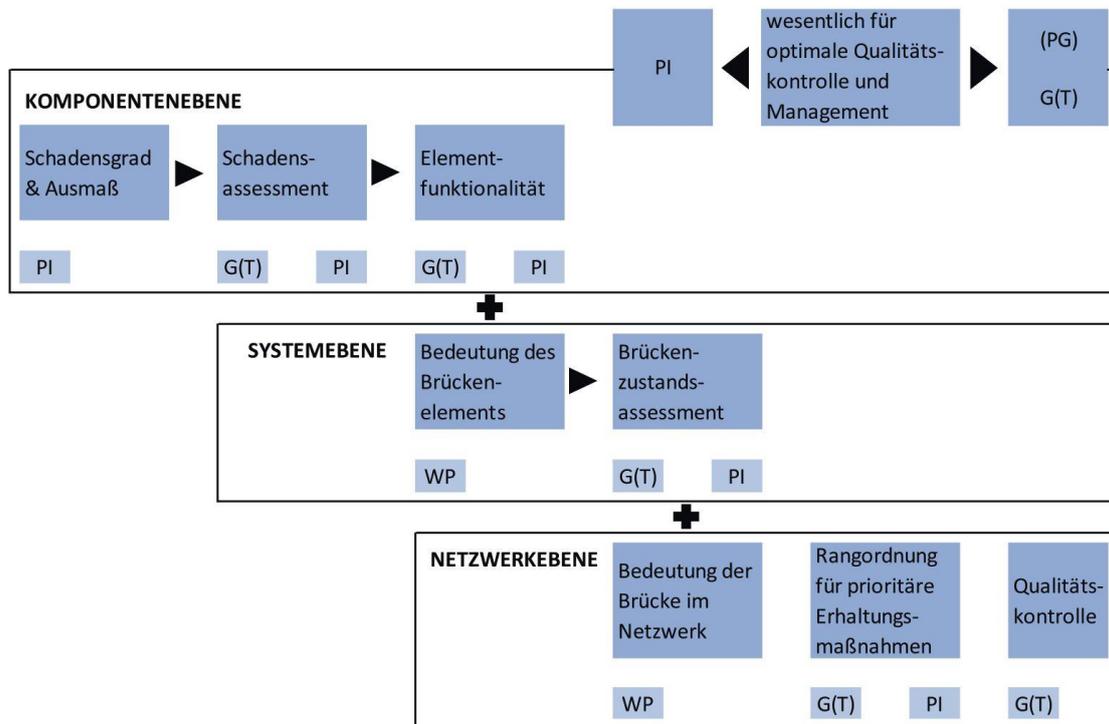


Abbildung 3.5: Qualitätskontroll- und Managementplan der Netzwerkebene auf Basis des Performance-Indikatoren-, Performance-Goals(PG)- und Performance-Thresholds- (PT)-Konzepts (Strauss et al. 2018, S. 129)

Die Abbildung im Qualitätskontroll- und Managementplan auf Basis von PIs, PGs und PTs macht deutlich, dass die Beurteilung eines Elementes von der Komponentenebene in die Systemebene verschoben wird. Das hilft die Einstufung des Zustandes vom Subsystem und damit des ganzen Bauwerkes zu ermöglichen. Außerdem sollen empirisch basierende Leistungsindikatoren berücksichtigt werden. Das betrifft etwa die Bewertung der Zuverlässigkeit der Konstruktion. Ein reichhaltiges Vorwissen über Brückeneigenschaften, wie zum Beispiel Steifigkeitsveränderungen und lokale Brückenverkehrsbelastung erfordern ihrerseits Investitionen, Überprüfungen, SHM – Structural Health Monitoring Technologien. So ist es das ausgewiesene Ziel eine Prioritäten-Reihenfolge der Instandhaltungsmaßnahmen aufgrund der Brückenzustandsbeurteilung und der Bedeutung des Bauwerkes im Brückennetzwerk zu erlangen. Mit dem Ranking für die vorrangigen Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen entsteht gleichzeitig ein Indikator zum

Abfassen eines bestmöglichen Managementplanes. Das macht eine Kombination der verschiedenen Indikatorarten logisch, weil ihre Kategorisierung es erleichtert, Methoden zu ihrer Quantifizierung und den Einfluss auf ein bestimmtes strukturelles Leistungsziel festzulegen. In der Kategorisierung der Indikatoren gibt es jedoch auch Schnittstellen. So kann im Verlauf des Brücken-Assessment-Prozesses auch ein Parameter ein Ziel definieren und dieser kann dann im nächsten Schritt zu einem Performance Indikator für ein weiteres und viel höher gestecktes Ziel werden.

Die Komponentenebene hat es als primäres Ziel Schäden zu bewerten. Dafür wird ein Schadensindex zum Indikator für ein weiteres Performance Goal und einer Evaluierung der Brücken-Funktionalität auf der Komponentenebene. Das bedeutet für die Systemebene, dass die Funktionalität eines Elements als Indikator gilt und gemeinsam mit der Bedeutung des Elements als Gewichtunggröße für die Brücken-Zustandsbewertung und dem nächsten Ziel gehandhabt wird.

## **3.2 Zusammenfassung**

Brücken stellen einen nicht wegzudenkenden Teil unserer modernen Infrastruktur dar. Sie sind mitverantwortlich für das Funktionieren der gesellschaftlichen, sozialen und ökonomischen Anforderungen an Mobilität und Warenverkehr. Eigenschaften von Brückenschäden werden mittels Performance Indikatoren beschrieben und erlauben es auf den Zustand einer Brücke zu schließen.

- Ausfälle durch Schäden an partiellen Elementen oder darüber hinaus an den Gesamtbauwerken führen zu Sperrungen, Staus, Umleitungen und Emissionen durch Mehrkilometer und schlussendlich zu finanziellen Aufwendungen.

## PERFORMANCE INDIKATOREN ALS BEWERTUNGSGRUNDLAGE

- Die volle Funktionstüchtigkeit ist somit ein wichtiger Anteil am Funktionieren des gesamten Verkehrsnetzes und hat im Falle des Ausfalles volkswirtschaftliche Konsequenzen.

Das erklärt die Wichtigkeit der Nachhaltigkeitsbewertungssysteme und führt in die Notwendigkeit die ganzheitliche Sichtweise in Hinblick auf die Leistungsfähigkeit in die Entscheidungsfindung einzunehmen. Aspekte auf ökonomischer, ökologischer, sozial-gesellschaftlicher Ebene müssen in Bezug zur Lebensdauer der Bauwerke betrachtet werden. Die Lebensdauer zu optimieren, die entsprechenden Instandhaltungs-Strategien zu wählen, die Kosten möglichst gering zu halten und möglicherweise den Lebenszyklus weiter auszudehnen sind allesamt Strategien, die in der Wertschöpfungskette einer Brücke einbezogen werden müssen.

Das führt zum Hauptziel der transnationalen Zusammenarbeit im Rahmen des Projektes COST Action TU 1406 und zur Leitlinie für die Entwicklung eines europaweit gültigen Standards bei der Erstellung der Qualitätskontrollpläne für Straßenbrücken. Alle Mitgliedstaaten bringen dazu ihr neuestes Wissen und Innovationen, sowohl über bestehende europäische Brücken, als auch den neuesten Forschungsstand ein und erweitern damit eine europäische Datenbank, die wiederum allen Mitgliedstaaten zur Verfügung steht.

Um Brücken in ihrem Zustand, in ihrer Lebenserwartung und bezüglich der Instandhaltung bewerten zu können wurden die Performance Indikatoren und basierend auf diesen, die Key-Performance-Indikatoren erstellt und stehen als Basis für eine Bauwerksevaluierung. Diese Standardisierung führt zu einer Vergleichbarkeit der Evaluierungsergebnisse auf europäischer Ebene. Die Indikatoren können in Form eines dimensional oder eines dimensionslosen Leistungsparameters, beziehungsweise Leistungsindex sichtbar gemacht werden. Deren Evaluierung erfolgt über die Performance Thresholds und anderer Aspekte und erlaubt dadurch Schwellenwerte darzustellen. Diese dienen dann der Beurteilung, ob eine Überwachung notwendig ist, weiters der Bewertung eines Schadensprozesses und der Beurteilung des Zustandes

## PERFORMANCE INDIKATOREN ALS BEWERTUNGSGRUNDLAGE

insgesamt. Außerdem wird entschieden wie kritisch der Schaden einzustufen ist. Daraus wird gefolgert, ob die Ansprüche der Performance Goals an das Bauwerk über die zu erwartende Lebensdauer erfüllt wurden.

Die Performance Indikatoren werden zur Identifizierung im Prozess der Quantifizierung und bei der Feststellung welcher Art und Ausmaßes ihr Einfluss auf das Erreichen der Performance Goals ist in die verschiedenen erforderlichen Kategorien unterschieden. Diese Einteilung wird in technische, sozioökonomische und nachhaltige Indikatoren vorgenommen. Zudem wird, wie ab dem Kapitel 3.1.1 beschrieben, auf der Komponentenebene, der Systemebene und der Netzwerkebene kategorisiert. Bei der Komponentenebene finden besonders die technischen und die sozioökonomischen Kriterien Beachtung. Erhoben werden Schäden und die Beurteilung der einzelnen Brückenbauteile. Die Kosten der allfälligen Instandsetzungen werden mit den Kosten für ein neues Element verglichen.

Tragsicherheit, Dauerhaftigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Verkehrssicherheit sind die Kriterien, an welchen einzelne schadhafte Elemente auf der Systemebene in ihrer Funktionalität beurteilt werden. So wird die Bedeutung dieses Elementes im Zusammenhang mit der gesamten Konstruktion und der möglichen Einschränkung durch dieses evaluiert. Diese Kriterien sind technischer, nachhaltiger und sozioökonomischer Art.

Oberstes Anliegen auf der Netzwerkebene ist der Entwurf einer Prioritätenliste in Hinsicht auf die Maßnahmen der Erhaltung der Bauwerke. Als Grundlage dazu ist der allgemeine gegenwärtige Zustand der Brückenkonstruktion und ihr Stellenwert im Straßenverkehrsnetz gesamt gesehen. Dieses Ranking der Prioritäten wird in der Erhaltung des Bauwerkes als Indikator bei der Verfassung des Qualitätskontrollplanes berücksichtigt.

Alle diese Maßnahmen unterstützen dabei die Qualitätskriterien der Brückeninspektionen auf ein einheitliches, europaweit hohes Niveau anzuheben und bei den Ingenieurbauwerken technologische und strukturelle Veränderungsprozesse durch entsprechende Handlungen hintanzuhalten,

## *PERFORMANCE INDIKATOREN ALS BEWERTUNGSGRUNDLAGE*

Risiken unerwarteter Kosten zu reduzieren, Investitionsbedürfnisse über das Asset Management und Erstellung von Qualitätskontrollpläne zu entscheiden und auch schlussendlich Lebenszykluskosten zu minimieren.

## **4 Umfragen zu Performance Indikatoren**

### **4.1 Einleitung**

Brückenbauten sind ein wichtiger Teil der Verkehrsinfrastruktur und somit ein fixer Bestandteil eines funktionierenden Gesamtverkehrsnetzwerkes. Sie stellen eine verbindende Grundkomponente des Waren- und Personenverkehrs dar und sind ein Zeichen unserer zunehmenden Mobilitätsgesellschaft. Belastungen durch Umwelteinflüsse, zunehmende Verkehrsbelastung, die Zunahme des Schwerverkehrs, chemische Einflüsse und Alterungsschäden sind jene Degradierungserscheinungen, die den Brückenkonstruktionen die Restlebensdauer verkürzen. Daher ist es wichtig bestehende Brückenbauwerke und auch neu entstandene Konstruktionen in ihrem aktuellen Zustand zu evaluieren, bereits eingetretene Degradationen zu besichtigen, Gegenmaßnahmen bei Schadenseintritt zu verfassen und Vorschläge zur Lebenszyklusoptimierung vorzuschlagen. Das Ausmaß der Degradationen zu erfassen, also den tatsächlichen Bauwerkszustand festzustellen und Vorschläge für kosteneffiziente Erhaltungsmaßnahmen sind die Vorgangsweisen in der Zustandsbewertung.

In Bezug auf die Lebenserhaltung und Wartung von Straßenbrücken in Europa sind Performance Indikatoren eingeführt worden, die zur Entwicklung eines Qualitätskontrollplanes geführt haben. Das soll zu einer gemeinsamen, einheitlichen und standardisierten Richtlinie für Qualitätskontrollpläne führen um die Qualität der Brücken innerhalb Europas einem vorgegebenen Standard anzugleichen. Dafür wurde das Projekt der COST Action TU 1406 ins Leben gerufen. Das Projekt COST Action standardisiert nun die Zustandsüberwachung und die laufende Instandhaltung der Straßenbrücken. Ziel ist die Sicherstellung der einheitlichen Qualität und die Erfüllung der europäischen Anforderungen an

## *UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN*

---

Qualität, Wirtschaftlichkeit und den sozialen Ansprüchen. Dieses Projekt hat es sich zur Aufgabe gemacht, neben den bereits existierenden auch neue Indikatoren in Hinsicht auf die Nachhaltigkeit in der Leistung zu bestimmen. Also kann zusammenfassend festgehalten werden, dass das Projekt COST Action TU 1406 das Ziel hat eine europäische, allgemein gültige Richtlinie zur Erstellung von Qualitätsplänen zu erschaffen und dabei auch, die für Straßenbrücken relevanten Beurteilungen des Zustandes, erweiternde und neue Performance Indikatoren zu erheben. Das bedarf der Mithilfe durch die Mitgliedstaaten, um mit bestehenden und neuen Daten, Richtlinien und Normen und zur Hilfenahme von Forschungsdokumenten, eine für alle Staaten zugängliche Datenbank zu entwickeln. Über einen Prozess der Homogenisierung und Kategorisierung der schriftlichen Ergebnisrückläufe werden die Performance Indikatoren ermittelt und in einem weiteren Schritt den sogenannten Key-Performance-Indikatoren, den Schlüsselindikatoren, zugeordnet.

## 4.2 Schematische Darstellung der Umfragephasen

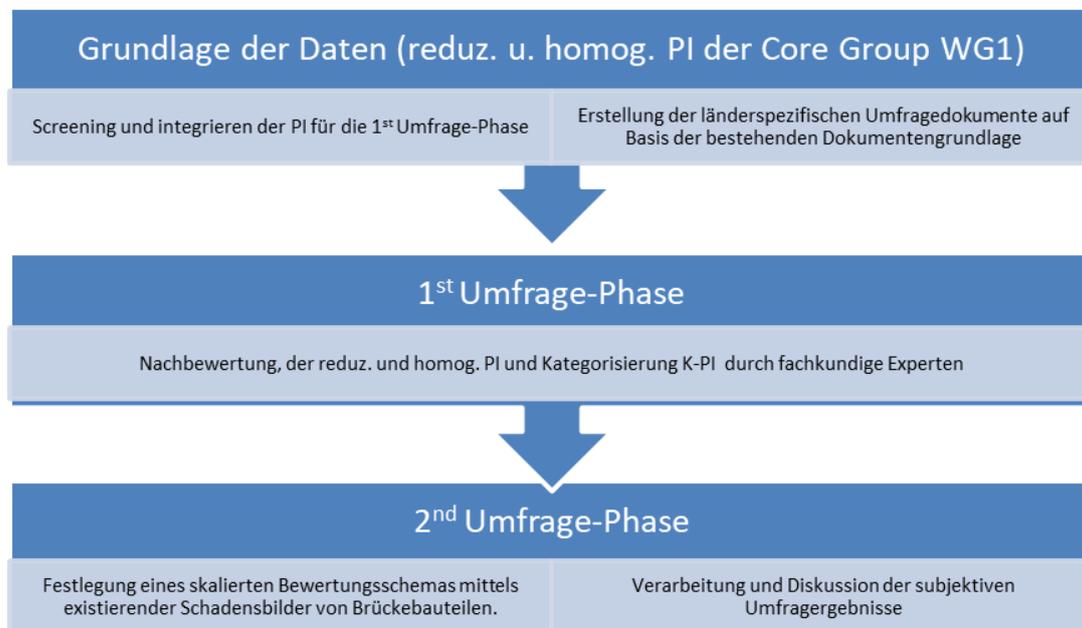


Abbildung 4.1: schematische Darstellung der Umfragephasen (eigene Darstellung)

## 4.3 Vorgehensweise der Umfrage

Vom 18. bis 21. Dezember 2017 organisierte die Universität für Bodenkultur Wien, eine Winter School in Zell am See. Fachleute und Doktorranden, verschiedenster Studienrichtungen mit Spezialisierungen im Fachbereich aus dem Ingenieurwesen nahmen daran teil.

Diese Veranstaltung, hatte als Themenschwerpunkt die Inhalte der WG 1, WG 2 und WG 3 und die Schwerpunkte der COST Action TU 1406 in Bezug gesetzt zu den Bewertungen von Straßenbrücken durch Key-Performance-Indikatoren (KPIs). Zudem kam zu Festlegungen von Performance-Schwellenwerten/der Ziele und den Empfehlungen für die Erstellung der Qualitätspläne (die Schwellwertüberwachung spielt besonders bei Bauwerken mit Gefährdungspotential eine besondere Bedeutung, ähnlich einem Frühwarnsystem). Es nahmen daran 16 Experten aus 10 Nationen teil, die sich

mit dieser wissenschaftlichen Thematik besonders auseinandergesetzt haben und bereits länger an diesem Projekt arbeiten. Das waren: Griechenland, Lettland, Kroatien, Italien, Mazedonien, Serbien, Montenegro, Bosnien und Herzegowina, Libanon. Österreich war automatisch vertreten. Bezugnehmend auf die Rücklaufquote aus der Umfragephase kann vermerkt werden, dass es zu schriftlichen Rückmeldungen aus den Ländern: Griechenland, Estland, Norwegen, Deutschland, Italien, Tschechien, Ungarn, Portugal und Island kam.

Ziel der Winter School ist es neueste Erkenntnisse aus dem Bereich der leistungsbezogenen Bewertung bei bestehenden Straßenbrücken zu verbreiten und die neuen Entwicklungen der COST Action in Puncto Leistungsindikatoren, Performance, zu vermittelnder Ziele und Qualitätskontrollpläne, die sich auf die Resultate der WG 1, WG 2 und WG 3 konzentrieren zur Verfügung zu stellen. Ein zukünftiges Ziel ist es, dass sich die Teilnehmer der Winter School, mit den entwickelten Tools der eingerichteten Datenbank und den Begriffsbestimmungen auseinandersetzen. Ein weiterer interaktiver Workshop wird sich mit der Anwendung von Brückenwerkzeugen auf definierten Brückenstrukturen beschäftigen. Ein übergeordneter und kommunikativer Gedanke dieser Treffen ist das Vernetzen und Austauschen der Fachleute unter sich.

Vorbereitend für die Umfragephase wurde ein Screening mit den bereits existierenden Dokumenten durchgeführt, mit dem Ansatz, homogenisierte und reduzierte Performance Indikatoren der teilnehmenden Länder hervorzuheben und explizit anzuführen. Die Datengrundlage dafür bildeten die Dokumente, die davor durch Absprache der Core Group in einer gemeinsamen Debatte (vgl. Core Group, 2018) anerkannt wurden.

Als weitere Vorarbeit wurden die Performance Indikatoren durch die Core Group Member der Arbeitsgruppe 1 (WG 1) klassifiziert. Dieser Vorgang bestätigte, dass bei den Begrifflichkeiten, die als Performance Indikatoren ausgewiesen wurden, Einigkeit besteht. Jedoch existieren unter den Staaten große Schwankungen in der Anzahl der Indikatoren. Der obere Schwellenwert zeigt sich bei Griechenland mit 139 Performance Indikatoren und der niedrigste Wert kann bei Frankreich

mit 14 ausgewiesenen Performanceindikatoren aufgezeigt werden. Die restlichen Werte sind in der folgenden Tabelle nachvollziehbar dargestellt.

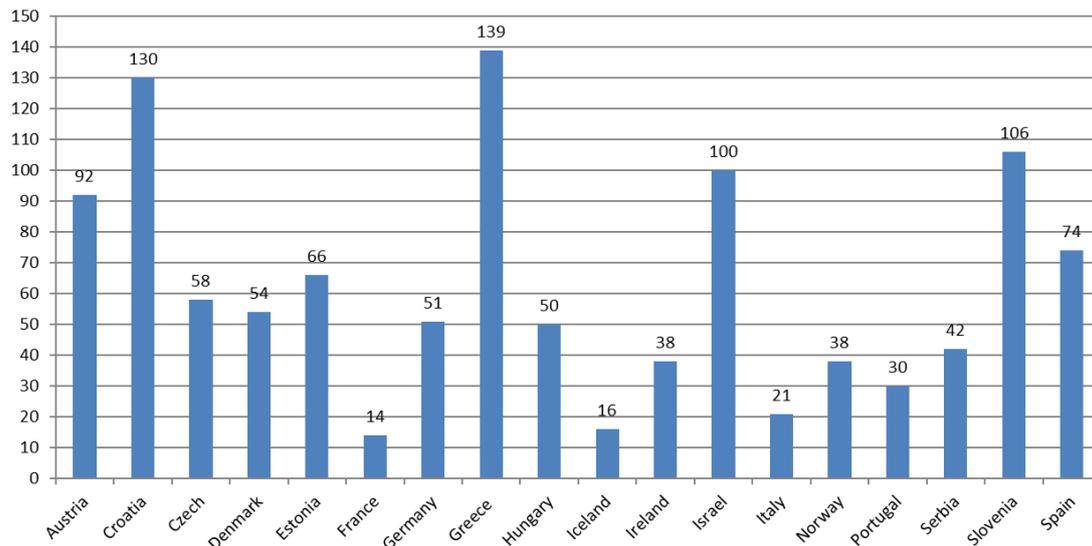


Abbildung 4.2: Anzahl der homogenisierten und reduzierten Performance Indikatoren ausgewiesen anhand der Länderdarstellung (eigene Darstellung, angelehnt an: [<https://www.tu1406.eu/>].)

### 4.4 Ablauf der Umfrage

An dieser Stelle werden nun die verschiedenen Schritte im Ablauf der Umfrage dargestellt. Vor der Befragung wurde vom Autor dieser Arbeit ein Fragebogen, basierend auf der Vorarbeit bereits bestehender Datenblätter der WG 1 entwickelt und adaptiert, der dann im Zuge der Winter School, der Expertengruppe vorgelegt wurde. Darin sollten als Hauptziel die länderspezifischen Begrifflichkeiten, die als Performance Indikatoren geführt sind einer Überprüfung zugeführt werden.

Aufgrund der begrenzten Teilnehmeranzahl wurden die durchgeführten Umfragen, stellvertretend und systematisch für die Länder der fehlenden Teilnehmer erstellt. Teilweise gelang es die länderspezifischen Umfragen von einem dazugehörigen Experten des jeweiligen Landes beantworten zu lassen, aber manchmal musste stellvertretend ein anderes Land die Antworten einfügen.

## UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

---

Ein weiteres Ziel dieser Expertenbefragung war es genauere Erkenntnisse und eine Übereinstimmung der reduzierten homogenisierten Performance Indikatoren zu ermitteln.

Nach einer Einführungs-Präsentation von Professor Alfred Strauss vor den Teilnehmern, folgte eine Einleitung und eine ausführliche Unterweisung in die Themenschwerpunkte der Working Group 1 (WG 1-Performance-Indicators). Dieser Vorgang wurde zur tatsächlichen Ausweisung der Performance Indikatoren zu den Key Performance Indikatoren angewendet. Professor Strauss erklärte basierend auf der Idee des COST Action - Projektes, die Begrifflichkeiten, die Performance Indikatoren, denn Sinn und Zweck der Datenbank, wie die Dokumente für jedes einzelne Land erhoben wurden, den Übersetzungsvorgang der spezifischen Begrifflichkeiten und eingehend die Gründe und die Ziele der Umfrage. Letztendlich erklärte er den Teilnehmern eingehend die KPI um Unklarheiten in der Interpretation auszuschließen.

Danach wurde die Arbeitsgruppe für den praktischen Teil der Umfrage unterwiesen. Im nächsten Schritt wurde mit den Teilnehmern die vorbereitete Befragung durchgeführt. Zu erheben waren folgende Parameter:

- Eine Zuordnung auf welchem Level/Ebene (Komponenten-, System-, Netzwerkebene) wie sich die Begrifflichkeiten kategorisieren lassen
- Beurteilung bezüglich ob eine Bewertung, ein bestimmter Schwellenwert oder ein Ziel damit verbunden ist

Weiter umfasste die Umfrage ob es sich dabei um einen

- Performance Indikator handelt und
- welchem Bereich, dieser zuordenbar ist
- ob es sich dabei um einen Technischen-, Nachhaltigkeits-, oder sozioökonomischen Aspekt handelt.

Alle diese Vorarbeit diente dazu die Performance Indikatoren in der Zugehörigkeit den Key-Performance Indikatoren zuordnen zu können. Die Kategorisierung der Performance Indikatoren zu den Key-Performance

Indikatoren fand in: Reliability (R), Availability (A), Maintainability (M), Safety (S), Environment (E), Costs (C), Health (H), Politics (P), Rating/Inspection (I) statt.

Dieser Vorgang musste für jede Hauptgruppe der Performance Indikatoren eigens durchgeführt werden. Die Hauptgruppen sind: defects, related to material properties, related to equipment and protection, geometry changes, related to bearing capacity, structural integrity and joints, related to construction and design, related to dynamic behavior, environmental based (common appearance), rating, cost and importance, loads.

Der Arbeitsaufwand für die Bewertung war zwischen den Ländern unterschiedlich, weil die Begrifflichkeiten wie bereits erwähnt gestreut waren.

### **4.5 Anleitung (Konzept) der Umfrage**

Zur demonstrativen Anwendung dieses Bewertungsschemas, wurden exemplarisch zwei symbolische Schäden an Brückenbauteilen herangezogen, um einen Überblick des Bewertungsverfahrens zu erhalten. Das Verfahren ist in mehrere Schritte unterteilt:

Im ersten Schritt erfolgt die Vorlage der Schadensbilder: der erste Schadensfall zeigt einen Zugriss im Feldbereich des Stahlbetonträgers, im zweiten Schadensbild sind Schubrisse unmittelbar nach dem Auflagerbereich im Betonträger abgebildet. In der Auswertung werden Bildbeigaben, bestehender Straßenbrücken im Einklang mit den bereits, reduzierten und homogenisierten Performance Indikatoren, der verschiedenen Länder zur Verfügung gestellt. Diese Bilder waren bereits zu Dokumentationszwecken in Brückeninspektionen erstellt worden. Der Evaluierende hatte davor keinen Einblick auf die vorhergehende Auswertung. Es liegt in der Wahl des Untersuchungsinstrumentes, um zu einer objektiven und subjektiven Identifikation des Schadens durch den Experten zu gelangen. Die qualitative Forschung in Verbindung mit einer skalaren Bewertungsmethode eignet sich

## *UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN*

---

besonders gut, um die Wahrnehmung und die damit verbundene Meinung der fachkundigen Befragten zu erheben und zu interpretieren.

Entscheidend bei dieser Umfrage war die Formulierung und Gestaltung der Untersuchungsdokumente so zu gliedern, dass eine qualitative Auswertbarkeit und Vergleichbarkeit möglich ist. Aufgrund der eingeschränkten Teilnehmerzahl der Experten, musste verhindert werden, dass keine formalen Mängel der Befragung vorliegen, die zu einer Senkung der Rücklaufquote und den damit verbundenen, tatsächlichen Informationsertrags führen. Unter dem Aspekt, Missverständnisse im Beantwortungsprozess zu vermeiden, wurde darauf geachtet, dass nur skalierte Antwortmöglichkeiten, mit vorgegebenen Wertebereichen verwendet wurden.

Um die Interpretierbarkeit dieser Umfrage zu veranschaulichen, ist ein Bauteil, durch den Verfasser bewertet worden und als Exempel angeführt.

Der nächste Schritt ist die Expertenumfrage: Die Aufgabe der Expertenumfrage ist es nun aufgrund einer einleitenden Fragestellung die Bedeutung für die Tragfähigkeit, die Gebrauchslast und die Dauerhaftigkeit festzustellen. Angelehnt an die Bewertungsrichtlinien der RVS 13.03.11 wurde mit einem Schulnotensystem von 1-5 bewertet.

Schadenausmaß bewerten: Das Ausmaß des Schadens ist auf einer Skala von sehr gering bis sehr stark (völliges Versagen) zu beurteilen.

Bauteilversagen evaluieren: Im nächsten Ablaufschritt ist eine Gewichtung zum Versagen des beteiligten Bauteils festzulegen um dessen Beitrag zum Versagen der Brückengesamtkonstruktion festzustellen. Das Summenprodukt dieser einzelnen Bewertungskomponenten, ergibt eine Gesamtnote für den angesprochenen Performance Indikator, welcher zum Abschluss in die Spider-Matrix einfließt.

Zusätzlich enthält der Fragebogen ein freies Feld für Kommentare seitens der Beurteiler, worin sie ihre Bewertung erklären, Anregungen geben und

Beobachtungen und Gedanken niederschreiben können. Diese Kommentare können in der qualitativen Interpretation einfließen.

### **4.5.1 Skalare Bewertungsskala**

Allgemein gesehen werden Skalen in verschiedenen Forschungsrichtungen zur Bewertung und anschließenden Darstellung von Entwicklungen und Befunden herangezogen. Skalen messen die unterschiedlichen Variablen. Welche Skala für welche Variablen eingesetzt wird hängt von der/den zu untersuchenden Variablen selbst ab. Generell unterscheidet wird in nominalen Skalen, ordinalen Skalen, Intervall-Skalen und Ratio-Skalen gemessen. Abhängig davon, welche Art von Skala zum Einsatz kommt, wird auch die Methode zur Analyse der Daten ausgewählt. Bei Ratio- und Intervall-Skala werden (abhängig von den weiteren Faktoren) zumeist die gleichen Methoden für metrische Messwerte verwendet. Bei den Ordinal- und Nominal-Skalen stehen andere Instrumente zur Verfügung (vgl. Porst, Ralf 2011, S. 69).

### **4.5.2 Spider Matrix**

Mittels Netzdiagramm können Zusammenhänge von Faktoren, Profile um Umfrageergebnisse abgebildet werden. Vorweg muss ein Grundprofil erstellt und mit anderen Ergebnissen abgeglichen werden. Netzdiagramme können mehrere gleichwertige Kriterien visualisiert in einer Spinnennetzform zeigen. Dafür wird für jedes Kriterium eine eigene Achse angelegt. Alle Achsen sind in gleicher Orientierung ausgerichtet. So ein Diagramm braucht mindestens drei Kriterien. Der Verfasser dieser Arbeit hat das Programm Excel 2010 zur Erstellung des Spider-Diagramms (und aller anderen Grafiken) verwendet.

## **4.6 Umfrageergebnisse**

Die Aufgabe der WG 1 war die Erhebung der Performance basierten Begrifflichkeiten. Diese wurden in die englische Sprache übersetzt und ähnliche

## *UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN*

---

Bezeichnungen wurden zu einem Begriff zusammengefasst. Dadurch konnten 385 Performance Indikatoren identifiziert werden. Diese hohe Anzahl an Begrifflichkeiten war jedoch in der praktischen Anwendung kaum umsetzbar und für eine fundierte Überprüfung zu umfangreich. Die Aufgabe des Autors dieser Arbeit bestand darin diesen gesamten Vorgang zu begleiten und zu evaluieren. Es fand während des Ablaufdiagramms auch eine Reduktion statt, die es ermöglicht eine überschaubare Anzahl für die praktische Anwendung zu filtern. Im Reduktionsvorgang wurden in mehreren voneinander unabhängigen Umfragedurchgängen die Übereinstimmung von Bezeichnungen geprüft. Ein von der WG 1 Core Group durchgeführt Homogenisierungsvorgang untersuchte ob die Screening Ergebnisse der Mitgliedsländer eine korrekte Zuordnung auf Basis der Informationslage erhalten haben. Bei Bedarf wurden diese angepasst. Nach diesem Prozess wurden als Ergebnis die evaluierten Daten für jedes Land graphisch dargestellt.

Der Reduktionsvorgang der Begriffe kann hier anhand der folgenden Tabelle aufgezeigt werden.

## UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

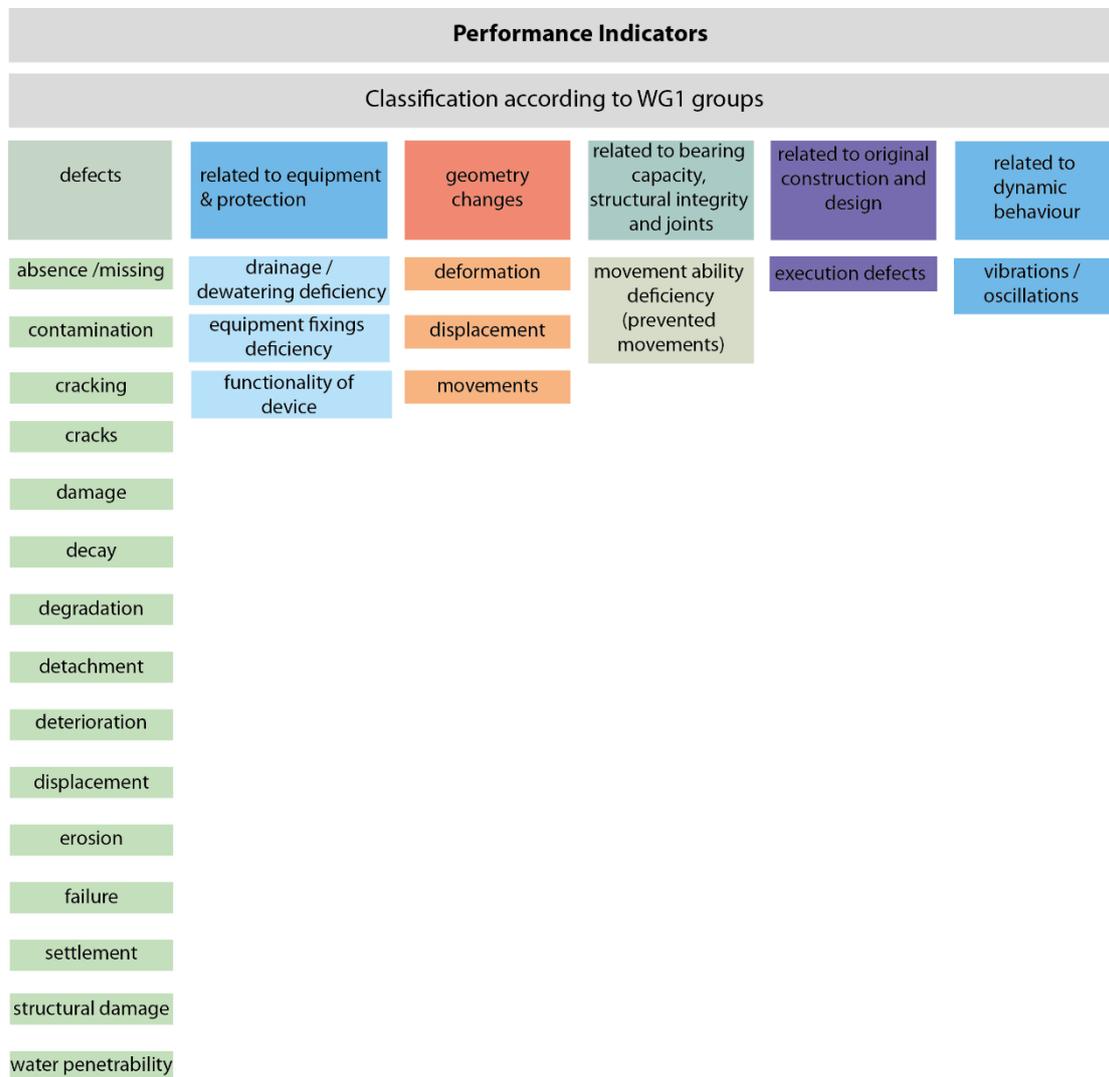


Abbildung 4.3: Performance Indicators Classification according to WG 1 Group (eigene Darstellung)

## *UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN*

---

In dieser Umfragephase wurden folgende zusätzliche Schritte durchgeführt:

- Eine Zuordnung der homogenisierten Begrifflichkeiten auf Levelbene (Komponente, System, Netzwerk).
- Eine Einstufung der Bewertung (threshold, Goal, Rating), ob es sich hierbei um einen Performance Indikator handelt, mit den entsprechenden Kontrollfragen (Measurable? Quantifiable? Target value available? Valid for ranking purposes? Allow decision with economic implications? (YES/NO) Technical (Tech), Socio Economical (SoEc), Sustainable (Sust)).
- Eine Zuordnung zu den Key-Performance Indikatoren (Reliability (R), Availability (A), Maintainability (M), Safety (S), Security (Se), Environment (E), Costs (C), Health (H), Politics (P), Rating/Inspection (I)).

Die Reduktion der Begriffe in der Umfragephase ist aus der nächsten Grafik zu entnehmen. Es ist ebenfalls ersichtlich, dass eine eindeutige, von den Core Groups erstellte, Zuordnung (Performance Indikatoren, andere Daten, Überwachung, Schadensprozess, 2nd Level PI) bereits durchgeführt wurde.

# UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

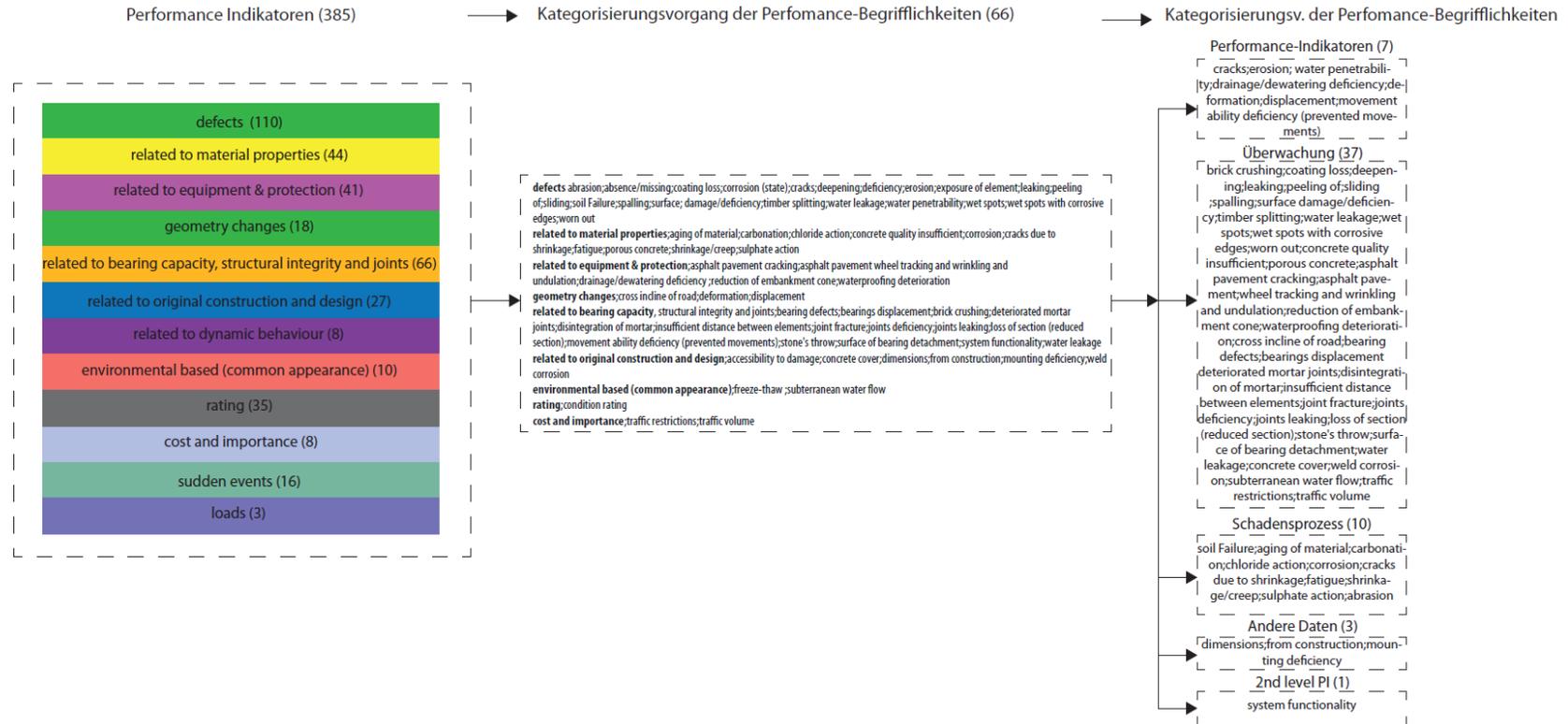


Abbildung 4.4: Ablaufdiagramm beispielhaft für Estland von der Erhebung der Daten bis zur Auswertung (eigene Darstellung)

Ursprünglich war an dieser Stelle eine zweite Umfrage geplant. Bei dieser Umfrage sollte anhand von Fotos und einem dazugehörigen Bewertungssystem, das der Autor erstellt hatte eine Bewertung zu den KPI erstellt werden. Diese Daten hätten Werte ergeben sollen, die eine Darstellung als Spinnen-Netz-Diagramm ermöglichen. Leider scheiterte dieses Vorhaben am geringen Rücklauf und damit an einer zu niedrigen Anzahl für die Stichprobe.

### **4.6.1 Zusammenstellung inhaltlicher Aspekte der WG 1 und WG 3**

Sinn dieser anschließenden Diskussion ist es alle zusammengetragenen Sachverhalte und Ergebnisse dieser Arbeit zusammenzufassen und kritisch zu betrachten. Natürlich kann eine solche Diskussion im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit nur auf der rein theoretischen Ebene stattfinden, da keine weiteren Diskutanten zur Verfügung stehen. Sie dient auch nicht dazu einen Standpunkt zu vertreten, sondern als rein sachliche Darstellung. Zudem kann eine solche Darstellung die Ausgangsbasis für weiterführende Forschung sein.

Vorab noch einmal die Vorbedingungen, Ziele und die Arbeit der einzelnen Arbeitsgruppen in Kurzform.

### **4.6.2 Tätigkeitsbereiche der COST Action TU 1406 und deren Inhalte**

Die Gruppen des Projektes COST Action TU 1406 haben verschiedene Aufgaben, die aufeinander aufbauen. Die WG 1 widmet sich der Sammlung und der Analyse von forschungsbasierten Leistungsindikatoren. Die WG 1 hat es zum Ziel im Rahmen der Forschungskoooperation die relevanten Brückenleistungsindikatoren herauszuarbeiten, um so deren Lebensdauer, ihre maßgebenden technischen, sozialen und ökologischen Leistungen im Zusammenhang mit ihrer Lebensdauer zu erfassen. Ziel ist es eine einheitliche Qualitätskontrolle im europäischen

## *UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN*

---

Raum zu erreichen. (vgl. Strauss, Alfred. WG 1 Technical Report performance indicators for Roadway bridges of COST Action TU 1406, im Vorwort o.S.)

Aufgabe der WG 1 war es entsprechendes Material über Brückeninspektions- und Brückenwartungsunterlagen, beziehungsweise Brückenbewertungsunterlagen zusammenzutragen und eine (Excel) Datenbank für Leistungsindikatoren anzulegen. Zuvor die einzelnen Indikatoren identifiziert. Im nächsten Schritt wurden aus diesen gesammelten Daten die PI und die KPI herausgefiltert. Diese Daten dienten danach der WG 2 war es einen Überblick über die bestehenden Leistungsziele zu erarbeiten. In der WG 3 ging es hauptsächlich um die Qualitätskontrolle, der erarbeiteten Resultate aus WG 1 und WG 2. Sie hatte die Aufgabe die detaillierte Vorgangsweise zur Erstellung von Qualitätskontrollplänen der unterschiedlichen Brücken zu entwickeln. Der Arbeitsbereich der WG 4 beinhaltete die Durchführung und Codierung einer Fallstudie, in deren Rahmen verschiedene Straßenbrücken aus den unterschiedlichen COST-Ländern mit bevorzugt gleichartigen Typologien herangezogen wurden. Diese Studie hatte das Ziel, eine existierende Streuung zwischen den nachweisbaren Leistungsindikatoren und ihren definierten Zielen sichtbar zu machen. Diese Werte zeigen die realistischen Streuungs-Abbildungen zwischen den QC-Plänen. Die umgesetzten Werte werden validiert und getestet und basieren auf Empfehlungen der WG 3. Die WG 5 befasste sich mit der Erstellung von Richtlinien und Empfehlungen. Ziel war es Leitfäden und Empfehlungen eines QC-Planes auszuarbeiten, die von unterschiedlichen Straßenbauämtern und Straßenbauverwaltungen übernommen werden können. Vorrangiges Ziel war die Entwicklung eines Arbeitsdokumentes für bestehende und neue Brücken als Grundlage für Fachleute und Fachingenieure. WG 6 hatte das Aufgabengebiet der möglichst breit angelegten Publikation der gesamten Arbeit und Ergebnisse der Forschungsgruppe. Übergeordnet soll all diese Vorarbeit zu einem europäischen und internationalen Leitfaden und einer Verzahnung der Normen führen.

### **4.6.3 Hauptergebnisse und inhaltliche Interpretation der Untersuchung**

Auf Grundlage der bereits erhobenen technischen Daten aus den Datenbanken der WG 1 (Name: Datenbankordners; Finished databases & glossaries), wurde durch den Verfasser dieser Arbeit eine erneute Überprüfung der Leistungsindikatoren, der Performance Indikatoren durchgeführt. Diese neuerliche Studie sollte die vorangestellte Frage,

*ob bei den bereits bestehenden technischen Leistungsindikatoren und einer erneut durchgeführten Umfrage Übereinstimmungen zu den gewählten Begrifflichkeiten (PI) bestehen,*

klären helfen. Bei der Auswertung der Umfragen aus den verschiedenen Ländern, waren sich alle Teilnehmer, bis auf ein paar wenige, nicht nennenswerte Ausnahmen über die Zuordnung der Leistungsindikatoren (PI) einig.

### **4.4.5 Ablaufschema der Untersuchung und kritische Anhaltspunkte in der Datenerhebung**

Bei manchen PI-Begrifflichkeiten, die vermutlich aus einer Fehlinterpretation dieses Begriffes resultierten, kam es zu Divergenzen. Die Vorarbeit zur Vorbereitung dieser Umfrage umfasste eine Durchsicht von Datenbanken der 19 daran teilnehmenden Länder (Österreich, Bosnien und Herzegowina, Kroatien, Tschechien, Dänemark, Estland, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Ungarn, Island, Irland, Israel, Italien, Norwegen, Portugal, Serbien, Slowenien, Spanien). In der Datenbank von Bosnien und Herzegowina wurden keine Daten bei homogenisierten Indikatoren beigelegt. Das könnte auf einen fehlenden Homogenisierungsvorgang hinweisen und somit konnte für dieses Land keine erneute Überprüfung der Begrifflichkeiten generiert werden. Diese Datenbanken beinhalteten folgende Informationen:

## UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

---

- verwendete Dokumente (für Brückeninspektionen), genaues Kapitel oder Paragraphen

Weiteres waren die Informationen der Hauptgruppen

- A) Performance level
- B) Damage
- C) Performance Indicator/ Index
- D) Performance Assessment
- E) Condition Rating

in diesen Dokumenten aufgezeichnet.

Zu Punkt A) Performance Level: mussten die Ebene, das Brückensystem, die Brückenkomponente und das Material angegeben werden.

Zu Punkt B) Damage (Schaden:) mussten Angaben zum Typ des Schadens (Schadensprozess, Schadenszustand, Anforderung, unerwartete Ereignisse) und die damit in Verbindung stehenden charakteristischen Eigenschaften (zum Beispiel: Damaging Process → sulphat action oder Damage-State → freeze Damage (Frostschäden) beschrieben werden.

In den Spalten C) Performance Indicator/Index: mussten Angaben zur Feststellung getroffen werden (Sichtprüfung, indirekte Bewertung, direkte Messung) zur Bewertungsmethode (zum Beispiel: Direct-Measurement → Labortest, Materialtest) und das dazugehörige Verzeichnis /Register (zum Beispiel: Gebrauchstauglichkeit SLS, Grenzzustand der Tragfähigkeit, Verkehrssicherheit) erstellt werden.

Die Spalte D) Performance Assessment: (Leistungsbewertung/Leistungsbeurteilung) konnten Angaben zu einem Schwellwert gemacht werden (Unterer-Oberer Schwellenwert, Kategorien) und die Anforderungen und Voraussetzung dafür festgelegt werden.

Zur Erstellung der überprüfenden Umfragephase wurden lediglich die Daten aus den Spalten „Homogenized Indicators“ mit den in Klassen, geordneten Performance Indikatoren, die bereits durch eine Übereinkunft der „Core Groups“ ernannt wurden, herangezogen.

Fünf Umfragen der Winter School Zell am See, konnten aufgrund Ihrer Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit zu Ergebnissen in darstellenden Grafiken verarbeitet werden. Zu dieser Umfrage wurden natürlich alle Teilnehmer eingeladen. Leider war der Rücklauf der Fragebögen für eine wissenschaftliche Arbeit unter jeglicher Signifikanz und mehrere Fragebögen waren unvollständig ausgefüllt, sodass der Verfasser dieser Arbeit, um Fehlinterpretationen des Umfrageergebnisses vorzubeugen, diese Rückläufe unbeachtet ließ.

### **4.7 Auswertung und Ergebnisdarstellung**

Die wiederholte Überprüfung der bereits ausgewählten PIs, zeigt dass sich alle teilnehmenden Mitglieder der Winter School hinsichtlich der Begrifflichkeiten einig sind und das geplante Ziel der Reduktion und Übereinstimmung somit erreicht wurde und als zielführend bestätigt werden kann.

Man sieht anhand der Ergebnisse und der graphischen Darstellungen, dass die Anzahl der Leistungsindikatoren, variierend zwischen den Ländern auf 5-9 Begrifflichkeiten festlegbar ist.

# UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

## Deutschland

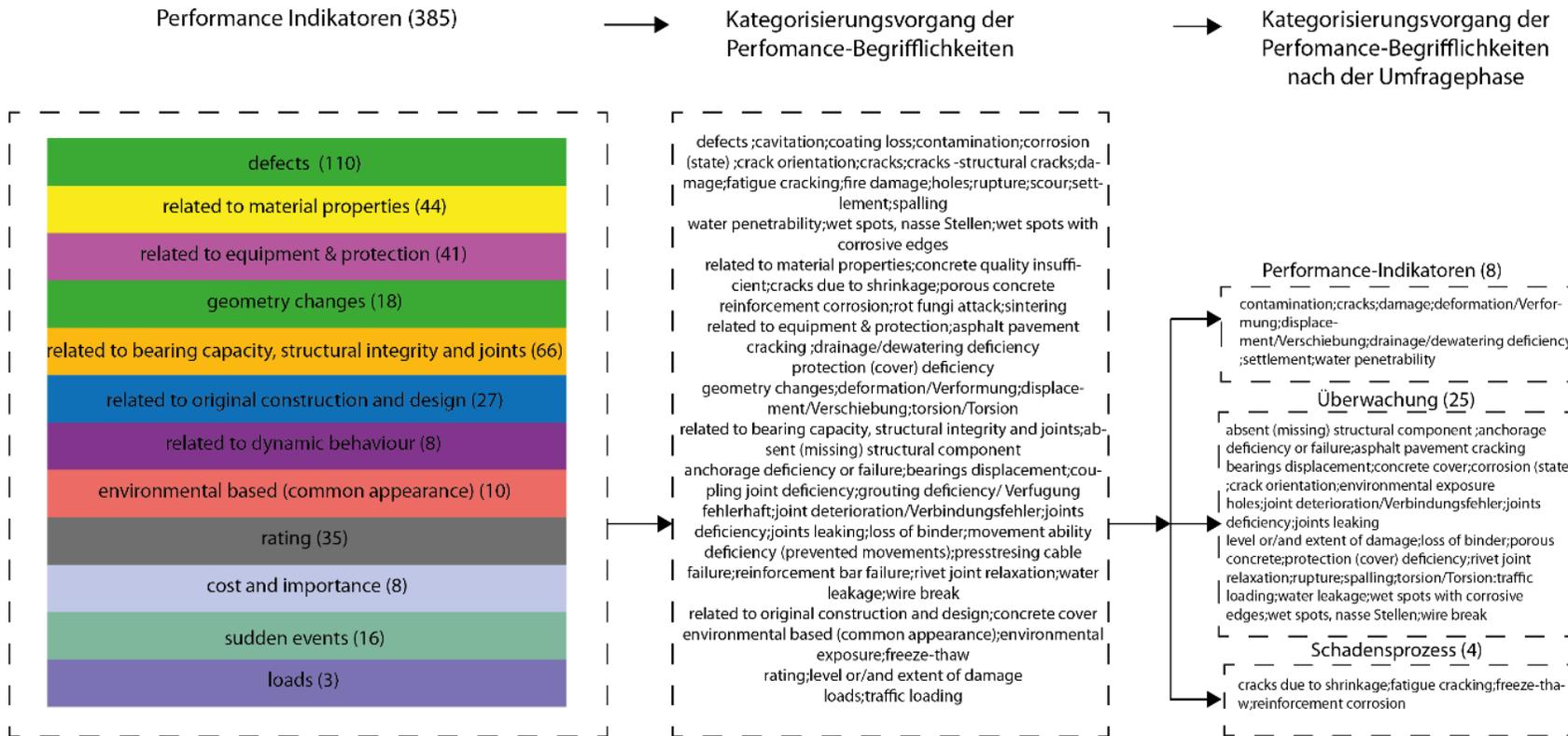


Abbildung 4.5: Graphische Auswertung und schematisch dargestellter Reduzierungsvorgang des Umfrageergebnisses für das Land Deutschland (eigene Darstellung)

# UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

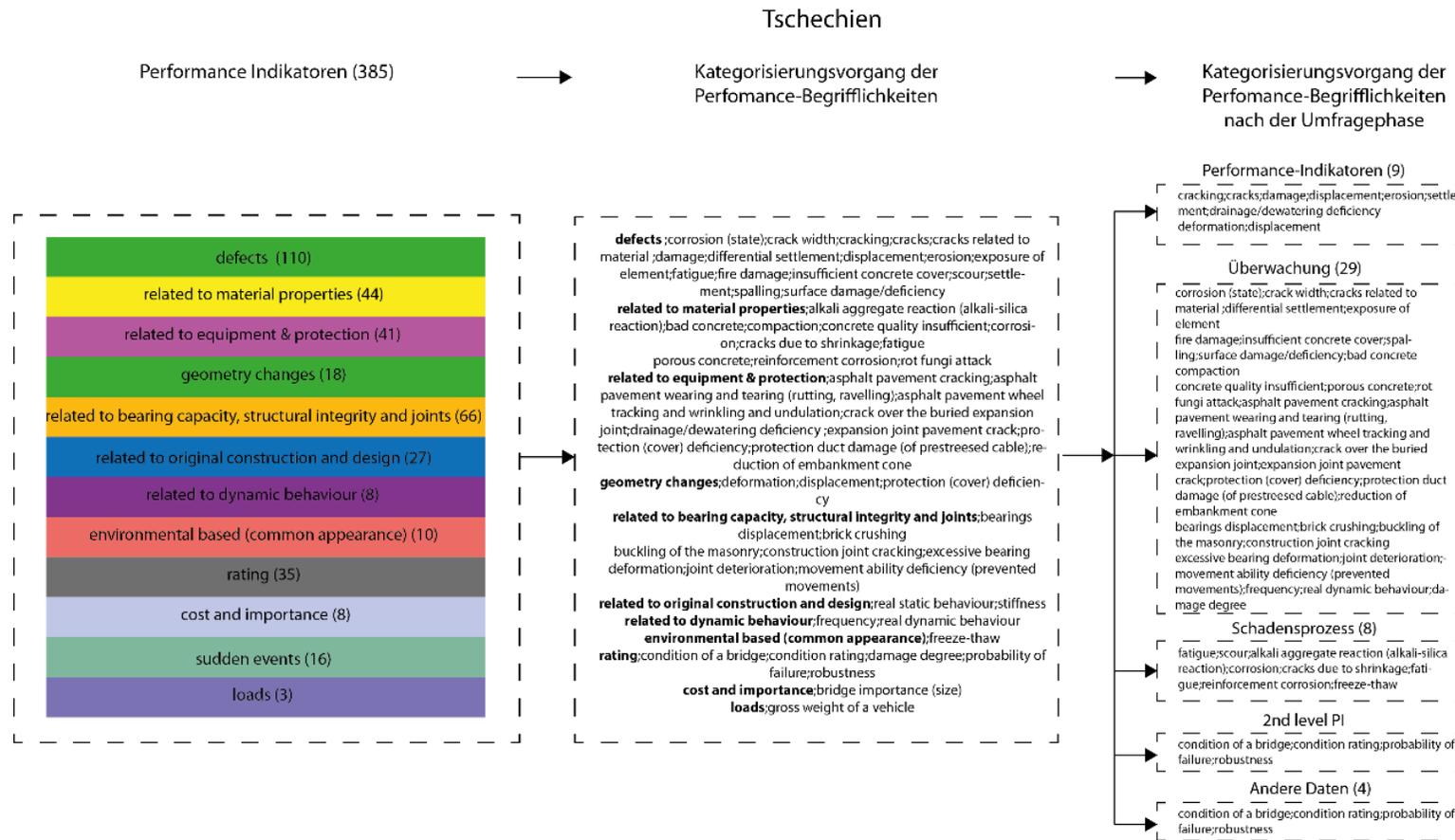


Abbildung 4.6: Graphische Auswertung und schematisch dargestellter Reduzierungsvorgang des Umfrageergebnisses für das Land Tschechien (eigene Darstellung)

# UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

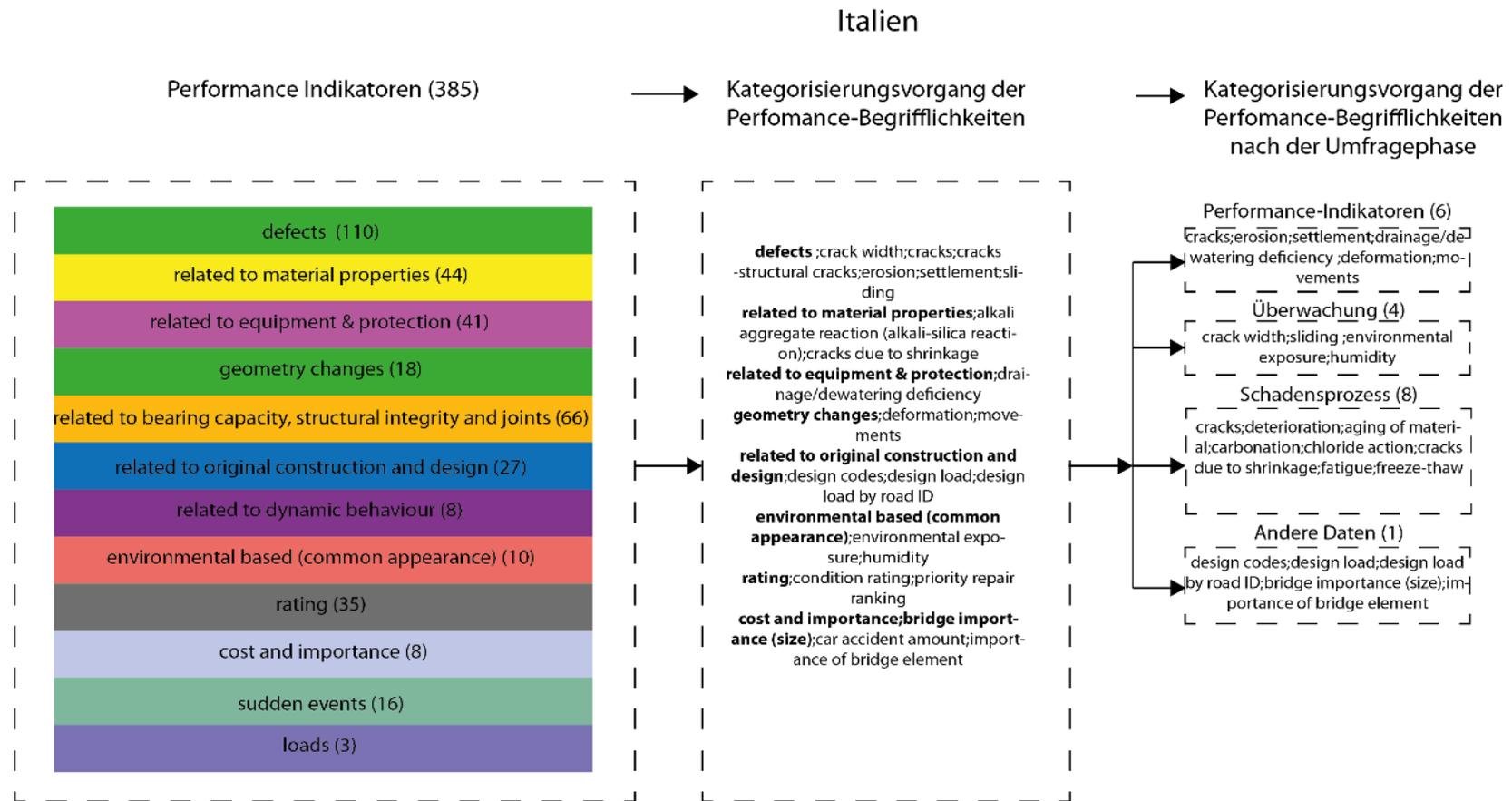


Abbildung 4.7: Graphische Auswertung und schematisch dargestellter Reduzierungsvorgang des Umfrageergebnisses für das Land Italien (eigene Darstellung)

# UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

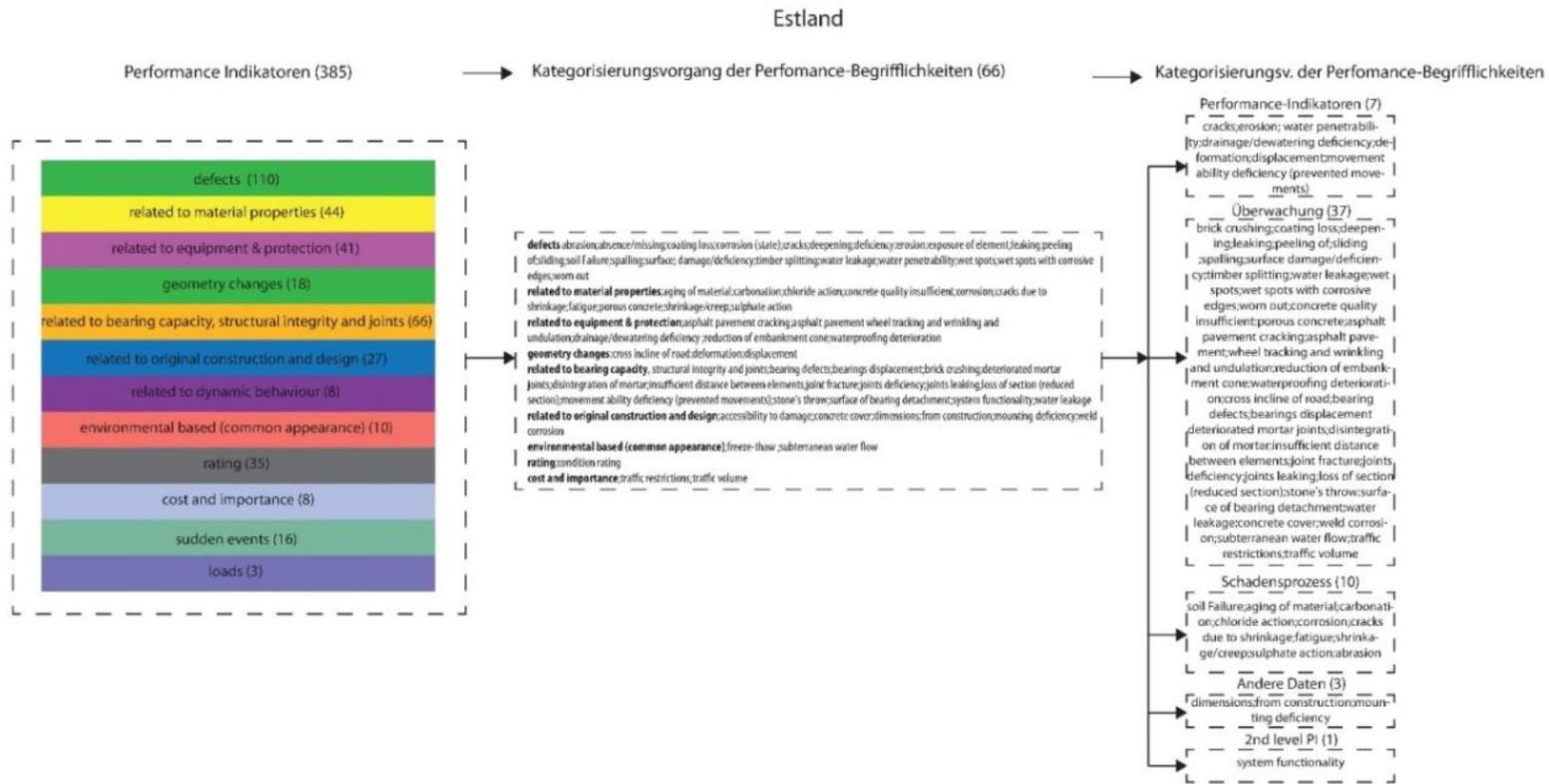


Abbildung 4.8: Graphische Auswertung und schematisch dargestellter Reduzierungsvorgang des Umfrageergebnisses für das Land Estland (eigene Darstellung)

# UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

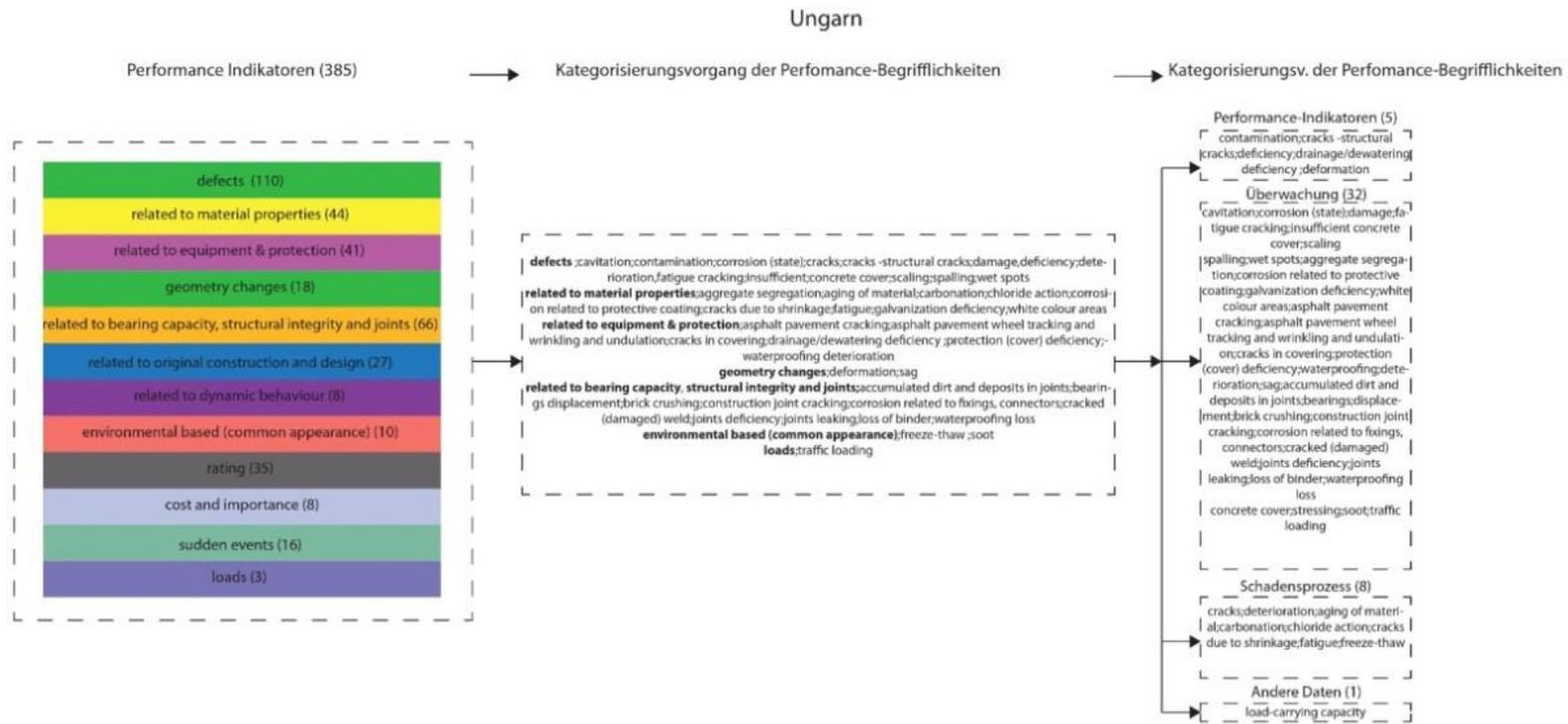


Abbildung 4.9: Graphische Auswertung und schematisch dargestellter Reduzierungsvorgang des Umfrageergebnisses für das Land Ungarn (eigene Darstellung)

## **4.8 Erwartungen der Ergebnisse für weitere Forschungszwecke**

Ziel dieses ganzen Vorhabens ist es eine allgemein gültige Richtlinie zur Erstellung von Qualitätskontrollplänen für Straßenbrücken zu entwickeln, die zu den jeweiligen bestehenden Normwerken der Länder hinzugefügt oder ergänzt werden soll. Die Vorarbeit der WG 1, die Liste der Performance Indikatoren aus den länderspezifischen Dokumenten herauszufiltern und in selber erstellten Datenbanken zu archivieren, beziehungsweise dieses den diversen Screening- und Homogenisierungsprozessen auszusetzen, bildet die Basis für die weiteren Working Groups des Projektes COST Action TU 1406. Der Grundgedanke baut darauf auf eine gemeinsame gültige Kommunikationssprache zwischen Infrastruktur Erhaltern und verantwortliche Bauwerksüberprüfer zu schaffen. Dieses oben erwähnte Konzept soll durch Mithilfe von Performance Indikatoren realisiert und durchgeführt werden. Für die Forschung können diese Grundlagen zu einer besseren und effizienteren Brückenüberwachung mittels einheitlicher Performance Indikatoren und einer einheitlichen europaweit gültigen Kommunikation über die Standards führen.

## **4.9 Theoretische Grundlagen zur praktischen Anwendung**

Leistungsindikatoren, beziehungsweise Performance Indikatoren messen die Gebrauchstauglichkeit (SLS). Als Beispiel kann hier ein beobachteter Riss an einem Infrastrukturbauwerk, der die zulässige Grenze von 0,4 mm überschreitet, erwähnt werden. Er könnte ein Anzeichen dafür sein, dass die Bewehrung mindestens einmal nachgegeben hat. Das wiederum sind Kennzeichen dafür, dass das Bauwerk einen unzureichenden Widerstand aufweist, oder eine einmalige Überbelastung erfahren hat. Für die Brückenerhalter und Inspektoren stellt sich nach so einem Befund die Frage was mit dieser Information zu tun ist.

Der Inspizient könnte dem verantwortlichen Brückenbetreiber Empfehlungen zu weiteren Maßnahmen geben, wie etwa ein Monitoring im betroffenen Bereich und auf diese aufbauend die entsprechenden Sanierungsmaßnahmen (Teilsanierung, Verstärkung des Brückenbauteiles und viele mehr).

## **4.10 Erkenntnisse aus der Umfrage**

Wie oben schon erwähnt, hatte jede Arbeitsgruppe unterschiedliche Ziele und Aufgabengebiete. Die primäre Aufgabe der WG 1 war es von allem, die am Projekt teilnehmenden Länder und Dokumente, die in Verbindung mit Brückeninspektionen stehen, zu sammeln. Mehr als 30 europäische Länder, nahmen an diesem Projekt teil und stellten Ihre länderspezifischen Unterlagen zur Verfügung. Eine vernünftige und überschaubare Anzahl von Leistungsindikatoren beziehungsweise Performance Indikatoren zu klassifizieren war die Anforderung der WG 1 und dieses Ziel wurde erreicht. Bewertungen von KPI aus PIs und reinen visuelle Beobachtungen sind im WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan Gegenstand lebhafter Diskussionen. Dazu kommt, dass manche KPIs auf Brückenebene schwer zu bewerten sind und das betrifft besonders die Kategorien Gesundheit und Politik.

In der WG 1 wurde die Möglichkeit vorgestellt die Performance Indikatoren der Länder in KPI (Key Performance Indikatoren) anhand der bereits klassifizierten Gruppen Level (Komponenten-, System-, oder und Netzwerk) Performance Indicator PI if, PI belongs to the Key Performance und Assessment einzuteilen. Anhand dieser länderspezifischen Eintragungen konnten Spinnennetzdiagramme generiert werden.

## UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

Tabelle 4.1: Excel Datenblatt WG 1 zur Eintragung der der Performance Indikatoren der Gruppe „defects“ zu Key Performance Indikatoren

	Level	Performance indicator PI if	PI belongs to the Key Performance	Assessment
	Component Level (CL)	Measurable?	Reliability (R), Availability (A),	Threshold (T = ....)
	System Level (SL)	{Quantifiable?; Target value available?; Valid	Maintainability (M), Safety (S), Security	Goal (G = ....)
	Network Level (NL)	for ranking purposes?; Allow decision with economic implications?} (YES/No)	(Se), Environment (E), Costs (C), Health (H), Politics (P), Rating/Inspection (I)	Rating (R = ....)
		Technical (Tech), Socio Economical (SoEc), Sustainable (Sust)		
<b>defects</b>				
abrasion	CL	yes, Tech	yes, I	f. affected area (m2); G= assessment of damage at the component
absence/missing				
aggradation (alluviation)		?		
blistering				
blocking		?		
bulging	CL	yes, Tech	yes, I	
cavitation	CL	yes, Tech	yes, I	= oval holes magnitude; G= assessment of damage at the component
clogged				
coating loss				
contamination				
corrosion (state)				

Das Spinnennetzdiagramm wird von der WG 1 zur Visualisierung dieser Bewertung verwendet da sich die einzelnen Kategorien beziehungsweise zusammengefasste Kategorien in Achsen gleicher Orientierung optisch gut darstellen lassen.

Die Kategorien wurden in 5 Achsen eingeteilt, Verfügbarkeit und Wartbarkeit (Availability and Maintainability), Kosten (Costs), Zuverlässigkeit und Sicherheit (Reliability and Safety), Umwelt (Environment), Gesundheit und Politik (Health and Politics) und die besseren Werte (1-5) orientieren sich außerhalb der Strahlen. Vorher wurde in Zusammenarbeit der WG 1 Mitglieder festgelegt, dass die Bewertung wie im Schulnotensystem erfolgen soll und demnach eine 1 sehr gut und eine 5 als sehr schlecht zu beurteilen ist.

## UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

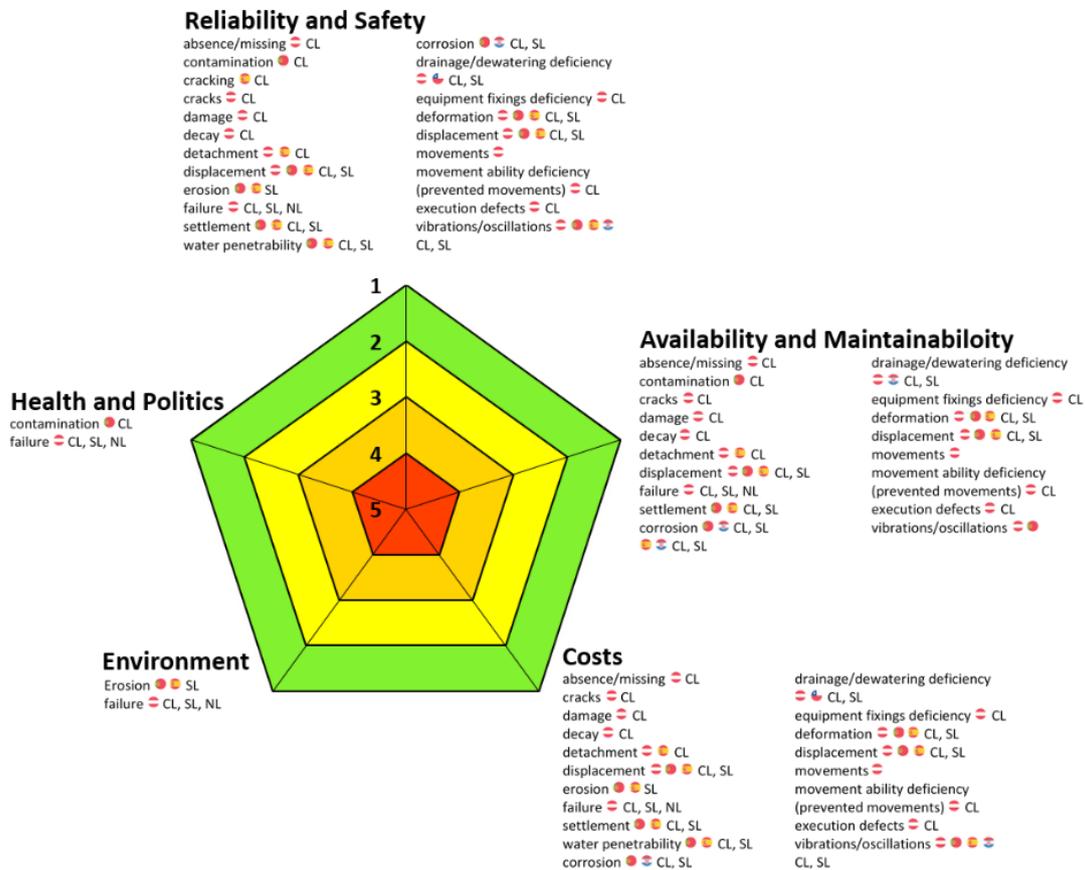


Abbildung 4.10: Aufbau eines Spinnennetzdiagramms der WG 1, Quelle: Performance Indikatoren für die Bewertung von Stahlbetonstrukturen auf Europäischer Ebene nach COST Action TU 1406, S. 16

Die WG 3 hat dieses „Spinnennetzdiagramm“ für die zeitliche Entwicklung modifiziert. Das bedeutet, es kann eine Zeitachse orthogonal auf die Ebene des Darstellungsdiagramms (oben gezeigten) angehängt werden und somit lässt sich die Veränderung entlang der Zeitachse darstellen. Diese Weiterentwicklung wird laut WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan als „Performance Rohr“ bezeichnet. Was die Darstellung der Achsen betrifft, gliedert die WG 3 die Kategorien des Diagrammes etwas anders: laut WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan sind Safety, Cost, Environment, Reliability und Availability die Achsen für das Diagramm. Die Erweiterung des in der WG 1 präsentierten Diagramms zeigt eine lineare Veränderung der KPI Werte. Der dreidimensionale Röhrenquerschnitt ändert sich mit der Leistung, volle Querschnitte (Fünfeckquerschnitt) sind Abschnitte mit hoher Leistung und zusammenhängend vom vollen Querschnitt wird eine geringere Leistung dargestellt. Weiteres sind die Achsen: Verfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit und

## UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

Umwelt deterministisch, das bedeutet es kommt bei diesen Kategorien zu keiner Steigerung, wobei die beiden Achsen Zuverlässigkeit und Sicherheit die Häufigkeit des Auftretens eines Ausfallsmodus darstellen.

Zusammenfassend kann man mit diesem Diagramm Instandhaltungsentscheidungen analysieren und somit verbundene Ausfälle und starke Verschlechterungen aufzeigen.

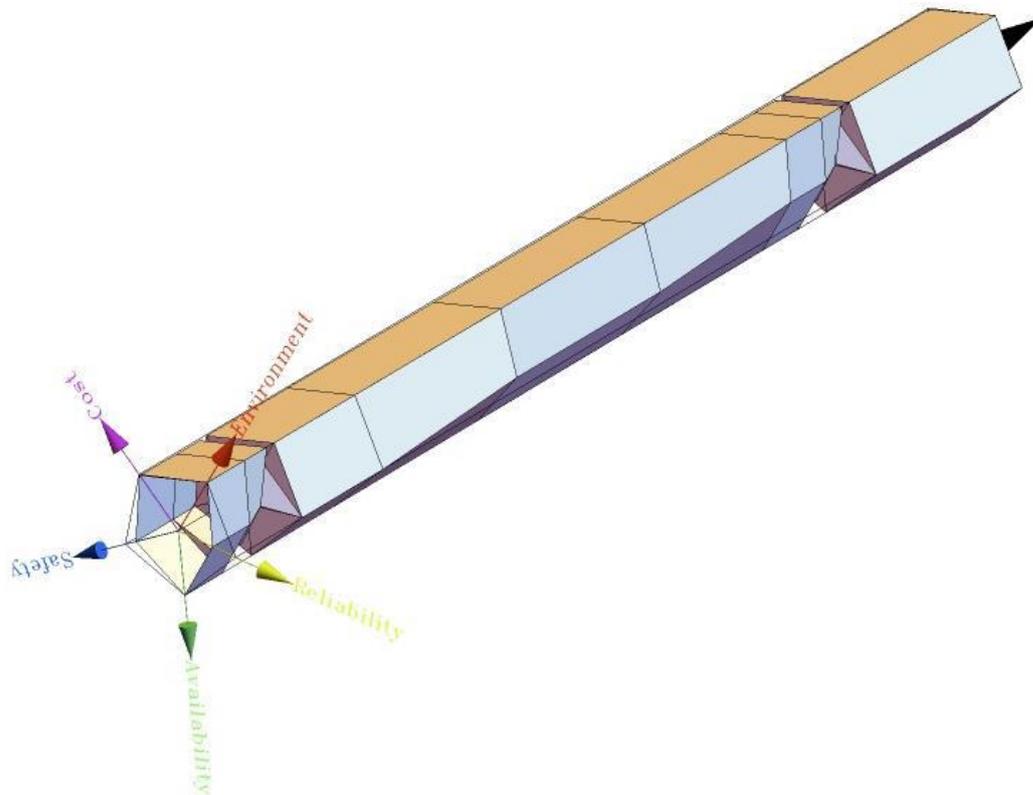


Abbildung 4.11: „Performance Rohr“ eine Erweiterung des Spinnennetzdiagramms aus WG 1 um eine orthogonal verlaufende Zeitachse Quelle WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan: S. 45

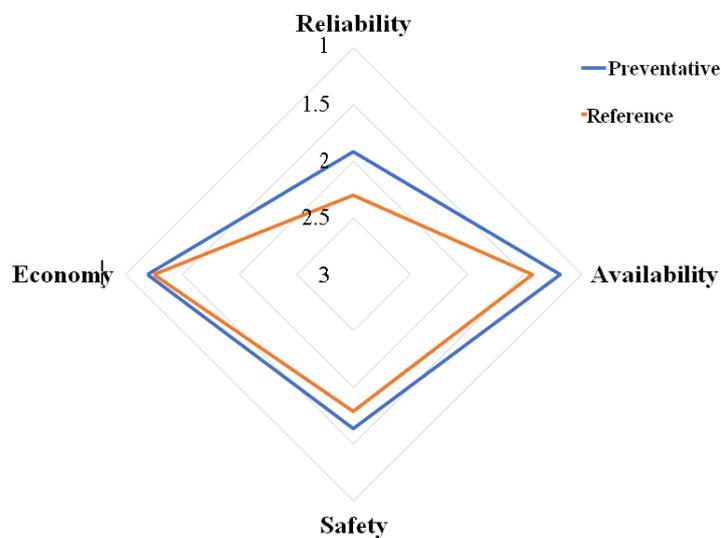


Abbildung 4.12: WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan S. 66 –Änderung des Querschnitts-Vergleich zweier Instandhaltung Szenarien)

#### 4.10.1 Theoretische Grundlagen der WG 3

Im Laufe der Geschichte machte man die Erfahrung, dass einige Brückentypen konzeptionelle Schwächen aufweisen. Diese kritischen Stellen werden von der WG 3 als „CW“ (Kritische Knoten) bezeichnet und sollten differenziert betrachtet werden.

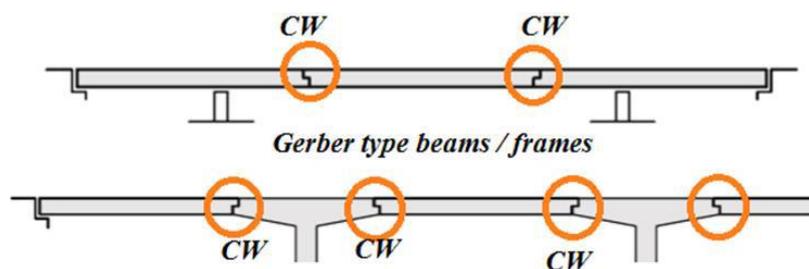


Abbildung 4.13: Gefährdete Bereiche einer Gerberträgerbrücke Quelle: WG 3 technical report S29)

Die erdberührten Elemente einer Brücke auch als Unterkonstruktion zu bezeichnen, sind während der Bauphase besonders sorgfältig auszuführen, weil die Instandsetzung-beziehungsweise Sanierungsmaßnahmen sehr kostenaufwendig sind und im Vordergrund stehend die gesamte Brückenkonstruktion tragen. Die WG 3 bezeichnet diese Stellen als „BE“ dazu gehören Fundamente, Widerlagerrückwände, Erdanker usw. Die beschriebenen Zonen sind in die untenstehende Grafik zu betrachten. Zusätzlich zeigt die WG 3

## UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

in Nachbildungen von Unterkonstruktionen mit einer dazu selbst erstellten Legende die erwarteten Ausfallmodi. Es wird dabei unterschieden in Scherversagen, Knicken, Biegeversagen und Auflagerversagen.

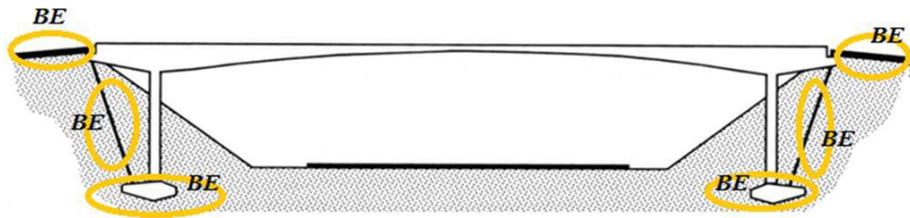


Abbildung 4.14: Gefährdete Bereiche im Bereich des Unterbaues Quelle: WG 3, Technical Report, S. 29

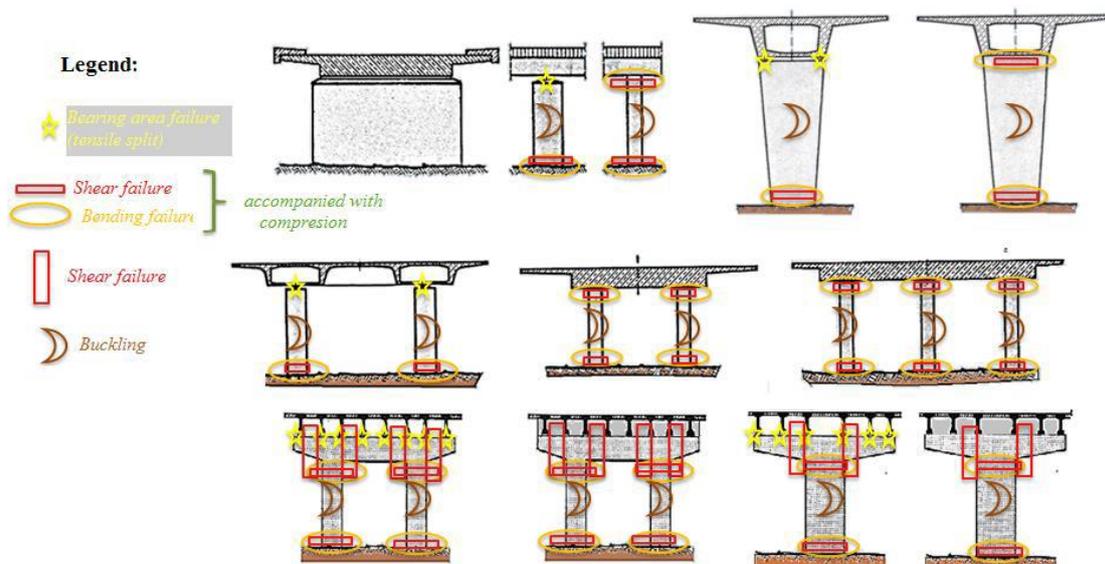


Abbildung 4.15: Lokalisierte gefährdete Bereiche/Zonen betreffend des Unterbaues einer Brücke nach WG 3, Quelle WG 3 Technical Report S. 31

Am Rande erwähnt die WG 3 in Ihrem Technical Report eine weitere Kategorisierungsgruppe bezugnehmend auf die Gefährdung durch Schadensprozesse.

Diese Gruppe umfasst Schäden, die durch plötzliche Ereignisse ausgelöst wurden.

## *UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN*

---

Beispiele dafür wären einem Aufprall von Fahrzeugen und Schiffen, Bodenerosionen bei Unterkonstruktionen, die durch ein Hochwasserereignis herbeigeführt worden sind.

Eine weitere Kategorisierung der WG 3 beschreibt die gefährdeten Zonen, im Zusammenhang mit dem Oberbau. Die tragenden Elemente des Oberbaus erfahren Kräfte, sogenannte Schnittkräfte die aus dem Eigengewicht, dem fließenden Verkehr und Umwelteinflüssen resultieren. Infolgedessen gibt es einige Regionen/ Zonen die anfällig sind und die man besonders beobachten sollte. Die WG 3 hat eine Segmentierung bezüglich der Anfälligkeit dieser Zonen auf Basis der (NYSDOT,1997) und (LTBP) durchgeführt. Diese Bereiche zeigen Hochmomentbereiche auf.

Tabelle 4.2: Kurzbezeichnungen der gefährdeten Zonen, Quelle: WG 3, technical report S. 29-30

---

HMS	Feldmoment
HMH	Stützmoment
HS	Bereiche mit hoher Scherkraft
CJ	Arbeitsfuge
SK	Querkraftverzahnung
HG	Gelenk
AN	Verankerungszonen

---

Die folgende Abbildung verdeutlicht dies noch in optischer Darstellung.

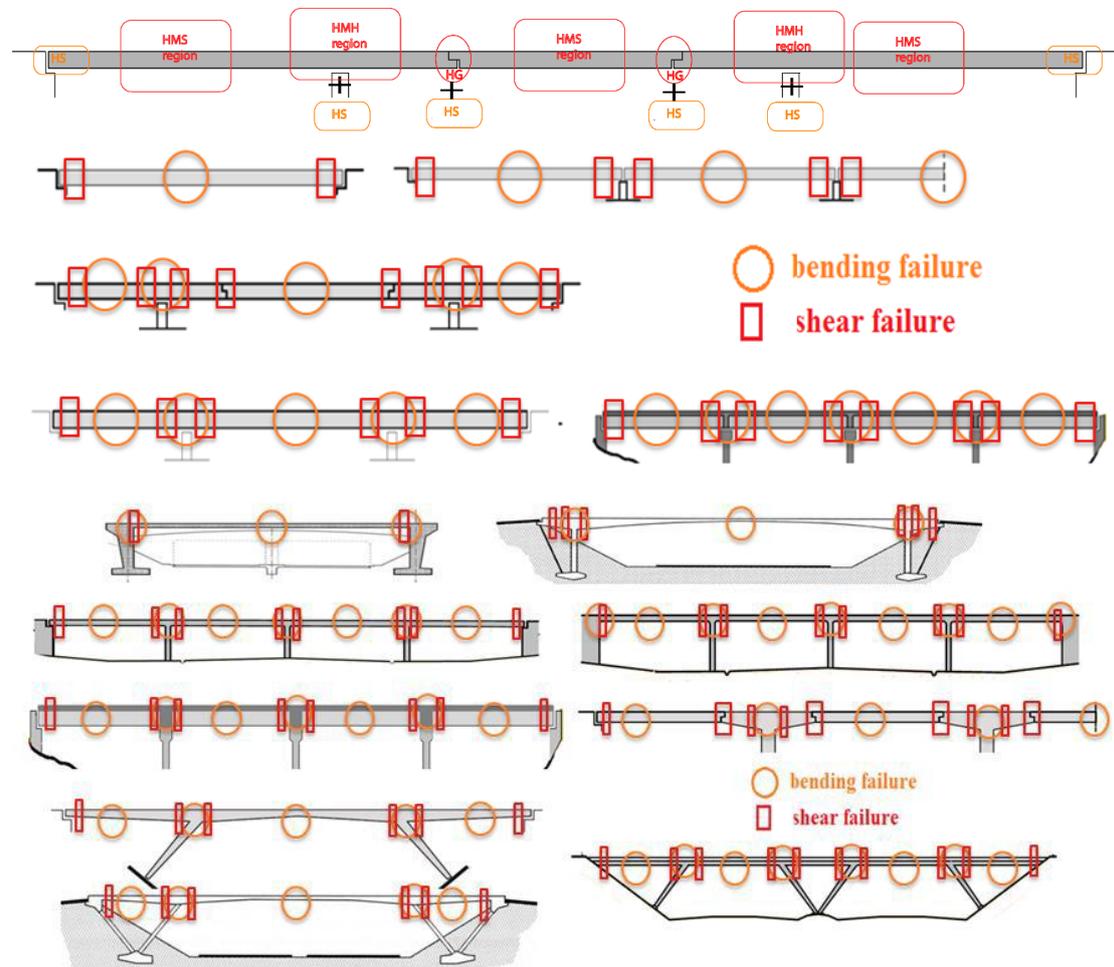


Abbildung 4.16: Beispiel aus dem WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan einiger Brückentypen zur Veranschaulichung der Segmentierung für die gefährdeten Zonen; Quelle WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan S. 30

Schäden in diesen Regionen sollten unbedingt bewertet werden, unter anderem kann es eine strukturelle Bewertung erfordern.

### **4.10.2 Methodik der WG 3**

Im folgenden Abschnitt werden die Forschungsergebnisse der WG 3 anhand eines praktischen Beispiels aus dem WG 3 Technical Report dargestellt. Dabei wird die Methodik mit den damit verbundenen Vorarbeiten zur Erstellung eines Protokolls vorgestellt und erläutert. Um eine Gleichwertigkeit mit der momentanen Verfahrensweise zur Prüfung von Brücken zu erlangen wurden die Key Performance Indikatoren (KPI) als eine Momentaufnahme mit der Zeit analysiert. Es wird im WG 3 Technical Report darauf hingewiesen, dass eine Vorbereitung der Inspektion, als Felduntersuchung im Vorfeld gründlich geplant werden sollte.

Im ersten Schritt, wie oben im Abschnitt „gefährdete Zonen“ bereits erklärt, werden jene Zonen, die bereits lokalisiert sind, anhand von Übersichtslageplänen, Lageplänen, Querprofilen, Längsprofilen und Detailplänen des Untersuchungsobjekts sorgfältig untersucht. In diesem ersten Arbeitsabschnitt werden die Hochmomentbereiche definiert und färbig gekennzeichnet: Bereiche wo ein Biegeversagen vermutet werden könnten sind in orange dargestellt und Bereiche, die kritische Zonen zeigen werden in rot markiert. Dort wo ein Schwerversagen vermutet werden kann sind die entsprechenden Zonen in Signalfarben gekennzeichnet. Im Bericht wird besonders darauf hingedeutet, dass alle Dokumente, die in der Vergangenheit zu Inspektionsaufzeichnung und für Reparaturmaßnahmen verwendet wurden, nach den heutigen Standards gründlich überarbeitet gehören. Nach heutigem Wissensstand lassen sich die Wirksamkeit einer Sanierungsmaßnahme oder die Geschwindigkeit eines Schadensprozesses aus diesen Informationen ableiten.



## UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

---

- ii) Keine besonderen Materialschwächen bekannt-  
Bewehrungsstäbe haben kein Duktilitätsproblem
- d) Erweitert 1977
  - i) Die offensichtliche Schwäche ist die Längsverbindung  
zwischen dem alten und neuen Teil der Brücke
  - ii) Die Brücke wurde 1977 neu berechnet
  - iii) Verhaltenskodex hat sich seit der Erweiterung geändert (keine  
Angaben zum bisherigen Zuverlässigkeitsindex)
- e) Vergleichen Sie die aktuelle Verkehrslast mit dem Verkehrsmodell,  
dass für die vorherige Berechnung verwendet wurde.
- f) Schätzung des Zuverlässigkeitsindexes „Jungfrau“ (für dieses Beispiel  
auf 3,8 angenommen)

### **2. Andere relevante Informationen**

- a) Geschätzter aktueller Verkehr auf der Brücke (AADT/DTV ist 10 000)
- b) Ortsstraße führt unter der Brücke hindurch (Unsicherheit DTV auf  
der Ortsstraße)
- c) Keine besondere Naturgefahr
- d) Lage ist die Peripherie der Stadt
- e) Kontinentales Klima

### **3. Überprüfung der bisherigen Inspektionen /Interventionen:**

- a) 2001 Zustandsbewertung-angemessen (eine Intervention wurde  
vorgeschlagen)
- b) 2008 Zustandsbewertung-schlecht (eine Intervention wurde  
vorgeschlagen)
- c) 2014 Zustandsbewertung-ernsthaft (Schätzung der Tragfähigkeit  
wurde vorgeschlagen)
- d) Keine Daten über frühere Interventionen (Art, Kosten, etc.) verfügbar

**Statische Qualitätskontrolle- Schritt 2: Prüfung vor Ort**

- 1) Untersuchungen früherer Inspektionen und Bestandsinformationen kann darauf hindeuten, dass die Materialeigenschaften vor Ort untersucht werden sollten, Es können Proben für Laboruntersuchungen entnommen werden
- 2) Schadensfeststellung (Standort)
  - a) frühere Schäden im, Vergleich zu den vorherigen Prüfprotokollen (falls vorhanden)
  - b) Neue Schäden im Vergleich zu vergangen Prüfprotokollen (falls vorhanden)
  - c) Nachweis früherer Instandsetzungsmaßnahmen/ Reperaturen (falls vorhanden, entweder aufgezeichnet oder nicht)
- 3) Beurteilung/ Messung von Schadensausmaß und-intensität
- 4) Identifikation von Schadenprozessen
- 5) Qualitative Bewertung der Resistenzreduzierung anhand der lokalisierten Schäden. Vorläufige (grobe) Bewertung der Widerstandsverminderung auf struktureller Ebene (Zuverlässigkeit). Ist es notwendig, eingehende Untersuchungen durchzuführen?
- 6) Bewertung der Sicherheit (Leib und Leben)

**Dynamische Qualitätskontrolle (Büroarbeit):**

- 1) Modellierung der Schadensprozesses
  - 2) Abschätzung der Restlebensdauer
  - 3) Verschiedene Wartungsszenarien definieren
  - 4) Vergleich der Szenarien/ Ermittlung des optimalen Szenarios
- (Ebenen nach WG 3 zur Erstellung eines Protokolls für einen Qualitätskontrollplan; Quelle WG 3 Technical Report S 58-59).

Die WG 3 weist weiters daraufhin, dass für die Vorhersage einer Brückenleistung, festgestellte Beobachtungen und die damit verbundenen Schadenprozesse aufgezeichnet werden sollen.

Meistens sind Infrastrukturbauwerke so konzipiert, dass nicht alle gefährdeten Bereiche, siehe Abschnitt gefährdeter Bereich, für eine visuelle Inspektion zugänglich sind, auch diese Information sollte im Inspektionsbericht notiert werden, was möglicherweise detaillierte Untersuchungen erfordert.

Das Ergebnis des praktischen Beispiels, beziehungsweise die Prüfung vor Ort (visuelle Inspektion) zeigte in den Gefährdungsregionen folgendes:

- In den „roten Zonen“ der Bereich des Stützmomentes keine aktiven Risse oder oberflächlichen Abplatzungen, dafür wurde ein Diagonalriss unbekannter Ursache lokalisiert und bereits auch wiederinstandgesetzt.
- In den „orangenen Zonen“, Bereiche des Feldmoments konnten starke Abplatzungen mit einem Verlust des Bewehrungsquerschnitts festgestellt werden.
- Einige „orange Zonen“ konnten aufgrund der Zugänglichkeit nicht genauer untersucht werden.



## UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

Tabelle 4.3: Protokoll der WG 3, zur qualitativen Bewertung von KPIs Zuverlässigkeit und Sicherheit für das oben angeführte Beispiel, WG 3 Technical Report Establishment of Quality Control Plan, S. 61

Structure	Group	Element / material	Observations		Damage process	Vulnerable zone	Failure mode	Primary KPI	Element evaluation	KPI value		
			Damage	Closer specifications						Reliability	Safety	
				Quantity for repair								Position within the element
Frame bridge type FA	Structural elements	Deck old SA1/RC	Crack	Repaired	Diagonal	Not active	HS	Shear failure mode	(R)	2		
			NA	NA	NA	Susceptible corrosion	HMH	Bending failure mode	(R)	3		
			Reinforcement corrosion	10%	Bottom	Corrosion	HMS	Bending failure mode	(R)	4		
			Spalling	15m <sup>2</sup>	Bottom	Corrosion	HMS	Falling pieces	(S)	2		
			Efflorescence	5%	Bottom	-	HMH	-	symptom	-		
		Deck new SA1/RC	NA	NA	NA	Susceptible corrosion	HMH	Bending failure mode	(R)	2		
			Reinforcement corrosion	5%	Bottom	Corrosion	HMS	Bending failure mode	(R)	3		
			Spalling	8 m <sup>2</sup>	Bottom	Corrosion	HMS	Falling pieces	(S)	2		
			Efflorescence	5%	Bottom	-	HMH	-	symptom	-		
		Abu.1 ABI/RC	Spalling	0.5m <sup>2</sup>	Abutment front	Corrosion	-	-	(R)	2		
	Abu.2 ABI/RC	Spalling	0.8m <sup>2</sup>	Abutment edge	Corrosion	-	-	(R)	2			
	Equipment	Curb	Missing peace	1%	-	Abrasion	-	-	(S)	2		
		Railing	Deformation	5%	-	-	-	Falling from the bridge/	(S)	2	3	2
		Railing	Flaking	10%	-	Corrosion	-	-	(S)	2		
		Asphalt Overlay	no damage	-	-	-	-	-	(S)	1		
		Cornices	Spalling	4.5m <sup>2</sup>	80%	Corrosion	-	Falling pieces	(S)	2		

In dieser oben abgebildeten Tabelle ist die Bewertung der Komponenten dargestellt. Der wesentliche Unterschied zu den bisher in der Praxis verwendeten besteht darin, dass die vormaligen Bewertungen hauptsächlich kostenorientiert waren und das Systemverhalten, das ausschlaggebend und besonders wichtig ist, außer Acht ließen. Die Komponentenbedingungen können sich auf die Wiederbeschaffungskosten beziehen.

## UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

---

Wenn verschiedene Arten der Verschlechterung auf einem Element lokalisiert wurden, wird das Maximum (schlechterer Bedienungseinstufung) verwendet.

In diesem ausgewerteten Beispiel aus dem WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan würde das bedeuten, dass sich das Deck in einem Zustand von „vier“ befinden sollte, wogegen der Zustand der Widerlager eine Bewertung mit „Zwei“ darstellt.

Daraus lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass der Gesamtzustand der Brücke nach dem am schlechtesten bewerteten Zustand eines tragenden Elementes übernommen werden kann. Die WG 3 und der Verfasser dieser Arbeit sind sich einig, dass dieser Ansatz konservativ ist.

Nach dem Endergebnis der oben erwähnten Methode ist der Performance Wert auf Systemebene nicht der höchste Wert auf Strukturebene. Die Gründe dafür sollten laut WG 3 im Rahmen weiterer Beobachtungen intensiver ausgearbeitet werden.

Das in der WG 3 gebrachte Beispiel, Rahmenbrücke mit statisch unbestimmtem System zeigt, dass eine hohe Unsicherheit in der Region des Momentes existiert.

Daraus folgt, dass keine Durchbiegung bei laufendem Verkehr zu beobachten war. Deshalb gab die WG 3 in Ihrem Report an, dass die gefährdete Zone über einen ausreichenden Widerstand verfügt, setzte ihn aber gestützt aufgrund der Erfahrung und der elementaren Statik um 10% herab. Aus der unten dargestellten Zuverlässigkeitskurve lässt sich auf der Ordinate ableiten, wie sich die Reduktion des Widerstands auf die Zuverlässigkeitszahl auswirkt. Die ausgewählte Beispielbrücke hätte im ursprünglichen Zustand (Virgin reliability index) einen Zuverlässigkeitsindex von 3,8 mit einer Zuverlässigkeitsstufe von 2 und nach der Bewertung und einer zusammenhängenden Verminderung des Widerstandes einen Zuverlässigkeitsindex von annähernd 3,0 mit einer Zuverlässigkeitsstufe von 3.

Die blaue Funktion in der Graphik stellt die Zuverlässigkeitsindizes dar und die rote Linie die Ausfallwahrscheinlichkeit. Die von der WG 3 erstellte Illustration

## UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

kann auch eine qualitative Zuverlässigkeitszahl (1-5) auf Basis der quantitativen Ergebnisse (0-6) darstellen.

Im Anhang des WG 3 Technical Report erstellte die Forschungsgruppe ein paar Kennzahlenskalen zu den KPIs: Zuverlässigkeit Sicherheit und Verfügbarkeit. Außerdem wird erwähnt, dass die Skala der Zuverlässigkeit Aussagen über die Dringlichkeit einer Intervention ermöglicht.

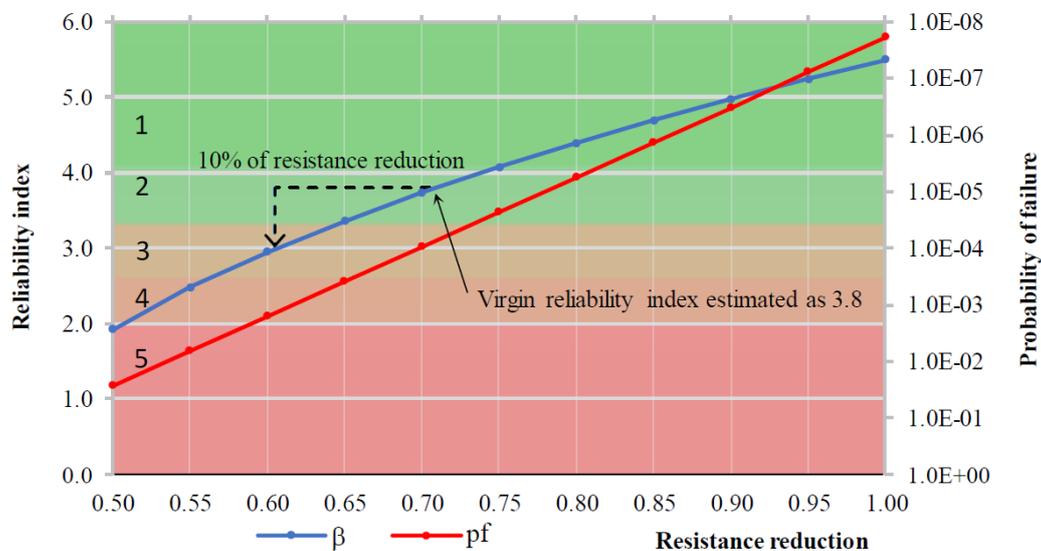


Abbildung 4.19: Die augenblickliche Zuverlässigkeit, basierend auf der Zuverlässigkeitskurve, einem Neuzuverlässigkeitsindex (Jungfrau) und einer Inspektion. Quelle: WG 3, Technical Report. S. 62

Ein Beispiel für die Kausalität zwischen der quantitativen und qualitativen Leistungsindikatorskala in Bezug auf die Zuverlässigkeit, Sicherheit und Verfügbarkeit wird in den nächstfolgenden Tabelle 4.4 der WG 3 vorgestellt.

## UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

---

Tabelle 4.4: Skala für die KPI-Zuverlässigkeit der WG 3, Technical Report Establishment of a Quality Control Plan, Anhang S.117

Zuverlässigkeits Skala	Quantitative Skala ( $\square$ )	Dringlichkeit der Maßnahme
1	> 4.00	Regelmäßige Prüfung
2	3.25-4.00	Eine Neubewertung sollte durchgeführt werden, um den Zeitraum zwischen den Inspektionen zu aktualisieren.
3	2.50-3.25	Eine Neubewertung sollte durchgeführt werden, um einen optimalen Zeitpunkt für eine Maßnahme zu planen.
4	2.00-2.50	Die Neubewertung und mögliche Maßnahmen sind kurz nach einer Inspektion durchzuführen.
5	< 2.00	Sofortige Maßnahmen/Eingriffe sind erforderlich.

Diese Skala ist nur dann gültig, wenn es um den kritischsten Versagensmodus geht und betrifft nur die strukturelle Sicherheit. Die Tabelle 14 ist eine Empfehlung der WG 3, mit vorgeschlagenen Maßnahmen um die Einsatzfähigkeit der während ihrer Lebensdauer zu gewährleisten.

Die untenstehende

## *UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN*

---

Tabelle 4.5 ist ebenfalls als eine Empfehlung der WG 3 zu betrachten. Diese bezieht sich auf die Reduktion beziehungsweise Beseitigung von Personenschäden während der Lebensdauer einer Brücke. Auf einer fünfstufigen Skala wird die Wahrscheinlichkeit der Verletzung einer Person in Verbindung mit der aktuellen Brückenleistung gezeigt.

## UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

Tabelle 4.5: Skala für die KPI-Sicherheit der WG 3, Technical Report Establishment of a Quality Control Plan, im Anhang S.117

Sicherheits-Skala	Quantitative Skala	Qualitative Skala
1	Wiederkehrperiode der Verletzung > 100 Jahre	Keine Gefahr. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass eine Person aufgrund der aktuellen Brückenleistung verletzt werden könnte.
2	Wiederkehrperiode der Verletzung ~ 75 Jahre	Es ist sehr unwahrscheinlich, dass eine Person aufgrund der aktuellen Brückenleistung verletzt werden könnte.
3	Wiederkehrperiode der Verletzung ~ 50 Jahre	Es ist unwahrscheinlich, dass eine Person aufgrund der aktuellen Brückenleistung verletzt werden könnte. Die Maßnahme ist vor der nächsten Inspektion durchzuführen.
4	Wiederkehrperiode der Verletzung ~ 20 Jahre	Es ist wahrscheinlich, dass eine Person aufgrund der aktuellen Brückenleistung verletzt werden könnte. Die Maßnahme ist kurz nach der Inspektion durchzuführen.
5	Wiederkehrperiode der Verletzung < 10 Jahre	Unmittelbare Gefahr. Es ist sehr wahrscheinlich, dass eine Person aufgrund der aktuellen Brückenleistung verletzt werden könnte. Sofortige Maßnahmen sind erforderlich.

Die nächste Skala, wird nach WG 3 Technical Report als "Verfügbarkeitsskala" bezeichnet. Es ist eine Angabe, in welcher Zeit die Brücke für geplante Instandhaltungsmaßnahmen und Wartungseingriffe zur Verfügung steht. Die Tabelle 4.6 unterstützt die Betroffenen, meistens den Brück Erhalter, die entsprechenden Maßnahmen vorbereitend zu setzen.

Tabelle 4.6: Skala für die KPI-Verfügbarkeit der WG 3, Technical Report Establishment of a Quality Control Plan, Anhang S.117

Verfügbarkeits-Skala	Qualitative Skala
1	Keine Einschränkungen für den Verkehr
2	Gewichts-, Geschwindigkeits- und Spurbeschränkungen für schwere Lkw
3	Schließung außer für Pkw und normale Lastkraftwagen. Mögliche Fahrbahnbeschränkungen für normale Lastkraftwagen.
4	Schließung außer für Autos. Mögliche Fahrbahnbeschränkungen für Autos.
5	Vollständige Schließung

#### **4.10.4 Graphische Zusammenstellung aller Komponenten für die Erstellung eines Protokolls für Qualitätskontrollen**

Protokoll-statisch beziehungsweise dynamisch, ist eine Grafische Übersicht, in einem in einem Flussdiagramm mit Verbindungen dargestellt. Die Gliederung der Vorgehensweise der WG 3 zur Erstellung eines Protokolls in der qualitativen Bewertung von KPIs beinhaltet alle dafür notwendigen zusammenhängenden Komponenten. Zusätzlich ist in dieser Grafik beispielhaft die Bewertung der KPIs von Sicherheit und Zuverlässigkeit abgebildet, welches im Kapitel 4 erwähnte Beispiel zeigt. Wird der Faktor Zeit hinzugesetzt, in dem die Zuverlässigkeit oder Sicherheit einen Schwellenwert erreicht oder überschreitet, kann man die verbleibende Lebensdauer der Infrastruktur darstellen, das nennt man auch dynamisches Protokoll.

Die Grundbasis für diesen vorgeschlagenen KPI hat den Ursprung aus der Herabsetzung des strukturellen Widerstandes und dieser Vorgang wird qualitativ geschätzt, indem man auf ein vereinfachtes statisches System zurückgreift. Beispielhaft kann in diesem Fall der Biegebalken erwähnt werden. Diese Restnutzungsdauer, die im nachstehenden Flussdiagramm auch als dynamisches Protokoll bezeichnet wird, beträgt beim KPI Zuverlässigkeit 15 Jahre und bei Sicherheit 40 Jahre. Diese überbleibende Lebensdauer wird auf Grundlage der voraussichtlichen Verschlechterungsrate und des voraussichtlichen Schadenverlaufes geschätzt. In diesem Beispiel, die Rahmenbrücke erbaut 1963, wird von einer linearen Abnahme der Zuverlässigkeit ausgegangen (Verlust des Bewehrungsquerschnitts). Zu finden in den Verweisen des WG 3 Technical Report auf den Seiten 64-66. In diesen Seiten werden verschiedenste Szenarien mit unterschiedlichen KPIs kombiniert und es ist sehr gut dargestellt, was diese Szenarien mit der Zeit verursachen. Dabei werden Referenzszenarien mit den „Nichtstun“ Szenarien verglichen und es werden die Wartungs-Szenarien mit variierenden zeitlichen Abständen dargestellt. Mit dieser Konsequenz kann für jede Zuverlässigkeitsstufe und unter Berücksichtigung der mit dem Schaden verbundenen Zeitpräferenz jedes Land Instandhaltung-Szenarien erstellen und vorausschauend planen.

UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN

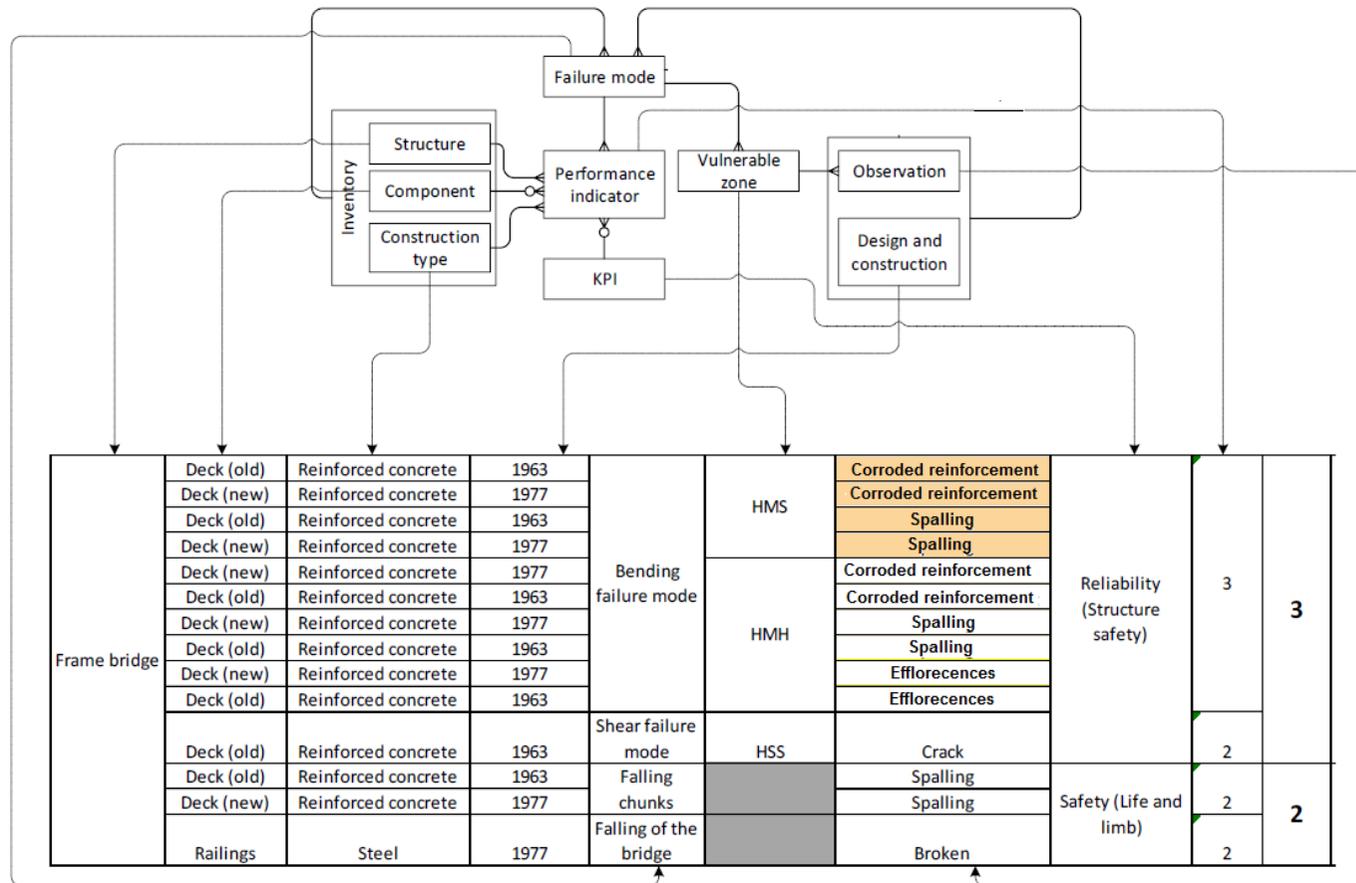


Abbildung 4.20: WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan S-69; Ablaufdiagramm zur Erstellung eines statischen Protokolls. Entnommen am 10.09.2018

*UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN*

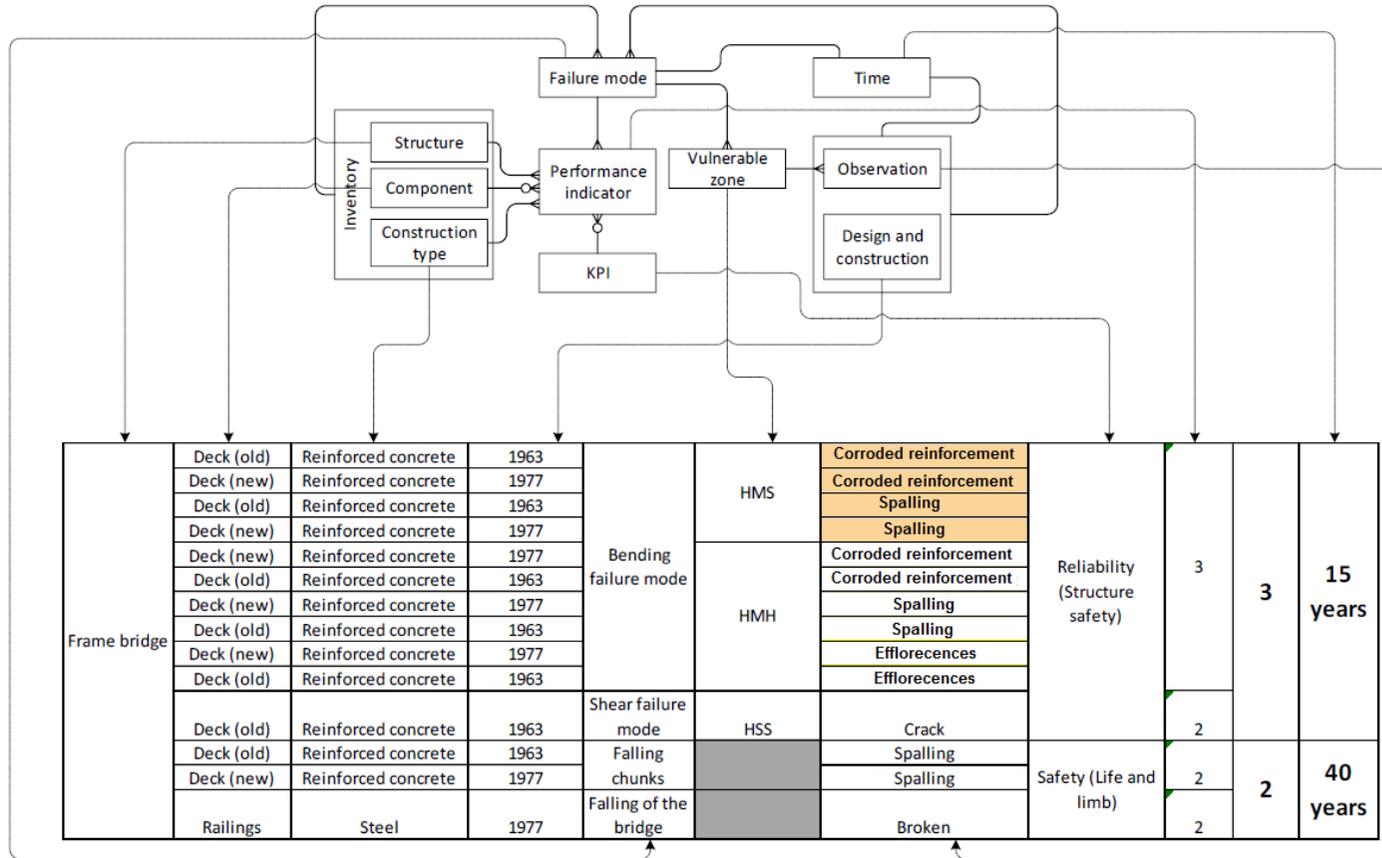


Abbildung 4.21: WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan S-69; Ablaufdiagramm zur Erstellung eines dynamischen Protokolls. Entnommen am 10.09.2018

Die WG 3 erstellte außerdem eine Tabelle mit Beispielen für Wartungs-Szenarien für jede Zuverlässigkeitsstufe. Diese könnte in Zukunft Infrastrukturbetreiber dabei unterstützen die richtigen Instandhaltungsmaßnahmen zu setzen und somit helfen die Lebenszeit der Brücke zu erhöhen und letztendlich die damit verbundenen Kosten zu minimieren.

#### **4.11 Studien und Ergebnisse die den Ergebnissen dieser Arbeit widersprechen**

Da das Projekt der WG 2-WG 6 auf den Grundlagen der WG 1 immer noch läuft und noch nicht abgeschlossen ist, kann an dieser Stelle keine endgültige Aussage über widersprüchliche Ergebnisse gemacht werden. Es könnte jedoch Inhalt einer weiterführenden Forschungsarbeit sein und um die unterschiedlichen Ergebnisse gegenüberzustellen.

#### **4.12 Resümee und Ausblick**

Ziel des Autors war es durch die Mitarbeit am Projekt COST Action TU 1406, auf Basis von Leistungsindikatoren die neuesten Forschungsergebnisse dieses Projektes zu bestätigen beziehungsweise zu widerlegen.

Ausgehend von Ergebnissen bereits quantifizierter Performance Indikatoren in Verbindung stehend mit Infrastrukturbauwerken, wurde von dem Verfasser dieser Arbeit eine Umfrage erstellt welche darin aufgeworfene Frage beantworten soll, ob sich eine Übereinstimmung der Leistungsindikatoren und deren Bedeutung bei einer neuerlichen Umfrage bestätigen lässt. Die Antwort lautet demnach:

Sind sich die Projektbeteiligten mit der Klassifikation der Leistungsindikatoren einig, kann eine Reduktion dieser Begrifflichkeiten durchgeführt werden und

somit sind die genannten Performance Indikatoren im praktischen Ablauf von Brückeninspektionen einsetzbar und durchführbar.

Die zugrundeliegende neuerliche Untersuchung im Rahmen dieser Arbeit zeigte, dass sich die teilnehmenden Mitglieder der verschiedensten europäischen Länder aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht mit der Auswahl der quantifizierten Leistungsindikatoren für Straßenbrücken und deren Interpretation einig waren. Das Ergebnis umfasste zwanzig ernannte Performance Indikatoren. Die Hauptaufgabe der Working Group 3 - bestand in der Übernahme dieser Indikatoren und der Erstellung eines Protokolls für Qualitätskontrollpläne. Dies wurde durch ein anschauliches Beispiel des Verfassers dieser vorliegenden Arbeit zusammenfassend dargestellt und ist im technischen Report „WG 3 Technical Report Establishment of Quality Control Plan“ ausführlich erläutert und nachzulesen.

Im Vorfeld dieser Arbeit waren 2 Umfragen geplant. Ein unerwartetes Problem ergab sich Aufgrund der sehr geringen Rücklaufquote der zweiten erstellten Umfrage und so konnte der geplante Vergleich der Umfrageergebnisse bezüglich der Bewertung von Key Performance Indikatoren auf Bauteilebene leider nicht geklärt werden. Stattdessen wurden in Absprache mit dem Betreuer dieser Arbeit, die Ergebnisse der „Working Group 1“ und der „Working Group 3“ in Form einer inhaltlichen Diskussion schriftlich behandelt und flossen in die Ergebnisse der Studie ein.

An dieser Stelle möchte der Autor noch erwähnen, dass die „Working Group 4“, basierend auf diesen oben erläuterten Erkenntnissen neun Fallstudien an bestehenden Brücken zum Thema Key Performance Indikatoren betreffend Sicherheit und Zuverlässigkeit erarbeiten konnte.

Hierbei wurden verschiedenste Szenarien durchgedacht und in weiterer Folge die voraussichtliche Restlebensdauern von Straßenbrücke berechnet. Die dazugehörigen Fallstudien werden dieser Arbeit als Anhang beigelegt.

Die Schadensursachen, die schlussendlich zu einem Einsturz einer Brücke, einem sogenannten Kollaps führen können sind sehr schwer im Voraus

berechenbar, da Straßenbrücken verschiedensten internen und externen Faktoren ausgesetzt sind.

Das Projekt COST Action TU 1406 legt anhand von lokalisierten Schäden und möglichen in Verbindung stehenden Ausfallszenarien eine Restlebensdauer des Infrastrukturbauwerkes dar. Wie in der vorliegenden Arbeit ausgeführt, gibt es bei jedem Bauwerk kritische Zonen, die für eine sorgfältige Brückeninspektion aufgrund der Gegebenheiten unzugänglich sind, beziehungsweise aus wirtschaftlichen Gründen nicht aufgedeckt werden. Das Projekt stellt ein gutes Instrument für Infrastruktur Erhalter dar, um vorausschauende Maßnahmen zur Wartung der Straßenbrücken gekoppelt mit deren Restlebensdauer zu setzen.

Dieses Instrument kann als Anhaltspunkt für wirtschaftliche und politische Entscheidungen herangezogen werden, ersetzt jedoch keine visuellen Inspektionen, direkte und indirekte Messungen, sowie Life Cycle Monitoring und Computermodellierungen.

Essentiell wird das weitere Networking, sowie die künftige Zusammenarbeit und der Datenaustausch zu dieser Thematik, auch nach Beendigung dieses Projekts sein. Da der weitere Austausch und Informationsfluss unter den Beteiligten alle Mitglieder fortlaufend auf dem neuesten Stand hält wird es dadurch möglich aus Referenzen, bestimmten Szenarien und Schadensfällen zu lernen.

Ein wünschenswerter Vorschlag an die Wissenschaft wäre, die Erforschungen und Referenzen in bestehende Norme und Regelwerke von Brückeninspektionen einzubauen und dieses Instrument für die Länder verpflichtend zu machen. Sinnvoll wäre die Einführung einer internationalen Plattform zum Thema Straßenbrücken, um so den stetigen Austausch zu gewährleisten, der das Leistungsniveau der Brückeninspektionen heben und dadurch vermeidbares menschliches Leid reduzieren helfen würde. Zudem ist Forschung ein nie abgeschlossener Prozess und in diesem Sinne äußert der Autor auch seinen Wunsch an die Forschung der Zukunft: Datenbanken sind nur dann sinnvoll wenn diese Daten auch im praktischen Einsatz als Grundlage für zukünftige

## *UMFRAGEN ZU PERFORMANCE INDIKATOREN*

---

Inspektionsvorgehensregeln im Kombination mit den Performance Indikatoren und den Performance Goals dienen können. Damit könnten diese Daten für erneuerte und verbesserte Richtlinien in der laufenden Inspektion von Brückenbauten dienen. Kommunikation, Vernetzung, gemeinsam erarbeitete Richtlinien und Entwicklung von standardisierten Qualitätskontrollplänen für Europa wären die übergeordneten Wunschziele. Die bereits erhobenen Daten und die Ergebnisse der Working Groups als Basis könnten das Wissen über die Zustandserhebungen und die Zustandsevaluierungen auf einen einheitlichen europäischen Level anheben helfen. Insgesamt würden diese hier angeführten Zielvorstellungen Bewertungssysteme europaweit evaluieren und damit die Strategien zur Einhaltung von Qualitätsstandards, Ansprüche an die Lebensdauer und die Einhaltung der Sicherheitsstandards auf eine höhere Qualitätsebenen heben. Die hier vorliegende Arbeit soll ein Beitrag zur Anhebung der europaweiten Qualitätssteigerung sein und helfen eine einheitliche gemeinsame Sprache für das Qualitätsmanagement in Bezug auf Straßenbrücken zu entwickeln.

# Literaturverzeichnis

- Atteslander, Peter 2010. Methoden der empirischen Sozialforschung. 13 Auflage. ESV, Berlin.
- Bergmeister, Konrad/Fingerlos, Frank/Wörner, Johann-Dietrich, 2016. Beton-Kalender 2016. Beton im Hochbau, Silos und Behälter. Ernst & Sohn, Berlin.
- Carvalho, J.A.S de/Maots, C./Casas, C. 2016. European standardization of quality specifications for road bridges.  
<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/42293/1/COST%20Action%20TU1406.pdf>. 02.03.2018 abgerufen 11.09.2018
- Cost Action TU 1406, 2018. Core Group 2018.  
<http://www.tu1406.eu/members/core-group> abgerufen 23.08.2018
- Cost Action TU 1406 o.J.a. <https://www.tu1406.eu/> abgerufen 15.06.2018
- Cost Action TU 1406 o.J.b. [http://www.cost.eu/COST\\_Actions/tud/TU1406](http://www.cost.eu/COST_Actions/tud/TU1406)  
abgerufen 09.09.2018
- Fédération internationale du béton / International Federation for structural Concrete (fib) 2013. fib Model Code for Concrete Structures 2010. Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Germany.
- Mehlhorn, Gerhard/Curbach, Manfred 2014. Handbuch Brücken. Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten. 3. Auflage. Wiesbaden, Springer.
- ONR 24008. Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken. [https://shop.austrian-standards.at/action/de/public/details/229313/ONR\\_24008\\_2006\\_12\\_01](https://shop.austrian-standards.at/action/de/public/details/229313/ONR_24008_2006_12_01)
- ÖBV 2014/2017. Österreichische Bautechnik Vereinigung. ÖBV-Richtlinien "Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton" und "Nachträgliche Verstärkung von Betonbauwerken mit geklebter Bewehrung". <http://bautechnik.pro/DE/News/Artikel/115> abgerufen 02.03.2018
- ÖNORM B 1300 [https://shop.austrian-standards.at/action/de/public/details/624698/OENORM\\_B\\_1300\\_2018\\_02\\_01](https://shop.austrian-standards.at/action/de/public/details/624698/OENORM_B_1300_2018_02_01)  
abgerufen 11.10.2018

- ÖNORM B 1301 <https://www.austrian-standards.at/produkte-leistungen/kostenlose-services/supplements-zu-normen/oenorm-b-1301/> abgerufen 11.10.2018
- ÖNORM B 4706. [https://shop.austrian-standards.at/action/de/public/details/514194/OENORM\\_B\\_4706\\_2015\\_03\\_15](https://shop.austrian-standards.at/action/de/public/details/514194/OENORM_B_4706_2015_03_15) abgerufen 12.10.2018
- o.V. Kontrollamt der Stadt Wien, 2018 KA V-29-2/09; MA 29, Periodische Inspektionen von Brücken, Stützmauern, Stiegenanlagen und Wegweiserbrücken; Nachprüfung [www.stadtrechnungshof.wien.at/berichte/2009/lang/03-20-KA-V-29-2-9.pdf](http://www.stadtrechnungshof.wien.at/berichte/2009/lang/03-20-KA-V-29-2-9.pdf). abgerufen 02.03.2018
- o.V. Road Safety Inspection 2012. 02.02.33 Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse. Verkehrsplanung, Verkehrssicherheit, allgemeines Sachverständigenwesen, Road Safety Audit. 2012
- o.V. Road Safety Inspection 2012. 02.02.34 Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse. Road Safety Inspection, Durchführung von Inspektionen von Straßen mit öffentlichem Verkehr. 2012
- o.V. Road Safety Inspection 2012. 13.03.11 Österreichische Forschungsgesellschaft Straße. Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten. 2011
- o.V. Road Safety Inspection 2017. 15.02.11 Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse. Vorkehrungen zur Brückenprüfung und -Erhaltung. 2017
- o.V. Road Safety Inspection 2017. 13.03.01 Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse. Monitoring von Brücken und anderen Ingenieurbauwerken. 2012
- o.V. Road Safety Inspection 2017. 13.05.11 Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse. Lebenszykluskostenermittlung für Brücken. 2017
- o.V. 2018. Genua. Statiker erklärt, warum Brückenschäden so schwer zu erkennen sind. In: Focus online. [https://www.focus.de/wissen/technik/autobahnbruecke-eingestuerzt-experte-zu-tragoedie-in-genua-bruecke-haette-niemals-einstuerzen-duerfen\\_id\\_9416970.html](https://www.focus.de/wissen/technik/autobahnbruecke-eingestuerzt-experte-zu-tragoedie-in-genua-bruecke-haette-niemals-einstuerzen-duerfen_id_9416970.html) abgerufen 10.10.2018
- Pauser, Michael ÖBV 2014 und 2017. Österreichische Bautechnik Vereinigung. ÖBV-Richtlinien "Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton" und "Nachträgliche Verstärkung von Betonbauwerken mit

- geklebter Bewährung". <http://bautechnik.pro/DE/News/Artikel/115>.  
abgerufen 02.03.2018
- Petraschek, Thomas/Horvatits, Johann 2011. ONR 24008. Bewertung der  
Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straenbrucken. Wien, bmvit
- Porst, Rolf 2011. Fragebogen 2011. Ein Arbeitsbuch. 2. Auflage. VS Wiesbaden.
- Strauss, Alfred/Reiterer, Michael 2011: Monitoringbasierte Analyse der  
Intergralen Brücke S. 33.24, Forschungsjahr 2. bmvit, Wien S. 22-214. hier  
S. 193.
- Strauss, Alfred/Mandic, Ana/Prammer, Dominik/Matos, Jos C./Casas, Joan R.  
2016. Performance Indikatoren fur die Bewertung von Stahlbetonstrukturen.  
auf Europäischer Ebene nach COST TU1406. Wien
- Strauss, Alfred et. al., 2016. WG 1 - Technical Report - Performance Indicators  
for Roadway Bridges of COST Action ZU 1406.
- Strauss, Alfred/Mandi Ivancovi, Ana/ Mold, Lisa/Bergmeister, Konrad/Matos,  
Jos C./ Casas, Joan R. (2018): Performance-Indikatoren fur die Bewertung  
von Strukturen aus Konstruktionsbeton auf europäischer Ebene nach COST  
TU1406 In: Bautechnik 95 (2018), Heft 2. Ernst & Sohn Verlag. Berlin S.  
123-138.
- Strauss, Alfred et. al. 2018:  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bate.201700104/full> abgerufen  
02.03.2018
- Stark J./Wicht. B. 2001. Dauerhaftigkeit von Beton. Birkhäuser, Basel
- Stern, Johannes 2014. Brücken: Der Tragfähigkeit auf der Spur. in: Austrian  
Standards 2014. [https://www.austrian-  
standards.at/newsroom/meldung/bruecken-der-tragfaehigkeit-auf-der-spur/](https://www.austrian-standards.at/newsroom/meldung/bruecken-der-tragfaehigkeit-auf-der-spur/)  
abgerufen 02.03.2018
- Suda, Jurgen/Mehlhorn, Susanne 2013. Schutzbauwerke der  
Wildbachverbauung. Handbuch zur Durchfurung einer Bauwerkskontrolle.  
Bundesministerium fur Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und  
Wasserwirtschaft, Wien
- Siegert, Corinna/Holst, Alexander/Empelmann, Martin/Budelmann, Horst 2015.  
Uberwachungskonzepte fur Bestandsbauwerke aus Beton als  
Kompensationsmanahme zur Sicherstellung von Standsicherheit und  
Gebrauchstauglichkeit. BAST, Braunschweig

Weninger-Vycudil, A./Litzka, D./Veit-Egerer, R./Maurer, P/Furtner, R. 2013.  
Erhaltung kommunaler Straßen. [www.pms-consult.at/download.html](http://www.pms-consult.at/download.html)  
abgerufen 02.03.2018

Zilch, Konrad & Zehetmaier, Gerhard 2010. Bemessung im konstruktiven  
Betonbau nach DIN 1045-1 (Fassung 2008) und EN 1992-1-1 (Eurocode 2),  
Springer, Berlin, Heidelberg

# Abkürzungsverzeichnis

---

<b>Abkürzung</b>	<b>Erklärung</b>
AN	Verankerungszonen
Avaliability (A)	Verfügbarkeit (A)
CJ	construction joints (Arbeitsfuge)
Costs (C)	Kosten (C)
CW	conceptual weakness (konzeptionelle Schwäche)
Enviroment (E)	Umwelt (E)
Health (H)	Gesundheit (H)
HG	Gelenk
HMH	Stützmoment
HMS	Feldmoment
HS	Bereiche mit hoher Scherkraft
IKI	Institut für konstruktiven Ingenieurbau
JDTV	Jährlicher durchschnittlicher Tagesverkehr
KPI	Key Performance Indikatoren
LZK	Lebenszyklus Kosten
Maintainability (M)	Wartbarkeit
PG	Performance Goals
PL	Performance Level
Politics (P)	Politik (P)
QM	Qualitätsmanagement
Rating/Inspection (I)	Rating/Inspektion (I)
Reliabilty (R),	Zuverlässigkeit
RSA	Standardisiertes Verfahren von Sicherheitsaspekten auch als Road Safety Monitoring
RVS	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
Safety (S)	Sicherheit (S)
SHM	Structural Health Monitoring
SK	Querkraftverzahnung
WG	Working Group

---

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 0.1: Brücke zwischen Cádiz und Puerto Real ( <a href="https://www.strandgazette.com/2015/09/24/die-neue-bruecke-zwischen-cadiz-und-puerto-rreal-ist-eroeffnet/">https://www.strandgazette.com/2015/09/24/die-neue-bruecke-zwischen-cadiz-und-puerto-rreal-ist-eroeffnet/</a> 02.09.2018) .....	VI
Abbildung 2.1: Erhaltungsstrategien (Eigene Darstellung, angelehnt an Strauss et al., 2016, S. 3).....	5
Abbildung 3.1: Gewichtung Brückenmanagement für die Instandhaltung (eigene Darstellung, angelehnt an Strauss et.al. 2016, S. 30). .....	33
Abbildung 3.2: Kriterien im Schadensüberwachungsprozess (eigene Darstellung, angelehnt an Strauss et. al. 2016, S. 30).....	34
Abbildung 3.3: Anteil Ranking Instandhaltungsmaßnahmen Systemebene (Eigene Darstellung angelehnt Strauss et. al. 2016, S. 30).....	35
Abbildung 3.4: Gesamtheitlicher PI- und PG-basierter Bewertungsprozess unter Beachtung technischer, sozioökonomischer und nachhaltiger Aspekte (Strauss et. al. 2018, S. 128) .....	36
Abbildung 3.5: Qualitätskontroll- und Managementplan der Netzwerkebene auf Basis des Performance-Indikatoren-, Performance-Goals(PG)- und Performance-Thresholds- (PT)-Konzepts (Strauss et al. 2018, S. 129) .....	37
Abbildung 4.1: schematische Darstellung der Umfragephasen (eigene Darstellung) .....	44
Abbildung 4.2: Anzahl der homogenisierten und reduzierten Performance Indikatoren ausgewiesen anhand der Länderdarstellung (eigene Darstellung, angelehnt an: [ <a href="https://www.tu1406.eu/">https://www.tu1406.eu/</a> ].).....	46
Abbildung 4.3: Performance Indicators Classification according to WG 1 Group (eigene Darstellung).....	52
Abbildung 4.4: Ablaufdiagramm beispielhaft für Estland von der Erhebung der Daten bis zur Auswertung (eigene Darstellung).....	54
Abbildung 4.5: Graphische Auswertung und schematisch dargestellter Reduzierungsvorgang des Umfrageergebnisses für das Land Deutschland (eigene Darstellung).....	60

Abbildung 4.6: Graphische Auswertung und schematisch dargestellter Reduzierungsvorgang des Umfrageergebnisses für das Land Tschechien (eigene Darstellung).....	61
Abbildung 4.7: Graphische Auswertung und schematisch dargestellter Reduzierungsvorgang des Umfrageergebnisses für das Land Italien (eigene Darstellung) .....	62
Abbildung 4.8: Graphische Auswertung und schematisch dargestellter Reduzierungsvorgang des Umfrageergebnisses für das Land Estland (eigene Darstellung) .....	63
Abbildung 4.9: Graphische Auswertung und schematisch dargestellter Reduzierungsvorgang des Umfrageergebnisses für das Land Ungarn (eigene Darstellung) .....	64
Abbildung 4.10: Aufbau eines Spinnennetzdiagramms der WG 1, Quelle: Performance Indikatoren für die Bewertung von Stahlbetonstrukturen auf Europäischer Ebene nach COST Action TU 1406, S. 16).....	68
Abbildung 4.11: „Performance Rohr“ eine Erweiterung des Spinnennetzdiagramms aus WG 1 um eine orthogonal verlaufende Zeitachse „Quelle WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan: S. 45).....	69
Abbildung 4.12: WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan S. 66 –Änderung des Querschnitts-Vergleich zweier Instandhaltung Szenarien) .....	70
Abbildung 4.13: Gefährdete Bereiche einer Gerberträgerbrücke Quelle: WG 3 technical report S. 29).....	70
Abbildung 4.14: Gefährdete Bereiche im Bereich des Unterbaues Quelle: WG 3, Technical Report, S. 29).....	71
Abbildung 4.15: Lokalisierte gefährdete Bereiche/Zonen betreffend des Unterbaues einer Brücke nach WG 3, Quelle WG 3 Technical Report S. 31) .....	71
Abbildung 4.16: Beispiel aus dem WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan einiger Brückentypen zur Veranschaulichung der Segmentierung für die gefährdeten Zonen; Quelle WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan S. 30.....	73
Abbildung 4.17: Praktisches Beispiel der WG 3 mit hervorgehobenen gefährdeten Zonen/Regionen einer Rahmenbrücke (der Ursprung dieser Brücke wurde im WG 3 Bericht nicht erwähnt, die einzigen Informationen dabei sind, dass	

es sich um eine Rahmenbrücke handelt die 1963 gebaut wurde. Es wurde nur als fiktives Beispiel verwendet um diese gefährdeten Zonen zu zeigen)75

Abbildung 4.18: Wesentliche Beobachtungen anhand eines praktischen Beispiels der WG 3 im Zuge einer visuellen Inspektion; Quelle WG 3 Technical Report S. 60..... 79

Abbildung 4.19: Die augenblickliche Zuverlässigkeit, basierend auf der Zuverlässigkeitskurve, einem Neuzuverlässigkeitsindex (Jungfrau) und einer Inspektion Quelle: WG 3, Technical Report. S. 62..... 82

Abbildung 4.20: WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan S-69; Ablaufdiagramm zur Erstellung eines statischen Protokolls. Entnommen am 10.09.2018 ..... 87

Abbildung 4.21: WG 3 Technical Report Establishment of a Quality Control Plan S-69; Ablaufdiagramm zur Erstellung eines dynamischen Protokolls. Entnommen am 10.09.2018 ..... 88

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Bewertungsprozess von Schäden und Schadensprozessen an Systemkomponenten (Strauss et al. 2018, S. 125) .....	26
Tabelle 3.2: Kategorisierung von Performance-Indikatoren und Bewertungsprozessen von Schäden an Brückentragwerken (Strauss et. al. 2018, S.126) .....	27
Tabelle 3.3: Qualitatives PI-Bewertungssystem auf Systemebene für die Performance-Bewertung der Tragfähigkeit (T), der Gebrauchstauglichkeit (G), der Dauerhaftigkeit (D) und somit der Verkehrssicherheit (V) und Funktionalität (F) (Strauss et. al. 2018, S. 127) .....	29
Tabelle 4.1: Excel Datenblatt WG 1 zur Eintragung der der Performance Indikatoren der Gruppe „defects“ zu Key Performance Indikatoren.....	67
Tabelle 4.2: Kurzbezeichnungen der gefährdeten Zonen, Quelle: WG 3, Technical report S. 29-30.....	72
Tabelle 4.3: Protokoll der WG 3, zur qualitativen Bewertung von KPIs Zuverlässigkeit und Sicherheit für das oben angeführte Beispiel, WG 3 Technical Report Establishment of Quality Control Plan, S. 61 .....	80
Tabelle 4.4: Skala für die KPI-Zuverlässigkeit der WG 3, Technical Report Establishment of a Quality Control Plan, Anhang S. 117 .....	83
Tabelle 4.5: Skala für die KPI-Sicherheit der WG 3, Technical Report Establishment of a Quality Control Plan, im Anhang S. 117.....	85
Tabelle 4.6: Skala für die KPI-Verfügbarkeit der WG 3, Technical Report Establishment of a Quality Control Plan, Anhang S. 117 .....	85

# Anhang

## I. Präsentation



**TU1406**  
COST ACTION

### PERFORMANCE INDICATORS & PERFORMANCE GOALS

Owners' Meeting  
22 Nov. 2018 in Bergisch Gladbach,  
Germany

Alfred Strauss  
University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria

Irina Stipanovic  
University of Twente, AE Enschede, Netherlands



OWNERS' MEETING | PERFORMANCE INDICATORS &amp; GOALS

STRAUSS | STIPANOVIC

### Objectives

#### Performance Indicators, PIs

explore those performance indicators and key performance indicators of bridge structures, which describe the mechanical, technical, environmental performance and degradation processes. These properties are already partly covered by norm specifications but not their complex time variable performance and are not homogenized between the European countries

#### Performance Goals, PGs

##### Technical performance goals (structural safety)

- on the object level
- linked to standards, value defined
- can be internationally agreed

##### • Economic, environmental, societal and other performance goals

- Depend on each country / agency goals
  - Mostly defined as constraints
  - Used as comparative method (no absolute values)
  - On the object level LCC to select optimal maintenance option
  - On the network level to select optimal maintenance strategy
- (performance goals: to increase availability, to decrease the environmental impact)

### Screening of inspection, evaluation, assessment documents with respect to country specific terms

- |                               |                 |
|-------------------------------|-----------------|
| <b>Austria</b>                | Lithuania       |
| Belgium                       | Luxembourg      |
| <b>Bosnia and Herzegovina</b> | Macedonia       |
| <b>Bulgaria</b>               | Malta           |
| <b>Croatia</b>                | Montenegro      |
| Cyprus                        | Netherlands     |
| <b>Czech Republic</b>         | <b>Norway</b>   |
| <b>Denmark</b>                | Poland          |
| <b>Estonia</b>                | <b>Portugal</b> |
| Finland                       | Romania         |
| <b>France</b>                 | <b>Serbia</b>   |
| <b>Germany</b>                | Slovakia        |
| <b>Greece</b>                 | <b>Slovenia</b> |
| <b>Hungary</b>                | <b>Spain</b>    |
| <b>Iceland</b>                | Sweden          |
| <b>Ireland</b>                | Switzerland     |
| <b>Israel</b>                 | Turkey          |
| <b>Italy</b>                  | United Kingdom  |
| Latvia                        |                 |



### Screening of inspection, evaluation, assessment documents with respect to country specific terms

Nature of existing processes
Performance indicators, PIs
Key Performance indicators, KPIs
Definitions
Inspection to management



## Understanding Definitions, PI's and KPI's

### Observation

It is a datum (i.e. piece of information) ..., which may be acquired by human senses or by measuring/recording of some properties via adequate instruments. Observations can be qualitative i.e. only the absence or presence of a property is noted, or ... The observation is a perception of human senses or data measured by instrument that is regarded as relevant within the context of the inquiry.

### Indicator

It is something that shows what a situation is like. The "situation" depends on the context of an inquiry. The indicator can be qualitative (e.g. bad, good, etc.) or quantitative and is based on analysis of one or several observations.



## Understanding Definitions, PI's and KPI's

### Performance Indicators, PI's

Performance indicator measures fitness for purpose of a physical object such as bridge or its element. Since the fitness for purpose (i.e. quality) can change over time, so does the value of a performance indicator. Maintenance interventions can also change the value of performance indicator and therefore the performance indicators of physical objects also mirror the performance of agency responsible for their maintenance. It is obvious that bridge performance relates to safety and serviceability, but other performance criteria can be useful as well.



## Understanding Definitions, PI's and KPI's

### Key Performance Indicators, KPI's

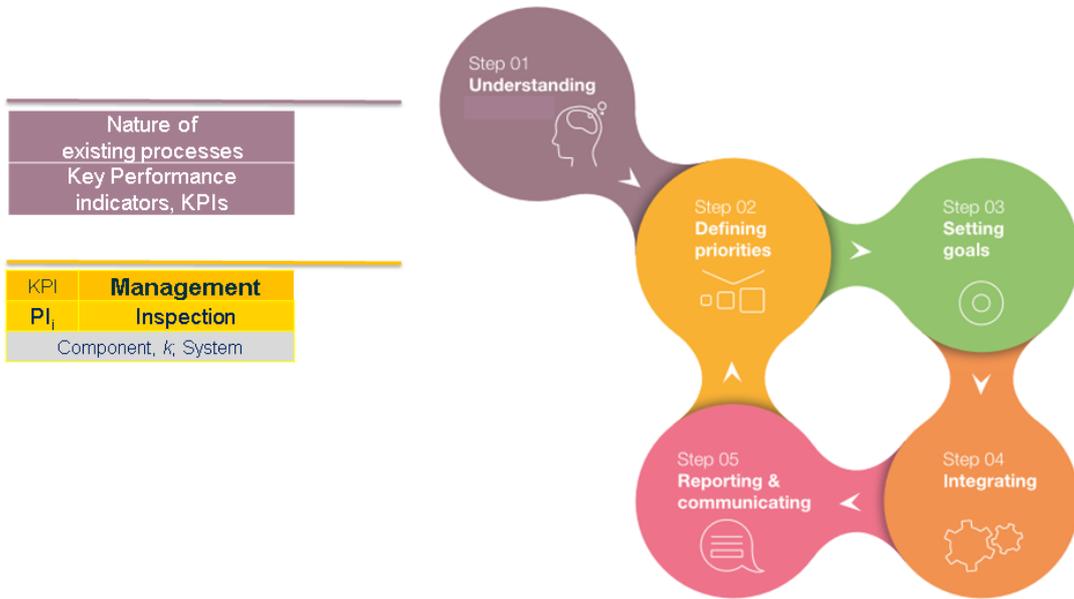
KPIs relate to a whole bridge and are as follows:

- **Reliability** is the probability of structural failure (safety), operational failure (serviceability) or any other failure mode occurring during the service life of the bridge.
- **Availability** is the proportion of time a bridge is open for service. It does not include failure-related service outages but the ones due to planned maintenance interventions. Alternatively, the Availability can be measured as additional travel time due to an imposed traffic regime on bridge.
- **Safety** is the situation of life and limb being protected from harm during the service life of a bridge. Loss of life and limb due to structural failure is not included by this definition (since it would overlap with the Reliability).
- **Economy** is related to minimizing the long-term cost of maintenance activities over the service life of a bridge.
- **Environment** is related to minimizing the harm to environment during the service life of a bridge.

## From 375 Country specific to “European” Terms Based on screened inspection, evaluation, assessment documents

<p><b>Performance Indicators, PIs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>absence/missing</li> <li>contamination</li> <li>cracking</li> <li>damage</li> <li>...</li> <li>displacement</li> <li>movements</li> <li>execution defects</li> <li>vibrations/oscillations</li> </ul>	<p><b>Performance Indicators 2<sup>nd</sup> Order</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>special inspection requisite</li> <li>step in transition slab</li> <li>resistance</li> <li>system functionality</li> <li>...</li> <li>robustness</li> <li>safety index</li> <li>vulnerability</li> <li>element functionality level</li> </ul>	<p><b>Observations</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>blistering</li> <li>bulging</li> <li>cavitation</li> <li>clogged</li> <li>...</li> <li>inadequate clearance</li> <li>traffic restrictions</li> <li>traffic volume</li> <li>traffic loading</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Material</li> <li>✓ Component</li> <li>✓ System</li> </ul> <p>Country specific analyse via TU1406 website tool</p>	<p><b>Damage Processes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>abrasion</li> <li>aggradation (alluviation)</li> <li>...</li> <li>biological growth</li> <li>freeze-thaw</li> </ul>	<p><b>Other Data</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>accessibility to damage</li> <li>carrying capacity factor</li> <li>...</li> <li>gross weight of a vehicle</li> <li>permanent loading</li> </ul>

### Screening of inspection, evaluation, assessment documents with respect to country specific terms



### From Performance indicators (PIs) to Key Performance indicators (KPIs)

KPI	Management
PI <sub>i</sub>	Inspection
Component, k, System	

KPI <sub>r</sub>	Reliability	r = 3
PI <sub>6</sub>	displacement	2
PI <sub>3</sub>	cracking	3
...	...	weights
PI <sub>13</sub>	corrosion	3
Component, k, System		$\alpha_{ik}$ $r_j$

KPI <sub>a</sub>	Availability	a = 3
PI <sub>15</sub>	deflection	3
PI <sub>2</sub>	...	3
...	...	weights
PI <sub>...</sub>	...	3
System		$\alpha_j$ $a_j$

PIs	Performance Indicators
1	absence/missing
2	contamination
3	cracking
4	damage
5	...
6	displacement
7	movements
...	...
20	Vibrations/oscillations

KPI <sub>s</sub>	Safety	s = 3
PI <sub>1</sub>	absence/missi	3
PI <sub>4</sub>	...	3
...	...	weights
PI <sub>...</sub>	...	3
Component, k, System		$\alpha_{ik}$ $s_j$

KPI <sub>e</sub>	Economy	e = 3
PI <sub>18</sub>	maintenance	3
PI <sub>15</sub>	...	3
...	...	weights
PI <sub>...</sub>	...	3
System		$\alpha_j$ $e_j$

KPI <sub>u</sub>	Environment	u = 3
PI <sub>23</sub>	CO <sub>2</sub> footprint	1
PI <sub>24</sub>	H <sub>2</sub> O footprint	3
...	...	weights
PI <sub>...</sub>	cradle to grave	3
System		$\alpha_j$ $u_j$

## Status

### WG1

#### Technical Report

Performance Indicators for Roadway Bridges of Cost Action TU 1406

<b>General</b> Performance Indicators terms after surveying	
<b>Operators</b> Operators list of documents and database per country	<b>Research</b> Research list of documents and database per country
<b>Glossary</b> Glossary and specific term sheet per country	

available on website: [www.tu1406.eu](http://www.tu1406.eu)



THANKS FOR YOUR ATTENTION!

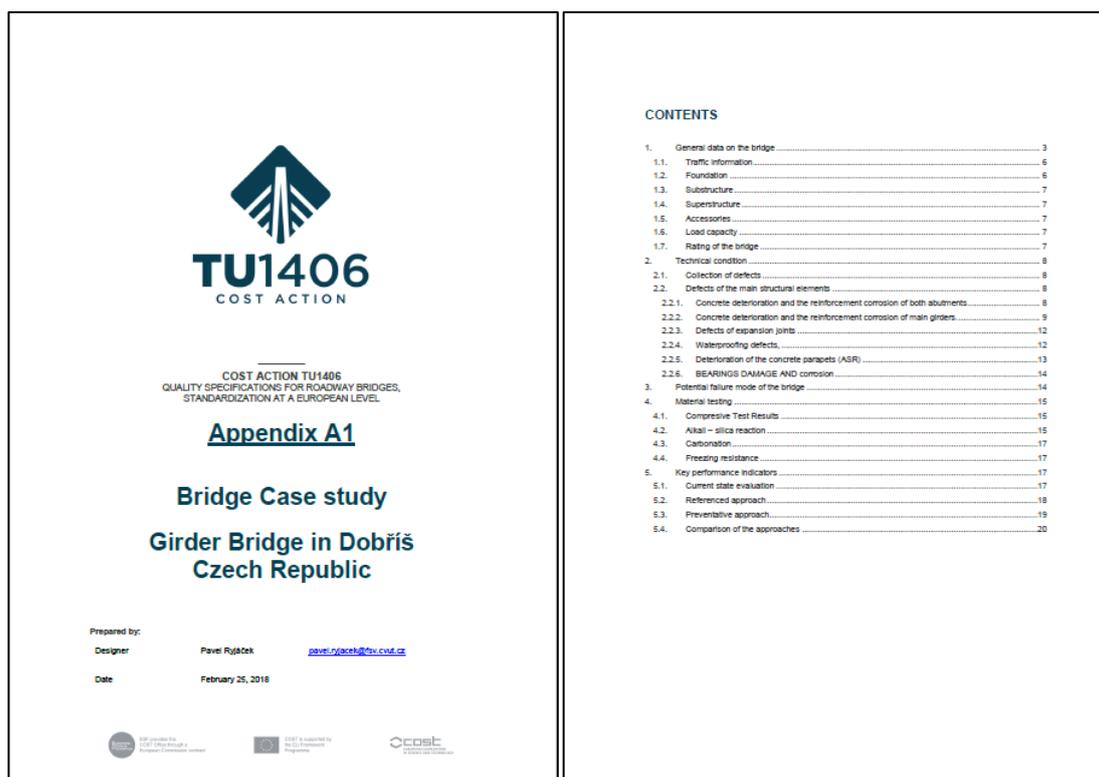
## II. Link zur weiterführenden Studie der WG 3

Aufgrund des großen Umfangs, wird hier im Anhang lediglich der Link zur weiterführenden Studie der WG 3 angeführt. Diese hat im Rahmen der COST Action TU 1406 stattgefunden.

<https://www.tu1406.eu/working-groups/wg3-establishment-of-a-qc-plan>

## III. Beispiel der WG 4

Für die in der Arbeit angeführte WG 4 Case Study wird an dieser Stelle vollständigshalber exemplarisch 1 Beispiel, stellvertretend für die insgesamt 9 Fälle angeführt.



**1. GENERAL DATA ON THE BRIDGE**

The inspected bridge is a one-span concrete structure built in 1963. The bridge carries the highway D4 across the local road III/10226 close to Dobruška town. General views of the bridge are presented below.



Fig. 1 The view under the bridge



Fig. 2 Side view of the bridge (right side)



Fig. 3 A view along the road in the Prague direction

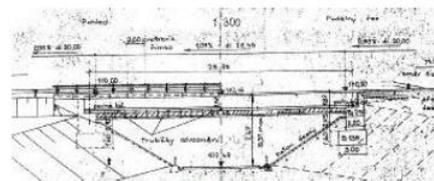


Fig. 4 Elevation of the bridge

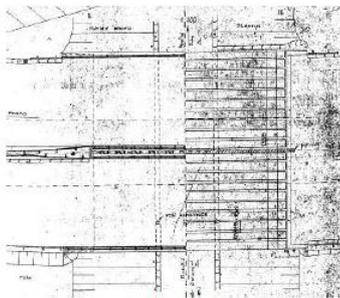


Fig. 6 The plan of the bridge

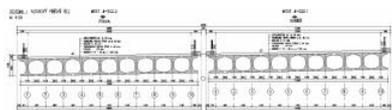


Fig. 8 General cross section of the bridge

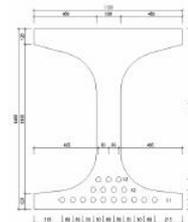


Fig. 7 Cross section of the I73 girder

**1.1. TRAFFIC INFORMATION**

The last information about the traffic are from the last counting in 2010.  
 Number of cars / 24h : 20306  
 Number of heavy cars / 24h : 3868

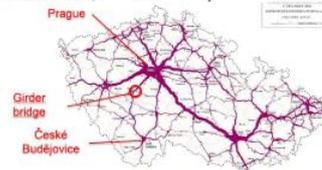


Fig. 8 Location of the bridge on the map of traffic intensity

**1.2. FOUNDATION**

Foundations are inaccessible, and there are no existing precise drawings, showing them. According to the sketches from BLSÚ we expect there are piled foundations.

**1.3. SUBSTRUCTURE**

Substructure is formed by the abutments from the concrete.

**1.4. SUPERSTRUCTURE**

The superstructure is divided to two parts, there is an independent superstructure for each traffic direction. Each superstructure is formed by 10 precast and prestressed I73 girders. Each girder is supported on steel bearings, one fixed and one movable.

**1.5. ACCESSORIES**

There is asphalt pavement on the bridge. The walkway is made from concrete and equipped with steel crash barrier integrated with steel railing. The drainage is done on the bridge sides and water is drained out of the structure.

**1.6. LOAD CAPACITY**

The load capacity of the bridge is considered as:

- Normal capacity of the unlimited number of vehicles:  $V_n = 24 \text{ t}$
- The capacity of the one single vehicle on the bridge:  $V_1 = 52 \text{ t}$
- Exceptional capacity for the heavy special transport:  $V_e = 292 \text{ t}$

Critical member is a side beam and its bending capacity.

Fig. 9 The view on the numerical model for the load capacity calculation – shell model.

**1.7. RATING OF THE BRIDGE**

According to the Czech rating system, the status is V (bad) for the superstructure and IV (satisfactory) for the substructure, on the scale between I (excellent) and VII (emergency). The availability is of the grade 2 (available with limitations) on the scale between 1 (available) and 5 (unavailable).

**2. TECHNICAL CONDITION**

**2.1. COLLECTION OF DEFECTS**

The types of defects discovered on the analyzed bridge are:

1. Concrete deterioration and the reinforcement corrosion of both abutments
2. Concrete deterioration and the reinforcement corrosion of main girders.
3. Defects of expansion joints
4. Waterproofing defects,
5. Deterioration of the concrete parapets (ASR)
6. Bearings damage

All the defects on the main members are presented on the sketches below.

**2.2. DEFECTS OF THE MAIN STRUCTURAL ELEMENTS**

**2.2.1. CONCRETE DETERIORATION AND THE REINFORCEMENT CORROSION OF BOTH ABUTMENTS**



Fig. 10 Deterioration of the abutment – concrete spalling, reinforcement corrosion



Fig. 11 Deterioration of the abutment under the bearing, bearing corrosion

**2.2.2. CONCRETE DETERIORATION AND THE REINFORCEMENT CORROSION OF MAIN GIRDERS.**



Fig. 12 The water leaking through the expansion joint, crack between precast and in-situ casted concrete of the main girder.



Fig. 13 The corrosion of the reinforcement and prestressing cables at the end of the side girder



Fig. 14 The corrosion of the reinforcement and concrete deterioration of the side main girder.



Fig. 15 The poor quality of the side main girder



Fig. 16 The view inside the main girder

2.2.3. DEFECTS OF EXPANSION JOINTS



Fig. 17 The defects in the expansion joints and pavement nearby

2.2.4. WATERPROOFING DEFECTS,



Fig. 18 The water leaking because of the expansion joint failure



Fig. 19 The water leaking because of the waterproofing and expansion joint failure

2.2.5. DETERIORATION OF THE CONCRETE PARAPETS (ASR)



Fig. 20 ASR reaction on the concrete parapets



Fig. 21 Poor concrete of the parapets, safety barrier secured by timber

2.2.6. BEARINGS DAMAGE AND CORROSION



Fig. 22 The significant corrosion of the bearings

3. POTENTIAL FAILURE MODE OF THE BRIDGE

In accordance with current condition of the bridge following failures are considered:

- Failure of the edge girder, because of the concrete degradation and reinforcement corrosion, that will influence the prestressing cables
- Failure of the edge girder, because of the leakage and then corrosion of the prestressing cables anchors, leading to the girder failure.
- Failure of the bearings, because of the heavy corrosion.
- Loss of stability of the abutment under the edge bearing, the local pressure into the deteriorated concrete will lead to the local failure of the girder.

4. MATERIAL TESTING

4.1. COMPRESIVE CONCRETE STRENGTH TEST RESULTS

The received results of the tests are given below.

Specimen	Unit weight [kg.m <sup>-3</sup> ]	Force [kN]	Compressive strength [MPa]
Main girder 1	2377	552	77,6
Main girder 2	2384	487	69,0
Main girder 3	2386	515	75,0
Main girder 4	2374	478	70,0
Abutment 1	2280	45,6	36,7
Abutment 2	2277	50,6	40,8
Abutment 3	2276	48,3	38,7
Abutment 4	2278	66,9	53,6

The concrete can be considered as a C60/75 for the girders, C30/37 for the abutments.

4.2. ALKALI – SILICA REACTION

The Rhodamin method was used to identify the existence of the silica gel. The ASR was found on the concrete of the parapets.



Fig. 23 Typical signs of the ASR



Fig. 24 Specimens with ASR signs

4.3. CARBONATION

The next test was focused on the carbonation of the concrete. The depth is 8,6 mm on the main girders (5-11mm), and 28,7 mm on the abutment (11-46mm). The parapet shows 36,7mm (37-46mm).

4.4. FREEZING RESISTANCE

All samples were exposed to the 75 freezing cycles. The results show, that the concrete of the superstructure can resist to 75 cycles. The concrete of the abutment is much worse, it was fully damaged only after 25 cycles.

5. KEY PERFORMANCE INDICATORS

Key performance indicators are provided in accordance with best practice knowledge of the research team and experiences with bridge inspection in Czech Republic. The indicators are evaluated and failure modes of the bridge are estimated. Furthermore, two life time cycle approaches are shown to evaluate the life time costs, reliability, availability and safety of considered arch bridge in following 100 years.

First Referenced approach consider a lack of any repairs of bridge except of very basic ones on the pavement and crash barrier. The bridge defects are developed till bridge failure and whole bridge is replaced with new structure.

Second Preventative approach consider set of repairs during life time cycle to prevent further defect development and overall damage to the structure.

The life time costs consider every year maintenance costs, pavement replacement costs every 20 years, bridge repair every 40 years and other costs described in following sections depending on considered approach.

5.1. CURRENT STATE EVALUATION

In accordance with current state of the described structure following KPIs are considered:

Structure	Component	Material	Design and construction	Failure mode	Vulnerable zone
Prestressed girder bridge	Edge main girder	Prestressed concrete	1983	Global failure	Bottom flange and prestressing cables
	Edge main girder	Prestressed concrete	1983	Global failure	Anchors of prestressing cables
	Bearings	Steel	1983	Bearing failure	Bearing
	Abutments	Reinforced concrete	1983	Loss of stability under the edge bearing	Bearing block
	Steel parapets	Steel	1983	Corrosion and collapse	Bottom sections of parapet
	Pavement at EJ	Asphalt	1983	Serviceability failure	Expansion joint
	Parapets	Reinforced concrete	1983	Parapet degradation	Top surface

Symptoms	KPI	Performance indicator	Estimated failure time
Reinforcement corrosion, concrete deterioration	Reliability (Structure safety)	3	20 years
Leakage, crack in the anchor zone		3	20 years
Corrosion		2	40 years
Concrete deterioration	Safety	3	20 years
Reinforcement corrosion		3	10 years
Asphalt deterioration, cracks		3	5 years
Crack & ASR		3	10 years

The estimated failure time is assumed according to research team experience with concrete structures in Czech Republic and estimated progress of the defects. It is however safe assumption under severe conditions.

5.2. REFERENCED APPROACH

Lack of any major repairs of superstructure and accessories except of basic pavement repairs leads to the defects development up to the bridge failure. In accordance with previous section, the existing structure defects, development and estimated failure times are assumed as follows:

- pavement failure in five years due to crack development at the EJ location, sweating and deformation in five years (as noted the pavement layer shall be repaired).
- Here 17500 Euro pavement repair is assumed, the repair will temporarily decrease the availability.
- Concrete parapets collapse (meaning the unstable crash barrier, no more safe) in 10 years (decrease of availability & safety).
- Here, and installation of concrete barrier of price 7500 Euro is expected, this will partly increase the availability, but not fully as the width is decreased and speed reduced, and increase safety.
- Loss of the stability of the abutment under the bearing, or failure of the prestressing cables in 20 years (bridge failure and replacement with new structure).
- The drop of the availability, bridge will be closed. But the adjacent bridge will carry one traffic lane in each driving direction, so the traffic will be only slowed and traffic jams can be expected.
- The cost of the repair is 1 900 000 Euro.
- Preventative approach on the new bridge (pavement replacement every 20 years and bridge repair every 40 years).

