



Universität für Bodenkultur Wien

**EVALUIERUNG DER CHARAKTERISTISCHEN
PERFORMANCE INDIKATOREN UND ENTWICKLUNG
EINES BEURTEILUNGSSYSTEMS ZUR
ZUSTANDSERMITTLUNG VON BRÜCKEN AUF
EUROPÄISCHER EBENE**

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades einer Diplomingenieurin
im Studiengang Kulturtechnik und Wasserwirtschaft
an der Universität für Bodenkultur Wien

eingereicht von

Lisa Mold

Wien, Oktober 2017

Betreuer: Assoc. Prof. Dr. Alfred Strauss

Department Bautechnik und Naturgefahren
Institut für konstruktiven Ingenieurbau

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Diese schriftliche Arbeit wurde noch an keiner Stelle vorgelegt.

Datum

Unterschrift

Kurzfassung

Das Qualitätskontrollmanagement von Straßenbrücken unterscheidet sich innerhalb Europas sehr stark von Staat zu Staat. Um die Vorgehensweise bei der Qualitätskontrolle von Straßenbrücken und infolgedessen die Entscheidungsfindung zur Umsetzung von Instandhaltungsmaßnahmen auf einen einheitlichen Standard zu bringen, hat sich das Projekt COST Action TU1406 zum Ziel gesetzt, eine in Europa allgemein gültige Richtlinie zur Erstellung von Qualitätskontrollplänen zu entwickeln.

Im Zuge dieses Projektes wurde die vorliegende Arbeit erstellt. Sie behandelt die Erhebung der für die Zustandsbeurteilung von Straßenbrücken relevanten Performance Indikatoren. Um Daten in Bezug auf Performance Indikatoren zu sammeln, wurden die Mitgliedsstaaten der COST Action gebeten sämtliche Informationen aus bereits in Anwendung befindlichen Dokumenten, wie Richtlinien und Normen, sowie aus Forschungsdokumenten zu extrahieren. Die Vorgehensweise hinsichtlich der Erhebung und Dokumentation der Daten sowie deren Evaluierung wird eingehend beleuchtet.

Ein wesentlicher Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Homogenisierung und Kategorisierung der Ergebnisse aus der Umfrage, um in weiterer Folge die Performance Indikatoren zu identifizieren und anhand weiterer Schritte diese auf die relevanten Begriffe zu reduzieren.

Des Weiteren wurde ein Bewertungssystem zur Zustandsbeurteilung von Straßenbrücken entwickelt. Dies basiert auf der Benotung und Gewichtung der für die Zustandsbeurteilung von Brücken relevanten Performance Indikatoren. Um den aktuellen Zustand eines Bauwerkes einschätzen und die nötigen Investitionskosten zu dessen Erhaltung abschätzen zu können, werden aus den Noten der einzelnen Performance Indikatoren die Gesamtnoten für die sogenannten Key Performance Indikatoren errechnet.

Diese Inhalte stellen die Grundlage und einen wichtigen Schritt für die weiteren Arbeitsabschnitte zur Entwicklung der standardisierten Richtlinie zur Erstellung von Qualitätskontrollplänen für Straßenbrücken auf europäischer Ebene dar.

Abstract

Quality control management of road bridges shows a lot of differences within European countries. To standardize the method of quality controls in Europe and consequently the decision making of repair maintenance measures, the purpose of the project COST Action TU1406 is the development of a guideline for the establishment of quality control plans for roadway bridges.

In the course of this project the present work was prepared. It deals with the survey of the relevant performance indicators for the condition assessment of road bridges. To identify data concerning performance indicators, the member countries of the COST Action were asked to extract all information from documents already used by operators, as well as from research documents. The procedure for the collection and documentation of the data and their evaluation is discussed in detail.

A major part of the work deals with the homogenization and categorization of the results from the survey, in order to subsequently identify performance indicators and to reduce them to the relevant terms.

Furthermore, an evaluation system was developed for the assessment of the condition of road bridges. It is based on the rating and the weighting of the relevant performance indicators. In order to assess the condition of a structure and to estimate the necessary investment costs for its preservation, the rating for the so-called key performance indicators is calculated from the grades of the individual performance indicators.

These contents represent a basis and an important step for the further work stages for the development of a standardized guideline for the establishment of quality control plans for roadway bridges in Europe.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich zunächst bei meinem Betreuer Herrn Assoc. Prof. Dr. Alfred Strauss bedanken, der mir dieses interessante Thema zur Verfügung gestellt hat und es mir ermöglichte, an einem internationalen, nachhaltigen Projekt mitzuarbeiten. Er hat mich bei der Erstellung meiner Arbeit fachlich unterstützt und stand immer für offene Fragen zur Verfügung.

Mein Dank gilt auch all jenen Projektbeteiligten, die bei der Durchführung von wesentlichen Arbeitsschritten mitgewirkt und mir bei unterschiedlichsten Aufgaben geholfen haben.

Danken möchte ich vor allem meinen Eltern, Harald und Martina, die mir stets motivierend zur Seite gestanden haben und es mir ermöglicht haben mich diesem Studium zu widmen.

Meiner Schwester Lena möchte ich für ihr unendliches Vertrauen in mich danken, das mir die nötige Stärke und Selbstsicherheit gegeben hat.

Besonders Danken möchte meinem Freund Matthias Ptacek, der mir während meines Studiums beigestanden hat und stets die Geduld aufbrachte mich bei meinen Aufgaben moralisch und beratend zu unterstützen.

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Grundlagen und Einführung.....	1
1.1	Einleitung.....	1
1.2	Erhaltung von Bauwerken.....	1
1.2.1	Erhaltungspläne.....	2
1.2.2	Zustandserhebung.....	3
1.2.3	Zustandsbewertung	3
1.3	COST Action TU1406	4
1.3.1	Anlass des Projektes	4
1.3.2	Ziele der COST Action TU1406	5
1.3.3	Vorgehensweise	5
1.4	Brückenbewertung in Österreich.....	7
1.4.1	ONR 24008.....	7
1.4.2	Richtlinie zur Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton	7
1.4.3	ÖNORM B 4706.....	7
1.4.4	RVS 13.03.01	8
1.4.5	RVS 13.03.11	8
1.4.6	RVS 13.04.01	9
1.4.7	RVS 13.04.13	9
1.4.8	RVS 13.05.11	10
1.5	Anwendungsbeispiel zur RVS 13.03.11	10
1.6	Weitere Inhalte der Arbeit	13
2	Performance Indikatoren	14
2.1	Einleitung.....	14
2.2	Kategorisierung von Performance Indikatoren	14
2.2.1	Performance Indikatoren auf Komponentenebene	15
2.2.1.1	Technische Aspekte	15
2.2.1.2	Sozioökonomische Aspekte.....	17
2.2.2	Performance Indikatoren auf Systemebene	18
2.2.2.1	Technische Aspekte	18
2.2.2.2	Nachhaltigkeitsaspekte.....	18
2.2.2.3	Sozioökonomische Aspekte.....	19
2.2.3	Performance Indikatoren auf Netzwerkebene	19
2.3	Performance Indikatoren vs. Performance Goals.....	21
2.4	Zusammenfassung	23

3	Erste Umfragen zu Performance Indikatoren.....	25
3.1	Einleitung.....	25
3.2	Erste Umfragephase.....	26
3.3	Zweite Umfragephase.....	26
3.4	Erkenntnisse aus den Umfragen.....	27
3.5	Schlussfolgerungen aus den Umfragen	28
3.6	Zusammenfassung	28
4	Datenbank und Glossary	30
4.1	Einleitung.....	30
4.2	Operators Database	30
4.3	Research Database	34
4.4	Glossary	36
4.5	Tutorial	39
4.6	Zusammenfassung	39
5	Screening.....	41
5.1	Einleitung.....	41
5.2	Screening der österreichischen Dokumente.....	41
5.2.1	Verwendete Dokumente	41
5.2.2	Vorgehensweise	41
5.3	Ergebnisse	42
5.4	Zusammenfassung	45
6	Homogenisierung und Kategorisierung der Daten	46
6.1	Einleitung.....	46
6.2	Homogenisierung	46
6.3	Kategorisierung der Begriffe	49
6.4	Key Performance Indikatoren	52
6.5	Zusammenfassung	53
7	Sammlung von forschungsbasierenden Performance Indikatoren.....	55
7.1	Einleitung.....	55
7.2	Erweiterung der Datenbank mit Forschungsindikatoren.....	55
7.3	Zusammenfassung	57
8	Entwurf eines Bewertungssystems.....	58
8.1	Einleitung.....	58
8.2	Aufbau.....	58
8.3	Input der Performance Indikatoren aus den Umfragen der COST Action TU1406 ..	60
8.4	Darstellung der Bewertungsergebnisse	61
8.5	Zusammenfassung	63

9	Zusammenfassung und Ausblick.....	64
9.1	Zusammenfassung.....	64
9.2	Ausblick.....	66
10	Literaturverzeichnis.....	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausschnitt aus einer Tabelle zur visuellen Inspektion für Brücken laut RVS 13.03.11	11
Tabelle 2: Beispiel für die Kategorisierung von Schäden als Performance Indikatoren für den Betonüberbau	17
Tabelle 3: Beispiel für die Bedeutung der Funktionalität der Komponenten auf Systemebene nach den verschiedenen Kriterien.....	19
Tabelle 4: Liste der Länder, die den Screening Prozess abgeschlossen haben	42
Tabelle 5: Beispiel eines Benotungssystems.....	44
Tabelle 6: Auszug aus der Liste der gruppierten Performance Indikatoren.....	47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erhaltungszustand über die Lebensdauer.....	2
Abbildung 2: Vorgehensweise bei der Schadensüberwachung.....	16
Abbildung 3: Wechselwirkung zwischen Performance Indikatoren und Goals betreffend struktureller Leistung im Brückenmanagement	21
Abbildung 4: Wechselwirkung zwischen Performance Indikatoren - <i>PI</i> , Goals (Tasks) – G(T) und Gewichtungsparemtern im Brückenmanagement.....	22
Abbildung 5: Vorgehensweise beim Eintrag in die Datenbank.....	31
Abbildung 6: Sheet General Data	32
Abbildung 7: Blank Sheet als Vorlage für die Cou_num Sheets.....	32
Abbildung 8: Beispiel eines ausgefüllten Cou_Num Sheets.....	33
Abbildung 9: Datenstruktur der Operators Database	34
Abbildung 10: Beispiel für ein ausgefülltes Cou_Num Sheet in der Research Database	34
Abbildung 11: Beispiel einer Liste mit Referenzen zu einem bestimmten Forschungsdokument	35
Abbildung 12: Vorgehensweise beim Eintrag ins Glossary	36
Abbildung 13: Auszug aus dem Sheet „Glossary“	37
Abbildung 14: Auszug aus dem Sheet „Damages“	37
Abbildung 15: Auszug aus dem Sheet „Damages“	38
Abbildung 16: Auszug aus dem Sheet „Country specific terms“.....	38
Abbildung 17: Auszug aus dem Tutorial: Beispiel für die Vorgehensweise beim Eintrag in die Datenbank.....	39
Abbildung 18: Beispiel einer erweiterten Datenbank (COST Action TU1406, 2017)	47
Abbildung 19: Beispiel mit homogenisierten Begriffen in der kroatischen Datenbank	48
Abbildung 20: Mengenanteile der insgesamt 385 zugeordneten Begriffe in den jeweiligen Kategorien	49
Abbildung 21: Anteile der zugeordneten Kategorien an der Gesamtmenge von 385 Begriffen.....	50
Abbildung 22: Darstellung der 385 Begriffe mit deren zugeteilter Gruppe und Kategorie.....	51
Abbildung 23: Auszug aus einem durch eine/n Experten/in ausgefüllten Fragebogen	53
Abbildung 24: Beispiel für Interaktionen von Performance Indikatoren (PI) und Performance Goals (PG), um die angewandte Datenbank mit wissenschaftlichen Errungenschaften zu erweitern	55
Abbildung 25: Auszug aus der Bewertungstabelle für die Komponenten einer Brücke hinsichtlich der Key Peformance Indikatoren Safety, Reliability und Security	59
Abbildung 26: Auszug aus der Bewertungstabelle für das gesamte Brückensystem hinsichtlich der Key Peformance Indikatoren Safety, Reliability und Security	59
Abbildung 27: Auszug aus der Bewertungstabelle mit den eingefügten Performance Indikatoren aus den Ergebnissen der beantworteten Fragen der Experten....	61

Abbildung 28: Auszug aus der Bewertungstabelle mit den eingefügten Performance Indikatoren aus der Befragung der Experten	61
Abbildung 29: Beispiel für die Darstellung der Ergebnisse aus einer Brückenzustandsbewertung nach dem entworfenen Bewertungssystem	62

Definitionen

- *Asset Management*: Koordinierte Aktivitäten einer Organisation, um den Wert von Vermögensgegenständen festzustellen. Die Feststellung des Vermögenswertes beinhaltet die Abwägung zwischen Kosten, Risiken, Möglichkeiten und Leistungsverbesserungen.
- *Gebrauchstauglichkeit (Serviceability)*: Die Fähigkeit eines Bauwerkes seinen vorgesehenen Zweck zur Zufriedenheit des Benutzers zu erfüllen.
- *Lebensdauer*: Der Zeitraum nach der Errichtung des Bauwerkes oder dessen Teilelemente bis zur Erreichung oder Überschreitung seiner Leistungsanforderungen.
- *Lebenszykluskosten*: Kosten eines Vermögensgegenstandes über seine Lebensdauer während dieser seine Leistungsanforderungen erfüllt.
- *Messbarer/prüfbarer Parameter*: Zum Beispiel Eigenschaften von Materialien und Bauwerken, beschreibt quantitativ einen Performance Aspekt.
- *Performance Assessment*: Die Durchführung einer Reihe von Aktivitäten, um die Zuverlässigkeit einer existierenden Konstruktion für die zukünftige Verwendung zu gewährleisten.
- *Performance Criteria (Performance Kriterium)*: Quantitative Grenzwerte, in Verbindung mit einem Performance Indikator, welche die Grenzen zwischen gewünschtem und ungünstigem Verhalten definieren.
- *Performance Goal*: Eine Art von Bauwerkseigenschaft, welche basierend auf der Beurteilung von verschiedenen Performance Indikatoren erforderlich ist.
- *Performance Index*: Ein erhobener Parameter einer Brücke, eine dimensionslose Nummer oder ein Buchstabe, welche/r den Parameter auf einer Skala von X bis XN evaluiert, wobei X ein sehr guter Zustand und XN ein schlechter Zustand ist.
- *Performance Indikator*: Ein Begriff für eine Brückeneigenschaft, welche den Zustand einer Brücke beschreibt. Dieser kann in Form von dimensional Performance Parametern oder als dimensionsloser Performance Index ausgedrückt werden.
- *Performance Level*: Eine Qualifikation eines Bauwerks oder eines Bauwerkelements, welche anhand der Überprüfung seines Verhaltens im Vergleich zu dessen Leistungsanforderungen bestimmt wird. Ein zufriedenstellendes Performance Level ist dann erreicht, wenn das Bauwerk oder das Bauwerkelement ein angemessenes Verhalten zur Erfüllung der Leistungsanforderungen aufweist. Im gegenteiligen Falle ist das Performance Level eines Bauwerks oder eines Bauwerkelementes als unzufriedenstellend anzusehen.
- *Performance Threshold*: Stellt einen Grenzwert dar für Zwecke wie: Überwachung, Evaluierung und Entscheidungsfindung.
- *Risiko*: Bezieht sich auf Gefahren oder die Schadenswahrscheinlichkeit in einem ungewissen Unterfangen und wird als Produkt aus den Konsequenzen des Versagens und der Eintrittswahrscheinlichkeit des Versagens definiert.

- *Schaden*: Störung oder Änderung des Zustandes eines Bauwerkes oder seiner Komponenten durch äußere Einwirkungen. Diese beeinträchtigen entweder gegenwärtig oder zukünftig die Leistung eines Bauwerkes oder seine Komponenten. Die ungünstige Änderung kann sich auf mechanische Eigenschaften der Materialien und/oder auf geometrische Eigenschaften des Bauwerks beziehen.
- *Sicherheit (Safety)*: Im Vergleich zum Risiko ist die Sicherheit ein Begriff, der zur Beschreibung eines Zustandes in dem sich das Risiko auf einer akzeptablen Ebene befindet dient.
- *Zustandsverschlechterung*: Verschlechterung des Bauwerkszustandes hinsichtlich seiner vorgesehenen Funktionen mit der Zeit oder eine progressive Reduzierung der Leistungsfähigkeit eines Bauwerkes bzw. dessen Komponenten.
- *Zuverlässigkeit*: Die Wahrscheinlichkeit dass ein System oder eine Komponente seine Leistungsanforderungen unter gegebenen Bedingungen und über eine gegebene Dauer erfüllt.

(Vgl. Strauss u. a., 2016)

1 Allgemeine Grundlagen und Einführung

1.1 Einleitung

In vorliegender Arbeit wird die Erhaltungsplanung von Straßenbrücken behandelt und insbesondere auf die Evaluierung und Erhebung der relevanten Indikatoren zur Zustandserhebung von Brücken eingegangen.

Da jedes Bauwerk während seiner Lebensdauer einem Abnutzungs- und Alterungsprozess unterliegt, ist es notwendig in gewissen Abständen Untersuchungen einzuleiten und Maßnahmen zu setzen, um sicherzustellen, dass die gewünschten Anforderungen an das Bauwerk erfüllt werden und die geplante Lebensdauer erreicht wird. Zur Unterstützung dieser Vorgänge werden Qualitätskontrollpläne erstellt, die unter anderem definieren in welchen Abständen Inspektionen und Kontrollen durchzuführen sind und welche Maßnahmen für entsprechende Schadensfälle zu setzen sind. Um das Schadensausmaß und den Erhaltungszustand einer Brücke feststellen zu können, bedient man sich Performance Indikatoren, die die möglichen Schäden und Mängel auf qualitative oder quantitative Art und Weise beschreiben.

Da die Qualitätskontrollsysteme von Straßenbrücken in Europa von Staat zu Staat stark variieren, wurde das Forschungsprojekt COST Action TU1406 in die Wege geleitet, welches sich mit der Standardisierung von Qualitätskontrollen auf europäischer Ebene beschäftigt. Ein Hauptziel dieses Projektes und wesentlicher Teil der vorliegenden Arbeit ist es, das aktuelle Wissen der europäischen Länder über Performance Indikatoren zu sammeln und auszuwerten. Schlussendlich soll eine standardisierte Richtlinie zur Entwicklung von Qualitätskontrollplänen entwickelt und publiziert werden.

In Österreich werden Normen und Richtlinien angewendet, die die Vorgehensweise beim Monitoring und bei der Zustandskontrolle von Brücken definieren. Sie bilden die Grundlage für die Erstellung von Erhaltungsplänen. In Kapitel 1.4 werden die relevantesten Richtlinien und Normen zu diesem Thema zusammengefasst und im Folgenden ein Anwendungsbeispiel vorgestellt.

Dieses erste Kapitel dient der Einführung in das Thema der Erhaltung von Brücken und stellt die Zielsetzung und die Arbeitsschritte der COST Action TU1406 vor. Am Ende wird ein Ausblick über den weiteren Inhalt der vorliegenden Arbeit hinsichtlich der genannten Themen gegeben.

1.2 Erhaltung von Bauwerken

Jedes Bauwerk erfährt während seiner Lebensdauer Abnutzungs- und Alterungsprozesse, die von unterschiedlichen Faktoren abhängig sein können. Diese sind zum Beispiel die gegebenen Umweltbedingungen, das Material oder die Ausführung des Bauwerks. Um wesentliche Anforderungen an ein Bauwerk, wie die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, also die Möglichkeit das Bauwerk im beabsichtigten Sinne nutzen zu können, sowie die bei der Planung festgelegte Dauerhaftigkeit zu erfüllen, ist es notwendig auch nach der Fertigstellung des Bauwerks regelmäßig diverse Maßnahmen zu setzen. Solche beinhalten sämtliche technischen und administrativen Handlungen sowie Maßnahmen hinsichtlich des Managements zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit bzw. zur Rückführung in gewünschten Zustand eines Bauwerkes über die geplante Lebensdauer. Somit ist das Ziel der Erhaltung von Bauwerken die Gewährleistung der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit über deren gesamte Lebensdauer bei Minimierung der Gesamtkosten.

Abbildung 1 zeigt den Erhaltungszustand über die Lebensdauer eines Bauwerkes in Abhängigkeit davon, ob regelmäßige (a) oder keine (b) Erhaltungsmaßnahmen gesetzt werden.

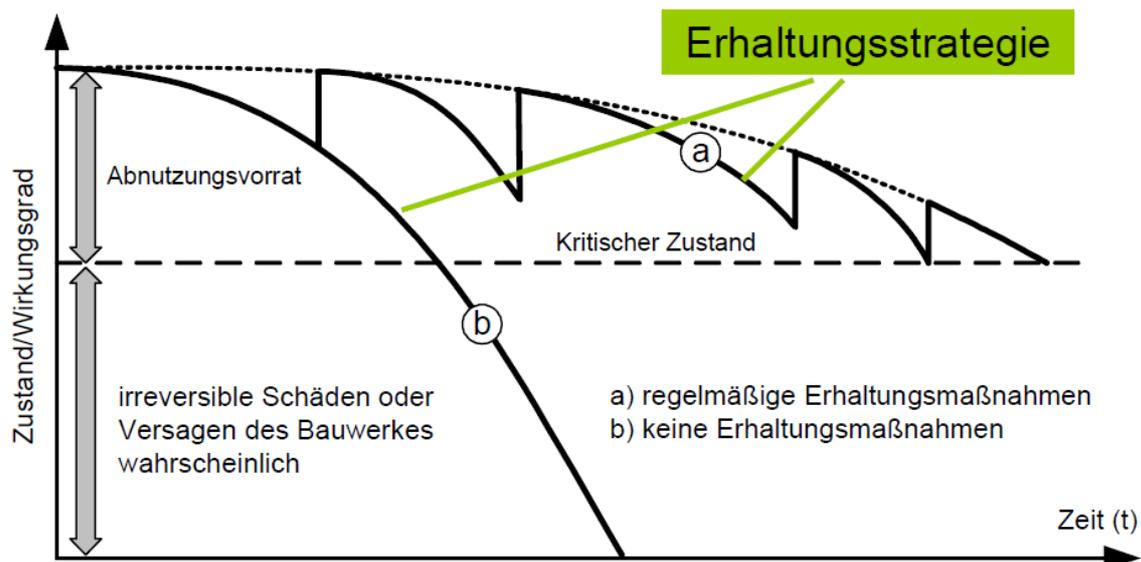


Abbildung 1: Erhaltungszustand über die Lebensdauer (Vgl. Austrian Standards Institute, 2014)

Es werden zwei Arten von Erhaltungsmaßnahmen unterschieden:

- Jene, die einem Bauwerk ermöglichen seine beabsichtigte Lebensdauer zu erreichen;
- Jene, die es ermöglichen die geplante Lebensdauer zu erweitern bzw. erweiterte Leistungsanforderungen an das Bauwerk zu erfüllen.

Zustandskontrollmaßnahmen, die zur Erhaltung eines Bauwerks notwendig sind, werden während der Planung des Bauwerks festgelegt. Diese werden auf Basis der Anforderungen an das Bauwerk und dessen prognostizierten Verhalten unter bestimmten Umweltbedingungen über die geplante Lebensdauer definiert.

Zustandskontrollmaßnahmen, die dazu dienen die Lebensdauer zu verlängern oder neue Leistungsanforderungen an das Objekt zu gewährleisten, werden während der Neugestaltung des Bauwerks, aufgrund des aktuellen Zustandes der Struktur und der Prognosen für zukünftiges Verhalten entwickelt. (Vgl. *fédération internationale du béton / International Federation for Structural Concrete (fib)*, 2013, S.367)

Diese Kontrollmaßnahmen sind in sogenannten Erhaltungsplänen festgelegt, welche sicherstellen sollen, dass die festgelegte Lebensdauer von Bauwerken erreicht bzw. überschritten wird.

1.2.1 Erhaltungspläne

Ein wesentlicher Bestandteil des Lebenszyklusmanagements von Bauwerken sind Erhaltungspläne, die eine angemessene Organisation des Erhaltungsprozesses gewährleisten sollen.

Erhaltungspläne beinhalten die Arten der durchzuführenden Inspektionen und Zustandsüberwachungen, geben an welche Teile der Struktur inspiziert werden sollen und in welcher Frequenz die Inspektionen durchgeführt werden sollen.

Wichtige Inhalte von Erhaltungsplänen sind:

- Spezifizierung der Inspektions-, und Zustandsüberwachungstätigkeiten
- Methoden zur Bestimmung des Abnutzungs- und Alterungsgrades
- Methoden zur Evaluierung der Leistungsfähigkeit des Bauwerks im Vergleich zur erforderlichen Leistungsfähigkeit
- Maßnahmen, die erforderlich sind, falls die erforderliche Leistungsfähigkeit nicht erreicht wird
- Methoden zur Dokumentation der Zustandskontrolle (Vgl. *fédération internationale du béton / International Federation for Structural Concrete (fib)*, 2013, S.373)

1.2.2 Zustandserhebung

Die Zustandserhebung dient als wichtige Maßnahme, um Informationen betreffend Form und Art eines Bauwerks, dessen Abnutzungsmechanismen und der Änderung seiner Leistungsfähigkeit zu erlangen.

Zustandserhebungen können visuelle Inspektionen, Messungen, Probenahmen oder Modellierung sein. Die angewandten Methoden sind in der Regel zerstörungsfrei.

Ein wichtiger Bestandteil der Zustandserhebung ist es, die gewonnenen Daten richtig zu interpretieren und evaluieren, um die Daten in einen verwendbaren Kontext zu bringen. Signifikante Änderungen der Daten betreffend des Zustandes eines Bauwerks, können ein Indikator für ein beginnendes Versagen darstellen. Um die nötigen Daten zur Feststellung des aktuellen Zustandes eines Bauwerks zu erlangen, sind oft mehrere Techniken, wie Inspektionen, Messungen und Probenahmen anzuwenden. Die Informationen, die durch diese Techniken erlangt werden können, tragen dazu bei, die Präzision der Leistungsvorhersage zu erhöhen. (Vgl. *fédération internationale du béton / International Federation for Structural Concrete (fib)*, 2013, S.373)

1.2.3 Zustandsbewertung

Eine allgemeine Bewertung über das Ausmaß der Verringerung der Leistung eines Bauwerkes basiert auf Planungsunterlagen, Ergebnissen der Inspektionen bzw. Kontrollen und der Einschätzung der Art und des Ausmaßes der Leistungsverschlechterung.

Abhängig davon, wie diese Untersuchungsergebnisse anhand der festgelegten, erforderlichen Leistung evaluiert werden, muss eine Entscheidung darüber getroffen werden, inwiefern diese Befunde und Prognosen das Management dieser Struktur hinsichtlich eventuell zu setzender Maßnahmen beeinflussen.

Die erforderliche Leistung von Bauwerken wird zum Zeitpunkt der Planung in Form von Schwellenwerten festgelegt. Dieses Mindestanforderung an Leistung berücksichtigt unter anderem die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit und auch Faktoren wie das Erscheinungsbild eines Bauwerks. (Vgl. *fédération internationale du béton / International Federation for Structural Concrete (fib)*, 2013, S.378)

1.3 COST Action TU1406

1.3.1 Anlass des Projektes

Asset Management von Straßen stellt eine Aufgabe mit großer Verantwortung dar, da es einen grundlegenden Wert für die Gesellschaft beinhaltet. Straßen sind maßgebend für die Erhaltung von Mobilität. Sie ermöglichen die Erreichung von Arbeitsplätzen, Schulen und anderer Infrastruktur, und sind bedeutend für den Transport von Waren. Deswegen stellt ein funktionierendes Transportwegenetz einen essentiellen Inhalt der modernen Gesellschaft, sowohl in wirtschaftlicher und gesellschaftlicher, als auch in ökologischer Hinsicht dar. Heutzutage ist es eine große Herausforderung für Straßenbetreiber, die Straßeninfrastruktur auf eine effiziente Art und Weise hinsichtlich der gegenwärtigen und zukünftigen Anforderungen zu managen.

Straßenbrücken stellen zusammen mit Sonderbauwerken wie Tunnel die kritischsten Komponenten eines Straßennetzwerkes dar. Über ihre gesamte Lebensdauer sind regelmäßige Instandhaltungsmaßnahmen erforderlich, deren Kosten in der Regel der Betreiber trägt. Deswegen ist es erforderlich, dass Strategien definiert werden, die den gesellschaftlichen Nutzen optimieren und gleichzeitig die aufgebrachten Kosten in einem zu bewältigenden Rahmen halten. Die Investitionen sollten anhand eines passenden Managementsystems möglichst effektiv geplant werden.

Dabei ist es vonseiten der verantwortlichen Autoritäten erforderlich, einen Asset Management Plan zu entwickeln, der die Ziele hinsichtlich der Nutzung des Straßennetzwerkes definiert und auch die nötigen Investitionen hinsichtlich der Lebenszykluskosten festlegt. Um diesen Entscheidungsprozess zu unterstützen, ist es notwendig eine Zustandsüberwachung im Hinblick auf die Erhaltung dieser Konstruktionen durchzuführen. Aufgrund dieses Prozesses werden Instandhaltungsmaßnahmen geplant und durchgeführt. Dies ermöglicht es, das Risiko einer frühzeitigen Abnutzung zu verringern und gleichzeitig die Qualität und Minimierung der Kosten zu gewährleisten.

Aus diesen Gründen haben viele Staaten ihr eigenes Managementsystem entwickelt. Auch wenn diese Systeme grundsätzliche Punkte gemein haben, können einige Unterschiede in der Art und Weise der Vorgehensweise beim Erhaltungsmanagement identifiziert werden. Diese Differenzen führen zu abweichenden Entscheidungen in Bezug auf Erhaltungsmaßnahmen.

Innerhalb des Straßenbrückenmanagementprozesses, ist die Identifikation von erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen effektiver, wenn diese auf eine einheitliche und wiederholbare Art und Weise durchgeführt wird. Auf europäischer Ebene wäre es deswegen von signifikantem Vorteil für diesen Prozess einen standardisierten Ansatz zu finden.

Im Falle von Straßenbrücken werden für die Bestimmung des Erhaltungszustandes bestimmte Performance Indikatoren in Bezug auf die Brückenkomponenten fixiert. Diese Indikatoren können qualitativ oder quantitativ beschrieben sein und können während visueller Inspektionen durch zerstörungsfreie Prüfungen oder anhand von Monitoringsystemen erhoben werden. Anschließend werden die erhobenen Indikatoren mit Performance Goals verglichen, um auf die Einhaltung der gewünschten Qualität zu schließen. Tatsache ist, dass es in Europa große Unterschiede gibt, auf welche Art diese Indikatoren quantifiziert und die Ziele definiert werden. Daher ist es ein wichtiges Anliegen der COST Action TU1406 Forschungsteams und Anwender zusammenzubringen, um eine europäische Richtlinie zur diesem Thema zu entwickeln. (Vgl. URL: www.tu1406.eu/about-tu1406/background [07.09.2017])

1.3.2 Ziele der COST Action TU1406

Die wesentliche Zielsetzung der COST Action TU1406 ist die Entwicklung einer Richtlinie zur Erstellung eines Qualitätskontrollplanes für Straßenbrücken. Dabei soll das aktuelle Wissen über Leistungsüberwachungsprozesse und Erhaltungsziele gesammelt werden. Die Richtlinie soll sich hinsichtlich Brückenüberwachung und der Anforderungen an das Bauwerk über die Lebensdauer zweier Ebenen widmen:

1. Performance Indikatoren
2. Performance Goals

Durch die Entwicklung von neuen Ansätzen zur Quantifizierung und Überwachung der Leistung von Brücken, und durch die Spezifizierung der Qualitätserfordernisse zur Sicherstellung der erwarteten Leistung, werden Managementstrategien zur Erhaltung von Brückenkonstruktionen in Europa essentiell verbessert.

1.3.3 Vorgehensweise

Insgesamt sind 37 europäische Länder an der COST Action TU1406 beteiligt. Um das Hauptziel, nämlich die Entwicklung eines Qualitätskontrollplanes, zu erreichen, sollen mit Hilfe der Mitglieder dieses Projektes folgende Punkte erfüllt werden:

- Systematisierung des aktuellen Wissens über Qualitätskontrollpläne für Brücken, welche dazu beiträgt, einen State of the Art Bericht zu verfassen, der Performance Indikatoren und dazugehörige Performance Goals beinhaltet
- Sammlung des aktuellen Wissens über Performance Indikatoren, sowohl technische als auch ökologische, wirtschaftliche und soziale Indikatoren
- Spezifizierung der Qualitätsziele durch die Definition von Performance Goals, um sicherzustellen, dass die erwartete Leistung erfüllt wird
- Entwicklung von detaillierten Beispielen für Ingenieure zur Erhebung und Ermittlung von Performance Indikatoren und zur Festlegung von Performance Goals
- Erstellung einer Datenbank mit den von den Mitgliedsstaaten der COST Action TU1406 erhobenen Performance Indikatoren und deren Performance Goals

Auf Basis dieser festgelegten Ziele wurde beschlossen das Projekt in mehrere Phasen (Working Groups (WG)) aufzuteilen. Im Folgenden werden die einzelnen WGs kurz vorgestellt:

- *WG1-Performance Indikatoren:* Ziel ist es, jene Performance Indikatoren zu ermitteln, die mechanische und technische Eigenschaften und deren Abnutzungsverhalten beschreiben. Zusätzlich werden Performance Indikatoren betreffend Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit und Gesellschaft erhoben. Sämtliche, von den Mitgliedsstaaten erhobenen Indikatoren sollen in einer Datenbank gesammelt werden.
- *WG2-Performance Goals:* Die Hauptaufgabe der WG2 ist die Definition von Performance Goals für die in der WG1 identifizierten Performance Indikatoren. Die Performance Goals variieren gemäß technischer, wirtschaftlicher, ökologischer und sozialer Faktoren.
- *WG3-Entwicklung eines Qualitätskontrollplanes:* Aufgabe ist die Erstellung eines Berichtes in dem die nötigen Schritte zur Entwicklung eines Qualitätskontrollplanes für unterschiedliche Brückenarten detailliert erklärt werden sollen.
- *WG4-Durchführung einer Fallstudie:* Die WG4 hat zur Aufgabe Brücken gleicher Art aus unterschiedlichen Mitgliedsstaaten zu untersuchen. Für diese sollen die in der WG1 ermittelten Performance Indikatoren ermittelt werden und dann mit den in der WG2 festgelegten Performance Goals verglichen werden. Anschließend ist für die Brücken ein Qualitätskontrollplan, wie von WG3 vorgegeben, zu entwickeln.

- *WG5-Entwurf einer Richtlinie/Empfehlungen:* In dieser WG sollen die Ergebnisse der vorhergehenden WGs miteinander verbunden und zum Entwurf einer Richtlinie zur Erstellung von Qualitätskontrollplänen verwendet werden.
- *WG6-Verbreitung:* Der Erfolg der COST Action TU1406 kann daran gemessen werden, welchen Einfluss die Ergebnisse auf Zielgruppen wie Straßenbetreiber, Planungsbüros, Softwarefirmen, Forscher und Ingenieure im Bereich Asset Management usw. haben. Um die praktische Anwendung der Ergebnisse dieses Projektes zu gewährleisten, sollen diese auf eine benutzerfreundliche und ausführbare Art und Weise verfügbar sein.

1.4 Brückenbewertung in Österreich

Hinsichtlich technischer und administrativer Gesichtspunkte bedürfen Maßnahmen und Vorgehensweisen zur Erhaltung von Bauwerken einer Standardisierung bzw. Normung, um eine einheitliche Vorgehensweise und einen einheitlichen Stand der Technik insbesondere in Bezug auf Sicherheitsfragen gewährleisten zu können.

Im Bereich des Bauwerksmanagements existieren in Österreich diverse Richtlinien zur Vorgehensweise und Dokumentation zur Instandhaltung und zum Monitoring von Bauwerken.

Im Folgenden werden die wesentlichen Normen und Richtlinien in Bezug auf Brückenbewertung und -Erhaltung beschrieben.

1.4.1 ONR 24008

Die ONR 24008 beschäftigt sich mit der Erhaltung von bestehenden Straßen- und Eisenbahnbrücken. Sie regelt die Vorgehensweise zur Evaluierung der Tragfähigkeit von Brückenbauwerken zur Erkennung einer möglichen Beeinträchtigung der Zuverlässigkeit.

In dieser Norm wird definiert, unter welchen Umständen die Notwendigkeit zur Bewertung der Tragfähigkeit besteht. Infolgedessen wird festgelegt, welche Punkte eine Zustandsaufnahme beinhalten soll. Diese Punkte sind unter anderem Materialkennwerte und Werkstoffuntersuchungen, unter Angabe der entsprechenden Vorgehensweise zur Bestimmung dieser Eigenschaften.

Des Weiteren werden hinsichtlich der Zustandsbewertung von Brückenbauwerken eine Reihe von Möglichkeiten, insbesondere der rechnerische Nachweis, aber auch die qualitative Beurteilung der Tragfähigkeit, aufgezeigt. Als wesentlicher Teil einer Tragwerksbeurteilung ist in der ONR 24008 auch der erforderliche Inhalt einer Dokumentation einer solchen Beurteilung angeführt. (Vgl. Austrian Standards Institute, 2013)

1.4.2 Richtlinie zur Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton

Die von der österreichischen Bautechnik Vereinigung herausgegebene Richtlinie zur „Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton“ spielt ebenso eine wichtige Rolle zur Durchführung von Inspektionen und Monitoring an Brücken.

Wie auch in der ONR 24008, werden in dieser Richtlinie Vorgehensweisen für die Zustandserhebung und Schadensbeurteilung von Bauwerken festgelegt. Im Anhang sind diverse mögliche Schäden am Beton und Stahlbeton hinsichtlich ihrer Zustandsstufen (1-5) beschrieben, die es ermöglichen anhand der erhobenen Daten eine Aussage über den Zustand des Materials zu treffen.

Ein Hauptteil der Richtlinie beschäftigt sich mit Instandsetzungsmaßnahmen und den verschiedenen möglichen Schadensfällen. (Vgl. Österreichische Bautechnik Vereinigung, 2014)

1.4.3 ÖNORM B 4706

Die ÖNORM B4706 behandelt im Wesentlichen die Wartung und Instandhaltung von Betonbauwerken. Beschrieben wird die Feststellung des Bauwerkszustandes mit Hilfe unterschiedlicher Methoden zur Untersuchung von Beton, wie zum Beispiel Prüfung durch Augenschein, Prüfung durch Abklopfen, Rissaufnahme usw.

Weitere wesentliche Themen in der ÖNORM B4706 sind die Planung und Ausführung von Instandhaltungsmaßnahmen. Um feststellen zu können ob Maßnahmen erforderlich sind,

werden Grenzwerte für Schadensfälle wie Karbonatisierung und Rissbildung angegeben. (Vgl. Austrian Standards Institute, 2015)

1.4.4 RVS 13.03.01

Monitoring bewirkt eine Optimierung der Instandhaltungsplanung von Bauwerken hinsichtlich Zeit und Wirtschaftlichkeit. Aus diesem Grund ist es von Vorteil Monitoring in das Lebenszyklusmanagement von Bauwerken einzugliedern.

Aus diesem Grund hat die RVS 13.03.01 das „Monitoring von Brücken und anderen Ingenieurtragwerken“ zum Inhalt, in dem die Ziele, der Verfahrensablauf sowie die Arten des Monitorings hinsichtlich Ort und Zeit beschrieben werden. Detailliert wird auf das Thema Messungen in Bezug auf das Messsystem, die Planung und Durchführung der Messung und die Messgrößen eingegangen.

Zudem sind einige Beispiele für mögliche Anwendungsfälle für Monitoring aufgelistet und bezugnehmend auf die jeweiligen Fälle, die Ziele, Messgrößen, die Sensorart, die Art der Messung sowie die Messmethode und die Anwendungsgrenzen näher erläutert. Zu finden sind hier Anwendungsbeispiele wie Rissbreiten, Verformungsverhalten, Schwingungsmessungen, Ermüdung usw. (Vgl. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2012)

1.4.5 RVS 13.03.11

Die RVS 13.03.11 gibt vor, auf welche Art und Weise Brücken im Zuge von Straßen und Wegen hinsichtlich Zuverlässigkeit und Verkehrssicherheit zu überwachen, zu kontrollieren und zu prüfen sind.

Die laufende Überwachung (alle vier Monate) sowie Kontrollen (alle 2 Jahre) und Prüfungen (alle 6 Jahre) haben in regelmäßigen Abständen zu erfolgen.

Bei Kontrollen wird die Veränderung des Erhaltungszustandes im Vergleich zur letzten Prüfung aufgenommen und evaluiert. In der RVS werden die zu untersuchenden Bauteile genau definiert und die festzustellenden Mängel und Veränderungen an den einzelnen Bauteilen (Unterbau, Überbau, Brückenausrüstung) angeführt.

Bei Prüfungen wird der Erhaltungszustand erhoben und bewertet. Hier werden folgende Bauteile untersucht:

- Unterbau
- Überbau
- Deckschicht
- Lager
- Abdichtung und Entwässerung
- Randbalken
- sonstige Ausrüstung

Der Befund der Prüfung sollte folgende Ergebnisse dokumentieren:

- den Zustand des Objekts mit Zustandsnoten für Objekt und Bauteile
- die Benutzbarkeit des Verkehrsweges
- festgestellte Mängel bzw. Schäden

- erforderliche und empfohlene Maßnahmen
- Veranlassung einer Prüfung wenn festgestellte Mängel oder Schäden nicht ausreichend genau ermittelt werden konnten
- Hinweise für die nächste Kontrolle
- Durchzuführende Sonderprüfungen und statische Nachrechnungen
- Zeitpunkt der nächsten Prüfung (Jahr)

Bewertet werden die Objekte und Bauteile anhand eines Notensystems von 1-5, wobei die Noten folgendermaßen beschrieben werden:

- 1 - sehr guter Zustand: keine oder geringe Schäden, keine Einschränkung der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit
- 2 - guter Zustand: geringe, leichte Schäden, keine Einschränkung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit
- 3 - ausreichender Zustand: mittelschwere Schäden, keine Einschränkung der Tragfähigkeit
- 4 - mangelhafter Zustand: schwere Schäden, derzeit noch keine Einschränkung der Tragfähigkeit
- 5 - schlechter Zustand: sehr schwere Schäden, Einschränkung der Tragfähigkeit und/oder Gebrauchstauglichkeit (Vgl. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2011)

1.4.6 RVS 13.04.01

Zur Verwaltung von allgemeinen Bauwerksdaten und der Dokumentation des Zustandes von Bauwerken, werden Bauwerksdatenbanken angelegt. Diese dienen als Grundlage für wirtschaftliche und technische Entscheidungen hinsichtlich der Maßnahmensetzung bei Bauwerken.

In der RVS 13.04.01 sind der genaue Aufbau, Inhalt und die erforderlichen Funktionen einer Bauwerksdatenbank festgelegt. Um mit den Daten in der Datenbank effizient arbeiten zu können, ist es notwendig, dass die vorhandenen Objektinformationen zu den Bauwerken einfach abrufbar sind. Aus diesem Grund werden den einzelnen Objekten Eigenschaften zugeordnet, um diese nach Filterkriterien aufrufen zu können. Bei Brückenobjekten erfolgt die Beschreibung anhand des Materials des Überbaus, der Geometrie und Stützweiten, der Art und Konstruktion des Querschnittes, der Vorspannung, der Brückenklasse, der Lastbeschränkung usw. (Vgl. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2009)

1.4.7 RVS 13.04.13

Die RVS 13.04.13 behandelt die Verwaltung von Mauern und geankerten Konstruktionen im Straßennetz anhand der in RVS 13.04.01 behandelten Bauwerksdatenbank.

In dieser Richtlinie ist unter anderem eine Liste von einzutragenden Daten vorgegeben, die das zu prüfende Bauteil beschreiben sollen. Als weiteren Punkt beschreibt die RVS welche Elemente und Schäden am Bauteil zu untersuchen sind. Sämtliche Prüfungsergebnisse und Maßnahmen werden in der RVS definiert und sind entsprechend in die Datenbank einzufügen. (Vgl. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2009)

1.4.8 RVS 13.05.11

Die Erhaltungskosten sind ein wesentlicher Bestandteil der Lebenszykluskosten (bestehend aus Errichtungskosten, Erhaltungskosten und Abbruchkosten) von Tragwerken. Da die Betrachtung der gesamten Lebenszykluskosten immer mehr an Bedeutung zunimmt, beschreibt die RVS 13.05.11 ein Prognosemodell zur Ermittlung der Kosten über die gesamte Lebensdauer eines Bauwerks. Dieses Prognosemodell ermöglicht unter anderem die Ermittlung des zukünftigen Budgets für die Instandhaltung und Erneuerung sowie Kostentransparenz über alle Lebenszyklusphasen. (Vgl. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2017)

1.5 Anwendungsbeispiel zur RVS 13.03.11

Ein praktisches Umsetzungsbeispiel zur visuellen Inspektion laut RVS 13.03.11 wird in diesem Kapitel vorgestellt.

Die Firma Vienna Consulting Engineers hat eine Bewertungstabelle entwickelt, die dazu dient, die Teil- bzw. Gesamtnoten für ein Bauwerk bestimmen zu können. Dazu sind in dieser Tabelle sämtliche zu kontrollierende Mängel und Schadensfälle laut RVS 13.03.11 aufgelistet und werden anhand des dort beschriebenen Benotungssystems beurteilt. Die Überlegung bei der Entwicklung dieser Bewertungsmatrix war es, die Vergabe der Noten mittels Gewichtungsfaktoren zu objektivieren. In der folgenden Tabelle ist der Aufbau der Bewertungstabelle dargestellt.

Tabelle 1: Ausschnitt aus einer Tabelle zur visuellen Inspektion für Brücken laut RVS 13.03.11 (Quelle: Vienna Consulting Engineers)

International Bridge Study: IRIS Results		Objekt		1618-150 Span 1 and 2					
Route: US 202				Station:					
Type of Damage		Element Condition		ACTUAL VISUAL INSPECTION				Change in Condition	
		G	a	i	P-G*a*	D	p	p*P	D
1. SUBSTRUCTURE	Factor: 0,8	3							
1.1 Bridge Site: Scour, Sliding, damaged Sealings		3,00	2			0,00			0,00
1.2 Damage in Concrete		0,00							
1.2.1 Surface Imperfections, Buckets, Voids			2			0,00			0,00
1.2.2 Spalling, Desolutions			2			0,00			0,00
1.3 Cracks in Reinforced Concrete									
1.3.1 Cracks from Loading			2	0,5	1	1,00			0,00
1.3.2 Cracks from Strain			2			0,00			0,00
1.4 Deficient Reinforcement and Anchorage									
1.4.1 small or insufficient Cover, Carbonisation			2			0,00			0,00
1.4.2 Corrosion			3	0,5	0,8	1,20			0,00
1.4.3 Broken Parts			4			0,00			0,00
1.5 Water Penetration									
1.5.1 at Joints			1	1	0,8	0,80			0,00
1.5.2 at Dewatering			1			0,00			0,00
1.5.3 by splash water, foggy conditions, Water from springs			1			0,00			0,00
2. SUPERSTRUCTURE	Factor: 1,3	3							
2.1 Damage in Concrete		4,15							
2.1.1 Surface Imperfections, Buckets, Voids		0,00	2			0,00			0,00
2.1.2 Spalling, Desolutions			2			0,00			0,00
2.1.3 Damage by Frost, Deicing Agents, Carbonisation			2			0,00			0,00
2.2 Cracks in Reinforced Concrete									
2.2.1 Cracks from Loading			2	0,5	0,85	0,85			0,00
2.2.2 Cracks from Strain			2			0,00			0,00
2.3 Cracks in Posttinted Concrete									
2.3.1 Cracks from Loading			4			0,00			0,00
2.3.2 Cracks from Strain			2			0,00			0,00
2.4 Open Construction Joints			4			0,00			0,00
2.5 Deficient Reinforcement and Anchorage									
2.5.1 small or insufficient Cover, Carbonisation			2			0,00			0,00
2.5.2 Corrosion			3			0,00			0,00
2.5.3 Broken Parts			4			0,00			0,00
2.6 Deficient Posttensioning									
2.6.1 Cracks along the cables			2			0,00			0,00
2.6.2 Deficient Grouting			3			0,00			0,00
2.6.3 Corrosion			4			0,00			0,00
2.6.4 Broken Parts			5			0,00			0,00
2.7 Damage at Steel Elements									
2.7.1 Insufficient Corrosion Protection, Corrosion			2	0,5	0,8	0,80	3		0,00
2.7.2 Deficient Connections (Screws and Bolts)			3			0,00			0,00
2.7.3 Displacement, Buckling, Tilting, Plate Buckling			4			0,00			0,00
2.7.4 Cracks in Steel, in Welds, Breaks			5	1	0,5	2,50	3		0,00
2.8 Water Penetration									
2.8.1 at Construction Joints			1			0,00			0,00
2.8.2 at Dewatering Elements			1			0,00			0,00
2.8.3 in Waterproofing			1			0,00			0,00
2.9 Rock and Masonry: Deficient Walls, Vaults, Joints, Break Offs			1			0,00			0,00
3. BEARINGS, ANCHORS of CABLES	Factor 1,3	2							
3.1 deficient Position of Element		2,00	5			0,00			0,00
3.2 Damaged Equipment		0,00	5	0,8	0,5	2,00	3		0,00
4. EXPANSION JOINTS, JOINT STRUCTURES	Factor 1,0	4							
4.1 Leakages		3,88	1	1	1	1,00			0,00
4.2 deficient Position of Element		0,00	2	0,8	1	1,60			0,00
4.3 Structural Damage of Equipment			2	0,8	0,8	1,28	3		0,00
5. PAVEMENT: Longitudinal Trails, Cracks, Displacement, Holes	Factor 1,0	2	2	0,5	0,5	0,50			0,00
6. WATER PROOFING, DEWATERING: Damage in Applications		1	1			0,00			0,00
7. SIDE BARS	Factor 0,5	1							
7.1 Damaged Concrete, Covers, Inserts and Inlets		0,00	1			0,00			0,00
7.2 Deficient Reinforcement: Corrosion, Cover		0,00	1			0,00			0,00
7.3 Joints, damaged Seals			1			0,00			0,00
8. OTHER ELEMENTS	Factor 0,3	1							
8.1 Hand Rails: Corrosion, Displacements		0,00	1			0,00			0,00
8.2 Guard Rails: Rails, Walls		0,00	1			0,00			0,00
8.3 Masts, Traffic Signs: Corrosion, Displacement, Stability			1			0,00			0,00
STRUCTURAL RATING OBJECT LEVEL						14,78	3	0	0
INSPECTION		YEAR	CONDITION CLASS			URGENCY			
CONTROL		2010	3			3			
			0			0			

Die Tabelle ist so aufgebaut, dass für jeden vorhandenen Mangel ein Schadensgrad von 1 bis 5 vergeben werden kann, sofern ein Verschleiß vorhanden ist. Dieser Schadensgrad wird aufgrund der Intensität und des Ausmaßes des Mangels unterschiedlich gewichtet und trägt nach der Gewichtung zur Gesamtnote des entsprechenden Bauteils und in weiterer Folge zur Gesamtnote des Objektes bei.

Ein Beispiel dafür ist Punkt 1.3.1 in Tabelle 1, wo Risse infolge von Auflasten aufgrund einer visuellen Beurteilung evaluiert werden. Je nach Ausmaß (geringe Anzahl, vermehrtes Auftreten oder häufiges, ausgeprägtes Rissbild) wird eine entsprechende Gewichtung vergeben (0,5, 0,8, oder 1,0), in diesem Fall 0,5 (siehe Tabelle 1, Spalte „a“). Eine Angabe der Gewichtung erfolgt außerdem für die Intensität der Rissbildung, wobei diese durch unterschiedliche Rissbreiten definiert wird. In diesem Fall wird die Gewichtung mit 1,0 festgelegt, da es sich um Rissbreiten größer 0,6 mm handelt (die Grenzwerte sowie die entsprechende zu vergebende Gewichtung sind ebenfalls in der Tabelle angegeben). Aus dem Schadensgrad mal den beiden Gewichtungsfaktoren ergibt sich dann in diesem Beispiel die gewichtete Zahl von 1,0 ($P=G*a*i$). Sämtliche gewichteten Werte werden dann für ein Bauteil (hier der Unterbau) aufsummiert. Aus dieser Summe ergibt sich dann die Gesamtnote für das Bauteil, hier 3,0 (siehe Tabelle 1, Spalte „Element Condition“).

Zu bemerken ist, dass im Falle der Angabe keiner Schäden oder Mängel sich die Gesamtnote für das Bauteil zu 1 ergibt. Das bedeutet, dass die Anzahl der angegebenen unterschiedlichen Schäden bzw. Mängel einen wesentlichen Faktor in der Vergabe der Gesamtnote darstellt. Falls die Anzahl der Schäden entsprechend hoch ist, kann dies zu einer schlechten Gesamtnote führen, auch wenn sich für einen überwiegenden Teil der angeführten Schäden geringe Beurteilungswerte ergeben.

Da ein Brückenobjekt nicht von jedem Bauteil hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit gleichermaßen beeinflusst wird, wird jeder zu untersuchenden Teilstruktur wiederum ein Gewichtungsfaktor, entsprechend ihrer Bedeutung gegenüber dem Gesamtobjekt zugewiesen, welcher in die Gesamtnote einfließt. Die Zustandsnote für das gesamte Objekt ergibt sich aus der Summe aller gewichteten Beurteilungswerte der einzelnen Schäden und Mängel, welche abhängig vom betroffenen Bauteil wiederum gewichtet werden. Die Bewertung für das Bauwerk ist ebenso wie die Beurteilungsergebnisse für die einzelnen Bauteile, auch von der Anzahl der erhobenen Schäden und Mängel abhängig.

Zusätzlich wird in der Tabelle die Dringlichkeit der Instandsetzung eingetragen. Dies erfolgt ebenfalls durch ein Notensystem (1-5), wobei die Noten beziehungsweise auf die Dringlichkeit folgendes bedeuten:

- 1 - längerfristig
- 2 - bis zum Termin der nächsten Brückenprüfung
- 3 - innerhalb der nächsten drei Jahre
- 4 - Instandsetzung einleiten
- 5 - unverzüglich beginnen, Gefahr für Nutzung

In den rechten Spalten der Tabelle sollen die Veränderungen der Mängel gegenüber der letzten Prüfung evaluiert werden. Die Abweichungen im Vergleich zur vorhergehenden Untersuchung werden wieder durch Gewichtungsfaktoren ausgedrückt (0 bis 1,5, wobei 0 vollständige Instandsetzung bedeutet und 1,5 eine deutliche Verschlechterung). Damit ist es möglich, je nach Änderung des Zustandes, eine neue Gesamtnote für die einzelnen Bauteile und das gesamte Objekt zu errechnen.

Sämtliche Schäden und Gewichtungsfaktoren müssen entsprechend Art, Verhalten und Material der Brücke vor der Prüfung sorgfältig ausgewählt werden. Während beispielsweise bei einer Stahlbetonbrücke Korrosion einen großen Einfluss auf den Zustand eines Bauwerks haben kann, werden bei einer Holzbrücke andere Mängel schwerwiegender zu tragen

kommen. Eine gut überlegte Anpassung dieser vorgestellten Beurteilungstabelle vor der Prüfung eines Bauwerks hat zum Vorteil, dass die Arbeit während der visuellen Untersuchung durch den effizienten Aufbau des Fragebogens und durch die relativ unkomplizierte Eintragung anhand von Zahlenwerten deutlich vereinfacht wird und im Zuge eines geringeren Aufwandes erfolgen kann.

Die Ergebnisse einer visuellen Untersuchung sind natürlich auch von der Erfahrung, Wahrnehmung und Auffassung des Prüfers abhängig. Durch die Einführung der Gewichtungsfaktoren in diesem Beurteilungsschema versucht man die Objektivität der Benotung zu erhöhen. Deshalb ist es wichtig, dass sowohl die Vorbereitung als auch die Durchführung der Inspektion durch eine sachkundige und erfahrende Person ausgeführt wird. Dennoch ist es immer noch möglich, dass die Beurteilung, in Abhängigkeit von der Person die sie durchführt, variiert.

1.6 Weitere Inhalte der Arbeit

Die erfolgte Einführung in die Erhaltungsplanung von Brücken sowie die Vorstellung der COST Action TU1406 dienen als Einleitung und zum besseren Verständnis der nun folgenden Kapitel.

Diese beschäftigen sich im Wesentlichen mit der Vorgehensweise zur Durchführung der notwendigen Arbeitsschritte sowie mit den Ergebnissen zu den Aufgaben der WG1 der COST Action TU1406. Behandelte Punkte sind insbesondere die Definition von Performance Indikatoren, deren Abgrenzung zu den Performance Goals sowie die Erhebung von vorhandenen Daten und die Erstellung einer Datenbank.

Basierend auf den bereits erwähnten Zielen der COST Action wurde zunächst eine Befragung der Mitgliedsstaaten gestartet, um Informationen darüber zu sammeln, was bereits an Wissen in Europa bezüglich Qualitätsmanagement für Straßenbrücken vorhanden ist. Vorschläge für eine etwaige Verbesserung wurden ebenfalls eingeholt. Dabei wurden sowohl Dokumente durchsucht die bereits von Straßenbetreibern in Verwendung sind, als auch Forschungsdokumente in denen sich die Performance Indikatoren noch im Entwicklungsstadium befinden.

Infolge dessen wurde eine Datenbank für die durchsuchten Dokumente erstellt, in der die Performance Indikatoren (PI) gesammelt und kategorisiert wurden. Die im Kapitel 1.4 vorgestellten verwendeten Richtlinien und Normen wurden im Zuge dieser Arbeit ebenfalls gesichtet (gescreent) und die relevanten Teile in die österreichische Datenbank eingetragen. Aufgrund des Umfangs und der Heterogenität der erhobenen Daten, hat man sich als weiteres Ziel gesetzt, die Zahl der PI zunächst zu homogenisieren und anschließend auf die Wesentlichsten zu reduzieren. Diese Vorgänge wurden in mehreren Schritten durchgeführt und werden in den nächsten Kapiteln noch näher erläutert.

Des Weiteren wurde im Zuge dieser Arbeit der Entwurf eines Brückenbewertungssystems entwickelt, das unter anderem auf den Ergebnissen der WG1 basiert. Diesem Thema wird ebenfalls noch ein eigenes Kapitel gewidmet.

2 Performance Indikatoren

2.1 Einleitung

Lebenszyklusanalysemethoden werden sowohl zur Überwachung von neuen und bereits existierenden Brücken, als auch zur Evaluierung von Instandhaltungsstrategien verwendet. Managementsysteme, die Alterungsprozesse erfassen, werden oft in Verbindung mit Lebenszyklusanalysemethoden verwendet. Solche Systeme, die für die Überwachung des Zustandes einer Struktur entwickelt wurden, basieren üblicherweise auf deterministischen Leistungsvorhersagemodellen, welche die zukünftige Bauwerksqualität anhand des Zusammenhangs zwischen Zustandseigenschaften, wie dem Alter der Struktur, und den mechanischen, chemischen und thermischen Prozesse, beschreiben.

Qualitätskontrollpläne werden von sogenannten Performance Indikatoren unterstützt, die Eigenschaften einer Brücke darstellen, welche auf den Zustand eines Bauwerkes schließen lassen. Durch diese lassen sich die im Qualitätskontrollplan festgelegten Ziele definieren, welche sicherstellen, dass die gewünschte Qualität eingehalten wird. Performance Indikatoren werden für die aktuellen und zukünftigen Konditionen eines Bauwerks auf deterministischer und probabilistischer Ebene definiert und festgelegt.

Die praktische Anwendung der oben genannten Modelle erfordert detaillierte Informationen über deren Variablen. Deswegen ist es wichtig, diese Indikatoren hinsichtlich ihres Quantifizierungsvorganges zu analysieren.

Daher wurde der WG1 als Ziel gesetzt, Performance Indikatoren generell zu beschreiben, darzulegen wie diese ermittelt und beurteilt werden, die Frequenz der Erhebung anzugeben und zu erläutern welche Werte im Allgemeinen erhoben werden.

Vorliegendes Kapitel widmet sich der Kategorisierung von Performance Indikatoren in technische, nachhaltige und sozioökonomische Indikatoren auf unterschiedlichen Ebenen (System- bzw. Komponentenebene). Dies erleichtert die Identifikation von Methoden zur Quantifizierung der Performance Indikatoren und der Größe ihres Einflusses auf Performance Goals, also den zu erzielenden Leistungen einer Struktur.

2.2 Kategorisierung von Performance Indikatoren

Management von Straßenbrücken beinhaltet koordinierte Vorgehensweisen um eine optimale Wertschöpfung zu erzielen. Dies beinhaltet den Ausgleich der Kosten, Risiken, Möglichkeiten und Performance Goals. Ein Performance Goal kann als eine Brückeneigenschaft bzw. ein Verhalten angesehen werden, welches während der Lebensdauer eines Bauwerks zu erfüllen ist. In Abhängigkeit der verschiedenen Ebenen der Straßenbrücken-Assets, sollen unterschiedliche Arten von Performance Goals erreicht werden, was Teil einer effizienten und effektiven Überwachungsstrategie ist.

Ein Beispiel ist die Funktionsfähigkeit eines spezifischen Brückenelements wie die Stabilität eines Widerlagers oder die maximale Biegung des Hauptträgers, welche ein Performance Goal auf Komponentenebene ist (siehe Kapitel 2.2.1). Eine ausreichende seismische Leistungsfähigkeit der gesamten Brückenkonstruktion stellt ein Ziel auf Systemebene dar (siehe Kapitel 2.2.2), wird aber auch hinsichtlich der Relevanz im Netzwerk und der möglichen Konsequenzen eines Einsturzes berücksichtigt und kann somit auch zum Ziel auf Netzwerkebene (siehe Kapitel 2.2.3) werden.

Ob ein Ziel (Performance Goal) eingehalten wird oder nicht, kann durch die Evaluierung von diversen Performance Indikatoren festgestellt werden. Performance Indikatoren können als Begriff für Brückeneigenschaften angesehen werden, die eine Möglichkeit zur Aufzeigung des Zustandes einer Brücke darstellen. Ein Performance Indikator kann in Form eines

dimensionalen Leistungsparameters oder als dimensionsloser Leistungsindex ausgedrückt werden. Ein dimensionaler Leistungsparameter ist mess- bzw. prüfbar und beschreibt quantitativ einen bestimmten Leistungsaspekt (z.B. Rissweite). Der dimensionslose Leistungsindex ist eine qualitative Repräsentation eines Leistungsaspekts (z. B. die Bedeutung einer Brückenkomponente für die gesamte Brückenkonstruktion oder die Bedeutung einer Brücke im Netzwerk).

Um Performance Indikatoren zu evaluieren zu können, müssen bestimmte Schwellenwerte (Performance Thresholds) oder Kriterien festgelegt werden. Schwellenwerte stellen Grenzwerte für bestimmte Zwecke dar, wie die Überwachung (zum Beispiel ob ein Effekt beobachtet werden soll oder nicht), die Beurteilung (ein Effekt ist gering oder groß) und die Entscheidungsfindung (ein Effekt ist kritisch oder nicht). Ein Kriterium ist eine Eigenschaft, welche relevant für die Entscheidung zwischen verschiedenen Prozessen, wie z.B. Maßnahmevorgängen oder ähnliches ist.

Obwohl die Berücksichtigung der Interaktion von unterschiedlichen Performance Indikatoren unumgänglich ist, wird deren Kategorisierung in technische, nachhaltige und sozioökonomische Indikatoren auf Komponenten-, System-, und Netzwerkebene in diesem Kapitel vorgestellt. Die Kategorisierung dient dazu, die Methoden für die Quantifizierung von Performance Indikatoren einfacher identifizieren und die Größe des Einflusses auf ein bestimmtes Performance Goal bestimmen zu können.

Die detaillierte Kategorisierung von Schäden als Performance Indikatoren soll deren Entstehung, zugehörige Erhebungsmethoden, Performance Thresholds, Evaluierungsmethoden und schließlich das Maß der Auswirkung auf ein bestimmtes Performance Goal betrachten. (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 26)

2.2.1 Performance Indikatoren auf Komponentenebene

Brückeninspektionen erfolgen im Allgemeinen über die Betrachtung der Brückenelemente (Komponenten), welche sich aus drei wesentlichen Brückenteilsystemen zusammensetzen: Unterbau, Überbau, sowie Fahrbahn und Ausrüstung. Die Brückenkomponenten werden hier den Teilsystemen folgendermaßen zugeteilt:

Unterbau: Gründung, Widerlager, Pfeiler usw.

Überbau: Hauptträger, Querträger usw.

Fahrbahn und Ausrüstung: Gehsteig, Geländer, Drainage, Beleuchtung, Randsteine usw.

(Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 26)

2.2.1.1 Technische Aspekte

Auf Komponentenebene ist die Schadensüberwachung eines der wichtigsten Ziele das erreicht werden soll. Diese beinhaltet sowohl die Erhebung von Schäden als auch deren Identifikation und Evaluierung anhand einer Reihe von Schwellenwerten. Ein Schaden eines Brückenelementes ist eine physikalische Störung oder eine Änderung des Zustandes, welche durch äußere Einwirkungen verursacht wird. Somit beeinträchtigt ein Schaden die gegenwärtige bzw. zukünftige Leistung einer Komponente oder auch der gesamten Konstruktion. (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 27)

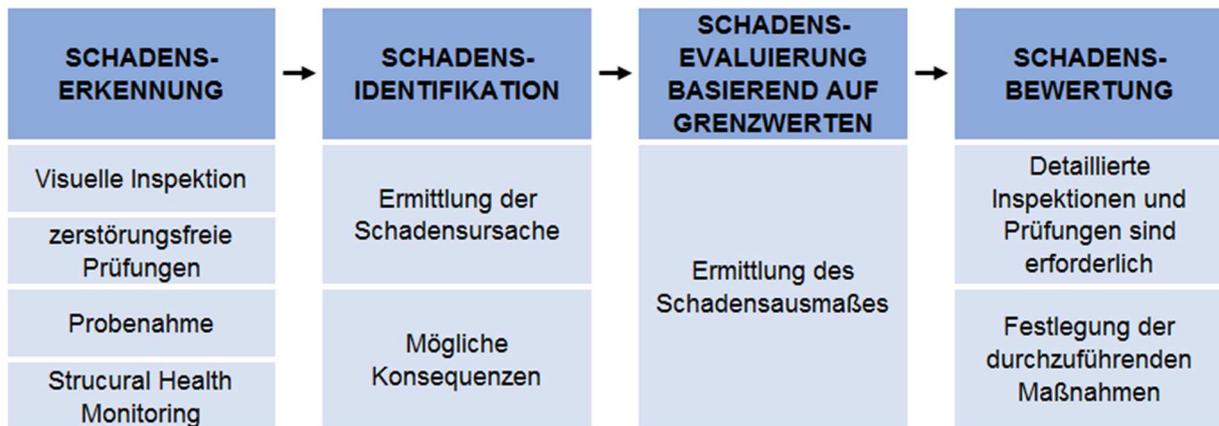


Abbildung 2: Vorgehensweise bei der Schadensüberwachung (Vgl. Strauss u. a., 2016, S.27)

Die vier wesentlichen Ansätze zur Schadenserkenkung sind visuelle Inspektion, zerstörungsfreie Prüfungen, Probenahmen und Structural Health Monitoring. Zusätzlich zur Schadenserkenkung und Charakterisierung, beinhaltet die Schadensidentifikation die Ermittlung der Schadensursache und deren Konsequenzen. Die Schadensevaluierung beinhaltet die Ermittlung des Schadensausmaßes anhand von Grenzwerten. Zur vollständigen Schadensbewertung sind in gegebenen Fällen detailliertere Inspektionen und Prüfungen notwendig, um die entsprechenden erforderlichen Maßnahmen festlegen zu können.

Neben den am häufigsten vorkommenden Schwellenwerten, welche die obere Grenze eines Schadensausmaßes definieren, können Schwellenwerte in der Schadensüberwachung beispielsweise auch die Dauer einer Schadensphase vorgeben, welche Auskunft darüber erteilen, in welcher Phase sich der Schadensfortschritt befindet. Der Fortschritt des Schadens kann gering, mittel oder groß sein. Ein geringer Schaden erfordert einen Schutz von weiterem Fortschreiten, einer mittlerer Schaden verlangt nach einer Routinereparatur und letzterer, ein großer Schaden, benötigt detailliertere Inspektionen und Prüfungen, welche zu den entsprechenden durchzuführenden Maßnahmen führen sollen.

Ein Beispiel für die Kategorisierung eines Schadens als Performance Indikator, unter Rücksichtnahme der entsprechenden Erhebungsmethoden, Performance Thresholds und Evaluierungsmethoden, wird in Tabelle 2 aufgezeigt. Diese Kategorisierung sollte auf der Ebene jeder Brückenkomponente durchgeführt werden, da zum Beispiel Risse unterschiedlich erhoben werden, abhängig davon wo diese situiert sind, von deren Breite, Orientierung und Ursprung.

Tabelle 2: Beispiel für die Kategorisierung von Schäden als Performance Indikatoren für den Betonüberbau (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 28)

SCHADENSART	SCHADENS-INDIKATOR	SCHADENS-ERHEBUNG	SCHADENSGRENZE	SCHADENS-EVALUIERUNG
Abplatzungen	Betroffene Fläche [m ²] + Tiefe [cm]	Visuelle Inspektion + Direkte Messung	Klassen/Maximal-wert	Noten gemäß Schadenshandbuch
Korrosion	Betroffene Fläche [m ²]	Visuelle Inspektion + Direkte Messung	Klassen	Noten gemäß Schadenshandbuch
	Chloridgehalt [%]	Laboruntersuchung von Betonproben	kritischer Wert	Quantitative Analyse
	Prozentanteil des beschädigten Querschnittes 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/Maximal-wert	Noten gemäß Schadenshandbuch
Druchbiegung	langfristige Durchbiegung	Visuelle Inspektion + Direkte Messung	obere Grenze	Überwachung der Entwicklung der Durchbiegung
unzureichende Betondeckung	Betroffene Fläche [m ²]	Visuelle Inspektion + Direkte Messung	Klassen	Noten gemäß Schadenshandbuch
unzureichende Betonqualität	Physikalische Parameter	Probenahme		Probenanalyse
Ermüdung	Schadensgrad	Visuelle Inspektion	Klassen	Schadenskatalog

Zusätzlich sollte der Unterschied zwischen Schadenszustand und Schadensprozess festgestellt werden, wonach Ersterer anhand des Ausmaßes oder Schadensgrades evaluiert wird und Letzterer basierend auf der Phase des Schadensprozesses. Ein Beispiel für einen Schadensprozess ist die Korrosion. Trotzdem wird Korrosion als Schadenszustand aufgrund seines Ausmaßes evaluiert, also zum Beispiel anhand der betroffenen Fläche der Komponente [m²] oder des Prozentanteiles des Querschnittes der beschädigten Bewehrung [%]. Andererseits kann es sein, dass bei der Messung vom Chloridgehalt oder der Karbonatisierungstiefe die aktuelle Phase des Korrosionsprozesses bewertet wird.

Neben der Überwachung von Schäden eines bestimmten Brückenelementes, wird die Funktionalitätsstufe einer Komponente evaluiert. Ein Element befindet sich in bestem Zustand wenn keine Schäden gefunden werden. Es ist funktionstüchtig, wenn sich die Schäden in einer initialen Phase befinden. Die Funktionstüchtigkeit ist nicht eingeschränkt, wenn sich die Schäden auf ein moderates Ausmaß begrenzen. Außer Funktion ist ein Element dann, wenn die Schäden einen hohen Grad und ein hohes Ausmaß aufweisen. (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 27)

2.2.1.2 Sozioökonomische Aspekte

Auf Komponentenebene sind sozioökonomische Aspekte zu berücksichtigen. Das Verhältnis von der Summe der Kosten für Reparaturen von individuellen Schäden und dem Preis für ein neues Element, ist ein Indikator für den generellen Zustand eines Elementes. Der Grenzwert für diesen Indikator kann als quantitative Skala mit Werten, die die Abstufung des Zustandes eines Elementes anzeigt, umgesetzt werden. Für alle Elemente, bei welchen das Verhältnis größer ist als 1,0, wird der Ersatz durch ein neues Element empfohlen. (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 29)

2.2.2 Performance Indikatoren auf Systemebene

Um das Ausmaß der Einschränkung auf die Funktionalität der gesamten Konstruktion durch ein beschädigtes Element zu ermitteln, wird die Bedeutung des Brückenelementes für das gesamte System anhand folgender Kriterien evaluiert: Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit. Qualitative Werteskalen zeigen, wie der Zusammenbruch eines bestimmten Elementes die einzelnen Kriterien beeinflussen kann. Neben technischen Indikatoren, haben nachhaltige und sozioökonomische Indikatoren auf Systemebene einen essentiellen Einfluss auf die Leistungsanforderungen.

Zusätzlich sollten auf dieser Ebene auch Indikatoren bezüglich wissenschaftlicher Errungenschaften wie zum Beispiel im Bereich Prüfung und Monitoring, dynamisches Verhalten und die Zuverlässigkeit von Brückenkonstruktionen eingeschlossen werden. Solche Indikatoren wurden im Zuge der COST Action anhand einer Umfrage über forschungsbasierende Performance Indikatoren erhoben.

Ein Beispiel dafür ist die Zuverlässigkeitsüberwachung von Brücken, die ein entsprechendes Wissen über spezielle, mit Brücken zusammenhängende Eigenschaften erfordert. Solche sind zum Beispiel Steifigkeitsänderungen und lokale Verkehrsbelastungen, welche Untersuchungen wie zusätzliche Inspektionen, Prüfungs- und Monitoringmethoden, anspruchsvolle Modellierungstechniken und die Aktualisierung der Brückendaten betreffend Resistenz und Lasten erfordern.

Forschungsbasierende Indikatoren einschließlich derer, die in der Praxis umgesetzt werden, und jener in deren Entwicklung es sich zu investieren lohnt, haben das Potential existierende strukturelle Leistungsüberwachungsmethoden und das Management von Straßenbrücken auf europäischer Ebene zu verbessern. (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 29)

2.2.2.1 Technische Aspekte

Technische Kriterien auf dieser Ebene sind jene, die im Zusammenhang mit Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit als primäre Performance Goals stehen. Diese werden aktuell bei Inspektionen und Evaluierungsdokumenten verwendet. Basierend auf diesen Kriterien kann entschieden werden, ob ein Versagen eines bestimmten Elementes entweder keinen Einfluss auf die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit einer Brücke hat, ob es Einfluss auf einen Teil der Brückenkonstruktion hat oder ob ein Versagen die gesamte Brücke beeinflusst. (Vgl. Strauss u.a., 2016, S. 29)

2.2.2.2 Nachhaltigkeitsaspekte

Wenn Leistungserfordernisse aufgrund des gegebenen Zustandes über einen gegebenen Zeitraum evaluiert werden, treten Aspekte der Nachhaltigkeit auf. Dauerhaftigkeit kann als nachhaltiges Performance Goal angesehen werden, welches als Kriterium für die Zustandsüberwachung von Brückensubsystemen, also Fahrbahn, Unterbau und Überbau, als auch für die Überwachung des Gesamtbrückenzustandes mit eingeschlossen werden soll.

Basierend auf dem Kriterium der Dauerhaftigkeit, kann festgelegt werden, ob das Versagen eines bestimmten Elementes Einfluss auf die Dauerhaftigkeit von anderen Elementen hat. (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 29)

2.2.2.3 Sozioökonomische Aspekte

Verkehrssicherheit kann als sozioökonomisches Performance Goal angesehen werden. Als Kriterium für die Zustandsüberwachung von Brückensubsystemen oder der gesamten Brücke, wird es in verschiedene Stufen der Einschränkung des Verkehrsflusses eingeteilt, nämlich:

- das Versagen eines bestimmten Elementes hat keinen Einfluss auf den Verkehrsfluss,
- es verursacht Geschwindigkeitsbeschränkungen,
- es verursacht lokale Verkehrsumleitung oder einen kompletten Verkehrsstillstand.

Tabelle 3: Beispiel für die Bedeutung der Funktionalität der Komponenten auf Systemebene nach den verschiedenen Kriterien (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 29)

KRITERIUM DER STRUKTURELLEN SICHERHEIT	KRITERIUM DER VERKEHRSSICHERHEIT	KRITERIUM DER DAUERHAFTIGKEIT
Das Versagen eines bestimmten Elementes...		
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 Brückentragwerkes.	verursacht Geschwindigkeitsbeschränkungen.	wird eine geringere Dauerhaftigkeit der anderen Komponenten verursacht.
hat Einfluss auf das gesamte Brückentragwerk.	verursacht lokale Verkehrsumleitungen.	
	verursacht eine komplette Sperre des Verkehrs.	

Eine weitere Indikator auf Systemebene ist die generelle Zustandsüberwachung der Elemente, welche dazu dient, den Zustand eines Subsystems und damit den Zustand der gesamten Konstruktion zu erheben. (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 30)

2.2.3 Performance Indikatoren auf Netzwerkebene

Auf Netzwerkebene ist das primäre Ziel die Festlegung einer Rangordnung für prioritäre Instandhaltungsmaßnahmen. Diese Rangordnung ist ein essentieller Indikator mit dem Ziel des optimalen Managements von Straßenbrücken.

Die Rangordnung der Instandhaltungsmaßnahmen basiert auf Brückenzustandskontrollen, durchgeführt durch Standardinspektionen und Evaluierungsprozesse mit zusätzlicher Bewertung der Bedeutung der Brücke im Netzwerk.

Brückenzustandsüberwachung beruht auf folgenden vier Kriterien:

1. Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit
2. Dauerhaftigkeit
3. Verkehrssicherheit
4. allgemeiner Brückenzustand

Hingegen wird die Bedeutung einer Brücke im Netzwerk anhand folgender fünf Kriterien erhoben:

1. Straßenkategorie
2. jährlicher durchschnittlicher Tagesverkehr (JDTV)
3. Umleitungsdistanz
4. größte Spannweite
5. Gesamtlänge

Basierend auf Erfahrungen im Brückenmanagement in der Praxis, ist die Gewichtung in der Rangordnung der Instandhaltungsmaßnahmen folgendermaßen aufgeteilt:

- 75% für Brückenzustandsüberwachungen,
- 25% für die Bedeutung der Brücke im Netzwerk

Kriterien für die Zustandsbewertung von Brücken beruhen auf Schadensüberwachungsprozessen, welche auf existierenden Inspektionen und Evaluierungsdokumenten basieren. Eine Möglichkeit der Gewichtung von vier Kriterien hinsichtlich der Brückenzustandsüberwachung, basierend auf praktischen Erfahrungen im Brückenmanagement, wird wie folgt aufgezeigt:

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

Die ersten drei Kriterien hinsichtlich der Bedeutung der Brücke im Netzwerk, also Straßenkategorie, JDTV und Umleitungsdistanz sind unabhängig voneinander und gleichermaßen für die Entscheidung der Brückenwichtigkeit im Netzwerk bedeutsam. Die Kriterien der längsten Spannweite und der Gesamtlänge beschreiben die allgemeinen Anforderungen an das Tragwerk und den Eigentumswert. Deswegen kann deren Einfluss als gleichwertig zu den anderen Kriterien betrachtet werden. Somit ergeben sich die Gewichtungen für diese zu:

- 25% für die Straßenkategorie
- 25% für den JDTV
- 25% für die Umleitungsdistanz
- 12,5% für die längste Spannweite
- 12,5% für die Gesamtlänge

Um die Kriterien gegeneinander abwägen zu können, werden diese anhand von Präferenzfunktionen auf vergleichbare Werte reduziert. (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 30)

2.3 Performance Indikatoren vs. Performance Goals

Die Überlegungen der vorhergehenden Kapitel werden hier durch ein umfassendes Schema, vorgestellt, siehe Abbildung 3.

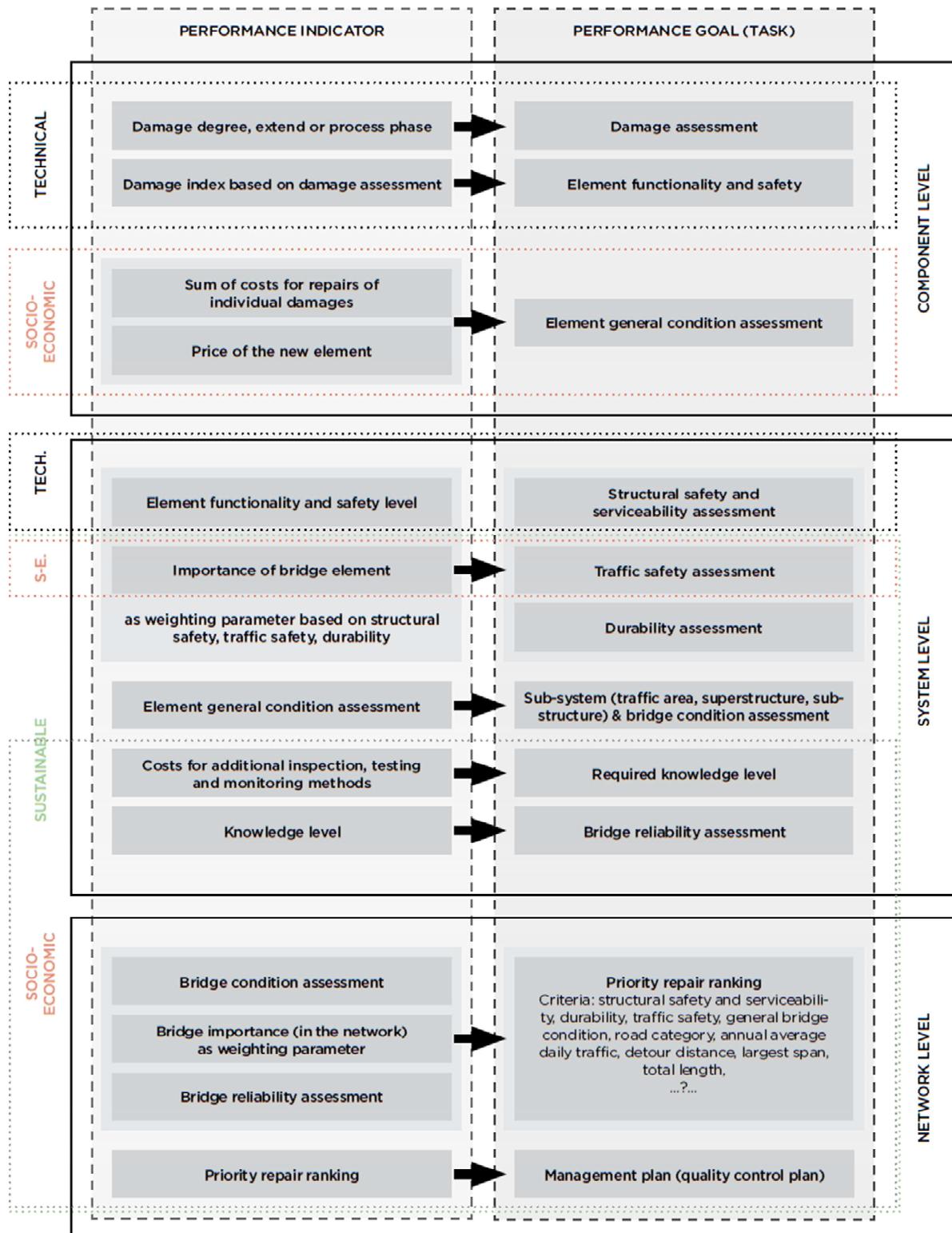


Abbildung 3: Wechselwirkung zwischen Performance Indikatoren und Goals betreffend struktureller Leistung im Brückenmanagement (Strauss u. a., 2016, S.32)

Auf Brückenkomponentenebene (Component Level) ist Schadensassessment eine der ersten Vorgehensweisen. Anhand der Überwachung von Schäden eines bestimmten Brückenelementes, können die Funktionalität der Komponenten und die Sicherheitsstufe evaluiert werden. Auf dieser Ebene werden sozioökonomische Aspekte berücksichtigt.

Das Verhältnis von der Summe der Kosten für Reparaturen von individuellen Schäden zum Preis für ein neues Element ist ein Indikator für den generellen Zustand eines Elementes.

Um das Ausmaß der Auswirkung eines beschädigten Elementes auf die gesamte Struktur (System Level) zu bestimmen, wird die Bedeutung dieses Elementes für die gesamte Struktur gemäß folgender Kriterien beurteilt:

- Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit (Structural Safety and Serviceability)
- Verkehrssicherheit (Traffic Safety)
- Dauerhaftigkeit (Durability)

Die Bedeutung jedes Elementes erhält eine Gewichtung, um den auf Komponentenebene erhobenen Zustand der Elemente auf Systemebene berücksichtigen zu können.

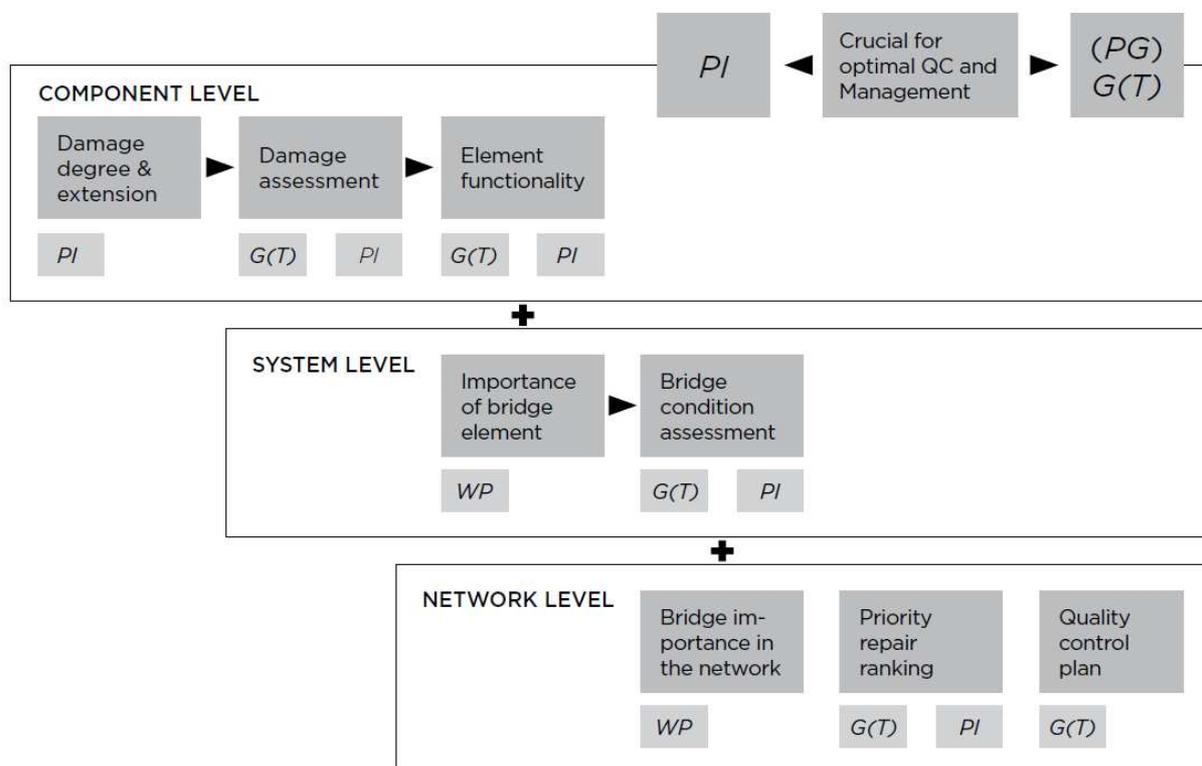


Abbildung 4: Wechselwirkung zwischen Performance Indikatoren - PI , Goals (Tasks) - $G(T)$ und Gewichtungsparametern im Brückenmanagement (Strauss u. a., 2016, S.33)

Die Beurteilung des allgemeinen Zustandes eines Elementes wird von Komponentenebene auf Systemebene gehoben, was dazu beitragen soll den Zustand eines Subsystems und daraus den Zustand der gesamten Brücke abzuschätzen.

Zusätzlich sollten forschungsbasierende Performance Indikatoren bei der Zustandserhebung mit eingeschlossen werden. Ein Beispiel dafür ist die Bewertung der Zuverlässigkeit der Brücke. Diese erfordert ein umfassendes Wissen über die Brücke hinsichtlich ihrer Eigenschaften, wie zum Beispiel Steifigkeitsänderungen und lokale Brückenverkehrslasten,

welche wiederum Investitionen in zusätzliche Inspektionen, Prüfungen, Structural Health Monitoring und Werkzeuge voraussetzen.

Auf Netzwerkebene ist das primär zu erreichende Ziel ein Ranking für prioritäre Instandhaltungsmaßnahmen, gemäß der Zustandsbeurteilung der Brücke, sowie die Bestimmung der Bedeutung der Brücke Netzwerk. Auf dieser Ebene sollten forschungsbasierende Performance Indikatoren (z.B. die Zuverlässigkeitsbeurteilung einer Brücke) aus den vorangehenden Ebenen in das Ranking eingeschlossen werden.

Ein Ranking für die prioritären Erhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen ist gleichzeitig ein grundlegender Indikator für die Erstellung eines optimalen Managementplans für Straßenbrücken.

Es ist offensichtlich, dass eine Interaktion der verschiedenen Typen von Performance Indikatoren unumgänglich ist, deren Kategorisierung aber dazu beiträgt, die Methoden zur Quantifizierung und Festlegung des Ausmaßes an Einfluss auf ein bestimmtes Performance Goal einfacher zu identifizieren.

Andererseits muss festgehalten werden, dass die Kategorisierung in Indikatoren und Ziele (Goals) sehr oft überlappend ist. Im ersten Schritt eines Brückenassessmentprozesses kann ein bestimmter Parameter ein Ziel darstellen und wird im nächsten Schritt zu einem Performance Indikator für ein viel höheres Ziel.

Das erste Ziel bzw. die erste Aufgabe auf Komponentenebene ist es, Schäden zu erheben. Über die Schadenserhebung und die Bewertung eines speziellen Elementes, wird der Schadensindex zu einem Indikator für das nächste Ziel – die Evaluierung der Funktionalität auf Komponentenebene.

Auf Systemebene sind die Funktionalität eines Elementes als Indikator, zusammen mit der Bedeutung des Elementes als gewichteter Parameter, maßgebend für das nächste Ziel – die Brückenzustandsbewertung.

Wird die Brückenzustandsbewertung auf Netzwerkebene gehoben, bildet sich daraus ein Indikator, welcher zusammen mit der Bedeutung der Brücke im Netzwerk als Gewichtungparameter das nächste Ziel beeinflusst – das Ranking für prioritäre Instandhaltungsmaßnahmen. Schließlich wird das Ranking als Indikator für einen Qualitätskontrollplan berücksichtigt. (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 31)

2.4 Zusammenfassung

Performance Indikatoren beschreiben Brückeneigenschaften, von welchen sich auf den Zustand einer Brücke schließen lässt. Sie können in Form eines dimensional Leistungsparmeters oder eines dimensionslosen Leistungsindex ausgedrückt werden. Um Performance Indikatoren evaluieren zu können, bedient man sich sogenannter Performance Thresholds oder diverser Kriterien, welche Grenzwerte darstellen, um zu erkennen ob eine Überwachung notwendig ist oder nicht, zur Bewertung eines Schadensprozesses oder des Zustandes und zur Entscheidungsfindung ob ein Schaden kritisch ist oder nicht. Damit lässt sich feststellen, ob die erforderlichen Performance Goals für die Lebensdauer einer Brücke eingehalten werden. Performance Goals sind die zu erreichenden Eigenschaften einer Brücke, welche anhand der Beurteilung unterschiedlicher Performance Indikatoren evaluiert werden können.

Die Berücksichtigung der Interaktion der diversen Performance Indikatoren einer Brücke ist unumgänglich, allerdings werden diese zur einfacheren Identifizierung der Quantifizierungsmethoden und zur Bestimmung der Größe des Einflusses auf ein Performance Goal in unterschiedliche Kategorien eingeteilt. Die Kategorisierung erfolgt in technische, sozioökonomische und nachhaltige Indikatoren auf Komponenten-, System- und Netzwerkebene.

Auf Komponentenebene sind technische und sozioökonomische Kriterien relevant. Dabei ist die Schadenserhebung und Beurteilung der einzelnen Brückenelemente sowie das Verhältnis von der Summe der Kosten für Reparaturen von individuellen Schäden und dem Preis für ein neues Element von Bedeutung.

Um die Beurteilung der einzelnen Elemente auf Systemebene zu heben, also das Ausmaß der Einschränkung auf die Funktionalität einer gesamten Konstruktion durch ein beschädigtes Element zu ermitteln, wird die Bedeutung des Brückenelementes für das gesamte System anhand diverser Kriterien evaluiert. Diese sind Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit. Zur Beschreibung der genannten Kriterien kommen sowohl technische Indikatoren, als auch nachhaltige und sozioökonomischer Indikatoren zur Anwendung. Aus der Beurteilung der Komponenten und der Gewichtung der Bedeutung der einzelnen Elemente für das Bauwerk kann auf den Gesamtzustand eines Brückenbauwerkes geschlossen werden.

Primäres Ziel auf Netzwerkebene ist die Erstellung einer Rangordnung für prioritäre Erhaltungsmaßnahmen. Diese basiert auf dem allgemeinen Zustand eines Brückenbauwerkes sowie der Bedeutung der Brücke im Netzwerk. Um die Bedeutung der Brücke im Netzwerk feststellen zu können, werden folgende fünf Kriterien evaluiert:

1. die Straßenkategorie
2. der jährliche durchschnittliche Tagesverkehr (JDTV)
3. die Umleitungsdistanz
4. die größte Spannweite
5. die Gesamtlänge der Brücke

Diese Kriterien erhalten ebenfalls Gewichtungen und werden zur Evaluierung gegeneinander abgewogen.

Die Rangordnung für prioritäre Erhaltungsmaßnahmen wird schließlich als Indikator zur Erstellung des Qualitätskontrollplanes berücksichtigt.

3 Erste Umfragen zu Performance Indikatoren

3.1 Einleitung

Straßenbrücken stellen hinsichtlich ihrer Wartung einen der kritischsten Komponenten der Straßeninfrastruktur dar. Performance Indikatoren ermöglichen es, eine Reihe von Zielen in Hinsicht auf die Erstellung eines Qualitätskontrollplanes, der die gewünschte Brückenqualität sicherstellen soll, zu definieren. Diese Pläne variieren von Staat zu Staat und in einigen Fällen auch innerhalb eines Staates. Das führt zu großen Unterschieden in der Qualität von Straßenbrücken. Deswegen hat sich die COST Action TU1406 als Ziel gesetzt, die Zustandsüberwachung und Instandhaltung von Straßenbrücken zu standardisieren, um den europäischen ökonomischen und sozialen Ansprüchen gerecht zu werden. Des Weiteren ist es wichtig in Qualitätskontrollplänen auch neue Indikatoren, bezogen auf nachhaltige Leistung, zu berücksichtigen. Diese werden in Qualitätskontrollplänen aktuell nicht eingesetzt.

Um einen standardisierten Prozess zur Beurteilung von Performance Indikatoren, welche im Qualitätskontrollplan einbezogen werden sollten, und zur Definition von Performance Goals zu entwickeln, ist ein Netzwerk von Experten vonnöten. Solch ein Netzwerk sollte Personen aus verschiedenen Interessensgruppen (wie z.B. Universitäten, Institute, Konsulenten, Betreiber) und aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen (z.B. visuelle Inspektion, Nachhaltigkeit, Tragwerksplanung) beinhalten.

Den Unterschieden in der Erstellung von Qualitätskontrollplänen für Straßenbrücken soll anhand der Entwicklung einer Richtlinie zur Erstellung von Qualitätskontrollplänen entgegengehalten werden. Diese soll spezifische Empfehlungen zur Bewertung von Performance Indikatoren sowie eine Definition der Performance Goals enthalten.

Erstes Ziel der COST Action TU1406 war es nun bereits existierende Daten über Performance Indikatoren zu sammeln, welche eine Beschreibung der Indikatoren, die Art und die Häufigkeit ihrer Überwachung, die Vorgehensweise der Erhebung der Werte im Allgemeinen und generelle Empfehlungen beinhalten sollen.

Dazu wurde eine technische Befragung aller teilnehmenden Länder geplant. Zwei Ziele sollten damit erreicht werden:

1. Daten zu Maßnahmen zu sammeln, welche in Europa betreffend Qualitätsfestlegung für Straßenbrücken ergriffen werden
2. Sammlung von Verbesserungsvorschlägen hinsichtlich der Erstellung von Qualitätskontrollplänen

Dann war es wesentlich sowohl bereits in Anwendung befindliche Dokumente als auch Forschungsdokumente zu durchsuchen, um Performance Indikatoren zu erheben, welche einerseits schon von Straßenbetreibern angewendet werden und solche, die sich immer noch im Entwicklungsstadium befinden und weitere Forschungsarbeiten voraussetzen, bevor diese für die Praxis übernommen und angewendet werden können.

Als Ausgangspunkt wurde beschlossen, Richtlinien und Dokumente zu durchsuchen, welche heutzutage von Brücken- und Straßenbetreibern und Besitzern verwendet werden. Die Gründe für diese Vorgehensweise sind folgende:

1. In den meisten Ländern ist die Leistung von Brücken gut. Das bedeutet, die von den Straßenbetreibern ergriffenen Maßnahmen erfüllen den Zweck der Erhaltung des Bauwerkes.
2. Es ist wichtig zu wissen welche Maßnahmen die Betreiber ergreifen, um deren Prozesse und Regeln zu verbessern und zu optimieren.
3. Die Umsetzung einer einheitlichen Methode in Europa, mit der Flexibilität länderspezifische Anforderungen unterzubringen, erfordert ein Wissen darüber, was im Moment in diesem

Bereich getan wird. Zu viele Änderungen stärken die Abneigung der Brückenbetreiber eine harmonisierte Methode in deren tägliche Arbeit mit einzubeziehen. Des Weiteren soll die neue harmonisierte Methode das Wissen über Brückeninspektion und Instandhaltung, das Betreiber über viele Jahre hinweg gesammelt haben, nicht außer Acht lassen.

3.2 Erste Umfragephase

In der ersten Umfragephase wurde ein Fragebogen mit vordefinierten Performance Indikatoren erstellt. Zusätzlich zum Fragebogen wurde darum ersucht, die für Performance Indikatoren relevanten Phrasen aus den Dokumenten, welche in den jeweiligen Ländern zur Inspektion und Evaluierung von Straßenbrücken verwendet werden, zu markieren und hochzuladen.

Aus der ersten Umfrage ergab sich, dass weitgehende Einigkeit über die maßgebende Relevanz folgender Performance Goals herrscht: jede Brücke sollte sicher sein, tragfähig, für den Benutzer verfügbar, günstig hinsichtlich der Gesamtkosten über die Lebensdauer und umweltfreundlich. Diese Aspekte dienten der Definition der folgenden Performance Indikatoren:

1. Betreffend das Ziel der Sicherheit: der Lastfaktor, der Sicherheitsfaktor, der Zuverlässigkeitsindex im Grenzzustand der Tragfähigkeit
2. Betreffend das Ziel der Gebrauchstauglichkeit: der Zustandsindex, der Zuverlässigkeitsindex im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
3. Betreffend das Ziel der Verfügbarkeit: Stabilität (die Brücke sollte minimal durch äußere Gegebenheiten, die während der Planung nicht explizit berücksichtigt werden, beeinflusst werden), Widerstandsfähigkeit (eine Brücke sollte sich rasch von jeglicher unerwünschten Störung erholen)
4. Betreffend das Ziel der Erschwinglichkeit: die gesamten Lebenszykluskosten, Werte hinsichtlich der Dauerhaftigkeitsaspekte (eine längerlebige Brücke ist eine Brücke mit kostengünstigerer Wartung). Als Beispiele: Diffusionskoeffizient von Chloriden im Beton, Durchlässigkeit der Betondeckung
5. Betreffend das Ziel der Umweltfreundlichkeit: CO₂-Fußabdruck

(Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 12)

3.3 Zweite Umfragephase

Essentiell für das Projekt war es nun weitere Informationen über Performance Indikatoren zu erlangen, sowohl über die, die in der Praxis verwendet werden, als auch die, über die geforscht wird. Deswegen wurde jedes WG-Mitglied ersucht an einem Workshop teilzunehmen und ein Poster oder eine Präsentation mit folgenden Gesichtspunkten zu erstellen:

- Entnahme der wesentlichsten Performance Indikatoren aus den verfügbaren Dokumenten
- Aufzeigen der Aufgaben und der Prozedur zur Erhebung von Performance Indikatoren
- Aufzeigen der Schwellenwerte in Bezug auf jeden Performance Indikator, falls verfügbar
- Aufzeigen der Ziele in Bezug auf jeden Performance Indikator, falls verfügbar
- Charakterisierung, basierend auf der eigenen Erfahrung, ob und in welcher Projektphase die angegebenen oder vorgeschlagenen Performance Indikatoren bereits von Besitzern, Betreibern und Experten angewendet werden
- Charakterisierung der Gruppen der Performance Indikatoren, welche in der Praxis noch nicht verwendet werden und weiterer Untersuchungen bedürfen, um vollständig einsetzbar werden zu können (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 12)

3.4 Erkenntnisse aus den Umfragen

In allen befragten Ländern existieren Richtlinien, Empfehlungen oder Normen, um die Qualitätsstufe von bestehenden Straßenbrücken festzustellen.

Folgende Erkenntnisse und wesentliche Informationen in Bezug auf Performance Indikatoren ergaben sich aus diesen beiden Umfrageprozessen:

1. Eine vollständige Übersetzung der Codes oder Richtlinien, die von Betreibern und Besitzern verwendet werden, von der nationalen Sprache in ein internationales europäisches Format, hat sich als nicht wesentlich herausgestellt, da sich nur einige Seiten dem für das Projekt interessanten Thema widmen (Performance Indikator, Performance Goal,...).
2. Die Nominierung einer verantwortlichen Person zur Sammlung der relevanten Teile der existierenden Richtlinien und deren Übersetzung in die englische Sprache hat sich als weitaus effektiver erwiesen. Die verantwortliche Person muss über ausreichendes Wissen und Erfahrung hinsichtlich Inspektion/Assessment von existierenden Brücken verfügen, um die relevanten Teile zu erkennen.
3. Die Anfrage zur Beantwortung eines Fragebogens und zum Hochladen der relevanten Teile der Dokumente, sowohl der originalen und übersetzten Versionen erwies sich als äußerst effektiv. Dadurch wird die Objektivierung der Übersetzungen unterstützt, da sich herausstellte dass einige Male für dieselben Tätigkeiten oder dasselbe Konzept unterschiedliche englische Übersetzungen verwendet wurden.
4. Aufgrund des Zieles Verbesserungsmaßnahmen und neueste Entwicklungen für die Vorgehensweise der Leistungsbewertung der unterschiedlichen Betreiber und Besitzer vorzuschlagen, wurden zwei Arten von Dokumente untersucht: bereits angewandte Dokumente (verwendet von den unterschiedlichen Einrichtungen in Form von Richtlinien oder Empfehlungen) und Forschungsdokumente.
5. Wegen der unterschiedlichen Sprachen in den beteiligten COST Ländern und den verschiedenen Formaten von beiden Arten von Dokumenten (Richtlinien und Forschungsdokumente), wurde beschlossen für jedes Land Verantwortliche mit folgenden Aufgaben zu nominieren:
 - Eines der beiden Managementkomiteemitglieder, die von jedem teilnehmenden Land nominiert wurden, ist für die Kontaktaufnahme zu Besitzern und Betreibern von Straßenbrücken zuständig, um diese nach verfügbaren, in der Praxis angewandten, Dokumenten zu befragen.
 - Eine Kerngruppe der WG1 wurde erstellt, um Tutorials vorzubereiten, die für das „Screening“ von Dokumenten, das Aufbereiten der gescreenten Dokumente, das Eintragen in die Datenbank und schließlich das Analysieren der Datenbank relevant waren. Letzteres dient der Erhaltung der wesentlichen Ergebnisse und Folgerungen.
 - Eine nominierte für das jeweilige Land verantwortliche Person ist dafür verantwortlich, die in Anwendung befindlichen Dokumente zu sammeln, zu screenen, und aufzubereiten. Dies soll anhand diverser, von der Kerngruppe der WG1 erstellter Richtlinien und Tutorials durchgeführt werden. Diese Person ist ebenso wie die nominierte Person aus dem Managementkomitee dafür verantwortlich die Forschungsgruppe in jedem Land zu identifizieren und diese darum zu bitten, Informationen über neue Vorschläge zu Performance Indikatoren, die sich immer noch in der Forschungsphase befinden, zur Verfügung zu stellen.

Basierend auf den Ergebnissen der ersten Umfrage, wurde beschlossen ein systematisches Screening von Dokumenten, die in praktischer nationaler Inspektion und Evaluierung zur Anwendung kommen, und von Forschungsdokumenten durchzuführen, um auf ausführliche Art und Weise die Verwendung von Performance Index, dem Performance Goal und dem Performance Threshold festzustellen.

Zwei Personen je Land sind in diesen Prozess, der in Verbindung mit den in Anwendung befindlichen nationalen Dokumenten steht, involviert: eines der Managementkomiteemitglieder mit der Verantwortung den Kontakt zur nationalen Straßengesellschaften aufzubauen, um das Screening zu unterstützen und eine national nominierte Person, um das Screening durchzuführen.

Um die Sammlung der Daten aus dem Screening zu erleichtern, wurde eine Excelvorlage erstellt, in die sämtliche relevanten Daten aus den verschiedenen Dokumente einzutragen waren. Auf die Entwicklung und den Aufbau dieser Excelvorlage wird in Kapitel 4 detailliert eingegangen. (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 13)

3.5 Schlussfolgerungen aus den Umfragen

Der Bedarf einer allgemeinen Qualitätsspezifizierung und einheitlichen Kontrollplänen für Straßenbrücken in Europa ergibt sich aus dem existierenden freien Transport von Waren und dem Verkehr zwischen den Ländern der Europäischen Union. Um dieses Ziel zu erreichen ist eine eingehende Analyse der bestehenden Brückeninspektion und Bewertungsstrategien, welche in den europäischen Ländern vorhanden sind vonnöten. Des Weiteren ist es wichtig die maßgebenden Performance Indikatoren zu erheben, um die Qualitätsspezifizierungen definieren zu können.

Ziel ist es, die existierende Straßeninfrastruktur nicht nur aus länderspezifischer, sondern auch aus europäischer Perspektive zu managen.

Eine wesentliche Erkenntnis aus den Umfragen ist die Tatsache, dass der durch visuelle Inspektionen erhobene Zustandsindex, der in der Praxis am meisten verbreitet ist. Viele weitere Indikatoren sind noch in der Forschungsphase, allerdings haben viele Länder auch schon damit begonnen zusätzliche Maße für Leistung auf praktischer Ebene zu verwenden.

Obwohl die COST Action TU1406 eine europäische Initiative ist, können die infolge des Projektes vorgestellte Methoden auch in anderen Teilen der Erde angewendet werden, wo Homogenität bei Qualitätskontrollen von bestehenden Brücken zur Unterstützung der Existenz eines Straßennetzwerkes, das Kommunikation und freien Transport von einer Region in die andere auf sichere, zuverlässige und kosteneffektive Art und Werte erlaubt, erreicht werden soll.

3.6 Zusammenfassung

Um das Ziel der COST Action TU1406 zu erreichen, nämlich die Entwicklung einer Richtlinie für die Erstellung von Qualitätskontrollplänen von Brücken, um deren Qualität auf europäischer Ebene auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen, wurden im ersten Schritt die wesentlichsten Daten über Performance Indikatoren gesammelt.

Durch Umfragen in den teilnehmenden Ländern, wurden die essentiellen Teile aus den von den Ländern bereits zur Qualitätskontrolle angewandten Dokumente erhoben sowie ein Fragebogen zu Performance Indikatoren erstellt. Daraus konnte man feststellen, dass sich die Mitgliedsstaaten hinsichtlich der Bedeutsamkeit folgender Performance Goals einig sind: Sicherheit, Tragfähigkeit, Verfügbarkeit, geringe Kosten und Umweltfreundlichkeit. Aufgrund dieser wesentlichen Leistungsziele, konnten bereits erste Performance Indikatoren identifiziert werden, wie zum Beispiel Stabilität oder CO₂-Fußabdruck.

In der nächsten Umfragephase wurde ein Workshop abgehalten, an dem jedes WG-Mitglied beteiligt war, um folgende Punkte zu definieren:

- wesentliche Performance Indikatoren aus den verfügbaren Dokumenten
- deren Art der Erhebung
- deren Schwellenwerte

- die Feststellung ob diese Performance Indikatoren bereits in Anwendung sind oder sich noch im Forschungsstadium befinden

Aus den Umfragephasen ergab sich dann die weitere Vorgehensweise zur Erhebung der Performance Indikatoren. Es wurde für jedes Land eine Person nominiert, die für die Sammlung sämtlicher relevanter Teile aus in Anwendung sowie in der Forschung befindlicher Dokumenten und deren Übersetzung in die englische Sprache verantwortlich waren. Aus dem „Screening“ dieser Dokumente, versuchte man festzustellen inwiefern und in welchem Zusammenhang der Performance Index, die Performance Goals und die Performance Thresholds verwendet werden.

Zur Erleichterung der Sammlung der Daten wurde eine Datenbank in Form eines Excel Templates erstellt, in die sämtliche relevanten Daten aus den Dokumenten einzufügen waren. Auf Details über die Datenbank, deren Aufbau und die Vorgehensweise beim Eintragen der Daten in diese, wird im nachfolgenden Kapitel näher eingegangen.

4 Datenbank und Glossary

4.1 Einleitung

Aufgrund der ersten Erkenntnisse aus den bereits erwähnten Umfragephasen, schien es sinnvoll eine Datenbank zu erstellen, um einerseits die gesammelten Daten hinsichtlich der Performance Indikatoren in ein einheitliches Format zu bringen und andererseits um ein gewisses Maß an Übersicht im Hinblick auf die beträchtliche Anzahl an Informationen zu gewährleisten. Dadurch sollte es gelingen alle wesentlichen Informationen aus den verfügbaren Dokumenten der Länder zu extrahieren und so aufzubereiten, um diese Informationen zu vergleichen und auszuwerten und somit in weiterer Folge die maßgeblichsten Performance Indikatoren zu identifizieren.

Dafür wurde eine Benutzeroberfläche in Form einer Excelvorlage geschaffen, in die sämtliche Informationen zu den durchsuchten Dokumenten und den gefundenen Performance Indikatoren einzufügen waren. Von den Benutzern der Vorlage war im Vorhinein festzulegen, ob es sich um bereits in Anwendung befindliche Dokumente oder um forschungsbasierende Dokumente handelt. Für erstere wurde die „Operators Database“ erstellt. Diese unterscheidet sich teilweise hinsichtlich ihres Aufbau zur „Research Database“, in welche alle forschungsbezogenen Daten bezüglich Performance Indikatoren einzutragen waren.

Da sich die untersuchten Dokumente hinsichtlich ihres Umfangs an relevanten Informationen deutlich unterscheiden, war eine der wesentlichsten Anforderungen an die Datenbank die Möglichkeit zum Eintrag von uneingeschränkt vielen Datensätzen.

In diesem Kapitel wird der Aufbau der Operators und Research Database erläutert. Zur Unterstützung der Handhabung der Datenbank sowie zur Evaluierung der enthaltenen Daten, wurde ein Tutorial zur korrekten Benützung der Datenbank und ein Glossary erstellt, das sprachliche Hürden hinsichtlich der Übersetzung der gesammelten Informationen überwinden sollte.

4.2 Operators Database

Die Excelvorlage für die Eintragung der Daten aus den Anwenderdokumenten unterteilt sich in vier verschiedene Dokumente:

- Das Dokument in welches die Daten zu den Performance Indikatoren eingetragen werden ist das „Cou_Num“ Sheet.
- Das „Blank“ Sheet dient als Vorlage für die Cou_Num Sheets.
- Das Hintergrunddokument „Names Table“ beinhaltet sämtliche Begriffe zur Beschreibung der Performance Indikatoren.
- Das Sheet „General Data“ beinhaltet die Liste der Dokumente, aus denen die Informationen zu den Performance Indikatoren extrahiert werden.

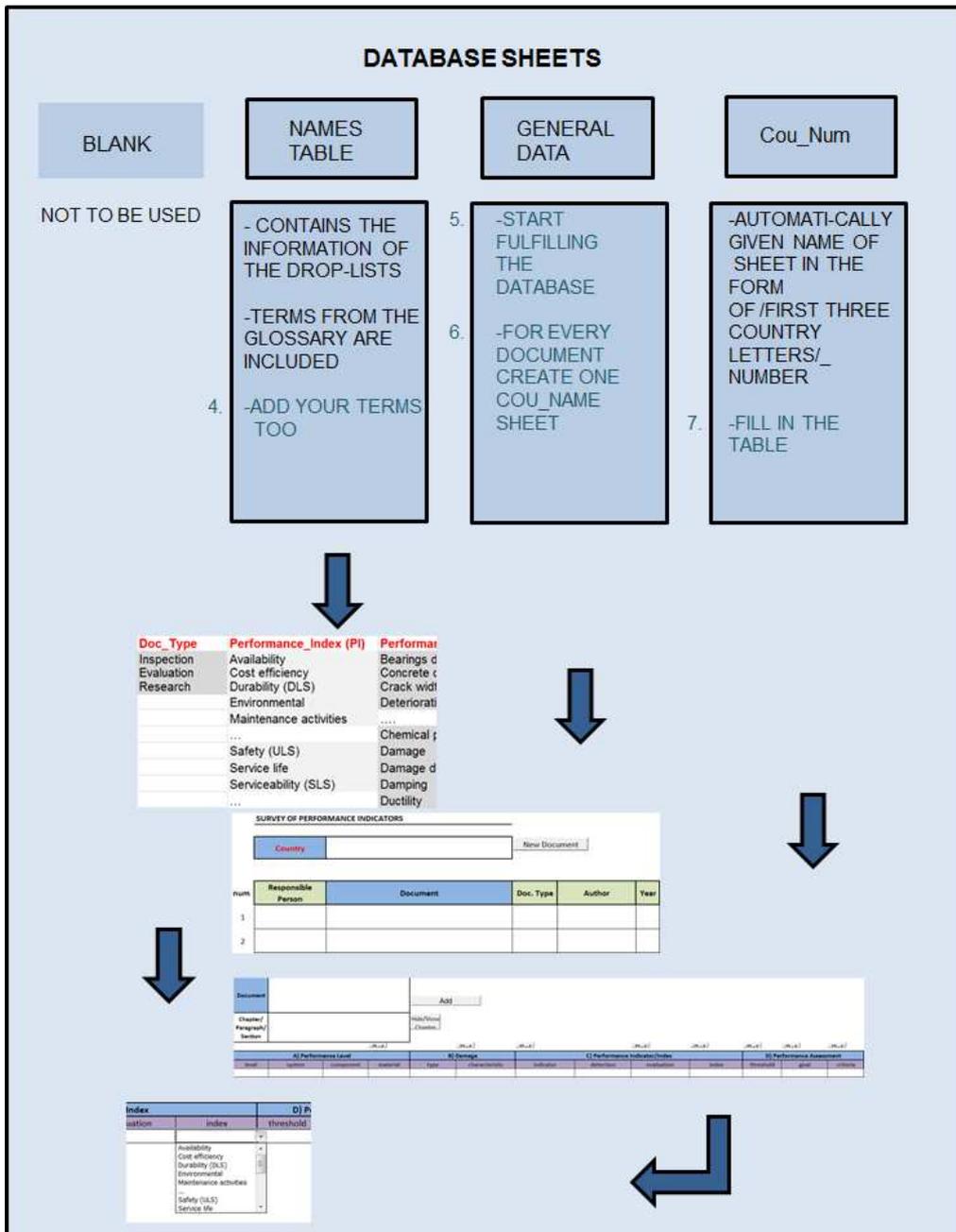


Abbildung 5: Vorgehensweise beim Eintrag in die Datenbank (Vgl. Strauss u. a., 2016, S.16)

In Abbildung 5 ist die Vorgehensweise zum Eintrag in die Excel Sheets der Datenbank aufgezeigt.

Im Sheet General Data (siehe Abbildung 6) werden sämtliche untersuchten Dokumente eingetragen und deren Autor und Erscheinungsjahr angegeben. Weiters wird unterschieden ob es sich um ein Inspektions- oder Evaluierungsdokument handelt, angegeben.

SURVEY OF PERFORMANCE INDICATORS

Country	Austria	New Document
----------------	---------	--------------

num	Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
1		<i>Quality Assurance for Structural Maintenance - Suveillance, Checking and Assessment of Bridges and Tunnels - Bridges</i>	Inspection	BMVIT	2011
2		<i>Repair of concrete structures - National specifications for products and systems for the protection and repair of concrete structures according to ÖNORM EN 1504</i>	Inspection	Austrian Standards Institute	2015
3		<i>Quality Assurance for Structural Maintenance, Structures Data Base, Retaining Wall and Anchored Structures</i>	Evaluation	FSV	2009
4		<i>Evaluation of load capacity of existing railway and highway bridges</i>	Evaluation	Austrian Standards Institute	2014
5					
6					
7					
8					

Blank | Names_Table | **GeneralData** | Aus_1 | Aus_2 | Aus_3 | Aus_4 | (+)

Abbildung 6: Sheet General Data (COST Action TU1406, 2017)

Infolge des Eintrages eines neuen Dokumentes ist es möglich anhand des Buttons „New Document“ ein neues Excel Sheet zu erstellen, in welches die im Dokument enthaltenen Informationen zu Performance Indikatoren eingetragen werden. Diese Sheets werden nach den ersten drei Buchstaben des Landes benannt, von dem der Eintrag durchgeführt wird, weiters wird eine Zahl, in Abhängigkeit der Nummerierung des durchsuchten Dokumentes. angehängt (Cou_1, Cou_2 usw.).

Diese Sheets stellen die wesentliche Benutzeroberfläche der Datenbank dar, da hier alle Informationen zu den gefundenen Performance Indikatoren eingetragen werden. Das Sheet „Blank“ (siehe Abbildung 7) dient als Vorlage für die „Cou_num“ Sheets.

Document											Add		
Chapter/ Paragraph/ Section											Hide/Sho		
	Ref			_Ref_			_Ref_			_Ref_			
	A) Performance Level			B) Damage			C) Performance Indicator/Index			D) Performance Assessment			
	level	system	component	material	type	characteristic	indicator	detection	evaluation	index	threshold	goal	criteria

Blank | Names_Table | GeneralData | Aus_1 | Aus_2 | Aus_3 | Aus_4 | Aus_6 | (+)

Abbildung 7: Blank Sheet als Vorlage für die Cou_num Sheets (COST Action TU1406, 2017)

In den Cou_Num Sheets (siehe Abbildung 8) wird zunächst der Name des untersuchten Dokumentes angeführt und das jeweilige Kapitel aus dem die Informationen gewonnen wurden angegeben.

Die Oberfläche ist in vier Gruppen strukturiert:

- A) Performance Level (Leistungsstufe)
- B) Damage (Schaden)
- C) Performance Indikator/Index
- D) Performance Assessment (Leistungsbewertung)

Unter A) Performance Level wird angegeben, auf welcher Stufe der Performance Indikator relevant ist (Systemebene, Komponentenebene,...), um welche Art von Brücke es sich hinsichtlich ihres Systems handelt (einfeldrige Brücke, Bogenbrücke,...), welcher Teil der Brücke betroffen ist und aus welchem Material die Brücke besteht.

In der Gruppe B) Damage wird der Schaden und die Schadensart (z.B. Schadenszustand, Schadensprozess,...) eingetragen.

Bei C) Performance Indikator/Index werden ebendiese angegeben sowie deren Erhebung und Evaluierung.

Schließlich beschreibt die Gruppe D) Performance Assessment ob der Indikator oder Index anhand Schwellenwerten, Zielen oder Kriterien bewertet wird.

Für jeden Performance Indikator ist eine Zeile vorgesehen, in die alle erhobenen Informationen zum Indikator unter den beschriebenen Gruppen einzutragen sind.

Document	Quality Assurance for Structural Maintenance - Surveillance, Checking and Assessment of Bridges and Tunnels - Bridges																																																																																																																	
Chapter/ Paragraph/ Section	6.5 Substructure																																																																																																																	
				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">A) Performance Level</th> <th colspan="2">B) Damage</th> <th colspan="3">C) Performance Indicator/Index</th> <th colspan="3">D) Performance Assessment</th> </tr> <tr> <th>level</th> <th>system</th> <th>component</th> <th>material</th> <th>type</th> <th>characteristic</th> <th>indicator</th> <th>detection</th> <th>evaluation</th> <th>index</th> <th>threshold</th> <th>goal</th> <th>criteria</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>+</td> <td>Sub_System</td> <td>All bridge types</td> <td>SubStructure</td> <td>Damage_State</td> <td>Settlements</td> <td></td> <td>Visual_Inspection</td> <td></td> <td>Visual appearance</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+</td> <td>Sub_System</td> <td>All bridge types</td> <td>SubStructure</td> <td>Damage_State</td> <td>Displacement</td> <td></td> <td>Visual_Inspection</td> <td></td> <td>Visual appearance</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+</td> <td>Sub_System</td> <td>All bridge types</td> <td>SubStructure</td> <td>Damage_State</td> <td>Torsion</td> <td></td> <td>Visual_Inspection</td> <td></td> <td>Visual appearance</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+</td> <td>Sub_System</td> <td>All bridge types</td> <td>SubStructure</td> <td>Damage_State</td> <td>Scour/Erosions</td> <td></td> <td>Visual_Inspection</td> <td></td> <td>Visual appearance</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+</td> <td>Sub_System</td> <td>All bridge types</td> <td>SubStructure</td> <td>Damage_State</td> <td>Water penetrability</td> <td></td> <td>Visual_Inspection</td> <td></td> <td>Visual appearance</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+</td> <td>Element</td> <td>All bridge types</td> <td>Embankment</td> <td>Damage_State</td> <td>Slides</td> <td></td> <td>Visual_Inspection</td> <td></td> <td>Visual appearance</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								A) Performance Level				B) Damage		C) Performance Indicator/Index			D) Performance Assessment			level	system	component	material	type	characteristic	indicator	detection	evaluation	index	threshold	goal	criteria	+	Sub_System	All bridge types	SubStructure	Damage_State	Settlements		Visual_Inspection		Visual appearance				+	Sub_System	All bridge types	SubStructure	Damage_State	Displacement		Visual_Inspection		Visual appearance				+	Sub_System	All bridge types	SubStructure	Damage_State	Torsion		Visual_Inspection		Visual appearance				+	Sub_System	All bridge types	SubStructure	Damage_State	Scour/Erosions		Visual_Inspection		Visual appearance				+	Sub_System	All bridge types	SubStructure	Damage_State	Water penetrability		Visual_Inspection		Visual appearance				+	Element	All bridge types	Embankment	Damage_State	Slides		Visual_Inspection		Visual appearance			
A) Performance Level				B) Damage		C) Performance Indicator/Index			D) Performance Assessment																																																																																																									
level	system	component	material	type	characteristic	indicator	detection	evaluation	index	threshold	goal	criteria																																																																																																						
+	Sub_System	All bridge types	SubStructure	Damage_State	Settlements		Visual_Inspection		Visual appearance																																																																																																									
+	Sub_System	All bridge types	SubStructure	Damage_State	Displacement		Visual_Inspection		Visual appearance																																																																																																									
+	Sub_System	All bridge types	SubStructure	Damage_State	Torsion		Visual_Inspection		Visual appearance																																																																																																									
+	Sub_System	All bridge types	SubStructure	Damage_State	Scour/Erosions		Visual_Inspection		Visual appearance																																																																																																									
+	Sub_System	All bridge types	SubStructure	Damage_State	Water penetrability		Visual_Inspection		Visual appearance																																																																																																									
+	Element	All bridge types	Embankment	Damage_State	Slides		Visual_Inspection		Visual appearance																																																																																																									

Chapter/ Paragraph/ Section	6.6 Superstructure - 6.6.1 Holztragwerke																																																																																							
				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">A) Performance Level</th> <th colspan="2">B) Damage</th> <th colspan="3">C) Performance Indicator/Index</th> <th colspan="3">D) Performance Assessment</th> </tr> <tr> <th>level</th> <th>system</th> <th>component</th> <th>material</th> <th>type</th> <th>characteristic</th> <th>indicator</th> <th>detection</th> <th>evaluation</th> <th>index</th> <th>threshold</th> <th>goal</th> <th>criteria</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>+</td> <td>Sub_System</td> <td>All bridge types</td> <td>SuperStructure</td> <td>Wood</td> <td>Damage_State</td> <td>Deformation</td> <td></td> <td>Visual_Inspection</td> <td></td> <td>Visual appearance</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+</td> <td>Sub_System</td> <td>All bridge types</td> <td>SuperStructure</td> <td>Wood</td> <td>Damage_State</td> <td>Aggradation</td> <td></td> <td>Visual_Inspection</td> <td></td> <td>Visual appearance</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+</td> <td>Sub_System</td> <td>All bridge types</td> <td>SuperStructure</td> <td>Wood</td> <td>Damage_State</td> <td>Cracks</td> <td></td> <td>Visual_Inspection</td> <td></td> <td>Visual appearance</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>+</td> <td>Sub_System</td> <td>All bridge types</td> <td>SuperStructure</td> <td>Damage_State</td> <td>Coupling joint deficiency</td> <td></td> <td>Visual_Inspection</td> <td></td> <td>Visual appearance</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								A) Performance Level				B) Damage		C) Performance Indicator/Index			D) Performance Assessment			level	system	component	material	type	characteristic	indicator	detection	evaluation	index	threshold	goal	criteria	+	Sub_System	All bridge types	SuperStructure	Wood	Damage_State	Deformation		Visual_Inspection		Visual appearance			+	Sub_System	All bridge types	SuperStructure	Wood	Damage_State	Aggradation		Visual_Inspection		Visual appearance			+	Sub_System	All bridge types	SuperStructure	Wood	Damage_State	Cracks		Visual_Inspection		Visual appearance			+	Sub_System	All bridge types	SuperStructure	Damage_State	Coupling joint deficiency		Visual_Inspection		Visual appearance			
A) Performance Level				B) Damage		C) Performance Indicator/Index			D) Performance Assessment																																																																															
level	system	component	material	type	characteristic	indicator	detection	evaluation	index	threshold	goal	criteria																																																																												
+	Sub_System	All bridge types	SuperStructure	Wood	Damage_State	Deformation		Visual_Inspection		Visual appearance																																																																														
+	Sub_System	All bridge types	SuperStructure	Wood	Damage_State	Aggradation		Visual_Inspection		Visual appearance																																																																														
+	Sub_System	All bridge types	SuperStructure	Wood	Damage_State	Cracks		Visual_Inspection		Visual appearance																																																																														
+	Sub_System	All bridge types	SuperStructure	Damage_State	Coupling joint deficiency		Visual_Inspection		Visual appearance																																																																															

Abbildung 8: Beispiel eines ausgefüllten Cou_Num Sheets (COST Action TU1406, 2017)

Der Eintrag der Begriffe hinsichtlich Informationen zu den Performance Indikatoren in die einzelnen Spalten der Gruppen erfolgt mittels Dropdown Menü, welches mit einer Liste von Begriffen im Names Table verlinkt sind. Die Begriffe im Sheet Names Table sind wiederum mit einem Glossary verknüpft, das in Kapitel 4.4 noch näher erläutert wird. Sollten im Names Table benötigte neue Begriffe noch nicht vorhanden sein, werden diese ins „Damages Sheet“ eingetragen. Auch dies wird im Kapitel 4.4 eingehender behandelt.

In Abbildung 9 ist die Datenstruktur der Operators Database noch einmal übersichtlich dargestellt.

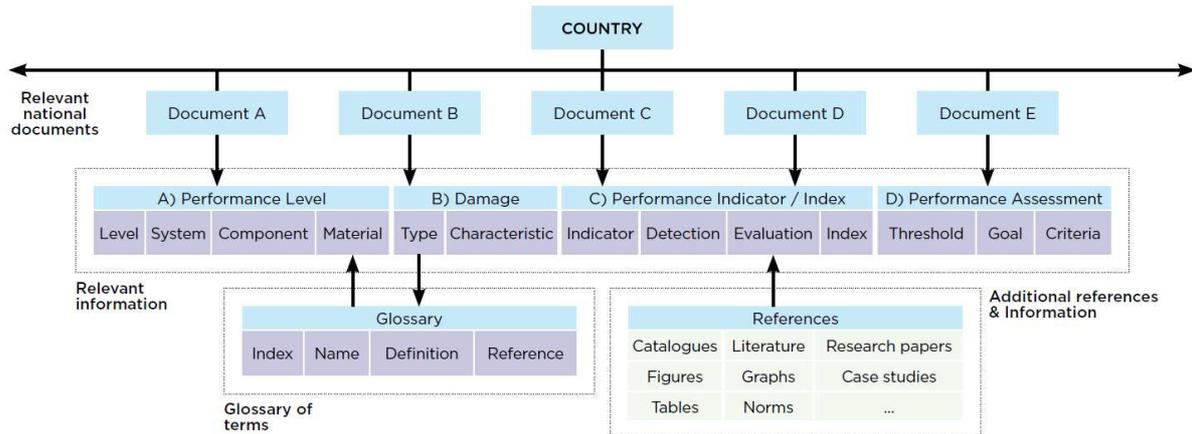


Abbildung 9: Datenstruktur der Operators Database (Vgl. Strauss u.a., 2016, S.14)

4.3 Research Database

Die Datenbank für Informationen über Performance Indikatoren die auf Forschungsdokumenten beruhen, ist ähnlich wie die Operators Database aus den Sheets „Blank“, „Names Table“, „General Data“ und „Cou_Num“ aufgebaut.

Einzig unterscheidet sie sich durch den Aufbau der Cou_Num Sheets, da hier keine Gruppen für die Beschreibung der Performance Indikatoren zur Verfügung gestellt werden, sondern die Indikatoren angeben und darunter Eigenschaften wie die mathematische Formel zur Erhebung des Indikators, der Forschungsreifegrad oder der beabsichtigte Anwendungsbereich aufgelistet werden (siehe Abbildung 10).

SURVEY OF RESEARCH PERFORMANCE INDICATORS	
Article	Assessment of SSI on the longitudinal seismic response of short span bridges
Author	Constantine Chris Spyrakos
Year	1990
Abstract	Current practice usually neglects the effects of soil-structure interaction (SSI) in the seismic analysis and design of bridges. This work attempts to assess the significance of SSI on the seismic response of short span bridges. The focus is placed on pier behaviour, since piers together with the abutments are the most critical elements in securing the integrity of bridge superstructures during earthquakes. The study is based on a simple representation of a soil-bridge pier system, yet one able to capture the effects of the most significant physical parameters. It has been found that SSI greatly affects the dynamic behaviour of bridge piers leading to more flexible systems, increased damping and larger total displacements. Besides a thorough investigation of the relative significance of various physical parameters on the system response, an easy-to-use approach that can be incorporated for a preliminary design of bridges concurrent with the AASHTO specifications is presented. The study concludes that safer and more economical bridge designs can be obtained by properly accounting for SSI.
Journal	Engineering Structures, vol. 12, 1990, pp. 60-66
Keywords	Earthquake, soil-structure interaction, bridges
Performance Indicator	Damping
Type of Indicator	Safety (ULS)
Mathematical Formulation	Page 2 of the paper (not written here because of the mathematical symbols utilized in the formulation not being able to be imported into MS Excel)
Threshold	
Intentions (where to apply)	In order to effectively incorporate SSI interactions
Level of maturity	Practice
Case study	
Performance Indicator	Damping
Type of Indicator	Cost efficiency
Mathematical Formulation	Page 5 of the paper (not written here because of the mathematical symbols utilized in the formulation not being able to be imported into MS Excel)

Abbildung 10: Beispiel für ein ausgefülltes Cou_Num Sheet in der Research Database (COST Action TU1406, 2017)

Ein zusätzlicher Punkt in der Research Datenbank ist die Angabe der Referenzen zum durchsuchten Forschungsartikel. Diese Liste mit Referenzen ist ebenfalls im Cou_Num Sheet anzugeben (siehe Abbildung 11).

References
1 Okamoto, S. Introduction to Earthquake Engineering, University of Tokyo Press, Tokyo, 1984
2 Seismic Design and Retrofit Manual for Highway Bridges, Report No. FHWA-IP-87-6, Federal Highway Administration., May 1987
3 California Department of Transportation, Bridge Design Specifications, Sacramento, CA, 1983
4 Gangarao, H.V.S. "Research in vibration analysis of highway bridges", Shock and Vibration Digest 1984, 6, (9), 17-22
5 Guide Specification for Seismic Design of Highway Bridges, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1983
6 Seismic Design of Highway Bridge Foundations, Report No. FHWA/RD-86/102. Federal Highway Administration, June 1986
7 Chen, M.C. and Penzien, J. 'Nonlinear soil-structure interaction of skew highway bridges', Report No. EERC. 75-4, Earthquake Engineering Research Center. University of California, Berkeley, CA, 1975
8 Spyrakos. C.C. and Antes, H. 'Time domain boundary element method approaches in elastodynamics: a comparative study', Computers and Struct. 1986, 24, 529-535
9 Crouse, C.B., Hushmand, B. and Martin, G.R. 'Dynamic soilstructure interaction of a single span bridge', Earthquake Engng and Struct. Dyn. 1987, [5. 711-729
10 Somaini, D.R. 'Parametric study on soil-structure interaction of bridges with shallow foundations', Proc. 8th World Conf. on Earthquake Engng 1984, 3. 785-792
11 Ghobarah, A. and Ali, H.M. 'Seismic performance of highway bridges', Engng Struct. 1988, 10, (3), 157-166
12 Wolf, J.P. Dynamic Soil Structure Interaction, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1985
13 Craig, R.R. Structural Dynamics, John Wiley, New York, 1981
14 Spyrakos. C.C. "Dynamic behavior of foundations in bilateral and unilateral contact", Shock and Vibration Digest 1988, 20, (8), 3-12
15 Gazetas, G. 'Analysis of machine foundation vibrations: state of the art', Soil Dyn. and Earthquake Engng 1983, 2, 1-42
16 Spyrakos, C.C. and Beskos, D.E. 'Dynamic response of flexible strip-foundations by boundary and finite elements', Soil Dyn. And Earthquake Engng 1986, 5, 84-96
17 Gaitanos, A.P. and Karabalis, D.L. 'Dynamic analysis of 3-D flexible embedded foundations by a frequency domain BEM/FEM', Earthquake Engng and Struct. Dyn. 1988, 16, 653-674
18 Vcletsos, A.S. and Nair, V.V. "Seismic interaction of structures on hysteretic foundations", J. Struct. Div., Proc. ASCE 1975, [01, (ST1) 109-129

Abbildung 11: Beispiel einer Liste mit Referenzen zu einem bestimmten Forschungsdokument (COST Action TU1406, 2017)

4.4 Glossary

Um den Screening Prozess, also das Durchsuchen der für Performance Indikator relevanten Dokumente und deren Eintrag in die Datenbank, zu unterstützen, wurde ein Glossary mit sämtlichen Begriffen im Zusammenhang mit den Kategorien Performance Indikatoren, Performance Goals, Performance Thresholds, Performance Criteria und Performance Methods erstellt. Die Vorgehensweise zum Eintrag ins Glossary ist in Abbildung 12 dargestellt.

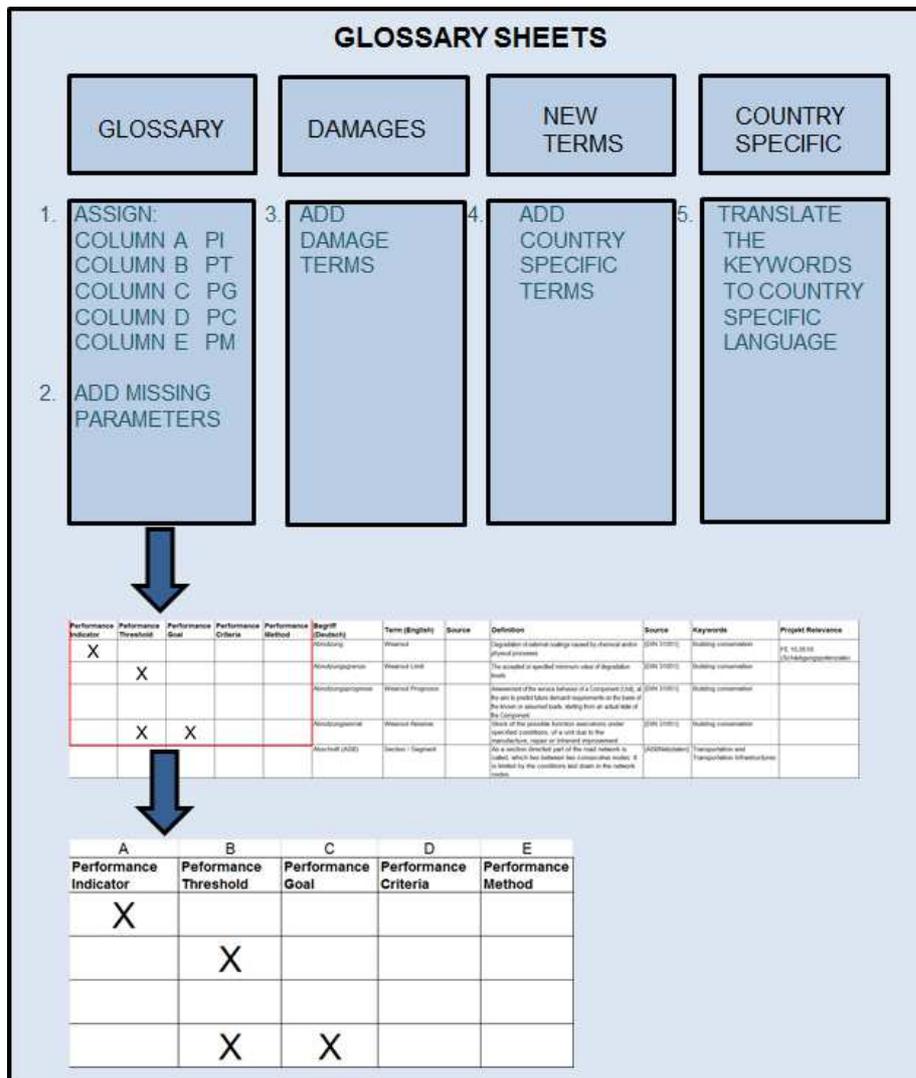


Abbildung 12: Vorgehensweise beim Eintrag ins Glossary (Vgl. Strauss u.a., 2016, S.16)

Die Begriffe werden von der Landessprache in die englische Sprache übersetzt, anhand einer kurzen Beschreibung definiert und einer der genannten Kategorien zugeteilt (siehe Abbildung 13).

Performance Indicator	Performance Threshold	Performance Goal	Performance Criteria	Performance Method	Begriff (Deutsch)	Term (English)	Definition	Source	Keywords	Projekt Relevance
X					Abnutzung	Wearout	Degradation of external coatings caused by chemical and/or physical processes.	[DIN 31051]	Building conservation	FE 15 0510 (Schädigungspotenziale)
	X				Abnutzungsgrenze	Wearout Limit	The accepted or specified minimum value of degradation levels	[DIN 31051]	Building conservation	
					Abnutzungsprognose	Wearout Prognosis	Assessment of the service behavior of a Component (Unit), at the aim to predict future demand requirements on the basis of the known or assumed loads, starting from an actual state of the Component.	[DIN 31051]	Building conservation	
	X	X			Abnutzungs-vorrat	Wearout Reserve	Stock of the possible function executions under specified conditions, of a unit due to the manufacture, repair or inherent improvement.	[DIN 31051]	Building conservation	
					Abschnitt (ASB)	Section / Segment	As a section directed part of the road network is called, which lies between two consecutive nodes. It is limited by the conditions laid down in the network nodes.	[ASBNetzdaten]	Transportation and Transportation Infrastructures	
					Adaption	Adaption	In the art "adaptation" means the ability of a mechanical or electrical system, to respond intelligently and adapt (Adaptive Systems). The adaptation or updating of the status review of a component or structure (system), including any information obtained by a structure, is also referred to as adaptation. In a model adaptation (model updating) the unknown parameters of a model of this structure	[ScKK12, FST512]	Modeling	FE 15 0509 (Machbarkeitsstudie) FE 15 0508 (Bewertung)

Abbildung 13: Auszug aus dem Sheet „Glossary“ (COST Action TU1406, 2017)

Während des Screening Prozesses war es essentiell das Glossary aktuell zu halten. Hintergedanke ist, dass jedes Mitgliedsland nationalspezifische Informationen in der eigenen Sprache hinzufügt und diese auf Englisch übersetzt. Das Glossary fungiert als Hintergrunddokument, dessen Definitionen die Operators Database unterstützen sollen. Das Sheet „Names Table“ aus der Operators Database steht in direktem Zusammenhang mit dem Glossary.

Neben dem Glossary mit den Begriffen, wurde ein „Damages“ Sheet erstellt (siehe Abbildung 14). In dieses Sheet konnten von den Ländern nationale Schadensbegriffe eingetragen werden, welche im Glossary noch nicht enthalten waren. Auch hier wurde der Begriff in der landeseigenen Sprache angegeben und auf Englisch übersetzt. Des Weiteren sollte hier auch Quelle des Begriffes angegeben werden.

Begriff (Deutsch)	Term (English)	Source
Abdeckblech mangelhaft	Cover deficiency	Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Abdeckplatten locker		Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Abdeckung fehlt		Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Abdeckung mangelhaft		Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Ableitungslage ungünstig		Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Abplatzungen	Spalling	Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Abplatzungen mit freiliegender Bewehrung	Spalling with exposed reinforcement	Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Abrieb		Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Absenkung fehlt		Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Absplinterungen	Split-off	Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Anker mangelhaft	Anchor deficiency	Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Ankerköpfe mangelhaft	Anchor heads' deficiency	Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Ankerstangen/-litzen	Anchor rods / strands	Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Anlandungen	Aggradation	Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Anschlüsse mangelhaft		Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Anstrich mangelhaft	Coating deficiency	Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11
Arbeitsfugen undicht	Leaking construction joints	Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Bauwerksdatenbank - RVS 13.04.11

Abbildung 14: Auszug aus dem Sheet „Damages“ (COST Action TU1406, 2017)

4.5 Tutorial

Als weiteres Dokument zur Unterstützung des Screening Prozess wurde ein Tutorial erstellt.

Dieses beinhaltet Erklärungen zur Datenerhebung und erläutert den Prozess des Eintragens in die Datenbank. Es wird darin detailliert darauf eingegangen, wie die Datenbank und das Glossary richtig anzuwenden sind und stellt dies anhand von Beispielen dar (siehe Abbildung 17).

EXAMPLE 1 – Austrian document

Firstly, the table in the *GeneralData* sheet is fulfilled (Figure 7). After a selection of a “New Document” button, a new sheet *Aus_1* is created.

SURVEY OF PERFORMANCE INDICATORS

Country	Austria	New Document
----------------	---------	--------------

num	Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
1	Alfred Strauss	<i>Quality Assurance for Structural Maintenance Surveillance, Checking and Assessment of Bridges and Tunnels Road Bridges</i>	Inspection	Bundesministerium für Verkehr, Innovation and Technologie	2011
2					
3					

Figure 7. First example – Austrian document to be screened

An exact Section of the document has been assigned and the new Paragraph table added.

Document	<i>Quality Assurance for Structural Maintenance Surveillance, Checking and Assessment of Bridges and Tunnels Road Bridges</i>	Add Chapter/Paragraph
Chapter/ Paragraph/ Section	6.5 Unterbau - 6.5.1 Lagemäßige Veränderung der Pfeiler, Wiederlager und Flügel	Hide/Show Chapter

Figure 8. First example – Austrian document – beginning of the screening

Abbildung 17: Auszug aus dem Tutorial: Beispiel für die Vorgehensweise beim Eintrag in die Datenbank (COST Action TU1406, 2017)

4.6 Zusammenfassung

Um eine übersichtliche Sammlung der Daten aus angewandten und forschungsbasierenden Dokumenten in Bezug auf Performance Indikatoren sicherzustellen, wurden Datenbanken erstellt, in welche sämtliche Informationen dazu einzutragen waren. Hierzu diente sowohl die Operators Database, als auch die Research Database. In Ersterer wurden alle Daten zu in Anwendung befindlichen Dokumenten eingefügt, in Letztere alle Daten aus den durchsuchten Forschungsdokumenten. Beide Datenbanken sind vom Aufbau her ähnlich und wurden als Excelvorlage erstellt. In diese konnten innerhalb verschiedener Gruppen sämtliche Eigenschaften zu den gefundenen Performance Indikatoren angegeben werden.

Um den Eintrag in die Datenbank zu erleichtern, wurde ein Glossary mit Performance relevanten Begriffen erstellt, welche auf Englisch übersetzt und mit einer Definition versehen

wurden. Aus diesem Begriffen konnte man in der Datenbank mittels Drop down Menü auswählen und den Performance Indikatoren zuordnen. Zusätzlich war es möglich im Glossary neue, noch nicht darin vorhandene Begriffe hinzuzufügen und zu erklären.

Zur korrekten Handhabung der Datenbank und des Glossarys, wurde ein Tutorial zur Verfügung gestellt. Dies beschreibt die Vorgehensweise in der Erhebung und der Eintragung von Informationen in die Datenbank anhand von Beispielen.

Aufgrund der Standardisierung der Erhebung und Sammlung von Daten, war es möglich diese einfacher miteinander zu vergleichen und zu evaluieren und erlaubte es den zum Screenen Nominierten Personen, auf eine zielführende Art und Weise vorzugehen, um die erhobenen Performance Indikatoren auf einen gemeinsam Nenner zu bringen.

5 Screening

5.1 Einleitung

Anhand der im letzten Kapitel vorgestellten Datenbank, und den unterstützenden Hilfsmitteln Glossary und Tutorial wurde nun von jedem Mitgliedsland das Screening von Dokumenten, die von Betreibern, Besitzern, Instituten usw. zur Verfügung gestellt wurden durchgeführt. Dazu wurden für jedes Land Personen nominiert, die für die Durchsuchung der relevanten Dokumente verantwortlich waren.

In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise bei der Erhebung der in Österreich vorhandenen Dokumente und der darin enthaltenen relevanten Informationen erläutert. Anschließend werden die Erkenntnisse und Ergebnisse aus den Datenbanken aller Mitgliedsstaaten zusammengefasst.

5.2 Screening der österreichischen Dokumente

5.2.1 Verwendete Dokumente

Die in Österreich für die Qualitätskontrolle von Brücken relevanten Dokumente, wurden bereits in der Einleitung in Kapitel 1.4 vorgestellt. Diese sind:

- ONR 24008 „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken“
- ÖBV Richtlinie „Erhaltung und Instandsetzung von Bauwerken aus Beton und Stahlbeton“
- ÖNORM B 4706 „Instandsetzung von Betonbauwerken; Nationale Festlegungen für Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betonbauwerken gemäß ÖNORM EN 1504“
- RVS 13.03.01 „Qualitätssicherung bauliche Erhaltung; Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten; Monitoring von Brücken und anderen Ingenieurbauwerken“
- RVS 13.03.11 „Qualitätssicherung bauliche Erhaltung; Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten; Straßenbrücken“
- RVS 13.04.01 „Qualitätssicherung bauliche Erhaltung; Bauwerksdatenbank; Allgemeiner Teil“
- RVS 13.04.13 „Qualitätssicherung bauliche Erhaltung; Bauwerksdatenbank; Mauern und geankerte Konstruktionen“
- RVS 13.05.11 „Qualitätssicherung bauliche Erhaltung; Lebenszykluskostenermittlung“

Im Zuge des Screenings von österreichischen Dokumenten wurden ausschließlich Dokumente verwendet, die bereits in der Praxis Anwendung finden.

5.2.2 Vorgehensweise

Alle oben aufgelisteten Dokumente wurden zusammengetragen und anschließend sorgfältig auf Informationen hinsichtlich Performance Indikatoren untersucht. Nicht in allen diesen Richtlinien bzw. Normen konnten relevante Informationen gefunden werden. Zudem unterschieden sie sich hinsichtlich der Menge und des Inhaltes an Informationen im Zusammenhang mit Performance Indikatoren.

Insgesamt konnten aus vier der genannten Dokumente Informationen extrahiert werden. Diese sind folgende:

- RVS 13.03.11: Aus dieser RVS konnten sehr detaillierte Informationen über unterschiedliche Performance Indikatoren entnommen werden. Im Dokument gefundene Schäden waren unter anderem Risse, Korrosion, Abplatzungen und Frostschäden, die dazugehörigen angeführten Performance Indikatoren sind Rissweite, physikalische Parameter und Zustandsverschlechterung.
- ÖNORM B 4706: Der ÖNORM konnten im Vergleich weniger neue Informationen entnommen werden, manche Inhalte waren bereits in der RVS enthalten, wie z.B. die Schadensbilder Risse und Korrosion.
- RVS 13.04.13: Hier waren eine ganze Reihe an Schadensarten enthalten, allerdings waren zu den Indikatoren weder deren Erhebungsart noch deren Beurteilungsweise angeführt.
- ONR 24008: Es wurde eine geringe Zahl an Indikatoren erhoben, welche zum Großteil schon aus vorhergehenden Dokumenten extrahiert werden konnten. Aus der ONR 24008 konnten zu den Indikatoren weder deren Erhebung noch die Art der Beurteilung entnommen werden.

Insgesamt wurden mehr als 200 Performance Indikatoren in die österreichische Datenbank eingetragen. Gemein haben alle durchsuchten Dokumente, dass hinreichende Informationen zu den in der Datenbank angeführten Kategorien Performance Level, Damages und Performance Indikator/Index vorhanden waren und eingetragen werden konnten, allerdings kaum Informationen zum Thema Performance Assessment enthalten waren. Viele Schadensarten wurden auch mehrmals in unterschiedlichen Zusammenhängen angeführt.

5.3 Ergebnisse

Neben der österreichischen Datenbank wurden noch 30 weitere fertiggestellte Datenbanken eingereicht (siehe Tabelle 4). Die Liste mit den untersuchten Dokumenten der jeweiligen Staaten ist im Anhang zu finden.

Tabelle 4: Liste der Länder, die den Screening Prozess abgeschlossen haben (Vgl. Strauss u. a., 2016, S.19)

Austria	Lativa
Bosnia and Herzegovina	Lithuania
Croatia	Luxembourg
Czech Republic	Netherlands
Denmark	Norway
Estonia	Poland
Finland	Portugal
France	Serbia
Macedonia	Slovakia
Germany	Slovenia
Greece	Spain
Hungary	Sweden
Iceland	Switzerland
Ireland	Turkey
Israel	United Kingdom
Italy	

Wie erwartet waren die von Ländern bereitgestellten Informationen sehr heterogen, trotz des Tutorials, das das Eintragen in die Datenbank erleichtern sollte. Es gab Missverständnisse über die Definition von Performance Indikatoren und deren Erhebung. Beispielsweise sind Korrosion oder Betonabplatzungen keine Performance Indikatoren, allerdings kann deren Ausmaß verwendet werden, um die Leistung einer Brücke zu beurteilen. Deswegen wurden weitere Prozesse, wie die Homogenisierung der Daten durchgeführt, welche in Kapitel 6 vorgestellt werden.

Der am häufigsten verwendete Performance Indikator ist der Zustandsindex bzw. in anderen Ländern auch Zustandsbewertung oder Verschleißindex genannt. Dieser wird hauptsächlich anhand visueller Inspektionen erhoben. Alle befragten Länder haben einen Performance Indikator in Verbindung mit diesem Thema. In manchen Ländern ist dies sogar der einzige Indikator der in der Praxis von Brückenbetreibern verwendet wird.

Dänemark und die Niederlande haben damit begonnen auch andere relevante Indikatoren für die Brückenbewertung zu verwenden, welche von Brückenbetreibern festgelegt wurden. In Dänemark sind beispielsweise die Konzepte der verbleibenden Lebensdauer, der Sicherheitsindex der Zuverlässigkeit, die Schadensanfälligkeit und die Robustheit hinzugekommen. In den Niederlanden wird die Leistung anhand von Begriffen wie Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit bzw. Risiko gemessen. Das Konzept des Risikos wird zur Definition von neuen Indikatoren verwendet: der soziale Indikator (z.B. die Gesundheit der Brückenarbeiter), der Umweltindikator, der ökonomische Indikator und der politische Indikator.

Bei der ersten Durchsicht der Hintergrunddokumente des Screenings und der Datenbank für Performance Indikatoren, konnten folgende Fakten festgestellt werden:

Inspektions- und Überwachungsstrategien in Zusammenhang mit Performance Indikatoren:

- Inspektion und Überwachungsstrategien für existierende Brücken haben das Ziel der Evaluierung der Tragsicherheit und der Zuverlässigkeit, mit dem obersten Ziel die Verkehrssicherheit zu bestimmen
- Überwachungs- und Evaluierungsmaßnahmen werden aufgrund der Verbesserung des Verständnisses des Zustandes eines Tragwerkes empfohlen und um Schäden durch spezielle Inspektionen zeitgerecht zu identifizieren und lokalisieren. Das Ziel ist die Sicherstellung der gewünschten Leistung über die gesamte Lebensdauer.
- Die Grundlage jeder Art von Überwachung ist eine detaillierte Inspektion. Solche Inspektionen können in hinsichtlich deren zeitlicher Abstände der Durchführung in vier Kategorien unterteilt werden: 1) Visuelle Inspektion auf jährlicher Basis, 2) einfache Prüfungen, z.B. drei Jahre nach jeder Hauptinspektion, 3) in die Tiefe gehende Untersuchungen oder Hauptinspektionen, z.B. alle sechs Jahre, 4) Spezielle Inspektionen aufgrund außergewöhnlicher Einwirkungen oder Vorfällen
- Im Falle von Defekten oder Mängeln, müssen spezielle Inspektionen und weiterführende Tests oder Prüfungen durchgeführt werden. Diese haben das Ziel zu überprüfen, ob die Defekte einen Einfluss auf die Tragfähigkeit des Tragwerks hat. Auf dieser Basis wird entschieden, ob die Defekte oder Mängel repariert werden müssen und wann die nächste Instandhaltungsmaßnahme durchgeführt werden soll. Im Allgemeinen sollten eingehendere Prüfungen innerhalb eines Intervalls von sechs Jahren durchgeführt werden.

Überwachung im Zusammenhang mit Performance Indikatoren:

- Das Ziel der Überwachung besteht darin, sowohl die Zuverlässigkeit als auch die Verfügbarkeit von Tragelementen und des gesamten Systems zu gewährleisten. Die Ergebnisse aus individuellen Überwachungsarbeiten kann in ein allgemeines und objektivierte Evaluierungssystem umgewandelt werden, beispielsweise über eine

Evaluierungsmatrix. Die Schlüsselemente eines Evaluierungssystems sind die Beurteilungen von jeglichen Einschränkungen der Funktionalität und den Entscheidungen hinsichtlich notwendiger Maßnahmen.

- Die Überwachung von Tragwerken ist eine zerstörungsfreie Methode um den Zustand einer Struktur zu bewerten, welcher auf den erhobenen Daten beruht. Die Methoden können entweder manuell oder mathematisch anhand definierter Intervalle angewendet werden. Die gesammelten Daten können entweder die Lasten oder den Widerstand beschreiben. In Abhängigkeit von der Bewertungsaufgabe können verschiedene physikalische Werte in unterschiedlichen Intervallen gesammelt werden. Der Vorteil der Strukturüberwachung liegt in der Tatsache, dass verschiedene Informationen über physikalische Werte über einen längeren Zeitraum innerhalb definierter Intervalle erhoben werden. Das ermöglicht unter bestimmten Umständen Prognosen über das zukünftige Verhalten der physikalischen Werte eines Tragwerkes. Zudem kann jede Änderung eines physikalischen Wertes festgestellt werden.
- Überwachungsaktivitäten können auf keinen Fall detaillierte strukturelle Inspektionen ersetzen. Überwachungen sollten immer ergänzend zu Inspektionen durchgeführt werden und zusätzliche Informationen über individuelle physikalische Parameter bezüglich der Vorschreibung von Wartungsarbeiten bereitstellen.

Bewertungsindex im Zusammenhang im Performance Indikatoren:

- In vielen Mitgliedsländern der COST Action TU1406 treten ähnliche Bewertungssysteme zur Evaluierung der Leistung eines Tragwerkes auf. Ein Beispiel dafür ist ein Schulnotensystem mit Bewertungen von 1-5, wie es auch in der RVS 13.03.11 vorgeschrieben wird (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Beispiel eines Benotungssystems (Vgl. Strauss u. a., 2016, S.21)

Bewertungsindex	Beschreibung
1	Kein oder geringer Schaden, normale altersbedingte Abnutzungen, ästhetischer Schaden. Keine Minderung der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und der prognostizierten Lebensdauer. Keine Maßnahmen erforderlich.
2	Geringer Schaden, Produktionsfehler ohne Anzeichen einer weiteren Verschlechterung. Keine Verringerung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Wenn keine passenden Maßnahmen durchgeführt werden, wird sich die Lebensdauer verkürzen. Reparaturmaßnahmen werden im Zuge der nächsten Wartungsarbeiten durchgeführt.
3	Moderater bis schwerer Schaden ohne Einschränkung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Zeichen der Minderung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Mittelfristige Wartungs- und Reparaturmaßnahmen sind notwendig, um die Gebrauchstauglichkeit und die erwartete Lebensdauer zu bewahren.
4	Schwerer Schaden ohne Einschränkung der Tragfähigkeit. Verminderung der Gebrauchstauglichkeit und der erwarteten Lebensdauer kann erkannt werden. Wartungsmaßnahmen müssen sobald als möglich eingeleitet werden, um die Gebrauchstauglichkeit und die geplante Lebensdauer sicherzustellen. Solche Maßnahmen können durch zusätzliche spezielle Inspektionen innerhalb eines definierten Zeitraumes ersetzt werden.
5	Extremer Schaden mit Einfluss auf die Tragfähigkeit. Reparatur- und Wartungsmaßnahmen müssen umgehend durchgeführt werden.

5.4 Zusammenfassung

Das Screening der Performance relevanten Dokumente wurden von Verantwortlichen der jeweiligen Mitgliedsländer der COST Action TU1406 durchgeführt.

Beim Screening der österreichischen Dokumente wurden zunächst alle Normen und Richtlinien gesammelt, die Informationen zur Leistungsbewertung von Brücken beinhalten könnten. Danach wurden alle diese Dokumente sorgfältig gesichtet und die relevanten Teil in die österreichische Datenbank eingetragen. Es konnten Informationen aus insgesamt vier verschiedenen Dokumenten entnommen werden.

Nach Fertigstellung des Screenings wurden die zur Verfügung gestellten Daten aller Länder verglichen und erste Erkenntnisse zu Performance Indikatoren festgestellt. Wie erwartet waren die Daten sehr heterogen und es schien teilweise Missverständnisse hinsichtlich der Definition der Performance Indikatoren zu geben. Der Indikator den fast alle Länder gemein hatten ist der Zustandsindex, welcher in manchen Ländern sogar als einziger Indikator verwendet wird. Andere Länder haben aber bereits damit begonnen auch weitere Performance Indikatoren anzuwenden, wie z.B. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit.

Um die Daten der Mitgliedsländer zu homogenisieren, wurden weitere Schritte eingeleitet, auf welche im nächsten Kapitel näher eingegangen wird.

6 Homogenisierung und Kategorisierung der Daten

6.1 Einleitung

Nach der Sammlung der Inputs der verschiedenen Länder, basierend auf dem Screening der Inspektions- und Evaluierungsdokumente bezüglich Brückeninstandhaltung, Beurteilung und Management, wurde festgestellt, dass die Ergebnisse teilweise sehr heterogen sind und eine hohe Anzahl an Überlappungen aufweisen. Diese Heterogenität ergibt sich vor allem aus dem uneingeschränkten Interpretationsspielraum und dem unterschiedlichen Knowhow der Experten hinsichtlich visueller Inspektion, Leistungsevaluierung, Leistungsbewertung und Entscheidungsfindung. Zudem ist es nicht ungewöhnlich, dass verschiedene Brückenbetreiber im gleichen Land unterschiedliche Ansätze im Brückenmanagement verwenden. Trotz dessen, werden im Allgemeinen fast überall die gleichen Arten von Schäden berücksichtigt und die Brückeninspektion anhand von Teilelementen durchgeführt.

Deswegen war eine kritische Durchsicht der Beiträge der COST Länder in Hinsicht auf Inhalt und Definitionen erforderlich. Dieses Kapitel stellt die Vorgehensweise bei der Homogenisierung der Begriffe, welche in der Performance Indikator Datenbank verwendet wurden, und in weiterer Folge deren Reduzierung auf die relevanten Performance Indikatoren dar.

6.2 Homogenisierung

Um die gesammelten Daten der Mitgliedsländer der COST Action zu homogenisieren, wurden die Performance Indikatoren zunächst in Gruppen unterteilt. Die Gruppierungen sollten es erlauben, die Methoden und Prozesse zur Identifizierung und Quantifizierung von Performance Indikatoren einfacher festzustellen sowie zu definieren, auf welcher Ebene die Performance Indikatoren zu seinem bestimmten Performance Goal beitragen.

Die Gruppen wurden in Bezug auf die Performance Indikatoren (PI) wie folgt festgelegt (siehe auch Tabelle 6):

- Defects (Mängel bzw. Schäden)
- Related to loads (PI hinsichtlich Lasten)
- Related to cost and importance (PI hinsichtlich Kosten und Bedeutung)
- Related to rating (PI hinsichtlich Bewertung)
- Environmental based (PI basierend auf Umwelt)
- Related to dynamic behaviour (PI hinsichtlich dynamischem Verhalten)
- Related to original construction and design (PI hinsichtlich ursprünglichem Tragwerk und Design)
- Related to bearing capacity, structural integrity und joints (PI hinsichtlich Tragfähigkeit und struktureller Integrität)
- Related to geometry changes (PI hinsichtlich geometrischer Veränderungen)
- Related to equipment und protection (PI hinsichtlich Ausrüstung und Sicherung)
- Related to material properties (PI hinsichtlich Materialeigenschaften)

Tabelle 6: Auszug aus der Liste der gruppierten Performance Indikatoren (Vgl. Strauss u.a., 2016, S.24)

defects	related to material properties	related to equipment & protection	geometry changes	related to bearing capacity, structural integrity and joints	related to original construction and design	related to dynamic behaviour	environmental based (common appearance)	rating	cost and importance	loads
abrasion	acids attacks	absence (missing) of equipment component	buckling	absent (missing) structural component	accessibility to damage	atypical vibrations	biological growth	advanced deterioration process	bridge importance (size)	gross weight of a vehicle
absence/missing	aggregate segregation	approach slab settlement	cross incline of road	accumulated dirt and deposits in joints	bad design	damping	climate change	condition note	element functionality level	permanent loading
aggradation (alluviation)	aging of material	asphalt pavement cracking	deformation	anchorage blocks deficiency	carrying capacity factor	frequency	environmental exposure	condition of a bridge	importance of bridge element	traffic loading
blistering	alkali aggregate reaction (alkali-silica reaction)	asphalt pavement wearing and tearing (rutting, asphalt)	denivelation	anchorage deficiency or failure	concrete cover	noise	freeze-thaw	condition rating	price of the new element	
blocking	alkali aluminium reaction	pavement wheel tracking and wrinkling and	differential movement	arch ring separation	cracks due to curing and forming	real dynamic behaviour	humidity	damage	sum of costs for repair of individual damages	
bulging	bad concrete compaction	blistering paint	displacement	barrel damage to stone arches	design codes	relative vibrations between elements	moisture	damage degree	traffic restrictions	
cavitation	bedding mortar failure	cladding damages	distortion	bearing defects	design load	sound	soot	damage evolution	traffic volume	
clogged	bituminous binder emersion	cladding deformations	flattening	bearing fracture extension	design load by road ID	vibrations/oscillations	subterranean water flow	damage extension		
coating loss	calcification	clogged collector	height difference	bearings displacement	dimensions		temperature	damage of high risk for safety		

Die Zuteilung der Performance Indikatoren in die genannten Gruppen ermöglichte es, die Anzahl der Indikatoren von ursprünglich 700 Begriffen auf 385, also fast die Hälfte, zu reduzieren. Diese Gruppierung diente in weiterer Folge der Homogenisierung der in den Datenbanken zur Verfügung gestellten Informationen. (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 24)

Im Zuge der Homogenisierung der Daten wurden die Datenbanken der Mitgliedsländer um die festgelegten Gruppen erweitert (siehe Abbildung 18) . Mittels Dropdown Menü, welches die Liste der zu den Gruppen zugehörigen Begriffen beinhaltet, waren diese dem bereits in der Datenbank vorhandenen Eintrag entsprechend zuzuordnen (siehe Abbildung 19).

Document	Repair of concrete structures - National specifications for products and systems for the protection and repair of concrete structures according to ÖNORM EN 1504	Add										
Chapter/ Paragraph / Section	4.3 Inspection	Hide/Show										
		Ref. Ref. Ref. Ref. Ref. Ref. Ref. Ref.										
A) Performance Level				B) Damage		C) Performance Indicator/Index			D) Performance Assessment			
level	system	component	material	type	characteristic	indicator	detection	evaluation	index	threshold	goal	criteria
+	Material	All bridge types	Concrete	Damage_State	Cracks	Crack width	Visual_Inspection			Upper limit		
+	Material	All bridge types	Concrete	Damage_State	Surface deficiency	Concrete cover	Visual_Inspection					
+	Material	All bridge types	Concrete	Damaging_Process	Corrosion	Chemical parameter	Visual_Inspection					
+	Element	All bridge types	Concrete	Damage_State	Wet spots	Damage	Visual_Inspection					
+	Element	All bridge types	Concrete	Damage_State	Efflorescence	Chemical parameter	Visual_Inspection					
+	Material	All bridge types	Concrete	Damage_State	Concrete voids		Direct_Measurement	In-situ testing				

Homogenized Indicators										
defects	related to material properties	related to equipment & protection	geometry changes	related to bearing capacity, structural integrity and joints	related to original construction and design	related to dynamic behaviour	environmental based (common appearance)	rating	cost and importance	loads

Abbildung 18: Beispiel einer erweiterten Datenbank (COST Action TU1406, 2017)

A) Performance Level			B) Damage			C) Performance Indicator/Index		D) Performance Assessment		
level	system	component	material	type	characteristic	indicator	detection	threshold	goal	
Sub-System	All bridge types	Super Structure	Concrete	Damage State	Cracks	Damage degree	Direct Measurement	Crack width (mm)	Damage Assessment	> Defects Crack width
Sub-System	All bridge types	Super Structure	Concrete	Damage State	Honey-combing	Damage degree	Direct Measurement	Affected area (m2)	Damage Assessment	> Material properties bad concrete compaction
Sub-System	All bridge types	Super Structure		Damage State	Freeze-thaw	Damage degree	Direct Measurement	Affected area (m2)	Damage Assessment	> Environmental based Freeze-thaw
Sub-System	All bridge types	Super Structure	Brick	Damage State	Disintegration of mortar	Damage	Visual Inspection		Damage Assessment	> Structural integrity & joints Disintegration of mortar
Sub-System	All bridge types	Railings	Steel	Damage State	Missing Parts	Damage degree	Visual Inspection		Damage Assessment	> Equipment and protection Absence of equipment component
System	All bridge types			Damage State	Buckling	Damage degree	Visual Inspection		Damage Assessment	> Geometry changes Buckling
System	All bridge types		Concrete	Damage State	Execution defects	Damage degree	Direct Measurement	Affected area (m2)	Damage Assessment	> Original construction & design Execution/construction defects
Element				Damaging process	Low damage degree (first phase)	Damage degree	Visual Inspection	Upper limit + Duration of damage	Damage Assessment	> Rating Damage degree + damage evolution
Element						Importance of bridge element		Quantitative scale of values	Element importance assessment	> Cost & importance Importance of bridge Element

Abbildung 19: Beispiel mit homogenisierten Begriffen in der kroatischen Datenbank (Vgl. Strauss u.a., 2016, S. 25)

Anhand weiterer Kategorisierungen der Begriffe konnte die Zahl der Indikatoren schließlich auf 108 Begriffe vermindert werden. Die Kategorien werden im folgenden Kapitel 6.3 vorgestellt.

6.3 Kategorisierung der Begriffe

Nach der Gruppierung und Homogenisierung der Daten wurde anhand der Liste mit den 385 verbleibenden Begriffen ein weiterer Reduzierungsvorgang umgesetzt. Dabei ging man davon aus, dass die Liste nicht ausschließlich aus Performance Indikatoren besteht, sondern aus Begriffen, die mit Performance Indikatoren in Verbindung stehen können. In der Annahme, dass nicht alle 385 Begriffe als Performance Indikatoren bezeichnet werden können, wurde eine Kategorisierung der Daten vorgenommen. Zu diesem Zweck wurden sechs Kategorien entsprechend der wesentlichen Einheiten für die Erstellung von Qualitätskontrollplänen festgelegt:

- Performance Indikator
- Damage Process (Schadensprozess)
- Observation (Überwachung)
- Other data (andere Daten)
- 2nd Level Performance Indikatoren
- Non-interceptable Processes (unaufhaltsame Prozesse)

(Vgl. Amado u. a., 2017)

Die Aufteilung der Begriffe auf die sechs Kategorien ist in folgenden Abbildungen dargestellt.

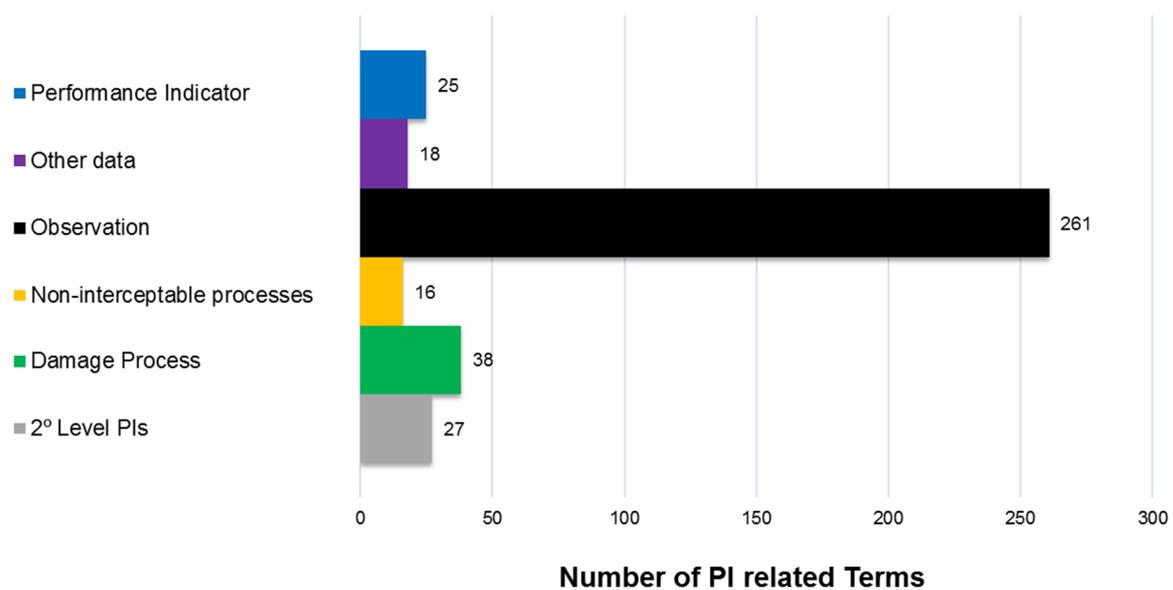


Abbildung 20: Mengenanteile der insgesamt 385 zugeordneten Begriffe in den jeweiligen Kategorien

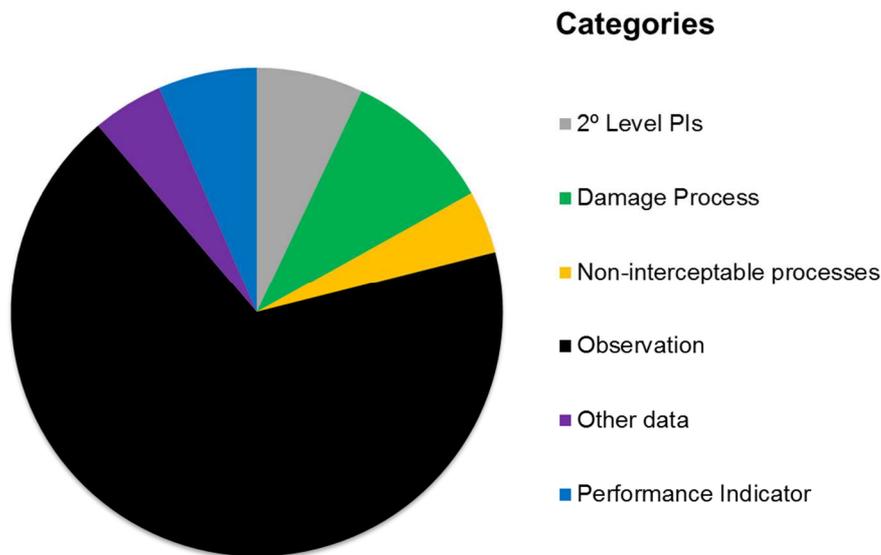


Abbildung 21: Anteile der zugeordneten Kategorien an der Gesamtmenge von 385 Begriffen

Die Zuteilung der Begriffe aus den einzelnen Gruppen in die sechs Kategorien ist der in Abbildung 22 dargestellten Liste, welche alle 385 Begriffe beinhaltet, zu entnehmen.

Die entsprechenden Gruppen und Kategorien werden in der Liste aus Abbildung 22 wie folgt dargestellt:

Gruppen:

- defects
- related to material properties
- related to equipment & protection
- geometry changes
- related to bearing capacity, structural integrity and joints
- related to original construction and design
- related to dynamic behaviour
- environmental based (common appearance)
- rating
- cost and importance
- loads
- sudden events

Kategorien:

- 2° Level PIs
- Damage Process
- Non-interceptable processes
- Observation
- Other data
- Performance Indicator

abrasion; absence/missing; aggradation (alluviation); blistering; blocking; bulging; cavitation; clogged; coating loss; contamination; corrosion (state); crack length; crack orientation; crack width; cracking; cracks; cracks - Alligator cracks; cracks - drying cracks; cracks - temperature cracks; cracks distance; cracks related to material; cracks related to origin (e.g. due to loading, due to settlement, due to crumbling of concrete,...); cracks related to position in a component; cracks related to sintering; cracks -structural cracks; crumbling; crumbling of concrete cover; crushing; damage; debonding; debris; decay; decomposition/disintegration; deepening; deficiency; degradation; delamination; destroyed; detachment; deterioration; differential settlement; displacement; distance between cracks; efflorescence/crypto-florescence; erosion; erosion magnitude; exposure of element; failure; falling out of units; fatigue cracking; fire damage; foundation deficiency; gap; holes; humidification; hydraulic inadequacy; impact damage; insufficient concrete cover; layering; leaking; nests; obstruction/impending (e.g. of water flow); oval wholes; patching; peeling of; pitting; potholes; ravelling; rupture; scaling; scaling of cement crust; scaling of treated layer; scour; scour criticality; scour depth; secretion; segregation; separation; settlement; shear; shoving; silting and vegetation; sliding; soil Failure; spalling; splitting; staining; stratification; structural damage; surface corrosion; surface damage/deficiency; surface discoloration; surface flaking due salting; swelling of structural steel surface; tearing; timber splitting; transverse compression cracks (crushing); undermined stability (e.g. of river bank); undermining; undesirable paintings, graffiti; uneven; unlevelled components; water leakage; water penetrability; wearing and tearing; weathering; wet spots; wet spots with corrosive edges; worn out; yield; acids attacks; aggregate segregation; aging of material; alkali aggregate reaction (alkali-silica reaction); alkali aluminium reaction; bad concrete compaction; bedding mortar failure; bituminous binder emersion; calcification; carbonation; chemical attack; chemical parameter; chloride action; chloride content; chloride ions penetration; concrete quality insufficient; corrosion; corrosion fatigue; corrosion related to prestressing steel; corrosion related to protective coating; corrosion related to reinforcement steel; corrosion related to structural steel; cracks due to shrinkage; fatigue; galvanization deficiency; gel exudation; hydroxide calcium exudation; material characteristics; material quality insufficient; oxidation; pitted corrosion; porous concrete; red colour areas; reinforcement bar yielding; reinforcement corrosion; rot fungi attack; shrinkage/creep; sintering; sulphate action; termite infestation; wear out; white colour areas; woodworm infestation; xylophagous attack; absence (missing) of equipment component; approach slab settlement; asphalt pavement cracking; asphalt pavement wearing and tearing (rutting, ravelling); asphalt pavement wheel tracking and wrinkling and undulation; blistering paint; cladding damages; cladding deformations; clogged; collector; clogged drain; clogged manhole; clogged pipe; cornices and curbs defects; corrosion related to equipment made of steel; crack over the buried expansion joint; cracks in covering; damage of protective coating; debonding of elastomeric surface; deterioration of protective coatings (e.g. corrosion protection, impregnate...); deviator deficiency; drainage/dewatering deficiency; elastomeric leakage; equipment fixings deficiency; expansion joint pavement crack; functionality of device; hydro-insulation defects; incorrect position; leaking at seepage water tube; maintenance equipment defects; oiling system deficiency; pavement lateral displacement; protection (cover) deficiency; protection duct damage (of prestressed cable); reduction of embankment cone; rollers condition (e.g. sliding, fixed, broken,...); sliding interface insufficient; sliding path failure/blocking; slip of bearing; special inspection requisite; step in transition slab; waterproofing deterioration; buckling; cross incline of road; deformation; denivelation; differential movement; displacement; distortion; flattening; height difference; inclinations; misalignment; movements; rotations; sag; torsion; translation; uplift; vertical alignment of road; absent (missing) structural component; accumulated dirt and deposits in joints; anchorage blocks deficiency; anchorage deficiency or failure; arch ring separation; barrel damage to stone arches; bearing defects; bearing fracture extension; bearings displacement; brick crushing; buckling of the masonry; cable rupture; change of static scheme; collapse; concrete shear key condition; construction joint cracking; corrosion related to fixings, connectors; coupling joint deficiency; cracked (damaged) weld; cracked (damaged, corroded) rivet/bolt; damaged adhesive; defect in bearing bed; deteriorated mortar joints; dilatation width; discontinuity; disintegration of mortar; excessive bearing deformation; extension of bearing deterioration; grouting deficiency; insufficient distance between elements; insufficient height; joint deterioration; joint fracture; joint restraint; joint step; joints deficiency; joints leaking; loss of binder; loss of joint anchorage; loss of section (reduced section); movement ability deficiency (prevented movements); overloading of an element; position fixing deficiency; possibility of slipping from bearing pad; prestressing cable failure; reinforcement bar failure/bending; resistance; revealed cable; revealed cable anchorage; revealed protective tube cable; revealed reinforcement; rivet joint relaxation; scaling of cement crust; scaling of treated layer; screw failure; shear connection deficiency; stirrup rupture; stone's throw; surface elastomeric deterioration; surface of bearing detachment; system functionality; tensioning force deficiency; volcanism failure; water leakage; waterproofing loss; wire break; accessibility to damage; bad design; carrying capacity factor; concrete cover; cracks due to curing and forming; design codes; design load; design load by road ID; dimensions; ductility; excessive strain; execution defects; formwork residuals; formwork settlement; geotechnical discontinuity; load distribution; load-carrying capacity; mounting deficiency; real static behaviour; settlements; stiffness; stone cladding application defects - wet method; stone jointing deficiency; stressing; tracking and flow of binder; weld corrosion; atypical vibrations; damping; frequency; noise; real dynamic behaviour; relative vibrations between elements; sound; vibrations/oscillations; biological growth; climate change; environmental exposure; freeze-thaw; humidity; moisture; soot; subterranean water flow; temperature; vegetation; advanced deterioration process; condition note; condition of a bridge; condition rating; damage; damage assessment; damage degree; damage evolution; damage extension; damage of high risk for safety; degradation process on action; deterioration index; grade for general condition assessment of group of elements; high degree of damage (third phase); importance of the bridge in the network; inadequate clearance; initiation of degradation; level or/and extent of damage; low damage degree (first phase); maximum value of assessment grade; moderate degree of damage (second phase); overall status; priority repair ranking; probability of detection; probability of failure; redundancy; reliability index; remaining service life; residual risk; resilience; risk; robustness; safety index; the impact of the bridge availability on the network availability; time of meeting requirements for road availability; vulnerability; bridge importance (size); element functionality level; importance of bridge element; price of the new element; sum of costs for repair of individual damages; traffic restrictions; traffic volume; gross weight of a vehicle; permanent loading; traffic loading; Avalanche; Earthquake; Erosion; Explosion; Extreme rain; Extreme traffic load; Extreme wind; Fire; Flooding; Impact (e.g. of vehicles or ships); Landslide; Other Natural disasters; Rock fall; Scour; Vehicle collision; Wind

Abbildung 22: Darstellung der 385 Begriffe mit deren zugeteilter Gruppe und Kategorie

Für die weiteren (im Kapitel 6.4 beschriebenen) Reduzierungsvorgänge, wurden die Kategorien *2nd Level Performance Indicators*, *Damage Process*, *Performance Indicator* und

Other Data verwendet. Die den Kategorien *Observation* und *Non-interceptable Processes* zugeteilten Begriffe sind als Performance Indikatoren auszuschließen und wurden deshalb aus der weiter verwendeten Liste ausgeschlossen. Die um diese beiden Kategorien reduzierte Liste enthält nun insgesamt 108 Begriffe.

6.4 Key Performance Indikatoren

Um die Reduzierung der Performance Indikatoren weiter voranzutreiben, wurde eine weitere Umfrage gestartet, in der die sogenannten Key Performance Indikatoren von wesentlicher Bedeutung waren. Durch die Zuordnung der 108 verbleibenden Indikatoren zu den vordefinierten nachfolgend angeführten Key Performance Indikatoren sollte es möglich sein, die Performance Indikatoren auf die Wesentlichsten zu vermindern.

Key Performance Indikatoren:

- Reliability (Zuverlässigkeit)
- Availability (Verfügbarkeit)
- Maintainability (Instandhaltbarkeit)
- Safety and Security (Sicherheit)
- Environment (Umwelt)
- Costs (Kosten)
- Health (Gesundheit)
- Politics (Politik)
- Rating/Inspection (Bewertung/Inspektion)
- Durability (Dauerhaftigkeit)

Die Aufgabe der Experten/innen war es einige Fragen hinsichtlich der 108 verbleibenden Indikatoren zu beantworten:

1. Auf welcher Ebene ist der Performance Indikator relevant? (Komponentenebene, Systemebene, Netzwerkebene)
2. Ist der Performance Indikator messbar?
3. Gehört der Performance Indikator zu einem Key Performance Indikator? Wenn ja, zu welchem?
4. Wie wird der Performance Indikator bewertet? (Ziel, Schwellenwert, Rating)

In Abbildung 23 ist ein Beispiel für einen ausgefüllten Fragenbogen dargestellt.

	Level	Performance indicator PI if	PI belongs to the Key Performance Indicator(s)	Assessment
	Component Level (CL) System Level (SL) Network Level (NL)	Measurable? {Quantifiable?; Target value available?; Valid for ranking purposes?; Allow decision with economic implications?} (YES/No) Technical (Tech), Socio Economical (SoEc), Sustainable (Sust)	Reliability (R), Availability (A), Maintainability (M), Safety (S), Security (Se), Environment (E), Costs (C), Health (H), Politics (P), Rating/Inspection (I)	Threshold (T =) Goal (G =) Rating (R =)
defects				
concrete cover (insufficient)	CL	Yes, Tech, Sust	R, A, (C, I)	T= thickness (mm), G= assessment of damage and affected area (m2),
crack form/pattern		No		
crack formation stage		No		
crack length		No		
crack orientation		No		
crack spacing		No		
crack width		No		
cracks related to origin (e.g. due to loading, due to settlement, due to crumbling of concrete,...)	CL, SL	Yes, Tech	R, A, S, (C, I)	T=width (mm), G=understand origin through the correlation of the observed thickness (mm), length (cm), location/orientation and spacing/pattern, R=key PI to access reliability
fatigue cracking	CL, SL	Yes, Tech	R, A, S, (C, I)	T= number of cracks and affected components; G= local or generalized situation and importance of affected components; R= Key for reliability.
settlement	SL	Yes, Tech	R, A, S, (C, I)	T= dimension (mm) and orientation (°), G= Affected components.
water penetrability	CL	Yes, Tech, Sust	R, (C, I)	T= area and affected components, G= qualitative assessment; R=important for durability
wetting/leaking	CL	Yes, Tech, Sust	R, (C, I)	T= area and affected components, G= qualitative assessment; R=important for durability

Abbildung 23: Auszug aus einem durch eine/n Experten/in ausgefüllten Fragebogen (COST Action TU1406, 2017)

Die Reduzierte Liste der Performance Indikatoren wurde in weiterer Folge für die Entwicklung eines Bewertungssystems verwendet, welches in Kapitel 8 vorgestellt wird.

6.5 Zusammenfassung

Aufgrund der Heterogenität der gesammelten Daten aus dem Screening, wurden diese einer Homogenisierung unterzogen, die dazu führen sollte den Umfang der Daten zu verringern.

Dazu wurden zunächst Gruppen festgelegt, in die alle vorhandenen Begriffe einzuteilen waren. Infolgedessen war es möglich die Zahl der Indikatoren auf fast die Hälfte zu reduzieren. Anschließend wurden die Mitgliedsländer gebeten die gruppierten Begriffe mit denen in der Datenbank abzugleichen und entsprechend zuzuordnen.

Aufgrund einer weiteren Kategorisierung der noch vorhandenen Begriffe ergaben sich schließlich ca. 100 verbleibende Indikatoren, welche anhand einer Umfrage weiter reduziert werden sollten. Wesentlicher Punkt in der Umfrage war die Zuteilung der Performance Indikatoren zu sogenannten Key Performance Indikatoren. Folgende Key Performance

Indikatoren wurden festgelegt: Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit, Umwelt, Kosten, Gesundheit, Politik, Bewertung/Inspektion und Dauerhaftigkeit.

Die Ergebnisse aus der Umfrage wurden in weiterer Folge für die Entwicklung eines Bewertungssystems (siehe Kapitel 8) verwendet.

7 Sammlung von forschungsbasierenden Performance Indikatoren

7.1 Einleitung

Die Erhebung und Sammlung von forschungsbasierenden Performance Indikatoren erfolgte zur Feststellung derer, die bereits in der Praxis eingesetzt werden können bzw. bei denen sich weitere Investitionen lohnen würden. Diese Vorgehensweise wurde angedacht, um existierende Leistungsbewertungsmethoden für Brücken und folglich das Management von Straßenbrücken zu verbessern.

Deswegen sollten Indikatoren aus wissenschaftlichen Errungenschaften in Bezug auf Prüfung und Überwachung, dynamischem Verhalten und Zuverlässigkeit eines Brückentragwerkes mit einbezogen und laufend entwickelt werden.

7.2 Erweiterung der Datenbank mit Forschungsindikatoren

Ein Beispiel zur Erweiterung der bereits angewandten Datenbank mit forschungsbasierenden Daten ist in folgender Abbildung dargestellt.

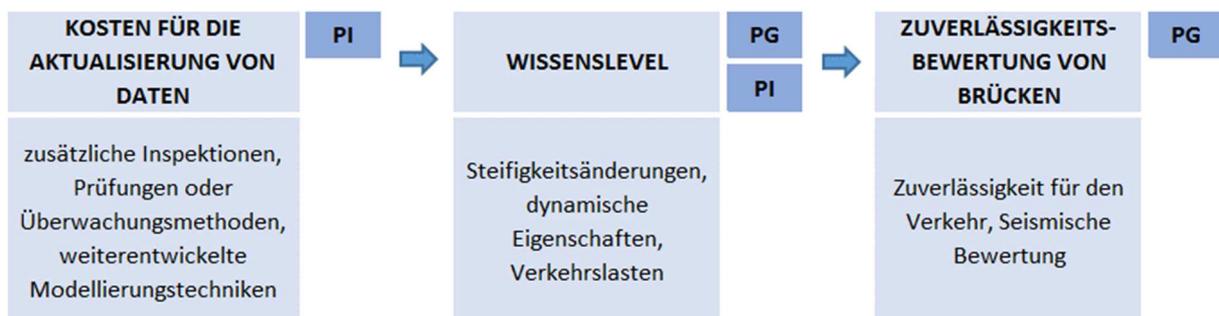


Abbildung 24: Beispiel für Interaktionen von Performance Indikatoren (PI) und Performance Goals (PG), um die angewandte Datenbank mit wissenschaftlichen Errungenschaften zu erweitern (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 34)

Die Zuverlässigkeitsbewertung von Brücken erfordert ein umfassendes Wissen über Brückeneigenschaften, wie Steifigkeitsveränderungen und lokale Verkehrslasten, was wiederum zusätzliche Inspektionen, Prüfungen, Technologien und Werkzeuge zum Structural Health Monitoring erfordert. Deswegen können die Kosten für die Aktualisierung von Daten als Indikator angesehen werden, um ein umfangreicheres Wissen über die Brücke zu erlangen. In weiterer Folge wird dieses Wissen wiederum zum Indikator für die Zuverlässigkeitsbewertung von Brücken.

Structural Health Monitoring (SHM) bietet zum Beispiel eine umfangreiche Auswahl an Aktivitäten, welche durch verschiedene Technologien und Algorithmen Informationen über die Leistung von Strukturen und deren Lebensdauer bereitstellen. Aber um Infrastrukturbesitzer und Betreiber davon zu überzeugen in SHM Systeme zu investieren, muss der Nutzen von SHM anhand der Quantifizierung seines Wertes dargelegt werden.

Über die Identifizierung von Performance Indikatoren, die evaluiert und möglicherweise mit verfügbaren SHM Technologien quantifiziert werden, soll deren Bedeutung hinsichtlich der Erreichung von Performance Goals gewichtet werden.

Die Sammlung von forschungsbasierenden Indikatoren ist ein Prozess, in dem einige wichtige Fragen zur Erweiterung der Operators Database beantwortet werden müssen:

- Von welcher Art ist der Indikator?
- Gibt es eine zugehörige mathematische Formel?
- Was ist der Schwellenwert hinsichtlich Performance Goals?
- Was ist der Zweck des Indikators, und wo wird er angewandt?
- Inwieweit ist der Indikator in der Forschung für die praktische Anwendung gereift?
- Durch welche Art von Fallstudie wird der Indikator überprüft?

Die Beantwortung dieser Art von Fragen wird nicht nur dazu beitragen die Forschungsindikatoren zu identifizieren, sondern auch um zu entscheiden, welche angewandten Indikatoren die wichtigsten und signifikantesten innerhalb der Datenbank aus dem aktuellen Stand der Praxis in den verschiedenen Ländern sind. Aufgrund der Erfahrungen mit der Operators Database, ist eine Gruppierung der Forschungsindikatoren wahrscheinlich notwendig, um die Performance Indikatoren aus europäischer Sicht zu harmonisieren. Folgende Gruppen werden basierend auf den bereits durchsuchten Dokumenten vorgeschlagen:

- Deterioration Process (Alterungsprozess)
- Located Loads (lokalisierte Lasten)
- Environment (Umwelt)
- Availability (Verfügbarkeit)
- Maintenance activities (Wartungsmaßnahmen)
- Durability (Dauerhaftigkeit)
- Reliability (Zuverlässigkeit)
- Sustainability (Nachhaltigkeit)
- Safety (Sicherheit)
- Serviceability (Tragfähigkeit)
- Cost efficiency (Kosteneffizienz)
- Historical value (Historischer Wert)
- Dynamic property/behaviour (dynamische Eigenschaften/Verhalten)
- Structural integrity and details (strukturelle Integrität und Details)
- Cross section detailing (Querschnittsdetails)
- Geometrical properties (geometrische Eigenschaften)
- Material properties (Materialeigenschaften)
- Damage State (Schadenzustand)

Die Unterschiede der Gruppierung im Vergleich zu den festgelegten Gruppen für die Operators Database zeigt deutlich die Bereiche, in denen mehr Forschung und eine Erweiterung mit forschungsbasierenden Indikatoren nötig ist. (Vgl. Strauss u. a., 2016, S. 33)

7.3 Zusammenfassung

Ein wesentliches Ziel der COST Action TU1406 ist es, die aktuellen Methoden zur Leistungsbewertung und infolge dessen das Management von Straßenbrücken zu verbessern. Aus diesem Grund ist es wichtig, relevante forschungsbasierende Indikatoren in die aktuell bestehende Datenbank zu integrieren.

Um diese zu identifizieren, wurden einige Fragen formuliert, die darüber Auskunft geben sollten inwiefern ein Performance Indikator hinsichtlich der Erreichung von Performance Goals bedeutsam ist.

Zudem werden die forschungsbasierenden Begriffe ähnlich wie jene aus der Operators Database in Gruppen eingeteilt, um die Indikatoren aus europäischer Sicht zu harmonisieren. Im Unterschied zu den Gruppen für die Indikatoren der Operators Database, wurden hier noch weitere Gruppen festgestellt, zu denen noch weiterer Forschungsbedarf herrscht.

8 Entwurf eines Bewertungssystems

8.1 Einleitung

Ziel der Erhebung der wesentlichen Performance Indikatoren zur Bestimmung des Zustandes einer Brücke ist, diese anschließend auch in der Praxis einsetzen zu können. Um dieses Ziel umzusetzen, wurde ein Bewertungssystem entworfen, welches auf einer reduzierten Anzahl der erhobenen Performance Indikatoren aufbaut. Das Bewertungssystem beruht unter anderem auf der in Kapitel 1.5 vorgestellten Bewertungstabelle zur visuellen Inspektion von Brücken und wurde anhand der Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Umfragen und Informationen in den Datenbanken der COST-Mitglieder weiterentwickelt.

8.2 Aufbau

In Kapitel 6.4 wurden die sogenannten Key Performance Indikatoren erläutert, welche eine ausschlaggebende Rolle beim Assessment von Brücken spielen. Die Bewertung dieser Indikatoren ermöglicht es einen allgemeinen Einblick auf den Zustand einer Brücke zu verschaffen. Deswegen werden in diesem Bewertungssystem die Key Performance Indikatoren zu insgesamt fünf Gruppen zusammengefasst und einzeln bewertet.

Die Bewertung erfolgt anhand eines Schulnotensystems mit Noten von 1 bis 5, also jenes System, das auch die RVS 13.03.11 vorgibt, mit 1 als der besten und 5 als der schlechtesten zu vergebenden Note. Wie in der Bewertungstabelle aus Kapitel 1.5 werden für die Performance Indikatoren Gewichtungen aufgrund deren Einflusses auf die Bewertung eines Key Performance Indikators vergeben.

Die zu beurteilenden Gruppen der Key Performance Indikatoren wurden folgendermaßen eingeteilt:

1. Safety, Reliability, Security
2. Availability, Maintainability
3. Costs
4. Environment
5. Health, Politics

Als Beispiel für die Vorgehensweise bei der Beurteilung der Performance Indikatoren und in weiterer Folge bei der Benotung des jeweiligen Key Performance Indikators, ist anschließend in Abbildung 25 und Abbildung 26 ein Auszug aus der Beurteilungstabelle für die Gruppe der Key Performance Indikatoren Safety, Reliability und Security aufgezeigt.

Key Performance: Safety, Reliability, Security																				1,14		
Performance Indicator <i>Measurable, Quantifiable, Target value available, Valid for ranking purposes, Allow decision with economic implications</i>						VISUAL INSPECTION					NON DESTRUCTIVE TESTING or MONITORING					MODELING					Factor	
	Goal	min Threshold	Unit [f]	max Threshold	Unit [f]	Component Condition	Condition G	Extension a	Intensity i	P=Q*a*i	Component Condition	Condition G	Extension a	Intensity i	P=Q*a*i	Component Condition	Condition G	Extension a	Intensity i	P=Q*a*i	0,35	0,70
	COMPONENT #:																					
1. Bridge site: scour, sliding, damaged sealings, erosion	minimize						z	0,5	0,5	0,5		z	0,5	0,5	0,5		z	0,5	0,5	0,5		
2. Material peoperties																						
a. concrete strength																						
b. bad concrete compaction (honeycomb)																						
c. abrasion																						
d. fatigue																						
e. input from experts, WG2 & WG3 und research database																						
f.																						
3. Damage in concrete																						
a. surface imperfections, buckets, voids																						
b. spalling, desolutions, partially loss of mechanical activ sections																						
c. input from experts, WG2 & WG3 und research database																						
d.																						
4. Cracks in reinforced concrete																						
a. cracks from loading (e.g., fatigue)																						
b. cracks from strain (e.g., settlement, crumbling)																						
c. input von experts, WG2 & WG3 und research database																						
d.																						

Abbildung 25: Auszug aus der Bewertungstabelle für die Komponenten einer Brücke hinsichtlich der Key Performance Indikatoren Safety, Reliability und Security (COST Action TU1406, 2017)

SYSTEM (SUPERSTRUCTURE)																				0,35		0,44	
11. Damage in concrete																							
a. surface imperfections, buckets, voids																							
b. spalling, desolutions, partially loss of mechanical activ sections																							
c. By frost, deicing agents, carbonisation																							
d. input from experts, WG2 & WG3 und research database																							
e.																							
12. Cracks in reinforced concrete																							
a. cracks from loading (e.g., fatigue)																							
b. cracks from strain (e.g., settlement, crumbling)																							
c. input von experts, WG2 & WG3 und research database																							
d.																							
13. Cracks in post tensioned concrete																							
a. cracks from loading (e.g., fatigue)																							
b. cracks from strain (e.g., settlement, crumbling)																							
c. input von experts, WG2 & WG3 und research database																							
d.																							
14. Open construction joints																							
15. Deficient reinforcement and anchorage																							
a. small or insufficient cover, carbonisation, chloride																							
b. corrosion																							
c. broken parts																							
d. input von experts, WG2 & WG3 und research database																							
e.																							
16. Deficient Posttensioning																							
a. cracks along the cables																							
b. deficient grouting																							
c. corrosion																							
d. broken parts																							
e. input von experts, WG2 & WG3 und research database																							

Abbildung 26: Auszug aus der Bewertungstabelle für das gesamte Brückensystem hinsichtlich der Key Performance Indikatoren Safety, Reliability und Security (COST Action TU1406, 2017)

Bewertet werden zunächst die einzelnen Performance Indikatoren und deren Schadensausmaß bzw. Intensität. In Abhängigkeit davon, ob sie durch visuelle Inspektion, Prüfungen und Monitoring oder Modellierung erhoben werden, fällt den Beurteilungswerten eine entsprechende Gewichtung zu, da man davon ausgehen kann, dass modellierte Werte im Gegensatz zu visuell erhobenen Daten subjektiver und je nach Detaillierungsgrad des Modells genauer sind und darum eine höhere Gewichtung erhalten.

Unterteilt werden Performance Indikatoren auch in Komponenten- und Systemebene, da unterschiedliche Indikatoren auf den Ebenen verschieden große Bedeutungen für bestimmte Leistungserfordernisse haben und daher anderes gewichtet werden.

Aus all den bewerteten Indikatoren und deren Gewichtungen ergibt sich die Gesamtnote für die betroffenen Key Performance Indikatoren.

Damit Klarheit darüber besteht, was das zu erreichende Ziel eines Performance Indikators ist und folglich wie dieser zu bewerten ist, werden die entsprechenden Ziel- bzw. Grenzwerte oder Schwellenwerte eingetragen. Wenn möglich, sind diese je nach Abweichungen zum Zielwert abzustufen und die entsprechende, zu vergebende Note anzuführen. Ein Beispiel dafür sind Rissbreiten. Befinden sich die Abmessungen innerhalb eines bestimmten Bereiches, wird die entsprechende vorgegebene Note dafür eingetragen.

8.3 Input der Performance Indikatoren aus den Umfragen der COST Action TU1406

Um die Ergebnisse aus den Umfragen und den Erkenntnissen der COST Action TU1406 hinsichtlich der wesentlichen Performance Indikatoren in Anwendung zu bringen, wurden jene Performance Indikatoren, die aus der Erhebung in Bezug auf Key Performance Indikatoren (Kapitel 6.4) übrig geblieben waren, in das Bewertungssystem eingearbeitet. Bei dieser Befragung der Experten aus insgesamt fünf Ländern, sollte die bereits reduzierte Zahl von 108 Performance Indikatoren durch die Beantwortung von diversen Fragen weiter verringert werden. Ein wesentlicher Punkt war die Zuteilung der Indikatoren zu einem oder mehreren Key Performance Indikatoren.

Die Ergebnisse aus der Befragung wurden durch eigene Spalten in der Bewertungstabelle entsprechend der zugeteilten Key Performance Indikatoren und der jeweiligen Relevanz auf Komponenten- bzw. Systemebene eingetragen. Des Weiteren wurde die Art des Performance Indikators (technischer, sozioökonomischer, oder nachhaltiger Performance Indikator) und das Leistungskriterium mit angegeben (siehe Abbildung 28).

Key Performance:	Total Rating	Cost to increase KP=1 in [M€]
Safety, Reliability, Security	1,14	2,00
Availability, Maintainability	1,30	0,30
Costs	1,84	0,30
Environment	2,80	2,00
Health, Politics	1,25	1,00
		5,60

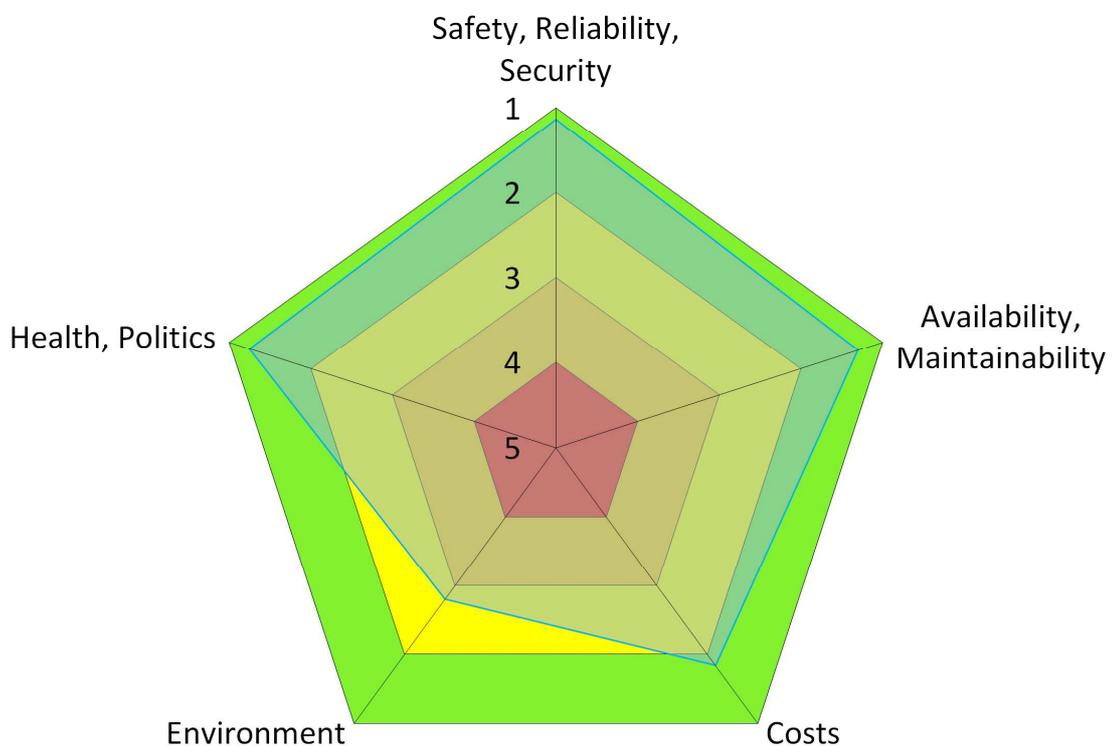


Abbildung 29: Beispiel für die Darstellung der Ergebnisse aus einer Brückenzustandsbewertung nach dem entworfenen Bewertungssystem

Die farbliche Abstufung der Benotung innerhalb des Spinnendiagrammes dient dazu auf den ersten Blick die Notwendigkeit zur Einleitung von Maßnahmen zur Erhaltung des Bauwerkes zu erfassen. Befindet sich ein Teil des Diagrammes im roten Bereichen, sind unverzüglich Maßnahmen zu setzen.

Da die Kosten der Instandsetzungsmaßnahmen ein wesentlicher Faktor in der Wahl der prioritären Instandhaltungsmaßnahmen sind, werden die erforderlichen Kosten zur Erreichung der Note 1, also des ursprünglichen Zustandes der Brücke, der jeweiligen Key Performance Indikatoren aufgelistet. Insgesamt wären dafür im oben abgebildeten Beispiel 5,6 Millionen Euro zu investieren.

8.5 Zusammenfassung

Um die relevantesten Performance Indikatoren, die im Zuge der COST Action TU1406 erhoben wurden, in der Praxis einsetzen zu können, wurde ein Bewertungssystem entworfen, das auf einem Benotungs- und Gewichtungssystem der zu beurteilenden Punkte beruht.

Zu benoten sind die bereits erwähnten Key Performance Indikatoren, welche in fünf Gruppen eingeteilt wurden:

1. Safety, Reliability, Security
2. Availability, Maintainability
3. Costs
4. Environment
5. Health, Politics

Um eine Note für die Key Performance Indikatoren zu erhalten, werden in diesem Bewertungssystem zunächst sämtliche aufgelisteten Performance Indikatoren bewertet. Dazu werden Noten von 1 bis 5 vergeben und je nach Einfluss des Performance Indikators auf ein Performance Ziel entsprechend gewichtet. Deshalb werden die Performance Indikatoren auf unterschiedlichen Ebenen (Component Level und System Level) bewertet. Die Gewichtung ist des Weiteren abhängig von der Art der Erhebung eines Indikators. Diese kann visuell, anhand von Prüfungen oder mittels Modellierung erhoben werden. Aus all den Teilnoten mit deren unterschiedlichen Gewichtungen ergibt sich dann die Gesamtnote für eine Gruppe von Key Performance Indikatoren.

Die Gesamtnoten werden anhand eines Spinnendiagrammes dargestellt, in welchem die fünf Gruppen der Key Performance Indikatoren sowie deren Zustandsnote aufgezeigt sind. Das Diagramm soll einen ersten Überblick darüber gewähren, wie es um den Allgemeinzustand der Brücke hinsichtlich der bewerteten Key Performance Indikatoren steht. Zusätzlich werden in einer Tabelle die nötigen Investitionskosten zur Wiederherstellung der Ursprungszustandes (Note 1) des Bauwerks angegeben.

Das entwickelte Bewertungssystem soll in Zukunft an realen Brückentragwerken getestet und auf Integrität geprüft werden.

9 Zusammenfassung und Ausblick

9.1 Zusammenfassung

Die wesentlichen Punkte dieser Arbeit beinhalten Themen zur Erhaltungsplanung von Straßenbrücken, insbesondere die Evaluierung und Erhebung der relevanten Indikatoren zur Zustandserhebung von Brücken. Ein weiteres behandeltes Thema ist die Entwicklung eines Bewertungssystems zur Zustandsevaluierung von Brücken.

In diesem Kapitel werden sämtliche Punkte der Masterarbeit noch einmal kurz erläutert.

Da jedes Bauwerk während seiner Lebensdauer einen Abnutzungs- und Alterungsprozess erfährt, ist es notwendig in gewissen Abständen Untersuchungen einzuleiten und Maßnahmen zu setzen, um sicherzustellen, dass die Anforderungen an das Bauwerk erfüllt werden und die geplante Lebensdauer erreicht wird. Zur Unterstützung dieser Vorgänge werden Qualitätskontrollpläne erstellt.

In Europa herrschen große Unterschiede was die Erstellung von Qualitätskontrollplänen betrifft. Deswegen hat sich die COST Action TU1406 als Ziel gesetzt, eine einheitliche Richtlinie zur Erstellung von Qualitätskontrollplänen zu erstellen. Um dieses Ziel zu erreichen, ist die Erhebung der relevanten Performance Indikatoren zur Zustandsbeurteilung von Straßenbrücken einer der wesentlichen Aufgabenstellungen der COST Action TU1406.

Performance Indikatoren stellen Eigenschaften einer Brücke dar, welche auf den Zustand eines Bauwerkes schließen lassen. Beispiele dafür sind Risse, Abplatzungen, Schädlingsbefall, Korrosion oder Setzungen. Sie haben unterschiedlichen Einfluss auf Performance Goals, welche den erwünschten Zustand von Brückenindikatoren beschreiben. Werden diese nicht eingehalten, ist dies ein Anlass entsprechende Maßnahmen zu setzen. Zur einfacheren Bestimmung der Größe des Einflusses von Performance Indikatoren auf ein Performance Goal werden die Performance Indikatoren in unterschiedliche Kategorien eingeteilt. Die Kategorisierung erfolgt in technische, sozioökonomische und nachhaltige Indikatoren auf Komponenten-, System- und Netzwerkebene.

Um das erste Ziel der COST Action TU1406, nämlich die Erhebung der für die Zustandskontrolle von Brückenbauwerken relevantesten Performance Indikatoren, umzusetzen, wurden diverse Umfragen zu Performance Indikatoren durchgeführt, bei denen sämtliche Mitgliedsstaaten der COST Action beteiligt waren. Hierbei wurden sämtliche in Anwendung befindliche Dokumente zur Zustandserhebung von Brücken sowie Forschungsdokumente auf brauchbare Informationen hinsichtlich verwendeter bzw. in Entwicklung befindlicher Performance Indikatoren durchsucht und die Ergebnisse in Datenbanken eingetragen. Als Grundlage dienten die Excel Templates Operators Database und Research Database. In die Operators Database wurden die Inhalte der bereits angewandten Dokumente eingetragen, in die Research Database alle relevanten Inhalte der Forschungsdokumente. In den Datenbanken wurden die erhobenen Performance Indikatoren eingepflegt, sowie sämtliche im Dokument dazu angegebene Eigenschaften eingefügt.

Um die Datenbanken benutzerfreundlich zu gestalten und die darin enthaltenen, zur Verfügung gestellten Informationen besser vergleichen und auswerten zu können, wurden diese standardisiert. Anhand verschiedener in der Datenbank angeführter Gruppen zu diversen Eigenschaften, waren diese den hinzugefügten Performance Indikatoren mittels Dropdown Menü zuzuordnen. Die zu spezifizierenden Eigenschaften betrafen die Gruppe Performance Level, wo Angaben zum Tragwerkssystem sowie über das Material und das betroffene Bauwerkselement gemacht wurden. Des Weiteren wurden Angaben zur Schadensart (Damages), der Art der Messung sowie zur Evaluierung des Performance Indikators getätigt.

Zum besseren Verständnis des Excel Templates und zur einfacheren Handhabung, wurde ein Tutorial erstellt, um sicherzustellen, dass die Informationen korrekt in die Datenbanken eingepflegt werden. Zusätzlich wurde ein Glossary mit sämtlichen verwendeten Begriffen bereitgestellt, welches dazu dienen sollte, sprachliche Hürden zu überwinden sowie neue Begriffe und deren Definition eintragen zu können.

Das Screening der Performance relevanten Dokumente wurde von Verantwortlichen der jeweiligen Mitgliedsländer der COST Action TU1406 durchgeführt.

Österreichische Dokumente wurden ebenfalls untersucht. Insgesamt konnten aus vier verschiedenen österreichischen Dokumenten relevante Informationen für die Datenbank extrahiert werden.

Die Ergebnisse aus den Umfragen erwiesen sich als sehr heterogen, bzw. gab es viele Überlappungen hinsichtlich der gefundenen Performance Indikatoren. Ein Performance Indikator den fast alle Länder gemein hatten ist der Zustandsindex.

Zur Homogenisierung der Daten wurden weitere Schritte eingeleitet. Dazu wurden zunächst Gruppen festgelegt, denen alle vorhandenen Begriffe zuzuordnen waren. Infolgedessen war es möglich die Zahl der Indikatoren aufgrund der hohen Anzahl an Überlappungen auf fast die Hälfte zu reduzieren. Anschließend wurden die gruppierten Begriffe mit denen in der Datenbank abgeglichen und entsprechend zugeordnet.

Aus einer weiteren Kategorisierung der Begriffe ergaben sich schließlich ca. 100 verbleibende Indikatoren. Diese sollten anhand einer Umfrage weiter reduziert werden, wobei es ein wesentlicher Punkt in der Umfrage war die verbleibenden Performance Indikatoren zu sogenannten Key Performance Indikatoren zuzuordnen. Dazu wurden folgende Key Performance Indikatoren definiert: Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit, Umwelt, Kosten, Gesundheit, Politik, Bewertung/Inspektion und Dauerhaftigkeit.

Die Ergebnisse aus dieser Befragung wurden in weiterer Folge bei der Entwicklung eines Bewertungssystems für Brücken angewandt.

In diesem Bewertungssystem sind fünf Gruppen von Key Performance Indikatoren zu beurteilen:

1. Safety, Reliability, Security
2. Availability, Maintainability
3. Costs
4. Environment
5. Health, Politics

Die Beurteilung geschieht durch die Zuteilung von Performance Indikatoren zu den zu bewertenden Gruppen von Key Performance Indikatoren und deren Gewichtung aufgrund ihres Einflusses auf den jeweiligen Key Performance Indikator. Für jeden Performance Indikator wird eine Note von 1-5 vergeben. Die Noten werden anhand der Bedeutung des Performance Indikators auf Komponenten- bzw. Systemebene unterschiedlich gewichtet. Zusätzlich wird berücksichtigt auf welche Art der Performance Indikator erhoben wird (visuell, anhand von Prüfungen oder durch Modellierung), und bekommt aufgrund dessen wieder eine entsprechende Gewichtung. Daraus ergibt sich die Gesamtnote für jede der fünf zu bewertenden Gruppen.

Die Gesamtnoten werden anhand eines Spinnendiagrammes übersichtlich dargestellt, um auf den ersten Blick abschätzen zu können, ob und in welchem Ausmaß Maßnahmen gesetzt werden müssen. Zusätzlich werden in einer Tabelle die nötigen Investitionskosten für die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes der Brücke in Bezug auf die fünf Gruppen der Key Performance Indikatoren angegeben.

Die reduzierte Anzahl der erhobenen Performance Indikatoren wurde den Begriffen im Bewertungssystem zugeordnet und mit eingetragen, um für Brückenzustandsbewertungen in der Praxis zukünftig zur Verfügung zu stehen.

Das Bewertungssystem soll später an reellen Brückentragwerken getestet, auf Integrität geprüft und somit noch weiter überarbeitet werden.

9.2 Ausblick

Die in der WG1 entwickelte Datenbank beinhaltet eine große Menge an länderspezifischen Daten. Diese Informationen können als Grundlage für den Vergleich und die Festlegung von Inspektionsvorgehensweisen, Performance Indikatoren und Performance Goals dienen. Diese Daten können sowohl für die Entwicklung und Aktualisierung von Inspektionsrichtlinien als auch im individuellen Fall angewendet werden.

Um das Hauptziel der COST Action TU1406, die Entwicklung einer Richtlinie zur Erstellung eines Qualitätskontrollplanes, zu verwirklichen, sind weitere Schritte vorgesehen. Diese sollen im Zuge der Working Groups (WG) 2-6 umgesetzt werden. Unter anderem sind dies die Definition von den Performance Goals zu den bereits in WG 1 erhobenen relevanten Performance Indikatoren, deren Anwendung an existierenden Brückentragwerken, sowie in weiterer Folge der Entwurf einer einheitlichen Richtlinie für die Erstellung von Qualitätskontrollplänen, welche in ganz Europa Anwendung finden soll.

Die Zusammenarbeit der Mitgliedsländer der COST Action TU1406 zur Entwicklung einer allgemein gültigen Richtlinie zur Erstellung von Qualitätskontrollplänen ermöglicht es, das in den einzelnen Ländern vorhandene Wissen über die Zustandserhebung und -evaluierung von Brücken in ganz Europa ausbauen und anwenden zu können und somit eine einheitliche Qualität im Management und der Erhaltung von Brücken sicherzustellen.

Durch die Entwicklung von neuen Ansätzen zur Quantifizierung und Überwachung der Leistung von Brücken und der Spezifizierung der Qualitätserfordernisse zur Sicherstellung der erwarteten Leistung, werden Managementstrategien zur Erhaltung von Brückenkonstruktionen in Europa essentiell verbessert. Der vorgestellte Entwurf eines Bewertungssystems soll in diesem Sinne einen Grundbaustein zur weiteren Entwicklung von Möglichkeiten darstellen, die das Management von Brücken erleichtern sollen, um in weiterer Folge die Erhaltung von Bauwerken hinsichtlich der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit bei möglichst geringen Kosten gewährleisten zu können.

10 Literaturverzeichnis

- Amado, J. u. a., 2017. Development of Quality Control Plans for Arch Bridges.
- Austrian Standards Institute, 2014. ONR 24800 - Schutzbauwerke der Wildbachverbauung.
- Austrian Standards Institute, 2013. ONR 24008 - Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Eisenbahn- und Straßenbrücken.
- 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.
- Österreichische Bautechnik Vereinigung, 2014. Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton.
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2017. RVS 13.05.11 - Qualitätssicherung bauliche Erhaltung; Lebenszykluskostenermittlung.
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2012. RVS 13.03.01 - Qualitätssicherung bauliche Erhaltung; Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten; Monitoring von Brücken und anderen Ingenieurbauwerken.
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2011. RVS 13.03.11 - Qualitätssicherung bauliche Erhaltung; Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten; Straßenbrücken.
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2009a. RVS 13.04.01 - Qualitätssicherung bauliche Erhaltung; Bauwerksdatenbank; Allgemeiner Teil.
- Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2009b. RVS 13.04.13 - Qualitätssicherung bauliche Erhaltung; Bauwerksdatenbank; Mauern und geankerte Konstruktionen.
- Strauss, A. u. a., 2016. WG 1 - Technical Report - Performance Indicators for Roadway Bridges of COST Action TU1406.
- Vienna Consulting Engineers, n.d. International Bridge Study: IRIS Results.

Anhang

Liste der untersuchten Dokumente – Operators Database

Austria

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author
	<i>Quality Assurance for Structural Maintenance - Suveillance, Checking and Assessment of Bridges and Tunnels - Bridges</i>	Inspection	BMVIT
	<i>Repair of concrete structures - National specifications for products and systems for the protection and repair of concrete structures according to ÖNORM EN 1504</i>	Inspection	Austrian Standards Institute
	<i>Quality Assurance for Structural Maintenance, Structures Data Base, Retaining Wall and Anchored Structures</i>	Evaluation	FSV
	<i>Evaluation of load capacity of existing railway and highway bridges</i>	Evaluation	Austrian Standards Institute

Bosnia and Herzegovina

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Neven Pavlinović	<i>ZAKON O CESTAMA FEDERACIJE BOSNE I HERCEGOVINE / LAW ON ROADS OF THE FEDERATION OF BOSNIA AND HERZEGOVINA</i>	Inspection	Parlament Federacije BiH / Federation Parliament	2010
Neven Pavlinović	<i>Odluka o kategorizaciji cesta u autoceste i brze ceste, magistralne ceste i regionalne ceste / Decision the road classification in highways and expressways roads, main roads and regional roads</i>	Inspection	Vlada FBiH / Government of FBiH	2014
Neven Pavlinović	<i>Pravilnik o održavanju javnih cesta / Regulations the maintenance of public roads</i>	Inspection	Federalnom ministarstvu prometa i komunikacija / Federal Ministry of Transport and Communications	2010
Neven Pavlinović	<i>SMJERNICE ZA PROJEKTOVANJE, GRAĐENJE, ODRŽAVANJE I NADZOR NA CESTAMA / GUIDELINES FOR THE DESIGN, CONSTRUCTION, MAINTENANCE AND SUPERVISION OF ROAD</i>	Inspection	RS-FB&H/3CS – DDC	2005
Neven Pavlinović	<i>UPUTSTVO ZA INSPEKTORE MOSTOVA / INSTRUCTIONS FOR INSPECTORS OF BRIDGES</i>	Evaluation	BCEOM Societe Francaise D'Ingenere	2004
Neven Pavlinović	MOSTOVI / BRIDGES	Research	Prof. Boris Koboević, Prof. Bisera Karalić-Hromić	1994
Neven Pavlinović	<i>Inspekcijski formular za pregled mosta / The inspection form for an overview of the bridge</i>	Inspection	Prof. Bisera Karalić-Hromić	2004

Croatia

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Ana Mandić Ivanković	<i>Handbook of damages on bridge elements</i>	Evaluation	Hrvatske ceste d.o.o., dr.sc. Danijel Tenžera	2014
Ana Mandić Ivanković	<i>Guidelines for bridge inspections</i>	Inspection	Hrvatske ceste d.o.o.	2014
Ana Mandić Ivanković	<i>HRMOS manual – Bridge management</i>	Inspection	Hrvatske ceste d.o.o.	1999
Dominik Skokandić	<i>HRMOS manual – Bridge management – General bridge inspection</i>	Inspection	Hrvatske ceste d.o.o.	1999
Dominik Skokandić	<i>Handbook of damages on bridges</i>	Inspection/evaluation	Hrvatske Autocestete d.o.o.	2010
Ana Mandić Ivanković	<i>Guideline for bridge evaluation</i>	Evaluation	Hrvatske Autocestete d.o.o.	2010
Ana Mandić Ivanković	<i>Bridge Management Planning</i>	Background document	Hrvatske Autocestete d.o.o.	2008

Czech Republic

Responsible Person	Document	Doc. Type
Pavel Ryjáček	<i>ČSN 73 6221 Inspection of road bridges</i>	Inspection
Pavel Ryjáček	<i>ČSN 73 6222 Load capacity of road bridges</i>	Evaluation
Pavel Ryjáček	<i>Catalogue of the bridge damages and defects</i>	Inspection
Pavel Ryjáček	<i>TP72 Diagnostics of road bridges</i>	Inspection
Pavel Ryjáček	<i>TRP201 Measuring and monitoring of the cracks in the concrete bridges</i>	Inspection
Pavel Ryjáček	<i>ČSN 73 6209 Load tests of bridges</i>	Evaluation
Pavel Ryjáček	<i>Damages of railway bridges</i>	Inspection
Pavel Ryjáček	<i>SŽDC S5 management of bridges(railway)</i>	Inspection
Pavel Ryjáček	<i>TP120 Maintenance, repairs and refurbishment of concrete road bridges</i>	Inspection
Pavel Ryjáček	<i>TP175 Evaluation of the remaining life of concrete road structures</i>	Evaluation
Pavel Ryjáček	<i>TP215 The application of the modal analysis for the road bridges evaluation</i>	Evaluation
Pavel Ryjáček	<i>TP216 The design, maintenance, inspection, repairs and refurbishment of steel and composite road</i>	Inspection

Denmark

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Poul Linneberg	<i>Eftersyn af bygværker</i>	Inspection	Vejdirektoratet	2014
Poul Linneberg	<i>Vejledning til belastnings- og beregningsgrundlag for broer</i>	Evaluation	Vejdirektoratet	2015
Poul Linneberg	<i>Reliability-Based classification of the Load Carrying Capacity of Existing Bridges</i>	Evaluation	Vejdirektoratet	2004

Estonia

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Sander Sein	<i>Evaluation criterions of bridge elements</i>	Evaluation	Estonian Road Administration,	2015
Sander Sein	<i>Road condition requirements</i>	Evaluation	Ministry of Economy and Communications	2015

Finland

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Markku Leivo	<i>Bridge inspection manual</i>	Inspection	Finnish Transport Agency	2013

France

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Orcesi, A.	<i>ITSEOA Fascicule 0, 1, 2, 3</i>	Inspection	Ministry of ecology, sustainable	2011
Orcesi, A.	<i>ITSEOA Fascicules additifs (quides d'application au sens de la circulaire du 16 février 2011)</i>	Inspection	Ministry of ecology, sustainable	2011
Orcesi, A.	<i>IQOA guide de visite en subdivision</i>	Inspection	Ministry of ecology, sustainable	1996
Orcesi, A.	<i>IQOA classification des ouvrages</i>	Inspection	Ministry of ecology, sustainable	1996
Orcesi, A.	<i>IQOA PV de visite et catalogues de désordres</i>	Inspection	Ministry of ecology, sustainable	1996
Orcesi, A.	<i>Méthodes courantes d'évaluation structurale des ouvrages existants - pratique en vigueur dans le réseau scientifique et technique (RST)</i>	Evaluation	Lacombe, J.-M.	2012
Orcesi, A.	New European technical rules for the assessment and retrofitting of existing structures	Evaluation	Luechinger, P. et al.	2015
Orcesi, A.	Structural performance	Evaluation	Cremona C.	2011
Orcesi, A.	Duratinet - Maintenance & repair of transport infrastructure - web technical guide	Evaluation	Duratinet project	2012
Orcesi, A.	BRIME - Bridge Management and Condition Monitoring	Evaluation	Brime project	2001
Orcesi, A.	Application des notions de fiabilité à la gestion des ouvrages existants	Evaluation	Cremona, C.	2003

Germany

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Ralph Holst	Guideline for standardized capturing, assessment, recording and analysis of results of construction	Research	Bundesministerium für Verkehr und	2013
Ralph Holst	Highway Structures - Inspection and Testing [DIN 1076]	Inspection	DIN Deutsches Institut für Normung	1999
Ralph Holst	Leitfaden Objektbezogene Schadensanalyse (OSA)	Evaluation	Bundesanstalt für Strassenwesen	2004
Ralph Holst	Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie) NRL	Evaluation	Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung	2011
Ralph Holst	Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei	Evaluation	Bundesministerium für Verkehr Bau und Wohnungswesen	2004
Ralph Holst	Anweisung Straßeninformationsbank - Segment Bauwerksdaten [ASB-ING]	?	Bundesministerium für Verkehr Bau und	2013
Ralph Holst	ASB Bestandsdaten	?		
Ralph Holst	ASB Netzdaten	?		
Ralph Holst	Eurocode 0 [EC 0]	Evaluation		
Ralph Holst	Eurocode 1-2 [EC 1-2]			
Ralph Holst	Eurocode 2-1-1 NE [EC 2-1-1 NA]			
Ralph Holst	Hans04	Research	Institut für Massivbau der	2004
Ralph Holst	WPM	Inspection	Homepage: www.wpm-	2016
Ralph Holst	PMC		www.	
Ralph Holst	<i>DIN 31051</i>	Evaluation	DIN Deutsches Institut für Normung	
Ralph Holst	DIN 55350-21	Evaluation	DIN Deutsches Institut für Normung	
Ralph Holst	DIN 55350-34	Inspection	DIN Deutsches Institut für Normung	
Ralph Holst	DIN EN 61025		DIN Deutsches Institut für Normung	
Ralph Holst	VDI 4001	Evaluation	VDI - The Association of German Engineers	
Ralph Holst	VDI 4003		VDI - The Association of German Engineers	
Ralph Holst	VDI 6200	Evaluation	VDI - The Association of German Engineers	
Ralph Holst	FSTS12	Research	Federal Highway Reserach Institute	
Ralph Holst	ScKK12	Research	Federal Highway Reserach Institute	
Ralph Holst	BuSL09	Research	Federal Highway Reserach Institute	2009
Ralph Holst	KrGr10	Research	Federal Highway Reserach Institute	2010
Ralph Holst	NaBL07	Research	Springer Verlag	2007
Ralph Holst	Schn07	Research	?	?
Ralph Holst	BFDW12	Research	Federal Highway Reserach Institute	
Ralph Holst	IEV 191-16-07		www.	

Greece

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Panagiotis Panetsos	<i>Bridge Inspection Manual</i>	Inspection	Ministry of Infrastructure, Transportation and Networks	2009
Panagiotis Panetsos	<i>Bridge Evaluation Manual</i>	Evaluation	Ministry of Infrastructure, Transportation and Networks	2009
Panagiotis Panetsos	<i>Bridges structural and operational adequacy manual</i>	Evaluation	Egnatia Motorway S.A., O&M Division, Structures Maintenance Department	2010
Panagiotis Panetsos	<i>Visual inspection manual for bridges</i>	Inspection & Evaluation	Egnatia Motorway S.A., O&M Division, Structures Maintenance Department	2010

Hungary

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Zsuzsanna Pisch	<i>e-ÚT 08.00.11. Register and Technical Supervision of Highway Bridges</i>	Inspection	Hungarian Road Society	1999
Zsuzsanna Pisch	<i>e-UT 08.01.25. Register and Technical Supervision of Highway Bridges. Additional Dates and Examination Points of View, Hungarian Road Society</i>	Inspection	Hungarian Road Society	2004
Zsuzsanna Pisch	<i>"Pontis" bridge inspection guide</i>	Inspection	Transport Ministry	2000

Iceland

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
GVG	<i>Handbók Vegagerðarinnar um brúarskoðun / Manual or checklist of bridge inspections at the</i>	Inspection	Vg	1996
GVG	<i>Reglur um hönnun brúa / Design manual for bridges</i>	design	Vg	2014

Ireland

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Vikram Pakrashi	<i>EIRSPAN The Irish Structure Management System System Manual no. 4: Special Inspection</i>	Inspection	The Road Directorate Ministry of Transport, Denmark	2001
Vikram Pakrashi	<i>EIRSPAN The Irish Structure Management System System Manual no. 3: Principal Inspection</i>	Inspection	The Road Directorate Ministry of Transport, Denmark	2015

Israel

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Amos Duke	<i>"Guidance document for evaluation of structural condition of bridges and road structures", ver-7-2011, Hebrew Edition</i>	Evaluation	Amir Kedar	2011
Amir Kedar	<i>"Seismic performance evaluation for Bridges", ver 3-2011, Hebrew Edition</i>	Evaluation	Eng. Iliya Minkin, Dr. Michael Rabinovich	2011
Amir Kedar	<i>"Guide for Documenting Bridges and Road Structures", ver-4-2011, Hebrew Edition</i>	Inspection	Amir Kedar	2011
Amos Duke	<i>"Guidance documents for bridge inspection", ver-4-2011, Hebrew Edition</i>	Inspection	Amir Kedar	2011
Amos Duke	<i>"Israeli bridges and road structures defects tables", ver-5-2015, Hebrew Edition</i>	Inspection	Amir Kedar	2015
Amir Kedar	<i>"Identification, Numbering and Marking Procedure for Bridges and Road Structures", ver-1.5-2007, Hebrew Edition</i>	Inspection	Amir Kedar	2007
Amos Duke	<i>"Bridge inspector's qualification guide", ver-1.3-2007, Hebrew Edition</i>	Inspection	Amir Kedar	2007

Italy

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Marano, Landolfo, Greco, Fiore, Cascini	<i>NORME TECNICHE PER LA COSTRUZIONI. D.M. 14 GENNAIO 2008</i>	Evaluation	MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE	2008
Marano, Landolfo, Greco, Fiore, Cascini	<i>LINEE GUIDA PER LA GESTIONE DELLA SICUREZZA DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI</i>	Management/Inspection	MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI	2012
Marano, Landolfo, Greco, Fiore, Cascini	<i>Manuale della sorveglianza Parte 1 e 2</i>	Inspection	ASPI-SPEA	2015

Lativa

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
A.Paeglitis	<i>Handbook "Bridge inspection"</i>	Evaluation	Ilmars Jurka	2007

Lithuania

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Darius Bacinskas	<i>Tiltų techninės priežiūros taisyklės TTPT 10</i> <i>Instructions for bridge maintenance TTPT 10</i>	Inspection	Lietuvos automobilių kelių direkcija Lithuanian road administration	2010
Darius Bacinskas	<i>Kelių priežiūros vadovas KPV PN-14</i> <i>Handbook of road maintenance KPV PN-14</i>	Inspection	Lietuvos automobilių kelių direkcija Lithuanian road administration	2014

Macedonia

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Goran Markovski	<i>Roolbook for technical inspection of culverts and bridges on road network of Republik of Macdonia</i>	Inspection	Republic Agency for Roads	2003

Netherlands

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Giel Klanker	<i>Analysekader vaste kunstwerken</i>	Evaluation	Rijkswaterstaat	2012
Giel Klanker	<i>Referentiedocument Viaduct</i>	Inspection	Rijkswaterstaat	2014
Giel Klanker	<i>Referentiedocument Vaste Brug</i>	Inspection	Rijkswaterstaat	2015

Norway

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
	<i>V441 Inspeksjonshåndbok for bruer</i>	Inspection	Vegdirektoratet	2014

Poland

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Mieszko Kużawa	<i>Instruction for carrying out the inspections of road bridges (in Polish).</i>	Evaluation	General Directorate for National Roads and Motorways	2005

Portugal

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Sérgio Fernandes	<i>Screening1 - Quality Control Plan</i>	Inspection	Brisa	2009
Sérgio Fernandes	<i>Screening3 - Technical Specifications for Main Inspections</i>	Inspection	Estradas de Portugal	

Serbia

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Nikola Tanasic	<i>Tehničko rešenje baze podataka o mostovima - Knjiga 2</i>	Inspection	Institut za puteve Srbije	1998
Nikola Tanasic	<i>Pravilnik o utvrđivanju nosivosti postojećih motova na državnim putevima</i>	Evaluation	Institut za puteve Srbije	2012
Nikola Tanasic	<i>Vulnerability assessment of bridges exposed to scour</i>	Research	Tanasic N, Ilic V, Hajdin R	2013

Slovakia

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Peter Koteš	<i>TP 13/2013 Technical Specifications. Road Bridges Monitoring (TP 13/2013 Technické podmienky. Monitorovanie cestných mostov)</i>	Monitoring	Ministry of Transport, Construction and Regional Development of the Slovak Republic Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR, Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií	2013
Peter Koteš	<i>USM 1/2012 Regulation. Load-carrying capacity of bridges (USM 1/2012 Usmernenie. Zaťažiteľnosť mostov)</i>	Evaluation	Ministry of Transport, Construction and Regional Development of the Slovak Republic Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR, Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií	2012
Peter Koteš	<i>TP 07/2012 Technical Specifications. Input and performance of bridge diagnostic (TP 07/2012 Technické podmienky. Zadávanie a výkon diagnostiky mostov)</i>	Diagnostic	Ministry of Transport, Construction and Regional Development of the Slovak Republic Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR, Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií	2012
Peter Koteš	<i>TP 08/2012 Technical Specifications. Inspections, maintenance and repairs of road communications. Bridges (TP 08/2012 Technické podmienky. Prehliadky, údržba a opravy cestných komunikácií. Mosty)</i>	Inspection	Ministry of Transport, Construction and Regional Development of the Slovak Republic Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR, Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií	2012
Peter Koteš	<i>TP 09/2012 Technical Specifications. Damages catalogue of bridges on highways, speedways and roads (TP 09/2012 Technické podmienky. Katalóg porúch mostných objektov na diaľniciach, rýchlostných komunikáciách a cestách I., II: a III. triedy)</i>	Inspection	Ministry of Transport, Construction and Regional Development of the Slovak Republic Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR, Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií	2012
Peter Koteš	<i>TP 14/2013 Technical Specifications. Bridge management system (TP 14/2013 Technické podmienky. System hospodárenia s mostami)</i>	Evaluation	Ministry of Transport, Construction and Regional Development of the Slovak Republic Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR, Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií	2013
Peter Koteš	<i>STN 73 6209 Loading tests of bridges (STN 73 6209 Zaťažovacie skúšky mostov)</i>	Evaluation	Office for standards and measurements, Prague / Úrad pre normalizáciu a merania, Praha	1979

Slovenia

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Matej Kusar	<i>Bridge condition assessment</i>	Evaluation	Žnidarič, Terčelj, Marolt	1990
Matej Kusar	<i>Damage types numerical evaluation</i>	Evaluation	Žnidarič et al.	1992
Matej Kusar	<i>Expansion joints inspection report</i>	Inspection	?	2005

Spain

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Juan Murcia-Delso	<i>Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en el Red de carreteras del Estado</i>	Inspection	Ministerio de Fomento	2012
Juan Murcia-Delso	<i>Guía para la redacción del Plan de Mantenimiento en Puentes</i>	Inspection	Asociación Científico-Técnica del Hormigón	2015

Sweden

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Mohammed Safi	<i>MÄTNING och BEDÖMNING AV BROARS TILLSTÅND</i>	Inspection	Swedish Transport Administration	2008

Switzerland

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
Eleni Chatzi	<i>ASTRA 82001 - Überprüfung bestehender Strassenbrücken mit aktualisierten Strassenlasten</i>	Evaluation	Bundesamt für Strassen ASTRA	2006
Eleni Chatzi	<i>ASTRA 12002 - Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstrassen</i>	Inspection	Bundesamt für Strassen ASTRA	2005
Eleni Chatzi	<i>ASTRA 12010 - Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Spanngliedern in Kunstbauten</i>	Evaluation	Bundesamt für Strassen ASTRA - SBB AG	2007
Eleni Chatzi	<i>ASTRA 12011 - Fahrbahnübergänge aus Polymerbitumen</i>	Inspection/ Evaluation	Bundesamt für Strassen ASTRA	2005
Eleni Chatzi	<i>ASTRA 12009 - Oberflächenschutz von Stahlkonstruktionen</i>	Inspection/ Evaluation	Bundesamt für Strassen ASTRA	1995
Eleni Chatzi	<i>ASTRA 19003 - Management von Naturgefahren auf den Nationalstrassen</i>	Evaluation	Bundesamt für Strassen ASTRA	2014
Eleni Chatzi	<i>ASTRA 62014 - KUBA 5.0 Fachapplikation Kunstbauten und Tunnel</i>	Inspection/ Evaluation	Bundesamt für Strassen ASTRA	2012
Eleni Chatzi	<i>Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Strassenbrücken</i>	Evaluation	Bundesamt für Strassen ASTRA	2005
Eleni Chatzi	<i>SIA Norm 469 - Erhaltung von Bauwerken</i>	Inspection/ Evaluation	Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein	1997
Eleni Chatzi	<i>SIA Norm 269 - Grundlagen der Erhaltung von Bauwerken</i>	Inspection/ Evaluation	Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein	2011
Eleni Chatzi	<i>SIA Norm 260 - Grundlagen der Projektierung von Tragwerken</i>	Inspection/ Evaluation	Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein	2013
Eleni Chatzi	<i>22001 Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K)</i>	Inspection/ Evaluation	Bundesamt für Strassen ASTRA	2016

United Kingdom

Responsible Person	Document	Doc. Type	Author	Year
	<i>ADDENDUM TO CSS GUIDANCE NOTE ON BRIDGE CONDITION INDICATORS Volume 2: Bridge</i>	Inspection	WS Atkins	2002

Liste der untersuchten Dokumente – Research Database

Croatia

Responsible Person	Article	Author	Year
Ana Mandić Ivanković	<i>Seismic assessment of existing reinforced-concrete arch bridges</i>	Franetović M., Mandić Ivanković A., Radić J.	2014
Ana Mandić Ivanković	<i>Adjustment of small-span masonry arch bridges to present-day demands</i>	Kindij, A., Mandić Ivanković, A., Vasilj M.	2014
Ana Mandić Ivanković	<i>Assessment of Bridges in Aggressive Maritime Environment</i>	Mandić Ivanković, A., Franetović, M., Radić J.	2013
Ana Mandić Ivanković	<i>Performance of existing concrete arch bridges</i>	A. Mandić Ivanković, M. Srbić, M. Franetović	2015
Domagoj Damjanović	<i>Dynamic analysis of cable-stay and suspension bridges</i>	Damjanović, Herceg, Duvnjak	2010
Marko Bartolac	<i>Static and dynamic testing of overpass on Slavonian Avenue in Zagreb</i>	Bartolac, Rak, Pavlica, Damjanović, Duvnjak	2010
Domagoj Damjanović	<i>Monitoring and load testing of the Cetina bridge</i>	Damjanović, Rak, Krolo	2010
Domagoj Damjanović	<i>Experimental analysis of vibrations of the Dubrovnik bridge</i>	Rak, Damjanović, Biočić	2007
Domagoj Damjanović	<i>Durability Monitoring System on the Bridge over Krka River</i>	Rak, Bjegović, Kapović, Stipanović, Damjanović	2006
Domagoj Damjanović	<i>Modal analysis of the Dubrovnik bridge</i>	Rak, Krolo, Šavor, Herceg, Damjanović	2005
Tenžera	Maintenance of arch bridges on Croatian state road network	Tenžera, Dobrica, Ukrainczyk	2011
Tenžera	Visual inspection in evaluation of bridge condition	Tenžera, Puž, Radić	2012
Tenžera	Rehabilitation of concrete beam bridges in Croatian state road network	Tenžera, Futivić, Ukrainczyk	2012
Tenžera	Bridge condition assessment by visual inspection - Croatian experience	Radić, Tenžera, Puž	2013
Tenžera	Bridge condition forecasting for maintenance optimisation	Puž, Radić, Tenžera	2013
Tenžera	Rehabilitation of historical bridges	Tenžera, Futivić, Dobrica, Ukrainczyk	2015
Marija Kušter Marić	<i>Modelling the effect of damage on transport processes in concrete</i>	J. Ožbolt, G. Balabanić, G. Periškić, M. Kušter	2010
Marija Kušter Marić	<i>3D Numerical modelling of steel corrosion in concrete structures</i>	J. Ožbolt, G. Balabanić, M. Kušter	2011
Marija Kušter Marić	<i>Modeling damage in concrete caused by corrosion of reinforcement: coupled 3D FE model</i>	Joško Ožbolt, Filip Oršanić, Gojko Balabanić, Marija Kušter	2012
Stirmer Nina	Reconstruction and widening of the bridge in Kamenmost (in Croatian)	Štirmer, Nina; Banjad Pečur, Ivana; Ukrainczyk, Velimir	2005
Stirmer Nina	Comparative Study of Two Concrete Bridges in Marine Environment	Banjad Pečur, Ivana; Blumenschein, Nina; Janeva, Donka	2002
Stirmer Nina	Bridge reconstruction with one layer concrete overlay	Galić, Jure; Banjad Pečur, Ivana; Štirmer, Nina; Ukrainczyk, Velimir	2003
Stirmer Nina	Concrete cover rehabilitation (in Croatian)	Štirmer, Nina; Banjad Pečur, Ivana; Ukrainczyk, Velimir	2006
Stirmer Nina	Durability properties of concrete with blended cements	Bjegović, Dubravka; Štirmer, Nina; Serdar, Marijana	2012
Stirmer Nina	Use of polymer modified concrete for concrete bridges repair	Štirmer, Nina; Banjad Pečur, Ivana; Cvitanović, Slaven	2009
Stirmer Nina	Durability of reinforced-structures exposed to chloride corrosion (in Croatian)	Ukrainczyk, Velimir; Halle, Radovan; Blumenschein, Nina	1998

Czech Republic

Responsible Person	Article	Author	Year
Pavel Ryjacek	<i>Strength assessment of historic brick masonry</i>	Witzany, J., Čejka, T., Sýkora, M., Holický, M.	2015
Pavel Ryjacek	<i>The impact of the severe corrosion on the structural behavior of steel bridge members</i>	Macho, M., Ryjáček, P.	2015
Pavel Ryjacek	<i>Assessment of compressive strength of historic mixed masonry</i>	Witzany, J., Čejka, T., Sýkora, M., Holický, M.	2015
Pavel Ryjacek	<i>Performance-based optimization of bridge structures' design, repairs and reconstructions</i>	Šafář, R., Kohoutková, A., Křístek, V., Brožová, L., Sedmidubský, V., Kolísko, J.	2012
Pavel Ryjacek	<i>Economic and human safety reliability levels for existing structures</i>	Steenbergen, R.D.J.M., Sýkora, M., Diamantidis, D., Holický, M.c, Vrouwenvelder, T.	2015
Pavel Ryjacek	<i>The design value method and Adjusted Partial Factor Approach for existing structures</i>	Caspeele, R., Sykora, M., Allaix, D.L., Steenbergen, R.	2013
Pavel Ryjacek	<i>Uncertainties in resistance models for sound and corrosion-damaged RC structures according to EN 1992-1-1</i>	Sykora, M., Holicky, M., Prieto, M., Tanner, P.	2015
Pavel Ryjacek	<i>Methodology for the quantitative risk assessment of road bridges exposed to accidental events</i>	Sykora, M., Holicky, M., Mañas, P.	2015
Pavel Ryjacek	<i>Structural robustness as an innovative design concept</i>	Sykora, M., Holicky, M.	2010
Pavel Ryjacek	<i>Robustness: Key property of modern structures</i>	Sykora, M., Holický, M., Markova, J.	2011
Pavel Ryjacek	<i>Optimum Reliability Levels for Structures</i>	Holický, M.	2014
Pavel Ryjacek	<i>Reliability elements for assessment of existing bridges</i>	Holický, M., Markova, J.	2010
Pavel Ryjacek	<i>Diagnostics of a Historical Bridge Using Measuring Methods and Inverse Analysis</i>	KLUSÁČEK, L.; NEČAS, R.; BUREŠ, J.	2015
Pavel Ryjacek	<i>BRIDGE GIRDERS CONDITION EVALUATION BY ACOUSTIC EMISSION METHOD USE</i>	Pospíšil, K., Kořenská, M., Pazdera, M., Stryk, J.	2003
Pavel Ryjacek	<i>BRIDGES EVALUATION FROM LCC ASPECT</i>	Macek, D., Měšťánová, D.	2009

France

Responsible Person	Article	Author	Year
Maria Pina Limongelli	Assessment of vibration-based damage identification techniques	Alvandi A., Cremona C.	2006
Maria Pina Limongelli	Frequency response function interpolation for damage detection under changing environment	Limongelli M.P.	2010
Maria Pina Limongelli	Damage localization in bridges via the FRF interpolation method	Dilena M., Limongelli M.P., Morassi A.	2015
Maria Pina Limongelli	Vibration based damage localization using MEMS on a suspension bridge model	Domaneschi M., Limongelli M.P., Martinelli L.	2013
Maria Pina Limongelli	Probabilistic assessment of welded joints versus fatigue and fracture	Mladen Lukic, Christian Cremona	2001
Maria Pina Limongelli	Probabilistic approach for cable residual strength assessment	Christian Cremona	2003
Maria Pina Limongelli	Dynamic monitoring applied to the detection of structural modifications: a high-speed railway bridge study	Christian Cremona	2004
Maria Pina Limongelli	Stochastic improvement of inspection and maintenance of corroding reinforced concrete structures placed in unsaturated environments	Emilio Bastidas-Arteaga , Franck Schoefs	2012
Maria Pina Limongelli	Multi-algorithm approach for identification of structural behavior of complex structures under cyclic environmental loading	Francesca Lanata and Franck Schoefs	2011
Maria Pina Limongelli	Regionally Enhanced Multiphase Segmentation Technique for Damaged Surfaces	Michael O'Byrne & Bidisha Ghosh, Franck Schoefs, Vikram Pakrashi	2014
Maria Pina Limongelli	Texture Analysis Based Damage Detection of Ageing Infrastructural Elements	Michael O'Byrne, Franck Schoefs, Bidisha Ghosh, Vikram Pakrashi	2013
Maria Pina Limongelli	Markovian Bridge Maintenance Planning Incorporating Corrosion Initiation and Nonlinear Deterioration	A. J. O'Connor, E. Sheils; Denys Breyse; and Franck Schoefs	2011
Maria Pina Limongelli	Probabilistic Evaluation to Improve Design of Impact–Echo Sources	Franck Schoefs, Odile Abraham	2012
Maria Pina Limongelli	Development of a two-stage inspection process for the assessment of deteriorating infrastructure	Emma Sheils, Alan O'Connor, Denys Breyse, Franck Schoefs, Sylvie Yotte	2010
Maria Pina Limongelli	Characterization of Random Fields From NDT Measurements: a Two Stages Procedure	F. Schoefs, E. Bastidas-Arteaga, T.V. Tran, G. Villain, X. Derobert	2016
Maria Pina Limongelli	Improvement of Bayesian network configurations for random variables identification in deterioration modelling.	Thanh-Binh Tran, Emilio Bastidas-Arteaga, Franck Schoefs	2016
Maria Pina Limongelli	Non-destructive methods for measuring chloride ingress into concrete: State-of-the-art and future challenges	M. Torres-Luque, E. Bastidas-Arteaga, F. Schoefs, M. Sánchez-Silva, J.F. Osmá	2014
Maria Pina Limongelli	Multi-Site Damage Localization in a Suspension Bridge via Aftershock Monitoring	Domaneschi M., Limongelli M.P., Martinelli L.	2014
Maria Pina Limongelli	The interpolation damage detection method for frames under seismic excitation	Limongelli M.P.	2011
Maria Pina Limongelli	Damage detection and localization on a benchmark cable-stayed bridge	Domaneschi M., Limongelli M.P., Martinelli L.	2015
André Orcesi	Optimization of Maintenance Strategies for the Management of the National Bridge Stock in France	Orcesi, A.D. Cremona C.F.	2011
André Orcesi	Optimization of management strategies applied to the national reinforced concrete bridge stock in France	Orcesi, A.D. Cremona C.F.	2009
André Orcesi	Optimal maintenance strategies for bridge networks using the supply and demand approach	Orcesi, A.D. Cremona C.F.	2011

André Orcesi	A bridge network maintenance framework for Pareto optimization of stakeholders/users costs	Orcesi, A.D. Cremona C.F.	2010
André Orcesi	Influence of Maintenance Strategies on the Life Cycle Performance of Composite Highway Bridges	H. Gervásio, L. Simões da Silva, V. Perdigão, A. Orcesi, R. Andersen	2015
André Orcesi	Optimization of bridge maintenance strategies based on multiple limit states and monitoring	André D. Orcesi, Dan M. Frangopol, Sunyong Kim	2010
André Orcesi	A stakeholder probability-based optimization approach for cost-effective bridge management	André D. Orcesi, Dan M. Frangopol	2011
André Orcesi	Use of Lifetime Functions in the Optimization of Nondestructive Inspection Strategies for Bridges	André D. Orcesi, Dan M. Frangopol	2011
André Orcesi	Automated finite element updating using strain data for the lifetime reliability assessment of bridges	Nader M.Okasha, DanM.Frangopol, André D. Orcesi	2012
André Orcesi	Quantification of structural robustness: application to the study of a prestressed concrete beam	N.C. Kagho-Gouadjio, A.D. Orcesi, C.F. Cremona and C. Marcotte	2015
Alaa Chateauneuf	Reliability-based optimization of direct and indirect LCC of RC bridge elements under coupled fatigue-corrosion deterioration processes	Saad L., Aissani A., Chateauneuf A., Raphael W.	2016
Alaa Chateauneuf	Efficient Masonry Vault Inspection by Monte Carlo Simulations: Case of Hidden Defect	Zanaz A., Yotte S., Fouchal F., Chateauneuf A.	2015
Alaa Chateauneuf	Partially Observable Markov Decision Processes Incorporating Epistemic Uncertainties	Faddoul R., Soubra AH, Raphael W, Chateauneuf A.	2015
Alaa Chateauneuf	Extension of dynamic programming models for management optimisation from single structure to multi-structures level	Faddoul R., Soubra AH, Raphael W, Chateauneuf A.	2013
Alaa Chateauneuf	Reliability of prestressed concrete structures considering creep models	Chateauneuf A., Raphael W., Moutou Pitti R.	2012
Alaa Chateauneuf	A Generalized Partially Observable Markov Decision Process updated by decision trees for maintenance	Faddoul R., Raphael W, Chateauneuf A.	2009
Alaa Chateauneuf	Information-based formulation for bayesian updating of the Eurocode 2 creep model	Raphael W., Faddoul R., Selouan D., Chateauneuf A.	2009
Alaa Chateauneuf	Lifetime Management of Infrastructures: lessons driven from practical implementation	Chateauneuf A., Faddoul R.	2015
Alaa Chateauneuf	Target reliability, Structural Reliability Analyses into System Risk Assessment	Chateauneuf A.	2010
Alaa Chateauneuf	Effect of soil–structure interaction on the reliability of reinforced concrete bridges	Bezih K, Chateauneuf A., Bacconnet C.	2015

Greece

Responsible Person	Article	Author	Year
Dimosthenis Kifokeris	<i>Assessment of SSI on the longitudinal seismic response of short span bridges</i>	Spyrakos	1990
Dimosthenis Kifokeris	<i>Experimental investigation and mathematical modeling of the concrete carbonation problem</i>	Papadakis, Vayenas, Fardis	1991
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic behavior of bridge piers including soil-structure interaction</i>	Spyrakos	1992
Dimosthenis Kifokeris	<i>Parametric results for seismic response of pile-supported bridge bents</i>	Mylonakis, Nikolaou, Gazetas	1995
Dimosthenis Kifokeris	<i>Soil-pile-bridge seismic interaction: kinematic and inertial effects. Part 1: soft soil</i>	Mylonakis, Nikolaou, Gazetas	1997
Dimosthenis Kifokeris	<i>Fundamental period and effective damping of pile-supported bridge piers</i>	Gerolymos, Gazetas, Mylonakis	1998
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic study of an historic covered bridge</i>	Spyrakos, Kemp, Venkatareddy	1999
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic analysis of bridges including soil-abutment interaction</i>	Karantzakis, Spyrakos	2000
Dimosthenis Kifokeris	<i>Simplified model for seismic pile bending at soil layer interfaces</i>	Mylonakis	2001
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismically isolated bridge piers on shallow soil stratum with soil-structure interaction</i>	Vlassis, Spyrakos	2001
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic assessment and design of R/C bridges with irregular configuration, including SSI effects</i>	Kappos, Manolis, Moschonas	2002
Dimosthenis Kifokeris	<i>Effect of soil-structure interaction on seismically isolated bridges</i>	Spyrakos, Vlassis	2002
Dimosthenis Kifokeris	<i>Inelastic dynamic analysis of RC bridges accounting for spatial variability of ground motion, site effects and soil-structure interaction phenomena. Part 2: Parametric study</i>	Sextos, Kappos, Pitilakis	2003
Dimosthenis Kifokeris	<i>Inelastic dynamic analysis of RC bridges accounting for spatial variability of ground motion, site effects and soil-structure interaction phenomena. Part 1: Methodology and analytical</i>	Sextos, Pitilakis, Kappos	2003
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic behavior of a post-tensioned integral bridge including soil-structure interaction (SSI)</i>	Spyrakos, Ioannidis	2003
Dimosthenis Kifokeris	<i>The role of soil in the collapse of 18 piers of Hanshin Expressway in the Kobe earthquake</i>	Mylonakis, Syngros, Tazoh	2004
Dimosthenis Kifokeris	<i>Effect of soil-structure interaction and spatial variability of ground motion on irregular bridges: the case of the Krystallopigi Bridge</i>	Sextos, Kappos, Mergos	2004
Dimosthenis Kifokeris	<i>Modal pushover analysis as a means for the seismic assessment of bridge structures</i>	Kappos, Paraskeva, Sextos	2005
Dimosthenis Kifokeris	<i>Reduction of inertial seismic forces in bridges by using the abutment backwall as a "yielding" stopper</i>	Mitoulis, Tegos	2005
Dimosthenis Kifokeris	<i>Reduction of seismic actions in bridges by developing the pounding interaction between the deck and appropriately reformed abutments</i>	Mitoulis, Tegos	2005
Dimosthenis Kifokeris	<i>Modelling confinement in concrete columns and bridge piers through 3D nonlinear finite element analysis</i>	Papanikolaou, Kappos	2005
Dimosthenis Kifokeris	<i>Contribution to the improvement of seismic performance of integral bridges</i>	Tegos, Sextos, Mitoulis, Tsitotas	2005
Dimosthenis Kifokeris	<i>Evaluation of vulnerability curves for bridges - a case study</i>	Karakostas, Makarios, Lekidis, Kappos	2006
Dimosthenis Kifokeris	<i>Retrofitting R/C bridge pier type cross-sections with partial confinement employing carbon fiber reinforced plastics</i>	Manos, Kourtides	2006
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic retrofitting of existing bridges through the restraining of the free movement by an external "stopper"</i>	Mitoulis, Tegos	2006
Dimosthenis Kifokeris	<i>Footings under seismic loading: Analysis and design issues emphasis on bridge foundations</i>	Mylonakis, Nikolaou, Gazetas	2006
Dimosthenis Kifokeris	<i>Extension of modal pushover analysis to seismic assessment of bridges</i>	Paraskeva, Kappos, Sextos	2006

Dimosthenis Kifokeris	<i>Bridge-embankment interaction under transverse ground excitation</i>	Kotsoglou, Pantazopoulou	2007
Dimosthenis Kifokeris	<i>Development of seismic vulnerability curves for a bridge with elastomeric bearings</i>	Makarios, Lekidis, Kappos, Karakostas, Moschonas	2007
Dimosthenis Kifokeris	<i>Flexural retrofitting of reinforced concrete bridge pier type cross-sections with carbon fiber reinforced plastics</i>	Manos, Kourtides	2007
Dimosthenis Kifokeris	<i>Study of the behavior of steel laminated rubber bearings under prescribed loads</i>	Manos, Mitoulis, Kourtidis, Sextos, Tegos	2007
Dimosthenis Kifokeris	<i>The problem of seismic strengthening of existing bridges</i>	Mitoulis, Tegos	2007
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic response analysis of highway bridges, including backfill-deck interaction, through improved participation of backfills</i>	Tegos, Mitoulis	2007
Dimosthenis Kifokeris	<i>Earthquake resistance and cost-effectiveness of multi-span bridges</i>	Tegos, Stylianidis, Mitoulis, Gavaise, Tsitotas	2007
Dimosthenis Kifokeris	<i>Limit state model for R.C. bridge joints under seismic loading</i>	Timosidis, Pantazopoulou	2007
Dimosthenis Kifokeris	<i>Experimental study of bridge seismic isolation systems with or without supplemental energy</i>	Bousias, Strepelias, Palios, Fardis, Raftopoulos	2008
Dimosthenis Kifokeris	<i>Constitutive model for concrete in triaxial compression and application in finite element analysis of R/C bridge piers</i>	Papanikolaou, Kappos	2008
Dimosthenis Kifokeris	<i>An improved multimodal procedure for deriving pushover curves for bridges</i>	Paraskeva, Kappos	2008
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic assessment of bridges accounting for nonlinear material and soil response, and varying boundary conditions</i>	Kappos, Sextos	2009
Dimosthenis Kifokeris	<i>Effect of torsional stiffness of prestressed concrete box girders and uplift of abutment bearings on seismic performance of bridges</i>	Katsaras, Panagiotakos, Kolias	2009
Dimosthenis Kifokeris	<i>Assessment and modeling of embankment participation in the seismic response of integral abutment bridges</i>	Kotsoglou, Pantazopoulou	2009
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic fragility curves for greek bridges: methodology and case studies</i>	Moschonas, Kappos, Panetsos, Papadopoulos, Makarios, Thanopoulos	2009
Dimosthenis Kifokeris	<i>Structural identification of Egnatia Odos bridges based on ambient and earthquake induced vibrations</i>	Ntotsios, Karakostas, Lekidis, Panetsos, Nikolaou, Papadimitriou, Salonikos	2009
Dimosthenis Kifokeris	<i>Bridge health monitoring system based on vibration measurements</i>	Ntotsios, Papadimitriou, Panetsos, Karaiskos, Perros, Perdikaris	2009
Dimosthenis Kifokeris	<i>Numerical study of confinement effectiveness in solid and hollow reinforced concrete bridge piers: Analysis results and discussion</i>	Papanikolaou, Kappos	2009
Dimosthenis Kifokeris	<i>Numerical study of confinement effectiveness in solid and hollow reinforced concrete bridge piers: Methodology</i>	Papanikolaou, Kappos	2009
Dimosthenis Kifokeris	<i>Reliability analysis of bridge models with elastomeric bearings and seismic stoppers under stochastic earthquake excitations</i>	Perros, Papadimitriou	2009
Dimosthenis Kifokeris	<i>Evaluation of seismic response of bridges under asynchronous excitation and comparisons with Eurocode 8-2 provisions</i>	Sextos, Kappos	2009
Dimosthenis Kifokeris	<i>Analytical investigation of the earthquake resistance and serviceability performance of an external restrainer for bridges</i>	Tegos, Mitoulis, Tegou	2009
Dimosthenis Kifokeris	<i>Response simulation and seismic assessments of highway overcrossings</i>	Kotsoglou, Pantazopoulou	2010
Dimosthenis Kifokeris	<i>A numerical approach for obtaining fragility curves in seismic structural mechanics: A bridge case of Egnatia motorway in northern Greece</i>	Liolios, Panetsos, Liolios, Hatzigeorgiou, Radev	2010
Dimosthenis Kifokeris	<i>An external restraining system for the seismic retrofit of existing bridges</i>	Mitoulis, Tegos	2010
Dimosthenis Kifokeris	<i>An unconventional restraining system for limiting the seismic movements of isolated bridges</i>	Mitoulis, Tegos	2010

Dimosthenis Kifokeris	<i>Connection of bridges with neighborhood tunnels</i>	Mitoulis, Tegos	2010
Dimosthenis Kifokeris	<i>Restrain of a seismically isolated bridge by external stoppers</i>	Mitoulis, Tegos	2010
Dimosthenis Kifokeris	<i>Cost-effectiveness related to the earthquake resisting system of multi-span bridges</i>	Mitoulis, Tegos, Stylianidis	2010
Dimosthenis Kifokeris	<i>Further development of a multimodal pushover analysis procedure for seismic assessment of bridges</i>	Paraskeva, Kappos	2010
Dimosthenis Kifokeris	<i>An unconventional earthquake resistant abutment with transversely directed R/C walls</i>	Tegou, Mitoulis, Tegos	2010
Dimosthenis Kifokeris	<i>A displacement-based seismic design procedure for concrete bridges having deck integral with the piers</i>	Bardakis, Fardis	2011
Dimosthenis Kifokeris	<i>Nonlinear dynamic v elastic analysis for seismic deformation demands in concrete bridges having deck integral with the piers</i>	Bardakis, Fardis	2011
Dimosthenis Kifokeris	<i>An improved displacement-based seismic design methodology for bridges accounting for higher mode effects</i>	Kappos, Gkatzogias, Gidaris	2011
Dimosthenis Kifokeris	<i>Problems of pushover analysis of bridges sensitive to torsion</i>	Kappos, Goutzika, Stefanidou, Sextos	2011
Dimosthenis Kifokeris	<i>Preliminary design of seismically isolated R/C highway overpasses - features of relevant software and experimental testing of elastomeric bearings</i>	Manos, Mitoulis, Sextos	2011
Dimosthenis Kifokeris	<i>Generalized fragility curves for bearing-supported skew bridges, for arbitrary angle of incidence of the seismic action</i>	Moschonas, Kappos	2011
Dimosthenis Kifokeris	<i>A multi-platform simulation alternative for the performance-based design of interactive soil-bridge systems</i>	Sextos	2011
Dimosthenis Kifokeris	<i>System identification of a R/C bridge based on ambient vibrations and 3D numerical simulations of the entire soil-structure system</i>	Sextos, Faraonis, Papadimitriou, Panetsos	2011
Dimosthenis Kifokeris	<i>A computational framework for the assessment of earthquake-induced rocking in CIDH pile supported bridges</i>	Sextos, Mylona, Mylonakis	2011
Dimosthenis Kifokeris	<i>An alternative proposal for the design of balanced cantilever bridges with small span lengths</i>	Tegos, Mitoulis	2011
Dimosthenis Kifokeris	<i>A proposal for an alternative to seismic isolation practice: implementation in a seismic isolated railway bridge</i>	Tegou, Tegos	2011
Dimosthenis Kifokeris	<i>Problems associated with direct displacement-placed design of concrete bridges with single-column piers, and some suggested improvements</i>	Kappos, Gidaris, Gkatzogias	2012
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic design and assessment of bridges</i>	Kappos, Saïdi, Aydınoglu, Isakovic	2012
Dimosthenis Kifokeris	<i>Utilization of an expert system for the preliminary design of seismically isolated bridges</i>	Manos, Mitoulis, Koidis	2012
Dimosthenis Kifokeris	<i>A knowledge-based software for the preliminary design of seismically isolated bridges</i>	Manos, Mitoulis, Sextos	2012
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic design of bridges with seat-type abutments considering the participation of the abutments during earthquake excitation</i>	Mitoulis	2012
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic design of bridges with the participation of seat-type abutments</i>	Mitoulis	2012
Dimosthenis Kifokeris	<i>The inefficacy of seismic isolation in bridges with tall piers</i>	Mitoulis	2012
Dimosthenis Kifokeris	<i>A new earthquake resistant abutment as means to reduce the seismic demands of railway bridge</i>	Mitoulis, Titirla, Tegos	2012
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic fragility of concrete bridges with deck monolithically connected to the piers or supported on elastomeric bearings</i>	Tsionis, Fardis	2012
Dimosthenis Kifokeris	<i>Hybrid testing of bridge structures supported on elastomeric bearings</i>	Tsitos, Bousias, Dimitropoulou	2012
Dimosthenis Kifokeris	<i>Development of fragility functions for geotechnical constructions: Application to cantilever retaining walls</i>	Argyroudis, Kaynia, Pitilakis	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic response of bridge abutments on surface foundation subjected to collision forces</i>	Argyroudis, Mitoulis, Pitilakis	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Eigenvalues and modes of distributed-span symmetric multispan bridges with restrained ends for seismic response analysis</i>	Fardis, Tsionis	2013

Dimosthenis Kifokeris	<i>Extension of direct displacement-based design methodology for bridges to account for higher mode effects</i>	Kappos, Gkatzogias, Gidaris	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Monitored incoherency patterns of seismic ground motion and dynamic response of a long cable-stayed bridge</i>	Lekidis, Papadopoulos, Karakostas, Sextos	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Cyclic behaviour of a hybrid anchoring device enhancing the flexural capacity and ductility of an R/C bridge-type pier strengthened with CFRP sheets</i>	Manos, Katakalos, Kourtides	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Preliminary design of seismically isolated R/C bridges - Features of relevant expert system and experimental testing of elastomeric bearings</i>	Manos, Mitoulis	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Bridges with fixities and bearings vs isolated systems</i>	Mitoulis	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Shaking table study of the seismic interaction of an isolated bridge deck with the abutment utilizing small-scale models and numerical simulations</i>	Mitoulis, Manos, Tegos	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Experimental research on the capacity of bridge shear keys</i>	Mitoulis, Tegos, Malekakis	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>A new scheme for the seismic retrofit of multi-span simply supported bridges</i>	Mitoulis, Tegos, Stylianidis	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Assessment of concrete bridges subjected to ground motion with an arbitrary angle of incidence: static and dynamic approach</i>	Moschonas, Kappos	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Assessment of EC8 procedures for the asynchronous excitation of bridges based on numerical analyses and recorded data</i>	Papadopoulos, Lekidis, Sextos, Karakostas	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Optimum design of cantilever walls retaining linear elastic backfill by use of genetic algorithm</i>	Papazafeiropoulos, Plevris, Papadrakakis	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Seismic design of R/C piers of hollow circular cross sections</i>	Tegos, Kifokeris, Chrysanidis	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Experimental and analytical research on the influence of the shear span ratio on the maximum shear strength of hollow circular R/C cross sections</i>	Tegos, Kifokeris, Giannakas, Chrysanidis	2013
Dimosthenis Kifokeris	<i>Exploiting SSI to mitigate seismic demands on bridge piers</i>	Farantakis, Kotsoglou, Pantazopoulou	2014
Dimosthenis Kifokeris	<i>Dynamic characteristics of bridge-foundation-soil systems based on laboratory and on-site measurements</i>	Faraonis, Sextos, Zabel, Wuttke	2014
Dimosthenis Kifokeris	<i>Performance-based seismic assessment and design of bridges</i>	Kappos	2014
Dimosthenis Kifokeris	<i>Simplified discrete systems for dynamic analysis of structures on footings and piles</i>	Maravas, Mylonakis, Karabalis	2014
Dimosthenis Kifokeris	<i>Green rubberised compressible inclusions to enhance the longevity of integral abutment bridges</i>	Mitoulis, Argyroudis, Pitolakis	2014
Dimosthenis Kifokeris	<i>Design of bridges utilizing a novel earthquake resistant abutment with high capacity wing walls</i>	Mitoulis, Titirla, Tegos	2014
Dimosthenis Kifokeris	<i>An intercontinental hybrid simulation experiment for the purposes of seismic assessment of a three-span R/C bridge</i>	Sextos, Bousias, Taskari, Evangeliou, Kwon, Elnashai, DiSarno, Palios	2014
Dimosthenis Kifokeris	<i>Performance criteria for bridges designed with spread footings on liquefiable soils</i>	Sextos, Psilla, Psycharis, Kappos, Taskari, Vassilopoulou, Mylona, Gantes, Bouckovalas	2014
Dimosthenis Kifokeris	<i>Fragility functions of road and railway bridges</i>	Tsionis, Fardis	2014
Dimosthenis Kifokeris	<i>Model updating of bridge-foundation-soil system based on ambient vibration data</i>	Faraonis, Sextos, Chatzi, Zabel	2015
Dimosthenis Kifokeris	<i>Uplift of deck or footings in bridges with distributed mass subjected to transverse earthquake</i>	Fardis	2015
Dimosthenis Kifokeris	<i>A time-domain seismic SSI analysis method for inelastic bridge structures through the use of a frequency-dependent lumped parameter model</i>	Lesgidis, Kwon, Sextos	2015
Dimosthenis Kifokeris	<i>A novel mechanism for restraining seismic action in ductile bridges: analytical modeling and experimental verification</i>	Pilitsis, Papanikolaou, Tegos, Stylianidis	2015
Dimosthenis Kifokeris	<i>Experimental and analytical investigation of an unconventional, rocking type response mechanism for earthquake-resistant bridges</i>	Pilitsis, Tegos, Papanikolaou, Stylianidis	2015

Dimosthenis Kifokeris	<i>Rotational excitation of bridges supported on pile groups in soft or liquefiable soil deposits</i>	Sextos, Mylonakis, Mylona	2015
Dimosthenis Kifokeris	<i>Hybrid simulation of bridge pier uplifting</i>	Stathas, Skafida, Bousias, Fardis, Digenis, Palios	2015
Dimosthenis Kifokeris	<i>Multi-angle multi-damage fragility curves for seismic assessment of bridges</i>	Taskari, Sextos	2015
Dimosthenis Kifokeris	<i>Probabilistic assessment of abutment-embankment stiffness and implications in the predicted performance of short bridges</i>	Taskari, Sextos	2015
Dimosthenis Kifokeris	<i>Monolithic reinforced concrete bridge joints under cyclic excitation</i>	Timosidis, Megalooikonomou, Pantazopoulou	2015

Italy

Responsible Person	Article	Author	Year
F. Biondini	<i>On the accuracy of diffusion models for life-cycle assessment of concrete structures</i>	Titi, A., Biondini, F.	2015
F. Biondini	<i>Seismic resilience of concrete structures under corrosion</i>	Biondini, F., Camnasio, E., Titi, A.	2015
F. Biondini	<i>Seismic resilience of bridges and highway networks</i>	Biondini, F., Capacci, L., Titi, A.	2015
F. Biondini	<i>Seismic resilience of deteriorating concrete structures</i>	Titi, A., Biondini, F., Frangopol, D.M.	2015
F. Biondini	<i>Deteriorating beam finite element for nonlinear analysis of concrete structures under corrosion</i>	Biondini, F., Vergani, M.	2015
F. Biondini	<i>Failure times of concrete structures in aggressive environment</i>	Biondini, F., Frangopol, D.M.	2014
F. Biondini	<i>Lifetime incremental dynamic analysis of concrete structures</i>	Titi, A., Biondini, F.	2014
F. Biondini	<i>Time-variant robustness of aging structures</i>	Biondini, F., Frangopol, D.M.	2014
F. Biondini	<i>Lifetime robustness of a RC bridge pier under corrosion considering bridge importance</i>	Di Silvestri, V., Biondini, F., Titi, A., Frangopol, D.M.	2014
F. Biondini	<i>Lifetime resilience of aging concrete bridges under corrosion</i>	Titi, A., Biondini, F., Frangopol, D.M.	2014
F. Biondini	<i>Probabilistic seismic assessment of multistory precast concrete frames exposed to corrosion</i>	Titi, A., Biondini, F.	2014
F. Biondini	<i>Lifetime seismic performance of concrete bridges exposed to corrosion</i>	Biondini, F., Camnasio, E., Palermo, A.	2014
F. Biondini	<i>Resilience of concrete frame structures under corrosion</i>	Titi, A., Biondini, F.	2013
F. Biondini	<i>Lifetime reliability-based optimization of reinforced concrete cross-sections under corrosion</i>	Biondini, F., Frangopol, D.M.	2009
F. Biondini	<i>A measure of lifetime structural robustness</i>	Biondini, F.	2009
F. Biondini	<i>Uncertainty effects on lifetime structural performance of cable-stayed bridges</i>	Biondini, F., Frangopol, D.M., Malerba, P.G.	2008
F. Biondini	<i>Damage propagation and structural robustness</i>	Biondini, F., Restelli, S.	2008
F. Biondini	<i>On structural robustness, redundancy and static indeterminacy</i>	Biondini, F., Frangopol, D.M., Restelli, S.	2008
F. Biondini	<i>Probabilistic limit analysis and lifetime prediction of concrete structures</i>	Biondini, F., Frangopol, D.M.	2008
F. Biondini	<i>Time-variant structural performance of the Certosa cable-stayed bridge</i>	Biondini, F., Frangopol, D.M., Malerba, P.G.	2006
F. Biondini	<i>Probabilistic service life assessment and maintenance planning of concrete structures</i>	Biondini, F., Bontempi, F., Frangopol, D.M., Malerba, P.G.	2006
F. Biondini	<i>Cellular automata approach to durability analysis of concrete structures</i>	Biondini, F., Bontempi, F., Frangopol, D.M., Malerba, P.G.	2004
F. Biondini	<i>Fuzzy reliability analysis of concrete structures</i>	Biondini, F., Frangopol, D.M., Malerba, P.G.	2004
F. Biondini	<i>Reliability of material and geometrically nonlinear reinforced and prestressed concrete structures</i>	Biondini, F., Bontempi, F., Frangopol, D.M., Malerba, P.G.	2004
Alessandra Fiore	<i>Investigation of traffic-induced vibrations on a historic swing bridge in Italy</i>	Netti, A., Fiore, A., Monaco, P., Marano, G.C.	2015
Zila Rinaldi	<i>Strength decay of RC sections for chloride attack</i>	Imperatore S., Leonardi A., RINALDI Z.	2016
Zila Rinaldi	<i>Influence of corrosion on the bond strength of steel rebars in concrete</i>	Coccia S., Imperatore S., RINALDI Z.	2016
Zila Rinaldi	<i>Influenza della corrosione sul comportamento ciclico di pilastri in c.a.</i>	Di Carlo F., Meda A., RINALDI Z.	2015
Zila Rinaldi	<i>Experimental evaluation of the corrosion influence on the cyclic behaviour of R.C. columns</i>	Meda, A., Mostosi, S., RINALDI Z., Riva, P.	2014
Zila Rinaldi	<i>Experimental evaluation of the flexural behaviour of corroded p/c beams</i>	Imperatore S., RINALDI Z., Valente C.	2010
Zila Rinaldi	<i>Life cycle of bridge grillages subjected to corrosion</i>	Imperatore S., RINALDI Z.	2010
Zila Rinaldi	<i>Mechanical behavior of corroded rebars and their influence on the structural response of R/C elements</i>	Imperatore S., RINALDI Z.	2008
Zila Rinaldi	<i>Influence of the corrosion on the serviceability limit state of reinforced concrete beams</i>	Coccia S., Imperatore S., RINALDI Z.	2007
Zila Rinaldi	<i>A simplified methodology for the evaluation of the residual life of corroded elements</i>	RINALDI Z., Valente C., Pardi L.	2008

Giuseppe Quaranta	<i>Damage detection by modal curvatures: numerical issues</i>	Quaranta G., Carboni B., Lacarbonara, W.	2015
Giuseppe Quaranta	<i>Experimental dynamic assessment of a cable-stayed bridge</i>	Nuti E., Quaranta G., Monti G.	2015
Giuseppe C. Marano	<i>New analytical model for the hoop contribution to the shear capacity of circular reinforced concrete columns</i>	Trentadue F., Quaranta G., Greco R., Marano G. C.	2014
Giuseppe Quaranta	<i>On the reliability of a PCA-based method for structural diagnosis in bridge structures with environmental disturbances</i>	Quaranta G., Carboni B., Lacarbonara, W.	2012
Giuseppe C. Marano	<i>Fuzzy Time-Dependent Reliability Analysis of RC Beams Subject to Pitting Corrosion</i>	Marano G. C., Quaranta G., Mezzina M.	2008
Rita Greco	<i>Strength deterioration of reinforced concrete column sections subject to pitting</i>	Greco R., Marano G. C.	2015

Portugal

Responsible Person	Article	Author	Year
Cavaco, E.	<i>Robustness of corroded reinforced concrete structures – a structural performance approach</i>	Eduardo S. Cavaco, Joan R. Casas, Luis A.C. Neves, Alfredo E. Huespe	2010
Cavaco, E.	<i>On the robustness to damage in the Life-Cycle Assessment (LCA) of deteriorating bridges</i>	Eduardo S. Cavaco, Luis A.C. Neves, Joan R. Casas	2014
João Fernandes	<i>Probabilistic-based nonlinear analysis of a reinforced concrete railway bridge</i>	João Fernandes, José C. Matos, Daniel V. Oliveira	2015
João P. Santos	<i>On-line unsupervised detection of early damage</i>	João P. Santos, Christian Crémone, Luís Calado, Paulo Silveira and André D. Orcesi	2015
Rui Neves	<i>Specification and site control of the permeability of the cover concrete: The Swiss approach</i>	Torrent, Denarié, Jacobs, Leemann, Teruzzi	2012
Rui Neves	<i>A method for the use of accelerated carbonation tests in durability design</i>	Neves, Branco, de Brito	2012
Vicente N. Moreira	<i>Robustness as performance indicator for masonry arch bridges</i>	Vicente N. Moreira, João Fernandes, José C. Matos, Daniel V. Oliveira	2016

Serbia

Responsible Person	Article	Author	Year
Nikola Tanasic	<i>Vulnerability assessment of bridges exposed to scour</i>	Tanasic N, Ilic V, Hajdin R	2013

Spain

Responsible Person	Article	Author	Year
Joan Casas	<i>Redundancy and robustness in the design and evaluation of bridges: European and North American perspectives</i>	ANITORI, G.; CASAS, J.R.; GHOSN, M.	2013
Joan Casas	<i>Robustness of corroded reinforced concrete structures. A structural performance approach</i>	CAVACO, E.; CASAS, J.R.; NEVES, L.; HUESPE, A	2013
Joan Casas	<i>Reliability-based assessment of masonry arch bridges</i>	CASAS, J.R.	2011
Joan Casas	<i>Fatigue Reliability Analysis of Prestressed Concrete Bridges</i>	Crespo, Casas	1998